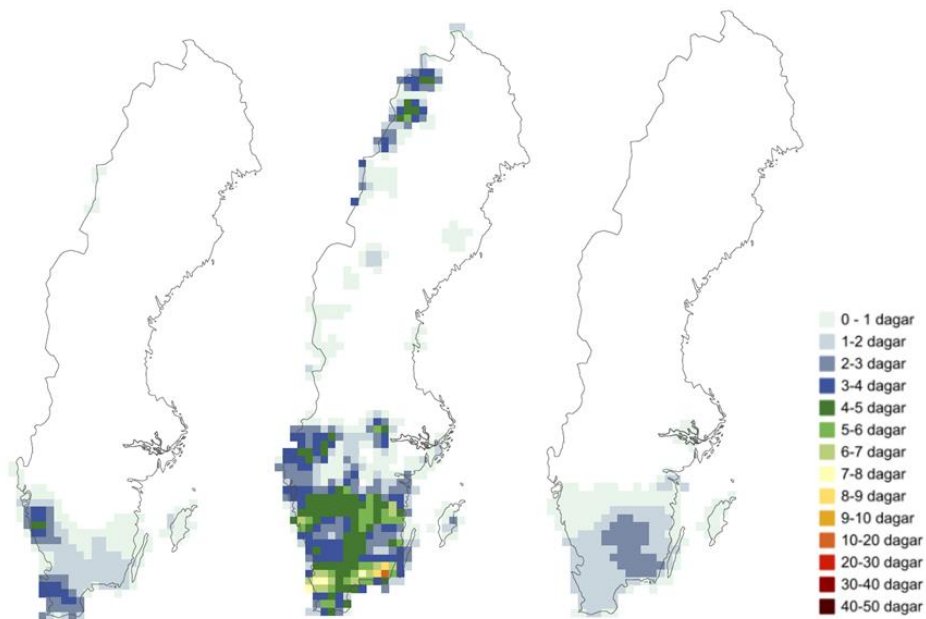


Wing Leung, Helene Alpfjord Wylde och Camilla Andersson

Nr 2019/12

Nationell miljöövervakning med MATCH Sverigesystemet

- utvärdering och resultat för åren 2015-2017





NATIONELL
MILJÖÖVERVAKNING
PÅ UPPDRAG AV
NATURVÅRDSVERKET

Bilden föreställer antal dagar då halt i luft av marknära ozon överstiger $120 \mu\text{g m}^{-3}$ år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger).

Nationell miljöövervakning med MATCH Sverigesystemet Utvärdering och resultat för åren 2015-2017

<p>Rapportförfattare</p> <p>Wing Leung, SMHI Heléne Alpfjord Wylde, SMHI Camilla Andersson, SMHI</p>	<p>Utgivare SMHI</p> <p>Postadress Folkborgsvägen 17, 601 76 Norrköping</p> <p>Telefon +46 (0)11 495 80 00</p>
<p>Rapporttitel och undertitel Nationell miljöövervakning med MATCH Sverigesystemet Utvärdering och resultat för åren 2015-2017</p>	<p>Beställare Naturvårdsverket 106 48 Stockholm</p> <p>Finansiering Nationell Miljöövervakning</p>
<p>Nyckelord för plats Sverige</p>	
<p>Nyckelord för ämne Luftföroreningar, atmosfäriskt nedfall, svavel, kväve, marknära ozon</p>	
<p>Tidpunkt för insamling av underlagsdata 2015 – 2017</p>	
<p>Sammanfattning</p> <p>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.</p> <p>Halter i luft och deposition till mark presenteras för svavel, kväve och baskatjoner för åren 2015-2017. Ett antal statistiska mått för halter i luft av marknära ozon presenteras också. Resultat av måttet PODY för marknära ozon beräknas från versamhetsåret 2015. Resultat finns tillgängliga från 2013 för POD1 för generisk lövskog och POD3 för generisk gröda.</p> <p>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 samt halterna av marknära ozon beror variationen mellan de tre åren främst på meteorologisk variabilitet. De högsta halterna av marknära ozon (antal dagar då halterna överstiger 120 µg/m³) inträffade under sensommaren 2016. En ozonepisod nådde norra Europa och var främst orsakad av trafik- och industriutsläpp (Tarrason m.fl., 2017).</p> <p>Under hösten 2018 rapporterade Sverige för första gången modellerade luftkvalitetsdata till EU, som en del av den officiella e-rapporteringen till EEA. Halter av marknära ozon, beräknade med MATCH Sverigesystemet, rapporterades av SMHI i egenskap av datavärd.</p>	

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 Nederbörds-kemiska Nätet) samt ett par IM-stationer.

Halter i luft och deposition till mark presenteras här för svavel, kväve och baskatjoner för åren 2015-2017. Sedan 2013 publiceras ett antal statistiska mått för marknära ozon. Det senaste tillskottet är måttet PODY för generisk lövskog och grödor från 2015.

Den största depositionen sker i de sydvästra delarna av Sverige, och minskar norrut, medan lägst deposition sker i Norrlands inland. För totaldepositionen av kväve och svavel samt halterna av marknära ozon var skillnaden mellan åren främst orsakade av meteorologisk variabilitet. De högsta halterna av marknära ozon (antal dagar då halterna överstiger $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) inträffade under sensommaren 2016. En ozonepisod nådde norra Europa och var främst orsakad av trafik- och industriutsläpp (Tarrason m.fl., 2017).

Under hösten 2018 rapporterade Sverige för första gången modellerade luftkvalitetsdata till EU, som en del av den officiella e-rapporteringen till EEA. Halter av marknära ozon, beräknade med MATCH Sverigesystemet, rapporterades av SMHI i egenskap av datavärd.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	1
FÖRORD	1
1 INLEDNING	1
2 METODIK I MATCH SVERIGESYSTEMET	1
2.1 Nuvarande 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	9
3.1 Väderåren 2015-2017.....	9
3.2 Luftkoncentration 2015-2017.....	10
3.3 Deposition 2015-2017.....	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 basketjoner.....	21
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	34
BILAGA - PUBLICERAT MATERIAL FÖR MATCH-MODELLEN	35

Förord

Denna rapport presenterar resultat för åren 2015-2017. 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 (Engardt m.fl., 2016). Två återanalysstudier har också utförts med MATCH Sverigesystemet. En återanalys genomfördes för marknära ozon för åren 1990-2013 (Andersson m.fl., 2015; Andersson m.fl., 2017), vilken inkluderar Sverige och Norge. Den andra återanalysen genomfördes för deposition av svavel och kväve för åren 1983-2013 (Andersson m.fl., 2018), och den inkluderar Skandinavien, större Östersjön, Finland samt delar av omkringliggande landsområden.

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-skallig, 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 m.fl. (1995). Ett antal studier har genomförts tidigare, och presenteras bl.a. i rapporterna Persson m.fl. (2004) där MATCH Sverigesystemet beskrivs utförligt, och Lövblad m.fl. (1991) där en studie av baskatjoner gjordes med MATCH Sverigesystemets metodik. I Södergren m.fl. (2013) beskrivs metodik och resultat för MATCH Sverigesystemet för åren 1998-2011 och i Andersson m.fl. (2014) samt Andersson och Alpfjord (2015) redogörs för den senaste metodikförändringen. Implementationen av PODY redovisas i Engardt m.fl. (2016). Denna rapport redovisar ozonresultat för åren 2015-2017, 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 1998-2017 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, 1998-2017. Vidare så redovisas nedfall med nederbörd (våtdeposition) av svavel och baskatjoner både exklusive såväl som inklusive havssaltsbidrag. 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 nuvarande metodiken som infördes operationellt år 2013. De osäkerheter som är förknippade med den slutgiltiga produkten diskuteras kort.

Resultat presenteras på nätet för deposition av ozon (PODY), 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, bestående av en kombination av modell och mätningar. För att uppnå en kvalitativ analys är det mycket viktigt att både mätdata och modellerade data håller en hög kvalitet.

Startpunkten för att göra en analys av deposition eller halter i luft för ett visst år är att skapa en så kallad ”första gissning” av det modellerade bakgrundsfältet. Detta bakgrundsfält jämförs mot mätdata och behandlas matematiskt med variationell dataanalys. 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 bakgrundsfältet, och förändrar därför modelluppskattningen än observationsdata under dataassimilationsalgoritmen.

2.1 Nuvarande metodik

Förändringen till den 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 att beskriva utsläpp från sjöfart i havsområdena kring Sverige.
- Ett antal statistiska mått för marknära ozon tas fram och publiceras.

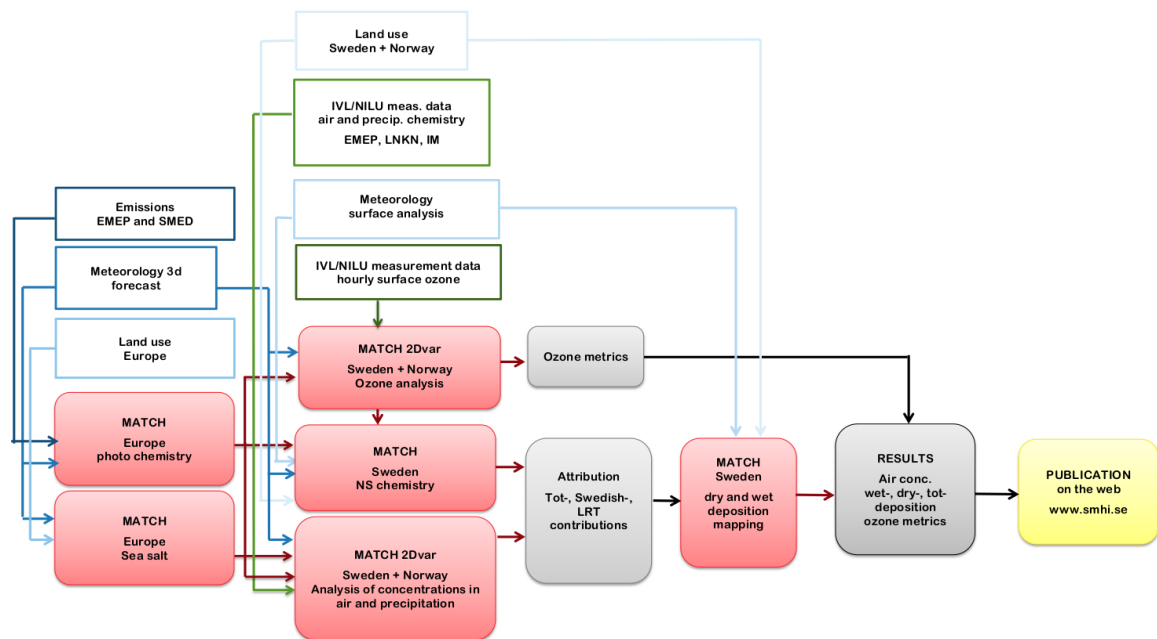
En mer detaljerad genomgång av metodiken finns i Andersson m.fl. (2014).

I flödesdiagrammet nedan visas schematiskt de olika stegen i den nuvarande 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 marktyper, exempelvis åkerjord och lövskog, samt beräkning av våtdeposition. Indata till systemet är dels atmosfärskemiska observationer, vilka tillhandahållits av IVL (Svenska miljöinstitutet) och NILU (Norsk Institutt for luftforskning), dels utsläppsdata från EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme), och SMED (Svenska miljöemissionsdata) (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 nuvarande metodiken. De används även som indata i modellberäkningen av Sverigebidrag. Som indata till modellberäkningen av Sverigebidrag används förutom det analyserade ozonet markanvändningsdata, SMEDs emissioner samt ECMWF-MESAN väderdata (före 2016 användes HIRLAMs väderdata, men denna byttes ut mot ECMWFs högupplösta ensemble-medlem HRES då HIRLAM slutade produceras operationellt). SMEDs emissionsdata för sjöfart är baserad på ShipAir, vilken används för havsområdena kring Sverige.

Dataassimilationen sker på totalhalterna från MATCH Europa-modellresultatet för svavel och kväve. 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 nuvarande metodik. Flödesdiagrammet ger en beskrivning av indata till och flöden inom MATCH-Sverigesystemet samt modeller som ingår i systemet.

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 m.fl. (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 markytor 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 m.fl. (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 nuvarande 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 m.fl. (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 nederbörds mängder över Sverige. 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 depositions hastigheten v_d genom följande uttryck:

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

där r_a , r_b och r_s är den aerodynamiska resistansen, det laminära ytskiktets resistans respektive ytresistansen. Storleken hos resistenserna varierar på ett komplicerat sätt beroende på egenskaper hos ämnet som deponeras, meteorologiska förhållanden och ytans beskaffenhet. I MATCH modellen är dessa tre resistenser parametriserade. Resistensen beräknas för varje gridruta, för varje timma med aktuell väderdata, för varje markanvändningstyp och för varje gas eller partikelfraktion. För en utförligare beskrivning av metodiken för torrdepositions beräkningar i MATCH Sverigemodellen hänvisas läsaren till Klein m.fl. (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.
- Ett mer fysikaliskt mått för skadlig inverkan på växtlighet är PODY. Förutom halter av marknära ozon används bland annat ett antal meteorologiska parametrar. Vi presenterar POD1 för generisk lövskog och POD3 för generisk gröda.
- 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 $SOMO35 = \sum \max(O_3^d - 35, 0) dt$.

Mer information om metodiken bakom PODY-beräkningar finns i Engardt m.fl. (2016). Ett utvecklingsprojekt pågår under 2018-2019 för att implementera PODY-mått för specifika grödor/trädslag.

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 nuvarande metodiken bearbetats för att sammanfogas med mer högupplösta SMED-emissioner över Sverige. Både EMEP- och SMED-emissioner har en eftersläpning på 2 år, t.ex för beräkningsår 2017 användes emissioner från 2015.

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.

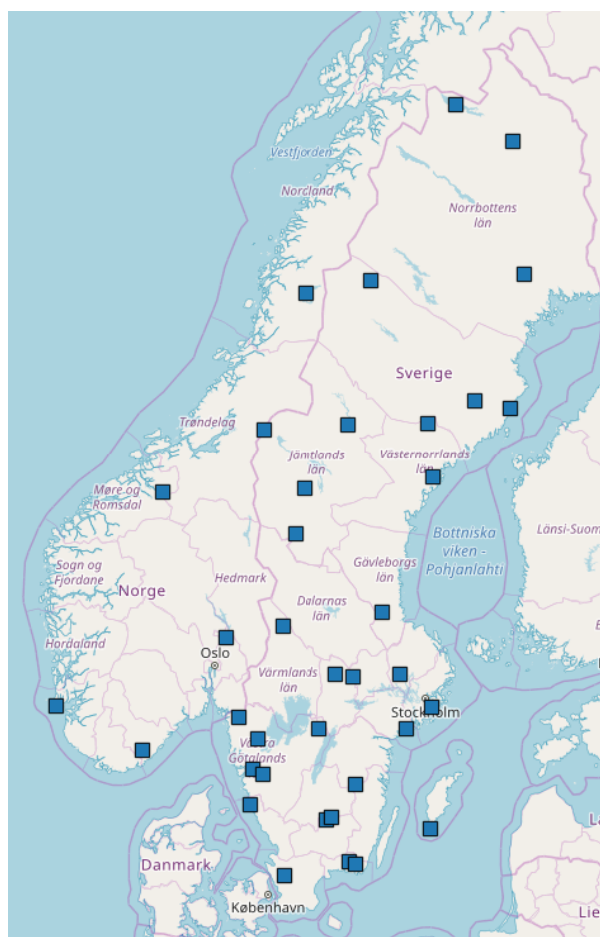
De beräknade totalemissionerna för varje ämne fördelas geografiskt efter åtta huvudsektorer och mer än 150 undersektorer. Fördelningen görs med en upplösning på 1×1 km. Emissionerna fördelas först på punktkällor (industrier) vars emissioner erhålls från svenska miljörapporteringsportalen (SMP) och handelssystemet 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 2017 utnyttjades 8 stationer för mätning av svavel och kväve i luft, varav fyra svenska EMEP stationer (dygnsvisa mätningar) och 4 norska EMEP stationer (dygnsvisa mätningar). För ozon användes nio 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, Bredkålen, Hallahus, Råö
Luft	Norska EMEP	Dygn	SO ₂ , SO ₄ , NO ₃ +HNO ₃ , NO ₂ , NH ₄ +NH ₃	Birkenes, Kårvatn, Hurdal, Tustervatn
Luft	Svenska EMEP	Timme	O ₃	Asa försökspark, Bredkålen, Esrange, Grimsö, Hallahus, Råö, Rödeby, Vindeln, Östad
Luft	Norska EMEP	Timme	O ₃	Birkenes, Kårvatn, Hurdal, Sandve, Prestebakke, Tustervatn

Då det gäller nederbörd användes totalt 23 stationer, varav två svenska EMEP (månadsvisa), 16 LNKN (månadsvisa), fyra IM (månadsvisa) samt en höghöjdsstation (månadsvisa)(se Tabell 2) år 2017. 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	Månad	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Na, K, Ca, Mg	Aspvreten, Hallahus, Bredkålen, Råö
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, Jädraås, Majstre, Norra Kvill, Pjungsérud, Rickleå, Ryda Kungsgård, Sandnäset, Sännen, Transtrandberget, 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 2015, 2016 och 2017. Resultaten jämförs även mot återanalyserna av kväve och svaveldeposition (Andersson m.fl., 2018) och marknära ozon (Andersson m.fl., 2015; 2017).

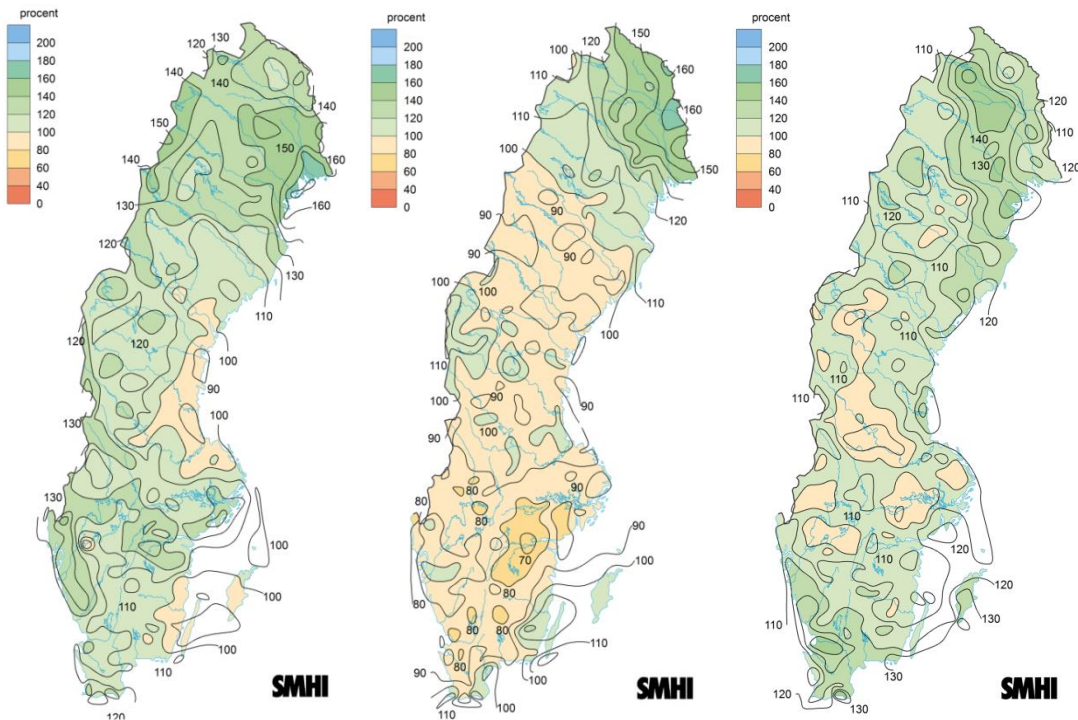
Meteorologin kan variera mycket från ett år till ett annat, vilket orsakar variationer i halter i luft och nederbörd. Mänskliga utsläpp varierar oftast inte mycket från ett år till nästa, medan de naturliga utsläppen varierar med meteorologin, vilket kan ge ganska stor variation från år till år. Detta 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 2015-2017

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 2015 var ett varmt år i hela Sverige, med störst avvikelse i Norrland. År 2015 var allra varmast jämfört med 2016 och 2017. År 2017 visade mindre temperaturavvikelse i Norrland än 2015 och 2016. Högre temperatur och torrare luft och mark än normalt kan bl.a. bidra till minskat ozonupptag i växter och större naturliga utsläpp av biogena organiska gaser, och därmed högre ozonhalt under sommarhalvåret.

I kartorna i Figur 3 nedan syns nederbördsavvikelsen för 2015, 2016 och 2017. 2015 var blötare än vanligt i nästan hela landet. År 2016 var ett mycket torrt år i södra och mellersta Sverige medan norra Sverige fick mer nederbörd än normalt. 2017 var blötare än normalt i södra och norra Sverige och något torrare i mellersta Sverige. Mer nederbörd än normalt kan bidra till högre våtdeposition och lägre halter i luft av kväve och svavelföreningar, och därmed även minskad torrdeposition. Det bidrar även till en starkare gradient i deposition och halter från söder till norr. Intransporten från utanför Sverige har dock stor betydelse för depositionen av kväve och svavel i Sverige, varför nationell nederbörd inte är den viktigaste faktorn, utan nederbörd och transport (meteorologiska faktorer) utanför Sveriges gränser spelar en viktig roll.



Figur 3. Årsnederbörd i procent av den normala år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger).

3.2 Luftkoncentration 2015-2017

I Figur 4 till 6 presenteras totala lufthalter för kvävedioxid (NO_2), reducerat kväve (NH_x , summan av ammonium och ammoniak) och svaveldioxid (SO_2) över Sverige för åren 2015-2017. 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.

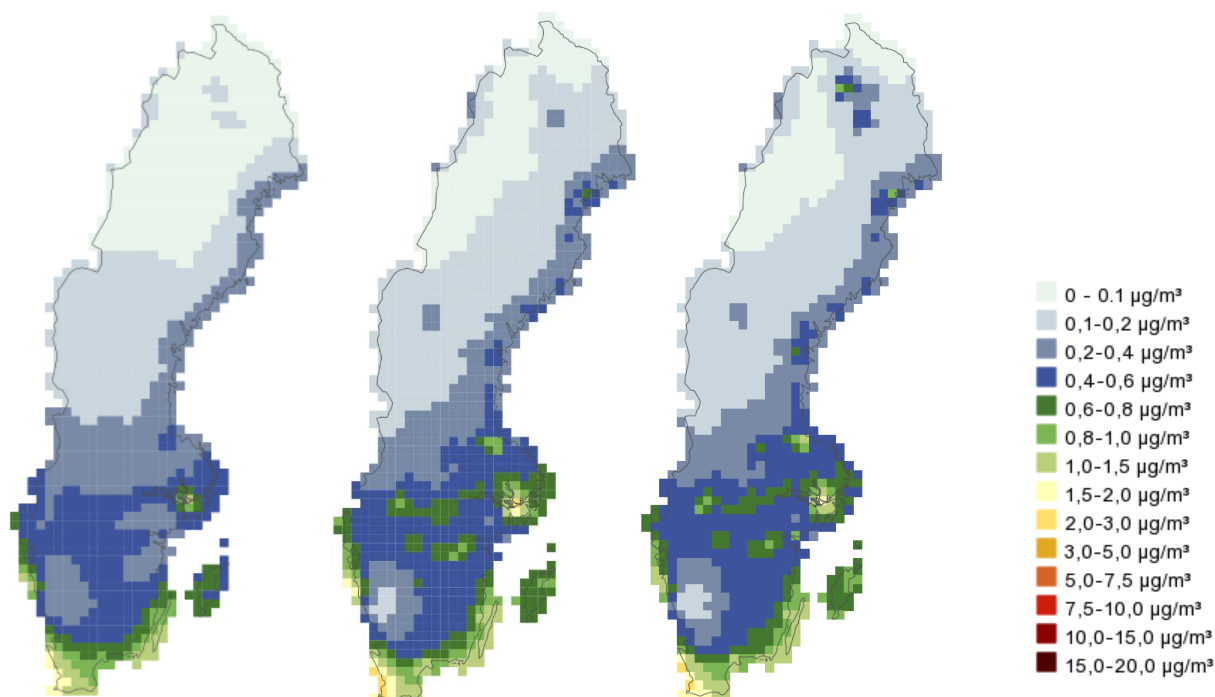
Figur 4 visar årsmedelhalt av kvävedioxid i luft för åren 2015-2017 för alla bidrag. Motsvarande lufthalt av reducerat kväve och svaveldioxid visas i Figur 5 respektive 6. För kvävedioxid återfinns de högsta halterna i södra Sverige, Stockholmsregionen samt längs Norrlandskusten. Lägst är halterna i Norrlands inland förutom år 2017 finns det ett maxima i norra Lappland. Årsmedelhalten av oxiderat kväve varierar mellan 0.07 och 2.15 $\mu\text{g N m}^{-3}$ över Sverige år 2017. Variationen mellan 2015-2017 var ganska liten; med en viss förhöjning i Stockholms- och Malmöområdet samt Närke och Östergötland och en svag minskning i Halland 2016 och 2017. I kartorna med Sverigebidrag (på hemsidan) ser vi att halterna är ganska lika för år 2016-2017, med en viss förhöjning i Stockholms-, Göteborgs-, Malmöområdet, och även i Västergötland och Östergötland.

Då det gäller reducerat kväve kan vi i Figur 5 se att de högsta halterna återfinns 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. Årsmedelhalten varierar 2017 mellan som högst 1.50 $\mu\text{g N m}^{-3}$ i söder och som lägst 0.09 $\mu\text{g N m}^{-3}$ i nordligaste Sverige. Halterna var något högre 2016 och 2017 än 2015 i Götaland p.g.a. ökning av det svenska bidraget under samma period.

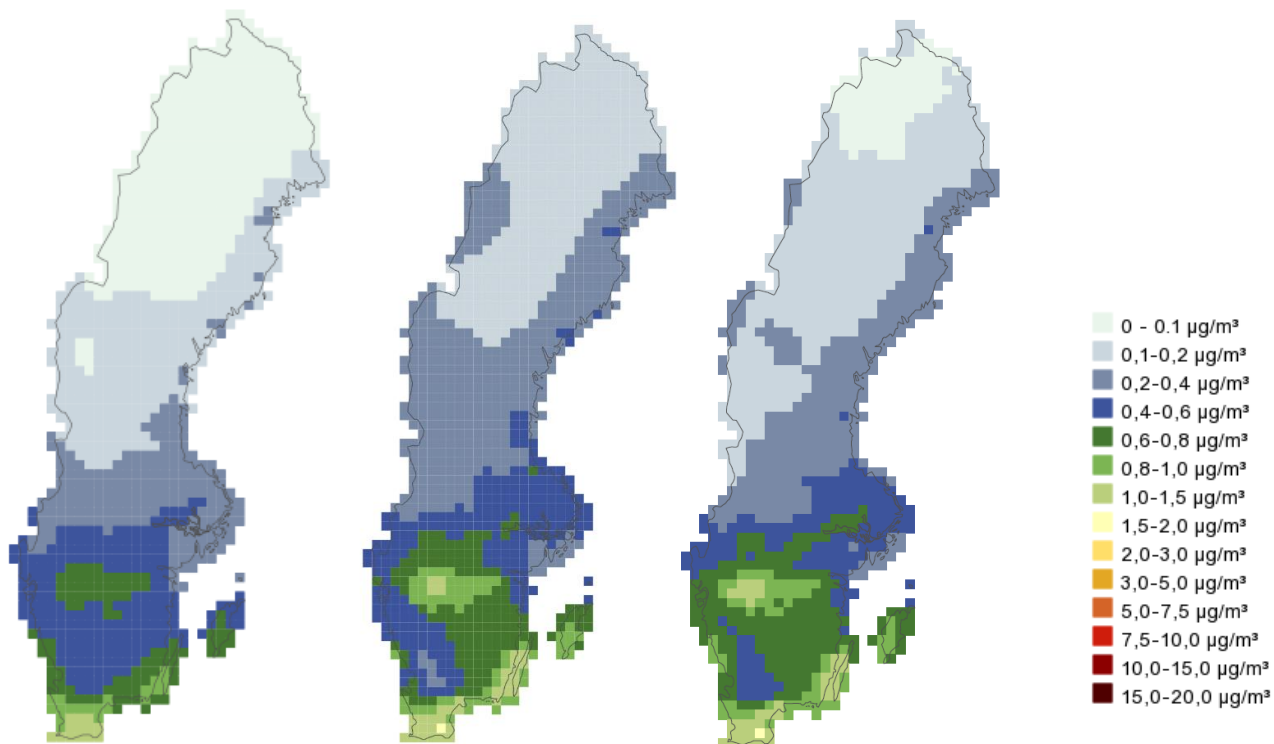
Halterna av svaveldioxid är ganska lika mellan åren 2015-2017 (Figur 6). Halten är förhöjd i Skellefteå- och Gävleområdet 2016 och 2017 jämfört med 2015. Totalkoncentrationen i luft år 2017 varierade mellan 0.03 och 1.00 $\mu\text{g S m}^{-3}$ över Sverige. Sverigebidraget (på hemsidan) är mycket snarlikt mellan åren. De senaste årens halter av svaveldioxid har sjunkit jämfört med tidigare år. En förklaring är införandet av svaveldirektivet i bl.a. Östersjön (SECA-området) år 2015.

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.

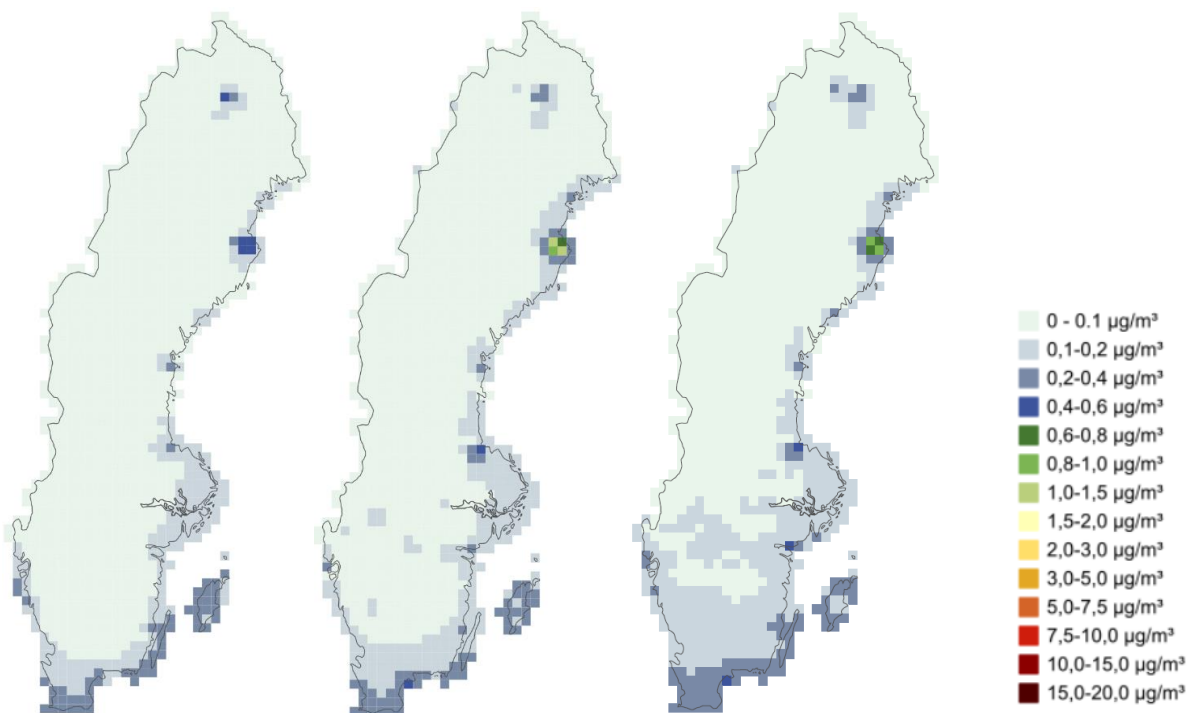
Under 2017 orsakade de svenska emissionerna i genomsnitt 50% av årsmedelhalten för SO₂. Motsvarande siffra för NO₂ och reducerat kväve var 61% respektive 64%.



Figur 4. Totala halter av kvävedioxid i luft år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: µg N m⁻³.



Figur 5. Totala halter av reducerat kväve i luft år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: µg N m⁻³.



Figur 6. Totala halter av svaveldioxid i luft år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: µg S m⁻³.

3.3 Deposition 2015-2017

Figur 7 till Figur 21 visar deposition för åren 2015-2017. För oxiderat kväve (NO_y , dvs. summan av bland annat NO , NO_2 , HNO_3 , PAN, N_2O_5 , NO_3 -salter och organiskt NO_3), reducerat kväve (NH_x , dvs. summan av ammonium och ammoniak) och oxiderat svavel exklusive havssalt (XSO_x , dvs. summan av svaveldioxid och sulfat utan havssaltbidrag) 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, men även atmosfärens stabilitet som t.ex. beror på hur blåsigt det är, samt för ozon och andra oxiderande ämnen så beror torrdepositionen av meteorologiska faktorer som påverkar växternas klyvöppningar, t.ex. luft och markfukt, temperatur och molnighet. 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.

Sammanfattning av deposition 2015-2017

- Totaldeposition av oxiderat kväve var mycket högre i Skåne 2015 jämfört med 2016 och 2017. Detta beror främst på långdistanstransport.
- Totaldepositionen av reducerat och oxiderat kväve samt oxiderat svavel var förhöjd i Stockholmsregionen under 2016 jämfört med 2015 och 2017, medan det svenska depositionsbidraget var något högre i Götaland och Svealand samt längs Norrlandskusten under 2016-2017. Det svenska bidraget har en större andel av totaldepositionen nära stora utsläppskällor, t.ex. i Stockholm- och Göteborgsregionerna.
- Torrdepositionen är starkt kopplad till halt i luft. Det fanns ökade halter i luft av framförallt kvävedioxid och reducerat kväve i Svealand och norra Götaland 2016 och 2017 jämfört med 2015. 2016 var ett mycket torrt år i Sverige, mindre nederbörd orsakade högre halt i luft och svagare gradient mot norr, vilket därmed leder till en högre torrdeposition särskilt i Norrland.
- Våtdepositionen är kopplad till nederbörd, och tittar man på nederbördsmönstret för 2015-2017 i Figur 3, framkommer att 2015 och 2017 var blötare i nästan hela landet förutom mellansta Sverige och för 2016 visade motsatt mönster och var torrare än normalt överallt förutom norra Norrland. Mer nederbörd leder generellt till mer våtdeposition där lufthalterna är höga, som i södra Sverige och längs västkusten av Sverige.
- Totalt sett orsakade alltså mellanårsvariationerna i meteorologi att mer reducerat och oxiderat kväve samt oxiderat svavel transporterades in över Sverige och att mer deposition skedde i Skåne 2015, jämfört med 2016 och 2017.

- Andelen våtdeposition relativt totaldepositionen för 2017 över svenska landområden var i genomsnitt över Sverige 52 %, 58 % och 61 % för oxiderat svavel (havssalt ej inkluderat), reducerat respektive oxiderat kväve. Enligt resultaten från MATCH Sverigesystemet orsakade de svenska emissionerna under 2017 i genomsnitt 16 % av totaldepositionen för svavel (exklusive havssalt) över svenska landområden. Motsvarande siffra för oxiderat kväve och reducerat kväve var 12 % respektive 40 %.

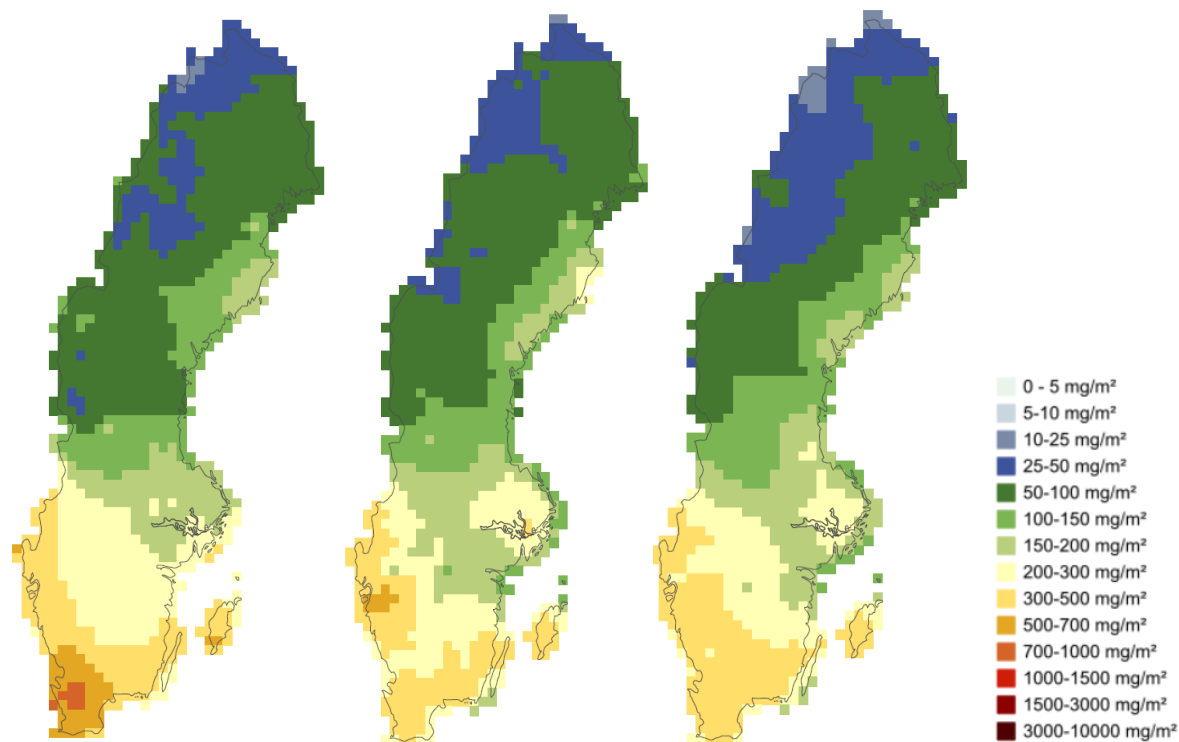
EMEPs statusrapport tar med några års eftersläpning fram källreceptormatriser för deposition av oxiderat svavel samt oxiderat och reducerat kväve mellan europeiska länder (Joint MSC-W & CCC & CEIP, 2018). Sveriges bidrag till respektive deposition beräknade utifrån de senaste källreceptormatriserna för år 2016 blir 11 % för oxiderat svavel, 12 % för oxiderat kväve och 33 % för reducerat kväve. Vår uppskattning överensstämmer väl med EMEPs uppskattning. Skillnaden i meteorologiskt år påverkar uppskattningen av bidrag något.

EMEPs modelluppskattningar inkluderar ingen dataassimilation, 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.

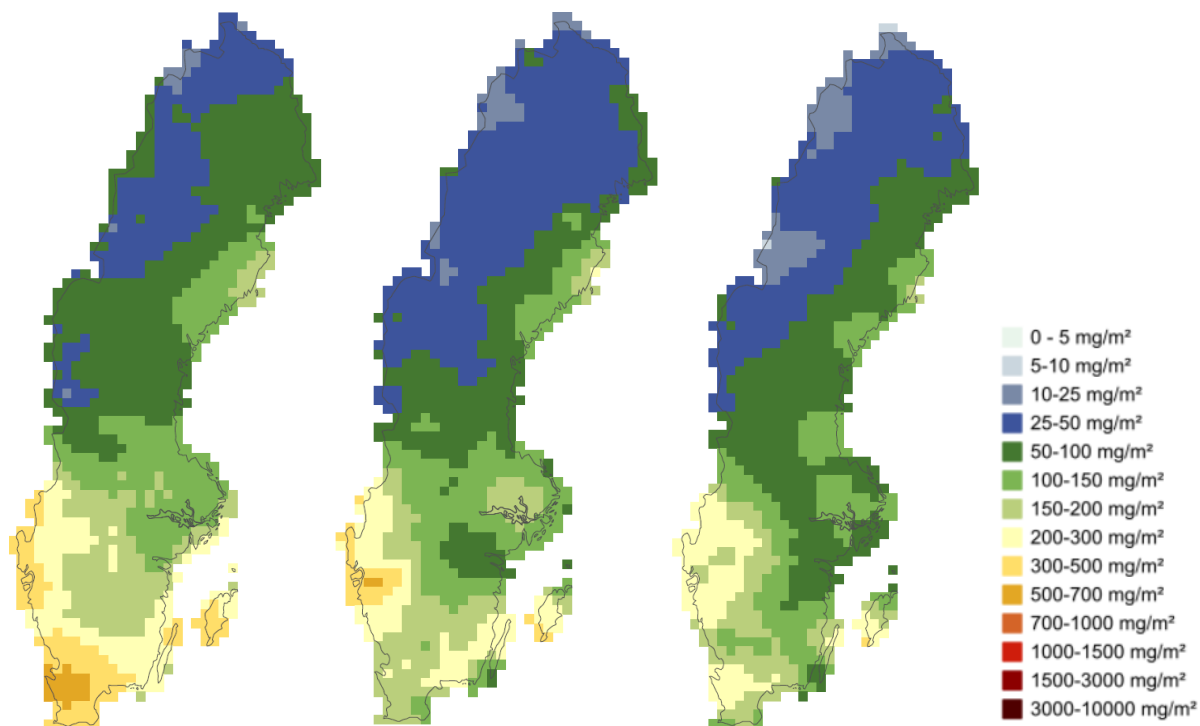
3.3.1 Deposition av oxiderat kväve

Figur 7 till Figur 9 visar total-, våt- och torrdeposition av oxiderat kväve för år 2015-2017. Störst deposition av oxiderat kväve sker i sydvästra Sverige och minst sker i Norrlands inland. Den höga våtdepositionen i västra Skåne under 2015 ger ett markant bidrag till totaldepositionen (den högsta depositionen i Sverige under de tre åren). Figur 7 visar att totaldepositionen av oxiderat kväve var mycket större i sydvästra Sverige under 2015 jämfört med 2016 och 2017. Sveriges bidrag (visas på hemsidan) är relativt konstant mellan åren 2016-2017, men markant lägre främst i Svealand och Götaland under 2015. Då totaldepositionen var högre i Götaland för 2015 indikerar det att långtransportbidraget var högre för 2015 för södra Sverige.

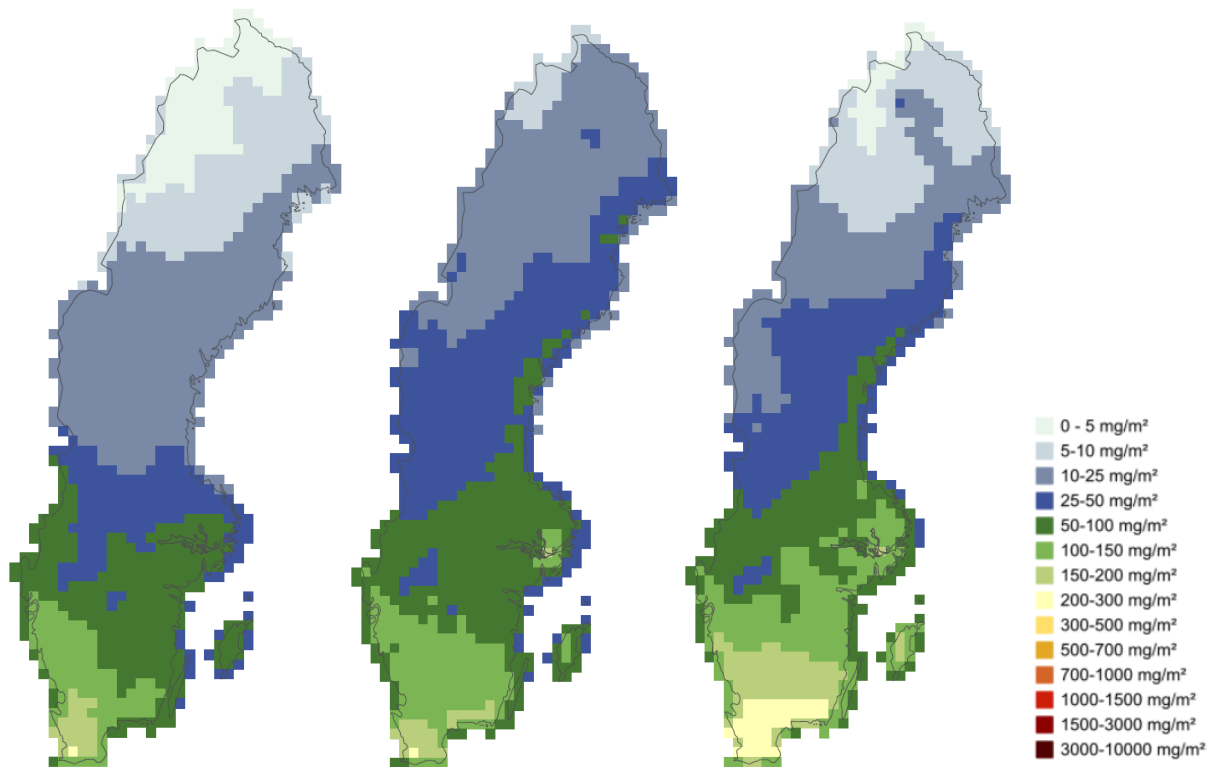
För 2017 varierade totaldepositionen mellan 13 och 478 mg N m⁻². Jämfört med tidsserien 1980-2013 är 2017 ett av de lägsta åren i totaldeposition av oxiderat kväve, vilket överensstämmer med den nedåtgående trenden över Sverige som beräknats i Andersson m.fl. (2018).



Figur 7. Totaldeposition av oxiderat kväve för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g N m}^{-2}$.



Figur 8. Våtdeposition av oxiderat kväve för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g N m}^{-2}$.

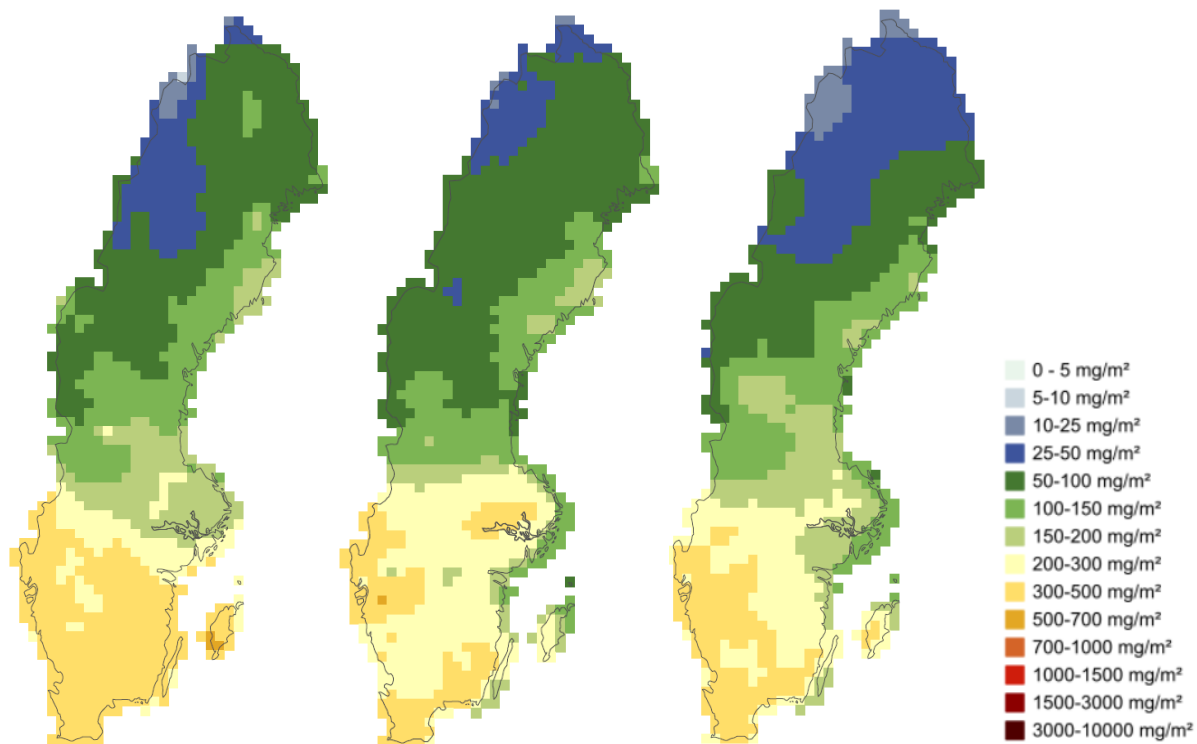


Figur 9. Torrdeposition av oxiderat kväve för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g N m}^{-2}$.

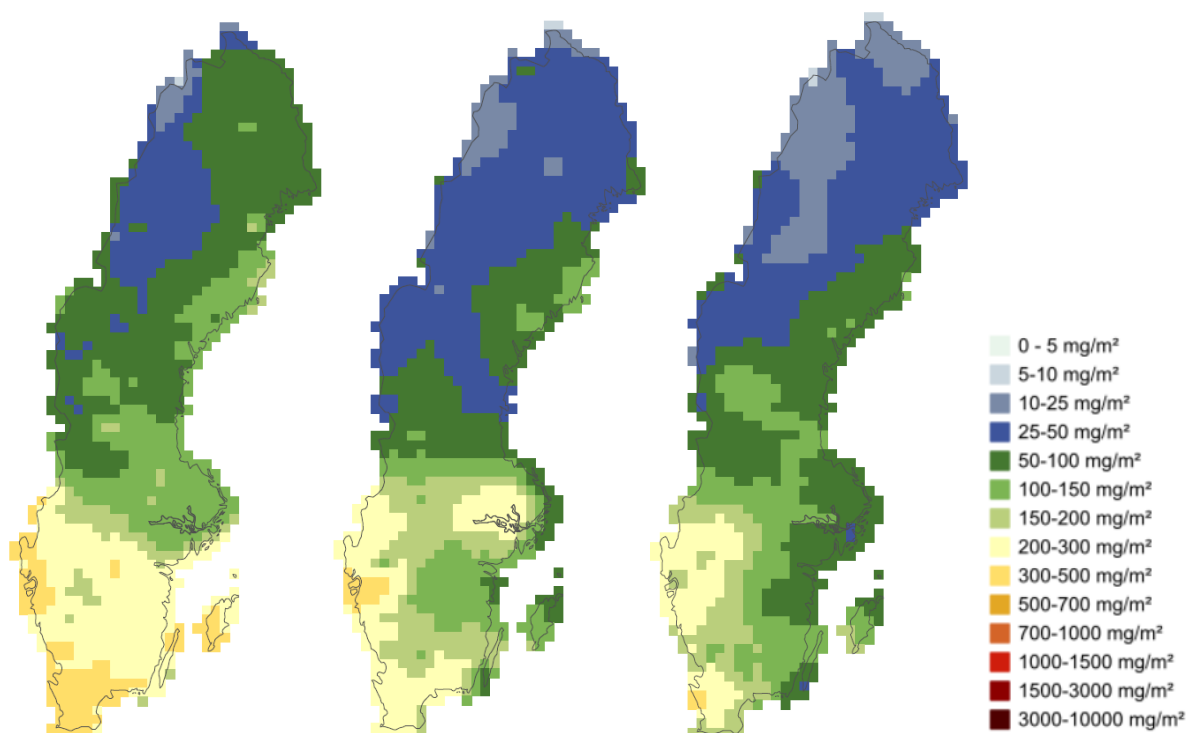
3.3.2 Deposition av reducerat kväve

Figur 10 till Figur 12 visar total-, våt- och torrdeposition av reducerat kväve för år 2015-2017. Den största depositionen av reducerat kväve sker i södra Sverige och minst deponeras i norra Norrlands inland. 2016 hade något högre totaldeposition i Stockholmsområdet men något lägre totaldeposition i södra Sverige jämfört med 2015 och 2017. Det svenska bidraget (visas på websidan) var markant högre i Svealand och Götaland och längst Norrlandskusten under år 2016-2017.

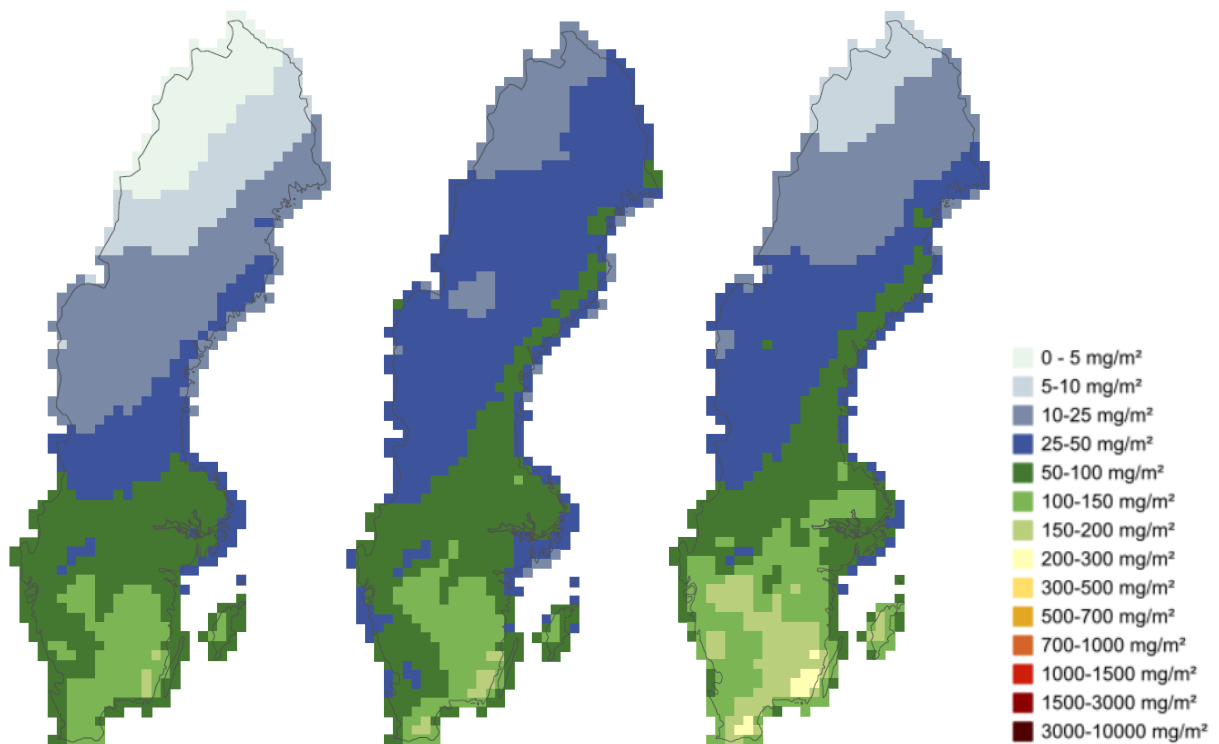
Totaldepositionen över Sverige varierar mellan 13 och 458 mg N m^{-2} under 2017. Jämfört med tidsserien 1980-2013 är 2017 ungefär i nivå med 10-percentilen, det vill säga ungefär som det tredje/fjärde lägsta året under perioden. Totaldepositionen av reducerat kväve har en sjunkande trend, snabbare i söder än i norra Sverige, där belastningen är lägre.



Figur 10. Totaldeposition av reducerat kväve för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g N m}^{-2}$.



Figur 11. Våtdeposition av reducerat kväve för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g N m}^{-2}$.



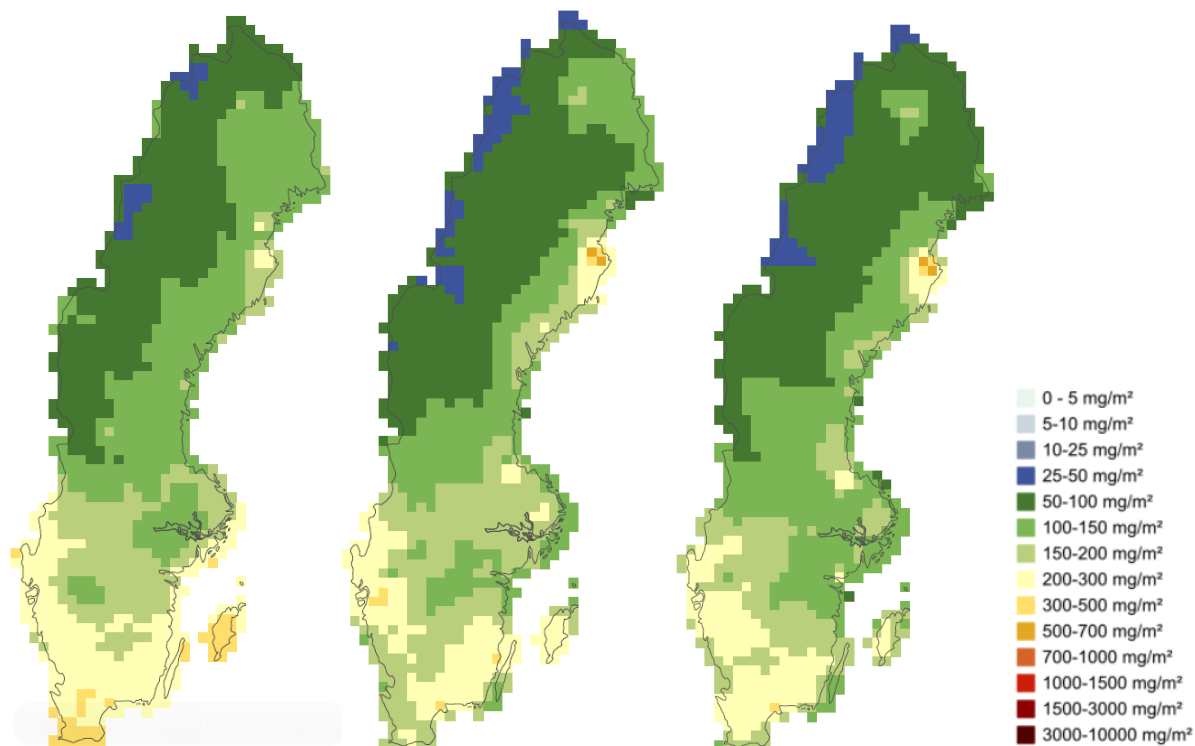
Figur 12. Torrdeposition av reducerat kväve för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g N m}^{-2}$.

3.3.3 Deposition av oxiderat svavel utan respektive med havssaltssvavel

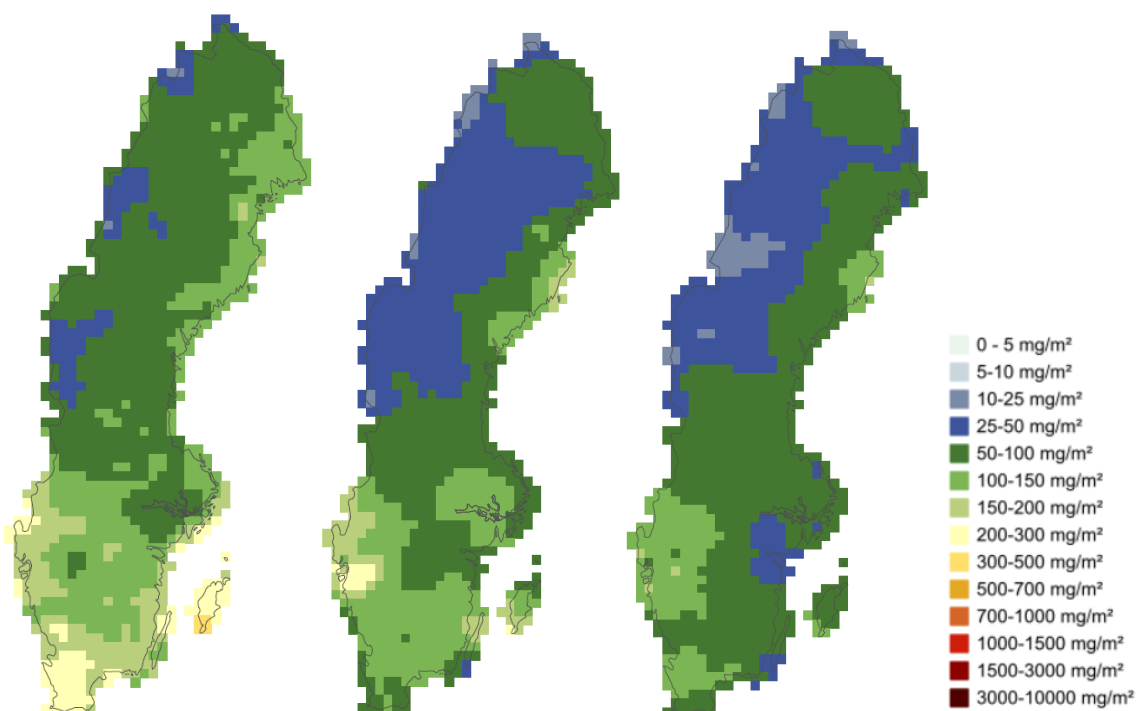
Total-, våt- och torrdeposition av oxiderat svavel utan havssaltbidrag visas för år 2015-2017 i Figur 13 till Figur 15. Figur 13 visar att totaldepositionen av oxiderat svavel utan havssaltssvavel var största i södra Götaland, Gotland och längs Norrlandskusten. Det fanns något lägre deposition i södra Sverige 2016 och 2017 än 2015. Det svenska bidraget (visas på websidan) visar att det är svenska emissioner som förklarar den något högre depositionen längst Norrlandskusten under 2016 och 2017.

Totaldepositionen av svavel utan havssalt varierade mellan 27 och 597 mg S m^{-2} år 2017. Vid en jämförelse mot tidsserien 1980-2013 är 2017 i paritet med året med lägst deposition, vilket överensstämmer med den nedåtgående trenden för svaveldeposition över Sverige. Den nedåtgående trenden är starkare för svavel än för kväve enligt Andersson, m.fl. (2018).

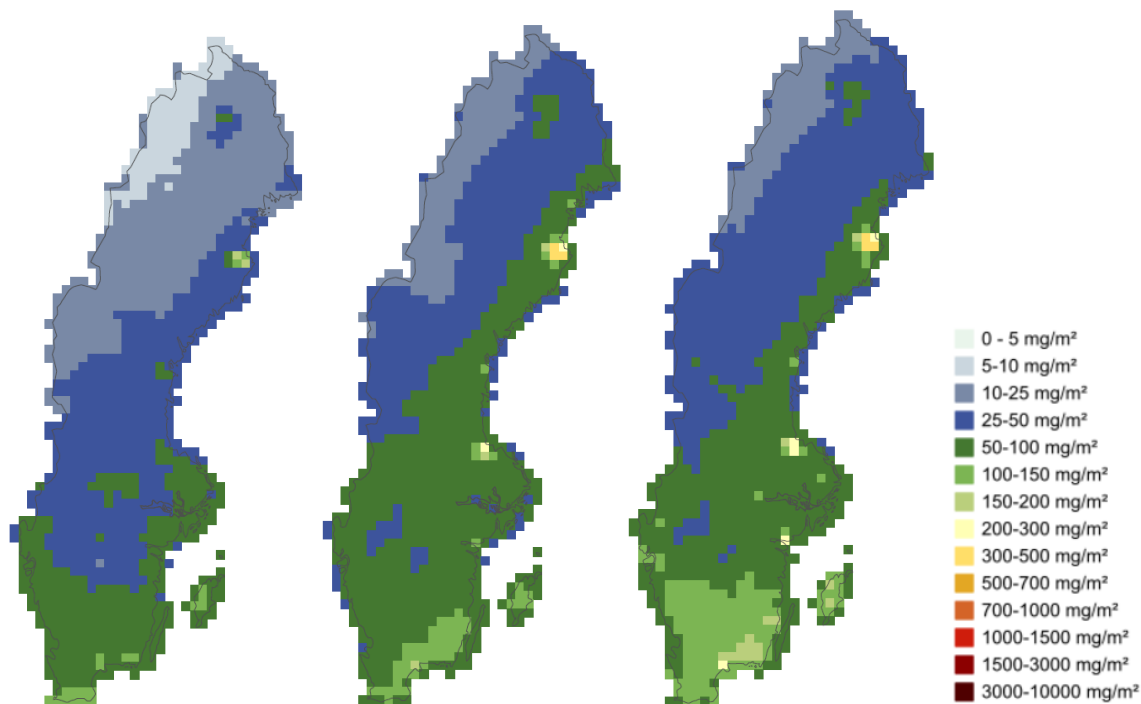
Total- och våtdeposition av oxiderat svavel inklusive havssaltbidrag visas för år 2015-2017 i Figur 16 och Figur 17. Totaldepositionen av oxiderat svavel inklusive havssaltbidrag i Figur 16 är största i södra Sverige, främst utmed västkusten. Det fanns något lägre deposition i södra Sverige 2016 och 2017 än 2015. Figur 17 visar att våtdepositionen av oxiderat svavel är störst i Göteborgsområdet de tre åren. Våtdepositionen var lägre i Gotland och var högre utmed Norrlandskusten 2016 och 2017 jämfört med 2015.



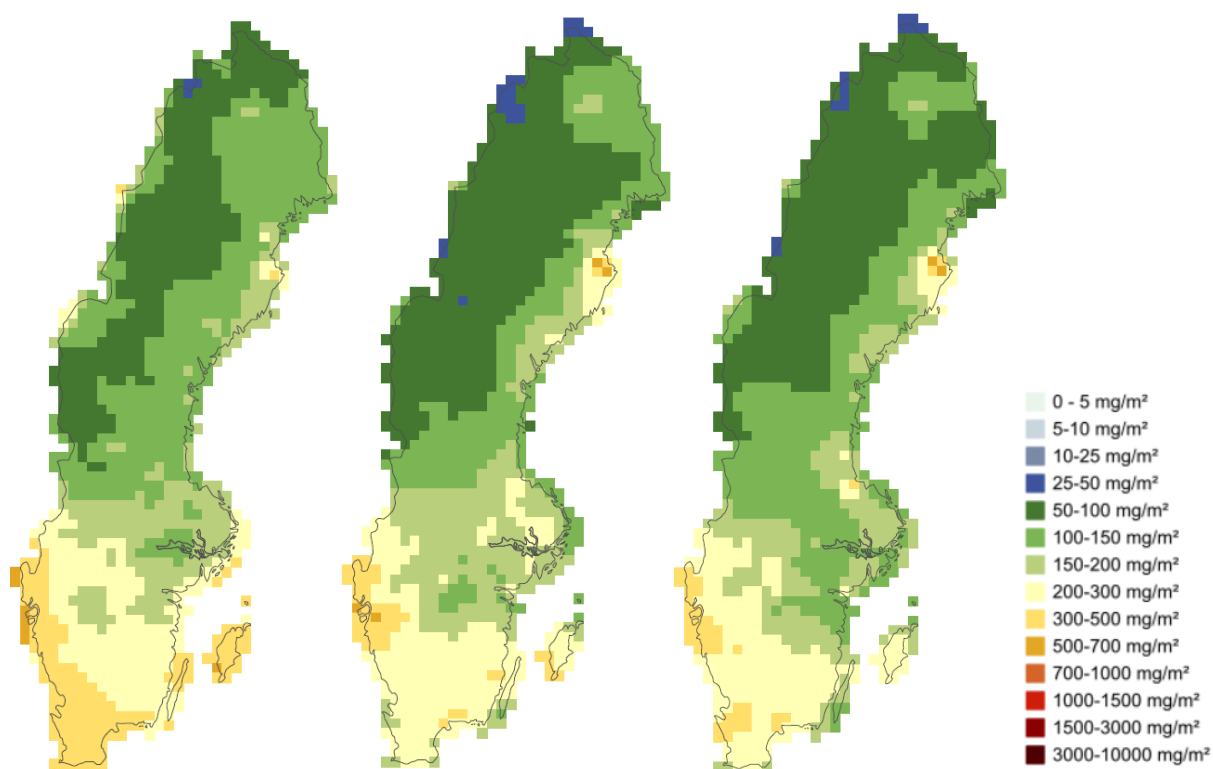
Figur 13. Totaldeposition av oxiderat svavel utan havssalt för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g S m}^{-2}$.



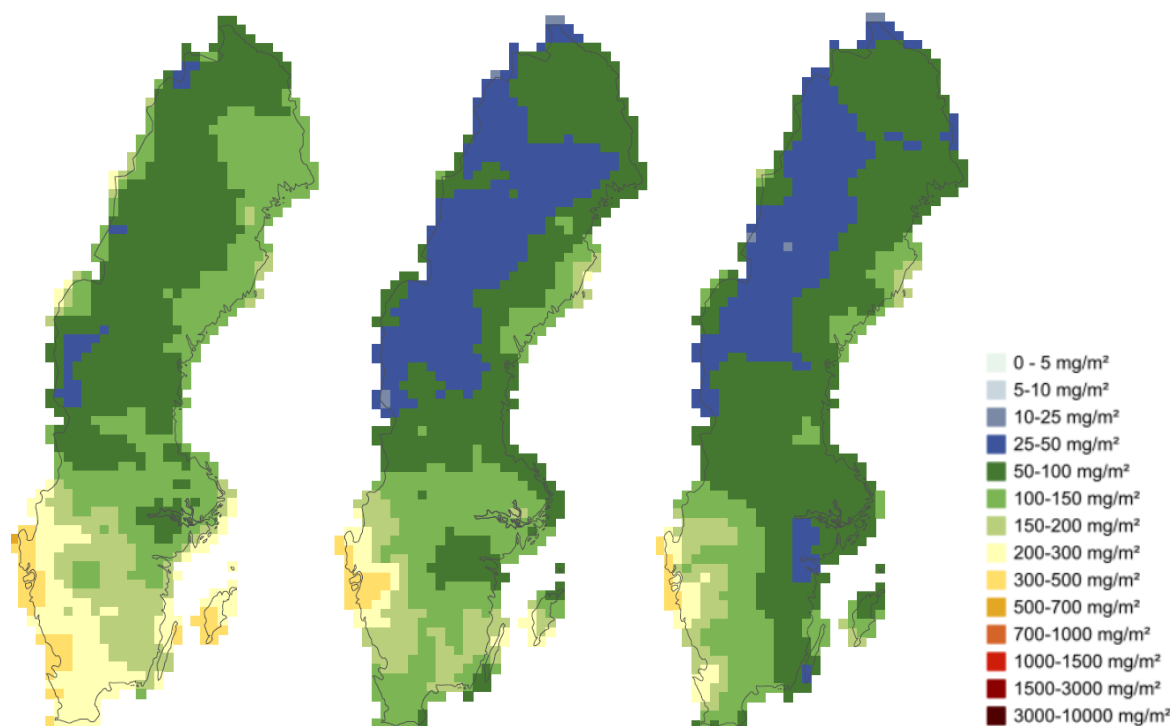
Figur 14. Våtdeposition av oxiderat svavel utan havssalt för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g S m}^{-2}$.



Figur 15. Torrdeposition av oxiderat svavel utan havssalt för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g S m}^{-2}$.



Figur 16. Totaldeposition av oxiderat svavel inklusive havssalt för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g S m}^{-2}$.



Figur 17. Våtdeposition av oxiderat svavel inklusive havssalt för år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger). Enhet: $\mu\text{g S m}^{-2}$.

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.

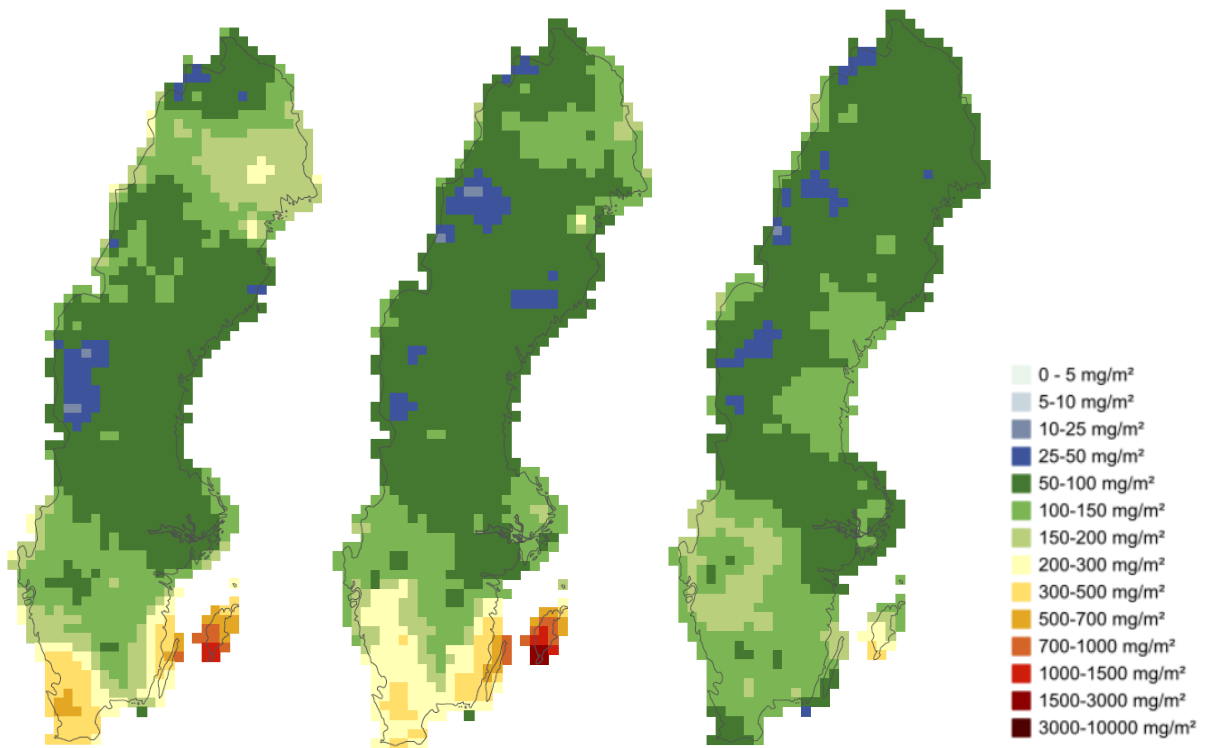
I Figur 18 till Figur 21 visas våtdepositionen av baskatjonerna kalcium, kalium, magnesium och natrium inklusive havssaltbidrag.

Den största våtdepositionen av kalcium (Ca) och kalium (K) återfinns främst över södra Sverige och Gotland år 2015 och 2016, med lägre värden under 2017 (Figur 18 respektive Figur 19).

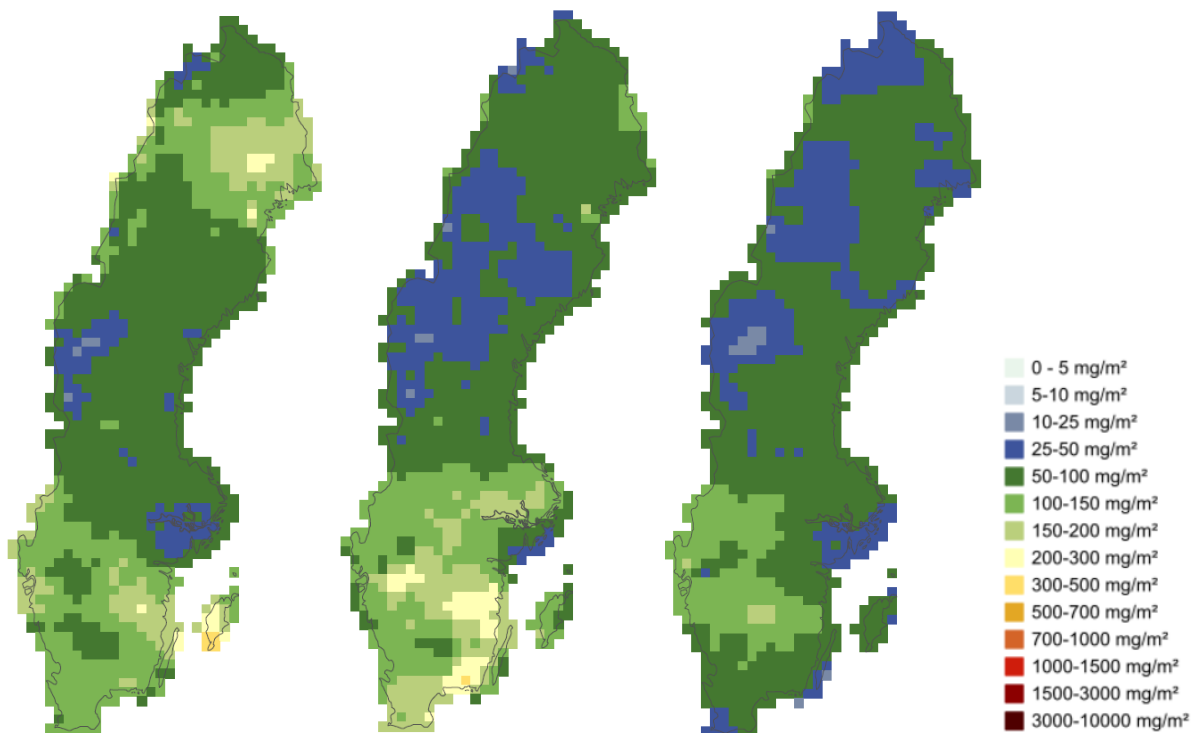
Våtdeposition av magnesium (Mg) i Figur 20 är störst utmed västkusten, vilket inte är förvånande eftersom det absolut största bidraget kommer från havssalt.

Det gör även, som väntat, natrium i Figur 21 som återfinns i höga nivåer framför allt längs västkusten och delvis längs ostkusten. Natriumet kommer från havssalt. Våtdepositionen av natrium utmed gränsen mot Norge är en effekt av mycket höga natriumhalter i nederbörd utmed Norges kust.

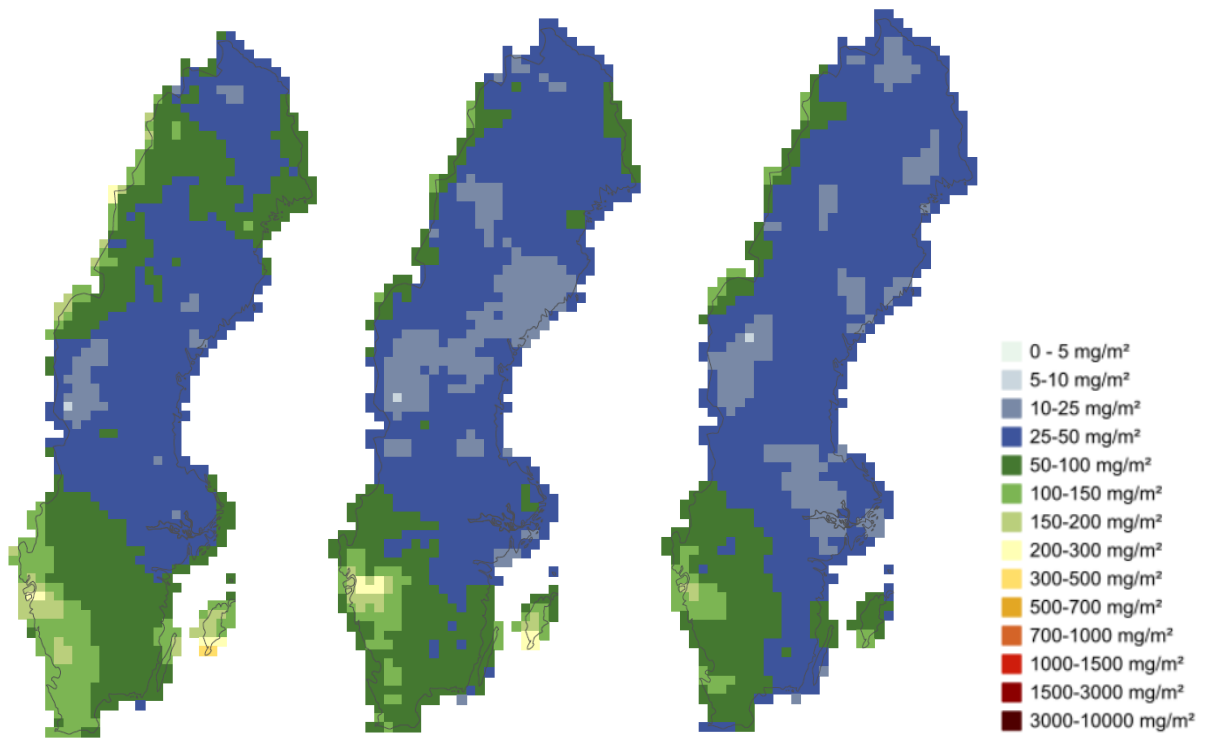
Framförallt för kalcium och natrium har Gotland ovanligt höga halter under 2015 (för kalcium även under 2016). Halterna kommer av höga uppmätta halter vid Majstre mätstation under flera månader, främst april och december. Möjligen bidrar kalkrika jordar till den höga depositionen. Värt att nämna är att Gotland har ett åtgärdsprogram sedan 2015 då flera års mätningar visar på överskridanden av PM10. Vid kemisk analys av partiklarna framgår att en mycket stor andel (15–40 %) består av kalcium. Förklaringar som anges i åtgärdsprogrammet är bland annat att kalksten blandas in i asfalten och även finns i halkbekämpningsmedel (Gotland Åtgärdsprogram Luft, 2015).



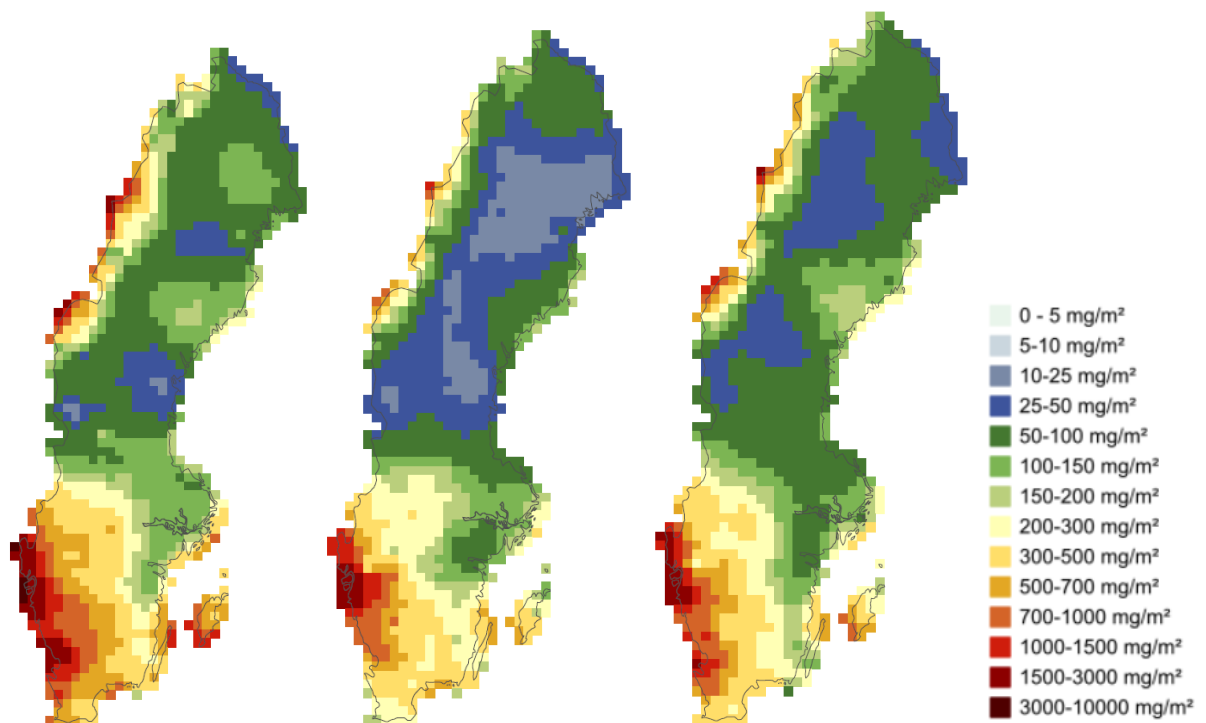
Figur 18. Våtdeposition av kalcium år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger).



Figur 19. Våtdeposition av kalium år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger).



Figur 20. Våtdeposition av magnesium år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger).



Figur 21. Våtdeposition av natrium år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (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 $\mu\text{g m}^{-3}$ samt AOT40 och PODY för grödor och skog.

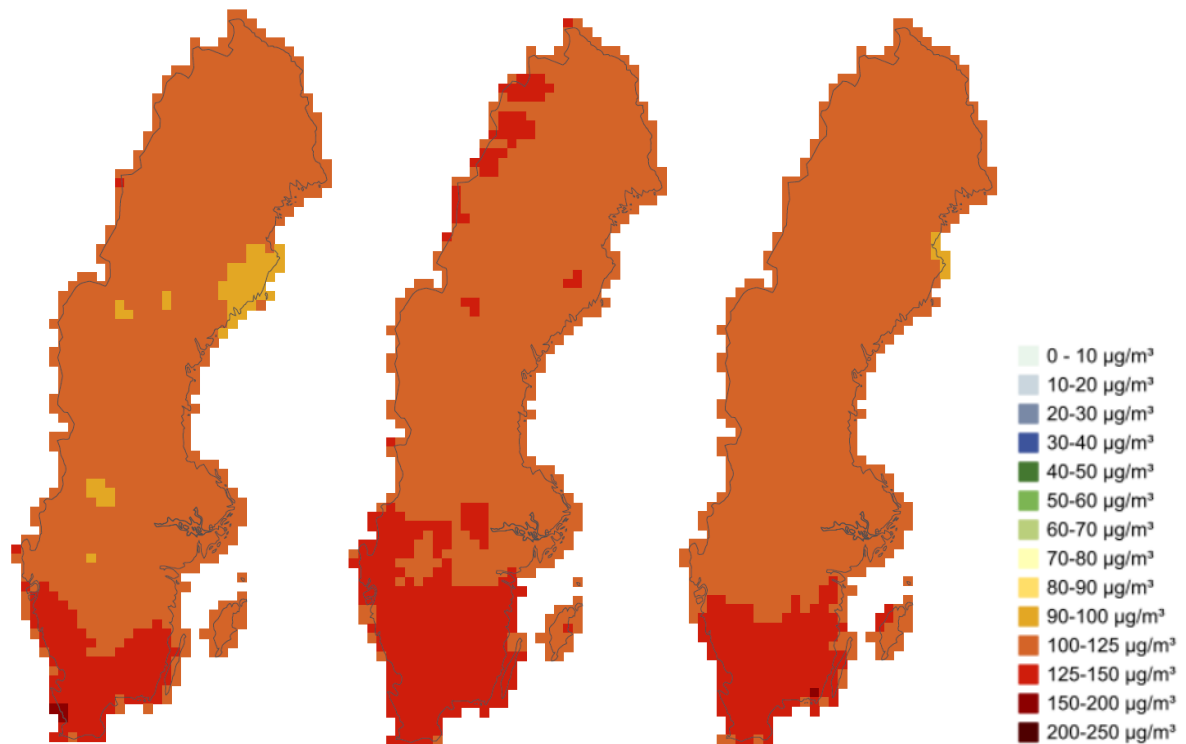
På hemsidan finns förutom dessa resultat också kartor publicerade för årsmedel, sommarmedel, antal timöverskridanden över 80 $\mu\text{g m}^{-3}$ samt hälsomåttet SOMO35.

Figur 22 och 23 visar entimmesmaximum och flytande åttatimmarsmaximum för marknära ozon under 2015-2017. Generellt så nås de högsta värdena i södra Sverige. Under 2017 varierar entimmesmaximum mellan 109 och 162 $\mu\text{g m}^{-3}$. Årets maximala åttatimmarsmedelvärde är också högst i söder och lägre längre norrut. 2017 återfinns ett minimum vid Norrlandskusten i maximalt åttatimmarsmedelvärdet. För flytande åttatimmarsmaximum varierar halten under 2017 mellan 97 och 150 $\mu\text{g m}^{-3}$.

I återanalysprojektet för marknära ozon (Andersson m.fl., 2015) konstateras att under hela den analyserade perioden (år 1990-2013) uppnås timvärden över 180 $\mu\text{g m}^{-3}$ 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 $\mu\text{g m}^{-3}$ per år). I medel över den återanalyserade perioden varierar maximala åttatimmarsmedelvärdet mellan 110 och 160 $\mu\text{g m}^{-3}$ över Sverige. Jämfört med de senaste 10 åren är de tre åren inte extrema, även om 2016 har högre maximala tim- och åttatimmarsmedelvärden än 2015 och 2017. Årets maximala entimmesmedelvärde av 2015-2017 är väldigt likt det genomsnittliga maximala entimmesmedelvärdet för perioden 1990-2013. Halter över 150 $\mu\text{g m}^{-3}$ förekommer alla tre åren i Skåne och Blekinge för årets maximala entimmesmedel (Figur 22). Dessutom förekommer halter över 125 $\mu\text{g m}^{-3}$ i alla tre åren i Götaland för maxvärden åttatimmarsmedel (Figur 23). Under 1990-talet förekom utbredda områden med höga maxvärden nästan varje år och maxvärden över 180 $\mu\text{g m}^{-3}$ ungefär varannat år.



Figur 22. Årets maximala entimmesmedelvärde år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger) för halt i luft av marknära ozon.



Figur 23. Årets maximala åttatimmarsmedelvärde år 2015 (vänster), 2016(mitten) och 2017 (höger) för halt i luft av marknära ozon.

Figur 24 visar antal dagar per år då dygnets maximala flytande åttatimmarsmedelvärde av marknära ozon överskred $70 \mu\text{g m}^{-3}$ under åren 2015-2017. Överskridandena av $70 \mu\text{g m}^{-3}$ är relativt jämt fördelat över landet, men något förhöjda i fjällen och nära kusten. År 2016 inträffar fler dygnsöverskridanden av $70 \mu\text{g m}^{-3}$ längst kusten i östra Svealand och sydöstra Norrland och Gotland än 2015 och 2017. Däremot var det färre dygnsöverskridanden av $70 \mu\text{g m}^{-3}$ i nästan hela Götaland, Norrlands inland och östra kusten samma år.

För 1990-2013 (Andersson m.fl., 2015) är antalet dygn med maximalt flytande åttatimmarsmedelvärde över $70 \mu\text{g m}^{-3}$ 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. Jämfört med den långa perioden var år 2015 högre än genomsnittet, år 2016 och 2017 var närmare till den genomsnittet värden. 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.

Figur 25 visar antal dagar per år då dygnets maximala flytande åttatimmarsmedelvärde av marknära ozon överskred $120 \mu\text{g m}^{-3}$ under åren 2015-2017. Överskridanden av $120 \mu\text{g m}^{-3}$ sker främst i södra Sverige, och under 2016 skedde det i nästan hela Götaland och även i Norrlands fjälltrakter. Flest antal överskridanden skedde i Blekinge år 2016, med cirka 11 dygn över $120 \mu\text{g m}^{-3}$. De flesta överskridanden inträffade under sensommaren 2016, då en ozonepisod nådde norra Europa. Orsaken till episoden är kombination av gynnsamma väderförhållanden för ozonbildning och transport till Sverige, samt utsläpp av antropogena ozonbildande ämnen. Tarrason m.fl. (2017) beskriver att de viktigaste utsläppskällorna till denna ozonepisod är antropogena utsläpp från vägtrafik och industri i Europa. För 2015 skedde de flesta överskridandena i Skåne och kring Göteborg, med som mest cirka 4 dagars överskridande. För 2017 var antal överskridande betydligt mindre, med cirka 3 dagars överskridande i Blekinge och Småland.

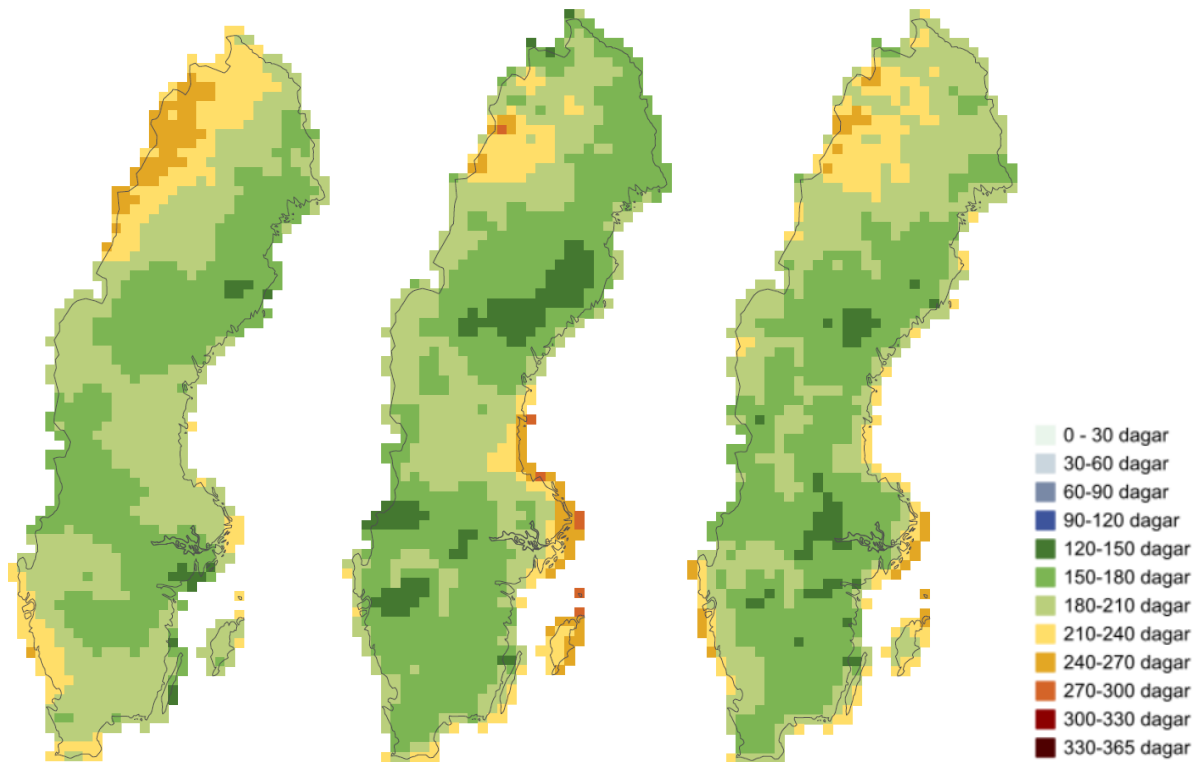
För årligt överskridande av $120 \mu\text{g m}^{-3}$ var medel över hela perioden 1990-2013 (Andersson et al 2015) lågt i norr (upp till 2 dygn) och högre i söder (ca 4-15 dygn), medan maximalt årligt antal överskridandedygn i norr över perioden översteg 10 dygn i vissa områden och i söder låg mellan 10 och 36 dygn. Jämfört med hela perioden 1990-2013 var år 2015 och 2017 låga i överskridandeantal i hela landet. År 2016 var ett år med fler höga halter än normalt, men ingalunda ett extremt år i hela perioden förutom i Blekinge. Överskridandet med fler än 4 dagar utbredd i Norrlands inland 2016 är ovanligt, sist det skedde var i 2013 och 2006 innan dess. Överskridandet i Blekinge med mer än 10 överskridandedagar i 2016 är också ovanligt och har inte skett mer än på enstaka små områden sedan 2013. Variationerna i antal överskridandedagar mellan åren är framför allt en effekt av meteorologisk variabilitet. Långtidstrenden är minskande i söder för överskridande av $120 \mu\text{g m}^{-3}$.

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 volymblandningsförhållande. Vegetationspåverkan var högre under 2016 än 2015 och 2017, och störst påverkan var det i södra Sverige, Svealand (särskilt Stockholmsregionen), Norrlands inland och Gotland. AOT40 för grödor under 2016 i Figur 26 har ett ungefär samma värde som medelvärden över perioden 1990-2013, medan 2015 och 2017 var lägre än medelåret. Detsamma gällde för AOT40 för skog i Figur 27, förutom för Norrlands inland under 2016 och 2017, där vegetationspåverkan på skog nådde nära maximum för perioden 1990-2013. Trenden över 1990-2013 (Andersson et al, 2015) är minskande överallt utom i norra Norrland för både grödor och skogseffekter. Skillnaderna mellan åren 2015-2017 orsakades av meteorologisk variabilitet.

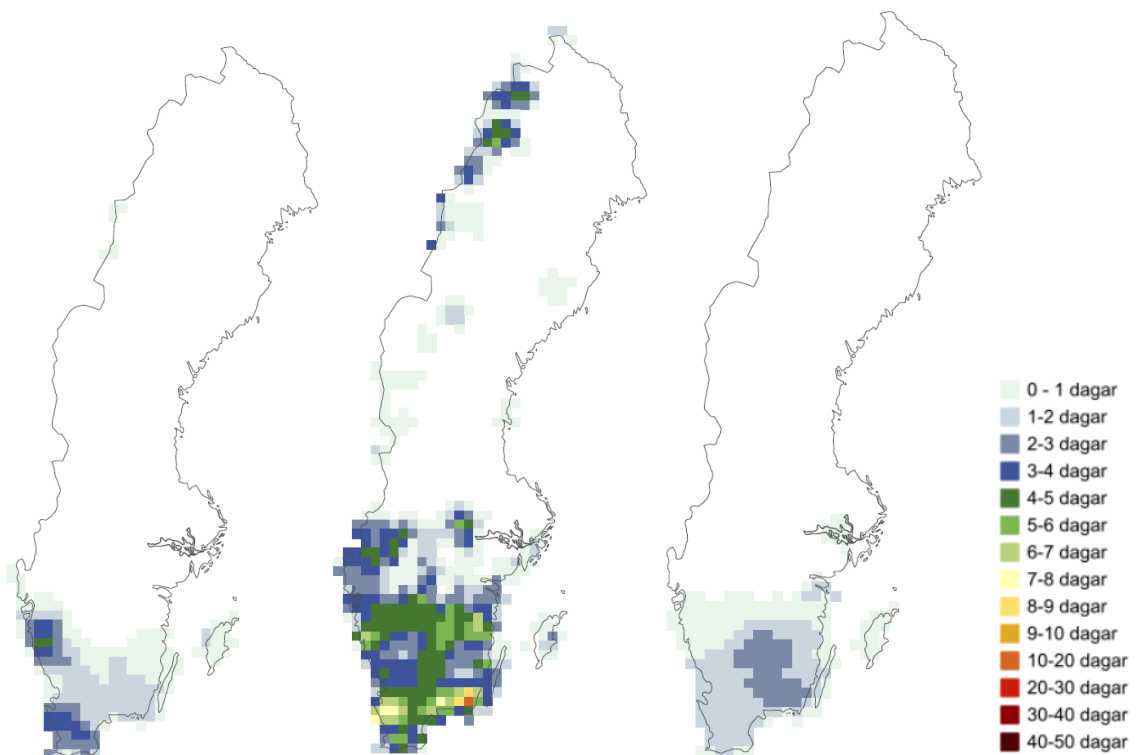
I Figur 28 och 29 visas POD3 för generiska grödor respektive POD1 för generisk lövskog. För POD3 för grödor syns en stark gradient från de högsta värdena i södra Sverige till nordvästra Norrland där halterna är lägst. I Engardt et al (2016) kommenteras att medelvärdet av POD3 skiljer sig mycket åt mellan åren, där 2016 hade dubbelt så högt medelvärde som 2017. Detta trots att somarmedelvärdet inte är så olika.

AOT40 har annorlunda rumslig fördelning än PODY-måtten. Detta orsakas av att PODY beror på de fysikaliska processerna som påverkar ozonupptaget, medan AOT40 är ett haltbaserat tröskelmått. I Figur 26 och 27 visas AOT40 på lägst värden i Norrlands skogsland och inte i fjällen, medan POD är tvärtom. Kartorna för POD1 för lövskog i Figur 29 visar på samma gradient som POD3 från södra Sverige till Norrlandsfjällen, vilket beror mer på stomatakonduktansens variationer hos växterna/träden än på ozonhaltens geografiska variation. Halten av marknära ozon har snarare maximum i fjällkedjan, där PODY-måtten har sina minimum på grund av ogynnsamma temperaturer för tillväxten av grödor och träd.

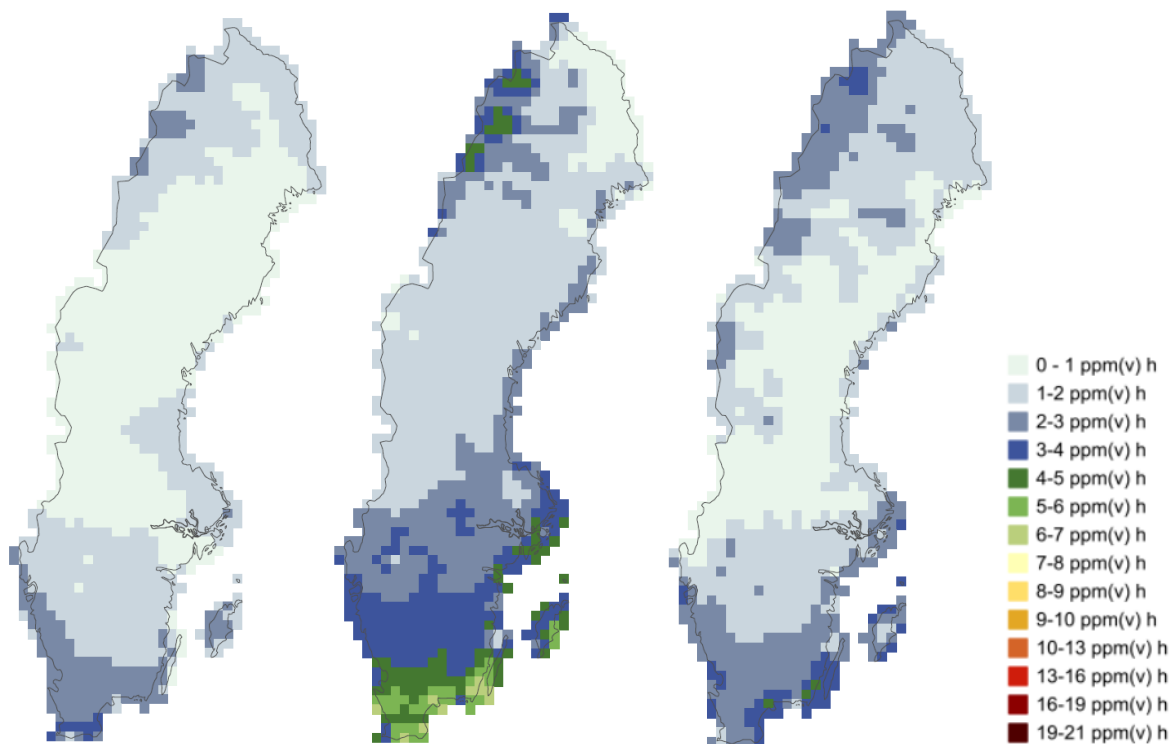
POD1 för lövskog har lägre halter för 2017 än 2015-2016. POD1 har ett lägre tröskelvärde än POD3 vilket gör måttet mer robust. Ett högre tröskelvärde leder till ett mått som varierar mer från år till år eftersom antalet och nivåerna av episoder med höga värden varierar mycket från år till år. Dessutom är det svårare att beskriva de högsta nivåerna med en modell. Dataanalysen i MATCH Sverigesystemet bör ge bättre uppskattning än en ren modellbeskrivning av POD3.



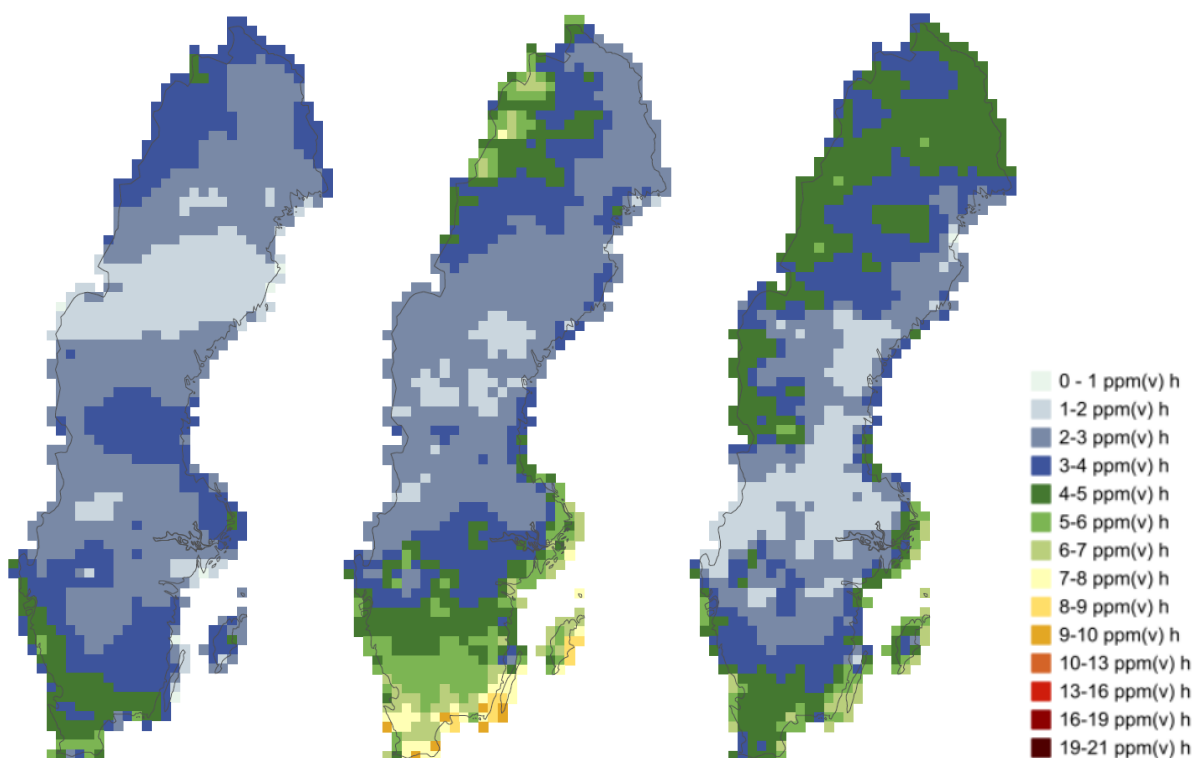
Figur 24. Antal dagar då halt i luft av marknära ozon överstiger $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger).



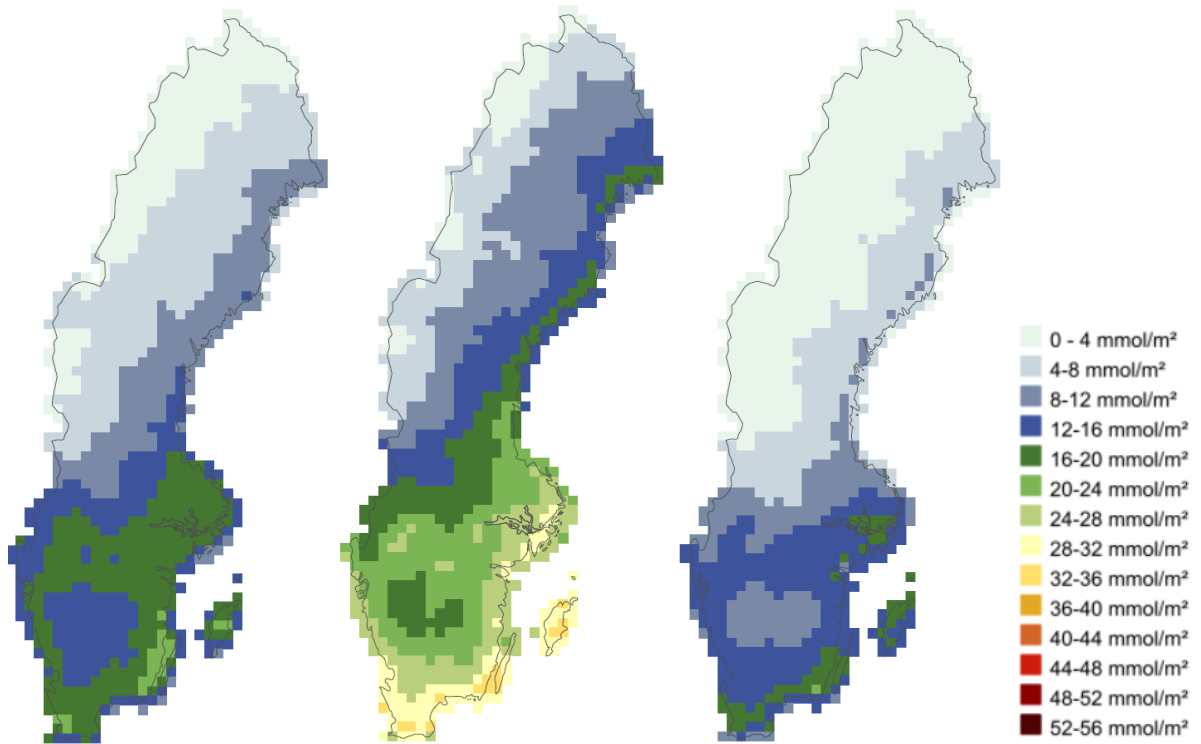
Figur 25. Antal dagar då halt i luft av marknära ozon överstiger $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger).



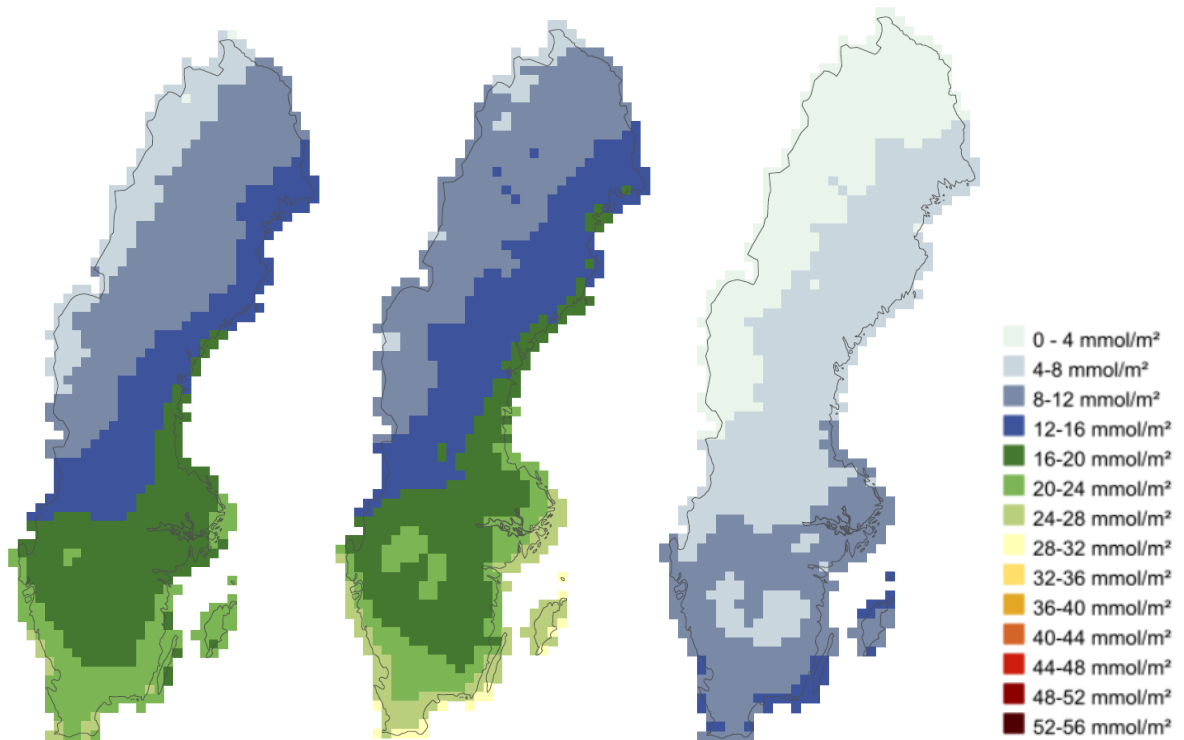
Figur 26. AOT40 för grödor år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger).



Figur 27. AOT40 för skog år 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger).



Figur 28. POD3 för generisk grödor under 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (höger).



Figur 29. POD1 för generisk lövskog under 2015 (vänster), 2016 (mitten) och 2017 (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 verkligheten som möjligt.

De indata som används i MATCH Sverigesystemet är emissionsdata från SMED, ShipAir och EMEP, meteorologiska data från MESAN och ECMWF, markanvändningsdata samt mätdata från IVL och NILU.

Dataassimilationen som görs inom MATCH Sverigesystemet är 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 bakgrundsfält utan man använde sig av en enklare variant av dataassimilation. En metodikförändring gjordes år 2013, som redogörs för i Andersson m.fl. (2014) samt i Alpfjord och Andersson (2015). Med flera metodikförändringar samt ändringar av indata (t ex meteorologimodell) bör trendstudier göras med försiktighet. För trendanalyser rekommenderas resultaten från de två återanalyserna som har gjorts (Andersson m.fl., 2015 och Andersson m.fl., 2018). Dessa två studier använder konsistent metodik och kan jämföras med nuvarande årlig kartläggning (2013 och framåt).

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

Som nämndes i tidigare (avsnitt 2.5) så är torrdepositionsberäkningar fortfarande behäftade med vissa osäkerheter. Dessa osäkerheter diskuteras i rapporten från Klein m.fl. (2002), och har inte uppdaterats sedan dess. Det är önskvärt att titta närmare på de parameteriseringen av torrdepositions hastighet till olika marktper. För reducerat kväve finns dessutom 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 ifrån revisionen, tillsammans med andra möjligheter som framkommit sedan 2016.

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 kvalitetsläsning i kartläggningen.

Dessa behov lyftes av SMHI till IVLs rapport ”Halter och deposition av luftföroreningar på hög höjd i norra Sverige” som publiceras under våren 2019.

Det går att utöka antalet mätstationer för halter i nederbörd som används i systemet genom att också använda fler öppet fältnätningar 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

För år 2017 rapporterade Sverige för första gången modellerade luftkvalitetsdata till EU, som en del av den officiella e-rapporteringen till EEA. Det var halter av marknära ozon, beräknade med MATCH Sverigesystemet som rapporterades under hösten 2018 av SMHI i egenskap av datavärd.

Med stor sannolikhet kommer även en modellkvalitetsutvärdering att behöva bifogas i framtida e-rapporteringar till EU (redan nu finns möjligheten att skicka med utvärderingen). En validering 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. Det kräver dock en arbetsinsats och beräkningsinsats för att utföra korsvalidering. Hur ofta en sådan utvärdering ska utföras bör diskuteras mellan SMHI och Naturvårdsverket.

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.

Sommaren 2018 var ovanligt torrt och varmt som orsakade till en utbröt av skogsbränder i Sverige. Ett arbete att inkludera emissioner från skogsbränder i MATCH Europakörningen har utförts under 2018. Daglig data från CAMS Global Fire Assimilation System (CAMS-GFAS) kommer användas som en del av indata till MATCH Europakörningen. Denna utveckling är en synergieffekt av att SMHI även är en del av CAMS50.

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.

För att beräkna kritisk belastning av försurande ämnen och att göra bedömningar av återhämtning från försurning och skogsbrukets uthållighet är det viktigt att kartlägga även torrdeposition av baskatjoner i MATCH Sverigesystemet. Det möjliggör bättre skattning av nedfall av baskatjoner i olika ekosystem för att minska osäkerheter i totaldepositionen av baskatjoner. Denna produkt är efterfrågad av slutanvändare av vår kartläggning.

Under återanalysen av kväve och svaveldeposition identifierades osäkerheter i torrdepositions hastigheten till vissa marktyper jämfört med IVLs metoder (Andersson m.fl., 2018). Studier visar dessutom på stora skillnader i torrdeposition mellan olika modeller (t.ex. Simpson m.fl., 2015). Ytterligare jämförelser behövs mot strängprovtagare och andra parameteriseringar, men detta ryms inte inom den ordinarie miljöövervakningen. I en sådan översyn kan även torrdeposition av baskatjoner introduceras. Två projektförslag rörande utveckling av torrdeposition av baskatjoner samt förbättring av torrdeposition av kväve skickades under hösten 2018 in till Naturvårdsverket i samarbete med IVL.

En korrekt skattning på det totala kväve- och baskatjonnedfallet till olika ekosystem är ett viktigt underlag vid övergödnings- och försurningsbedömning, och för bedömningar av påverkan på ekosystem och biodiversitet. En utveckling av MATCH Sverigesystemets torrdepositionsbeskrivning för kväveämnen för olika marktyper kan förbättra kartläggningen av kvävedeposition inom den nationella miljöövervakningen, jämföras med kritisk belastning för olika marktyper samt ge ökad kunskap om historisk utveckling för kvävedeposition.

EMEPs griddade emissioner har under 2018 ökat sin upplösning från 50 km till 0,1 grad (cirka 10 km). Utveckling har utförts under början av 2019 för att från och med kartläggningsår 2018 använda dessa data, vilket bör ge MATCH Sverigesystemet en kvalitetshöjning.

6 Referenser

- Andersson, C., Engardt, M., Alpfjord, H., 2015. "Återanalys av marknära ozon i Sverige för perioden 1990-2013". SMHI rapport nr 2015-80.
- Andersson, C., Alpfjord Wylde, H., Engardt M., 2018. "Long-term sulfur and nitrogen deposition in Sweden 1983-2013 reanalysis". SMHI rapport nr 2018-163.
- 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.
- 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.
- Gotland Åtgärdsprogram Luft, 2015. Rapport MHN 2015/434. URL: <https://www.gotland.se/100206>
- 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.
- Joint MSC-W, CCC, CEIP. 2018. "Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components". EMEP Status Report 1/2018.
- Klein, T., Bergström, R., och Persson, C., 2002. "Parametrization of dry deposition in MATCH". SMHI Rapport Meteorologi nr 100.
- Lövlblad, 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. och Thomas M., 2016. "Vulkanutbrottet Bardarbunga/Holuhraun 2014-2015 - Påverkan på luftmiljön i Sverige". SMHI Uppdragsrapport 2016/1.
- 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.
- Tarrason, L., Hamer P., Guerreiro, C., Meleux, F., and Rouil, L., 2017. "Interim Annual Assessment Report. European air quality in 2016". Tech. Rep. CAMS71_2016SC2_D71.1.1.6_IAAR2016_v4.

Bilaga - Publicerat material för MATCH-modellen

Expertgranskade artiklar:

2019

Theobald, M., Vivanco, M.G., Aas, W., Andersson, C., m.fl. 2019. An evaluation of European nitrogen and sulfur wet deposition and their trends estimated by six chemistry transport models for the period 1990-2010. *Atmospheric Chemistry and Physics* 19, 379-405, doi: 105194/acp-19-379-2019.

2018

Kahnert, M. 2018. Information constraints in variational data assimilation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 144, 2230-2244.

Otero, N., Sillman, J., Mar., K.A., Rust, H.W., Solberg, S., Andersson, C., m.fl. 2018. A multi-model comparison of meteorological drivers of surface ozone over Europe. *Atmos. Chem. and Phys.*, 18, 12269-12288. <https://doi.org/10.5194/acp-18-12269-2018>.

Vivanco, M.G., Theobald, M.R., Garcia-Gomez, H., Garrido, J.L., Prank, M., Aas, W., Adani, M., Alyuz, U., Andersson, C., m.fl. 2018. Modelled deposition of nitrogen and sulfur in Europe estimated by 14 air quality model-systems: Evaluation, effects of changes in emissions and implications for habitat protection. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 10199-10218, <https://doi.org/10.5194/acp-18-10199-2018>.

2017

Andersson, C., Alpfjord, H., Robertson, L., Karlsson, P. E. and Engardt, M. 2017. Reanalysis of and attribution to near-surface ozone concentrations in Sweden during 1990–2013, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 13869-13890, <https://doi.org/10.5194/acp-17-13869-2017>.

Colette, A., Andersson, C., Manders, A., Mar, K., Mircea, M., Pay, M.-T., Raffort, V., Tsyro, S., Cuvelier, C., Adani, M., Bessagnet, B., Bergström, R., Briganti, G., Butler, T., Cappelletti, A., Couvidat, F., D'Isidoro, M., Doumbia, T., Fagerli, H., Granier, C., Heyes, C., Klimont, Z., Ojha, N., Otero, N., Schaap, M., Sindelarova, K., Stegehuis, A. I., Roustan, Y., Vautard, R., van Meijgaard, E., Vivanco, M. G., and Wind, P.: EURODELTA-Trends, a multi-model experiment of air quality hindcast in Europe over 1990–2010. 2017. *Geosci. Model Dev.* **10**, 3255-3276, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-3255-2017>, 2017

Engardt, M., Simpson, D., Schwikowski, M. and Granat, L. 2017. Deposition of sulphur and nitrogen in Europe 1900-2050. Model calculations and comparison to historical observations. *Tellus B* **69**, 1328945. doi: 10.1080/16000889.2017.1328945

Kahnert, M. and Andersson, E. 2017. How much information do extinction and backscattering measurements contain about the chemical composition of atmospheric aerosol? *Atmos. Chem. Phys.* **17**, 3423-3444. doi:10.5194/acp-17-3423-2017

Karlsson, P.E., Klingberg, J., Engardt, M., Andersson, C., Langner, J., Pihl Karlsson, G. and Pleijel, H. 2017. 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

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. 2017. Particulate matter air pollution in Europe in a +2 °C warming world. *Atmos. Environ.* **154**, 129-140. doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.01.037

Sofiev, M., Ritenberga, O., Albertini, R., Arteta, J., Belmonte, J., Bernstein, C. G., Bonini, M., Celenk, S., Damialis, A., Douros, J., Elbern, H., Friese, E., Galan, C., Oliver, G., Hrga, I., Kouznetsov, R., Krajsek, K., Magyar, D., Parmentier, J., Plu, M., Prank, M., Robertson, L., Steensen, B. M., Thibaudon, M., Segers, A., Stepanovich, B., Valdebenito, A. M., Vira, J., and Vokou, D. 2017. Multi-model ensemble simulations of olive pollen distribution in Europe in 2014: current status and outlook. *Atmos. Chem. Phys.* **17**, 12341-12360. <https://doi.org/10.5194/acp-17-12341-2017>

Thomas, M.A., Brännström, N., Persson, C., Grahn, H. von Schoenberg, P. and Robertson, L. 2017. Surface air quality implications of volcanic injection heights. *Atmos. Environ.* **166**, 510-518. doi:10.1016/j.atmosenv.2017.07.045

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., Lacressonniere, 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., Rouil, 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., Olivie, 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., Rouil, L., Schaap, M., Segers, A., Sofiev, M., Tarasson, L., Thomas, M., Timmermans, R., Valdebenito, A., 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. m.fl. 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., Lacressonnière, 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. *m.fl.* 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. *m.fl.* 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. *m.fl.* 2009. Skill and uncertainty of a regional air quality model ensemble. *Atmos Environ.* **43**, 4822-4832. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.09.083

2008

- Bennet, C. and Engardt, M. 2008. A regional model for surface ozone in Southeast Asia. *Tellus* **60B**, 718-728. DOI: 10.1111/j.1600-0889.2008.00378.x
- Carmichael, G.R., Sakurai, T., Streets, D., Hozumi, Y., Ueda, H., Park, S.U., Fung, C., Han, Z., Kajino, M., Engardt, M., Bennet, C., Hayami, H., Sartelet, K., Holloway, T., Wang, Z., Kannari, A., Fu, J., Matsuda, K., Thongboonchoo, N. and Amann M. 2008. MICS-Asia II: The model intercomparison study for Asia Phase II methodology and overview of findings. *Atmos. Environ.* **42**, 3468-3490. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.04.007
- Engardt, M. 2008. Modelling of near-surface ozone over South Asia. *J. Atmos. Chem.* **59**, 61-80. DOI:10.1007/s10874-008-9096-z.

- Han, Z., Sakurai, T., Ueda, H., Carmichael, G.R., Streets, D., Hayami, H., Wang, Z., Holloway, T., Engardt, M., Hozumi, Y., Park, S.U., Kajino, M., Sartelet, K., Fung, C., Bennet, C., Thongboonchoo, N., Tang, Y., Chang, A., Matsuda, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Model Intercomparison and evaluation of ozone and relevant species. *Atmos. Environ.* **42**, 3491-3509. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.07.031
- Hayami, H., Sakurai, T., Han, Z., Ueda, H., Carmichael, G.R., Streets, D., Holloway, T., Wang, Z., Thongboonchoo, N., Engardt, M., Bennet, C., Fung, C., Chang, A., Park, S.U., Kajino, M., Sartelet, K., Matsuda, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Model intercomparison and evaluation of particulate sulfate, nitrate and ammonium. *Atmos. Environ.* **42**, 3510-3527. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.08.057
- Hole, L. and Engardt, M. 2008. Climate change impact on atmospheric nitrogen deposition in Northwestern Europe: A model study. *Ambio* **37**, 9-17.
- Holloway, T., Sakurai, T., Han, Z., Ehlers, S., Spak, S.N., Horowitz, L.W., Carmichael, G.R., Streets, D.G., Hozumi, Y., Ueda, H., Park, S.U., Fung, C., Kajino, M., Thongboonchoo, N., Engardt, M., Bennet, C., Hayami, H., Sartelet, K., Wang, Z., Matsuda, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Impact of global emissions on regional Air Quality in Asia. *Atmos. Environ.* **42**, 3543-3561. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.10.022
- Kahnert, M. 2008. Variational data analysis of aerosol species in a regional CTM: Background error covariance constraint and aerosol optical observation operators. *Tellus* **60B**, 753-770.
- Wang, Z., Xie, F., Sakurai, T., Ueda, H., Han, Z., Carmichael, G.R., Streets, D., Engardt, M., Holloway, T., Hayami, H., Kajino, M., Thongboonchoo, N., Bennet, C., Park, S.U., Fung, C., Chang, A., Sartelet, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Model inter-comparison and evaluation of acid deposition. *Atmos. Environ.* **42**, 3528-3542. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.12.071

2007

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

2006

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

2005

- Engardt, M., Siniarovina, U., Khairul, N.I. and Leong, C.P. 2005. Country to country transport of anthropogenic sulphur in Southeast Asia. *Atmos. Environ.* **39**, 5137-5148.
- Foltescu, V.L., Pryor, S.C. and Bennet C. 2005. Sea salt generation, dispersion and removal on the regional scale *Atmos. Environ.* **39**, 2123-2133.

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

2004

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

2003

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

2002

- Carmichael, G.R., Calori, G., Hayami, H., Uno, I., Cho, S.Y., Engardt, M., Kim, S.-B., Ichikawa, Y., Ikeda, Y., Woo, J.-H., Ueda, H. and Amann, M. 2002. The MICS-Asia study: model intercomparison of long-range transport and sulfur deposition in East Asia. *Atmos. Environ.* **36**, 175-199.
- Gallardo, L., Olivares, G., Langner, J. and Aarhus, B., 2002. Coastal lows and sulfur air pollution in Central Chile. *Atmos. Environ.* **36**, 3829-3841.
- Gidhagen, L., Kahelin, H., Schmidt-Thomé, P. and Johansson, C., 2002. Anthropogenic and natural levels of arsenic in PM10 in Central and Northern Chile. *Atmos. Environ.* **36**, 8303-8317.
- Kjellström, E., Holmén, K., Eneroth, K. and Engardt, M., 2002, Summertime Siberian CO₂ simulations with the regional transport model MATCH: A feasibility study of carbon uptake calculations from EUROSIB data. *Tellus* **54B**, 834-849.
- Lövblad, G., Persson, C., Staaf, H. and Wilander, A. 2002. Nationella dataunderlag för karteringarna. In: *Kritisk belastning för svavel och kväve*. (Eds: U. Bertills and G. Lövblad). Naturvårdsverket **Rapport 5174**, pp. 28-38. (In Swedish).
- Olivares, G., Gallardo, L., Langner, J. and Aarhus, B., 2002. Regional dispersion of oxidized sulfur in Central Chile. *Atmos. Environ.* **36**, 3819-3828.
- Tilmes, S., Brandt, J., Flatøy, F., Bergström, R., Flemming, J., Langner, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Hov, Ø., Jacobsen, I., Reimer, E., Stern, R. and Zimmermann, J. 2002. Comparison of five Eulerian air pollution forecasting systems for the summer of 1999 using the German Ozone monitoring data. *J. Atmos. Chem.* **42**, 91-121.

2001

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

2000

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

1999

- Engardt, M. and Holmén, K. 1999. Model simulations of anthropogenic-CO₂ transport to an Arctic monitoring station during winter. *Tellus* **51B**, 194-209.
- Robertson, L., Langner, J. and Engardt, M. 1999. An Eulerian limited-area atmospheric transport model. *J. Appl. Meteor.* **38**, 190-210.

1998

- Langner, J., Robertson, L., Persson, C. and Ullerstig, A. 1998. Validation of the operational emergency response model at the Swedish meteorological and hydrological institute using data from ETEX and the Chernobyl accident. *Atmos. Environ.* **32**, 4325-4333.
- Robertson, L. and Langner, J. 1998. Source function estimate by means of variational data assimilation applied to the ETEX-1 tracer experiment. *Atmos. Environ.* **32**, 4219-4225.

1996

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

1995

- Langner, J., Persson, C. and Robertson, L. 1995. Concentration and deposition of acidifying air pollutants over Sweden: Estimates for 1991 based on the MATCH model and observations. *Water Air and Soil Pollution* **85**, 2021-2026.
- Robertson, L., Rodhe H. and Granat, L. 1995. Modelling of sulfur deposition in the southern Asian region. *Water, Air and Soil Pollution* **85**, 2337-2343.

1993

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

1987

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

Bokkapitel:

2011

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

2010

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

2009

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

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

2007

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

2003

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

Tekniska rapporter:

2018

Andersson, C., Alpfjord Wylde, H., Engardt, M. 2018 Long-term sulfur and nitrogen deposition in Sweden: 1983-2013 reanalysis. SMHI report in meteorology 163, 102pp.

Colette, A., Tognet, F., Letinois, L., Couvidat, F., Alonso del Amo, R.M., Gonzalez Fernandez, I.A., Rabago Juan-Aracil, I., Harmens, H., **Andersson, C.**, Tsyro, S., Manders, A., Mircea, M. 2018 Long-term evolution of the impacts of ozone air pollution on agricultural yields in Europe. A modelling analysis for the 1990-2010 period. Eionet report – ETC/ACM 2018/15. Nov 2018.

Colette, A., Simone Schucht, Giancarlo Ciarelli, Laurent Létinois, Frédéric Meleux, **Andersson, C.**, C. Cuvelier, A. Manders, K.A. Mar, M. Mircea, M.T. Pay, V. Raffort, S. Tsyro, M. Adani, R. Bergström, B. Bessagnet, G. Briganti, A. Cappelletti, F. Couvidat, M. D'Isidoro, H. Fagerli, N. Ojha, N. Otero, P. Wind. 2018. Long-term air quality trends in Europe Fine Particulate Matter (PM2.5) Health Impacts. ETC/ACM Technical Paper 2017/4. April 2018. http://acm.eionet.europa.eu/reports/docs/ETCACM_TP_2017_4_AQTrendsHIA.pdf

2017

Alpfjord och **Andersson, 2017**. Nationell miljöövervakning med MATCH Sverigesystemet - utvärdering och resultat för åren 2013-2015. SMHI Uppdragsrapport nr 2017/15.; https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.117569!/Slutrappport2013-15_M%C3%96.pdf

2016

Engardt, M., Alpfjord, H., Andersson, C. *PODY-beräkningar med MATCH Sverigesystemet*. **SMHI Meteorologi Nr 160**, 16 pp (In Swedish).

Sjöberg, ... **Andersson** and Josefsson, 2016. Nationell luftövervakning. Sakrapport med data från övervakning inom programområde luft t.o.m. 2015. IVL rapport nr C 224 oktober 2016. <http://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/miljoovervakning/Luft/ivl-rapport-c224-nationell-luft%C3%B6vervakning-sakrapport2015.pdf> (in Swedish)

Windmark, F., Jakobsson, M., Segersson, 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

Andersson, C., Södergren, H. och Torstensson, M. 2015. Metodförändring och utvärdering av MATCH-Sverigesystemet. SMHI rapport nr 2014-16. (in Swedish)

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., Ekebom, A. and Östensson, P. 2013. Kartbaserad prognosinformation till astmatiker och andra känsliga grupper om luftkvaliteten. SLB-analys, Environment and Health administration, SLB 3:2013, 20 pp. (In Swedish).
- Pihl Karlsson, G., Karlsson P.E., Akselsson, C., Kronnäs, V. and Hellsten, S. 2013. Krondroppsnetzets 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., Rehngrén, 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).
- Södergren, H., Holmin-Fridell, S., **Andersson, C.** and Persson, C. 2013. Nationell miljöövervakning med MATCH-Sverige systemet. *SMHI report. (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 PM_{2.5} i svenska trafikmiljöer för framtidsscenarioer med minskade europeiska emissioner*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 140**, 56 pp. (In Swedish).

2009

...

2008

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

2007

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

2006

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

2005

- Derwent, R.G., Grennfelt, P., Hov, Ø., Langner, J., Lindskog, A. and Solberg, S. 2005. *The development of European surface ozone. Implications for a revised abatement policy. A contribution from the EU research project NEPAP*. EMEP/CCC-Report 1/2005.
- Langner, J., Bergström, R., Nerhagen, L. and Forsberg, B. 2005. *Final report: Economic valuation of environmental effects of NO_x-emissions from air traffic at different altitudes*. SMHI Dnr 2004/2071/1934.
- Marmefelt, E. and Olsson, H. 2005. *Integrerat kustzonssystem för Hallandskusten*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Oceanografi Nr. 80**. 42pp. (In Swedish).

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

2004

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

Laurila, T., Jonson, J.E., Langner, J., Sundet, J., Tuovinen, J.-P., Bergström, R., Foltescu, V., Tarvainen, V. and Isaksen, I.S.A. 2004. *Ozone exposure scenarios in the Nordic countries during the 21st century*. **EMEP/MSC-W Technical Report 2/2004**. Norwegian Meteorological Institute, Oslo. 41 pp.

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Hallands län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1618**. 26 pp. (In Swedish).

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Blekinge län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1621**. 21 pp. (In Swedish).

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Jönköpings län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1622**. 21 pp. (In Swedish).

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Östergötlands län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1623**. 22 pp. (In Swedish).

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Södermanlands län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1624**. 22 pp. (In Swedish).

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Västra Götalands län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1625**. 31 pp. (In Swedish).

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Örebro län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1626**. 18 pp. (In Swedish).

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Stockholms län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1627**. 36 pp. (In Swedish).

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i norra Sverige. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1628**. 41 pp. (In Swedish).

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Dalarna och Gävleborgs län. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1629**. 12 pp. (In Swedish).

Liljergren, A. (redaktör). 2004. *Övervakning av luftföroreningar i Skåne. Resultat till och med september 2004*. **IVL rapport B1631**. 31 pp. (In Swedish).

van Loon, M., Roemer, M.G.M., Builtjes, P.J.H., Bessagnet, B., Rouil, L., Christensen, J., Brandt, J., Fagerli, H., Tarrason, L., Rodgers, I., Teasdale, I., Stern, R., Bergström, R., Langner, J. and Foltescu, V. 2004. *MODEL INTER-COMPARISON In the framework of the review of the Unified EMEP model*. **TNO-report R2004/282**, 53 pp. Available at www.mep.tno.nl.

Lövblad, G., Persson, C., Klein, T., Ruoho-Airola, T., Hovmand, M., Tarrason, L., Tørseth, K., Moldan, F., Larssen, T. and Rapp, L. 2004. *The deposition of base cations in the Nordic countries*. **IVL report B1583**. 36 pp.

Persson, C., Ressner, E. and Klein, T. 2004. *Nationell miljöövervakning – MATCH-Sverige modellen. Metod- och resultatsammanställning för åren 1999-2002 samt diskussion av osäkerheter, trender och miljömål*. **SMHI Meteorologi Nr. 113**, 32 pp. (In Swedish).

Robertson, L. 2004. *Extended back-trajectories by means of adjoint equations*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 105**, 37 pp.

2003

Hass, H., van Loon, M., Kessler, C., Stern, R. Matthijsen, J., Sauter, F., Zlatev, Z., Langner, J., Foltescu, V. and Schaap, M. 2003. *Aerosol modelling: Results and intercomparison from European regional-scale modelling systems*. A contribution to the EUROTRAC-2 subproject **GLOREAM**. International Scientific Secretariat (ISS), GSF – National Research Center for Environment and Health, Munich, Germany.

(Available at
www.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-Ispira 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 Skåne-regionen*. **SMHI, Meteorologi** (In Swedish).

1986

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

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

SMHI

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