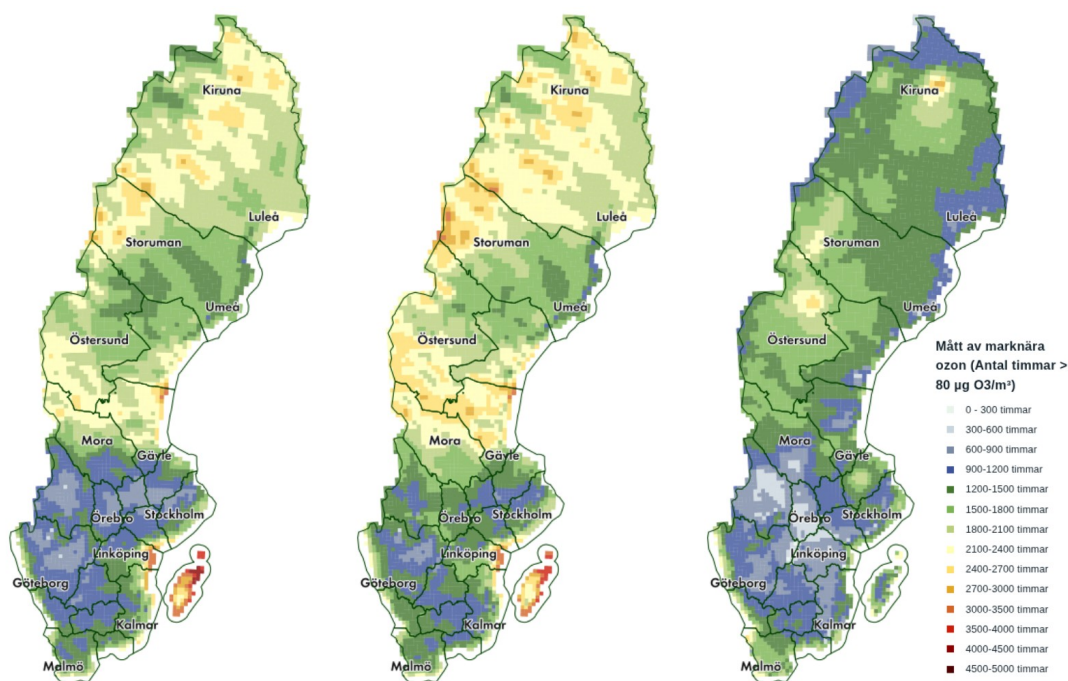


Daniel Montecinos, Maria Grundström, Wing Leung, Joakim Langner

Nr 2025-35

## Nationell miljöövervakning med MATCH Sverigesystemet

- utvärdering och resultat för åren 2021–2023



Titelbild: Antal timmar med halter av marknära ozon över  $80 \mu\text{g m}^{-3}$  under 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).

## Nationell miljöövervakning med MATCH Sverigesystemet

### Utvärdering och resultat för åren 2021–2023

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rapportförfattare</b><br><br>Daniel Montecinos, SMHI<br>Maria Grundström, SMHI<br>Wing Leung, SMHI<br>Joakim Langner, SMHI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Utgivare</b><br>SMHI<br><br><b>Postadress</b><br>Folkborgsvägen 17, 601 76 Norrköping<br><b>Telefon</b><br>+46 (0)11 495 80 00 |
| <b>Rapporttitel och undertitel</b><br>Nationell miljöövervakning med MATCH<br>Sverigesystemet<br>Utvärdering och resultat för åren 2021–2023                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Beställare</b><br>Naturvårdsverket<br>106 48 Stockholm<br><b>Finansiering</b><br>Nationell Miljöövervakning                    |
| <b>Nyckelord för plats</b><br>Sverige                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                   |
| <b>Nyckelord för ämne</b><br>Luftföroreningar, atmosfäriskt nedfall, svavel, kväve, marknära ozon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                   |
| <b>Tidpunkt för insamling av underlagsdata</b><br>2021 – 2023                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                   |
| <b>Sammanfattning</b><br><p>MATCH Sverigesystemet är ett operativt system inkluderande en atmosfärisk spridningsmodell, där regionalskaliga modellberäkningar och mätdata kombineras för att kartlägga aktuella förhållanden och följa förändringar i tiden av såväl luftkoncentrationer som deposition av svavel, kväve och baskatjoner över Sverige. De nationella miljömål som framför allt berörs är "Ingen försurning", "Bara naturlig övergödning" och "Frisk luft".</p> <p>Halter i luft och deposition till mark presenteras för svavel, kväve och baskatjoner för åren 2021–2023. Ett antal statistiska mått för halter i luft och deposition av marknära ozon presenteras också.</p> <p>Mest kväve-, svavel- och ozondeposition sker i de sydvästra delarna av Sverige, medan minst deposition sker i Norrlands inland. För totaldepositionen av kväve och svavel samt halterna av marknära ozon beror variationen mellan de tre åren på meteorologisk variabilitet, men pandemiåret 2020, med kraftiga utsläppsminskningar till följd av restriktioner i Europa, hade också markant effekt på luftföroreningshalterna.</p> <p>Totaldepositionen av oxiderat svavel exklusive havssalt (XSOX) är under de senaste åren lägst av alla inkluderade år (1998–2021). Längst kusterna är depositionen lägre på grund av SECA-områdets krav på lägre svavelhalter i marina bränslen efter år 2015. Det svenska bidraget är ungefär detsamma för de tre åren, vilket indikerar att framför allt långdistanstransportbidragets förändring orsakar minskningen av totaldeposition.</p> <p>De högsta halterna av marknära ozon (antal dagar då halterna överstiger 120 µg/m<sup>3</sup>) inträffade under 2023, med främst ett tiotal överskridanden i Uppland.</p> <p>Jämfört med perioden 1990–2013 inget av de analyserade åren utgjorde ett så kallat extremår. För ozondeposition till växter (ozonupptag), för de kartlagda åren, framträder det en kraftig gradient från fjällområdena i nordväst där värdena är mycket låga till sydligaste Sverige där värdena är högre för både POD<sub>1gen</sub>-lövskog och POD<sub>3gen</sub>-grödor.</p> <p>Under 2019 har PODY (Phytotoxic Ozone Dose above a flux threshold of Y) för björk, gran, vete och potatis implementerats i modellsystemet MATCH Sverige, och PODY för generiska grödor och lövskog uppdaterats (Langner et al, 2019). Under 2022 undersöktes för POD<sub>1spec</sub> för gran och björk, med slutsats om att publicerade resultat är korrekta (Andersson och Langner, 2022). En återanalys tas nu fram och planeras vara klar tidigt 2026.</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, rapporteras nu årligen av SMHI i egenskap av datavärd.</p> |                                                                                                                                   |



NATIONELL  
MILJÖÖVERVAKNING  
PÅ UPPDRAG AV  
NATURVÅRDSVERKET

ÄRENDENUMMER NV-02787-21  
AVTALSNUMMER 211-21-009  
PROGRAMOMRÅDE LUFT  
DELPROGRAM Spridningsberäkningar med  
Sverigemodellen (MATCH  
Sverigesystemet)

Under 2022 har upplösningen av MATCH resultaten ökat från 22 km till 11 km. Detta innebär en markant kvalitetshöjning för användarna.





## Sammanfattning

MATCH Sverigesystemet är ett operativt system som inkluderar en atmosfärkemisk spridningsmodell. Systemet kombinerar regionalskaliga modellberäkningar med mätdata för att kartlägga aktuella förhållanden och följa förändringar över tid i både luftkoncentrationer och deposition av svavel, kväve och baskatjoner över Sverige. De nationella miljömål som främst berörs är *”Ingen försurning”*, *”Bara naturlig övergödning”* och *”Frisk luft”*.

Uppdraget omfattar spridningsmodellering baserad på emissionsdata från SMED (Svenska miljöemissionsdata) samt detaljerade, tredimensionella meteorologiska data med tre timmars tidsupplösning. En viktig del av arbetet är även dataassimilation av mätdata från svenska och norska mätstationer inom European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) och Luft och Nederbörd (LN), som ingår i det nya mätnätverket SveLoD. Även mätdata från ett par stationer inom den Integrerade Miljöövervakningen (IM) används.

Halter i luft och deposition till mark för svavel, kväve och baskatjoner presenteras för åren 2021–2023. Även ett antal statistiska mått för halter i luft och marknära ozondeposition redovisas.

Den största depositionen av kväve och svavel sker i de sydvästra delarna av Sverige, medan de lägsta nivåerna återfinns i Norrlands inland. Den största depositionen av marknära ozon (PODY; Phytotoxic Ozone Dose above a flux threshold of Y) sker i kustområdena i södra Sverige. Variationerna i totaldeposition av kväve och svavel, liksom halterna av marknära ozon, mellan åren 2021–2023 förklaras huvudsakligen av meteorologiska variabilitet.

Totaldepositionen av oxiderat svavel exklusive havssalt (XSOX) är under de senaste åren lägst av alla inkluderade år (1998–2023). Längst kusterna är depositionen lägre på grund av SECA-områdets krav på lägre svavelhalter i marina bränslen efter år 2015. Det svenska bidraget är ungefär detsamma för de tre åren, vilket indikerar att framför allt långdistanstransportbidragets förändring orsakar minskningen av totaldeposition.

De högsta halterna av marknära ozon (antal dagar då halterna överstiger  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) inträffade under 2023, med främst ett tiotal överskridanden i Uppland. Jämfört med perioden 1990–2013 var dock inget av de ingående åren något extremår, såsom 2019 var då överskridanden av miljökvalitetsnormen observerades i nästan hela landet.

För ozondeposition till växter (ozonupptag), för de kartlagda åren, framträder det en kraftig gradient från fjällområdena i nordväst där värdena är mycket låga till sydligaste Sverige, speciellt utmed kusterna, där värdena är högre för både POD1gen-lövskog och POD3gen-grödor.

Under 2019 implementerades PODY för björk, gran, vete och potatis i modellsystemet MATCH Sverige. Samtidigt uppdaterades PODY för generiska grödor och lövskog (Langner et al, 2019). Under 2024-2025 genomförs en återanalys för PODY för att ta fram ett tidskonsistent dataset som spänner över många år, för att möjliggöra trendanalys och användning för långtids-exponeringsstudier.

Sedan hösten 2018 rapporteras årligen modellerade luftkvalitetsdata för Sverige till EU som en del av den officiella e-rapporteringen till EEA. Halter av marknära ozon, beräknade med MATCH Sverigesystemet, rapporteras av SMHI i egenskap av datavärd.

Under 2021 ökade upplösningen i MATCH-resultaten från 22 km till 11 km, vilket innebär en markant kvalitetshöjning för användarna. Under kartläggningsåret 2023 påtvingades en större uppdatering av MATCH-Sverigesystemet på grund av en ny superdator. Uppdateringen till en ny teknisk lösning medförde uppdateringar av modellkod och version (t.ex. depositionsschemat i MATCH Sverigemodellen), vilket kan påverka halter och deposition så att skillnader mot tidigare år inte enbart orsakas av meteorologisk variabilitet. Denna typ av förändringar är mer eller mindre oundvikliga i ett operationellt system och en viktig orsak till att återanalyser genomförs med jämna mellanrum, där kartläggningen för flera år bör vara tidskonsistent vilket möjliggör trendanalys och andra jämförelser över tid. I ett operationellt system bör jämförelser över tid alltid göras med försiktighet.



## Innehållsförteckning

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SAMMANFATTNING.....</b>                                             | <b>3</b>  |
| <b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING.....</b>                                       | <b>5</b>  |
| <b>FÖRORD.....</b>                                                     | <b>1</b>  |
| <b>1 INLEDNING</b>                                                     | <b>1</b>  |
| <b>2 METODIK I MATCH SVERIGESYSTEMET</b>                               | <b>2</b>  |
| 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                                         | 5         |
| 2.6 Statistiska mått för marknära ozon                                 | 5         |
| 2.7 Emissionsdata                                                      | 6         |
| 2.8 Svenska och norska mätstationer                                    | 6         |
| <b>3 RESULTAT</b>                                                      | <b>9</b>  |
| 3.1 Väderåren 2021–2023                                                | 9         |
| 3.2 Luftföroreningshalter 2021–2023                                    | 10        |
| 3.2.1 Luftföroreningshalter av kväve och svavel                        | 10        |
| 3.3 Deposition 2021–2023                                               | 14        |
| 3.3.1 Deposition av oxiderat kväve                                     | 14        |
| 3.3.2 Deposition av reducerat kväve                                    | 17        |
| 3.3.3 Deposition av oxiderat svavel utan respektive med havssaltsvavel | 20        |
| 3.3.4 Våtdeposition av basketjoner                                     | 25        |
| 3.4 Marknära ozon                                                      | 27        |
| <b>4 UTVÄRDERING AV MODELLSYSTEMET OCH DISKUSSION OM FELKÄLLOR</b>     | <b>37</b> |
| 4.1 Meteorologiska indata                                              | 38        |
| 4.2 Modeller                                                           | 38        |
| 4.3 Emissionsdata                                                      | 38        |
| 4.4 Mätdata                                                            | 39        |
| <b>5 FRAMTIDA UTVECKLINGSMÖJLIGHETER OCH BEHOV</b>                     | <b>40</b> |
| 5.1 Mätdata                                                            | 40        |
| 5.2 Modellerade resultat i e-rapportering till EU                      | 40        |
| 5.3 Utveckling av MATCH Sverigesystemet                                | 40        |
| 5.3.1 Ökad upplösning i MATCH Sverigesystemet                          | 40        |
| 5.3.2 Pågående utvecklingsaktiviteter                                  | 42        |

5.3.3 Önskvärda utvecklingsaktiviteter 43

**6 INTERNATIONELLA SAMARBETEN 46**

**7 REFERENSER 47**

**BILAGA - PUBLICERAT MATERIAL FÖR MATCH-MODELLEN.....50**

## Förord

Denna rapport presenterar kartläggning av halt i luft och deposition för åren 2021–2023, vilken har utförts samt finansierats inom ramen för Naturvårdsverkets nationella miljöövervakning.

Två studier och rapporter har tidigare gjorts kring implementationen av PODY. PODY för generisk lövskog och generiska grödor implementerades i MATCH Sverigesystemet under 2015–2016 (Engardt m.fl., 2016). Under 2019 implementerades PODY för björk, gran, vete och potatis, samtidigt som PODY för generiska grödor och lövskog uppdaterades (Langer m.fl., 2019).

Två återanalysstudier har genomförts med MATCH Sverigesystemet. Den första återanalysen omfattar marknära ozon över Sverige och Norge för perioden 1990–2013 (Andersson m.fl., 2015; Andersson m.fl., 2017). Den andra gäller deposition av svavel och kväve för åren 1983–2013 (Andersson m.fl., 2018) och inkluderar Skandinavien, större delen av Östersjön, Finland samt omkringliggande landområden. Under 2024–2025 genomförs en återanalys för PODY samt utveckling och modernisering av metodiken för hela MATCH Sverigesystemet.

## 1 Inledning

MATCH Sverigesystemet är ett system som kombinerar mätningar (observationer) av atmosfärkemiska data med resultat från den fysikaliska modellen MATCH, som hanterar spridning, luftkemi och deposition på både europeisk och nationell nivå. På nationell nivå används en version som är särskilt anpassad för beräkningar baserade på svenska emissioner, där även en meso-skalig analyserad meteorologi utnyttjas.

Delfprogrammet startade som ett forskningsprojekt med stöd från Naturvårdsverkets forskningskommitté för luft under perioden 1993–1994. MATCH Sverigesystemet har använts för nationell miljöövervakning sedan 1991, vilket beskrivs i Persson m.fl. (1995). Ett flertal studier har genomförts tidigare och redovisas bland annat i Persson m.fl. (2004), där systemet presenteras utförligt, samt i Lövblad m.fl. (2004), som studerade baskatjoner med MATCH-metodik. Metodik och resultat för åren 1998–2011 finns sammanfattade i Södergren m.fl. (2013), och metodutveckling som implementerades från övervakningsår 2013 redovisas i Andersson m.fl. (2014) och Andersson och Alpfjord (2015). Implementeringen av PODY för generisk lövskog och generiska grödor beskrivs i Engardt m.fl. (2016), medan den nya PODY-implementeringen för björk, gran, vete och potatis redovisas i Langner m.fl. (2019). Denna rapport presenterar ozonresultat för åren 2021–2023, inklusive PODY.

MATCH Sverigesystemet har genomgått omfattande utvecklingar under övervakningsåren 2004–2005 samt ytterligare förbättringar under 2009, 2010, 2013, 2021 och 2023. Under perioden 1998–2004 ingick inte beräkningar med MATCH över hela Europa som en del i MATCH Sverigesystemet. Metodiken där MATCH-Europa används som första gissningsfält infördes för beräkningsåret 2005 (se beskrivning nedan). Från och med 2013 förändrades metodiken igen, så att dataassimilationen nu sker på totalhalter istället för på beräknat långtransportbidrag. För beräkningsåret 2021 har upplösningen förbättrats från 0,2° (cirka 22 km) till 0,1° (cirka 11 km). Under beräkningsåret 2023 uppdaterades MATCH Sverigesystemet till en ny superdator vilket kan påverka de kartlagda resultaten något för året, och skillnader mellan tidigare år och 2023 kan således ha skett av tekniska orsaker och bör inte övertolkas. För närvarande finns beräkningsdata för åren 1998–2023 tillgängliga online.

Eftersom en stor del av förurning och övergödning i Sverige kan härledas till långdistanstransport från övriga Europa, finns ett särskilt intresse av att särskilja bidrag från svenska utsläpp och från övriga Europa i miljöövervakningen. Denna uppdelning finns tillgänglig för samtliga år som publicerats online, 1998–2023. Dessutom redovisas nederbördens bidrag (våtdeposition) av kväve, svavel och baskatjoner, både exklusive och inklusive havssaltsbidrag. Från och med 2013 publiceras även ett antal mått för marknära ozon på webben, numera även inkluderande PODY. Resultat presenteras för total- och torrdeposition av kväve och svavel, samt för halter av marknära ozon, kväve- och svavelkomponenter i luft.

Nedan följer en översiktlig beskrivning av den metodik som infördes med beräkningarna för år 2005, samt de uppdateringar som har implementerats i den nuvarande metodiken under 2013 och 2021. De osäkerheter som är förknippade med metodiken diskuteras översiktligt.

## 2 Metodik i MATCH Sverigesystemet

Både modellerade och uppmätta data innehåller felkällor och osäkerheter. Genom att kombinera mätningar och modellering skapas ett kraftfullt verktyg som kombinerar de bästa egenskaperna hos både observationer och modeller. Med hjälp av dataassimilation justeras de modellerade resultaten med uppmätta värden, baserat på statistiska metoder som tar hänsyn till osäkerheterna i både mätdata och modellberäkningar. Resultat är en så kallad ”dataanalys” – en approximation av det ”sanna” tillståndet, där information från både modell och observationer vägs samman. För att denna dataanalys ska bli tillförlitlig är det avgörande att både mätdata och modellresultat håller hög kvalitet.

Kartläggningen med MATCH Sverigesystemet börjar med att ta fram en så kallad ”första gissning” – ett modellerat bakgrundsält för luftkoncentrationer eller deposition under ett visst år. Dettaält jämförs med tillgängliga mätdata och justeras genom variationell dataanalys. Algoritmerna justerar modellältet så att det i största möjliga mån stämmer överens med observationerna och sprider justeringen rumsligt. I MATCH Sverigesystemet antas mätdata ha lägre osäkerhet än det modellerade bakgrundsältet, vilket innebär att observationerna har ett stort inflytande på den slutliga analysen via dataassimilationsalgoritmen.

### 2.1 Nuvarande metodik

Metodiken i MATCH Sverigesystemet utvecklas kontinuerligt, i takt med tillgång till nya indata och vidareutveckling av modellen. En omfattande metodikförändring genomfördes år 2013, då följande uppdateringar implementerades:

- Dataassimilationen utförs numera på totalhalter, istället för att enbart tillämpas på ett extraerat långtransportbidrag.
- De EMEP-emissioner som används i MATCH Europa har bearbetats för att kunna kombineras med mer högupplösta SMED-emissioner över Sverige. För utsläpp från sjöfart i havsområdena kring Sverige används emissionsdata från Shipair.
- Ett antal statistiska mått för marknära ozon tas nu fram och publiceras regelbundet.

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

Flödesdiagrammet i Figur 1 nedan visar översiktligt de olika stegen i den nuvarande metodiken. Indata till systemet – meteorologiska data, emissionsdata och mätdata – visas som rutor med vit bakgrund. De avslutande stegen beskriver efterbehandlingar, såsom beräkning av torrdeposition till olika marktyper (t.ex. åkermark och lövskog) samt beräkning av våtdeposition.

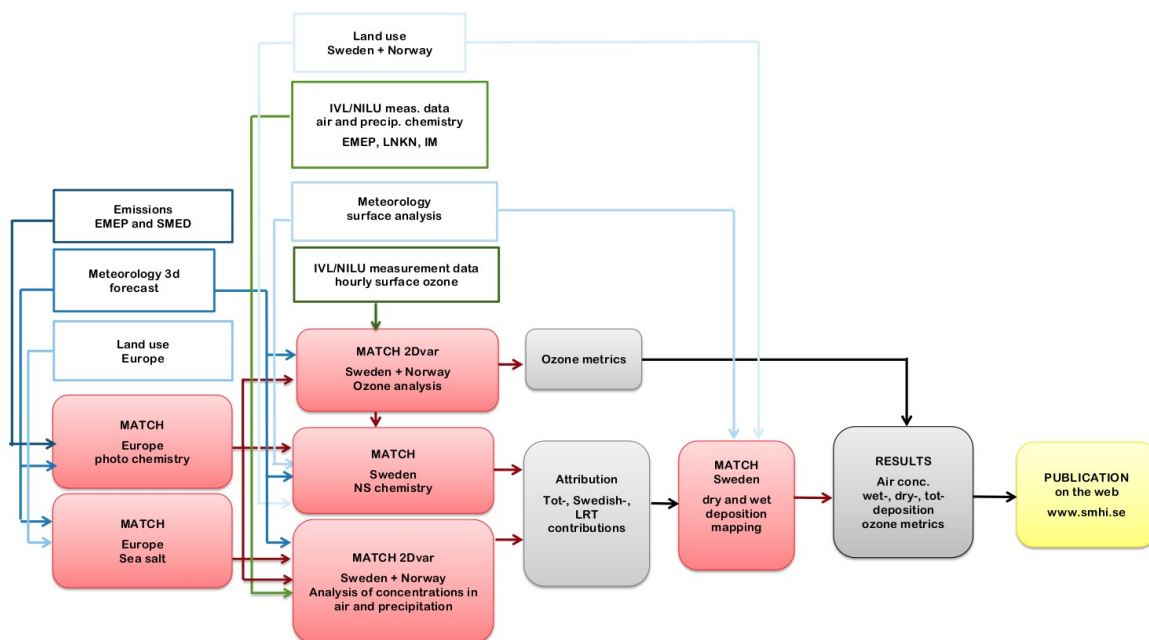
Indata till systemet består dels av atmosfärskemiska observationer från IVL (IVL Svenska miljöinstitutet AB) och NILU (Norsk Institutt for luftforskning), dels av utsläppsdata från EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) och SMED (Svenska miljöemissionsdata) tillsammans benämnda SMEMEP-emissioner, samt meteorologiska data. SMED:s utsläppsdata är av högre rumslig upplösning än EMEP:s och används för representerar Sveriges nationella utsläpp.

Timhalter av marknära ozon beräknas med MATCH:s fotokemimodul varefter dessa kombineras med uppmätta ozonhalter från IVL och NILU genom tvådimensionell variationell analys (2D-Var). De analyserade ozonhalterna används sedan för att beräkna olika statistiska mått i den aktuella metodiken, samt som indata vid modelleringen av det svenska bidraget till ozonhalterna (Sverigebidraget).

De analyserade ozonhalterna används sedan i beräkningen av Sverigebidraget till deposition av kväve och svavelämnen, tillsammans med markanvändningsdata, SMED:s emissionsdata samt meteorologiska data från ECMWF-MESAN. Fram till och med 2015 användes meteorologiska data från HIRLAM, men denna modell ersattes därefter med ECMWF:s högupplösta ensemble-medlem HRES, i och med att HIRLAM slutade produceras operationellt.

Dataassimilationen genom 2D-variationell analys används också för totalhalterna av svavel och kväve i MATCH Europas modellresultat. Långtransportbidraget beräknas som skillnaden mellan det assimilerade totalfältet och resultaten från den nationella Sverigemodellen.

Därefter beräknas depositionen för olika markanvändningstyper baserat på resultaten från analysen (Se ”mapping” i Figur 1). Innan slutresultaten publiceras online måste de slutbearbetas (postprocessas) till rätt format.



Figur 1. Översikt av MATCH Sverigesystemet enligt nuvarande metodik. Flödesdiagrammet visar in-data, interna flöden och de modeller som ingår i systemet.

## 2.2 MATCH som bakgrundsfält i dataassimilation

Den första gissningen utgör en initial, modellerad uppskattning av halten av ett visst ämne i luft eller nederbörd. Denna uppskattning kan tas fram på olika sätt. I MATCH Sverigesystemet genereras den första gissningen med hjälp av den fullskaliga fotokemimodellen MATCH. Modellen används för att beräkna halter i luft och nederbörd av svavel, kväveföreningar samt marknära ozon. För ozonhalter i luft genomförs en variationell analys, och resultaten används därefter som indata till beräkningen av Sveriges bidrag. Denna beräkning sker med en version av MATCH-modellen som har en förenklad kemibeskrivning.

Vissa ämnen, såsom baskatjoner (med undantag för natrium), ingår inte i MATCH-modellen. För dessa ämnen används i stället interpolationsmetoder baserat enbart på mätdata.

MATCH:s fullskaliga fotokemimodell omfattar ett kemiskt schema med mer än 70 kemiska komponenter och 130 kemiska reaktioner. Modellen beskriver bland annat bildningen av marknära ozon, samt svavel- och kvävekemi, inklusive bildning av inorganiska sekundära partiklar. En mer detaljerad beskrivning av modellen återfinns i Robertson m.fl. (1999) och Andersson m.fl. (2007). Utöver den kemiska beskrivningen hanterar modellen även transport och deposition av ämnen i både gas- och partikelfas. Den version av MATCH som används för att beräkna Sveriges bidrag inkluderar endast förenklad svavel- och kvävekemi och innehåller således inte fullskalig fotokemi utan läser istället in data-assimilerade timhalter av marknära ozon.

MATCH beräknar även halter och deposition av havssaltspartiklar, och primära och sekundära partiklar. Depositionen sker antingen genom våtdeposition (d.v.s. partiklar avlägsnas via nederbörd) eller torrdeposition (d.v.s. partiklar avsätts direkt på markytan utan nederbörd). Emissionerna av naturligt



havssalt beräknas i modellen utifrån meteorologiska parametrar, såsom vindfält och havstemperatur (se Foltescu m.fl. (2005)).

För vissa kemiska komponenter i nederbörden särskiljs bidraget från havssalt från det övriga bidraget. Detta eftersom havssalt naturligt innehåller icke försumbara mängder svavel, kalium, magnesium och kalcium. Som första gissning för havssaltsbidraget till halter i nederbörd används MATCH partikelmodells beräkning av havssaltskoncentration i nederbörd. För komponenter som kalium, magnesium och kalcium (exklusive havssalt) kan däremot ingen modelluppskattning användas som första gissning. Detta beror på att det saknas emissionsdata för dessa ämnen och att de ännu inte ingår i MATCH-modellen. I stället används optimal interpolation av uppmätta halter (exklusive havssaltsbidrag) i nederbörd.

För lufthalter kan havssaltsbidraget inte särskiljas från övriga bidrag. Orsaken är att det finns för få mätningar av havssaltshalter 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 den första gissningen genom så kallad dataassimilation. Dataassimilation är, som tidigare nämnts, en benämning på metoder som kombinerar observationer av variabler – såsom halten av ett ämne i luft – med modellinformation i syfte att skapa en analys, det vill säga en uppskattning av det verkliga tillståndet i atmosfären.

Inom miljöövervakning används för närvarande en dataassimilieringsmetod som kallas variationell analys. Syftet med den variationella analysen är att ta fram en analys som med minsta möjliga avvikelse stämmer överens med både mätdata och modell, med beaktande av respektive datakällas osäkerhet. En välkänd och önskvärd egenskap hos en modellsimulering är att osäkerheter är rumsligt korrelerade. Därför kommer en avvikelse mellan mätdata och modell att sprida sig till närliggande platser. På så vis kan information från en enskild mätstation, som i sig representerar en plats, användas för att beskriva ett större omkringliggande område. Hur långt denna information sprids (d.v.s. hur starkt den är korrelerad i rummet) beror på vilket typ av variabel som assimileras.

Den variationella analysen i MATCH Sverigesystemet sker i två dimensioner (horisontalplanet, förkortat 2D-Var). I den nuvarande metodiken utförs den variationella analysen på totalhalter. MATCH Europa kördes med en upplösning på 22 km fram till och med beräkningsåret 2020, och från 2021 med en högre upplösning på 11 km.

Assimilation av lufthalter sker dygnsvis, där isotropa korrelationer antas. Det innebär att förändringen av bakgrundsfältet enbart baseras på avståndet från mätstationen och skillnaden mellan mätvärdet och bakgrundsfältet. För halter i nederbörd sker assimilationen månadsvis, eftersom rikstäckande observationer på dygnsbasis saknas för nederbördshalter – endast mätningar med grövre tidsupplösning finns tillgängliga.

Halter i nederbörd från icke-havssaltsbidrag antas ha isotropa, avståndsberoende korrelationer. Däremot assimileras havssaltsbidraget med anisotropa korrelationer, eftersom gradienterna i havssaltsfältet är skarpa längs kusterna. En närmare beskrivning av metodiken för MATCH havssaltsberäkningar finns i Foltescu m.fl. (2005).

## 2.4 Våtdepositionsberäkningar

Som grund för de våtdepositionsberäkningar som görs i MATCH Sverigesystemet används analyserad meteorologi i form av MESAN-data – griddad data baserad på både observationer och modell – som beskriver nederbördsmängder över Sverige var tredje timme. Dessa 3-timmars nederbördsfält används i MATCH-Sverigemodellen och interpoleras till timvärden inför beräkningen av våtdeposition orsakad av svenska emissioner.

Resultaten från dataassimilationen, som kombinerar modellerade och observerade data, erhålls som koncentration i nederbörd. Detta är naturligt eftersom mätdata anges som koncentration i nederbörd, och följer nederbörden. Våtdepositionen beräknas sedan genom att multiplicera den analyserade kon-

centrationen med nederbördsdata som beskrivits ovan. 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 laminära gränsskikt. 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 elläran),

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

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

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

där  $r_a$ ,  $r_b$  och  $r_c$  är den aerodynamiska resistansen, det laminära ytskiktets resistans respektive ytresistansen. Storleken hos resistanserna varierar på ett komplicerat sätt beroende på egenskaper hos ämnet som deponeras, meteorologiska förhållanden och ytans beskaffenhet. I MATCH modellen är dessa tre resistanser parametriserade. Resistansen 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
- Sommarmedelvärde (juni–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  $AOT\ 40 = \sum \max(O_3 - 40, 0)$  under respektive tidsperioder, och enbart under timmarna 8–20 varje dygn.
- Ett mer fysikaliskt mått för skadlig inverkan på växtlighet är PODY (Phytotoxic Ozone Dose above a flux threshold of Y). Detta mått beskriver modellerat ozonupptag till växttyper. Förutom halter av marknära ozon används bland annat ett antal meteorologiska parametrar. Vi

presenterar POD1 för generisk lövskog och POD3 för generisk gröda, samt PODY-mått för vete, potatis, gran och björk.

- 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). Under 2019 implementerades i MATCH Sverigesystemet PODY-mått för vete, potatis, gran och björk. Mer information om metodiken för det finns i Langner m.fl. (2019). PODY varierar med ozonexponering för växter, men även av en rad fysikaliska och meteorologiska parametrar såsom växtsäsong, solstrålning, luftens temperatur och fuktighet, vilka påverkar växternas klyvöppningar, genom vilka deras huvudsakliga inandning av koldioxid sker, och som bieffekt även upptag (och påverkan) av luftföroreningar.

## 2.7 Emissionsdata

De europeiska emissioner som används i MATCH Europa-körningarna baseras på EMEP:s griddade data med en geografisk upplösning på  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ , kombinerat med SMED:s emissioner över Sverige. I MATCH Sverige används de svenska emissioner som sammanställs av SMED och rapporteras av Sverige till UNFCCC, CLRTAP och EU. Både EMEP- och SMED-emissioner har en eftersläpning på två år, vilket innebär att exempelvis för beräkningsår 2023 användes emissioner från 2021.

SMED:s emissionsdata för sjöfart bygger på data från Shipair och används för havsområdena kring Sverige. Tack vare årligen uppdaterade aktivitetsdata sedan 2019 har kvaliteten på MATCH Sverigesystemets haltberäkningar nära kusterna förbättrats.

Vid åtgärder med stor påverkan på utsläpp, till exempel införandet av NECA/SECA-områden i Östersjön, tas detta hänsyn till i den årliga hanteringen av emissionsdata för kartläggningen i MATCH Sverigesystemet. SECA infördes år 2015 och omfattar alla fartyg. NECA infördes år 2021 och omfattar endast nya fartyg där utsläpp förväntas minska gradvis över flertalet år.

Sommaren 2018 var ovanligt torr och varm, vilket ledde till utbrott av skogsbränder i Sverige. Ett arbete att inkludera emissioner från skogsbränder i MATCH Europakörningen genomfördes därför under 2018. Daglig data från CAMS Global Fire Assimilation System (CAMS-GFAS) används som en del av indata till MATCH Europakörningen från och med beräkningsår 2018. Denna utveckling är en synergieffekt av att SMHI även är en del av CAMS2\_40.

## 2.8 Svenska och norska mätstationer

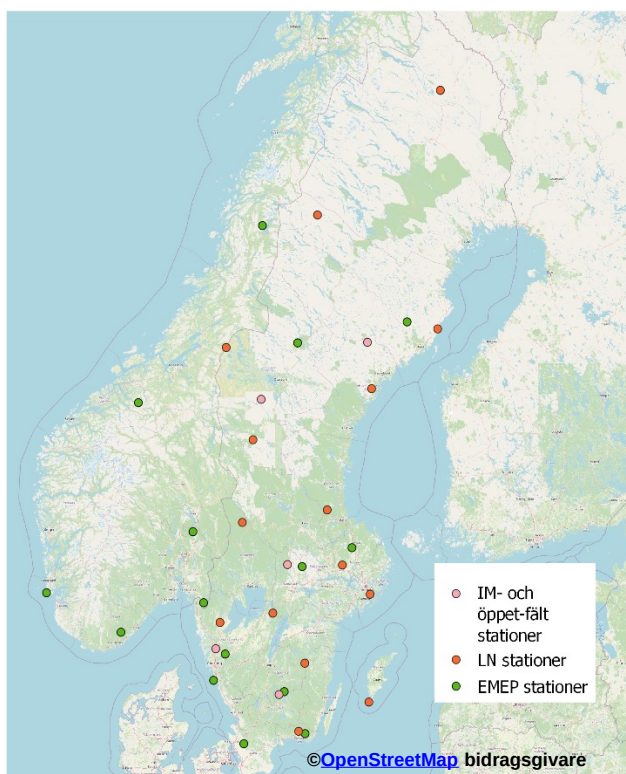
De uppmätta svenska data som används i MATCH Sverigesystemet har dels laddats ner från Datavärds-kap för luftkvalitet<sup>1</sup> och dels erhållits från IVL som ansvarar för de svenska stationerna i det nya mät-nätverket Svenska Luft- och depositions-nätverket (SveLoD)<sup>2</sup>. De norska EMEP-data har hämtats från NILU. De svenska stationerna tillhör EMEP, LN (luft och nederbörd), IM (Integrerad Miljöövervakning) samt en öppen fältmätning från krondroppsnätet vid Hundshögen i Jämtland.

Dataassimilationen använder mätstationerna för bakgrundsluft inom Norden, vilket framgår både av Figur 2, där mätstationernas placering visas, och av Tabell 1 nedan.

---

<sup>1</sup> <https://www.smhi.se/datavardluft>

<sup>2</sup> <https://www.naturvardsverket.se/contentassets/5a42ae0880a341ae9199c61b3d5fb261/beskrivning-delfprogram-forsurande-overgodande-2021.pdf>



Figur 2. De mätstationer som använts i MATCH Sverigesystemet.

I Tabell 1 visas även vilket observationsnät respektive station tillhör (EMEP, LN eller IM), vilka variabler som mäts, mätfrekvens samt stationsnamn. För beräkningsåret 2023 utnyttjades åtta stationer för mätning av svavel och kväve i luft, varav fyra svenska EMEP-stationer och fyra norska EMEP-stationer, samtliga med dygnsvisa mätningar. För ozon användes elva svenska EMEP-stationer och sex norska EMEP-stationer med timvisa mätningar.

Tabell 1. Mätstationer utnyttjade vid dataassimilation för luft för år 2023.

|      | Mät nätverk                                                                                  | Frekvens | Uppmätta Variabler                                                                                                               | Stationer                                                                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Luft | Svenska EMEP                                                                                 | Dygn     | SO <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> ,<br>NO <sub>3</sub> +HNO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> ,<br>NH <sub>4</sub> +NH <sub>3</sub> | Norunda, Bredkälén,<br>Hallahus, Råö                                                                                     |
| Luft | Norska EMEP                                                                                  | Dygn     | SO <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> ,<br>NO <sub>3</sub> +HNO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> ,<br>NH <sub>4</sub> +NH <sub>3</sub> | Birkenes, Kårvatn,<br>Hurdal, Tustervatn                                                                                 |
| Luft | Svenska EMEP<br>+ (en regional<br>bakgrund station<br>av Östra Sveriges<br>Luftvårdsförbund) | Timme    | O <sub>3</sub>                                                                                                                   | Asa försökspark,<br>Bredkälén, Esrange,<br>Grimsö, Hallahus,<br>Råö, Rödeby, Vindeln,<br>Östad, Norunda,<br>(Norr Malma) |
| Luft | Norska EMEP                                                                                  | Timme    | O <sub>3</sub>                                                                                                                   | Birkenes, Kårvatn,<br>Hurdal, Sandve,<br>Prestebakke,<br>Tustervatn                                                      |

När det gäller nederbörd användes totalt 34 stationer under år 2023, varav fyra svenska och tio norska EMEP-stationer, 16 LN-stationer samt fyra IM-stationer (se Tabell 2). Alla nederbördsdata används i den variationella analysen med månadsupplösning, vilket innebär att data med högre tidsupplösning aggregeras till månadsvärden.

*Tabell 2. Mätstationer utnyttjade vid dataassimilation för nederbörd för år 2023.*

|           | <b>Mät nätverk</b> | <b>Frekvens</b> | <b>Uppmätta Variabler</b>                                           | <b>Stationer</b>                                                                                                                                                                          |
|-----------|--------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nederbörd | Svenska EMEP       | Månad           | SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , Na, K, Ca, Mg | Norunda, Hallahus, Bredkålen, Råö                                                                                                                                                         |
| Nederbörd | Norska EMEP        | Månad           | SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , Na, K, Ca, Mg | Birkenes, Hurdal, Kårvatn, Tustervatn, Grungedal, Overhalla, Treungen, Loeken, Brekkebygda, Vikedal                                                                                       |
| Nederbörd | Svenska IM         | Månad           | SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , Na, K, Ca, Mg | Aneboda, Kindlahöjden, Gammtratten, Gårdsjön                                                                                                                                              |
| Nederbörd | Svenska LN         | Månad           | SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , Na, K, Ca, Mg | Ammarnäs, Djursvallen Nedre, Esrange, Granan, Grankölen, Hundshögen Låg, Jädraås, Majstre, Norra Kvill, Pjungserud, Rickleå, Ryda Kungsgård, Sandnäset, Sannen, Transtrandberget, Tyresta |

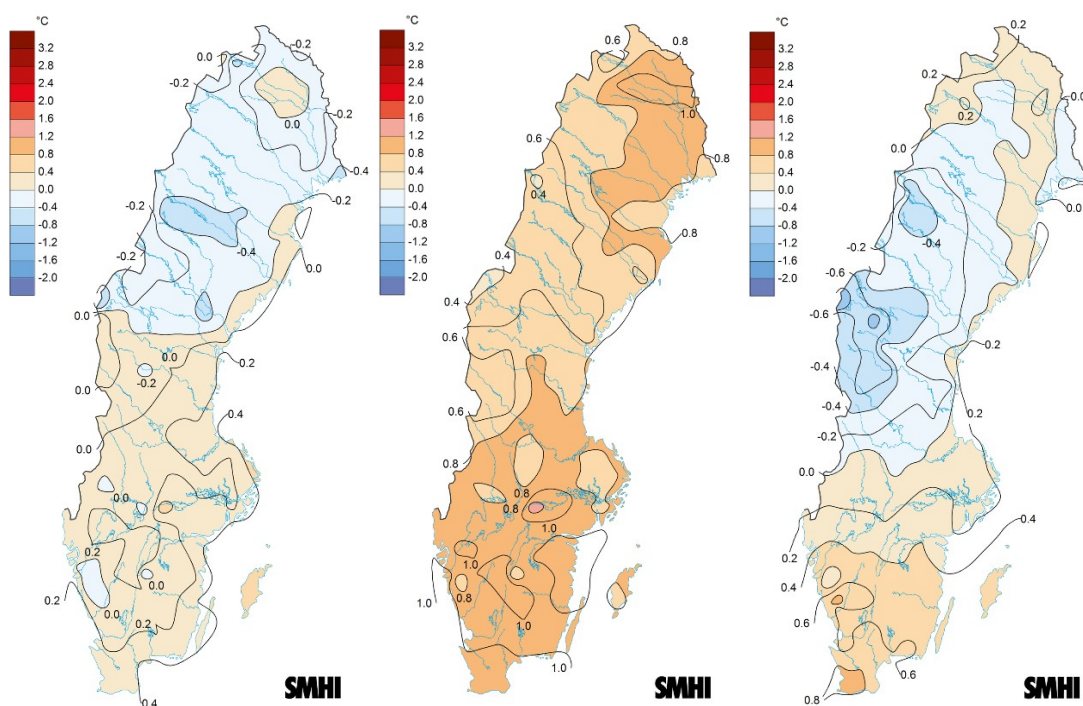
### 3 Resultat

Här presenteras resultat från MATCH Sverigesystemet för åren 2021, 2022 och 2023. Resultaten jämförs även mot återanalyserna av kväve och svaveldeposition (Andersson m.fl., 2018) och marknära ozon (Andersson m.fl., 2015; 2017).

Årliga variationer i meteorologiska förhållanden har en påtaglig inverkan på luftkvaliteten, då de påverkar både koncentration i luften och mängden deposition. Medan antropogena utsläpp generellt är förhållandevis stabila från ett år till ett annat, kan naturliga utsläpp – såsom från mark, vegetation eller hav – variera kraftigt beroende på väder. Dessutom påverkar vädret under ett år hur mycket luftföroreningar som transporterats in över Sverige, hur mycket och var ämnen deponeras, och kemiska processer som ozonbildning. Därför har den meteorologiska variationen mellan närliggande år ofta större betydelse för föroreningsituationen i Sverige än förändringar i de faktiska utsläppsmängderna, både inom landet och från övriga Europa. Som utgångspunkt ges därför en sammanfattande analys av temperatur – och nederbördsmonster för respektive år. Därefter följer en presentation och tolkning av beräknade lufthalter och deposition till mark, baserade på MATCH Sverigesystemet.

#### 3.1 Väderåren 2021–2023

För ökad förståelse för föroreningsförhållandena i Sverige från år till år kan det vara till hjälp att analysera väderförhållandena för respektive år. Kartor för temperatur, vind och nederbörd finns på SMHIs hemsida för [Data](#). 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 nya gällande normalperioden är fastställd till 1991–2020 av Världsmeteorologiska organisation (WMO) då har åren 2021–2023 jämförts med den nya normalperioden. En översiktlig återblick på årets väder finns på webbsidan för [Årets Väder](#).

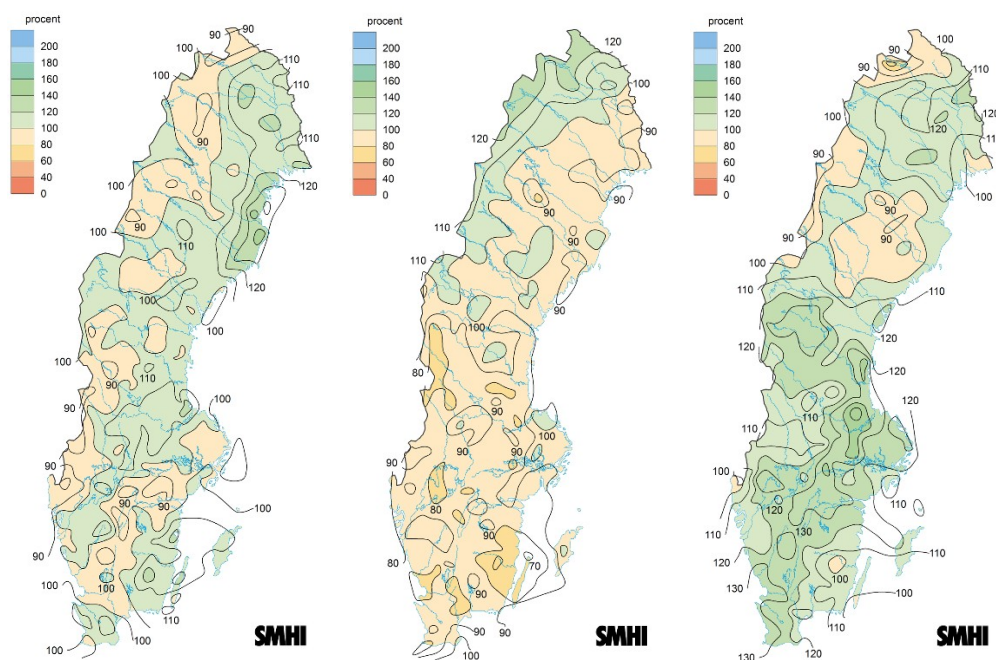


Figur 3. Årsmedeltemperatures avvikelse (i °C) från den normala årsmedeltemperaturen för år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). URL: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/normalkartor/avvikelse/arsmedeltemperatur-avvikelse>

Kartorna i Figur 3 visar att 2022 var något varmare än normalt (0,4–1,0 °C) över hela Sverige. År 2021 hade en i stort sett normal temperatur, med en temperaturavvikelse nära 0°C i hela landet jämfört med den nya normalperioden. Till skillnad från 2021 var 2023 något varmare i södra Sverige, men något kallare i Jämtland. Torrare luft och mark än normalt kan bland annat bidra till minskat ozonupptag i växter, och högre temperaturer kan dessutom leda till större naturliga utsläpp av biogena organiska gaser, mer effektiv ozonbildning och därmed kan torrt och varmt väder leda till högre ozonhalter under sommarhalvåret (se t.ex. Johansson m fl 2020; Andersson och Engardt, 2010).

Figur 4 visar årsnederbörd som procent av den normala årsnederbörden för 2021–2023. Under 2021 var det något torrare än normalt längs fjällkedjan och västkusten, samt i området från Vättern upp mot Mälardalen. År 2022 var det torrare i hela landet, förutom i Norrlands fjälltrakter. År 2023 var nederbörden högre än normalt i stora delar av landet, särskilt i östra Svealand, Götalands inland och Torne-dalen.

Mer nederbörd än normalt kan bidra till högre våtdeposition och/eller lägre halter av kväve- och svavelföroreningar i luften, samt minskad torrdeposition. Detta leder även till en starkare gradient i deposition och halter från söder till norr. Intransporten av föroreningar från utanför Sverige har dock stor betydelse för depositionen av kväve och svavel i Sverige. Därför är nationell nederbörd inte den enda avgörande faktorn – nederbörden och transport (meteorologiska faktorer) utanför Sveriges gränser spelar också en viktig roll.



Figur 4. Årsnederbörd (i procent) av den normala årsnederbörden för år 2021 (vänster), 2022 (mit-ten) och 2023 (höger). URL: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/normalkartor/avvikelse/arsnederbord-procent-av-normal-avvikelse>

## 3.2 Luftföroreningshalter 2021–2023

### 3.2.1 Luftföroreningshalter av kväve och svavel

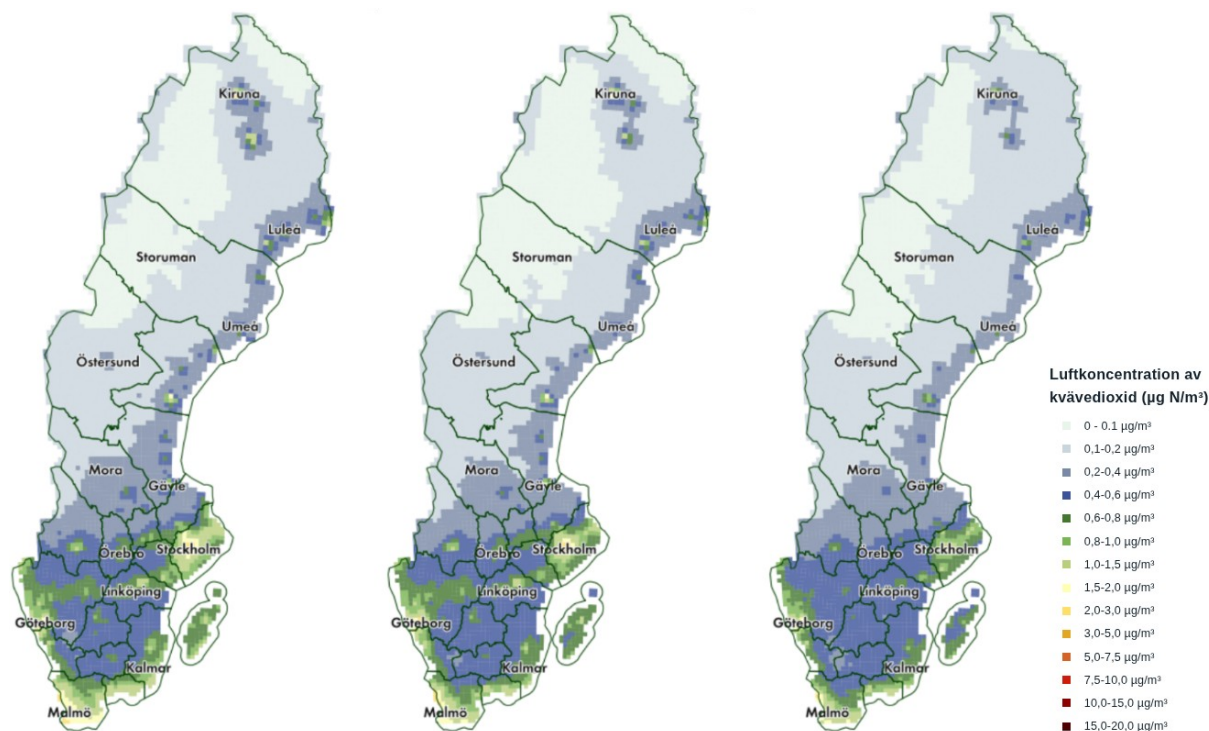
I Figur 5, Figur 6 samt Figur 7 presenteras totala lufthalter för kvävedioxid (NO<sub>2</sub>), reducerat kväve (NH<sub>x</sub>, summan av ammonium och ammoniak) och svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) över Sverige för åren 2021–2023. Luftföroreningshaltskartorna presenteras här likt som på Datavärds-kapet webbplats för (*Miljöövervakning*). På webbsidan för atmosfärs-kemi återfinns också lufthalter uppdelade på totalhalter samt Sverigebidrag och långdistanstransportbidrag från resten av Europa. För lufthalter av NO<sub>2</sub> och



SO<sub>2</sub> kan användaren sedan 2022 även välja lufthalternas enhet på hemsidan (till exempel att visa NO<sub>2</sub> med enhet µg N m<sup>-3</sup> eller µg m<sup>-3</sup>).

Figur 5 visar årsmedelhalt av kvävedioxid i luft för åren 2021–2023 orsakat av alla utsläpp (totalhalt), d.v.s. halter innehållande både bidrag från Sverige och övriga Europa (långväga transportbidrag). Motsvarande lufthalt av reducerat kväve och svaveldioxid visas i Figur 6 respektive Figur 7.

För kvävedioxid återfinns de högsta halterna längs Sveriges västra och södra kust, delar av sydostkusten – där även Stockholmsregionen ingår – samt vid några städer längs Norrlandskusten. Lägre halter återfinns i större delen av norra inlandet, förutom i närheten av Kiruna och Gällivare. Årsmedelhalten för kvävedioxid varierar mellan 0.07 och 4.5 µg N m<sup>-3</sup> över Sverige år 2021, 0.05 och 4.1 respektive 0.07 och 2.82 µg N m<sup>-3</sup> under 2022 respektive 2023. Vid en jämförelse av medelvärdena för hela fältet, är NO<sub>2</sub>-halterna över Sverige relativt lika under de tre åren. Högst är medelhalten år 2021 med 0.35 µg N m<sup>-3</sup>, följt av 2022 med 0.33 och lägst år 2023 med 0.30 µg N m<sup>-3</sup>. Vi ser något lägre halter kring storstäderna under 2023, vilket delvis kan förklaras av väderförhållanden då året var blötare än normalt, en del förklaras också av att modellversionen är uppdaterad, även om detta delvis kompenseras genom den 2dvar-analys som görs mot mätningar. Faktiska utsläppsförändringar, inklusive successivt minskade utsläpp från vägtrafik och sjöfart i Europa, kan också ha påverkat resultaten till viss del. Det skall dock noteras att emissionsminskningar från år till år inte är speciellt stora och därmed förväntas förändringar i lufthalter som beror på emissioner synas tydligare över en längre tidsperiod. Halteeffekterna av NECA-regleringen som infördes 2021 förväntas slå igenom successivt över ett tiotal år framåt.

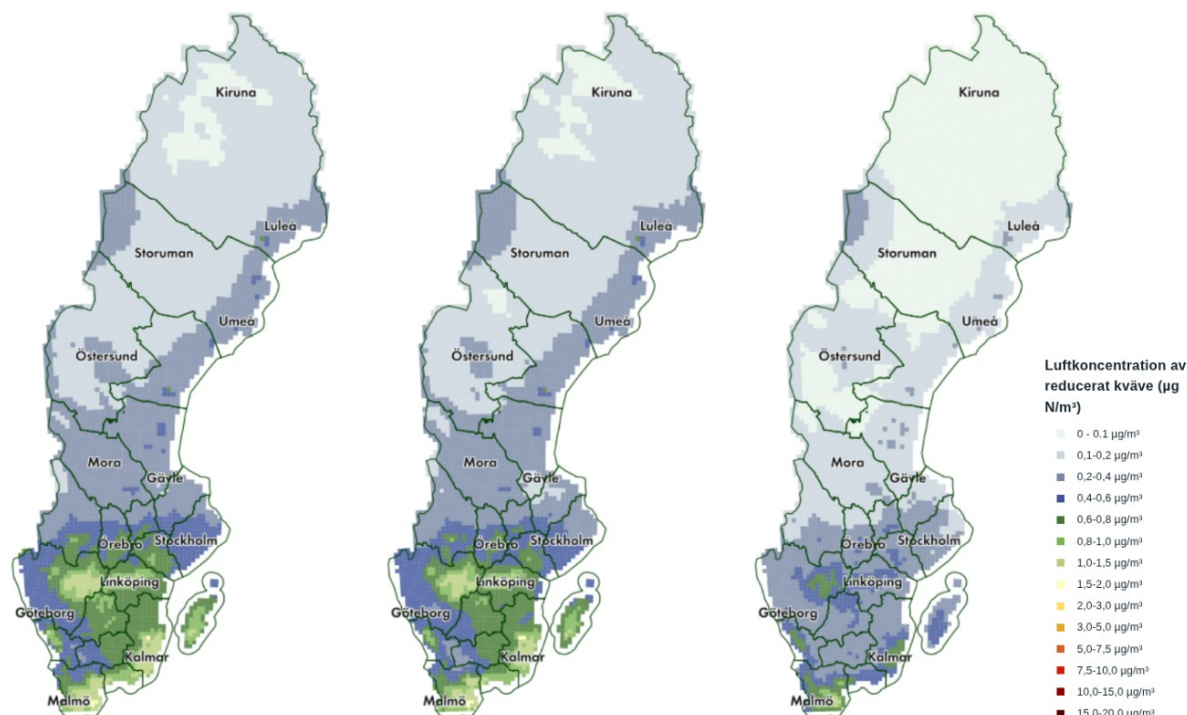


Figur 5. Totala halter av kvävedioxid i luft under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet: µg N m<sup>-3</sup> (mikrogram kväve per kubikmeter).

Totala halter av reducerat kväve presenteras i Figur 6. De allra högsta halterna under de tre åren återfinns främst i Götaland och delar av Svealand, särskilt i Skåne, Västra Götalands län, Östergötlands län, samt Kalmar-Ölandsregionen samt på Gotland. I Norrland ses högre halter längs kusten, medan inlandet uppvisar lägre halter av reducerat kväve. Halterna av reducerat kväve i Sverige visar både regional variation och en svag nedåtgående trend över tid. I siffror kan år 2021 beskrivas med varierade årsmedelhalter mellan 0.07 och 1.7 µg N m<sup>-3</sup>, medan motsvarande värden för 2022 låg mellan 0.08 och 1.7 µg N m<sup>-3</sup>. År 2023 uppvisade lägre halter, med ett spann från 0.05 till 1.2 µg N m<sup>-3</sup>. Medel-



värdet har sjunkit från  $0.35 \mu\text{g N m}^{-3}$  år 2021 till  $0.20 \mu\text{g N m}^{-3}$  år 2023. Det skedde även en minskning av Sverigebidrag till 2023, vilket kan ha orsakats av att 2023 var blötare än de andra åren.



Figur 6. Totala halter av reducerat kväve i luft under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet:  $\mu\text{g N m}^{-3}$  (mikrogram kväve per kubikmeter).

Halterna av svaveldioxid presenteras i Figur 7 är ganska lika för 2021–2022, med något lägre halter under 2023. I Sverige är svaveldioxidhalterna generellt låga, med ett fåtal större utsläppskällor som påverkar halterna, som till exempel längs med norrlandskusten där Rönnskärsverket är beläget vars påverkan kan urskiljas tydligare i Figur 8.

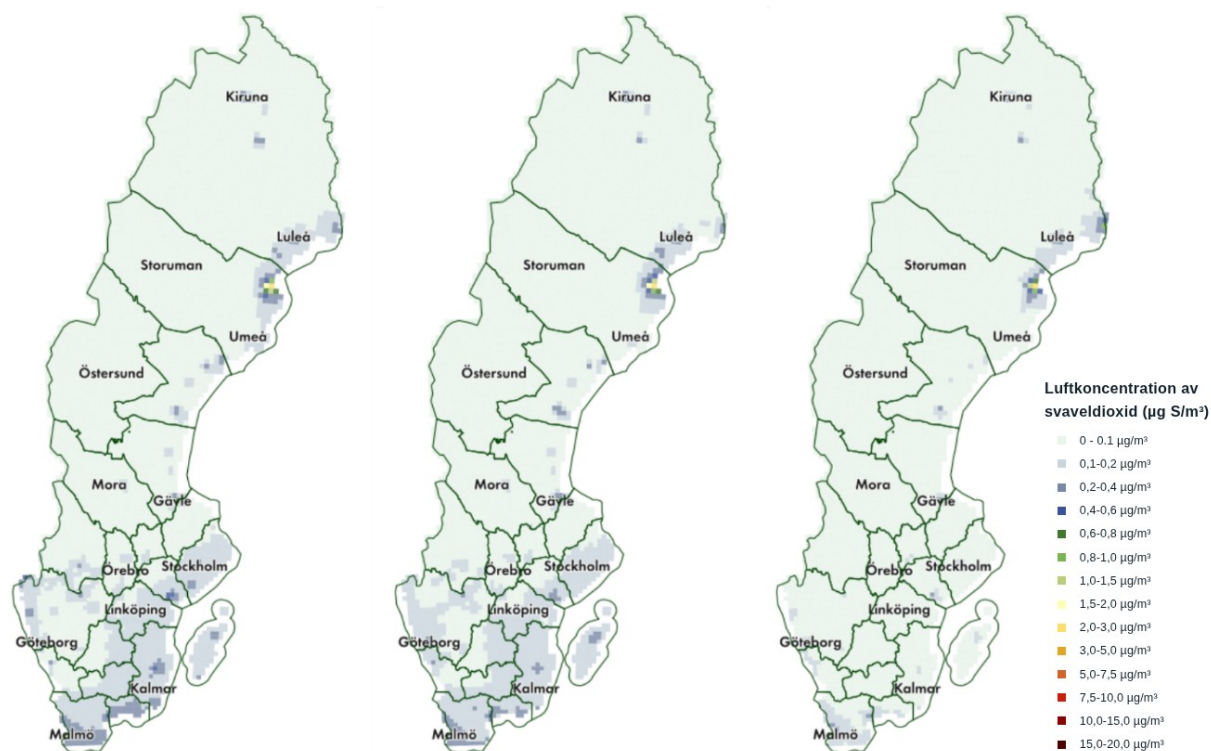
Totalkoncentrationen av svaveldioxid i luften över Sverige varierade år 2021 mellan  $0.02$  och  $2.6 \mu\text{g S m}^{-3}$ , år 2022 mellan  $0.02$  och  $2.7 \mu\text{g S m}^{-3}$ , och år 2023 mellan  $0.01$  och  $2.2 \mu\text{g S m}^{-3}$ . De nationella nivåerna är överlag snarlika mellan 2021 och 2022, med marginella skillnader i både medel- och maxvärden. År 2023 däremot uppvisar tydligt lägre halter av svaveldioxid – både sett till genomsnittlig koncentration och högsta värden. Medelvärdet sjönk från  $0.08 \mu\text{g S m}^{-3}$  år 2021 till endast  $0.04 \mu\text{g S m}^{-3}$  år 2023, och även maxvärdet minskade, från  $2.7 \mu\text{g S m}^{-3}$  till  $2.2 \mu\text{g S m}^{-3}$ . De lägre halterna under 2023 kan delvis förklaras av att det var ett mer nederbördsrikt år än 2021–2022, men även delvis av den uppdaterade modellversionen till 2023.

De observerade variationerna i halter av oxiderat och reducerat kväve samt svaveldioxid under perioden 2021–2023 förklaras primärt av skillnader i meteorologiska förhållanden mellan åren, men även förändringar i utsläpp kan bidra. År 2023 visar tydligt lägre halter i luft för samtliga ämnen, vilket kan bero på mer nederbörd det året och en långsiktigt nedåtgående trend för utsläpp från vägtrafiken. Nederbörd spelar en viktig roll genom att effektivt avlägsna vissa luftburna luftföroreningar såsom svaveldioxid och salpetersyra, vilket kan bidra till att sänka halten av luftföroreningar. Om regn förekommer innan luftmassor når Sverige från sydväst, minskar det också den långväga transporten av föroreningar.

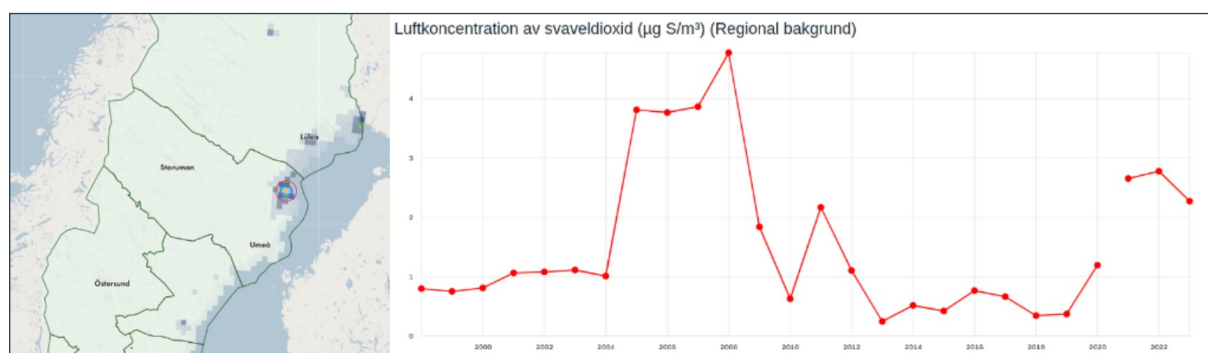
I södra och sydvästra Sverige, där nederbörden är som störst och influensen från europeiska källor är mest uttalad, blir våtdepositionen därför generellt högre. Detta geografiska mönster är tydligt för samtliga år, även om totalhalterna varierar. Den nedåtgående trenden, särskilt för svaveldioxid, kan också

relateras till internationella styrmedel som svaveldirektivet, vilket successivt reducerat utsläppen från sjöfarten i Östersjösområdet sedan dess införande.

Variationer i atmosfärens oxidativa kapacitet mellan åren har också betydelse för hur höga halterna av kväve – och svavelföreningar blir i luften. Den oxidativa kapaciteten påverkas bland annat av mängden intransporterade ämnen som troposfäriskt ozon, vilket spelar en central del i omvandlingen av gasformiga föroreningar till partiklar. Årliga skillnader i luftmassornas sammansättning och ursprung kan därmed påverka både lufthalt och nedfall.



Figur 7. Totala halter av svaveldioxid i luft under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet:  $\mu\text{g S m}^{-3}$  (mikrogram svavel per kubikmeter).



Figur 8. Totala halter av svaveldioxid i luft nära Rönnskärsverken. Enhet:  $\mu\text{g S m}^{-3}$  (mikrogram svavel per kubikmeter). Linjen är bruten mellan 2020 och 2021 för att förtydliga att jämförelse mellan åren försvåras i och med förändringar i geografisk upplösning.

### 3.3 Deposition 2021–2023

Figur 9 till Figur 26 visar depositionen för åren 2021–2023. För oxiderat kväve ( $\text{NO}_y$  – summan av bland annat  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ , PAN,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ,  $\text{NO}_3^-$  och organiskt  $\text{NO}_3$ ), reducerat kväve ( $\text{NH}_x$  – summan av ammoniak och ammonium), samt oxiderat svavel exklusive havssalt ( $\text{XSO}_x$  – summan av svaveldioxid och sulfat utan havssalt), redovisas totaldeposition, våtdeposition och torrdeposition till blandad markanvändning. För oxiderat svavel inklusive havssalt presenteras våtdeposition och totaldeposition. För baskatjoner kalcium, natrium och magnesium redovisas enbart våtdeposition, eftersom torrdepositionsberäkningar för dessa ämnen inte ingår i miljöövervakningen inom MATCH Sverigesystemet.

På Datavärldskapets webbplats (*Atmosfärskemis webbsida*) finns även kartor som visar torrdeposition uppdelad efter markanvändningstyper: åkermark, lövskog, granskog samt till vattenytor. Där redovisas också Sveriges bidrag till den totala depositionen. För baskatjoner presenteras våtdeposition både inklusive och exklusive havssalt.

Sammanfattningsvis för perioden 2021–2023 gäller att:

- Mellan 2021 och 2023 har depositionen av både oxiderat och reducerat kväve samt oxiderat svavel (med och utan havssalt) generellt minskat i genomsnittliga värden, men tydligast nedgång i de högsta värdena för samtliga komponenter. Trenden tyder på en övergripande minskning av luftburna föroreningar under perioden.
- Depositionen av svavel och kväve är generellt högst i södra Sverige och lägst i Norrlands in-land med viss variation från år till år.

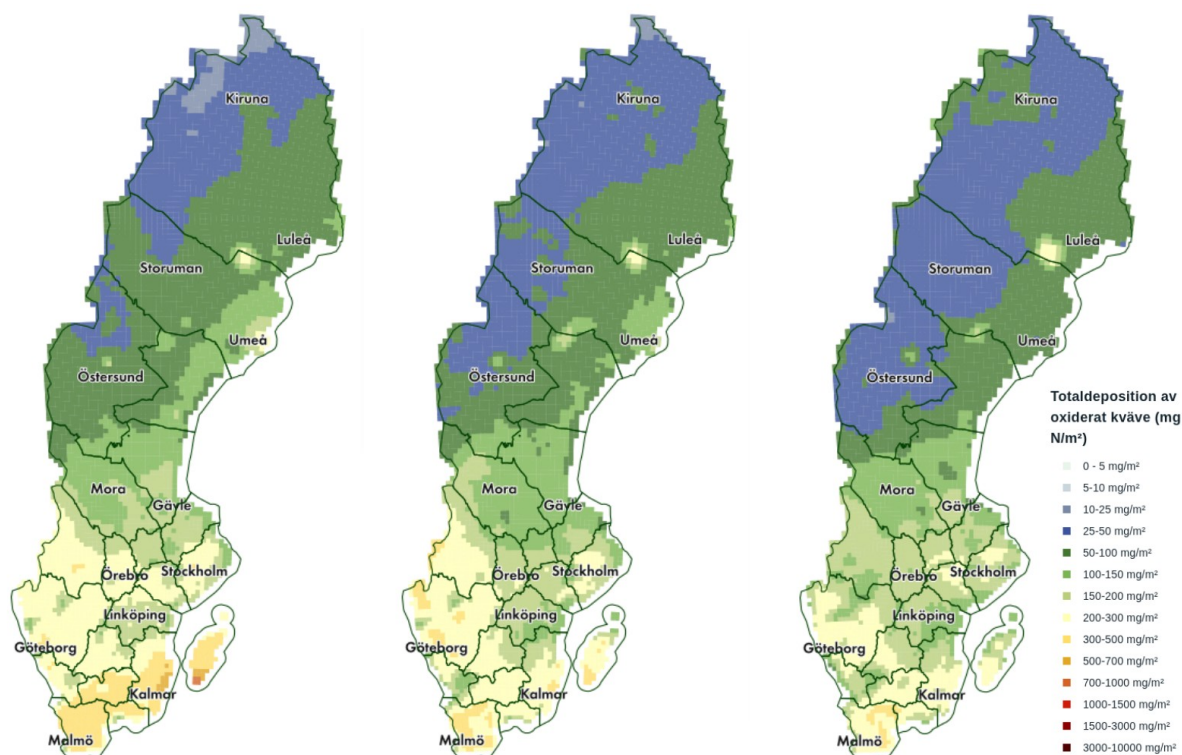
Depositionen under ett visst år beror, liksom för lufthalten, på mängden utsläpp samt meteorologiska förhållandena i Sverige, samt intransporten från resten av Europa som också påverkas av meteorologiska förhållanden och utsläppsnivåer. Depositionen sker i form av både torr- och våtdeposition. För våtdepositionen 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 blåst 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.

### 3.3.1 Deposition av oxiderat kväve

Figur 9 till Figur 12 visar total-, våt- och torrdeposition av oxiderat kväve för år 2021–2023, samt en tidsserie över totaldeposition av reducerat kväve till olika ytor i Sverige för perioden 1983–2023 (Figur 10).

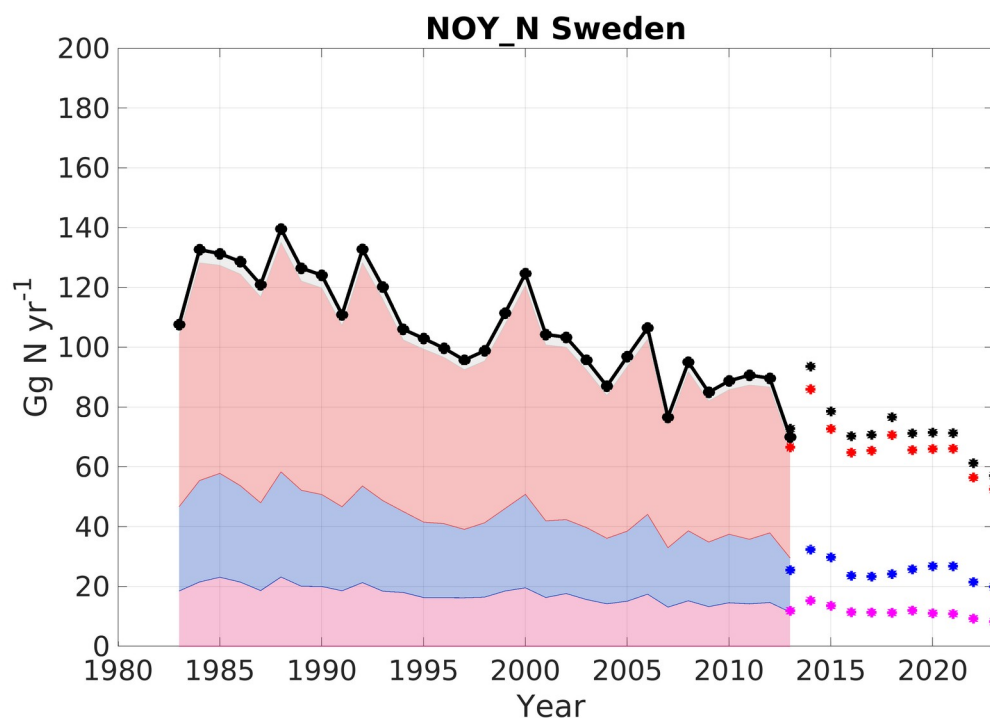
Totaldepositionen av oxiderat kväve var som högst i Götaland, medan lägre nivåer återfanns i Svealand och Norrland under samtliga tre år. För 2021 noterades särskilt höga värden i Kalmar län och på Gotland, medan depositionen var lägre i Västra Götalands län. Sveriges bidrag till depositionen – som visualiseras på Miljöövervakningens webbplats ([Miljöövervakning](#)) uppvisar relativt små variationer mellan åren 2021–2023. Däremot kvarstår tydliga skillnader i och kring de större städerna Stockholm, Göteborg och Malmö, vilket sannolikt kan förklaras av den högre geografiska upplösningen i beräkningarna. Halterna, och därmed även depositionen är generellt högre i närheten av utsläppskällorna. Under perioden 2021–2023 varierade totaldepositionen av oxiderat kväve mellan 12 och 847 mg N m<sup>-2</sup> år 2021, mellan 14 och 382 mg N m<sup>-2</sup> år 2022, samt mellan 22 och 341 mg N m<sup>-2</sup> år 2023. Jämfört med tidsserien 1980–2013 är totaldeposition av oxiderat kväve för åren 2021–2023 de lägsta, vilket överensstämmer med den nedåtgående trenden över Sverige som beräknats i Andersson m.fl. (2018).

Som tidigare nämnt sker den största depositionen av oxiderat kväve i södra och sydvästra Sverige, medan de lägsta nivåerna återfinns i Norrlands inland. Den höga våtdepositionen längs den sydöstra kusten 2021 – särskilt i Kalmar län och på Gotland – bidrog till den totala depositionen det året. Figur 11 visar att våtdepositionen av oxiderat kväve var något högre i södra Sverige, vilket överensstämmer med områden där totaldepositionen också var hög under 2023. Mönstren för våtdeposition och totaldeposition är därmed likartade. Torrdepositionen, som presenteras i Figur 12, uppvisar ett liknande geografiskt mönster som både total- och våtdepositionen, med högre nivåer i södra Sverige och lägre nivåer i Norrlands inland. Under 2023 var torrdepositionen av oxiderat kväve generellt lägre än under de föregående åren.

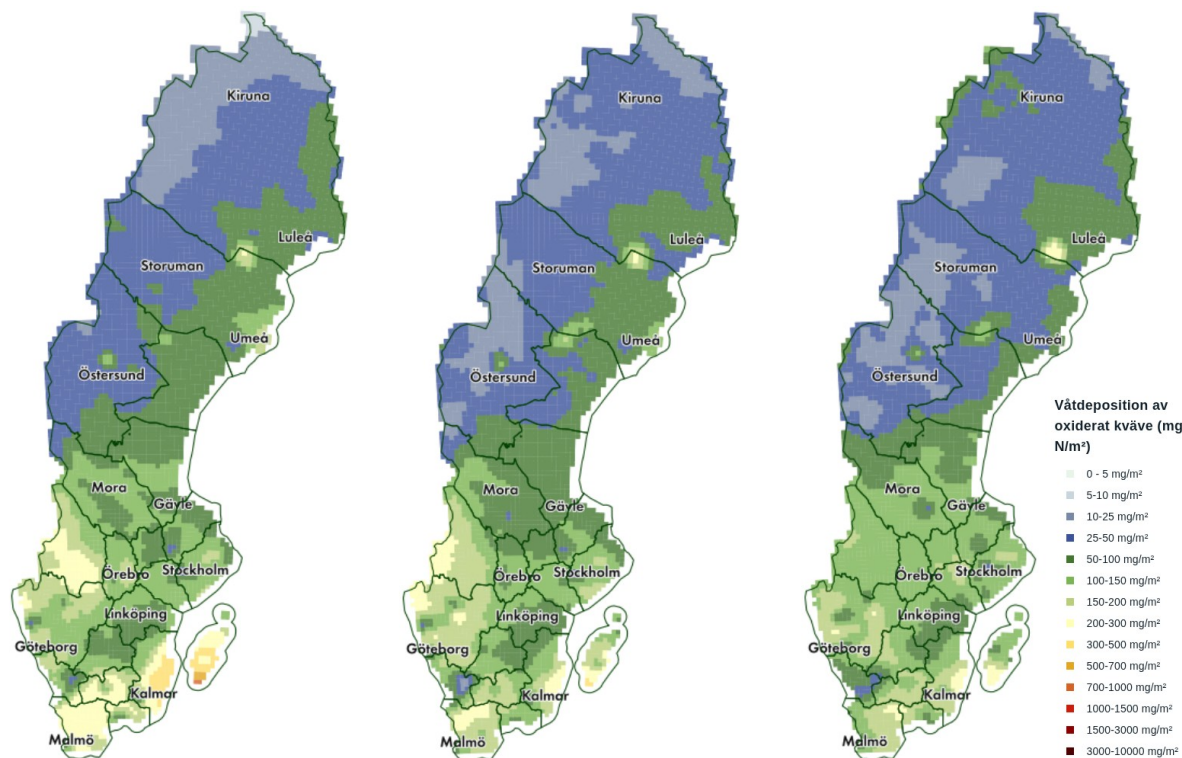


Figur 9. Totaldeposition av oxiderat kväve under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet: mg N m<sup>-2</sup>.

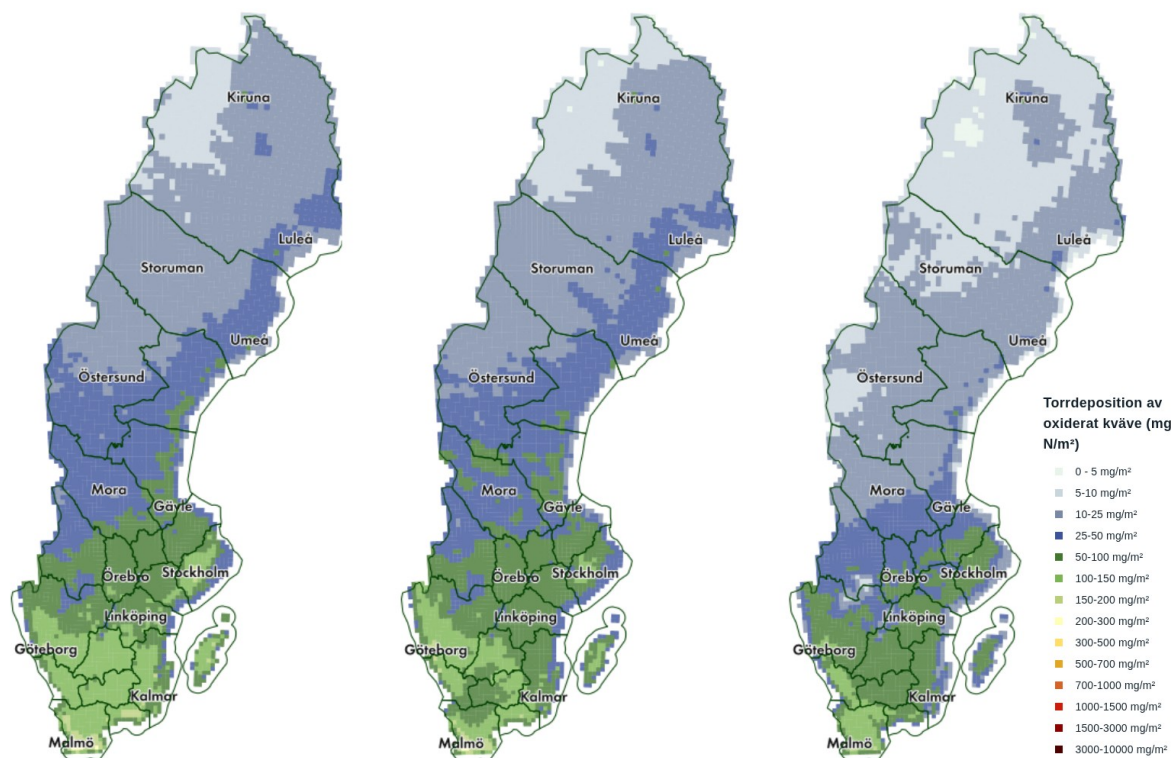




Figur 10. Total deposition av oxiderat kväve till Sverige under perioden 1983–2023 visas med svart linje. Bidrag till depositionen på skogsmark (röd), vattenytor (blå) och jordbruksmark (rosa) presenteras som färgade ytor och cirklar. Den totala depositionen (svart) inkluderar även depositionen till andra ytor, exempelvis urbana miljöer. Linjer och ytor baseras på återanalyserad deposition beräknad med MATCH Sverigesystemet för åren 1983–2013, medan cirkulärna visar operationella skattningar från MATCH Sverigesystemet för perioden 2013–2023. Skillnader från 2013 förklaras av variationer i indata och mätdata (se Andersson et al., 2018).



Figur 11. Våtdeposition av oxiderat kväve under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).  
Enhet:  $\text{mg N m}^{-2}$  (milligram kväve per kvadratmeter).



Figur 12. Torrdeposition av oxiderat kväve under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).  
Enhet:  $\text{mg N m}^{-2}$ .

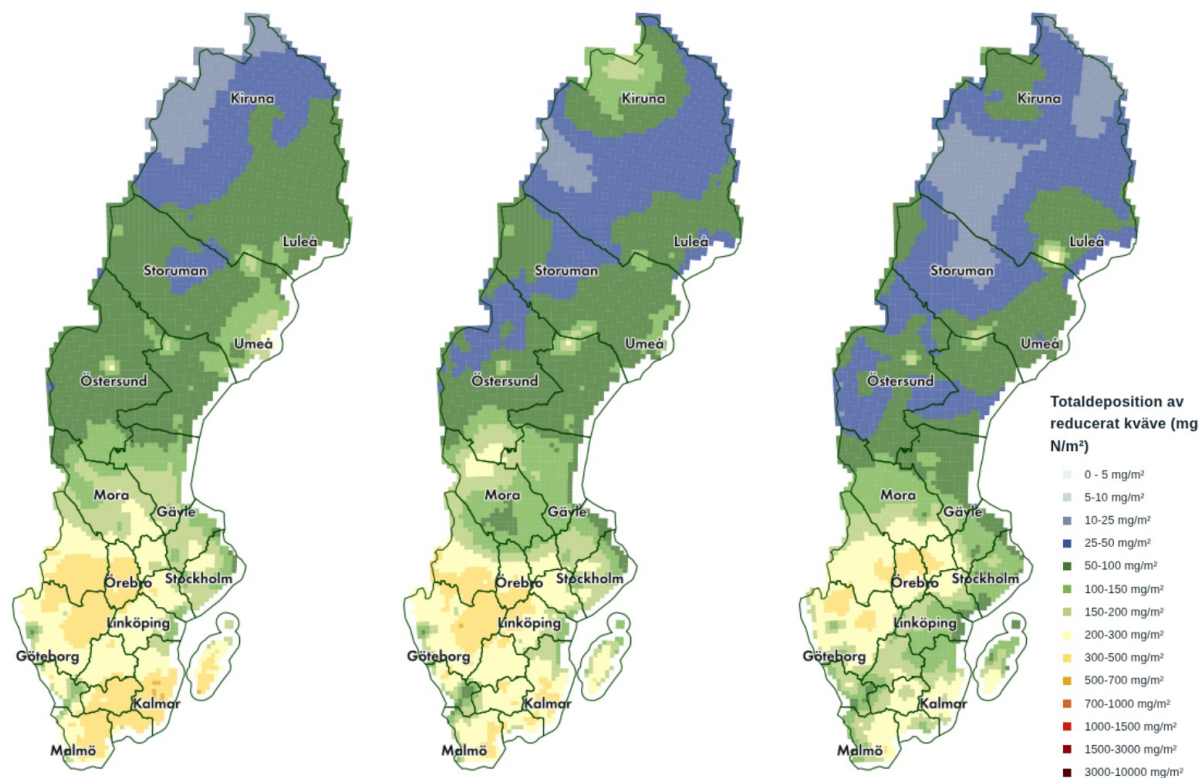
I jämförelse mellan EMEP och MATCH är det tydligt att det i södra Sverige skiljer sig i utbredningsmönster i områden med hög totaldeposition av oxiderat kväve. EMEP visar hög deposition framförallt längs västkusten medans MATCH visar hög deposition i sydost. EMEP visar också högre mängd deposition än MATCH. Från år 2021 till 2022 syns en markant nedgång hos EMEP av oxiderat kväve i stora delar av Europa, detta syns även i MATCH över Sverige. I norra Sverige visar modellerna ganska likartat utbredningsmönster (EMEP 2023 och EMEP 2024).

### 3.3.2 Deposition av reducerat kväve

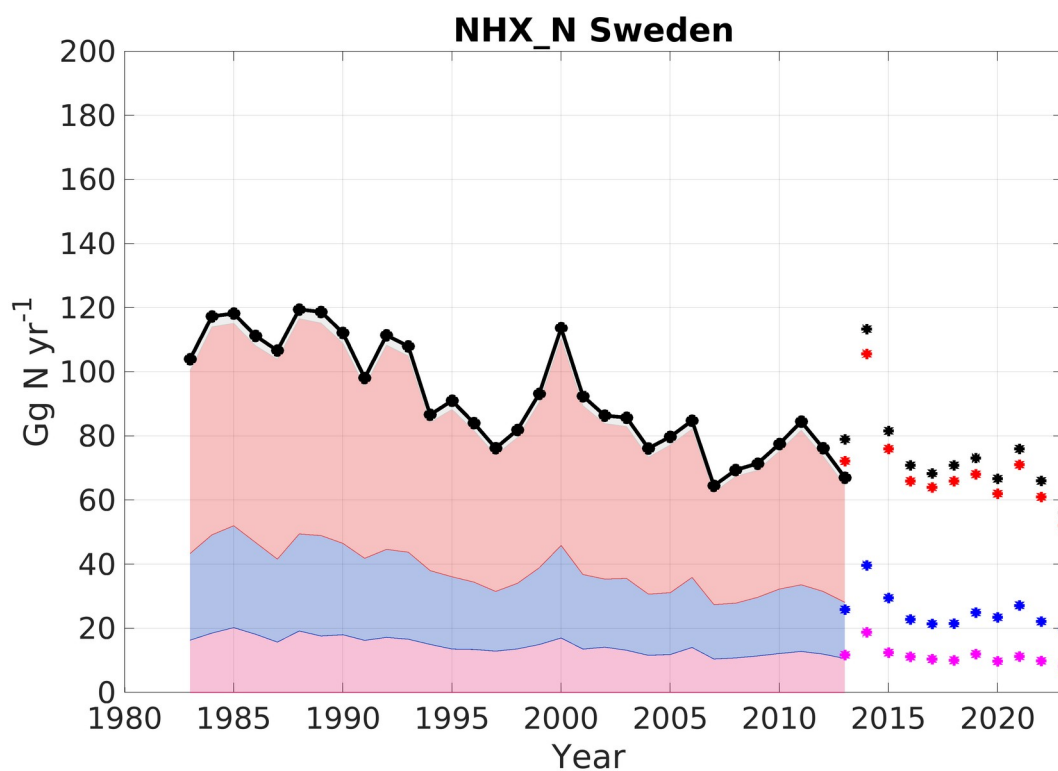
Figur 13 till Figur 16 visar total-, våt- och torrdeposition av reducerat kväve för åren 2021–2023, samt en tidsserie över totaldeposition av reducerat kväve till olika marktyper i Sverige under perioden 1983–2023 (Figur 14).

För perioden 2021–2023 återfinns de högsta halterna av reducerat kväve i Götaland, särskilt i Västra Götalands län, Skaraborg och Örebro län. De lägsta halterna observeras i norra Norrlands inland. År 2021 noterades något förhöjda totaldepositionshalter i Kalmar län. En minskning av Sveriges bidrag till depositionen i södra och mellersta Sverige kan observeras för år 2023. Detta framgår via Miljöövervakningens webbplats (*Miljöövervakning*) under Deposition – Sveriges bidrag – reducerat kväve. Totaldepositionen varierade över Sverige mellan 12 och 536  $\text{mg N m}^{-2}$  under 2021, 15 och 523  $\text{mg N m}^{-2}$  under 2022, samt 11.9 och 392  $\text{mg N m}^{-2}$  under 2023. Dessa halter indikerar en nedåtgående trend i totaldepositionen av reducerat kväve under 2021–2023, särskilt tydlig i södra Sverige där halterna tidigare har varit som högst. Den övergripande minskningen antyder att både minskande trend i utsläpp och förändrade meteorologiska förhållanden har bidragit till en lägre kvävebelastning. Noteras bör också att uppdateringen av modellsystemet år 2023 har bidragit till minskningen under detta år. Torrdepositionen följer till stor del samma geografiska mönster som totaldepositionen, med generellt

högre halter i södra Sverige. Under 2023 noterades lägre torrdeposition jämfört med tidigare år, särskilt i delar av Norrland.

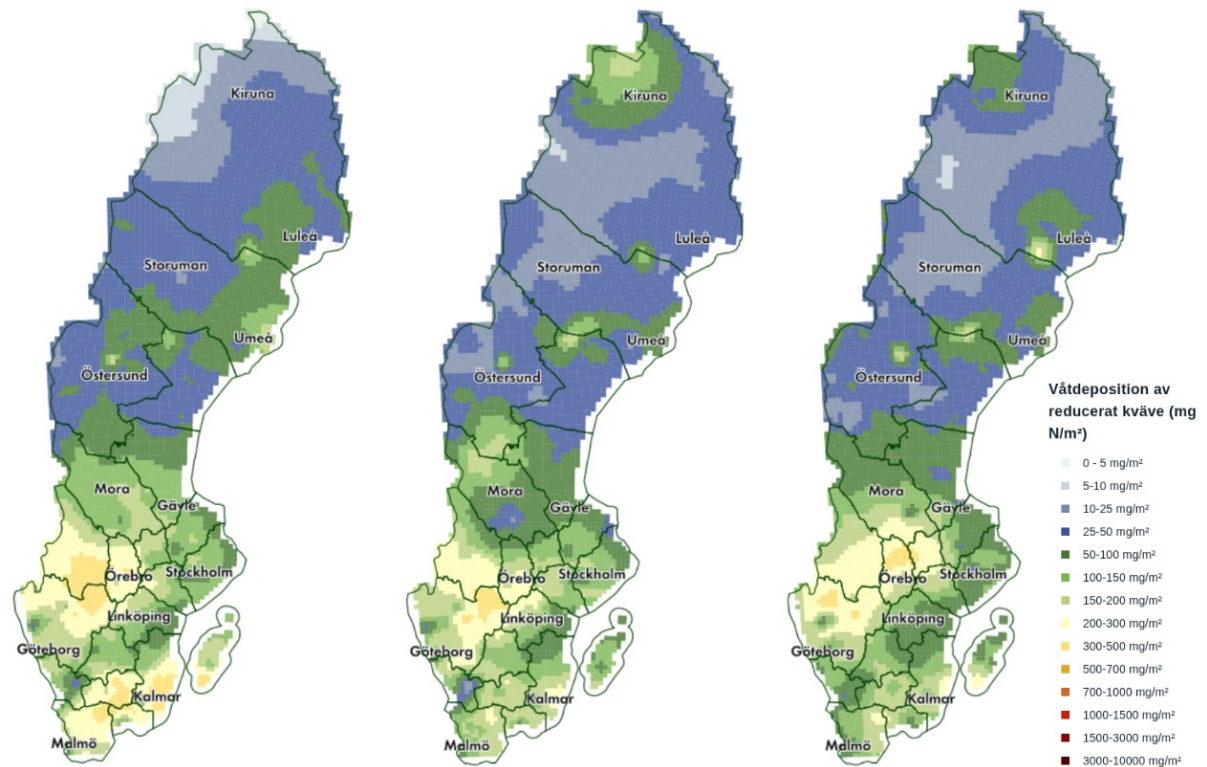


Figur 13. Totaldeposition av reducerat kväve under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet:  $\text{mg N m}^{-2}$ .



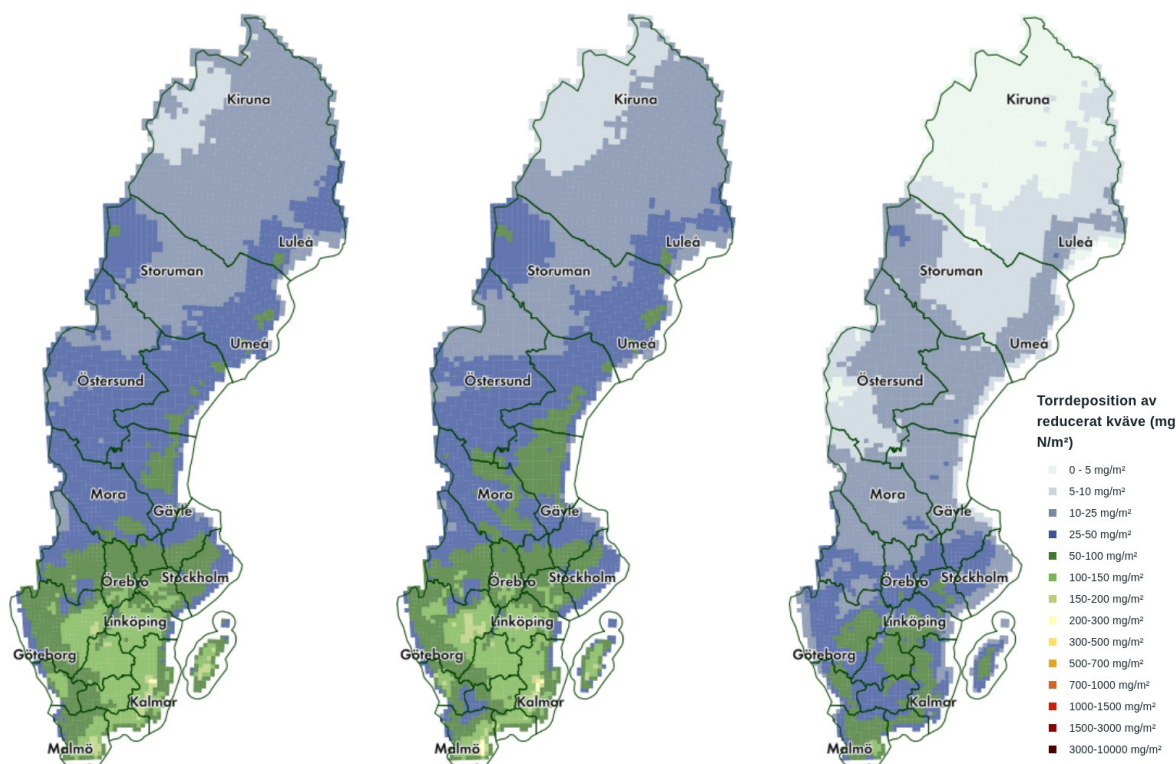


Figur 14. Total deposition av reducerat kväve till Sverige under perioden 1983–2023 visas med svart linje. Bidrag till depositionen på skogsmark (röd), vattenytor (blå) och jordbruksmark (rosa) presenteras som färgade ytor och cirklar. Den svarta linjen inkluderar även deposition till övriga ytor, såsom urbana områden. Linjer och ytor avser rekonstruerad deposition beräknad med MATCH Sverigesystemet för åren 1983–2013, medan cirklarna representerar operationella skattningar från MATCH Sverigesystemet för perioden 2013–2023. Skillnader från 2013 beror på varierande indata och mängd mätdata (se Andersson et al., 2018).



Figur 15. Våtdeposition av reducerat kväve under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet: mg N m<sup>-2</sup>.





Figur 16. Torrdeposition av reducerat kväve under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet:  $\text{mg N m}^{-2}$ .

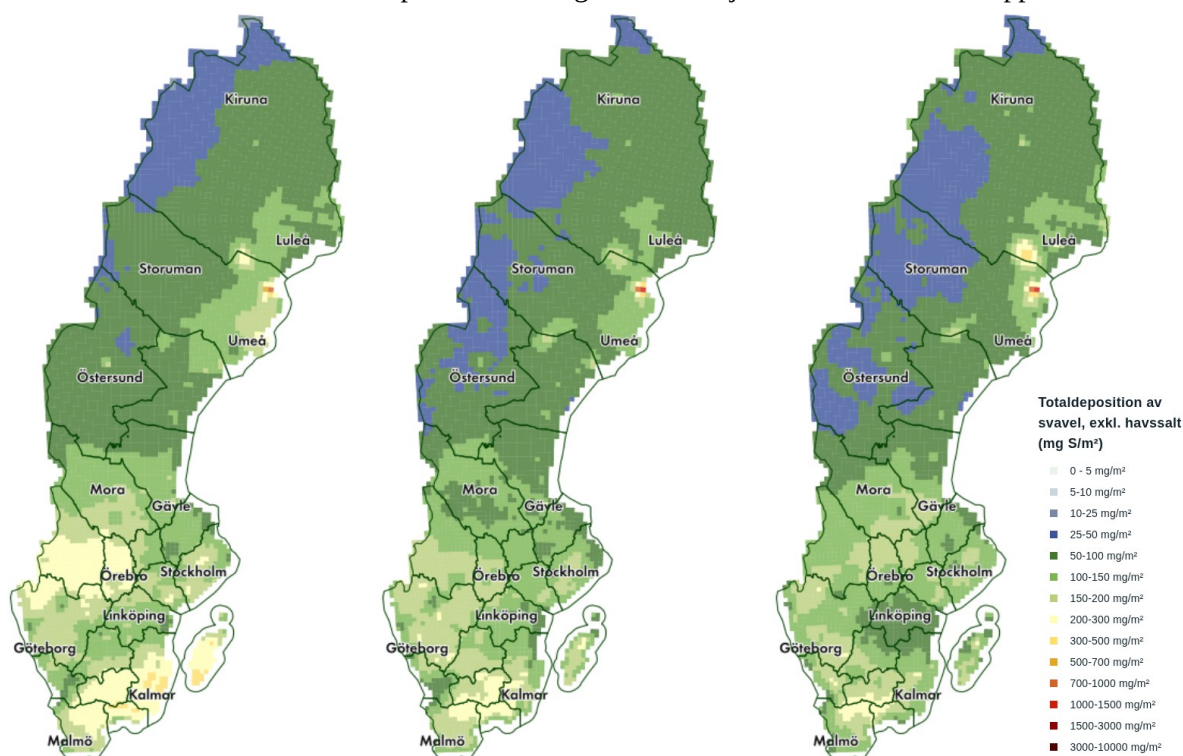
I jämförelse med EMEP visar MATCH annorlunda mönster i södra Sverige. EMEP visar på högst deposition av reducerat kväve längs västkusten medans MATCH visar högst deposition i sydost. Depositionsmängden skiljer sig också tydligt, där EMEP ligger markant högre än MATCH. I norra Sverige visar båda modellerna ganska likartat utbredningsmönster och mängd i deposition (EMEP 2023 och EMEP 2024).

### 3.3.3 Deposition av oxiderat svavel utan respektive med havssaltsvavel

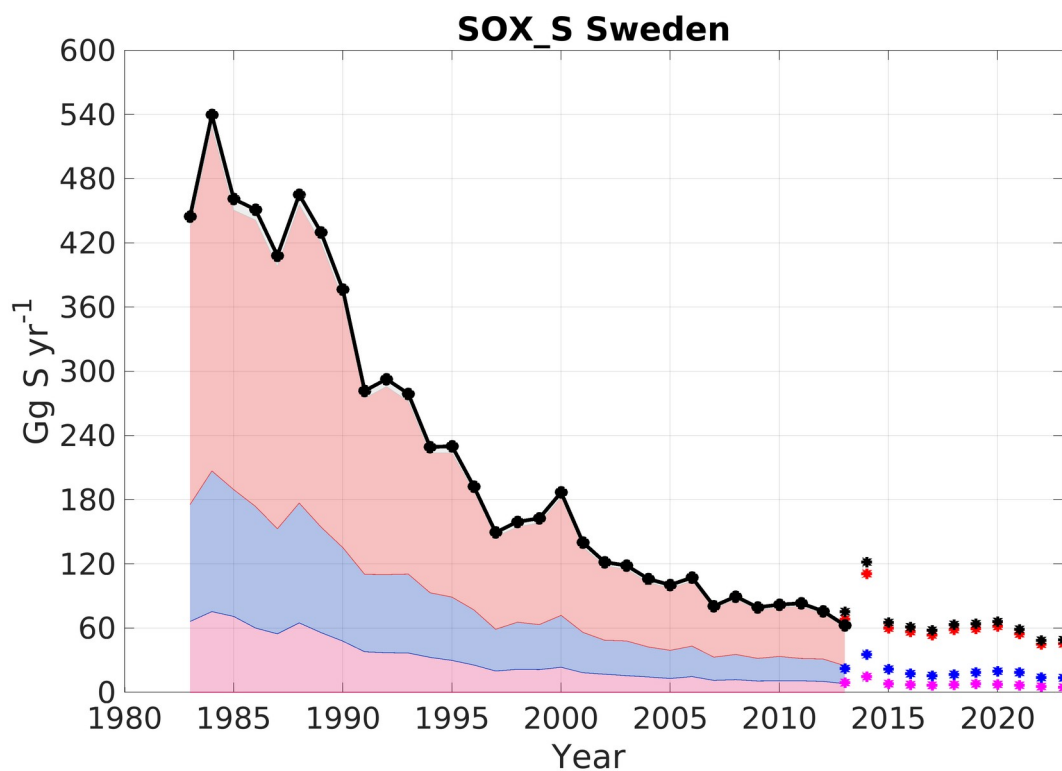
Figur 17 till Figur 20 visar total-, våt- och torrdeposition av oxiderat svavel exklusive havssaltsbidrag för åren 2021–2023, samt en tidsserie över totaldeposition av oxiderat svavel exklusive havssaltsbidrag till olika marktyper i Sverige under perioden 1983–2023 (Figur 18).

Figur 17 visar att totaldepositionen av oxiderat svavel exklusive havssaltsbidrag var som högst i Götaland och Svealand, på Gotland samt i Västerbottens län (Skellefteåområdet). Under 2021 noterades särskilt förhöjda nivåer i södra Småland, Värmland, Örebro, Blekinge, norra Skåne, Gotland och Skellefteå. Enligt Miljöövervakningens webbplats ([Miljöövervakning](https://www.miljoovervakning.se/)) under Deposition – Sveriges bidrag – Svavel exkl. havssalt var Sveriges bidrag till depositionen relativt oförändrat mellan de tre åren, vilket tyder på att långdistanstransport av oxiderat svavel fortsatt är den dominerande källan till totaldepositionen. Totaldepositionen av oxiderat svavel exklusive havssaltsbidrag varierade över Sverige mellan 20 och 782  $\text{mg S m}^{-2}$  under 2021, 24 och 1087  $\text{mg S m}^{-2}$  under 2022, samt 28 och 1006  $\text{mg S m}^{-2}$  under 2023. Figur 19 visar att våtdepositionen av oxiderat svavel utan havssaltsvavel är särskilt hög i gränsområdet mellan Västerbottens och Norrbottens län, i närheten av Luleå. Detta mönster återfinns även tidigare år, men 2023 uppvisar något större våtdeposition än föregående år. Under 2021 noterades högre våtdeposition i Kalmar län och på södra Gotland, men dessa nivåer har minskat under 2022 och 2023. Figur 20 visar att torrdeposition av oxiderat svavel exklusive havssaltsvavel uppvisar ett relativt likartat geografiskt mönster över perioden. Det kan dock noteras att nivåerna generellt var lägre under 2023 jämfört med 2021 och 2022. Den högsta depositionen återfinns i Skellefteåområdet, med värden på 710  $\text{mg S m}^{-2}$  år 2021, 1041  $\text{mg S m}^{-2}$  år 2022 och 902  $\text{mg S m}^{-2}$  år 2023. De höga vär-

dena i detta område kan delvis förklaras av den högre geografiska upplösningen i beräkningarna, vilket innebär att både halterna och depositionen återges mer detaljerat i närheten av utsläppskällorna.

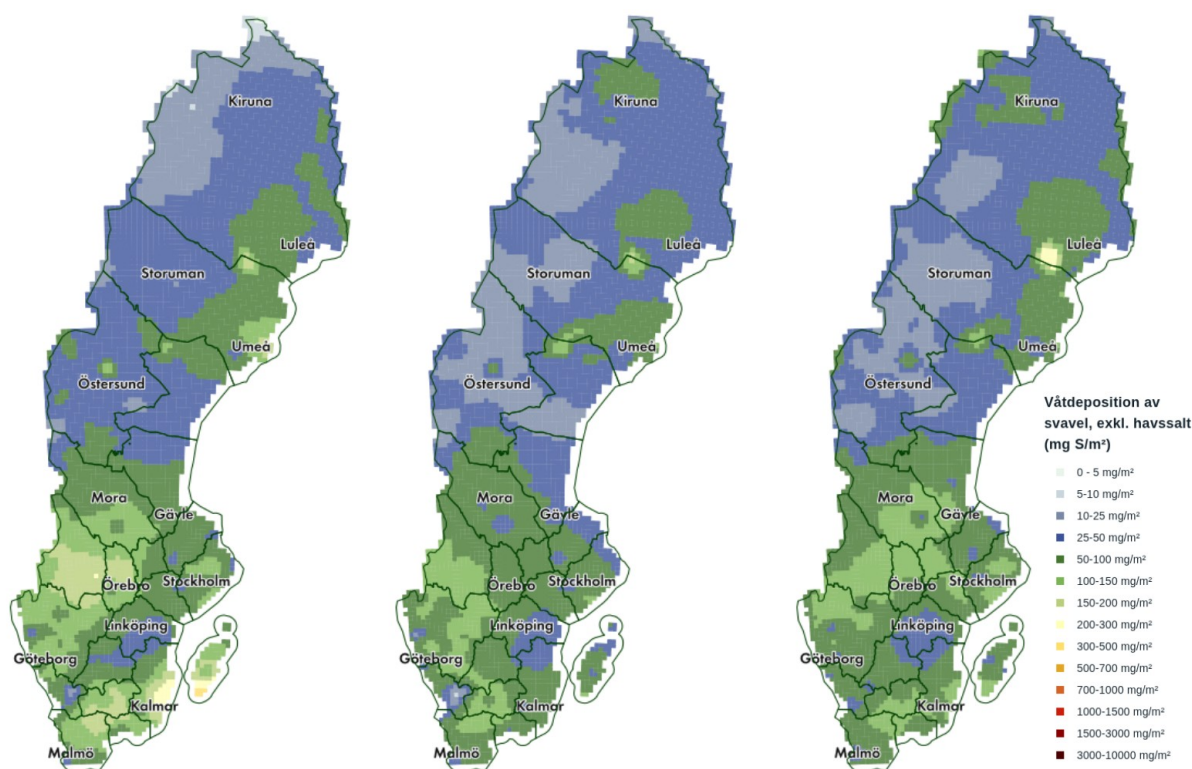


Figur 17. Totaldeposition av svavel exklusive havssaltsvavel under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet: mg S m<sup>-2</sup>.

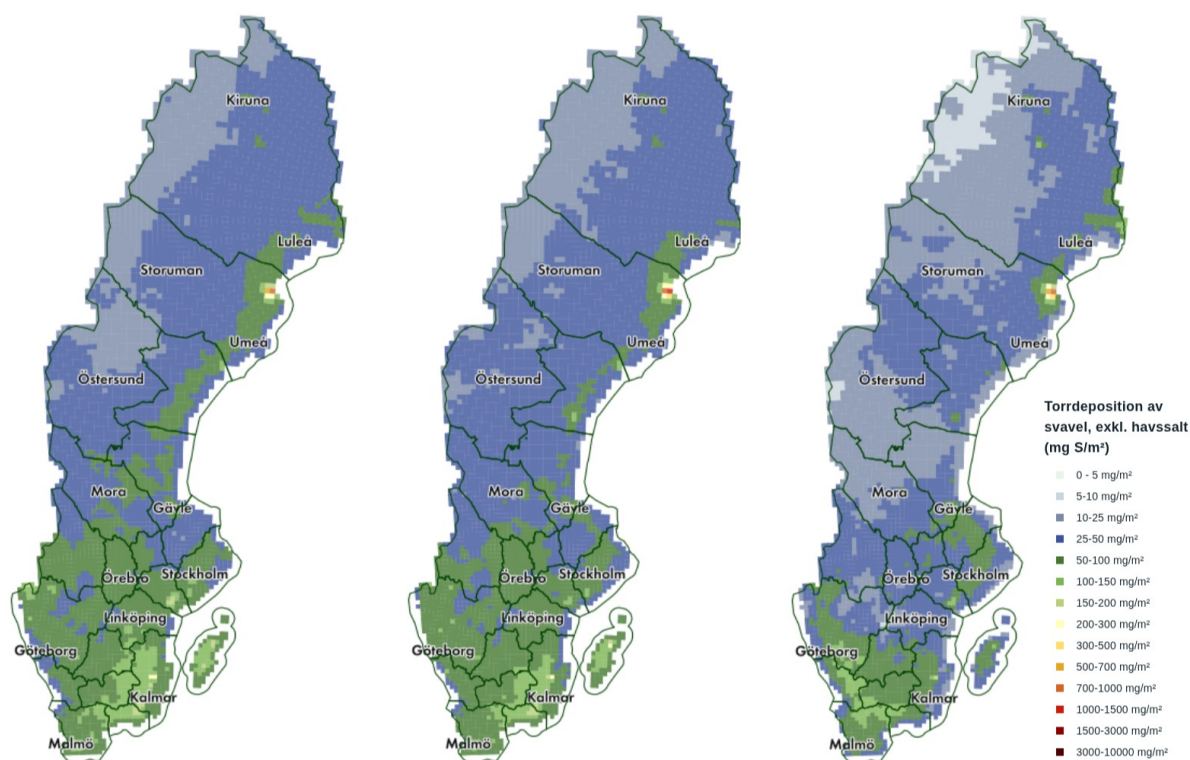


Figur 18. Total deposition av oxiderat svavel exklusive havssaltsbidrag till Sverige under perioden 1983–2023 visas med svart linje. Bidrag till depositionen på skogsmark (röd), vattenytor

(blå) och jordbruksmark (rosa) presenteras som färgade ytor och cirklar. Den totala deposition (svart) inkluderar även depositionen till andra ytor, till exempel urbana miljöer. Linjer och ytor baseras på återanalyserad deposition beräknad med MATCH Sverigesystemet för åren 1983–2013, medan cirkarna visar operationella skattningar från MATCH Sverigesystemets för perioden 2013–2023. Skillnaderna från 2013 förklaras av variationer i indata och mängden mätdata (se Andersson et al., 2018).



Figur 19. Våtdeposition av oxiderat svavel exklusive havssaltsvavel under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet: mg S m<sup>-2</sup>.



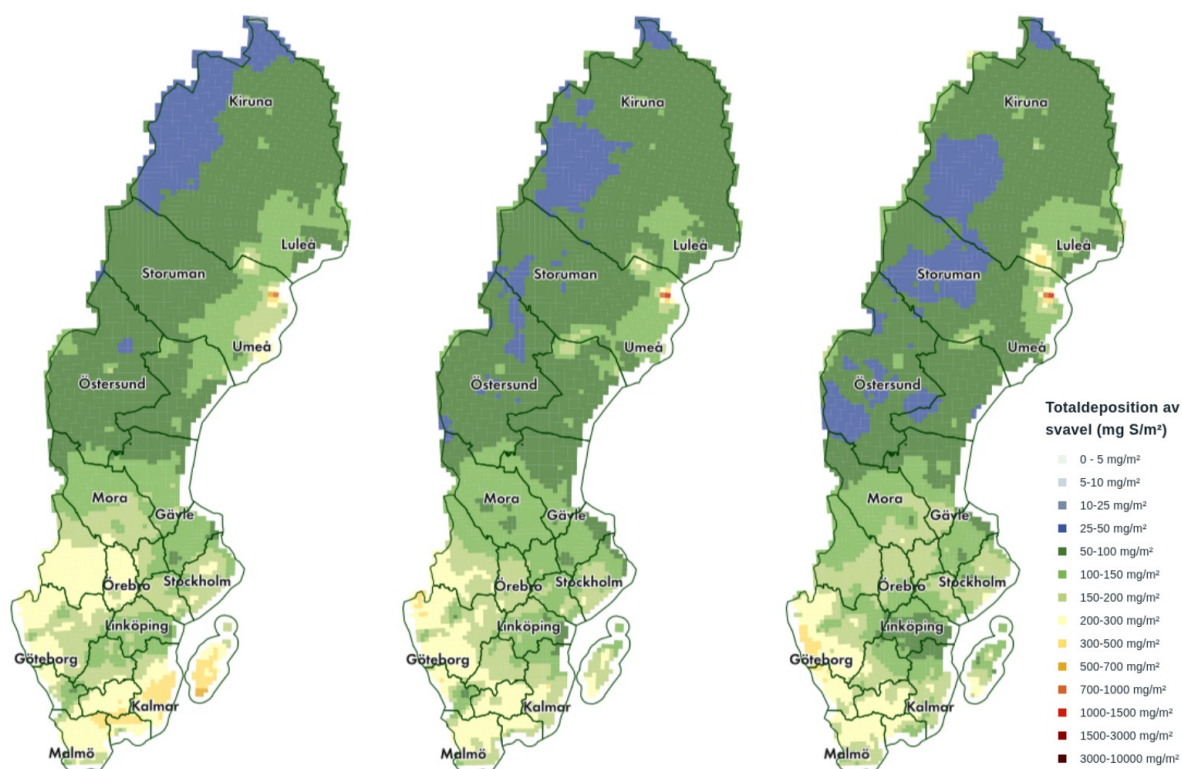
Figur 20. Torrdeposition av oxiderat svavel exklusive havssaltsvavel under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet:  $\text{mg S m}^{-2}$ .

I Figur 21 och Figur 22 visas total- och våtdeposition av oxiderat svavel inklusive havssaltsbidrag för åren 2021–2023. Enligt data från Miljöövervakningens webbplats (*Miljöövervakning*) (Deposition – Sveriges Bidrag – Svavel) är Sveriges bidrag till depositionen relativt oförändrat mellan dessa år (2021, 2022, 2023), vilket kan tyda på att långdistanstransport fortsatt utgör den dominerade källan till totalsvavelhalter.

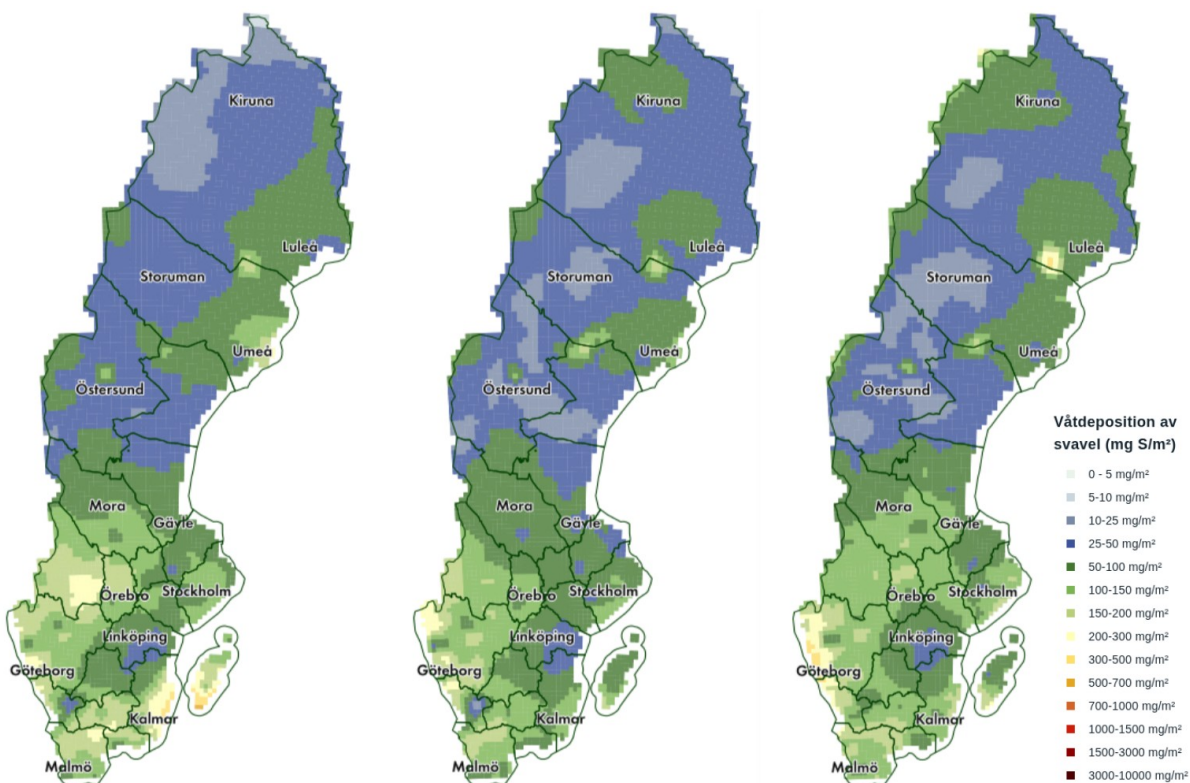
I Figur 21 presenteras totaldepositionen av oxiderat svavel inklusive havssaltsbidrag för perioden 2021–2023. Halterna varierade mellan 22 och  $793 \text{ mg N m}^{-2}$  år 2021, mellan 27 och  $1092 \text{ mg N m}^{-2}$  år 2022, samt mellan 29 och  $1012 \text{ mg N m}^{-2}$  år 2023. En tydlig geografisk förändring kan observeras mellan åren: år 2021 var den högsta totaldepositionen koncentrerad till södra Sverige, särskilt Blekinge, Kalmar, Öland och Gotland. År 2023 har mönstret av totaldepositionen förskjutits mot västkusten, där Västra Götalands län och Halland. I Skellefteåområdet i Västerbottens län korrelerar totaldepositionen under samtliga tre år, vilket också överensstämmer med våtdepositionen som presenteras i Figur 22 (våtdepositionen av oxiderat svavel inklusive havssaltsbidrag).

Vid jämförelse mellan totaldepositionen av svavel för perioden 2021–2023 och tidsperioden 1983–2013 (Andersson et al., 2018), framgår att samtliga tre år har lägre halter än det lägsta året i återanalysen. Detta bekräftar en fortsatt nedåtgående trend i svaveldeposition över hela landet.





Figur 21. Totaldeposition av oxiderat svavel inklusive havssalts svavel under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet: mg S m<sup>-2</sup>.



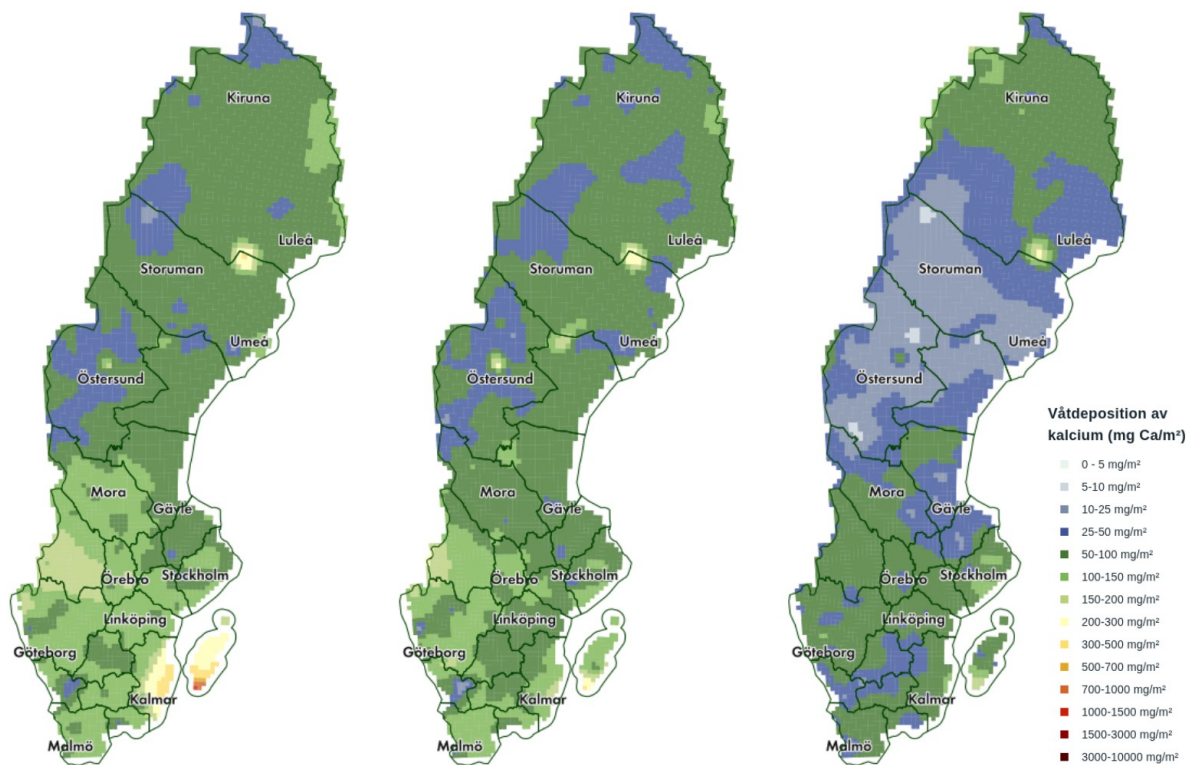
Figur 22. Våtdeposition av oxiderat svavel inklusive havssaltssvavel under år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet:  $\text{mg S m}^{-2}$ .

I jämförelse med EMEP visar MATCH något högre totaldeposition av oxiderat svavel i södra Sverige och ett något annorlunda mönster där de högre områden med hög deposition är fokuserade över sydost. EMEP visar områden med hög deposition snarare längs västkusten. I norra Sverige visar modellresultaten likartade mönster och depositions mängd (EMEP 2023 och EMEP 2024).

### 3.3.4 Våtdeposition av baskatjoner

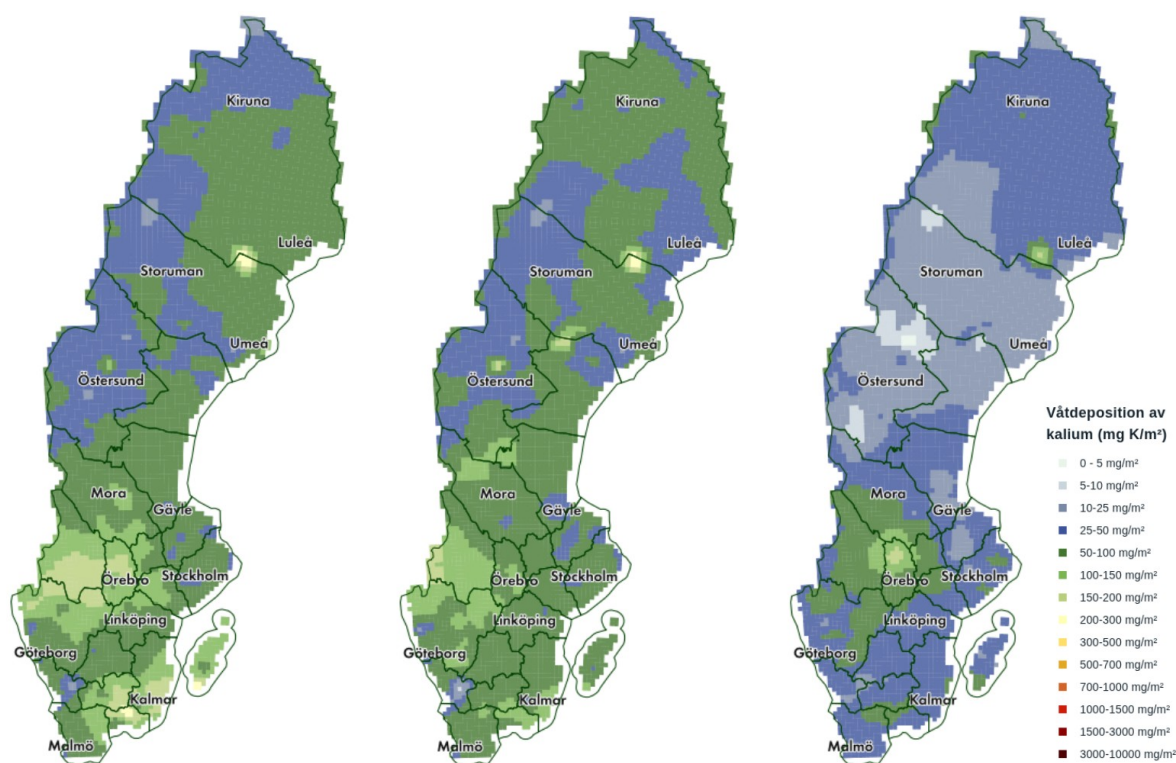
Deposition av baskatjoner är av intresse eftersom de verkar neutraliserande. Vid försurningsmodellering är kunskap om detta nedfall användbart, då det kan balansera åtminstone delar av det försurande kväve- och svavelnedfallet som sker. På (*Miljöövervakning*) presenteras våtdeposition av baskatjoner med och utan havssaltbidrag. En relativt liten del av baskatjonerna kommer från havssalt i de norra delarna av Sverige. I Figur 23 till Figur 26 visas våtdepositionen av baskatjonerna kalcium, kalium, magnesium och natrium inklusive havssaltbidrag.

Den största våtdepositionen av kalcium (Ca) finns främst över södra Sverige, särskilt i östra Götaland och Gotland under 2021 (Figur 23). Det var högre våtdeposition i Kalmar län och Gotland under 2021 än resterande år där det har skett en gradvis minskning överlag för varje år. Våtdepositionen av kalium (K) var högre i allmänhet under 2021, jämfört med 2022 och 2023 (Figur 24). Störst våtdeposition av magnesium (Mg) återfinns vid västkusten och längs med Gotlands kust, då havssalt står för det absolut största bidraget (Figur 25). Det var särskilt hög deposition i Göteborgsområdet 2022 men minskade igen 2023. Det gäller även natrium, som återfinns i höga nivåer framför allt längs västkusten och delvis längs ostkusten (Figur 26). Natrium tolkas enbart som härstammande från havssalt i MATCH Sverigesystemet. Våtdepositionen av natrium utmed gränsen mot Norge är en effekt av mycket höga natriumhalter i nederbörd utmed Norges kust, detta är tydligt år 2022 och 2023. År 2023 ses även en förhöjd depositionseffekt i Stockholmsområdet vilken kan vara ett resultat av mer nederbörd i samband med ostliga vindar.

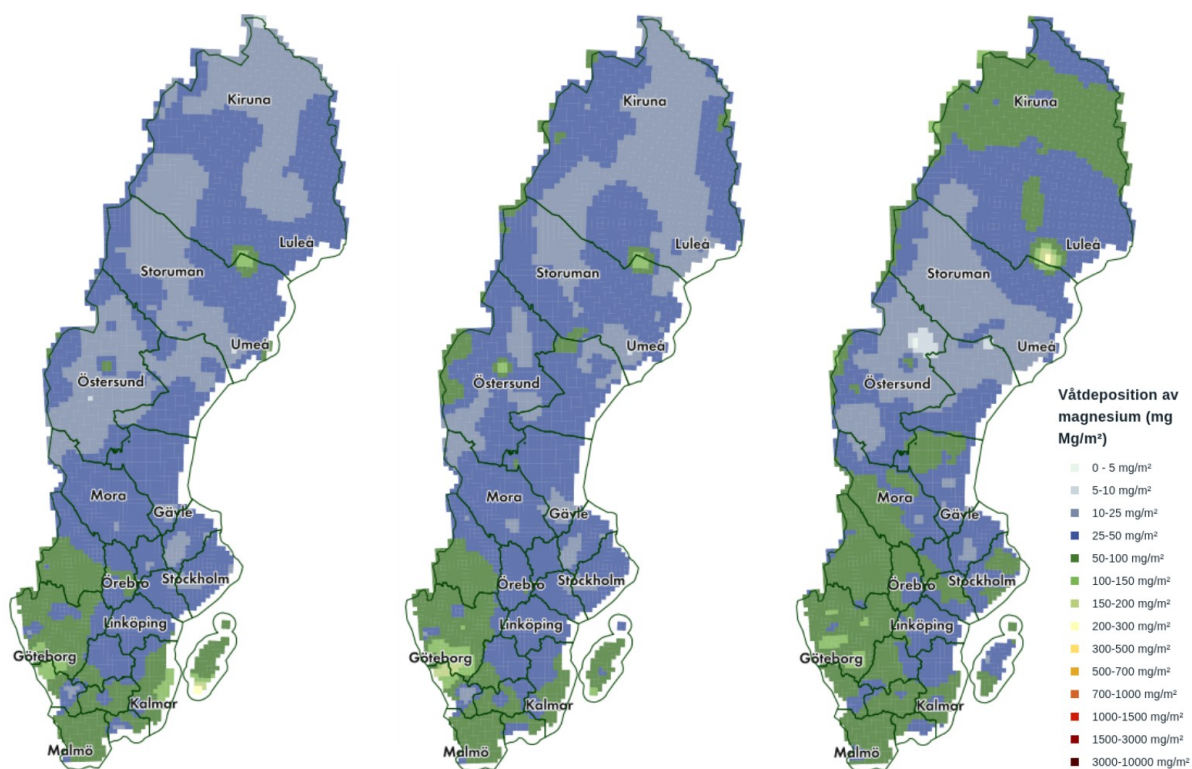


Figur 23. Våtdeposition av kalcium år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet:  $\text{mg Ca m}^{-2}$ .

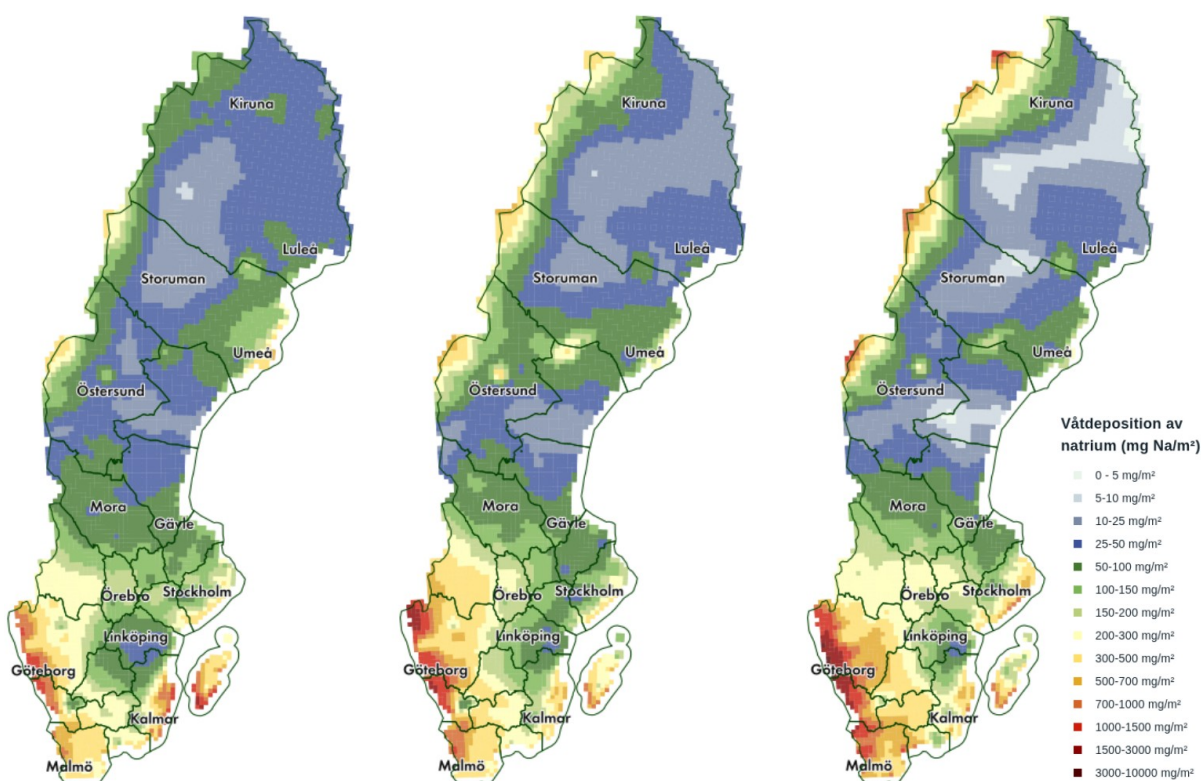




Figur 24. Våtdeposition av kalium år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet:  $\text{mg K m}^{-2}$ .



Figur 25. Våtdeposition av magnesium år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet:  $\text{mg Mg m}^{-2}$ .



Figur 26. Våtdeposition av natrium år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger). Enhet:  $\text{mg Na m}^{-2}$ .

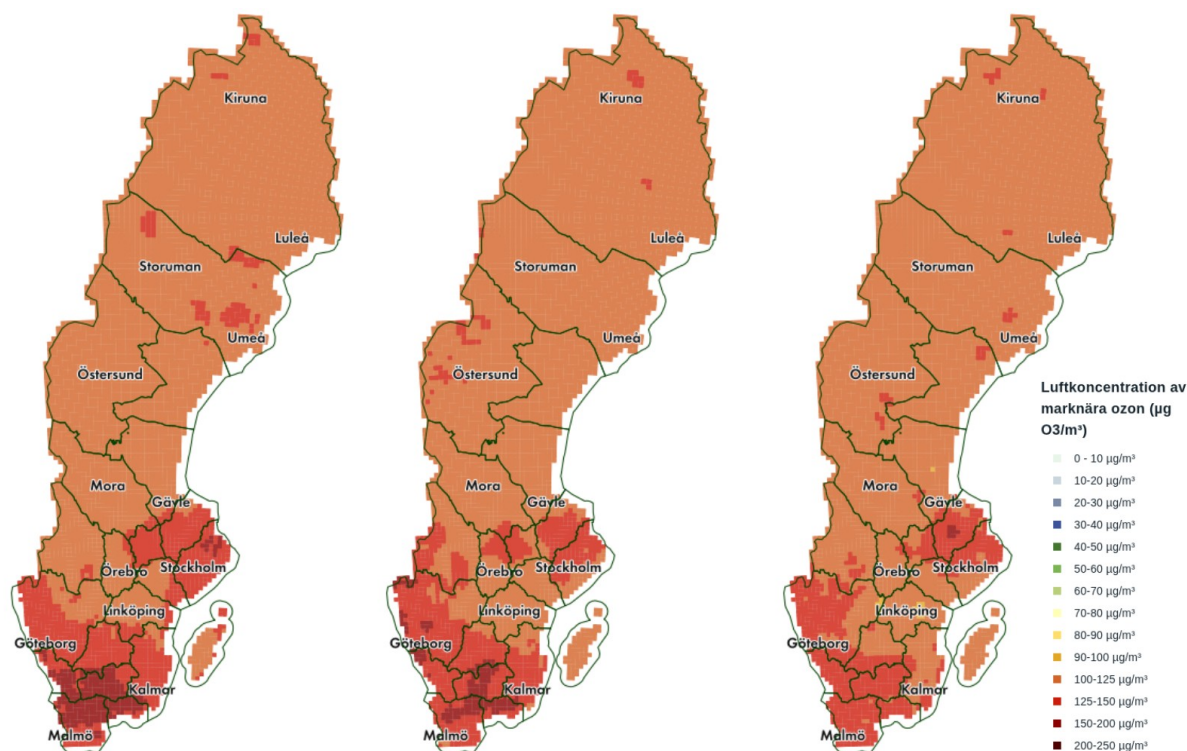
### 3.4 Marknära ozon

Från och med 2013 presenteras mått på halter i luft av marknära ozon inom MATCH Sverige-systemet och ozonflöde (PODY) till olika växttyper har implementerats för senare år. Nedan visas resultat för årets maximala 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, PODY för generell gröda och lövskog samt PODY för björk, gran, vete och potatis. På hemsidan finns förutom dessa resultat också kartor publicerade för årsmedel, sommarmedel, antal timöverskridanden över 80  $\mu\text{g m}^{-3}$  samt hälsomåttet SOMO35.

År 2021 var april månad var torrare än normalt i sydvästra delar av landet och inre delar av Norrland, temperaturmässigt var det kallare än normalt i stort sett hela landet förutom Norrlandskusten och norra Norrland ([Kartor SMHI](#)). Maj var kallare än normalt speciellt i norr, och mellersta delarna av Norrland var nederbördsfattig, medans det i söder föll rekordmycket regn. Sommaren 2021 var varmare än normalt i hela landet. Västra halvan av landet var torrare än normalt medans östra halvan av landet och stora delar av mellersta Sverige fick mer nederbörd än normalt. År 2022 var april kallare än normalt i hela landet, och nederbördsfattig i inre delarna av mellersta Norrland och västliga delar av Svealand i övrigt ganska normala eller lite över normala i resten av landet. Maj var nederbördsfattig i västra delar av Svealand och Östergötland samt stora delar av Norrland förutom i fjällen. Första halvan av maj var kylig men blev varm under andra halvan. Sommaren 2022 präglades av höga temperaturer och låg nederbörd i östra Götaland och östra Svealand. I norra Sverige var det lokalt både varmare och nederbördsrikare än normalt. April och maj 2023 dominerades av högtryck, vilket gav en tidig värmeperiod i början av sommaren. Som helhet låg temperaturen nära det normala i södra halvan av landet och något över det normala i den norra halvan. Inledningen var mycket torr för att sedan bli mycket blöt under senare delen. Framförallt föll stora mängder nederbörd i västra och norra delar av Götaland, västra Svealand och södra Norrland. De mer normala temperaturerna under sommaren kan ha bidragit till att ozonhalterna generellt blev lägre under 2023.

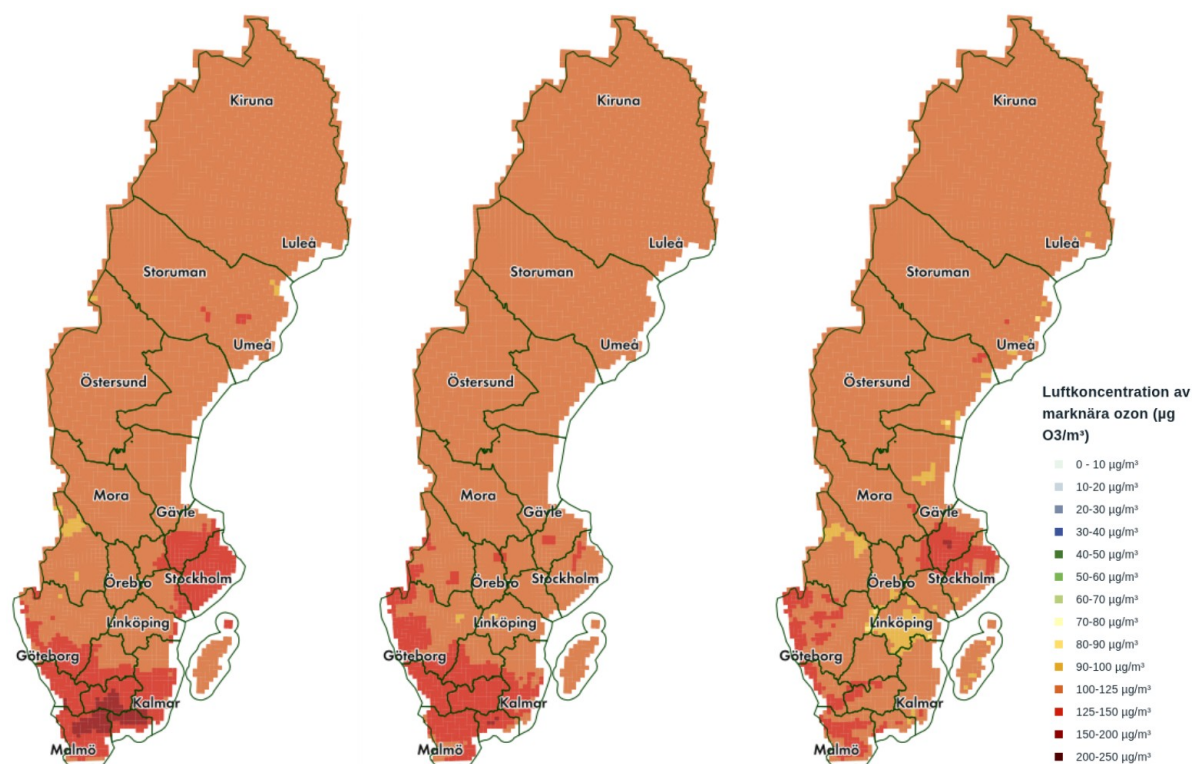
Figur 27 och Figur 28 visar årets maximala entimmesmedelvärde och flytande åttatimmarsmedelvärde för marknära ozon under åren 2021-2023. Generellt så sker de högsta maxvärdena i södra Sverige. Entimmesmaximum varierar mellan 101 och 176  $\mu\text{g m}^{-3}$  (2021), 99 och 157  $\mu\text{g m}^{-3}$  (2022), 95 och 156  $\mu\text{g m}^{-3}$  år 2023. För flytande åttatimmarsmaximum varierar halten under åren mellan 96 och 156  $\mu\text{g m}^{-3}$  (2021), 104 och 166  $\mu\text{g m}^{-3}$  (2022), 82 och 154  $\mu\text{g m}^{-3}$  (2023).

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. Det maximala entimmesvärdet och åttatimmarsmedelvärdet fortsätter successivt nedåt för åren 2021 - 2023.



Figur 27. Årets maximala entimmesmedelvärde år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger) för halt i luft av marknära ozon ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ).





Figur 28. Årets maximala åttatimmarsmedelvärde år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger) för halt i luft av marknära ozon ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

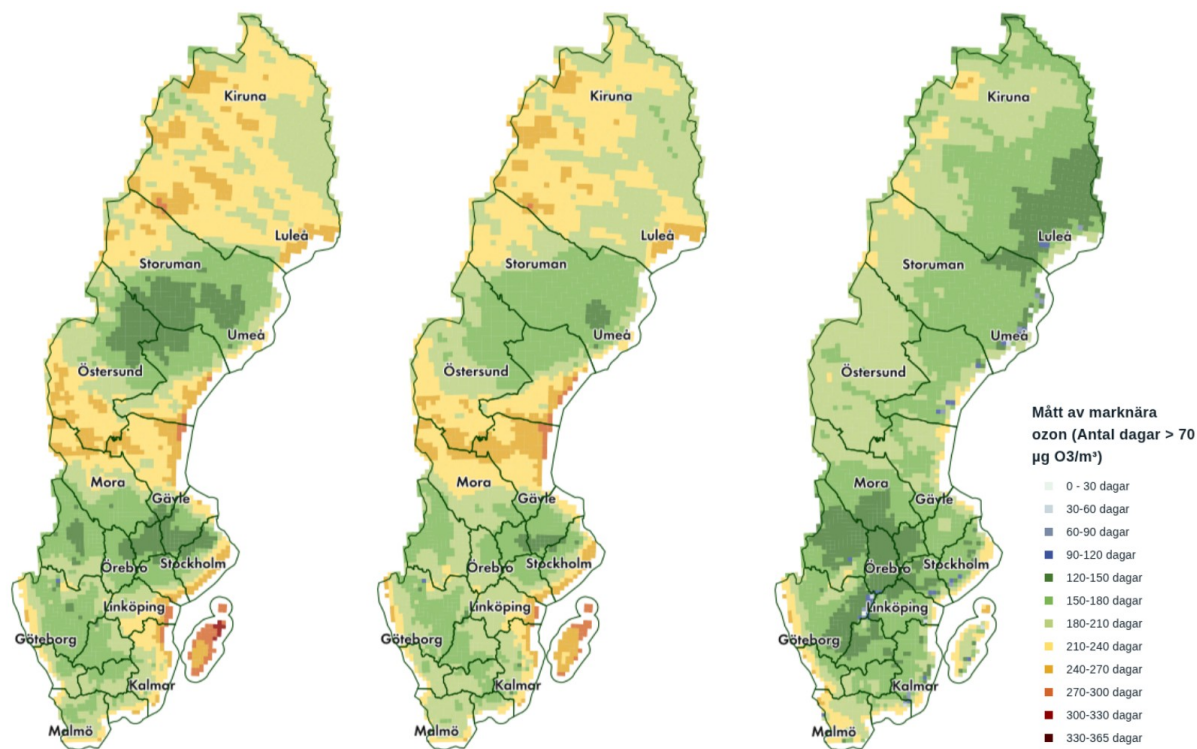
Figur 29 visar antal dagar per år då dygnets maximala flytande åttatimmarsmedelvärde av marknära ozon överskred  $70 \mu\text{g m}^{-3}$  under åren 2021-2023. Antalet överskridanden av  $70 \mu\text{g m}^{-3}$  är något förhöjda i fjällen, över mellersta Sverige, Gotland och längs stora delar av ostkusten, speciellt vid södra Norrlands kusttrakter under åren 2021 och 2022. Under 2023 är antalet överskridanden lägre än de andra två åren, och förhöjda längs med kustbandet i hela landet.

I medel, över stora delar av landet, överskred 160-190 dygn per år under 1990-2013 (Andersson et al., 2015) ett maximalt flytande åttatimmarsmedelvärde över  $70 \mu\text{g m}^{-3}$ , och något högre i fjällen och södra Götalands kusttrakter, medan norra Norrlands kusttrakter och delar av västliga Svealand var något lägre. Jämfört med den långa perioden var 2021 högre (112 – 305 dagar över 70), och i medelvärde över Sverige 196 dagar med överskridande. Under 2022 varierade antal dagar med överskridande mellan 115 till 294, med medelvärde över Sverige på 200 dygn. Under 2023 varierade antalet dagar med överskridande mellan 16 – 229 dygn över 70, med medelvärde över Sverige på 173 dagar. Den uppåtgående trenden som tidigare år påvisats fortsätter alltså för åren 2021 och 2022 men avbryts och går nedåt år 2023. Det återstår att se om detta är ett tillfälligt trendbrott eller om det fortsättningsvis går nedåt efter 2023. Det ska noteras att detta kan variera mycket från år till år och beror till stor del på den meteorologiska variationen.

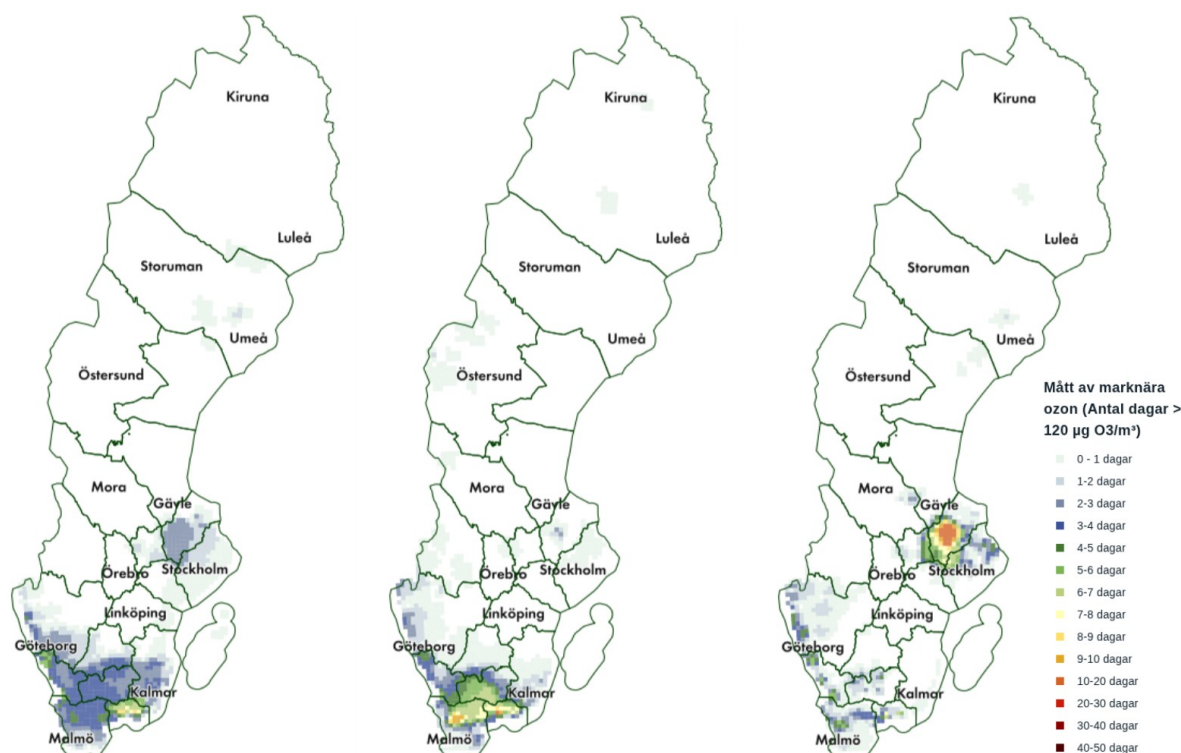
Figur 30 visar antal dagar per år då dygnets maximala flytande åttatimmarsmedelvärde av marknära ozon överskred  $120 \mu\text{g m}^{-3}$  under åren 2021-2023. Dygnsöverskridanden av  $120 \mu\text{g m}^{-3}$  sker främst i södra Sverige och ett område i Uppland. År 2022 hade fler dygnsöverskridanden i södra Sverige än 2021 och 2023. Dygnsöverskridanden varierade mellan 5 – 11 i ett område över norra Skåne och Blekinge under 2022. Under 2023 var dygnsöverskridanden istället koncentrerade till ett område i Uppland som också hade betydligt fler dygnsöverskridanden år 2023 än de två tidigare åren, där 7 - 15 dygn låg över  $120 \mu\text{g m}^{-3}$ .

För antal dygn över  $120 \mu\text{g m}^{-3}$  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 antal dygn i norr över perioden översteg 10 dygn i vissa områden och i söder mellan 10 och 36 dygn. De flesta överskridanden inträffade dock under 1990-talet i södra Sverige. Det senaste året, före 2014, med fler än 10 överskridanden på ett utbredd område var 2004. Under perioden 1990-2013 var det en signifikant minskande trend

i södra och centrala Sverige, med 0.32 respektive 0.12 dagar per år. Antalet dygn över 120 låg för åren 2021 och 2022 alltså i linje med långtidsperioden för södra Sverige eller något under. Medans 2023 i Uppland låg relativt högt i jämförelse. En högttrycksbetonad maj månad samt torr och varm inledning på sommaren 2023 har troligtvis bidragit till flera dagar med mycket höga halter i Uppland under 2023. Även 2019 var ett år där dygnsöverskridanden var särskilt höga i Uppland (referens till rapport eller hemsidan).



Figur 29. Antal dagar då halt i luft av marknära ozon överstiger 70 µg m<sup>-3</sup> år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).



Figur 30. Antal dagar då halt i luft av marknära ozon överstiger  $120 \mu\text{g m}^{-3}$  år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).

I Figur 31 och Figur 32 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 på grödor (Figur 31) var något högre under 2021 och 2023 (undantag Gotland som var ganska lågt 2023), och störst påverkan var i Götaland, speciellt vid västkusten, Skåne och Blekinge. År 2023 ses även ett område i Uppland med hög AOT40 för grödor.

AOT40 för grödor hade under åren 2021 till 2023 ett max värde på 7, 5,6 och 8,4 ppm(v) vilket ligger under max-värdet för 1990-2013 (Andersson m.fl. 2015, figur 4).

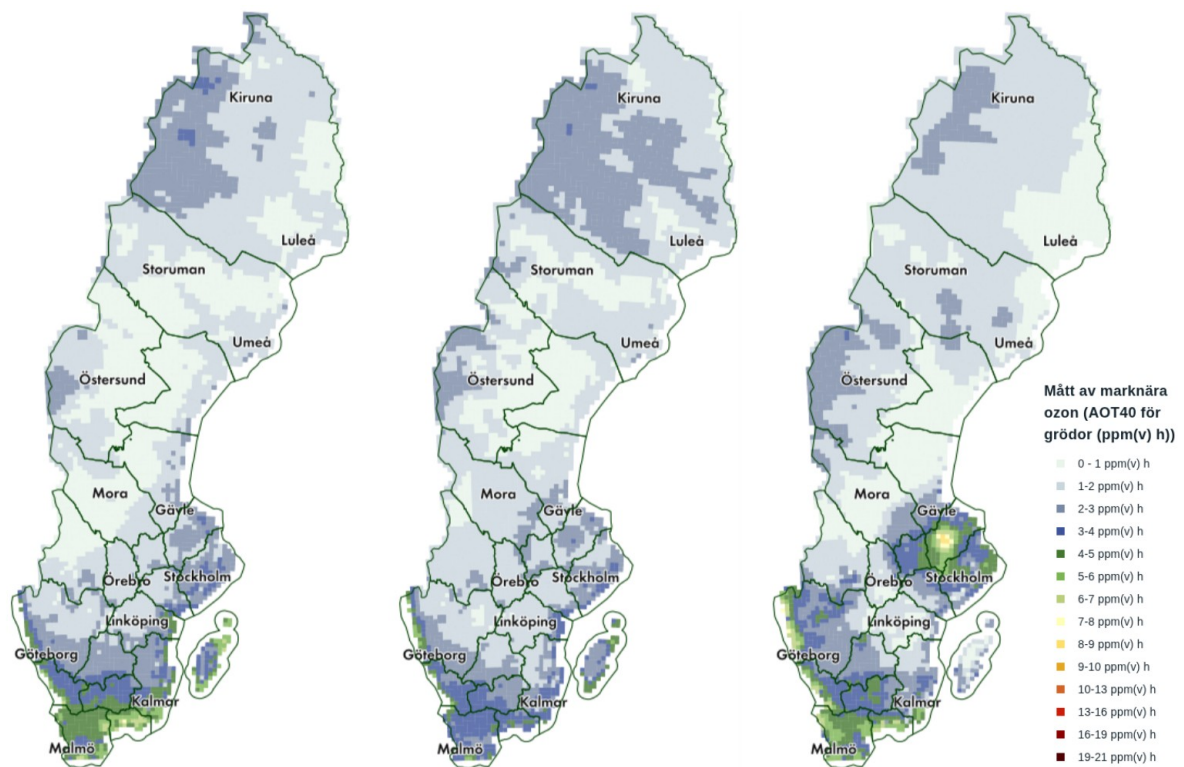
AOT40 för skog (Figur 32) var högre i norra Sverige under åren 2021 och 2022 för att sedan gå ned 2023. Annars var värdena höga längs väst- och östkusten 2021 och 2022 vilka tenderat att öka ytterligare under 2023, med tillägg för ett område i Uppland som utmärker sig tydligt. Maxvärdet för 1990-2013 gällande AOT40 för skog låg i södra Sverige på 13 – 17 ppm(v) vilket samtliga år låg under (2021; 11, 2022; 9,6 och 2023; 11,9). I norra och mellersta Sverige var åren 2021 och 2022 i linje med maxvärdet över 1990-2013 medans det minskade ganska markant i norr år 2023.

Trenden över 1990-2013 (Andersson et al, 2015) är minskande överallt utom i norra Norrland för både grödor och skog (signifikant minskning i Svealand för grödor och i Götaland för skog). Skillnaderna mellan åren 2021-2023 drevs primärt av meteorologisk variabilitet, där 2021 var relativt varm och 2023 ganska normal men nederbördsrik. Det är möjligt att modelluppdateringen till 2023 påverkade resultaten till 2023, vilket betonar vikten av återkommande långtidsåteranalyser för trendanalys och annan statistik.

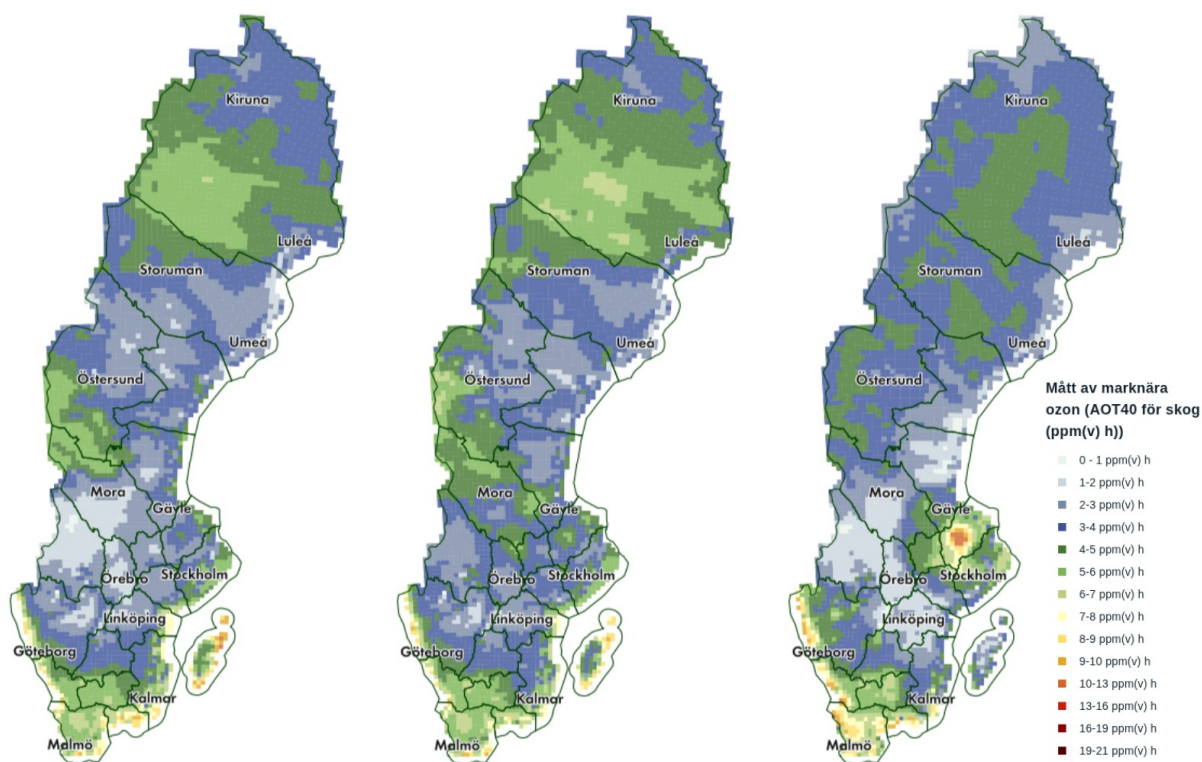
Skillnaderna i haltmått för ozon mellan åren 2021-2023 orsakas framförallt av den meteorologiska variationen under åren. Medans den långsiktiga trenden i ozonhalter orsakas framförallt av utsläppsminskningar i Europa och Nordamerika och utsläppsökningar i Asien. Den senare bidrar till en allmän ökning av de lägsta ozonhalterna vilket bidrar till en ökning av dagar med överskridande av låga trösklar som  $70$  respektive  $80 \mu\text{g m}^{-3}$  (35 respektive 40 ppb(v)), medan svenska och europeiska emissionsminskningar bidrar till minskade höga halter under sommarhalvåret (Andersson et al., 2017), Inget av



de tre åren klassas som ett extremår med hänseende på överskridande av miljökvalitetsnormen med gränsvärdet på 120 utan variationer i områden med höga halter varierar i dess utbredning och lokalisering från år till år.



Figur 31. AOT40 uttryckt i ppm(v) h (parts per million volume hours) för grödor år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).

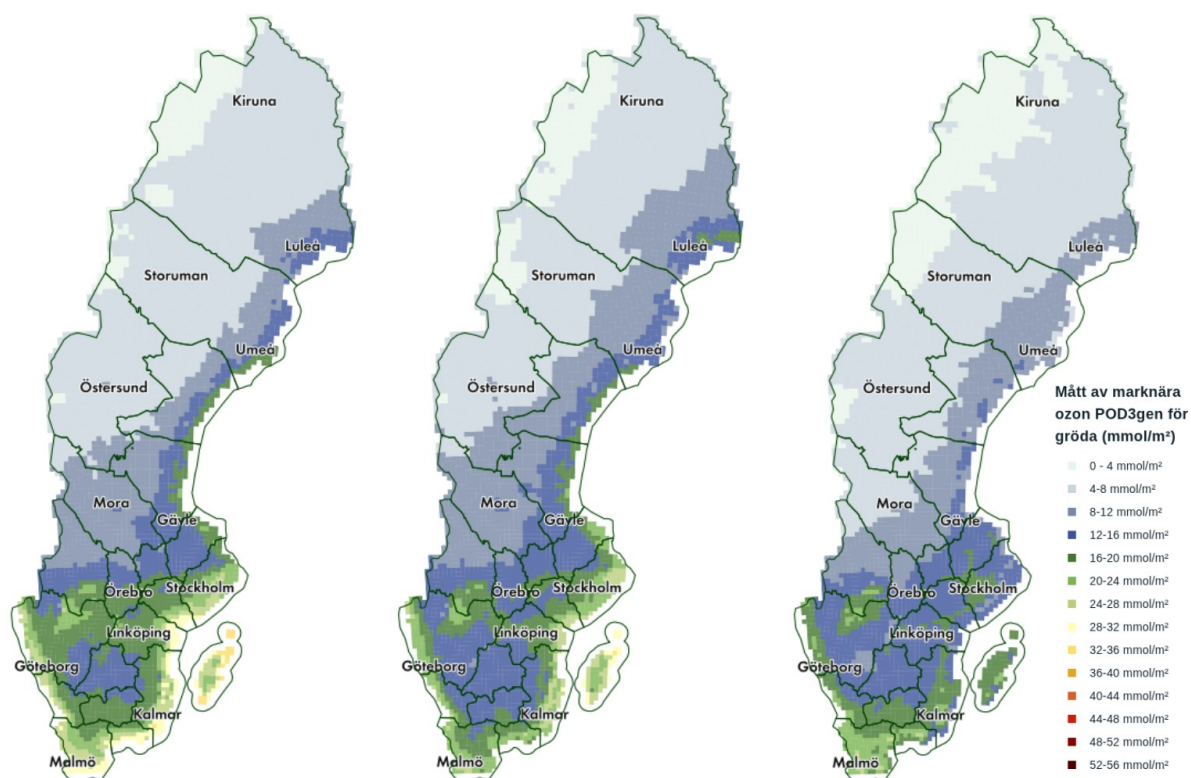


Figur 32. AOT40 uttryckt i ppm(v) h (parts per million volume hours för skog år 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).

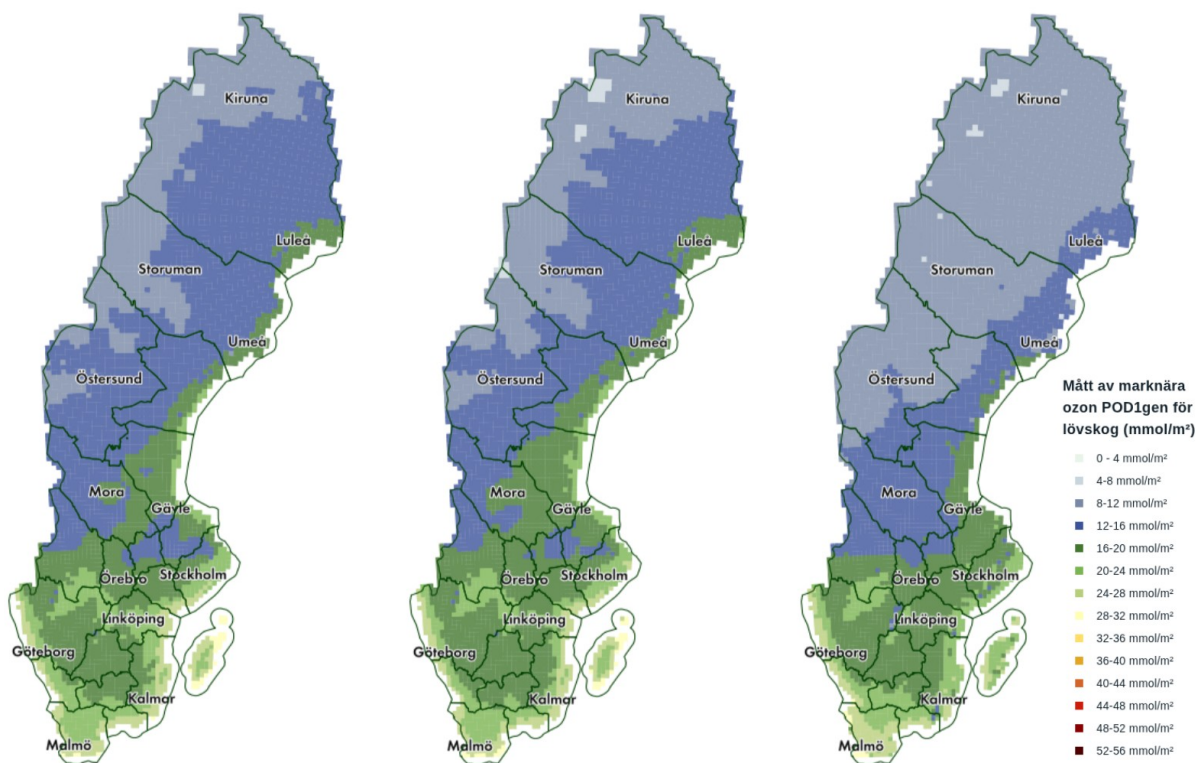
I Figur 33 och Figur 34 visas POD3 för generiska grödor respektive POD1 för generisk lövskog. För POD3 för grödor syns en gradient från de högsta värdena i södra Sverige till nordvästra Norrland där halterna är lägst. Vi ser mer årlig variation i POD3<sub>gen-grödor</sub> än POD1<sub>gen-lövskog</sub>. Detta beror åtminstone delvis av ett högre tröskelvärde, där den större rumsliga och temporala variationen i högsta halter av marknära ozon (se t.ex. Andersson et al., 2017, figur 8) därmed slår igenom tydligare i ozonupptaget.

PODY-måtten har annorlunda rumslig fördelning jämfört med AOT40. Detta orsakas av att PODY inte bara beror på luftens ozonhalt (AOT40 är ett haltbaserat tröskelmått) utan också på de fysikaliska processerna som påverkar träd och växters ozonupptag, såsom växtfysiologi, väder och jordens fuktighet. När AOT40 är högt behöver inte nödvändigtvis PODY vara högt. PODY visar sig exempelvis vara högt längs kusterna medans det avtar inåt land, och AOT40 är också höga längs kustbanden men även längre in i landet och över områden i södra och norra Norrland. Kartorna för POD1 för lövskog visar på samma gradient som POD3 för grödor från södra Sverige till Norrlandsfjällen, vilket beror mer på stomatakonduktans variationer hos växterna/träden än på ozonhaltens geografiska variation. Halten av marknära ozon är ofta hög i fjällkedjan, medan PODY-måtten är låga där på grund av ogynnsamma temperaturer för tillväxten av grödor och träd. AOT40 visade på höga värden i södra Sverige under åren 2021-2023, likaså PODY. Potatis och vete visar på tydlig mellanårs-variation under 2021-2023 (Figur 37 och Figur 38). POD-mått för björk, lövskog och gran har likartat mönster mellan åren (Figur 33 till Figur 36).

Under 2019 har PODY för björk, gran, vete och potatis implementerats (Langner et al, 2019). I Figur 35 till Figur 38 visas respektive POD1<sub>spec-björk</sub>, POD1<sub>spec-gran</sub>, POD6<sub>spec-vete</sub> och POD6<sub>spec-potatis</sub> för år 2021-2023. POD1<sub>spec-björk</sub> samvarierar med POD1<sub>gen-lövskog</sub> över åren, förutom att värdena är lite högre på grund av en längre vegetationsperiod för björk och att björk, jämfört med generiskt lövträd, har en större maximal klyvöppningskonduktans. För POD1<sub>spec-gran</sub> är gradienten och värdena liknande POD1<sub>gen-lövskog</sub>. Detta torde vara ett sammanträffande, då vegetationsperiod för gran är mycket längre än generiskt lövträd, medan gran har en mindre maximal klyvöppningskonduktans. När det gäller POD6<sub>spec-vete</sub> så är det rumsliga mönstret likt POD3<sub>gen-grödor</sub>, värdena är lägre för att en högre ozonhaltströskel används för vete. Det rumsliga mönstret och år till år-variabiliteten för POD6<sub>spec-potatis</sub> är likt POD6<sub>spec-vete</sub>. Värdena för POD6<sub>spec-potatis</sub> är något lägre än POD6<sub>spec-vete</sub> på grund av skillnader i beskrivningen av växtsäsongen.

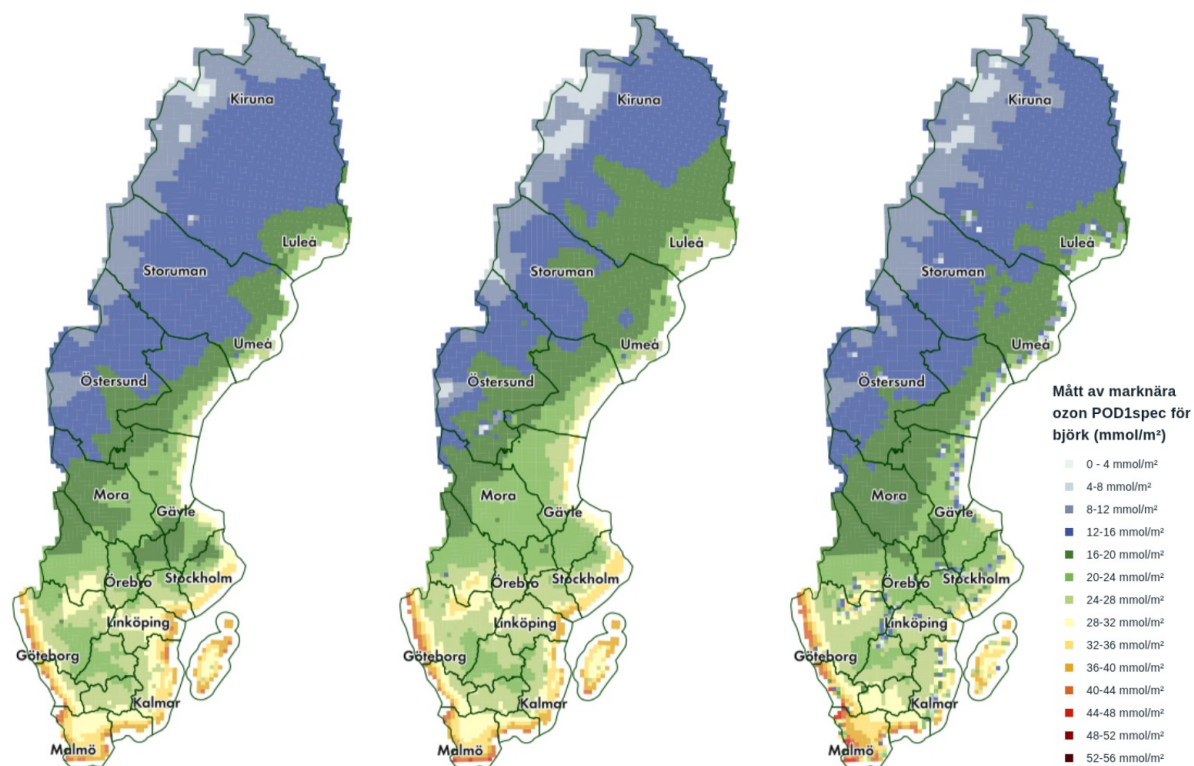


Figur 33. POD3 uttryck i mmol m<sup>2</sup> för generisk gräs under 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).

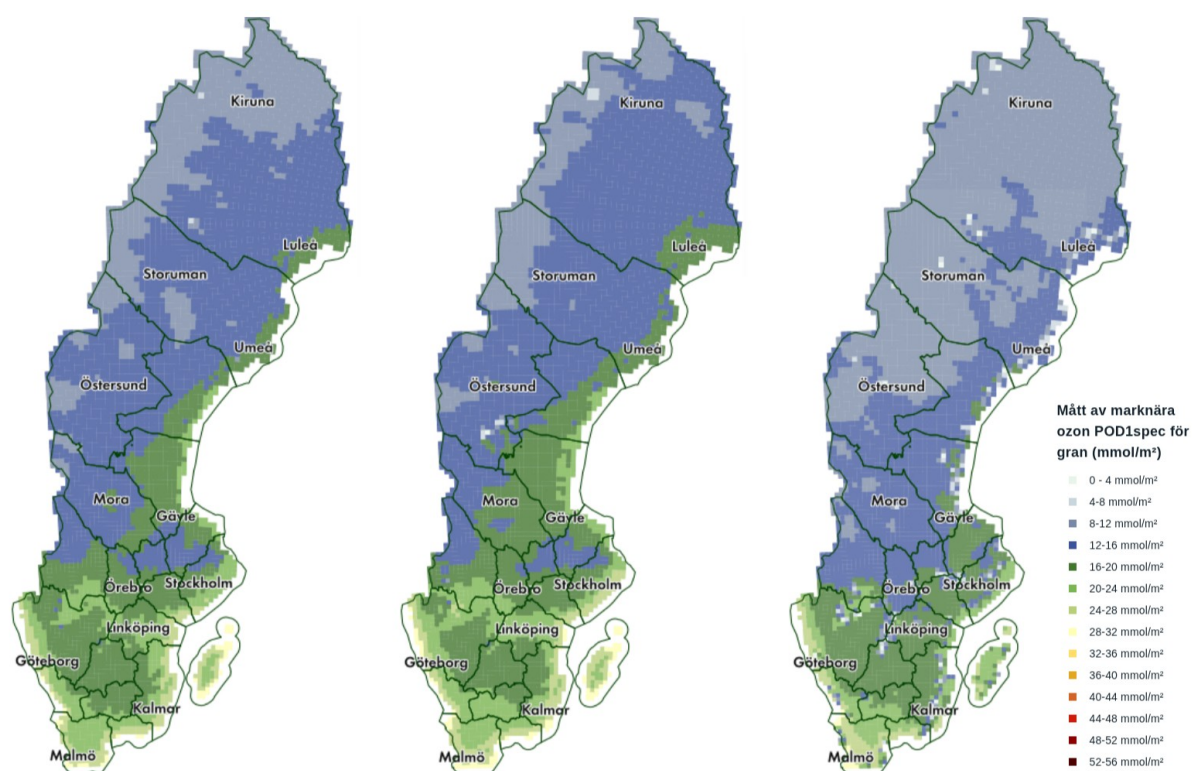


Figur 34. POD1 (mmol m<sup>2</sup>) för generisk lövskog under 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).

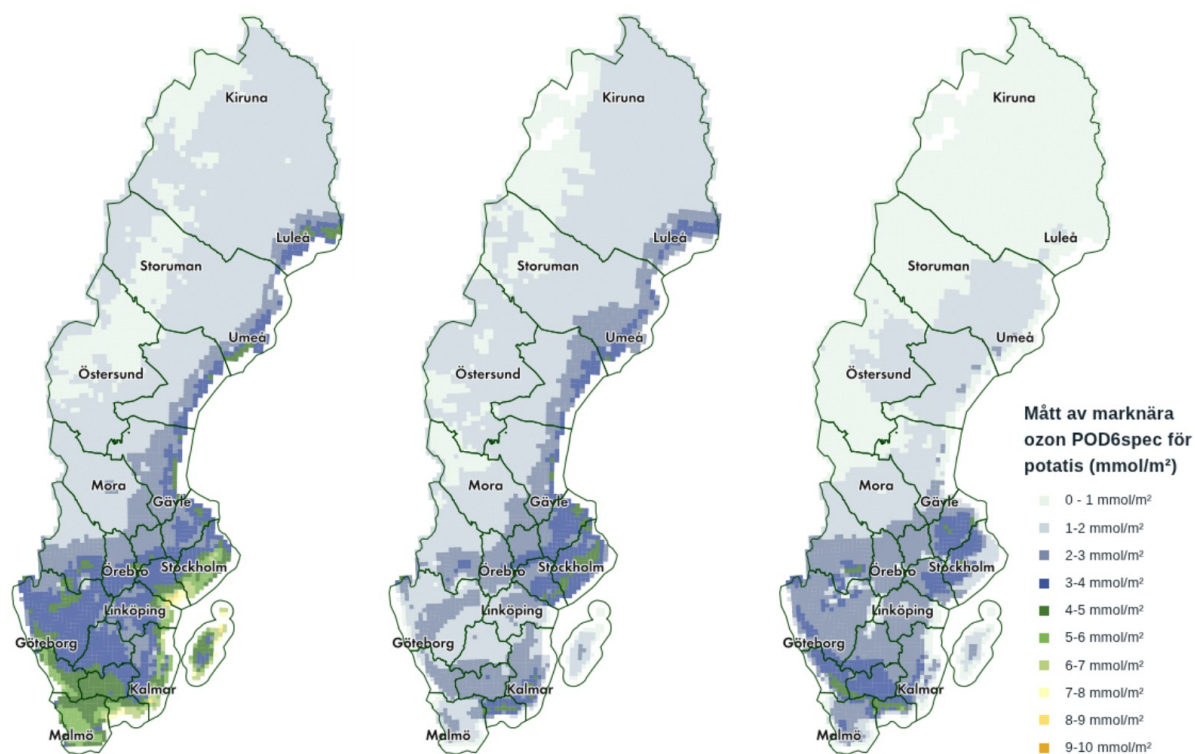




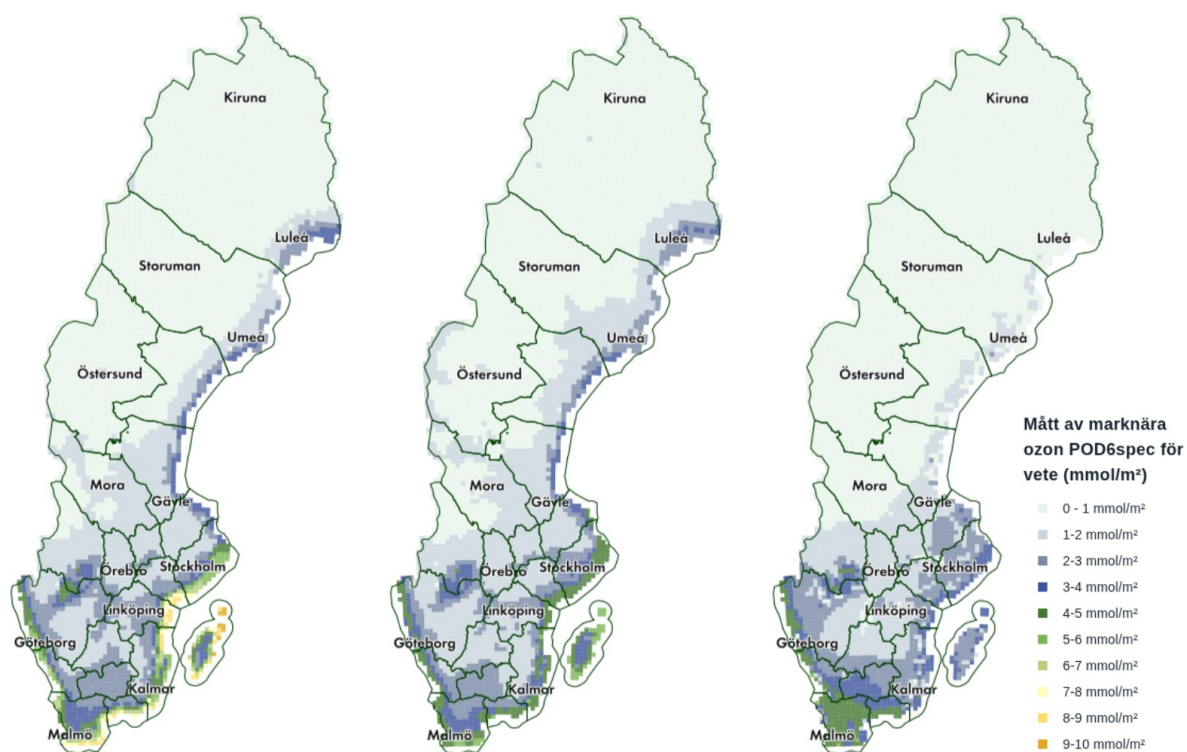
Figur 35. POD1 (mmol m<sup>-2</sup>) för björk under 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).



Figur 36. POD1 (mmol m<sup>-2</sup>) för gran under 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).



Figur 37. POD6 (mmol m<sup>-2</sup>) för potatis under 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).



Figur 38. POD6 (mmol m<sup>-2</sup>) för vete under 2021 (vänster), 2022 (mitten) och 2023 (höger).



I jämförelse med EMEP ligger MATCH generellt lite högre vad gäller entimmesmaximum av ozon (EMEP 2023). AOT40 för skog ligger MATCH generellt lägre än EMEP i södra Sverige förutom längs västkusten där modellerna visar likartade resultat. I norra Sverige visar MATCH högre halt än EMEP (EMEP 2023 & 2024). För POD1 generisk gröda visar modellerna relativt likartade värden (EMEP 2023).

## 4 Utvärdering av modellsystemet och diskussion om felkällor

Metoder där mätdata kombineras med modeller, som i MATCH Sverigesystemet, förutsätter hög kvalitet både hos uppmätta och modellerade värden. Samtidigt är det ofrånkomligt att båda datatyperna är behäftade med osäkerheter. Det är i praktiken omöjligt att uppnå perfekta resultat, vare sig för mätningar eller modellberäkningar, men målet ska alltid vara att kontinuerligt förbättra kvaliteten och utveckla metodiken med tillgängliga verktyg – för att på så vis närma sig verkligheten så mycket som möjligt.

De indata som används i MATCH Sverigesystemet inkluderar emissionsdata från SMED (inklusive sjöfartsutsläpp från Shipair) och EMEP, meteorologiska data från MESAN och ECMWF, markanvändningsdata samt mätdata från IVL och NILU.

Dataassimilationen i MATCH Sverigesystemet är känslig för fel i både modellresultat och uppmätta data. Det är därför avgörande att all indata och modellutdata granskas kritiskt. Genom att jämföra mätningar med modellresultat kan styrkorna hos respektive metod utnyttjas, vilket underlättar och förbättrar arbetet med kvalitetssäkring.

I de följande underavsnitten diskuteras de mest betydelsefulla osäkerheterna i arbetet med att ta fram resultaten från MATCH Sverigesystemet.

### 4.1 Meteorologiska indata

En omfattande insamling av meteorologiska mätdata görs vid SMHI, baserad på cirka 800 mätstationer samt information från radar och satelliter. Dessutom genomförs ett omfattande korrigeringsarbete av de uppmätta nederbördsmängderna, med hänsyn till exempelvis vindförluster, avdunstning från mätkärl samt topografiska effekter – såsom att nederbörden generellt är större i bergsområden än på slättland.

För kartläggning av våtdeposition över Sverige är nederbördsdata av hög kvalitet av avgörande betydelse. Däremot är kvaliteten på den beräknade torrdepositionen i stor utsträckning beroende av hur noggrant vindhastigheten återges. Trots noggranna korrigeringar av meteorologiska indata kvarstår dock osäkerheter i den geografiska kartläggningen av nederbördsmängder över Sverige. Under sommaren är nederbörden mer småskalig, vilket medför större osäkerheter än under vintern. Dessutom är kartläggningen av såväl nederbörd som dimma förknippad med betydande osäkerheter i fjällområden, där topografin är särskilt komplex.

Överlag är dock kvaliteten på de meteorologiska data så hög att osäkerheterna i dessa kan betraktas som försumbara i jämförelse med osäkerheter i andra indata och i modellerna.

### 4.2 Modeller

MATCH Sverigesystemet består i stora drag av tre olika modeller. Dessa är MATCH Europa, 2dvaranalys 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 me-

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). Dock försvåras jämförelsen med 2021 då upplösningen på resultaten ökat.

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

Som nämndes 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 parameteriseringen av torrdepositions hastighet till olika marktyper. För reducerat kväve finns dessutom förbättringspotential i hanteringen av kopplingen till näringsberikade jordar (upptag och återemission). Den variationella analysen är också i behov av uppdatering.

### 4.3 Emissionsdata

Som nämndes tidigare så har emissionsdata från SMED och EMEP två års eftersläpning eftersom data inte levereras innan Sverigemodellen körs, men skillnaderna i mänskliga utsläpp mellan ett par närliggande år är ofta väldigt liten, så detta påverkar inte kvaliteten på resultaten. Emissionerna är generellt av mindre betydelse än t.ex. väderdata för år-till-år variationen (med undantag för drastiska åtgärder, t ex IMO-beslut). Däremot förändras mänskliga utsläpp generellt fortare över längre tid än vädret, och emissionsförändringar har stor påverkan när man studerar trender. Naturliga utsläpp och vissa sektorer av mänskliga utsläpp i begränsade områden kan ha större variation. Vi fångar variation i naturliga utsläpp genom att beskriva utsläppen beroende av väder i våra modeller. Osäkerheter i emissionsdata är den enskilt största felkällan i modellering, men med dataassimilationstekniken förbättras resultaten vilket gör resultaten mindre känsliga för sådana fel.

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 bakgrundsältet samt nederbördsdata, är av allra högsta betydelse för kvaliteten på det slutgiltiga resultatet. Kvaliteten på den analys som görs med den 2-dimensionella variationella metodiken 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 nederbördsält 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 bakgrundsältet som används i analysen kan inte korrigeras för sådana systematiska mätfel. Uppsamlings-effekten 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 kvalitetssänkning 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-fältsmätningar 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 (och årligen sedan dess) 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

#### 5.3.1 Ökad upplösning i MATCH Sverigesystemet

I de två senaste revisionerna av Programområde Luft har behovet av en högre upplösning lyfts fram, för att öka användbarheten av kartläggningarna från MATCH Sverigesystemet, för bland annat länsstyrelserna. Under 2022 finansierade därför Naturvårdsverket ett utvecklingsprojekt med syfte att öka upplösningen av resultaten till 5-11km. Ökad upplösning innebär fördelar för slutanvändarna, inte bara för länsvisa analyser, utan även för att ge lägre osäkerhet i nationella miljöeffektbedömningar och inte minst samordningsvinster mot andra delar av miljöarbetet t.ex. bättre indata till nationell modellering, samt SIMAIR, där MATCH utgör en del av indata.

I takt med att resurserna för mätningar på nationell och inte minst regional nivå begränsas, behöver övervakningen av luftkvalitet kompenseras med en ökad användning av modellerade data. Avgörande för att gå i den riktningen är att de modeller som finns kontinuerligt utvecklas i enlighet med den teknik som finns tillgänglig och anpassas till de behov som finns. Med en ökad upplösning av MATCH Sverigesystemet ökar slutanvändarnas möjligheter att använda modellresultaten i fortsättningen.

För 2021 års resultat har upplösningen ökat från 22 km till 11 km. Förändringen krävde att upplösningen ökade från det första till det sista steget i hela metodiken. Detta innebär att

- skapa bakgrundsfält med MATCH fotokemimodell (den första modellgissningen) för dataassimilationen på 11 km.
- köra variationell analys på totalhalter ozon, svavel och kväve på 11 km.
- köra MATCH Sverige-modellen på 11 km.
- räkna ut långtransportbidraget på 11 km.
- depositionsberäkningar för olika markanvändningstyper utifrån resultaten från analysen på 11 km.

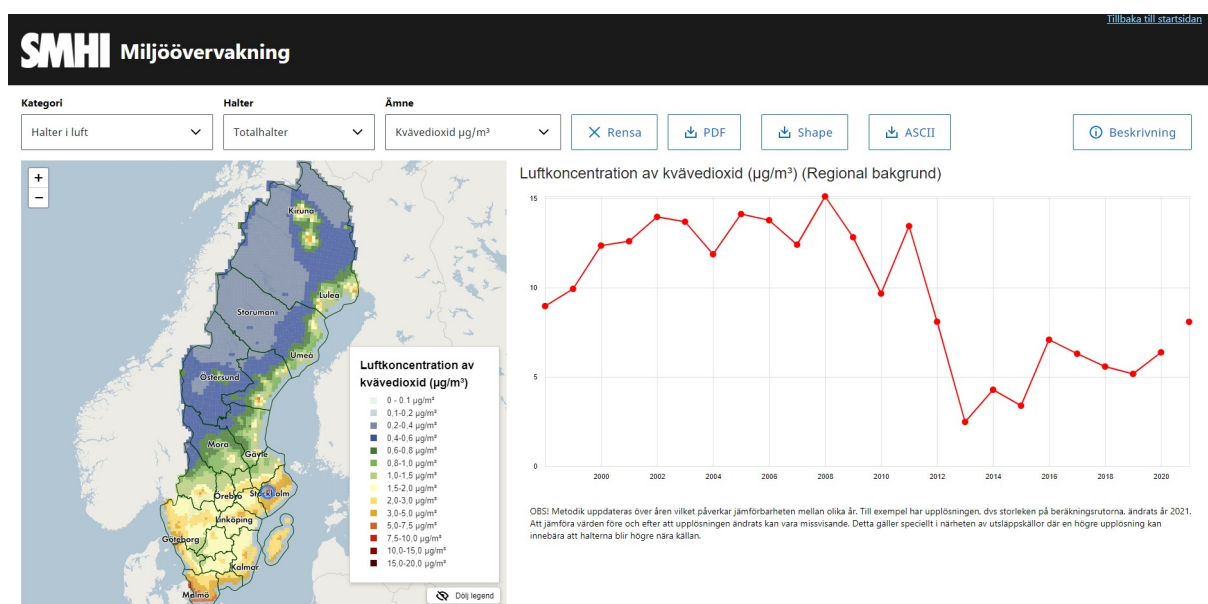
Resultat i varje mellansteg har kvalitetssäkrats och justeringar har gjorts. Metodiken i arbetsprocessen har förbättrats för att öka precisionen vid olika omprojektioner vilket ökar kvaliteten nära utsläppskällor.

Innan slutresultaten kunde läggas ut på nätet behövde de bearbetas för att få rätt format. Vissa förbättringar har skett för karttjänstens webbsida för att tydliggöra ändringar i upplösningen, så att jämförelse bakåt i tiden tolkas på rätt sätt.

Följande ändringarna har implementerats i webbtjänsten:

- Linjen mellan åren då upplösningen ändrades i tidserien bryts.
- Punkter på linjen för varje år visas. Värdet för det första året med den ökade upplösningen saknar linje och visas med en punkt.
- Aktuellt värde i en ruta visas när man hovrar över en punkt på tidserien.
- En text under diagrammet är tillagd som förklarar att och när upplösningen ändrades.

Ökad upplösning i MATCH Sverigesystemet innebär en markant kvalitetshöjning för användarna. Med denna utveckling ökar upplösningen så att en gammal ruta nu ersätts med 4 rutor.



Figur 39. Skärmbild från Datavärdsystemet för atmosfärsfysik, där totalhalter av kvävedioxid presenteras i en karta med 11 km upplösning. För en ruta i Stockholm visas halterna för varje år. Linjen är brutet mellan 2002 och 2021 för att tydliggöra att jämförelse mellan åren försvåras i och med förändringar i geografisk upplösning.

I Figur 39 ovan visas hur den uppdaterade webbtjänsten ser ut. I texten under diagrammet tydliggörs att det har hänt något mellan 2020 och 2021 års resultat. Nära utsläppskällor kan det vara stor skillnad mellan 2020 och 2021, vilket är helt naturligt, då koncentrationsgradients kan beskrivas mer detaljerat.

### 5.3.2 Pågående utvecklingsaktiviteter

| Aktivitet                                  | Nytta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Prioritet                  | Beskrivning                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Högre upplösning nationellt (ner mot 5km)* | Högre användbarhet och lägre osäkerhet i studier av effekter på ekosystem och hälsa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Hög enligt PO Luftrevision | Indata finns som möjliggör denna upplösning nationellt.                                                                                                                                                                                                            |
| Sverigebidrag förbättrad uppskattning      | <p>En högre upplösning höjer kvaliteten på modellen generellt, t. ex. när det gäller gradienter nära utsläppskällor och i övergångar från land till vatten, och förbättrar systemet för slutanvändarna. En uppdatering innebär också synergieffekter mot andra delar av miljöarbetet, t.ex. mot den nationella modelleringen av lufthalter och mot de nationella exponeringsberäkningarna som kommer att kunna baseras på delvis gemensamma beräkningar.</p> <p>Övergången till en mer detaljerad kemi förväntas ge mer rättvisande beräkningar av det svenska bidraget. En övergång innebär också att den version av modellkoden som används både för Europa- och Sverige-skalan i miljöövervakningen kommer att ligga nära den som används inom Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS). Detta underlättar systemunderhåll och möjliggör snabbare inkludering av nyutveckling och förbättringar från CAMS-arbetet och andra forskningspro-</p> |                            | Nestningsmetodik istället för två olika modeller (MATCH Europa och MATCH Sverige). Med nestning kan vi utföra beräkningar över ett delområde med högre upplösning. Lägre osäkerhet i beräknat Sverigebidrag, med potentiellt förbättrad upplösning för alla index. |



|                         |                                                                                                                                                                                                                                         |                                                             |                                                                                                                                                                     |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | jekt i MATCH-Sverige-systemet.                                                                                                                                                                                                          |                                                             |                                                                                                                                                                     |
| NOx-beräkning           | Ett komplement till Sveriges rapportering till EU av kritiska nivåer för kväveoxider enligt bilaga XIII i luftkvalitetsdirektivet                                                                                                       | Hög                                                         | Regionala mätningar mäter i dagsläget främst NO <sub>2</sub> . Med MATCH kan vi kartlägga NOx-halter och även komplettera övervakningen och rapporteringen till EU. |
| Återanalys av PODY-mått | Långa trender av PODY ger förbättrad förståelse för och uppföljning av ozoneffekter på växtlighet. Krävs även för studie av effekter av ozon på skoglig tillväxt (SCAC syntes: Åström och Grennfelt 2021; Andersson och Langner, 2022). | Efterfrågat av slutanvändare (t.ex. Per Erik Karlsson, IVL) | PODY-måtten implementerades efter att återanalysprojektet av marknära ozon gjordes.                                                                                 |

\* Ytterligare högre upplösning kan göras för exempelvis ozon i urban miljö. CLAIR-O3-metodiken är utvecklad och kan användas operationellt för modellering av ozon i urban miljö.

### 5.3.3 Önskvärda utvecklingsaktiviteter

| Aktivitet                                | Nytta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Prioritet                                            | Beskrivning                                                                                                                                              |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Presentera kartläggningarna även länsvis | Länsstyrelserna får data tydligare sammanställd för sina uppföljningar                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Hög enligt förstudien för sammanhållen Luftwebb      | I datavärdskapet visas data nationellt för samtliga ämnen och år. Genom att sammanställa resultaten länsvis ökar användbarheten för slutanvändarna       |
| Kartläggning partiklar i luft            | Ex. miljömålsuppföljning, exponeringsstudier                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Hög enligt PO Luftrevision. Efterfrågat av användare | Indata och nyligen utvecklade modeller finns som möjliggör framtagande av denna produkt.                                                                 |
| Baskatjoner torrdeposition               | 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 totalde- | Efterfrågat av slutanvändare                         | Det finns nu lufthaltmätningar och strängprovtagare, samt dammodelleringsbeskrivning i MATCH vilket möjliggör utveckling av denna operationella produkt. |

|                                                                                    |                                                                                          |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                    | positionen av baskat-joner                                                               |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Förbättrad torrdeposition och återemission av kväve                                | Förbättrad kartläggningskvalitet. Ev. utveckling kan även återkopplas till EMEP-modellen |                 | Att beskriva återemission och förbättrad beskrivning av torrdeposition av kväve bidrar till förbättrad skattning av nedfall i känsliga miljöer långt från utsläppskällor (såsom fjällen) och även i områden med stor historiskt nedfall såsom södra Sverige som därmed är extra känslig för fortsatt nedfall. Det finns potential att förbättra modellbeskrivningen av torrdeposition baserat på IVLS strängprovtagare. Kväve kan även återemitteras beroende av mättnad i marken och temperatur. Idag saknas sådan beskrivning i modellsystemet (även i EMEP).                                                                                                                                                                                       |
| Förbättrad mättningsmodelleringsfusion och autokorrelation och markanvändningsdata | Förbättrad kartläggningskvalitet                                                         |                 | Under senare år har forskningsfronten utvecklats för modell- och mättningsfusion av atmosfärisk deposition. En uppdatering av MATCH Sverigesystemet bör även ske med avseende deposition av organiska nitrater samt hänsyn till autokorrelation mellan lufthalt och torrdeposition, och övergång och testning av analysmetodik med mål på dataanalys i tre dimensioner. Dessa skulle kunna förbättra depositionsuppskattningen för alla ämnen i dataanalysen. Bör ske i samband med förbättrad upplösning. Markanvändningsdata varierar med tiden. I totaldepositionen antas idag konstant markanvändningsfördelning från 1990-talet. Det finns möjligheter att använda nyare data, vilket skulle förbättra uppskattning av total och torrdeposition. |
| Utökat område till                                                                 | Övergödning av sjöar                                                                     | Av intresse för | Området ingår i delar av                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                              |                                         |                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>större Östersjön (inklusive alla bassänger i innanhavet) omkring Sverige samt bidrag från atmosfären till avrinning till Östersjön</p> | <p>och hav är problematiskt. Speciellt för Östersjön är atmosfärisk deposition av kväve både direkt och via avrinning relevant att kartlägga för effekter på havsmiljön.</p> | <p>t.ex. Havs och Vattenmyndigheten</p> | <p>modelleringsstegen och ingick i återanalysprojektet. Det skulle vara möjligt att utöka till att inkludera detta område, utan större utvecklingsinsats i den operationella produkten.</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 6 Internationella samarbeten

Resultaten och metodiken från MATCH Sverigesystemet har under senare lyfts fram som världsledande (Fu et al., 2022). Med anledning av detta finns en representant från SMHI med i en WMO-styrgrupp om Measurement Model Fusion of Global Total Atmospheric Deposition (MMF-GTAD) där en plan för att föra in liknande globala produkter för användande i t.ex. Working Group on Effects, Task Force on Reactive Nitrogen (TFRN) m.fl. SMHI har även bjudits in till expertmöten med anledning av detta, t.ex. WMO 2017; WMO 2019; WMO 2022.

Resultaten från MATCH Sverigesystemet har även presenterats och rapporterats till Task Force on Reactive Nitrogen (TFRN; Moldan m.fl., 2022) och var en del av Sveriges rapportering av nationell kvävebudget, vilken togs fram som en del av Forskningsprogrammet SCAC2, finansierat av Naturvårdsverket.

## 7 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.
- 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>.
- 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.
- Andersson, C. och Langner, J., 2022. Utvärdering av POD1 för gran- och björkskog i MATCH Sverigesystemet. SMHI rapport nr 2023-08.
- Chamberlain, A. C. och Chadwick, R. C., 1965. "Transport of iodine from atmosphere to ground". *Tellus*, 18, 226-237.
- Ciarelli, G. Theobald, M., Vivanco, M., Beekmann, M., Aas, W., Andersson C. et al. (2019). Trends of inorganic and organic aerosols and precursor gases in Europe: insights from the EURODELTA multi-model experiment over the 1990–2010 period. *Geosci. Model Dev.* 12, 4923-4954.
- Colette, A., Andersson, C., et al., (2017). EURODELTA-Trends, a multi-model experiment of air quality hindcast in Europe over 1990-2010. *Geosci. Model Dev.* 10, 3255-3276, [doi.org/10.5194/gmd-10-3255-2017](https://doi.org/10.5194/gmd-10-3255-2017).
- EMEP, 2023. EMEP Status Report 2024. ISSN 1504-6192 (online).
- EMEP, 2024. EMEP Status Report 2023. ISSN 1504-6192 (on-line).
- Foltescu, V. L., Pryor, S. C., and Bennet, C., 2005 "Seasalt generation, dispersion and removal on the regional scale". *Atmos. Environ.* 39, 2123-2133.
- Fu, J.S., Charmichael, G.R., Dentener, F., Aas, W., **Andersson, C.**, Barrie, L.A., Cole, A., Galy-Lacaux, C., Geddes, J., Itahashi, S., Kanakidou, M., Labrador, L., Paulot, F., Schwede, D., Tan, J. and Vet, R. Improving estimates of sulfur, nitrogen and ozone total deposition through multi-model and measurement-model fusion approaches. *Environ. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05929>, 2022
- Åström och Grennfeldt eds. 2021. Camilla Andersson, Annica Ekman, Bertil Forsberg, Peringe Grennfelt, Olena Gruzieva, Hans-Christen Hansson, Per Erik Karlsson, Joakim Langner, Filip Moldan, John Munthe, Håkan Pleijel, David Segerström, Leo Stockfelt, Stefan Åström. Achievements and experiences from science-policy interaction in the field of air pollution. Synthesising 20 years of research and outreach thinking about future needs. IVL report C622. <https://www.ivl.se/download/18.556fc7e17c75c84933bd13/1635155146474/FULLTEXT03.pdf>
- 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 1/2019.
- Johansson, J.M., Watne, Å.K., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Andersson, C., and Pleijel, H. 2020. The European heat wave of 2018 and its promotion of the ozone climate penalty in southwest Sweden. *Boreal environ. Res.* 25: 39-50.



- Klein, T., Bergström, R., och Persson, C., 2002. "Parametrization of dry deposition in MATCH". SMHI Rapport Meteorologi nr 100.
- Langner, J., Alpfjord Wylde, H., & Andersson, C. (2019). Mapping of phytotoxic ozone dose for birch, spruce, wheat and potato using the MATCH-Sweden system. SMHI rapport in meteorology 166, 38pp.
- Langner, J., Engardt, M. and Andersson, C. (2012). European summer surface ozone 1990-2100. *Atmos. Chem. Phys.* 12, 10097-10105.
- Langner, J., Gidhagen, L., Bergström, R., Gramsch, E., Oyola, P., Reyes, F., Segersson, D. and Aguilera, C. (2020). Model Simulated Source Contributions to PM<sub>2.5</sub> in Santiago and in the Central Region of Chile. *Aerosol Air Qual. Res.* 20: 1111-1126. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.08.0374>
- Leung, W., Windmark, F., Brodl, L. and Langner, J. (2018). A basis to estimate marginal cost for air traffic in Sweden.: Modelling of ozone, primary and secondary particles and deposition of sulfur and nitrogen. SMHI rapport in meteorology 162, 64pp.
- Lövsblad, 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.
- Moldan, F., Andersson, C., Leung, W., Stadmark, J. och Jutterström, S., 2022. "Swedish national nitrogen budget – atmosphere". IVL report C697.
- Otero, N., Sillman, J., Mar., K.A., Rust, H.W., Solberg, S., Andersson, C., et al. (2018) A multi-model comparison of meteorological drivers of surface ozone over Europe. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 12269-12288. <https://doi.org/10.5194/acp-18-12269-2018>.
- 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., Ressner, E. och Klein, T., 2004. "Nationell miljöövervakning- MATCH-Sverige modellen". SMHI Meteorologi rapport nr 113.
- Persson, C., Jansson A. och Andersson, C., 2009. "MESAN-data för Miljöövervakningen. Förstudie". SMHI Rapport nr 31.
- Robertsson, L., Langner, J. och Engardt, M., 1999. "An Eulerian limited-area atmospheric transport model". *J. Appl. Meteor.*, 38, 190-120.
- 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
- 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.
- Theobald, M., Vivanco, M.G., Aas, W., Andersson, C., et al. (2019). An evaluation of European nitrogen and sulfur wet deposition and their trends estimated by six chemistry transport models for the period 1990-2010. *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 379-405, doi: 105194/acp-19-379-2019.

Vivanco, M.G., Theobald, M.R., Garcia-Gomez, H., Garrido, J.L., Prank, M., Aas, W., Adani, M., Alyuz, U., Andersson, C., et al. (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>.

WMO, 2017. Global Atmospheric Watch Workshop on Measurement-Model Fusion for Global Total Atmospheric Deposition (MMF-GTAD). GAW Report, available online in May 2017 on the web page: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/WorkshoponMeasurementModelFusion.html>

WMO, 2019. WMO expert meeting on Global atmospheric Deposition. Feb 25, 2019. <https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/measurement-model-fusion-global-total-atmospheric-deposition-wmo-initiative>

## Bilaga - Publicerat material för MATCH-modellen

### Expertgranskade artiklar:

#### 2021

Ekland, J., Olsson, D., Forsberg, B., Andersson, C. and Orru, H. The effect of current and future maternal exposure to near-surface ozone on preterm birth in 30 european countries – an EU-wide health impact assessment.

#### 2020

Lars Gidhagen, Jonas Olsson, Jorge H. Amorim, Christian Asker, Danijel Belusic, Ana C. Carvalho, Magnuz Engardt, Yeshewatesfa Hundecha, Heiner Körnich, Petter Lind, David Lindstedt, Esbjörn Olsson, Jörgen Rosberg, David Segersson, Lena Strömbäck, 2020. Towards climate services for European cities: Lessons learnt from the Copernicus project Urban SIS, Urban Climate 31, 100549.

Gramsch, E., Muñoz, A., Langner, J., Morales, L., Soto, C., Pérez, P., Rubio, M.A., 2020. Black carbon transport between Santiago de Chile and glaciers in the Andes Mountains. *Atmospheric Environment* 232, 117546. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117546>.

Langner, J., Gidhagen, L., Bergström, R., Gramsch, E., Oyola, P., Reyes, F., Segersson, D. and Aguilera, C. (2020). Model Simulated Source Contributions to PM<sub>2.5</sub> in Santiago and in the Central Region of Chile. *Aerosol Air Qual. Res.* 20: 1111-1126. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.08.0374>

#### 2019

Ciarelli, G., Colette, A., Schucht, S., Beekman, M., Andersson, C., et al. Long-term health impact assessment of total PM<sub>2.5</sub> in Europe during the 1990-2015 period. *Atmospheric Environment* 3, 100032. 2019 <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100032>

Ciarelli, G. Theobald, M., Vivanco, M., Beekmann, M., Aas, W., Andersson C. Bergström, R., Manders-Groot, A., Couvidat, F., Mircea, M., Tsyro, S., Fagerli, H., Mar, K., Raffort, V., Roustan, Y., Pay, M.-T., Schaap, M., Kranenburg, R., Adani, M., Briganti, G., Cappelletti, A., D'Isidoro, M., Cuvelier, C., Cholakian, A., Bessagnet, B., Wind, P. and Colette, A. Trends of inorganic and organic aerosols and precursor gases in Europe: insights from the EURODELTA multi-model experiment over the 1990–2010 period. *Geosci. Model Dev.* 12, 4923-4954. 2019

Orru, H., Åström, C., Andersson, C., et al. Ozone and heat-related mortality in Europe in 2050 significantly affected by changes in climate, population and greenhouse gas emission. *Environmental research letters*, 14 (7) 074013. 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 As-

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 O<sub>3</sub>, 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., Chérour, 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, Á., van Velthoven, P., van Versendaal, R., Vira, J., and Ung, A. 2015. A regional air quality forecasting system over Europe: the MACC-II daily ensemble production. *Geosci. Model Dev.* **8**, 2777–2813. doi:10.5194/gmd-8-2777-2015
- Monks, S. A., Arnold, S. R., Emmons, L. K., Law, K. S., Turquety, S., Duncan, B. N., Flemming, J., Huijnen, V., Tilmes, S., Langner, J., Mao, J., Long, Y., Thomas, J. L., Steenrod, S. D., Raut, J. C., Wilson, C., Chipperfield, M. P., Diskin, G. S., Weinheimer, A., Schlager, H., and Ancellet, G. 2015. Multi-model study of chemical and physical controls on transport of anthropogenic and biomass burning pollution to the Arctic, *Atmos. Chem. Phys.* **15**, 3575–3603, doi:10.5194/acp-15-3575-2015
- Sand, M., Berntsen, T.K., von Salzen, K., Flanner, M.G., Langner, J., and Victor, D.G. 2015. Response of Arctic temperature to changes in emissions of short-lived climate forcers. *Nature Climate Change*. DOI: 10.1038/NCLIMATE2880
- Sofiev, M. 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 NO<sub>2</sub> 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., Kanari, A., Fu, J., Matsuda, K., Thongboonchoo, N. and Amann M. 2008. MICS-Asia II: The model intercomparison study for Asia Phase II methodology and overview of findings. *Atmos. Environ.* **42**, 3468–3490. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.04.007
- Engardt, M. 2008. Modelling of near-surface ozone over South Asia. *J. Atmos. Chem.* **59**, 61–80. DOI:10.1007/s10874-008-9096-z.
- Han, Z., Sakurai, T., Ueda, H., Carmichael, G.R., Streets, D., Hayami, H., Wang, Z., Holloway, T., Engardt, M., Hozumi, Y., Park, S.U., Kajino, M., Sartelet, K., Fung, C., Bennet, C., Thongboonchoo, N., Tang, Y., Chang, A., Matsuda, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Model Intercomparison and evaluation of ozone and relevant species. *Atmos. Environ.* **42**, 3491–3509. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.07.031
- Hayami, H., Sakurai, T., Han, Z., Ueda, H., Carmichael, G.R., Streets, D., Holloway, T., Wang, Z., Thongboonchoo, N., Engardt, M., Bennet, C., Fung, C., Chang, A., Park, S.U., Kajino, M., Sartelet, K., Matsuda, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Model intercomparison and evaluation of particulate sulfate, nitrate and ammonium. *Atmos. Environ.* **42**, 3510–3527. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.08.057
- Hole, L. and Engardt, M. 2008. Climate change impact on atmospheric nitrogen deposition in Northwestern Europe: A model study. *Ambio* **37**, 9–17.
- Holloway, T., Sakurai, T., Han, Z., Ehlers, S., Spak, S.N., Horowitz, L.W., Carmichael, G.R., Streets, D.G., Hozumi, Y., Ueda, H., Park, S.U., Fung, C., Kajino, M., Thongboonchoo, N., Engardt, M., Bennet, C., Hayami, H., Sartelet, K., Wang, Z., Matsuda, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Impact of global emissions on regional Air Quality in Asia. *Atmos. Environ.* **42**, 3543–3561. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.10.022
- Kahnert, M. 2008. Variational data analysis of aerosol species in a regional CTM: Background error covariance constraint and aerosol optical observation operators. *Tellus* **60B**, 753–770.
- Wang, Z., Xie, F., Sakurai, T., Ueda, H., Han, Z., Carmichael, G.R., Streets, D., Engardt, M., Holloway, T., Hayami, H., Kajino, M., Thongboonchoo, N., Bennet, C., Park, S.U., Fung, C., Chang, A., Sartelet, K. and Amann, M. 2008. MICS-Asia II: Model inter-comparison and evaluation of acid deposition. *Atmos. Environ.* **42**, 3528–3542. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.12.071

## 2007

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

## 2006

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

## 2005

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

## 2004

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

## 2003

- Eneroth, K., Kjellström, E. and Holmén, H. 2003. A trajectory climatology for Svalbard; investigating how atmospheric flow patterns influence observed tracers concentrations. *Physics and Chemistry of the Earth* **28**, 1191-1203.
- Eneroth, K., Kjellström, E. and Holmén, H. 2003. Interannual and seasonal variations in transport to a measuring site in western Siberia and their impact on the observed atmospheric CO<sub>2</sub> 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 inter-comparison 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 PM<sub>10</sub> in Central and Northern Chile. *Atmos. Environ.* **36**, 8303-3817.
- Kjellström, E., Holmén, K., Eneroth, K. and Engardt, M., 2002, Summertime Siberian CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> – a model study. *Tellus* **53B**, 10-21.
- Carmichael, G.R., Hayami, H., Calori, G., Uno, I., Cho, S.Y., Engardt, M., Kim, S.-B., Ichikawa, Y., Ikeda, Y., Ueda, H. and Amann, M. 2001. Model intercomparison study of long range transport and sulfur deposition in East Asia (MICS-Asia). *Water, Air, and Soil Pollution* **130**, 51-62.
- Engardt, M. 2001. Sulphur simulations for East Asia using the MATCH model with meteorological data from ECMWF. *Water, Air, and Soil Pollution* **130**, 289-294.
- Engardt, M. and Leong, C.P. 2001. Regional modelling of anthropogenic sulphur in Southeast Asia. *Atmos. Environ.* **35**, 5935-5947.
- Kuylensstierna, J.C.I., Hicks, W.K., Cinderby, S., Vallack, H.W. and Engardt, M. 2001. Variability in mapping acidification risk scenarios for terrestrial ecosystems in Asian countries. *Water, Air, and Soil Pollution* **130**, 1175-1180.

## 2000

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

## 1999

- Engardt, M. and Holmén, K. 1999. Model simulations of anthropogenic-CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 (O<sub>3</sub>) 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. Kuylensstierna, 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:

### 2019

- Langner, J., Alpfjord Wylde, H. and Andersson, C. 2019 Mapping of phytotoxic ozone dose for birch, spruce, wheat and potato using the MATCH-Sweden system. SMHI Report Meteorology 166. <https://smhi.diva-portal.org/smash/get/diva2:1338483/FULL-TEXT01.pdf>
- Leung, W., Windmark, F., Brodl, L. and Langner, J. 2018 A basis to estimate marginal cost for air traffic in Sweden.: Modelling of ozone, primary and secondary particles and deposition of sulfur and nitrogen. SMHI Report Meteorology 162. <https://smhi.diva-portal.org/smash/get/diva2:1246314/FULLTEXT01.pdf>

### 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](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!/Slutrapport2013-15\\_M%C3%96.pdf](https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.117569!/Slutrapport2013-15_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-samhället/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. Krondroppsnetets övervakning av luftföroreningar i Sverige – mätningar och modellering. Resultat t.o.m. september 2012. IVL rapport B 2095, 50 pp. (In Swedish).
- Sjöberg, K., Pihl Karlsson, G., Svensson, A., Wängberg, I., Brorström-Lundén, E., Hansson, K., Potter, A., Rehngren, E., Sjöblom, A., Areskoug, H., Kreuger, J., Södergren, H., Andersson, C., Holmin-Fridell, S. och Andersson, S. 2013. Nationell Miljöövervakning – Luft. Data t.o.m. 2011. IVL Rapport B 2109, 123 pp (In Swedish).
- 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 miljö kvalitetsmålet Frisk luft för trafikmiljöer i svenska tätorter. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SMHI Meteorologi Nr 150, 86 pp. (In Swedish).
- Segersson, D., Asker, C., Engardt, M. and Holmin-Fridell, S. 2012. Sjöfartens påverkan på luftmiljön i Göteborg. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SMHI Rapport 2012 Nr 19, 31 pp. (In Swedish).

## 2011

Andersson, C., Andersson, S., Langner, J. and Segersson, D. 2011. *Halter och deposition av luftföroreningar. Förändring över Sverige från 2010 till 2020 i bidrag från Sverige, Europa och internationell sjöfart*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 147**, 32 pp. (In Swedish).

Klein, T., Karlsson, P.E., Andersson, S., Engardt, M. and Sjöberg, K. 2011. *Assessing and improving the Swedish forecast and information capabilities for ground-level ozone*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 114**, 95 pp.

## 2010

Engardt, M., Andersson, C. and Bergström, R. 2010. *Modellering av marknära ozon. Regionala och högupplösta tillämpningar av MATCH*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 145**, 27 pp. (In Swedish).

Omstedt, G., Andersson, S., Bennet, C., Bergström, R., Gidhagen, L., Johansson, C. and Persson, K. 2010. *Kartläggning av partiklar i Sverige –halter, källbidrag och kunskapsluckor*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 144**, 102 pp. (In Swedish).

Omstedt, G., Andersson, S. and Bergström, R. 2010. *Dagens och framtidens luftkvalitet i Sverige. Haltberäkningar av NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> i svenska trafikmiljöer för framtidsscenarier med minskade europeiska emissioner*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 140**, 56 pp. (In Swedish).

## 2009

...

## 2008

Andersson, S., Bergström, R., Omstedt, G. and Engardt, M. 2008. *Dagens och framtidens partikelhalter i Sverige. Utredning av exponeringsminskningsmål för PM<sub>2.5</sub> enligt nytt luftdiaktiv*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 133**, 35 pp. (In Swedish).

Bergström, R. 2008. *TESS - Traffic Emissions, Socioeconomic valuation and Socioeconomic measures Part 2: Exposure of the European population to atmospheric particles (PM) caused by emissions in Stockholm*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr 132**, 35 pp.

JRC 2008. *EURODELTA II. Evaluation of a sectoral approach to integrated assessment modelling including the Mediterranean Sea*. (Eds: P. Thunis and C. Cuvelier). JRC Scientific and Technical Reports, **EUR 23444 EN**. DOI 10.2788/87066.

## 2007

Engardt, M. and Foltescu, V. 2007. *Luftföroreningar i Europa under framtida klimat*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Meteorologi Nr. 125**, 62 pp. (In Swedish).

Marmefelt, E., Sahlberg, J. and Bergstrand, M. 2007. *HOME Vatten i södra Östersjöns vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar* Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **SMHI Oceanografi Nr. 87**, 77 pp. (In Swedish).

## 2006

Nettelbladt, A., Westling, O., Akselsson, C., Svensson, A. And Hellsten, S. 2006. *Luftföroreningar i skogliga provtyor – 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<sub>x</sub>-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](http://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., Rössner, E. and Klein, T. 2004. *Nationell miljöövervakning – MATCH-Sverige modellen. Metod- och resultatsammanställning för åren 1999-2002 samt diskussion av osäkerheter, trender och miljömål*. **SMHI Meteorologi Nr. 113**, 32 pp. (In Swedish).
- Robertson, L. 2004. *Extended back-trajectories by means of adjoint equations*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, **RMK No. 105**, 37 pp.

## 2003



- Hass, H., van Loon, M., Kessler, C., Stern, R. Matthijsen, J., Sauter, F., Zlatev, Z., Langner, J., Foltescu, V. and Schaap, M. 2003. *Aerosol modelling: Results and intercomparison from European regional-scale modelling systems*. A contribution to the EUROTRAC-2 subproject GLOREAM. International Scientific Secretariat (ISS), GSF – National Research Center for Environment and Health, Munich, Germany.  
(Available at [www.trumf.fu-berlin.de/veranstaltungen/events/gloream/GLOREAM\\_PM-model-comparison.pdf](http://www.trumf.fu-berlin.de/veranstaltungen/events/gloream/GLOREAM_PM-model-comparison.pdf) or [www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/GLOREAM\\_PMmodel-comparison.pdf](http://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](http://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](http://www.emep.int/emep2002_publications.html).)

## 2001

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

## 2000

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

## 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 <sup>222</sup>Rn*. 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. Modelanpassning 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).







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