

## Halter och deposition av luftföroreningar

Förändring över Sverige från 2010 till 2020 i bidrag från  
Sverige, Europa och Internationell Sjöfart

Camilla Andersson, Stefan Andersson, Joakim Langner och David Segersson





METEOROLOGI Nr 147, 2011

## Halter och deposition av luftföroreningar

Förändring över Sverige från 2010 till 2020 i bidrag från Sverige, Europa och Internationell Sjöfart

Camilla Andersson, Stefan Andersson, Joakim Langner och David Segersson



## **Förord**

Denna undersökning har gjorts på uppdrag av Naturvårdsverket. Syftet har varit att genomföra geografiskt upplösta beräkningar av utsläpp, deposition och halter av valda luftföroreningar baserade på PRIMES utsläppsscenarier, samt scenarier där beslutade åtgärder som ska implementeras inom sjöfarten belyses. Förändringen mellan 2010 och 2020 studeras specifikt. Vi vill tacka Titus Kyrklund och Ulla Bertils med flera på Naturvårdsverket för värdefulla kommentarer och diskussioner.

Inom uppdraget rymdes förutom framtagandet av denna rapport även dataleveranser till Cecilia Akselsson (Lunds Universitet) och Jens Fölster (SLU). Mängden data som har producerats inom studien är stor, varför enbart ett urval presenteras i denna rapport. I Appendix, Tabell I, listas framtagen data med information om vad som levererats till ovanstående avnämare.



## Sammanfattning

I denna studie presenteras nutid (2010) och förändring till framtid (2020) för ett emissionsscenario baserat på PRIMES energimodell och IMO-beslut för internationell sjöfart. Utifrån dessa uppskattningar har modellberäkningar gjorts över nutid och förändring till 2020 för deposition av kväve och svavel, samt för lufthalter av sekundära inorganiska aerosoler (SIA; partiklar) och marknära ozon. Bidrag och förändring i detta bidrag till 2020 har presenterats för internationell sjöfart. Även Sveriges och övriga Europas bidrag till deposition i nutid och förändring till framtid har presenterats.

Huvudresultaten i studien är:

- Landbaserade utsläpp av svaveldioxid, kväveoxider, partiklar, kolmonoxid och volatila organiska ämnen förväntas minska i Europa såväl som i Sverige, medan utsläppen av ammoniak förväntas öka till 2020 i Europa.
- Internationell sjöfart förväntas minska sina utsläpp av svaveldioxid på grund av IMO-beslut, men förväntad ökning i trafiken medför ökade utsläpp av NO<sub>x</sub>.
- Såväl deposition som lufthalter fortsätter vara högst i södra Sverige.
- Utsläppsminskningarna till 2020 medför minskat nedfall av svavel och kväve i Sverige.
- Bidraget till kvävedeposition från internationell sjöfart ökar i hela landet till 2020, övriga bidrag minskar.
- Luftkvaliteten i regional bakgrundsluft i Sverige förbättras för såväl marknära ozon som för SIA.
- De högsta halterna av marknära ozon beräknas minska som en följd av utsläppsminskningar i Europa.





<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
1.1	Syfte .....	1
1.2	Bakgrund .....	1
<b>2</b>	<b>METODIK .....</b>	<b>1</b>
2.1	Emissionsscenarier .....	2
2.1.1	Emissionsscenarier baserade på PRIMES .....	2
2.1.2	Internationell sjöfart.....	2
2.2	Modellberäkningar .....	5
2.2.1	Beskrivning MATCH.....	5
2.2.2	Utvärdering av MATCH-Europa för 2003.....	6
2.2.3	Beräkning av bidrag från utsläppskällor.....	7
<b>3</b>	<b>RESULTAT OCH DISKUSSION.....</b>	<b>8</b>
3.1	Utsläpp .....	8
3.2	Luftföroreningar med påverkan på växtlighet .....	8
3.2.1	Deposition av svavel .....	8
3.2.2	Deposition av kväve .....	12
3.2.3	AOT40 – Ackumulerad ozondos över 40 ppbv .....	15
3.3	Luftföroreningar med påverkan på hälsa.....	18
3.3.1	Partiklar – Sekundära inorganiska aerosoler .....	18
3.3.2	Marknära ozon .....	20
<b>4</b>	<b>DISKUSSION OM OSÄKERHETER OCH FELKÄLLOR.....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>SLUTSATSER .....</b>	<b>24</b>
	<b>LISTA ÖVER FÖRKORTNINGAR .....</b>	<b>25</b>
	<b>REFERENSER .....</b>	<b>26</b>
	<b>APPENDIX .....</b>	<b>28</b>



# 1 Inledning

## 1.1 Syfte

Syftet med föreliggande studie har varit att genomföra geografiskt upplösta beräkningar av utsläpp, deposition och halter av valda luftföroreningar baserade på PRIMES utsläppsscenarioer, samt scenarier där beslutade åtgärder som ska implementeras inom sjöfarten belyses.

## 1.2 Bakgrund

Ett viktigt komplement till mätningar för uppföljning av miljömålen ”Bara naturlig försurning”, ”Ingen övergödning”, och ”Frisk luft” är modellberäkningar för att kunna beskriva den geografiska fördelningen av deposition och halter för att kunna uppskatta överskridanden av kritisk belastning i valda naturmiljöer samt exponering av befolkningen. Modellberäkningar är även en förutsättning för att kunna göra prognoser och scenarier samt inkludera effekter av ett förändrat klimat.

Med MATCH-modellen kan högupplösta beräkningar av deposition av såväl försurande som övergödande ämnen, samt haltberäkningar av luftföroreningar göras. Dessutom kan de specifika bidragen från enskilda sektorer uppskattas samt tänkta åtgärdsscenarioer simuleras där utsläppen ändras. I detta projekt används utsläppsdata baserade på PRIMES energiscenarioer för att undersöka nuläge (2010) och förändring till framtid (2020), för jämförbarhet med ett reviderat Göteborgsprotokoll.

I denna studie tas inte hänsyn till ändring i klimat mellan nutid och framtid. För detta är perspektivet för kortsiktigt<sup>1</sup>. Förändring i halter och deposition på grund av emissionsändringar och klimatförändringar studeras inom forskningsprogrammet CLEO (Climate Change and Environmental Objectives; <http://www.cleoresearch.se/>), där tidsperspektivet är mer långsiktigt.

Här studeras istället enbart effekten av emissionsförändring. Samma tre meteorologiska år används för beräkningar av halter och deposition i nutid och i framtid, för att inte förändringen på grund av utsläpp ska skymmas av påverkan på halter och deposition av meteorologisk mellan-års-variation.

## 2 Metodik

Studien består av två huvuddelar

- Framställning av geografiskt upplösta emissionsdata för nutid och framtid
- Modellberäkningar av utsläpp, transport, deposition och halter

Emissionsdata, för hela Europa, baseras på PRIMES (<http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/>) energiprognoser för 2020 och dessa är framtagna av IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis). Emissionsdata för nutid och framtid bildas därpå genom omskalning av befintliga geografiskt fördelade data på sektors och nationell basis. Detta har utförts av EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme; personlig kommunikation med Agnes Nyiri, EMEP). Den geografiska fördelningen av emissionsdata följer genomgående samma mönster i varje land och för varje sektor som i EMEPs emissionsdata, men totalemissionerna för länder i nutid och förändring fram till 2020 är konsistenta med IIASAs PRIMES-baserade emissioner.

IIASAs PRIMES-baserade emissionsscenarioer innehåller inte information om internationell sjöfart. Nationell sjöfart finns däremot i PRIMES-scenariot. Bidraget från internationell sjöfart beräknades därför med annan metodik. Här används nya skattningar av emissionsfaktorer för 2020, baserat på

---

<sup>1</sup> På 10 år (mellan nutid och framtid) är inte klimatförändringar statistiskt signifikanta, däremot skulle skillnader uppkomma på grund av meteorologisk variabilitet mellan olika år.

IMOs beslut (International Maritime Organisation) om svavelhalt i fartygsbränsle. Geografiskt fördelade sjöfartsemissioner för internationell sjöfart beräknas baserat på dessa i kombination med prognoser för förändring av trafikmängder.

Med den regionala spridningsmodellen MATCH utförs simuleringar på Europaskala (ca 50 km) av luftkvalitet och deposition för nutid och framtid, baserat på de framtagna utsläppsscenarierna. I beräkningarna kvantifieras:

- Nutid – deposition av kväve och excess-svavel (icke-havssaltssvavel), samt lufthalter av marknära O<sub>3</sub> och PM-komponenten sekundära inorganiska aerosoler (SIA)
- Förändring till 2020 – deposition av kväve och excess-svavel, samt lufthalter av marknära O<sub>3</sub> och SIA

För deposition av svavel och kväve kvantifieras bidrag i nutid och för framtidsscenarioet 2020 för

- Europeiskt (icke-svenskt) antropogent bidrag (inklusive nationell sjöfart)
- Internationell sjöfart
- Svenskt bidrag (inklusive nationell sjöfart).

För varje emissionsår (2010, 2020 samt för bidragsberäkningarna) beräknas halter och deposition för tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008). Samma tre meteorologiska år används i alla emissionsscenariokörningarna för att särskilja effekten av emissionsförändringarna men ändå minska effekten av mellan-års-variation, vilken kan vara stor (Andersson m.fl. 2007), speciellt för deposition av kväve och svavel. Urvalet av meteorologiska år baserades på att uppnå en god representation av typisk mellan-års-variation samt att utvärderingen utfördes mot mätningar för året 2003.

Genom en efterbearbetning beräknades dessutom torrdepositionsflöde till olika naturtyper, t.ex. lövskog och barrskog.

Nedan följer en mer detaljerad beskrivning av hur resultaten togs fram. Första avsnittet beskriver framtagning av emissionsdata, och efterföljande avsnitt beskriver hur modellberäkningarna gjordes. I det senare avsnittet ingår även en utvärdering av modellens kvalitet.

## 2.1 Emissionsscenarier

### 2.1.1 Emissionsscenarier baserade på PRIMES

Som grund för spridningsberäkningarna har emissionsscenarier från PRIMES-modellen använts (the PRIMES energy system model; <http://www.e3mlab.ntua.gr/manuals/PRIMESd.pdf>). PRIMES är en modell som används inom EU för prognoser, scenarier inom energiområdet. Modellen simulerar en marknad i jämvikt mellan efterfrågan och tillgång på energi inom EU. Modellen fokuserar på marknadsrelaterade mekanismer som påverkar utvecklingen av efterfrågan och tillgång. PRIMES används för scenarier fram till år 2030.

IIASA har med hjälp av PRIMES-modellen tagit fram en rad emissionsscenarier. De scenarier som använts för denna studie kallas ”PRIMES\_BL2009\_2010”, samt ”PRIMES\_BL2009\_2020” i IIASA:s databaser. Scenarierna bygger, som namnen antyder, på basåret 2009 och har sedan projicerats framåt med hjälp av PRIMES-modellen. Emissionerna som tas fram av IIASA är endast i form av sektorsvisa nationella totalemissioner. För att använda dessa i en spridningsmodell krävs att emissionerna fördelas geografiskt. Detta arbete har utförts av EMEP, och fördelningen är identisk med den som används inom EMEP.

### 2.1.2 Internationell sjöfart

Från PRIMES-modellen kommer ingen information kring emissioner från internationell sjöfart. För internationell sjöfart under 2010 har därför EMEPs emissioner använts. Under den närmsta 10-årsperioden kommer flera nya riktlinjer kring svavelhalt i bränslet för sjöfart införas av IMO. Dessutom pekar allt på att sjötransporterna kommer att öka. En särskild ansträngning har gjorts för att ta hänsyn till dessa två faktorer i emissionsscenarierna för 2020.

### 2.1.2.1 Trafikscenarier för sjöfarten

Det finns ett antal olika framtidsscenarier för sjöfarten. Nedan följer en sammanställning av de mest relevanta av dessa. Sammanställningen baseras på personlig kommunikation med Reidar Grundström, Sjöfartsverket. Scenarierna är formulerade som förändringar i bränslemängder för inrikes och utrikes sjöfart. En bränsleuppräknig har använts för alla emissioner utom svaveloxider, då svavelhalten i bränslet är direkt avgörande i detta fall, och kommer att förändras markant under tidsperioden.

Det scenario över bränslemängder som slutligen valts, grundat på Sjöfartsverkets bedömning, för skattning av år 2020 är från Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2010). Scenariot ger att bränsleleveranserna till inrikes sjöfart ökar med 10 % från 2010 till 2020 samt till utrikes sjöfart ökar med 8,3 % från 2010 till 2020. Inrikes sjöfart är inkluderat i PRIMES-scenariot, så det är endast utrikes sjöfart som hanterats här (utrikes absolutmängd bränsle är cirka 15 gånger större än inrikes). Det bör nämnas att denna procentuella ökning appliceras generellt på utrikestrafiken inom beräkningsområdet, även om den ursprungliga prognosen endast gäller svensk utrikes sjöfart. Att ingen mer noggrann studie görs t.ex. för trafiken i Medelhavet, som troligen skiljer sig avsevärt från trafiken i Östersjön, motiveras med att bidraget från trafiken i Medelhavet inte är lika viktigt i Sverige.

Övriga trafikscenarier som övervägts är mer svårtolkade. De ger också andra signaler kring hur stor ökningen av sjötrafiken förväntas bli. Till exempel visar IMO:s GreenHouseGas studie från 2009 (Buhaug m.fl., 2009) på en betydligt kraftigare ökning. I studien ingår en prognos av det globala transportarbetet till bl.a. 2020 från 2007 för internationell sjöfart, där 2007 var normerat till 100. Omräknat till basåret 2010 ger detta scenario trafikökningar enligt Tabell 1.

Tabell 1. Trafikscenario från IMO (Buhaug m.fl., 2009) omräknat till basåret 2010. Enhet: %.

Trafik	Ökning 2010-2020 [%]
Oceangående	22,3
Kusttrafik	22,3
Container	59,4
<b>Totalt</b>	<b>32,0</b>

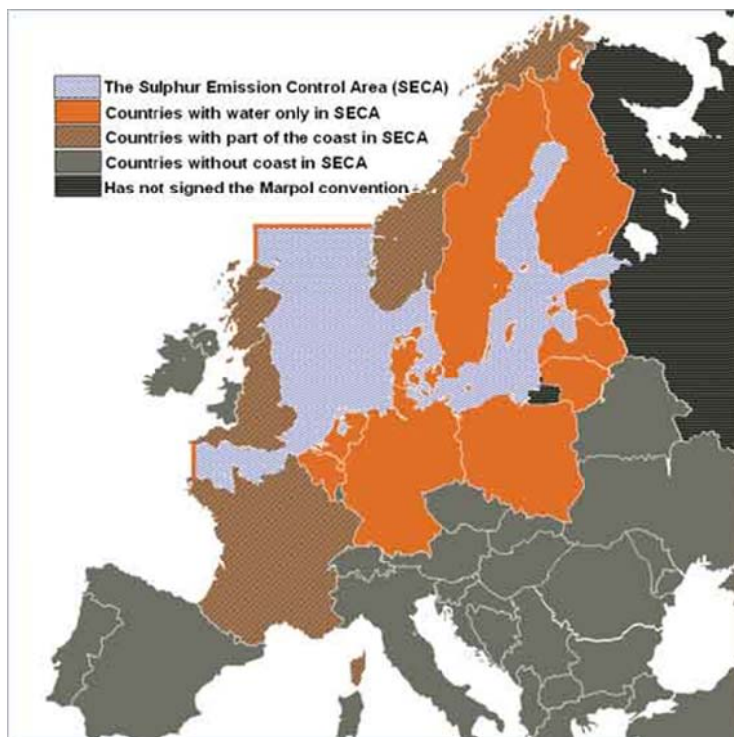
Globalt förväntas att transportavstånden ökar framöver, och det är ett antagande som ligger till grund för IMO:s siffror. I vårt scenario kommer detta inte att ske i samma utsträckning, eftersom det finns naturliga geografiska avgränsningar. Av detta skäl beslöts att bortse från IMO:s scenario.

Vidare har SIKKA (SIKA, 2005) räknat ut att godstransportarbetet för lastfartyg ökar med 12% (2001-2020) och färjor med 34% (också 2001-2020) vilket med rätlinjig interpolation ger cirka 6 % respektive 17% mellan 2010-2020. De har avgränsningen svenskt territorialvatten, men inkluderar såväl in- som utrikes sjöfart. Denna beräkning bedöms som alltför inaktuell och har därför bortsetts ifrån.

Inom sin åtgärdsplanering har också Trafikverket tagit fram bedömningar av trafikökningen. Denna studie pekar på att transportarbetet för sjöfart ökar med mellan 9-13 % i fyra olika scenarier från 2006-2020.

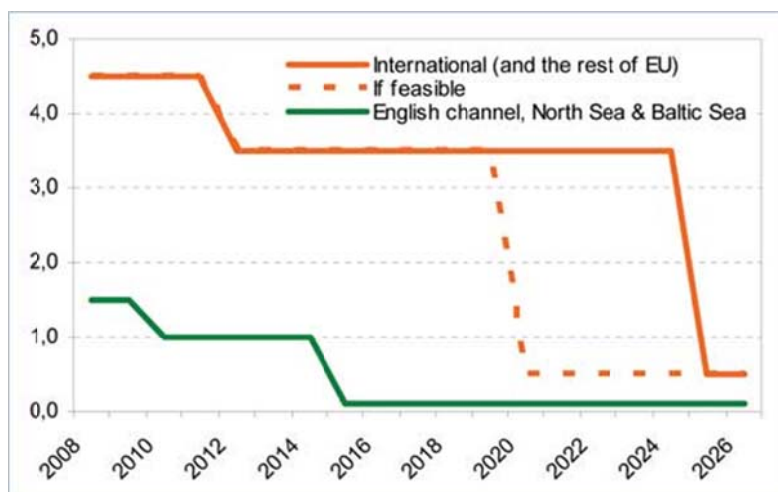
### 2.1.2.2 IMOs regler

Endast de regler som är beslutade har tagits hänsyn till i denna studie. Specifika regler har formulerats för Östersjöområdet + Nordsjön + Engelska kanalen. Detta område har förklarats som ett SECA-område av IMO (SOx Emission Control Area). Avgränsningen av området regleras i MARPOL 73/78 Annex VI Reg. 14 som avser SOx Emission Control Areas. Det område som avses visas i Figur 1.



Figur 1. Avgränsningen av SECA inom Östersjön och Nordsjön enligt MARPOL 73/78 ANNEX VI reg. 14 S/ECA – SO<sub>x</sub> Emission Control Areas.

Tidsplanen för införande och gränsvärdena för svavelinnehåll presenteras i Figur 2. I basscenariot för 2010 antas att 1.5 % svavelhalt fortfarande används inom SECA. Sänkningen till 0.1 % svavelhalt innebär därmed en reduktion med ca 93 %. Utanför SECA går svavelinnehållet från 4.5 % till 3.5 %, vilket innebär en minskning med 22 %.



Figur 2. Införandet av gränsvärden för svavelhalt i bränslet som är beslutade.

Det pågår för närvarande även diskussioner kring införandet av NO<sub>x</sub> Emission Control Area (NECA) inom samma område som nu klassificeras som SECA. Det är emellertid inte säkert vilken utgången blir från dessa diskussioner, och denna studie tar därför ingen hänsyn till ett eventuellt NECA-område.

Ingen prognos har gjorts över framtida emissionsfaktorer för andra ämnen än SO<sub>x</sub>, utan det förutsätts att emissionerna ökar proportionellt mot trafikökningen. Omsättningen i fartygsflottan är låg och det är främst ändrade regler från IMO som ger genomslag på emissionerna från internationell sjöfart. Under

antagandet att inget NECA område införs i Östersjön bedöms det därför rimligt att anta att inga omfattande förändringar av emissionsfaktorerna kommer att ske inom de närmaste 10 åren.

## 2.2 Modellberäkningar

### 2.2.1 Beskrivning MATCH

Spridningsmodellen MATCH är en tredimensionell Eulersk ("gridpunktsbaserad") kemi och transportmodell. Den är SMHI:s grundpelare i såväl Svensk nationell miljöövervakning (MATCH-Sverige systemet; Persson m.fl., 2004) samt i studier av europeisk, svensk och mer avlägsen luftmiljö (se, till exempel, Andersson m.fl., 2009; Gidhagen m.fl., 2005; Engardt, 2008). Modellen har tillämpats på många olika skalor, från grova skalor över hela kontinenter till högre upplösning över städer. MATCH inkluderar fysikaliska och kemiska processer som styr utsläpp, atmosfärisk transport och spridning, kemisk omvandling samt våt- och torrdeposition av en rad luftföroreningar.

Modellen innehåller en fotokemisk modul (ca 70 kemiska komponenter och 130 kemiska reaktioner). I denna modul beräknas den kemiska bildningen och omvandlingen av de svavel- och kväveföreningar som är av intresse i denna studie. Halterna av direktemitterade partiklar som havssalter och partiklar från antropogena utsläpp beskrivs med en storleksuppdelning i fyra klasser. Emissionen av havssalt är direkt kopplad till de lokala meteorologiska förhållandena och salthalten i havet. För detaljer om modellens uppbyggnad se t.ex. Robertson m.fl. (1999), Langner m.fl. (1998), Foltescu m.fl. (2005) och Andersson m.fl. (2007).

Antropogena emissioner har en inbyggd tidsvariation i modellen med timupplösning. Som drivande meteorologi i alla simuleringar använder vi SMHI:s väderprognosmodell HIRLAM:s<sup>2</sup> operationella simuleringar av väderutvecklingen i Europa. Indata från HIRLAM hämtas med tre timmars mellanrum och interpoleras i tiden till varje timme i MATCH. Den vertikala upplösningen i modellen varierar med höjden, med 60 m i lägsta skiktet och mäktigare lager högre upp. Då halterna i luft av flera föroreningar minskar nära marken på grund av upptag av växtlighet och mark (torrdeposition) är det viktigt att använda sig av ett värde på halterna som bättre representerar förhållandena vid marken än medelhalt i lägsta skikt. I denna studie använder vi en nedräkning till 3 m över marken, där beräkningen baseras på marktyp (torrdepositionshastigheten) och meteorologiska förhållanden (atmosfärens stabilitet nära marken).

I en efterbearbetning över Sverige beräknas dessutom torrdepositionsflödet av svavel och kväveämnen till ett utökat antal marktyper. Dessa framgår av Tabell 2. Metodiken finns beskriven i Klein m.fl. (2002).

Tabell 2. Marktyper till vilka torrdepositionsflöden beräknats specifikt i en efterbearbetning.

Benämning	Beskrivning
<b>PASTURE</b>	Betesmark
<b>ARABLE</b>	Jordbruksmark
<b>BEECH/OAK</b>	Björk/Ek
<b>DECIDUOUS</b>	Lövskog
<b>SPRUCE/PINE</b>	Barrskog
<b>WETLAND</b>	Våtmark
<b>MOUNTAIN</b>	Bergsmiljö
<b>WATER</b>	Vattenytor

I denna studie har MATCH tillämpats på Europaskala för att beräkna de förändringar i halter och deposition av olika luftföroreningar som kan förväntas som ett resultat av planerade utsläppsminskningar i Europa. De utsläppsdata som har använts för Europa har en geografisk

<sup>2</sup> HIRLAM, High Resolution Limited Area Model, är en numerisk väderprognosmodell utvecklad av SMHI tillsammans med ett flertal europeiska länder som också använder modellen

upplösning på 50 km och därför har motsvarande horisontella upplösning, 44 km, valts för modellberäkningarna med MATCH. Alla beräkningar med MATCH har körts för tre olika år, 2003, 2007 och 2008, för att jämnat ut variationer i resultaten som kan förekomma för individuella år.

I denna rapport presenteras totaldeposition samt våt och torrdepositionsflöde av excess-svavel och kväve i nutid och förändring till framtid. Med totaldeposition avses summan av våt och torrdeposition, där torrdepositionen är ett viktat medelvärde av torrdepositionsflödena till marktyperna i ett område ("gridruta"). Vidare presenteras även lufthalter av marknära ozon och partikelkomponenten sekundära inorganiska aerosoler (SIA) i nutid och framtid, baserat på modellerade halter på 3m höjd.

## 2.2.2 Utvärdering av MATCH-Europa för 2003

För att säkerställa kvaliteten i resultaten från MATCH har jämförelser gjorts med observationer från EMEP-nätverket i Europa för år 2003. Modellen har för denna jämförelse körts med utsläppsdata för 2004 hämtade från EMEP (Vestreng m.fl. 2004). I Tabell 3 redovisas statistik för lufthalter och i Tabell 4 våtdeposition av de ämnen som är av särskilt intresse i denna studie.

Tabell 3. Jämförelse mellan observerade och modellberäknade lufthalter av olika komponenter. Enhet: ug/m<sup>3</sup>.

Utvärdering av lufthalter							
	Medel obs	Medel modell	Bias(%) modell	Korrelation dygnsvärden	Antal dygnsvärden	Korrelation rumslig, år	Antal stationer
SO <sub>2</sub>	0,79	0,86	9,4	0,45	20460	0,63	65
NO <sub>2</sub>	1,66	1,72	3,4	0,52	15883	0,67	46
NH <sub>3</sub>	0,99	0,36	-64	0,30	2301	0,90	7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,80	0,54	-33	0,58	24188	0,76	72
HNO <sub>3</sub>	0,14	0,11	-17	0,21	4452	0,58	13
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,36	0,33	-6,5	0,50	10800	0,79	33
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +HNO <sub>3</sub>	0,56	0,53	-5,5	0,58	13165	0,87	40
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,75	0,60	-20	0,57	6087	0,89	18
NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,23	1,30	5,6	0,52	13076	0,65	40
O <sub>3</sub> medel	32,5	31,2	-3,9	0,74	36959	0,68	106
O <sub>3</sub> dygnsmax	43,9	43,2	-1,7	0,78	36959	0,85	106
AOT40 <sub>c</sub>	8984	8163	-9,1	-	-	0,87	106
AOT40 <sub>t</sub>	17167	14932	-13	-	-	0,90	106

De största avvikelserna mellan modell och observationer för lufthalter återfinns för ammoniak och ammonium i partiklar i luft med en underskattning med 64 respektive 20%. Detta kan delvis förklaras med en kort uppehållstid för dessa ämnen i atmosfären. Det är också få stationer som mäter NH<sub>3</sub> och ammonium uppdelat. Fler stationer mäter summan av NH<sub>3</sub> och ammonium, TotNH<sub>x</sub>, och här är överensstämmelsen bättre. Även lufthalter av sulfat i partiklar, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, uppvisar relativt stor avvikelse. Eftersom halterna av SO<sub>2</sub> samtidigt är något överskattade är det troligt att den kemiska omvandlingen från SO<sub>2</sub> till sulfat är något för långsam i modellen.

För våtdeposition (se Tabell 4) uppvisar modellen generellt lägre resultat än uppmätt. En del av förklaringen till detta är osäkerheter i den modellberäknade nederbörd som kommer från väderprognosmodellen HIRLAM. Även en för långsam kemisk omvandling av SO<sub>2</sub> till sulfat kan vara orsaken till underskattning av våtdepositionen av svavel. Den största avvikelsen i våtdeposition, -61%, fås för natrium. Osäkerheterna i emissionerna av havssalt är dock stora och det är svårt att utvärdera modellresultaten på grund av det finns väldigt få stationer som mäter havssalt i luft. Det finns sannolikt ändå möjligheter att förbättra resultaten för havssalt i framtiden genom att t.ex. inkludera ytterligare storleksklasser.



Tabell 4. Jämförelse mellan observerad och modellberäknad våtdeposition av olika komponenter. Enhet: mg/m<sup>2</sup>/år.

Utvärdering av våtdeposition							
	Medel obs	Medel modell	Bias (%) modell	Korrelation månadsvärden	Antal månadsvärden	Korrelation rumslig, år	Antal stationer
<b>SO<sub>x</sub></b>	398	330	-17	0,46	938	0,59	81
<b>NO<sub>y</sub></b>	409	278	-32	0,53	937	0,61	81
<b>NH<sub>x</sub></b>	354	298	-15	0,53	938	0,61	81
<b>Na</b>	1033	396	-61	0,60	938	0,63	81

Resultaten är jämförbara med vad som har redovisats i tidigare utvärderingar av MATCH på Europaskala och resultaten står sig också väl i jämförelse med andra liknande modeller som tillämpas över Europa (van Loon m.fl. 2007). Det är viktigt att komma ihåg att man inte kan förvänta sig en perfekt överensstämmelse mellan modellresultat som representerar medelvärden över stora geografiska områden, i detta fall beräkningsrutor som är 44x44 km<sup>2</sup>, och punktmätningar. Särskilt gäller detta för ämnen som emitteras och som har relativt kort uppehållstid i atmosfären. Sammantaget bedömer vi resultaten som goda med tanke på att det även finns betydande osäkerheter i emissionsdata.

### 2.2.3 Beräkning av bidrag från utsläppskällor

För att särskilja bidraget från svenska emissioner, övriga Europas emissioner (med detta avses Europa exklusive Sverige) och emissioner från internationell sjöfart användes liknande metodik som regelmässigt används i EMEPs arbete då käll-receptormatriser tas fram.

Först körs MATCH-modellen för ett basfall (bl) med utsläpp från ett visst emissionsscenario. För att erhålla bidraget från ett visst utsläppsområde minskades utsläppen i området med 20%, övriga utsläpp är desamma som i basfallet. Halter och deposition beräknas så även för detta emissionsfält. Genom att forma skillnaden mellan basfallet och det minskade utsläppsfallet erhålls koncentrations- och depositionsavtryck som visar vad en 20% minskning medför. Detta avtryck kan därefter skalas upp till ett bidrag för samma område, genom att multiplicera avtrycket med en faktor 5, så att det motsvarar 100%.

Denna metodik används för att undvika alltför stora olinjära effekter i utsläpp-effekt-förhållandet. Om vi istället hade valt att minska utsläppen i området med 100% skulle effekten bli väldigt annorlunda eftersom kemin blir mycket olinjär vid så stora emissionsförändringar, men då det inte är rimligt att emissionerna minskar med 100% på en viss plats men inte i andra områden, utan snarare håller sig omkring 10-20% är denna metodik lämplig för att beskriva bidrag från områden eller sektorer.

Det finns dock undantag. Ett exempel är på olinjärt förhållande mellan utsläpp och resulterande lufthalt är den fotokemi som bildar marknära ozon, där en minskning av utsläpp tenderar att öka halterna nära källan<sup>3</sup> men minska halterna en bit bort. Ett annat exempel är olinjära effekter orsakade av kväve-svavelkemi vid utsläppsminskningar av SO<sub>2</sub> men inte NH<sub>3</sub>. Det senare diskuteras mer i kommande avsnitt. Trots en sämre situation nära utsläppskällan är den totala effekten av en utsläppsminskning en förbättrad luftmiljö.

<sup>3</sup> Denna effekt kallas för titrerings-effekten. Den orsakas av att ozon, NO, NO<sub>2</sub> och volatila organiska kolväten bildar en jämvikt i bakgrundsluft. Färska utsläpp av NO<sub>x</sub> har en mycket större andel NO jämfört med denna jämvikt. NO tenderar att förstöra ozon, vilket medför att ozonhalten nära utsläppskällor tenderar att minska halten av ozon.

## 3 Resultat och diskussion

### 3.1 Utsläpp

I Tabell 5 presenteras de totala utsläppen, samt dessutom uppdelat på svenska utsläpp, övriga europeiska utsläpp samt utsläpp från internationell sjöfart. Övriga europeiska utsläpp inkluderar antropogena emissioner från europeiska länder, samt ett antal länder angränsande till Europa som finns med i EMEPs geografiskt fördelade emissionsinventarier (<http://www.ceip.at/>), men exkluderar Sverige.

Tabell 5. PRIMES-baserade utsläpp för 2010 och förändring till 2020 (i parantes) aggregerade totala EMEP-domänet, över Sverige, övriga Europa och Internationell Sjöfart. Enhet: Tg/år.

	Totalt	Sverige	Övriga Europa <sup>4</sup>	Internationell Sjöfart
CO	64.8 (-4.2)	0.6 (-0.2)	64.2 (-4.6)	0.0 (0.6)
NO <sub>x</sub>	18.0 (-3.1)	0.2 (-0.1)	13.8 (-3.7)	4.0 (0.3)
SO <sub>x</sub>	16.2 (-4.1)	0.0 (0.0)	13.8 (-1.6)	2.4 (-0.6)
NMVOG	12.9 (-1.9)	0.2 (0.0)	12.6 (-2)	0.2 (0.0)
PM10-PM2.5	1.3 (0.0)	0.0 (0.0)	1.3 (0)	0.0 (0.0)
PM2.5	3.3 (-0.2)	0.0 (0.0)	3.0 (-0.3)	0.3 (0.0)
NH <sub>3</sub>	6.1 (0.1)	0.0 (0.0)	6.1 (0.1)	0.0 (0.0)

Sveriges utsläpp är mycket små i jämförelse med hela Europa. Den internationella sjöfarten bidrar med framför allt utsläpp av NO<sub>x</sub> och SO<sub>x</sub>. Förutom de angivna bidragen till utsläpp så inkluderas dessutom naturliga källor till svavel i modellberäkningarna. Dessa ingår inte i tabellen. Den internationella sjöfarten har i denna studie inga utsläpp av CO i nutid medan det ingår utsläpp i framtidsscenarioet. Denna inkonsistens borde inte påverka uppskattningarna av koncentrationer och deposition nämnvärt då sjöfartsemissionerna av CO är mycket låga jämfört med de totala emissionerna av CO.

Enligt PRIMES emissionsscenario 2010 till 2020 minskar de Europeiska totalemissionerna av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> och NMVOG. Emissionerna av CO och grova samt fina primärpartiklars utsläpp minskar också enligt scenariot, men minskningen är inte lika stor. Utsläppen av NH<sub>3</sub> ökar däremot med ca 1%.

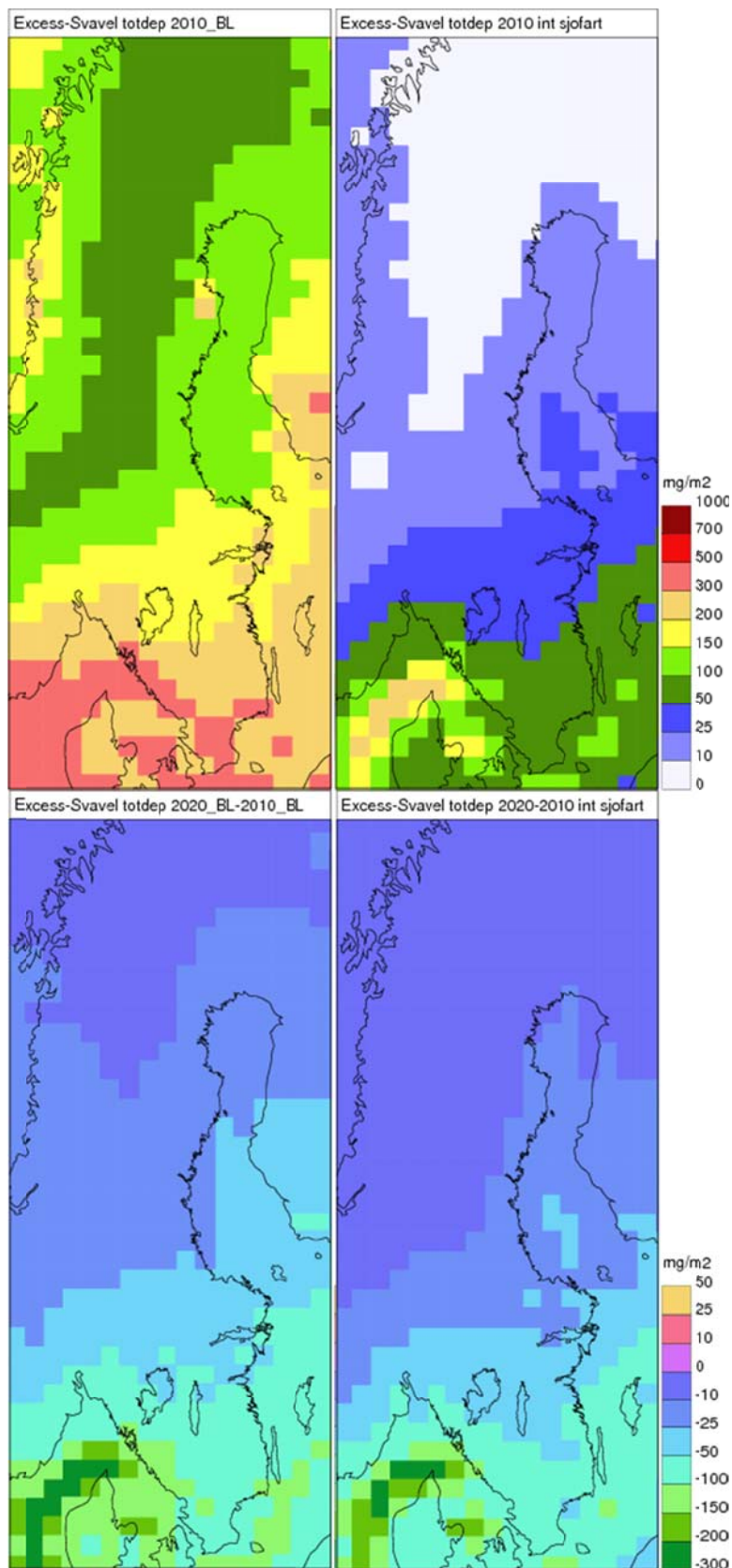
### 3.2 Luftföroreningar med påverkan på växtlighet

#### 3.2.1 Deposition av svavel

Svavelnedfall verkar försurande och kan skada såväl växtlighet som fiskars chanser för överlevnad i sjöar och vattendrag. Under 1980 och 1990-talen minskade utsläppen av svavel markant i Europa. De största utsläppen kommer idag från bl.a. Tyskland, Polen, Tjeckien, Slovakien och England samt från fartygstrafik.

I denna rapport presenteras deposition av excess-svavel, d.v.s. svavel från havssalt ingår inte i uppskattningarna. I svaveldepositionen ingår alltså antropogena utsläpp samt bidrag från naturliga svavelkällor i form av dimetylsulfid (DMS) och vulkaner. I beräkningarna av bidrag från Sverige, övriga Europa och internationell sjöfart ingår enbart mänskliga utsläpp.

<sup>4</sup> Vissa emissioner från närliggande länder utanför Europa inkluderas också i EMEPs modellområde, Sverige är exkluderat ur Europa.



Figur 3. Beräknad total excess-svaveldeposition i nutid (övre vänstra hörnet), bidrag från internationell sjöfart (övre högra hörnet), samt förändring till framtid (nedre vänstra hörnet) och förändring i bidrag från internationell sjöfart (nedre högra hörnet). Panelerna visar årsdeposition som ett medel över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008) med utsläppsscenarier för nutid (2010) och framtid (2020). Enhet: mg S m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>.

Depositionen av svavel i Sverige (se Figur 3 och Figur 4) reflekterar utsläppsfördelningen i Europa. Det största nedfallet beräknas i södra och sydvästra Sverige och beror delvis på den stora utsläppstätheten, även i Europeiskt perspektiv, från sjöfart utmed västkusten och mellan Danmark och Norge. Det största bidraget kommer dock från övriga Europa. Även ett maximum i nederbörden i sydvästra Sverige påverkar depositions bilden.

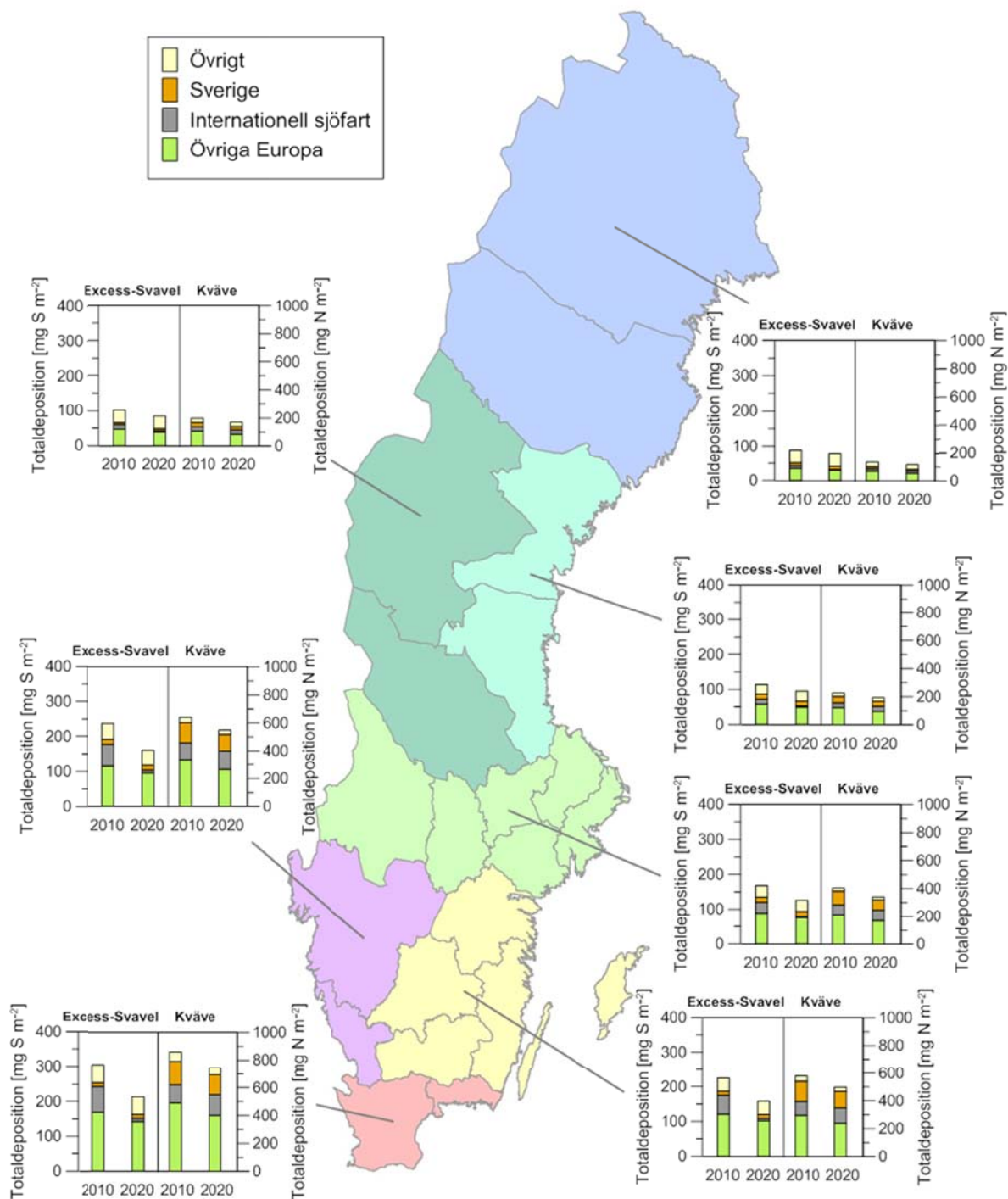
Det utsläppta svavlet deponeras på omgivande ytor vid marken (torrdeposition) samt omvandlas delvis i atmosfären till sulfatpartiklar som regnar (våtdeposition) eller faller ut (torrdeposition) efter transport med vindar. Totaldepositionen är summan av dessa bidrag. Det största nedfallet sker nära källorna, med minskande nedfall med avståndet. Den vanligaste vindriktningen i Europa är vind från sydväst, vilket medför att utsläpp från den riktningen drabbar Sverige relativt sett mer.

Tabell 6 visar svavels totaldeposition som ett medelvärde över Sverige samt medelvärden över Sveriges län i nutid och förändringen till framtid. Medeldepositionen av svavel förväntas minska till 2020 överallt i Sverige med PRIMES-scenarierna. Den största absoluta minskningen är i Hallands, Skånes och Blekinges län, vilka även har störst deposition idag. Den minsta minskningen finner vi i Norrbottens län, där nedfallet är relativt litet idag.

I tabellen finns även särskilt bidrag och förändring i bidrag till 2020 från mänskliga utsläppsändringar i Europa (Sverige ej inkluderat), internationell sjöfart samt svenska emissioner. Vi ser att det framför allt är utsläppsändringar i internationell sjöfart som är orsaken till minskningen i de flesta län. I Halland är minskningen på grund av ändrade utsläpp i internationell sjöfart nästan en tredjedel av nuvarande medelnedfall, medan nedfallsändringen på grund av utsläppsändringar i Europa är strax under en tiondel av nuvarande nedfall. I Figur 3 visas en karta över bidrag till nedfall från internationell sjöfart i nutid, samt förändringen i detta bidrag till 2020.

Det svenska bidraget till nedfall av svavel i Sverige är litet, omkring  $10 \text{ mg m}^{-2}$ , det största bidraget är i Västmanlands län med  $25 \text{ mg m}^{-2}$ . Mot norr avtar långdistansbidraget (internationell sjöfart och Europeiska utsläpp), vilket innebär att svenska bidraget blir allt viktigare.

Figur 4 visar fördelningen i bidraget till totaldeposition från Sverige, internationell sjöfart samt övriga Europa i nutid och 2020. Totaldepositionen är större än summan av dessa tre bidrag, vilket framför allt orsakas av att det finns naturliga utsläpp av svavel med i beräkningen av nedfallet (dock inte havssaltssvavel). Skillnaden mellan total och bidrag benämns övrigt i figuren. För kväve orsakas motsvarande skillnad av olinjära effekter i svavel-kväve-kemin; detta diskuteras ytterligare i nästa avsnitt.



Figur 4. Beräknad total (våt+torr) deposition av excess-svavel och kväve i nutid (2010) och framtid (2020) medelvärdesbildat över aggregerade län i Sverige. Staplarna innehåller även information om bidrag från Sverige, Internationell sjöfart, övriga Europa samt övriga källor. Enhet: mg S/N m<sup>-2</sup>.

Tabell II i Appendix visar modellberäknade medelvärden av torr och våtdeposition för Sverige och Sveriges län till olika marktyper. Ur tabellen kan utläsas områdenas torrdeposition (mixed), torrdeposition till olika typer av marktyper (se Tabell 5 för förklaring), samt våtdeposition. Förändring av dessa nedfall till 2020 finns också angivet i tabellen.

Flöden till olika marktyper kan användas för att ta reda på nedfallet exempelvis till granskog (Spruce/Pine) eller till åkermark (Arable) i länet. Totaldepositionen till denna marktyp erhålls om

våtdepositionen summeras med flödet till denna marktyp. Marktypen mixed är däremot det med marktyp viktade medelvärdet av torrdepositionen till respektive län, alltså den modellerade verkliga torrdepositionen till länet, och en summering av denna med våtdepositionen för samma län ger totaldepositionen i Tabell 6.

Tabell 6. Beräknad total (torr+våt) årsdeposition av excess-svavel i nutid samt beräknad förändring till år 2020 (inom parentes), angivet som medelvärde länsvis samt Sverige som helhet. Årsdepositionen är beräknad som ett medelvärde över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008) och är uppdelad i olika bidrag: Totalt, övriga Europas bidrag, bidraget från internationell sjöfart samt bidrag från Sverige. Enhet: mg S m<sup>-2</sup>.

Excess-Svavel, totaldeposition (mg S m <sup>-2</sup> )				
	Totalt	Övriga Europa	Sjöfart	Sverige
Stockholms län	176 (-42)	99 (-14)	32 (-28)	14 (0)
Uppsala län	156 (-35)	83 (-12)	27 (-24)	17 (1)
Södermanlands län	167 (-41)	91 (-14)	31 (-26)	15 (0)
Östergötlands län	183 (-50)	98 (-16)	39 (-34)	15 (0)
Jönköpings län	226 (-67)	120 (-20)	53 (-46)	12 (0)
Kronobergs län	272 (-81)	151 (-25)	63 (-55)	10 (0)
Kalmar län	232 (-73)	125 (-19)	60 (-53)	12 (0)
Gotlands län	225 (-74)	119 (-19)	62 (-55)	7 (0)
Blekinge län	296 (-90)	167 (-25)	73 (-65)	11 (0)
Skåne län	308 (-93)	169 (-27)	74 (-65)	11 (0)
Hallands län	317 (-112)	149 (-27)	94 (-82)	13 (0)
Västra Götalands län	222 (-70)	108 (-19)	57 (-50)	14 (0)
Värmlands län	166 (-43)	87 (-14)	34 (-29)	11 (0)
Örebro län	174 (-44)	91 (-15)	34 (-29)	15 (0)
Västmanlands län	167 (-36)	84 (-13)	28 (-24)	25 (1)
Dalarnas län	119 (-25)	61 (-10)	19 (-16)	10 (0)
Gävleborgs län	124 (-22)	62 (-9)	17 (-14)	17 (1)
Västernorrlands län	106 (-17)	54 (-8)	12 (-10)	11 (1)
Jämtlands län	93 (-13)	39 (-7)	10 (-7)	4 (0)
Västerbottens län	97 (-12)	42 (-7)	10 (-7)	12 (1)
Norrbottnens län	84 (-8)	31 (-5)	7 (-4)	6 (0)
Sverige	137 (-30)	66 (-11)	24 (-20)	10 (0)

### 3.2.2 Deposition av kväve

Kvävenedfall verkar både försurande och övergödande. Utsläppen av kväve i Europa har, precis som svavelutsläppen, minskat sedan början av 1980-talet, men minskningen har inte varit lika stor. I PRIMES-scenariot är ammoniakutsläppet den enda gas vars totala utsläpp ökar till 2020.

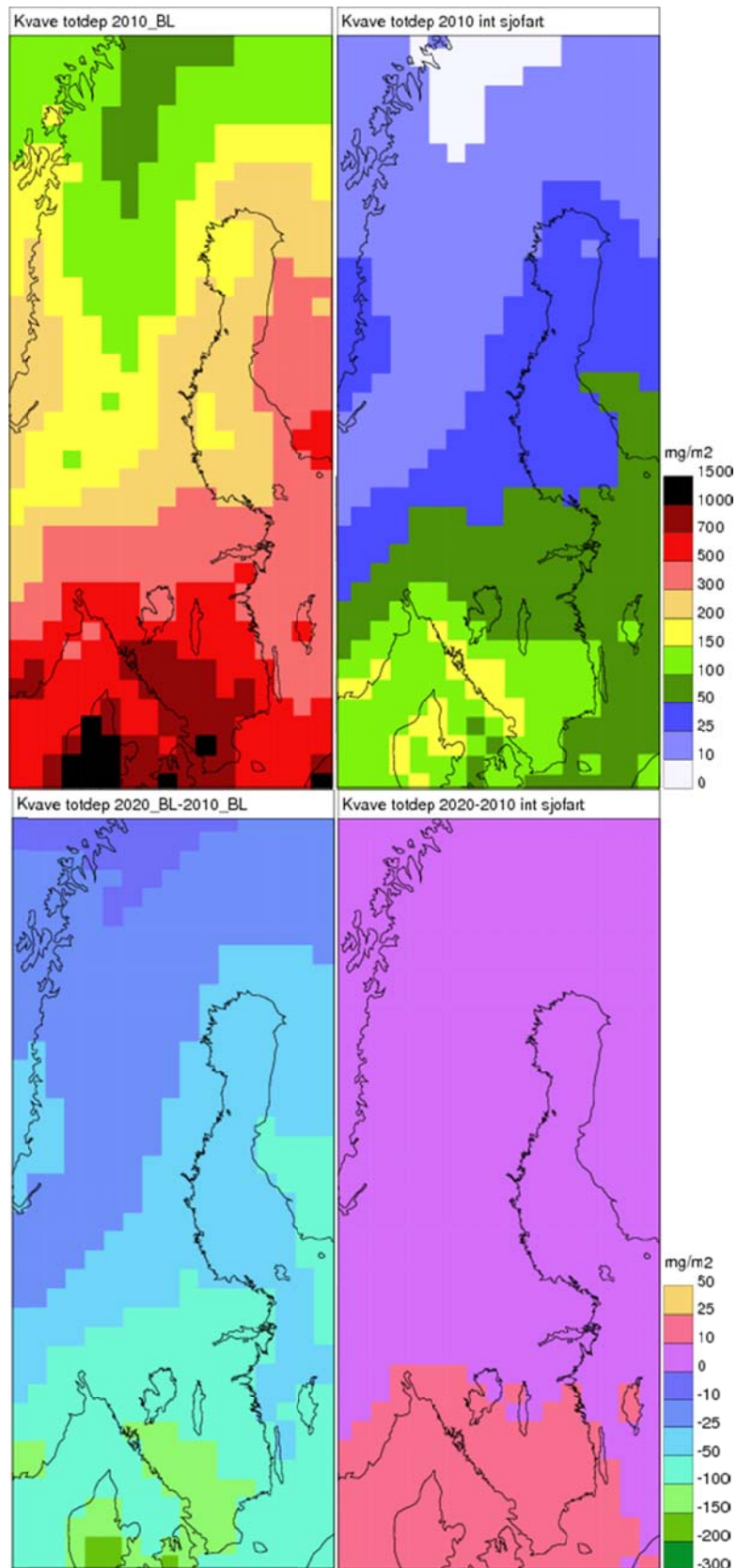
Beräknad fördelning av total kvävedeposition samt förändring till 2020 presenteras i Figur 4 och Figur 5. Det största nedfallet sker i sydvästra Sverige med minskande nedfall norrut. Detta är en följd av att de största kväveutsläppen sker i Centraleuropa, speciellt stora ammoniakutsläpp sker i Beneluxländerna. Det utsläppta kvävet kan deponera direkt som torr- eller våtdeposition, eller omvandlas i atmosfären till mer oxiderade former, och regna ut eller falla ner efter transport med vindar. Detta medför att nedfallet minskar med avståndet från utsläppsplatsen.

Tabell 7. Beräknad total (torr+våt) årsdeposition av kväve (reducerat+oxiderat kväve) i nutid samt beräknad förändring till år 2020 (inom parantes), angivet som medelvärde länsvis samt Sverige som helhet. Årsdepositionen är beräknad som ett medelvärde över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008) och är uppdelad i olika bidrag: Totalt, bidrag från övriga Europa, bidrag från internationell sjöfart, bidrag från Sverige, samt bidrag från sjöfart uppdelat på reducerat och oxiderat kväve. Enhet mg N m<sup>-2</sup>.

Kväve, totaldeposition (mg N m <sup>-2</sup> )						
	Totalt	Övriga Europa	Sjöfart	Sverige	Sjöfart NH <sub>x</sub> -kväve	Sjöfart NO <sub>y</sub> -kväve
Stockholms län	402 (-66)	210 (-43)	67 (7)	103 (-28)	0.9 (0.5)	66 (6)
Uppsala län	337 (-52)	179 (-38)	57 (6)	81 (-20)	1.2 (0.2)	56 (5)
Södermanlands län	456 (-79)	207 (-43)	70 (8)	155 (-41)	0.8 (0.8)	69 (7)
Östergötlands län	503 (-74)	227 (-47)	82 (9)	164 (-33)	-0.6 (1.3)	83 (8)
Jönköpings län	634 (-89)	307 (-61)	105 (11)	178 (-31)	-0.7 (1)	106 (10)
Kronobergs län	707 (-100)	391 (-71)	122 (13)	142 (-26)	0.3 (0.7)	122 (12)
Kalmar län	539 (-71)	285 (-52)	99 (11)	117 (-21)	-0.8 (1.7)	100 (9)
Gotlands län	425 (-53)	266 (-54)	82 (9)	55 (-10)	-1.4 (1.9)	84 (8)
Blekinge län	719 (-95)	414 (-70)	119 (13)	127 (-19)	-2.4 (1.5)	121 (12)
Skåne län	896 (-121)	509 (-93)	136 (17)	180 (-26)	-4.7 (1.5)	141 (15)
Hallands län	841 (-120)	464 (-92)	159 (18)	152 (-30)	0.8 (0.4)	158 (17)
Västra Götalands län	601 (-85)	310 (-68)	115 (12)	142 (-26)	0.8 (0.7)	114 (11)
Värmlands län	395 (-60)	229 (-48)	76 (8)	67 (-16)	3.5 (-0.1)	73 (8)
Örebro län	445 (-70)	223 (-46)	75 (8)	120 (-27)	2.4 (0.3)	73 (7)
Västmanlands län	399 (-63)	191 (-39)	62 (6)	121 (-27)	1.9 (0.2)	60 (6)
Dalarnas län	257 (-39)	140 (-30)	43 (4)	47 (-12)	2.1 (-0.2)	41 (4)
Gävleborgs län	252 (-38)	133 (-29)	39 (3)	56 (-13)	1.5 (-0.1)	37 (3)
Västernorrlands län	208 (-30)	112 (-24)	29 (2)	38 (-9)	1.6 (-0.4)	28 (2)
Jämtlands län	167 (-23)	89 (-20)	22 (1)	20 (-5)	1.0 (-0.2)	21 (2)
Västerbottens län	159 (-22)	84 (-19)	21 (1)	23 (-5)	1.1 (-0.3)	20 (1)
Norrbottnens län	121 (-15)	61 (-14)	14 (1)	10 (-3)	0.8 (-0.3)	13 (1)
Sverige	301 (-43)	158 (-33)	48 (5)	60 (-13)	0.9 (0.1)	47 (4)

I Tabell 7 presenteras modellberäknat totalt nedfall av kväve samt förändringen till 2020 som ett medelvärde över länen samt hela Sverige. Det största nedfallet av kväve beräknas för Skåne och det lägsta för Norrbottens län. Den relativa minskningen i kvävedeposition till 2020 är lägre än för svavel. Då vi studerar bidraget från internationell sjöfart noterar vi en ökning i nedfallet av framför allt oxiderat kväve orsakat av internationell sjöfart (se Tabell 7). Detta orsakas av ökade sjöfartsemissioner av oxiderat kväve, såväl på svenska som i europiska farvatten (se avsnitt 2.1.2). Bidraget av internationella sjöfartsemissioner till kvävedepositionen i Sverige är som förväntat störst i sydvästra Sverige och avtar norrut.

Bidraget från övriga Europa utgör det absolut största bidraget till den totala kvävedepositionen, med minst 50% även i Norrbottens län som är längst från de stora kontinentala källorna. Det svenska bidraget till totala kvävedepositionen är som störst i Hallands län där också totala depositionen är störst. Notera att det svenska bidraget även inkluderar nationell sjöfart. Det svenska bidraget utgör ungefär en fjärdedel av depositionen med vissa undantag, t.ex. Gotland, där det svenska bidraget är ungefär en åttondedel medan sjöfarten utgör ungefär en fjärdedel, vilket är relativt mer än i andra länder.



Figur 5. Beräknad total kvävedeposition i nutid (övre vänstra hörnet), bidrag från internationell sjöfart (övre högra hörnet), samt förändring till framtid (nedre vänstra hörnet) och förändring i bidrag från internationell sjöfart (nedre högra hörnet). Panelerna visar årsdeposition som ett medel över tre meteorologiska år (2003, 2007-2008) med utsläppsscenarioer för nutid (2010) och framtid (2020). Enhet:  $\text{mg N m}^{-2} \text{år}^{-1}$ .



Såväl det svenska bidraget som bidraget från övriga Europa minskar till 2020 (se Figur 5 och Tabell 7), trots ökade ammoniakutsläpp. Vid en detaljstudie av Tabell 7 kan man notera att det finns negativa värden i sjöfartens bidrag till deposition av reducerat kväve. För att förstå detta behöver vi diskutera atmosfärskemiska processer som involverar svavel och reducerat kväve.

Utsläppen av svavel är framför allt i form av SO<sub>2</sub>, vilken med tiden omvandlas till sulfatpartiklar. Dessa sulfatpartiklar reagerar mycket snabbt med ammoniak, vilket bildar ammoniumsulfat. Om det däremot saknas sulfatpartiklar förblir ammoniak i sin form. Depositionen av ammoniak är mycket snabbare än depositionen av ammoniumsulfat, då denna gas är mycket reaktiv och har en hög vattenlöslighet. Detta betyder att om det finns mer sulfatpartiklar för ammoniak att reagera med så stannar det reducerade kvävet kvar längre i atmosfären och depositionen blir mindre inom ett visst avstånd från källan.

För att ta reda på bidraget till depositionen av reducerat kväve orsakat av internationell sjöfart har vi minskat utsläppen för internationell sjöfart med 20% (och skalat upp effekten av detta med en faktor 5). Detta betyder att vi har minskat svavelutsläppen vilket i sin tur betyder att det kommer att finnas färre sulfatpartiklar för ammoniak att reagera med. Samtidigt har vi inte förändrat ammoniakutsläppen; omgivande länder släpper fortfarande ut lika mycket kväve. Detta medför att en minskning av sjöfartsemissionerna (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO) leder till en ökning av nedfallet av reducerat kväve nära källan, men en ökning längre bort.

Detta är precis vad vi kan notera i tabellen: i söder är bidraget av internationell sjöfart till deposition av reducerat kväve negativt och i norr är bidraget positivt. Det finns två möjliga tolkningar av detta resultat. Antingen kan man säga att då sjöfarten inte släpper ut reducerat kväve så är dess bidrag till reducerad kvävedeposition irrelevant, men detta är inte helt korrekt eftersom en emissionsförändring faktiskt skapar denna effekt. Hellre ska man tolka det som att utsläppen av svavel från sjöfart verkar för att minska depositionen av reducerat kväve nära utsläppskällan och öka den längre bort. Det totala bidraget från sjöfartsemissioner till kvävedeposition är dock en ökning: den sammanlagda effekten av sjöfartsemissioner är ett relativt stort bidrag till kvävedepositionen i Sverige (ca 15-20%, något lägre i de nordligaste länen).

Även för kväve presenterar vi torrdepositions- och våtdepositionsflöden till olika marktyper, se Appendix Tabell III.

### 3.2.3 AOT40 – Ackumulerad ozondos över 40 ppbv

Som en indikator för risk för skador på växtlighet på grund av marknära ozon används måttet AOT40. Ozon skadar växtlighet genom att bl.a. följa med in i bladens klyvöppningar då växten tar in luft för fotosyntes. Eftersom ozon är mycket oxidativt så reagerar den med organiska ämnen i växten, t.ex. celler, och såväl storleken på växten som dess kvalitet påverkas.

AOT40 är ett ackumulationsmått av ozonhalter över tröskelvärdet 40 ppb(v) (80 µg m<sup>-3</sup>). Överskridandet över 40 ppb(v) för timvisa ozonhalter under dagtid (8.00-20.00), summeras för att forma måttet<sup>5</sup>. Måttet kan formas över olika perioder av året, här visas AOT40 (se Tabell 8) för tillväxtperiod för gröda (maj-juli; AOT40<sub>c</sub>), samt tillväxtperioden för skog (april-september AOT40<sub>f</sub>). Långsiktigt mål i Sverige för skydd av växtlighet är en gräns på 10 000 µg h m<sup>-3</sup> gällande AOT40<sub>f</sub> (Naturvårdsverket, 2008). I EU är gränsvärdet för AOT40<sub>c</sub> 18 000 µg h m<sup>-3</sup> och det långsiktiga målet för samma period är 6 000 µg h m<sup>-3</sup>.

Då MATCH-modellen likt många andra regionalskaliga modeller underskattar de högsta halterna underskattas mått som AOT40 mer än medelvärden (Engardt m.fl., 2010), dock är underskattningen av

<sup>5</sup> Formeln för beräkning av AOT40 framgår nedan. C<sub>h</sub> är ozonkoncentrationen för varje timma h, vilken löper över klockslagen 8.00 till 20.00 under månaderna maj-juli.

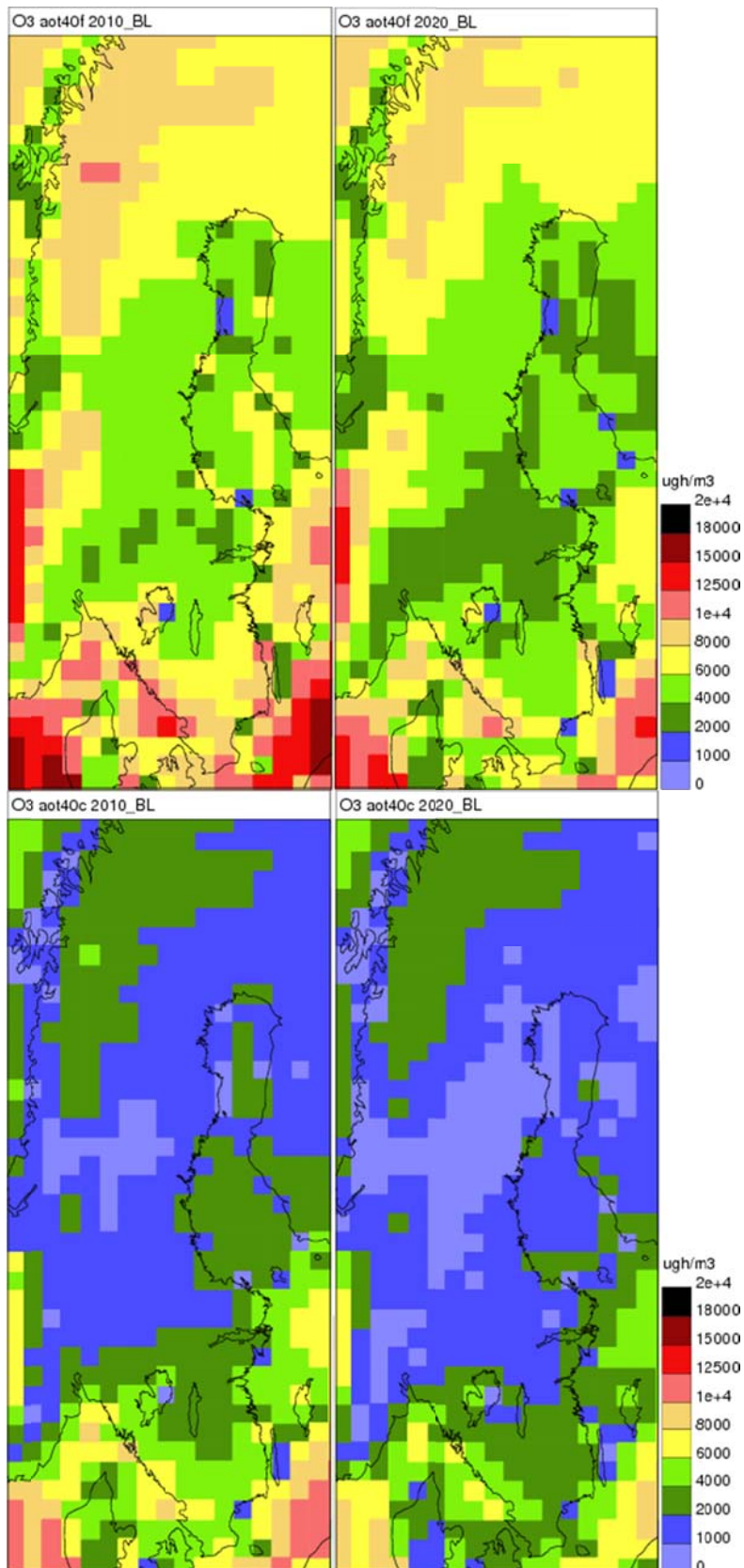
$$AOT40 = \sum_{h=1,N} MAX(C_h - 40ppb(v), 0)$$

AOT40 enbart ca 10% (som ett genomsnitt över Europa, se Tabell 3) i denna studie. I denna studie presenterar vi AOT40 (se Tabell 8) i nutid (2010), samt för framtid (2020), och i Tabell 8 presenteras nutid och förändring till framtid i AOT40 för Sverige samt svenska län.

I figur och tabell framgår att EU-gränsvärdet för AOT40 summerat över maj-juli ( $18\,000\ \mu\text{g h m}^{-3}$ ) inte överskrids i Sverige, varken i nutid eller i framtid. Det långsiktiga målet för skydd av växtlighet (gul-röd skala för AOT40c; röd skala för AOT40f) överskrids däremot i delar av södra Sverige. I scenariot för 2020 förbättras AOT40 som en följd av PRIMES utsläppsminskningar, trots ökade NOx-utsläpp från internationell sjöfart; miljömålet ( $10\,000\ \mu\text{g h m}^{-3}$  ackumulerat över april-september) uppfylls i hela landet till 2020, medan det långsiktiga EU-målet ( $6\,000\ \mu\text{g h m}^{-3}$  ackumulerat över maj-juli) är fortfarande inte uppfyllt överallt. Observera att i scenariot för 2020 är hänsyn inte tagen till förändrade bakgrundshalter (intransport från icke-Europeiska utsläpp), vilka potentiellt kan ha en negativ påverkan på utsikterna att uppnå mål- och gränsvärden till 2020.

Tabell 8. Beräknad ackumulerad dos av marknära ozon över  $40\ \text{ppb}(v)$  (ca  $80\ \mu\text{g h m}^{-3}$ ) mellan klockslagen 8.00 och 20.00 under maj-juli i nutid samt förändring till år 2020. Värdena är ytmedelvärdesbildat länsvis samt för Sverige som helhet. Halten är beräknad som ett medelvärde över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008). Enhet:  $\mu\text{g h m}^{-3}$ .

	AOT40 <sub>c</sub> ( $\mu\text{g h m}^{-3}$ ) maj-juli		AOT40 <sub>f</sub> ( $\mu\text{g h m}^{-3}$ ) april-september	
	2010	Förändring till 2020	2010	Förändring till 2020
Stockholms län	2743	-1004	4961	-1360
Uppsala län	2163	-729	4445	-1070
Södermanlands län	2454	-1006	4567	-1366
Östergötlands län	2884	-996	5218	-1463
Jönköpings län	3600	-1112	6075	-1620
Kronobergs län	4486	-1387	7351	-1965
Kalmar län	4309	-1287	6994	-1826
Gotlands län	5287	-1619	8425	-2248
Blekinge län	5223	-1766	8192	-2371
Skåne län	5523	-1768	8698	-2359
Hallands län	6060	-1680	9067	-2242
Västra Götalands län	3953	-1163	6406	-1624
Värmlands län	2085	-627	4582	-999
Örebro län	2350	-819	4786	-1209
Västmanlands län	1831	-662	4117	-1011
Dalarnas län	1499	-411	4822	-824
Gävleborgs län	1729	-487	4711	-866
Västernorrlands län	1144	-301	5107	-707
Jämtlands län	1230	-228	6014	-706
Västerbottens län	1505	-267	6621	-697
Norrbottens län	2307	-250	8034	-640
Sverige	2340	-568	6539	-1447



Figur 6. AOT40 i nutid (vänster) och framtid (höger). Panelerna visar AOT40 för maj-juli (övre raden) och april-september (nedre raden) som ett medel över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008) baserat på utsläppsscenarioer för nutid (2010) och framtid (2020). Enhet  $\mu\text{g h m}^{-3}$ .

### 3.3 Luftföroreningar med påverkan på hälsa

#### 3.3.1 Partiklar – Sekundära inorganiska aerosoler

I denna studie presenterar vi uppskattningar av nutid och förändring till framtid i lufthalter av partikelkomponenten SIA. Dessa partiklar formas i atmosfären och består av de inorganiska salterna sulfat, nitrat och ammonium, vilka bildas i atmosfären genom oxidationsprocesser av utsläppta kväve- och svavelhaltiga gaser ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  och  $\text{SO}_2$ ).

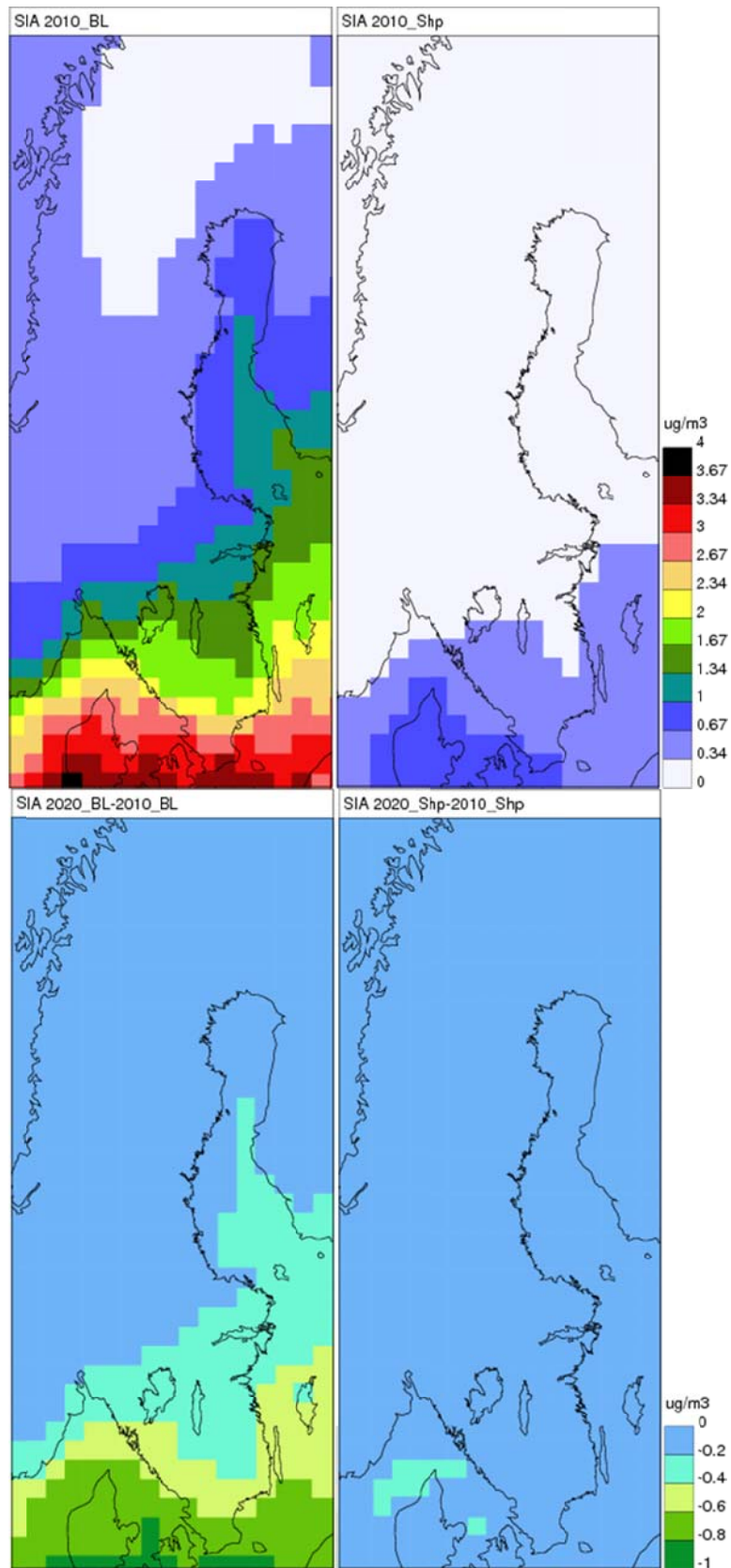
För tillfället saknar MATCH en fullständig modellbeskrivning av alla komponenter som bygger upp PM10 och PM2.5. Sekundära organiska aerosoler är ännu inte implementerade i MATCH. Naturliga emissioner av t.ex. damm och havssalt förändras dessutom inte mellan utsläppsscenarierna, varför dessa exkluderats ur studien. Av tekniska skäl presenteras inte heller primärt PM. Det är av dessa anledningar som vi väljer att presentera enbart SIA. Detta innebär att det saknas beskrivning av en majoritet av PM2.5 och PM10 i nutids och förändringshalterna.

I Figur 7 presenteras modellberäknade halt av SIA i nutid, samt förändring till framtid. Dessutom visas bidraget till SIA halt i nutid från internationell sjöfart, och förändringen i detta bidrag till framtiden. I Tabell 9 visas motsvarande i form av medelvärden över hela Sverige samt över svenska län.

Precis som för deposition av kväve och svavel avtar lufthalten av SIA med ökande latitud. Högst halt av SIA återfinns i Skåne. Internationell sjöfart bidrar med ungefär 20% till lufthalterna. Förändringen till 2020 är ungefär av samma storlek som sjöfartens bidrag, men sjöfartsbidraget förändras inte nämnvärt till 2020.

*Tabell 9. Beräknad årsmedelkoncentration av sekundära inorganiska partiklar (SIA) i nutid samt förändring till år 2020, ytemedvärdesbildat länsvis samt för Sverige som helhet. Halten är beräknad som ett medelvärde över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008) och är uppdelad i totalt samt bidrag från internationell sjöfart. Enhet:  $\mu\text{g m}^{-3}$ .*

SIA ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )				
	Totalt 2010	Totalt 2020-2010	Sjöfart 2010	Sjöfart 2020-2010
Stockholms län	1.1	-0.2	0.2	0.0
Uppsala län	0.9	-0.2	0.2	0.0
Södermanlands län	1.2	-0.3	0.2	0.0
Östergötlands län	1.4	-0.3	0.3	0.0
Jönköpings län	1.7	-0.4	0.4	0.0
Kronobergs län	1.8	-0.4	0.4	0.0
Kalmar län	1.6	-0.4	0.3	-0.1
Gotlands län	1.8	-0.4	0.4	-0.1
Blekinge län	2.2	-0.5	0.5	-0.1
Skåne län	2.6	-0.6	0.6	0.0
Hallands län	2.1	-0.5	0.4	0.0
Västra Götalands län	1.6	-0.3	0.3	0.0
Värmlands län	0.8	-0.2	0.2	0.0
Örebro län	1.0	-0.2	0.2	0.0
Västmanlands län	0.9	-0.2	0.2	0.0
Dalarnas län	0.6	-0.1	0.1	0.0
Gävleborgs län	0.6	-0.1	0.1	0.0
Västernorrlands län	0.5	-0.1	0.1	0.0
Jämtlands län	0.4	-0.1	0.1	0.0
Västerbottens län	0.4	-0.1	0.1	0.0
Norrbottens län	0.3	0.0	0.0	0.0
Sverige	0.8	-0.2	0.1	0.0



Figur 7. Beräknade sekundära inorganiska aerosoler (SIA) i nutid (övre vänstra hörnet), bidrag från internationell sjöfart (övre högra hörnet), samt förändring till framtid (nedre vänstra hörnet) och förändring i bidrag från internationell sjöfart (nedre högra hörnet). Panelerna visar medelhalt över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008) med utsläppsscenarioer för nutid (2010) och framtid (2020). Enhet:  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

### 3.3.2 Marknära ozon

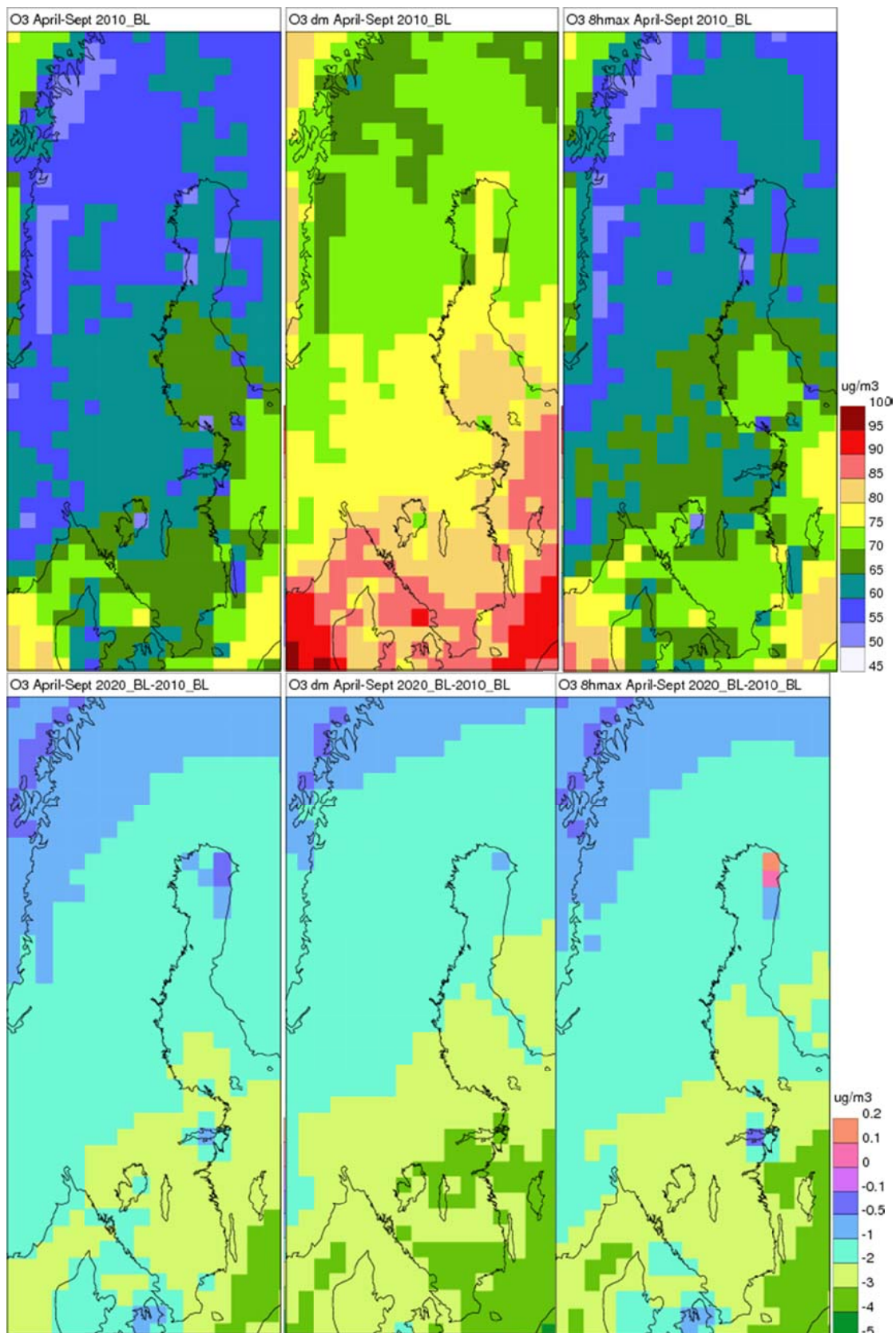
Ozon är även farligt för människor att andas in; de reaktiva egenskaperna hos gasen retar slemhinnor och kan bl.a. utlösa astmaanfall och i värsta fall förtidig död. Marknära ozon övervakas i form av överskridanden av  $120 \mu\text{g m}^{-3}$  och högre nivåer.

I denna studie presenterar vi tre mått på marknära ozon. Alla tre är medelvärden formade under sommarhalvåret, april-september, då de högsta halterna uppnås för att inte vinterns låga halter ska skymma förändringar i halten. Medelvärdena, samt förändringen i dem till 2020 presenteras i Tabell 10 och Figur 8. Det första är medel av marknära ozon, det andra måttet är medel av dygnsmaximal ozonhalt (baserad på timvärden) och det sista är medel av det maximala flytande 8-timmarsmedelvärdet för varje dygn.

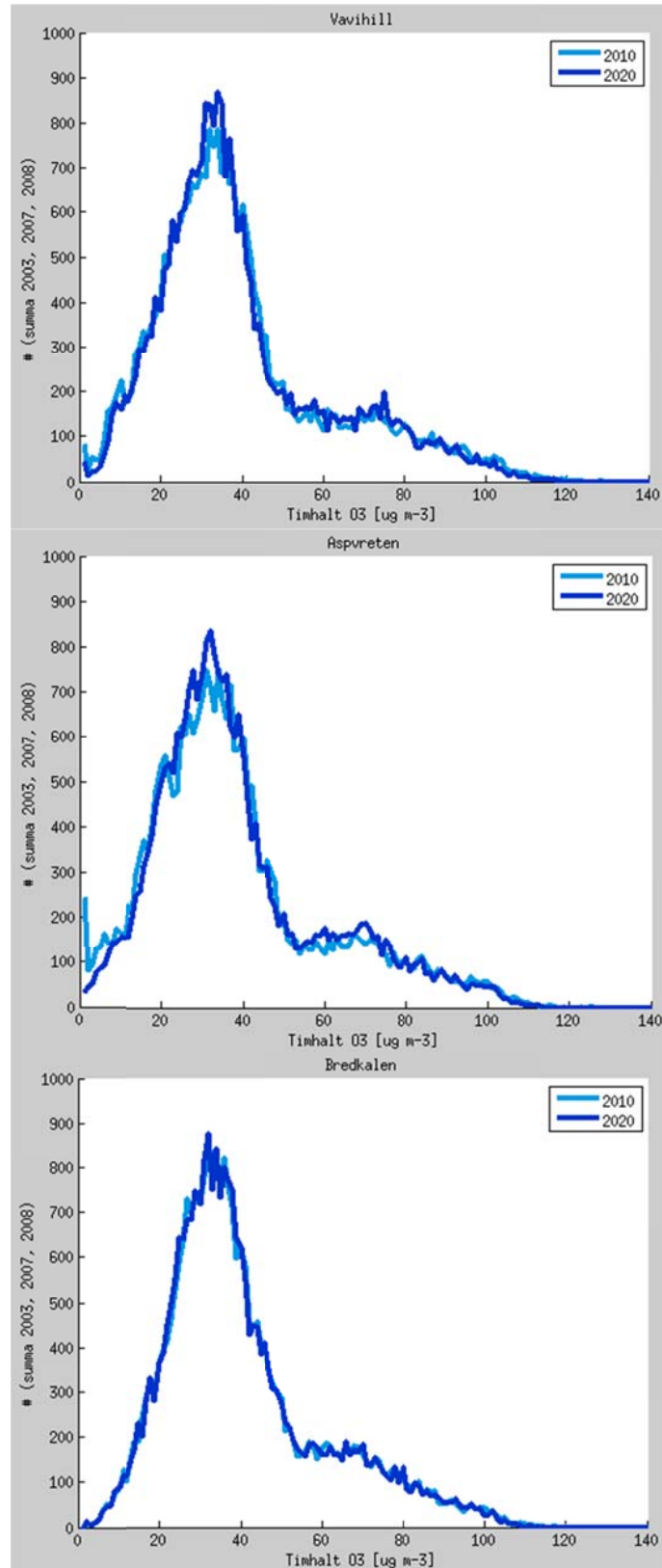
De högsta halterna av marknära ozon finner vi i södra Sverige. Alla ozonmått minskar i hela Sverige till 2020. Den största minskningen sker i 8-timmarsmedelvärdenas dygnsmax. Det är inte självklart att detta innebär en förbättring av de allra högsta halterna men det indikerar en förbättring i situationen.

*Tabell 10. Beräknad koncentration av marknära ozon angivet som dygnsmaximum av flytande 8h-medelhalt, medelhalt under sommarhalvåret samt maximalt timmedelvärde under sommarhalvåret. Halterna visas för nutid samt förändring till år 2020 (inom parentes), ytmedelvärdesbildat länsvis samt för Sverige som helhet. Halten är beräknad som ett medelvärde över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008). Enhet:  $\mu\text{g m}^{-3}$ .*

Marknära ozon, $\text{O}_3$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )			
Medel April-September			
	Dygnsmedel	Dygnsmax av 1h-medel	Dygnsmax av 8h-medel
Stockholms län	62 (-1.9)	79 (-2.8)	65 (-2.1)
Uppsala län	62 (-2.0)	78 (-2.5)	65 (-2.2)
Södermanlands län	60 (-1.8)	78 (-3.1)	63 (-1.9)
Östergötlands län	63 (-2.2)	80 (-3.1)	66 (-2.5)
Jönköpings län	65 (-2.2)	82 (-3.0)	70 (-2.5)
Kronobergs län	68 (-2.3)	84 (-3.0)	73 (-2.6)
Kalmar län	67 (-2.4)	83 (-3.0)	71 (-2.7)
Gotlands län	71 (-2.7)	86 (-3.0)	73 (-3.0)
Blekinge län	68 (-2.4)	85 (-3.1)	73 (-2.6)
Skåne län	67 (-2.0)	85 (-3.0)	72 (-2.3)
Hallands län	68 (-2.0)	86 (-3.0)	73 (-2.3)
Västra Götalands län	65 (-2.1)	82 (-2.9)	69 (-2.5)
Värmlands län	62 (-2.0)	78 (-2.5)	67 (-2.3)
Örebro län	63 (-2.1)	79 (-2.8)	67 (-2.5)
Västmanlands län	61 (-2.0)	77 (-2.7)	65 (-2.3)
Dalarnas län	62 (-1.7)	77 (-2.1)	65 (-2.0)
Gävleborgs län	63 (-1.8)	77 (-2.1)	66 (-1.9)
Västernorrlands län	61 (-1.5)	75 (-1.7)	64 (-1.6)
Jämtlands län	60 (-1.3)	74 (-1.6)	62 (-1.4)
Västerbottens län	59 (-1.2)	72 (-1.4)	61 (-1.3)
Norrbottnens län	57 (-1.0)	70 (-1.2)	58 (-1.1)
Sverige	61 (-1.6)	76 (-2.0)	64 (-1.7)



Figur 8. Beräknat marknära ozon i nutid (övre raden) och förändring till framtid (nedre raden). Medel över sommarhalvåret april-september av medelozon (vänster), medelvärde av dygnsmax av ozon (mitten) samt medelvärde av dygnets maximala flytande 8h-timmarsmedelozon. Panelerna visar medelhalt över tre meteorologiska år (2003, 2007-2008) med utsläppsscenarioer för nutid (2010) och framtid (2020). Enhet:  $\mu\text{g m}^{-3}$ .



Figur 9. Modellerad frekvensfördelning för timvärden av marknära ozon i nutid (2010, ljusblå linje) och framtid (2020, mörkblå linje) vid tre platser i Sverige: Vavihill i Skåne (överst), Aspvreten i Södermanland (mitten) och Bredkålen i Jämtland (nederst). Frekvensfördelningarna är en summa över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008) av antal timhalter i  $1 \mu\text{g m}^{-3}$ -intervall. Enhet:  $\text{h} (\mu\text{g m}^{-3})^{-1}$ .



För att vidare studera hur medel- och maxhalter förändras med förändrade utsläpp presenterar vi även frekvensfördelning av marknära ozons timvärden i nutid och i framtid (se Figur 9). Frekvensfördelningen baseras på hela årets timvärden. I söder (Vavihill och Aspvreten) ökar antalet timmar med halter mellan ca 30 och 80  $\mu\text{g m}^{-3}$  till 2020. Däremot minskar antalet höga och låga halter i söder. Minskningen i högsta halterna orsakas troligen av minskning i långdistanstransporterade luftföroreningar på grund av utsläppsminskningarna i Europa. I norr, längre från utsläppsändringarna, ser vi mycket liten påverkan på frekvensfördelningen.

På grund av tidigare nämnda icke-linjariteter i den ozonbildande fotokemin föredrar vi att inte presentera bidraget av internationell sjöfart till denna. Istället presenterar vi en känslighetsstudie på vad en utsläppsminskning om 20% i nutid och framtid medför för förändring i ozonhalter. Resultaten av denna studie återfinns i Appendix, Figur I.

En sådan utsläppsminskning medför en ökning av ozonhalter till havs i nutid såväl som i 2020. I nutid minskas halten i Sveriges inland mer för medelhalten, medan dygnsmaxhalterna minskas mer i framtiden av en 20% utsläppsminskning. Effekten av en 20% utsläppsminskning av internationell sjöfart, såväl i nutid som 2020 är dock marginell i hela Sverige. Påverkan på lufthalterna rör sig om mellan -0.34 och 0.1 ppbv (mellan ca -0.68 och 0.2  $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

## 4 Diskussion om osäkerheter och felkällor

Emissionsdata utgör alltid en signifikant källa till osäkerheter i denna typ av studier. Internationell sjöfart som har tilldelats särskilt fokus här, är en av de mest osäkra sektorerna. Detta beror dels på brister i eller avsaknad av komplett information om fartygsrörelser, bränslemängder och bränslekvaliteter, men även på otillräckliga kunskaper om utsläppen av t.ex. partiklar från olika typer av fartyg. Även i flera andra sektorer finns betydande osäkerheter. På grund av dessa osäkerheter i grunddata är det viktigt att se resultaten mer som möjliga scenarier än som prognoser. Resultaten ger uppskattningar av åt vilket håll trenderna för olika föroreningar pekar, samt en uppfattning om deras storlek och genomslag i miljön.

Depositionen i denna studie är en ren modellberäkning, till skillnad från t.ex. nationell miljöövervakning där även mätningar inkluderas i kartläggningen av dagens tillstånd. Våtdepositionen av såväl svavel som kväve är lägre än vad som uppmäts vid nio EMEP-stationer i Sverige och Norge (-32% för svavel, -39% för  $\text{NO}_y$ -kväve och -54% för  $\text{NH}_x$ -kväve). Detta måste finnas i åtanke vid tolkning och användning av resultaten. Det finns dock inte någon anledning att tro att förändringen till framtid är felaktig, men minskningen i nedfall skulle kunna vara något större.

I denna studie presenteras inte antalet överskridanden i marknära ozons tröskelvärden för skydd av hälsa. Orsaken är modellens underskattning av de högsta halterna. MATCH, liksom andra liknande modeller, har problem att fånga de allra högsta halterna (typiskt halter över gränsvärdet). Denna underskattning medför att underskattningen av antal överskridanden blir stor i nutid. Förändringen i detta mått blir dessutom speciellt missvisande, eftersom det är så känsligt för de högsta halterna då det är en förändring i tröskelvärde. Studier indikerar (t.ex. Engardt m.fl. 2010, Jönsson 2011, Klein m.fl. 2011) att åtminstone vissa maxhalter av marknära ozon i Sverige orsakas av intransport från Polen och andra ostligt belägna europeiska länder under vår och sensommar. En hypotes är att det kan vara knutet till skogs- eller gräsbränder i dessa områden. Detta skulle kunna vara en bidragande orsak till att modellen underskattar de högsta värdena, eftersom dessa emissioner inte inkluderats i modellen eller i emissionsscenarierna.

## 5 Slutsatser

Huvudresultaten i studien är:

- Landbaserade utsläpp av svaveldioxid, kväveoxider, partiklar, kolmonoxid och volatila organiska ämnen förväntas minska i Europa såväl som i Sverige, medan utsläppen av ammoniak förväntas öka till 2020 i Europa.
- Internationell sjöfart förväntas minska utsläpp av svaveldioxid på grund av IMO-beslut, men då trafiken förväntas öka medför detta ökade utsläpp av NO<sub>x</sub> från internationell sjöfart.
- Såväl deposition som lufthalter fortsätter vara högst i södra Sverige.
- Utsläppsminskningarna till 2020 medför minskat nedfall av svavel och kväve i Sverige.
- Bidraget till kvävedeposition från internationell sjöfart ökar i hela landet till 2020, övriga bidrag minskar.
- Luftkvaliteten i regional bakgrundsluft i Sverige förbättras för såväl marknära ozon som för SIA.
- De högsta halterna av marknära ozon beräknas minska som en följd av utsläppsminskningar i Europa.

## Lista över Förkortningar

Förkortning	Förklaring
<b>AOT40<sub>c</sub></b>	Ackumulated Ozone Exposure over a Threshold of 40 ppb(v) crops (maj-juli)
<b>AOT40<sub>f</sub></b>	Ackumulated Ozone Exposure over a Threshold of 40 ppb(v) forests (april-september)
<b>BL</b>	Basfall
<b>CO</b>	Kolmonoxid
<b>DMS</b>	di-metyl-sulfid
<b>EMEP</b>	European Monitoring and Evaluation Programme
<b>HIRLAM</b>	High Resolution Limited Area Model
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Salpetersyra
<b>IIASA</b>	International Institute for Applied Systems Analysis
<b>IMO</b>	International Maritime Organization
<b>MATCH</b>	Multi-scale Atmospheric Transport and Chemistry
<b>NECA</b>	NO <sub>x</sub> Emission Control Region
<b>NH<sub>3</sub></b>	Ammoniak
<b>NHX_N</b>	Reducerat kväve i enheter av kväve
<b>Na</b>	Natrium
<b>NO</b>	Kväveoxid
<b>NO<sub>2</sub></b>	Kvävedioxid
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Nitrat
<b>NO<sub>x</sub></b>	Kväveoxider (NO+NO <sub>2</sub> )
<b>NOX_N</b>	Kväveoxider (NO+NO <sub>2</sub> ) i enheter av kväve
<b>NO<sub>y</sub></b>	Oxiderat kväve
<b>NOY_N</b>	Oxiderat kväve i enheter av kväve
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozon
<b>PM</b>	Partikulär Materia
<b>PM<sub>d</sub></b>	Partikulär Materia med diameter mindre än d (µm)
<b>PRIMES</b>	Energimodell
<b>SECA</b>	SO <sub>x</sub> Emission Control Region
<b>SHP</b>	Internationell sjöfart
<b>SIA</b>	Sekundär Inorganisk Aerosol
<b>SO<sub>2</sub></b>	Svaveldioxid
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Sulfat
<b>SOX_S</b>	Svaveloxider i enheter av svavel

## Referenser

- Andersson, C., Bergström, R. och 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, 3613-3620.
- 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
- DIRECTIVE 2008/50/EC of the European parliament and of the council. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:EN:PDF>
- Energimyndigheten, 2010. Långtidsprognos 2010, ER 2011:03.
- Engardt, M. 2008. Modelling of near-surface ozone over South Asia. *J. Atmos. Chem.* 59, 61-80. DOI:10.1007/s10874-008-9096-z
- Engardt, M., Andersson, C. och Bergström, R. 2010. Modellering av marknära ozon. Regionala och högupplösta tillämpningar av MATCH. SMHI rapport, Meteorologi Nr 145. [http://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.15292!meteorologi\\_145.pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.15292!meteorologi_145.pdf)
- Foltescu, V., Pryor, S. och Bennet, C. 2005. Sea salt generation and removal on the regional scale. *Atmos. Environ.* 39, 2123-2133.
- Gidhagen, L., Johansson, C., Langner, J., & Foltescu, V. L. 2005. Urban scale modeling of particle number concentration in Stockholm. *Atmos. Environ.* 39, 1711–1725.
- Buhaus, Ø.; Corbett, J.J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D.S.; Lee, D.; Lindstad, H.; Markowska, A.Z.; Mjelde, A.; Nelissen, D.; Nilsen, J.; Pålsson, C.; Winebrake, J.J.; Wu, W.-Q.; Yoshida, K 2009. Second IMO GHG study 2009: International Maritime Organization (IMO) London, UK.
- Jönsson, O. 2011. Examensarbete på Linköpings universitet utfört på SMHI, under framställning.
- Klein, T., Karlsson, P.E., Andersson, S., Engardt, M. and Sjöberg, K., 2011: Assessing and improving the Swedish forecast and information capacity for ground-level ozone. SMHI RMK rapport, under framställning.
- Klein, T., Bergström, R. och Persson, C. 2002. Parameterization of dry deposition in MATCH. SMHI RMK rapport Nr 100. [http://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.2127!RMK\\_100%5B1%5D.pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.2127!RMK_100%5B1%5D.pdf)
- 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).
- Naturvårdsverket, 2007. Frisk Luft. Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet. Rapport nr 5765.
- Persson, C., Ressner, E. och Klein, T. 2004. Nationell miljöövervakning – MATCH-Sverigemodellen. Metod- och resultatsammanställning för åren 1999-2002 samt diskussion av osäkerheter, trender och miljömål. SMHI Meteorologi 113.
- Robertson, L., Langner, J. and Engardt, M. 1999. An Eulerian limited-area atmospheric transport model. *J. Appl. Meteor.* 38, 190-210.

SIKA 2005. Transporternas utveckling till 2020. Rapport 2005:6.

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.

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.

Vestreng V., Adams M. & Goodwin J. 2004. Inventory Review 2004 Emission Data reported to CLRTAP and under the NEC Directive EMEP/EEA Joint Review Report. EMEP/ MSC-W Technical Report 1/2004. Norwegian Meteorological Institute. Oslo, Norway. 120 pp.

**Appendix**

Tabell I. Sammanställning av inom projektet producerad data. All data är geografiskt fördelade över hela Europa, förutom flödena av torrdeposition till marktyper, som enbart beräknades för ett mindre område kring Sverige. Kursivering avser till avnämare levererad data.

Typ	Ämne	Geo- grafiskt område	Utsläppsbidrag	Utsläppår	Meteoro- logiskt år	Upplösning	Tidsskala
<b>Deposition</b> <i>-Våt</i> <i>-Torr</i> <i>-Total (våt+torr)</i>	-Oxiderat svavel -Oxiderat kväve -Reducerat kväve	Europa	-Hela Europa -Sveriges bidrag -Övriga Europas bidrag -Internationell sjöfarts bidrag	-2010 -2020 Förändring 2020-2010	-2003 -2007 -2008	-44 km	-Dygnsackumulerad deposition -Deposition ackumulerad till årstotaler och tre-års-medel av årstotaler
	-Havssaltsbidrag av oxiderat svavel		Modellerade naturliga utsläpp av havssalt	-2003 -2007 -2008	Som utsläppår		
<b>Torrdepositionsflöde till följande marktyper:</b> <i>-pasture</i> <i>-arable</i> <i>-beech/oak</i> <i>-deciduous</i> <i>-spruce/pine</i> <i>-wetland</i> <i>-mountain</i> <i>-urban</i> <i>-water</i>	-Oxiderat svavel -Oxiderat kväve -Reducerat kväve -Havssaltsbidrag av oxiderat svavel	Sverige	-Hela Europa -Sveriges bidrag -Övriga Europas bidrag -Internationell sjöfarts bidrag	-2010 -2020 Förändring 2020-2010 (enbart tre-års-medel)	-2003 -2007 -2008	-44 km -22 km	-Dygnsackumulerad deposition -Deposition ackumulerad till årstotaler och tre-års-medel av årstotaler
	-Havssaltsbidrag av oxiderat svavel		Modellerade naturliga utsläpp av havssalt	-2003 -2007 -2008	Som utsläppår		
<b>Lufthalt</b>	SIA =sulfat, nitrat, ammonium	Europa	-Hela Europa -Sveriges bidrag -Övriga Europas bidrag -Internationell sjöfarts bidrag			-44 km	-Dygnsmedelhalt -Månadsmedel -Årsmedel -3-årsmedel -Förändring i tre-års-medel (2020-2010)
	Marknära ozon		-Hela Europa Effekten av 20% minskning i utsläpp från Sverige -Övriga Europa -Internationell sjöfart	-2010 -2020 Förändring 2020-2010 (enbart tre-års-medel)	-2003 -2007 -2008		Ett urval presenteras: -Entimmesmedelvärde -Dygnsmedelvärde -Halvårsmedelvärde -Halvårsmedelvärde av dygnsmax -Sommarhalvårsmedel av dygnsmax -8h-timmarsmedel -Antal överskridande av 120 µg m <sup>-3</sup> -AOT40c (maj-jul) -AOT40f (apr-sept) Medel av ovanstående för tre meteorologiska år
	Ett 60-tal ytterligare gaser (t.ex. SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO) samt havssalt						-Dygnsmedelvärde

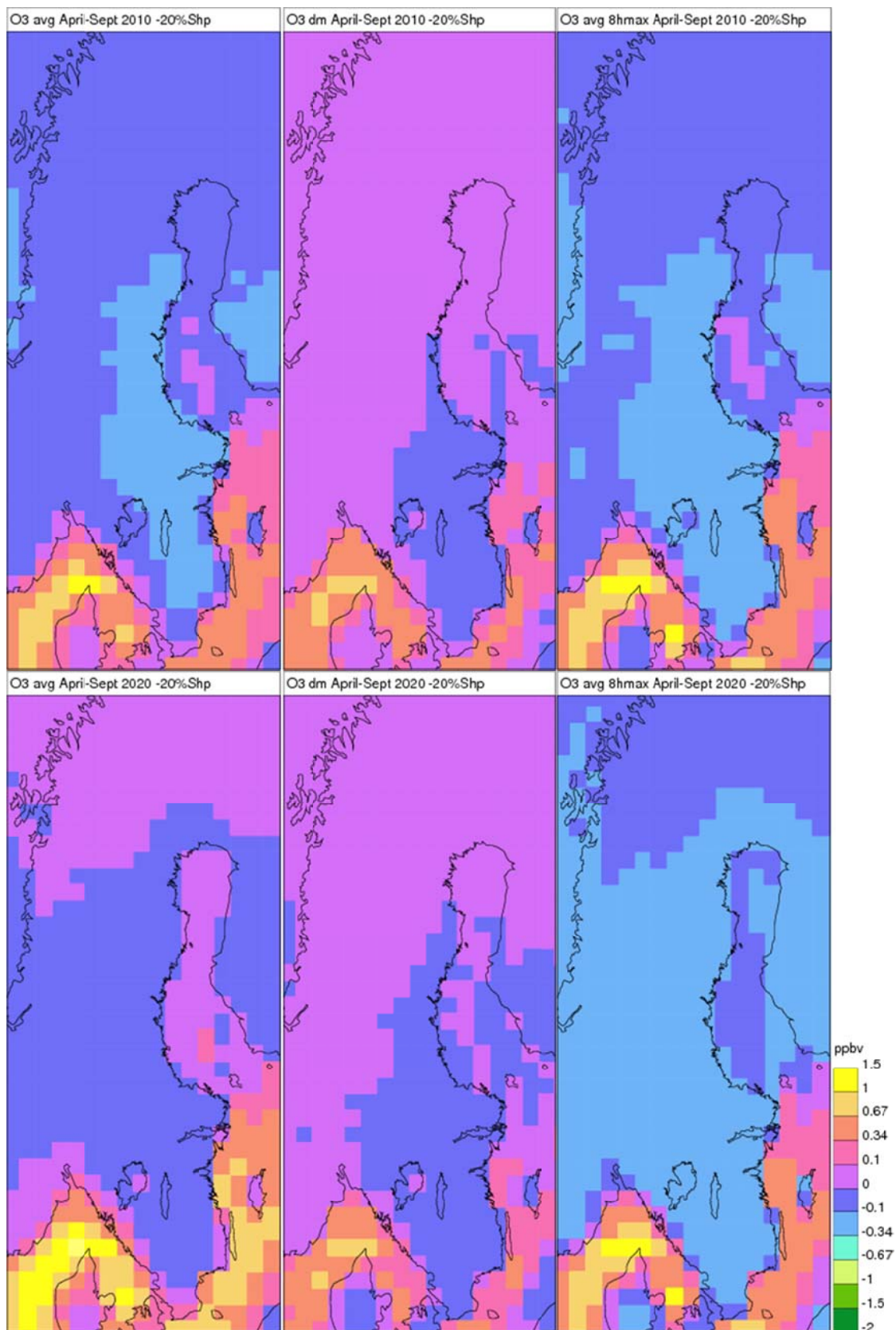
Tabell II. Beräknad årsdeposition av svavel i nutid samt beräknad förändring till år 2020 (inom parantes), angivet som medelvärde länsvis samt Sverige som helhet. Årsdepositionen är beräknad som ett medelvärde över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008) och är angiven i torr- respektive våtdeposition. Torrdepositionen är uppdelad i olika typer markanvändning. Enhet: mg S m<sup>-2</sup>.

Svaveldeposition (mg S m <sup>-2</sup> )										
	Torr									Våt
	Mixed	Pasture	Arable	Beech/Oak	Deciduous	Spruce/Pine	Wetland	Mountain	Water	
Stockholms län	54 (-17)	37 (-12)	36 (-12)	68 (-22)	65 (-21)	84 (-27)	46 (-16)	37 (-12)	23 (-8)	122 (-25)
Uppsala län	48 (-13)	33 (-9)	32 (-9)	60 (-17)	58 (-16)	74 (-20)	42 (-12)	33 (-9)	21 (-6)	108 (-22)
Södermanlands län	47 (-15)	33 (-10)	32 (-10)	62 (-19)	60 (-19)	76 (-23)	42 (-13)	33 (-10)	17 (-5)	120 (-27)
Östergötlands län	60 (-21)	41 (-15)	40 (-14)	75 (-27)	73 (-26)	93 (-32)	52 (-19)	41 (-15)	2 (-7)	123 (-29)
Jönköpings län	75 (-30)	45 (-18)	44 (-18)	84 (-33)	81 (-32)	105 (-41)	58 (-23)	46 (-18)	23 (-9)	150 (-38)
Kronobergs län	102 (-39)	54 (-21)	53 (-21)	102 (-39)	97 (-38)	127 (-48)	70 (-28)	56 (-22)	27 (-10)	170 (-42)
Kalmar län	96 (-42)	59 (-27)	58 (-27)	110 (-50)	106 (-48)	137 (-60)	76 (-35)	60 (-27)	34 (-16)	136 (-31)
Gotlands län	96 (-47)	91 (-46)	89 (-46)	158 (-78)	151 (-75)	195 (-94)	115 (-58)	93 (-47)	68 (-35)	129 (-27)
Blekinge län	138 (-55)	87 (-36)	85 (-36)	162 (-67)	156 (-65)	201 (-81)	114 (-47)	89 (-37)	48 (-19)	158 (-35)
Skåne län	126 (-50)	95 (-39)	93 (-38)	167 (-67)	161 (-65)	202 (-80)	120 (-49)	96 (-39)	54 (-22)	183 (-43)
Hallands län	125 (-59)	85 (-42)	83 (-41)	151 (-73)	145 (-71)	184 (-88)	108 (-54)	86 (-43)	46 (-23)	192 (-53)
Västra Götalands län	74 (-31)	53 (-23)	52 (-22)	98 (-41)	94 (-39)	119 (-49)	68 (-29)	54 (-23)	28 (-12)	148 (-39)
Värmlands län	40 (-12)	21 (-6)	21 (-6)	41 (-12)	39 (-12)	50 (-15)	27 (-8)	21 (-6)	10 (-3)	126 (-31)
Örebro län	49 (-14)	26 (-8)	26 (-8)	51 (-15)	49 (-14)	62 (-18)	34 (-10)	27 (-8)	13 (-4)	125 (-30)
Västmanlands län	54 (-12)	29 (-6)	29 (-6)	55 (-12)	53 (-11)	67 (-15)	37 (-8)	29 (-6)	15 (-3)	114 (-25)
Dalarnas län	27 (-6)	14 (-3)	14 (-3)	27 (-6)	26 (-6)	32 (-7)	17 (-4)	14 (-3)	9 (-2)	92 (-19)
Gävleborgs län	36 (-6)	21 (-3)	21 (-3)	38 (-6)	37 (-6)	45 (-8)	26 (-4)	21 (-3)	12 (-2)	88 (-16)
Västernorrlands län	25 (-4)	13 (-2)	13 (-2)	24 (-3)	24 (-3)	28 (-4)	16 (-2)	13 (-2)	9 (-1)	81 (-13)
Jämtlands län	18 (-3)	11 (-2)	11 (-1)	19 (-3)	19 (-3)	22 (-3)	13 (-2)	11 (-2)	9 (-1)	75 (-11)
Västerbottens län	23 (-2)	15 (-1)	15 (-1)	26 (-2)	25 (-2)	29 (-2)	18 (-1)	14 (-1)	11 (-1)	73 (-10)
Norrbottnens län	14 (-1)	9 (-1)	9 (-1)	16 (-1)	16 (-1)	19 (-1)	11 (-1)	9 (-1)	8 (0)	70 (-7)
Sverige	39 (-11)	25 (-8)	24 (-7)	45 (-14)	43 (-13)	54 (-16)	31 (-10)	25 (-8)	15 (-4)	98 (-19)



Tabell III. Beräknad årsdeposition av kväve i nutid samt beräknad förändring till år 2020<sup>0</sup> (inom parantes), angivet som medelvärde för respektive län. Årsdepositionen är beräknad som ett medelvärde över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008) och är angiven i torr- respektive våtdeposition. Torrdepositionen är uppdelad i olika typer markanvändning. Enhet: mg N m<sup>-2</sup>.

Kvävedeposition (mg N m <sup>-2</sup> )										
	Torr									Våt
	Mixed	Pasture	Arable	Beech/Oak	Deciduous	Spruce/ Pine	Wetland	Mountain	Water	
Stockholms län	132 (-24)	109 (-23)	112 (-24)	178 (-32)	175 (-32)	206 (-35)	126 (-25)	106 (-22)	37 (-5)	270 (-42)
Uppsala län	100 (-15)	81 (-13)	83 (-13)	137 (-20)	135 (-20)	161 (-23)	93 (-15)	78 (-13)	29 (-3)	236 (-37)
Södermanlands län	164 (-33)	135 (-32)	139 (-34)	216 (-44)	212 (-44)	246 (-47)	157 (-36)	130 (-31)	42 (-6)	292 (-46)
Östergötlands län	184 (-27)	140 (-23)	143 (-24)	236 (-35)	231 (-34)	274 (-39)	165 (-26)	136 (-22)	50 (-5)	319 (-47)
Jönköpings län	214 (-28)	145 (-21)	149 (-22)	250 (-33)	245 (-33)	292 (-38)	172 (-24)	142 (-20)	53 (-5)	421 (-61)
Kronobergs län	229 (-29)	137 (-19)	141 (-20)	238 (-31)	234 (-31)	281 (-36)	162 (-21)	134 (-19)	50 (-5)	478 (-71)
Kalmar län	190 (-22)	136 (-15)	140 (-15)	231 (-26)	227 (-25)	270 (-30)	160 (-17)	133 (-15)	49 (-4)	349 (-50)
Gotlands län	133 (-11)	179 (-13)	183 (-12)	295 (-25)	288 (-24)	350 (-32)	210 (-15)	174 (-13)	73 (-5)	292 (-42)
Blekinge län	262 (-29)	188 (-21)	194 (-21)	321 (-35)	314 (-35)	375 (-41)	223 (-23)	183 (-20)	75 (-6)	457 (-66)
Skåne län	318 (-38)	261 (-33)	269 (-34)	433 (-51)	425 (-50)	499 (-57)	310 (-36)	254 (-31)	102 (-8)	578 (-83)
Hallands län	267 (-34)	206 (-29)	214 (-30)	338 (-44)	332 (-43)	386 (-48)	242 (-32)	199 (-27)	70 (-6)	574 (-86)
Västra Götalands län	183 (-23)	152 (-21)	156 (-22)	257 (-33)	252 (-33)	297 (-37)	180 (-24)	148 (-20)	54 (-5)	418 (-62)
Värmlands län	101 (-14)	58 (-9)	60 (-9)	105 (-15)	103 (-15)	124 (-17)	67 (-10)	57 (-9)	20 (-2)	295 (-46)
Örebro län	139 (-22)	86 (-16)	88 (-16)	149 (-24)	146 (-24)	174 (-27)	100 (-17)	83 (-15)	29 (-3)	306 (-48)
Västmanlands län	133 (-21)	82 (-16)	85 (-16)	141 (-23)	138 (-23)	164 (-26)	96 (-17)	80 (-15)	27 (-3)	266 (-42)
Dalarnas län	74 (-10)	40 (-6)	41 (-7)	74 (-11)	73 (-10)	87 (-12)	45 (-7)	39 (-6)	15 (-2)	183 (-29)
Gävleborgs län	79 (-11)	48 (-8)	49 (-8)	86 (-12)	84 (-12)	101 (-14)	55 (-8)	47 (-7)	18 (-2)	173 (-27)
Västernorrlands län	62 (-8)	32 (-5)	32 (-5)	60 (-8)	59 (-8)	71 (-9)	36 (-5)	31 (-4)	12 (-1)	146 (-22)
Jämtlands län	48 (-6)	28 (-4)	28 (-4)	54 (-6)	53 (-6)	64 (-7)	31 (-4)	27 (-4)	12 (-1)	119 (-17)
Västerbottens län	44 (-5)	25 (-3)	26 (-3)	49 (-6)	48 (-6)	58 (-6)	28 (-4)	25 (-3)	10 (-1)	115 (-17)
Norrbottnens län	32 (-3)	19 (-2)	20 (-2)	38 (-4)	38 (-4)	46 (-5)	21 (-3)	19 (-2)	8 (-1)	90 (-12)
Sverige	93 (-12)	64 (-9)	66 (-10)	112 (-15)	110 (-14)	131 (-17)	74 (-10)	62 (-9)	24 (-2)	208 (-31)



Figur 1. Effekten av 20% minskning av internationella sjöfartsemissioner på marknära ozon i nutid (övre raden) och framtid (nedre raden). Påverkan på medelozon över sommarhalvåret april-september (vänster), dygnsmax av ozon (mitten) samt medel av dygnets maximala flytande 8h-timmarsmedelozon (höger). Panelerna visar medelhalt över tre meteorologiska år (2003, 2007 och 2008) med utsläppsscenarioer för nutid (2010) och framtid (2020). Enhet: ppb(v).



## SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

### I serien METEOROLOGI har tidigare utgivits:

1985	9	Wern, L. (1985) Spridningsberäkningar för ASEA transformers i Ludvika.
1		Hagmarker, A. (1985) Satellitmeteorologi.
	10	Axelsson, G., Eklind, R. (1985) Ovädret på Östersjön 23 juli 1985.
2		Fredriksson, U., Persson, Ch., Laurin, S. (1985) Helsingborgsluft.
	11	Laurin, S., Bringfelt, B. (1985) Spridningsmodell för kväveoxider i gatumiljö.
3		Persson, Ch., Wern, L. (1985) Spridnings- och depositionsberäkningar för avfallsförbränningsanläggningar i Sofielund och Högdalen.
	12	Persson, Ch., Wern, L. (1985) Spridnings- och depositionsberäkningar för avfallsförbränningsanläggning i Sofielund.
4		Kindell, S. (1985) Spridningsberäkningar för SUPRAs anläggningar i Köping.
	13	Persson, Ch., Wern, L. (1985) Spridnings- och depositionsberäkningar för avfallsförbränningsanläggning i Högdalen.
5		Andersson, C., Kwick, T. (1985) Vindmätningar på tre platser på Gotland. Utvärdering nr 1.
	14	Vedin, H., Andersson, C. (1985) Extrema köldperioder i Stockholm.
6		Kindell, S. (1985) Spridningsberäkningar för Ericsson, Ingelstafabriken.
	15	Krieg, R., Omstedt, G. (1985) Spridningsberäkningar för Volvos planerade bilfabrik i Uddevalla.
7		Fredriksson, U. (1985) Spridningsberäkningar för olika plymlyft vid avfallsvärmeverket Sävenäs.
	16	Kindell, S. Wern, L. (1985) Luftvårdsstudie avseende industrikombinatet i Nynäshamn (koncentrations- och luktberäkningar).
8		Fredriksson, U., Persson, Ch. (1985) NO <sub>x</sub> - och NO <sub>2</sub> -beräkningar vid Vasaterminalen i Stockholm.
	17	Laurin, S., Persson, Ch. (1985) Beräknad formaldehydspridning och

- deposition från SWEDSPANs spånskivefabrik.
- 18 Persson, Ch., Wern, L. (1985)  
Luftvårdsstudie avseende industri-kombinatet i Nynäshamn – depositionsberäkningar av koldamm.
- 19 Fredriksson, U. (1985)  
Luktberäkningar för Bofors Plast i Ljungby, II.
- 20 Wern, L., Omstedt, G. (1985)  
Spridningsberäkningar för Volvos planerade bilfabrik i Uddevalla - energicentralen.
- 21 Krieg, R., Omstedt, G. (1985)  
Spridningsberäkningar för Volvos planerade bilfabrik i Uddevalla - kompletterande beräkningar för fabrikena.
- 22 Karlsson, K.-G. (1985)  
Information från Meteosat - forskningsrön och operationell tillämpning.
- 23 Fredriksson, U. (1985)  
Spridningsberäkningar för AB Åkerlund & Rausings fabrik i Lund.
- 24 Färnlöf, S. (1985)  
Radarmeteorologi.
- 25 Ahlström, B., Salomonsson, G. (1985)  
Resultat av 5-dygnsprognos till ledning för isbrytarverksamhet vintern 1984-85.
- 26 Wern, L. (1985)  
Avesta stadsmodell.
- 27 Hultberg, H. (1985)  
Statistisk prognos av ytemperatur.
- 1986
- 1 Krieg, R., Johansson, L., Andersson, C. (1986)  
Vindmätningar i höga master, kvartalsrapport 3/1985.
- 2 Olsson, L.-E., Kindell, S. (1986)  
Air pollution impact assessment for the SABAH timber, pulp and paper complex.
- 3 Ivarsson, K.-I. (1986)  
Resultat av byggväderprognoser - säsongen 1984/85.
- 4 Persson, Ch., Robertson, L. (1986)  
Spridnings- och depositionsberäkningar för en sopförbränningsanläggning i Skövde.
- 5 Laurin, S. (1986)  
Bilavgaser vid intagsplan - Eskilstuna.
- 6 Robertson, L. (1986)  
Koncentrations- och depositionsberäkningar för en sopförbränningsanläggning vid Ryaverken i Borås.
- 7 Laurin, S. (1986)  
Luften i Avesta - föroreningsbidrag från trafiken.
- 8 Robertson, L., Ring, S. (1986)  
Spridningsberäkningar för bromcyan.
- 9 Wern, L. (1986)  
Extrema byvindar i Orrefors.
- 10 Robertson, L. (1986)  
Koncentrations- och depositionsberäkningar för Halmstads avfallsförbränningsanläggning vid Kristinehed.
- 11 Törnevik, H., Ugnell (1986)  
Belastningsprognoser.
- 12 Joelsson, R. (1986)  
Något om användningen av numeriska prognoser på SMHI (i princip rapporten till ECMWF).
- 13 Krieg, R., Andersson, C. (1986)  
Vindmätningar i höga master, kvartalsrapport 4/1985.
- 14 Dahlgren, L. (1986)  
Solmätning vid SMHI.
- 15 Wern, L. (1986)  
Spridningsberäkningar för ett kraftvärmeverk i Sundbyberg.

- 16 Kindell, S. (1986)  
Spridningsberäkningar för Uddevallas fjärrvärmecentral i Hovhult.
- 17 Häggkvist, K., Persson, Ch., Robertson, L (1986)  
Spridningsberäkningar rörande gasutsläpp från ett antal källor inom SSAB Luleå-verken.
- 18 Krieg, R., Wern, L. (1986)  
En klimatstudie för Arlanda stad.
- 19 Vedin, H. (1986)  
Extrem arealnederbörd i Sverige.
- 20 Wern, L. (1986)  
Spridningsberäkningar för lösningsmedel i Tibro.
- 21 Krieg, R., Andersson, C. (1986)  
Vindmätningar i höga master - kvartalsrapport 1/1986.
- 22 Kwick, T. (1986)  
Beräkning av vindenergitillgången på några platser i Halland och Bohuslän.
- 23 Krieg, R., Andersson, C. (1986)  
Vindmätningar i höga master - kvartalsrapport 2/1986.
- 24 Persson, Ch. (SMHI), Rodhe, H. (MISU), De Geer, L.-E. (FOA) (1986)  
Tjernobylyckan - En meteorologisk analys av hur radioaktivitet spreds till Sverige.
- 25 Fredriksson, U. (1986)  
Spridningsberäkningar för Spendrups bryggeri, Grängesberg.
- 26 Krieg, R. (1986)  
Beräkningar av vindenergitillgången på några platser i Skåne.
- 27 Wern, L., Ring, S. (1986)  
Spridningsberäkningar, SSAB.
- 28 Wern, L., Ring, S. (1986)  
Spridningsberäkningar för ny ugn, SSAB II.
- 29 Wern, L. (1986)  
Spridningsberäkningar för Volvo Hallsbergverken.
- 30 Fredriksson, U. (1986)  
SO<sub>2</sub>-halter från Hammarbyverket kring ny arena vid Johanneshov.
- 31 Persson, Ch., Robertson, L., Häggkvist, K. (1986)  
Spridningsberäkningar, SSAB - Luleå-verken.
- 32 Kindell, S., Ring, S. (1986)  
Spridningsberäkningar för SAABs planerade bilfabrik i Malmö.
- 33 Wern, L. (1986)  
Spridningsberäkningar för svavelsyrafabrik i Falun.
- 34 Wern, L., Ring, S. (1986)  
Spridningsberäkningar för Västhamnsverket HKV1 i Helsingborg.
- 35 Persson, Ch., Wern, L. (1986)  
Beräkningar av svaveldepositionen i Stockholmsområdet.
- 36 Joelsson, R. (1986)  
USAs månadsprognoser.
- 37 Vakant nr.
- 38 Krieg, R., Andersson, C. (1986)  
Utemiljön vid Kvarnberget, Lysekil.
- 39 Häggkvist, K. (1986)  
Spridningsberäkningar av freon 22 från Ropstens värmepumpverk.
- 40 Fredriksson, U. (1986)  
Vindklassificering av en plats på Hemsön.
- 41 Nilsson, S. (1986)  
Utvärdering av sommarens (1986) använda konvektionsprognoshjälpmedel.
- 42 Krieg, R., Kwick, T. (1986)  
Vindmätningar i höga master.

- 43 Krieg, R., Fredriksson, U. (1986)  
Vindarna över Sverige.
- 44 Robertson, L. (1986)  
Spridningsberäkningar rörande gasutsläpp vid ScanDust i Landskrona - bestämning av cyanvätehalter.
- 45 Kvick, T., Krieg, R., Robertson, L. (1986)  
Vindförhållandena i Sveriges kust- och havsband, rapport nr 2.
- 46 Fredriksson, U. (1986)  
Spridningsberäkningar för en planerad panncentral vid Lindsdal utanför Kalmar.
- 47 Fredriksson, U. (1986)  
Spridningsberäkningar för Volvo BMs fabrik i Landskrona.
- 48 Fredriksson, U. (1986)  
Spridningsberäkningar för ELMO-CALFs fabrik i Svenljunga.
- 49 Häggkvist, K. (1986)  
Spridningsberäkningar rörande gasutsläpp från syrgas- och bensenupplag inom SSAB Luleåverken.
- 50 Wern, L., Fredriksson, U., Ring, S. (1986)  
Spridningsberäkningar för lösningsmedel i Tidaholm.
- 51 Wern, L. (1986)  
Spridningsberäkningar för Volvo BM ABs anläggning i Braås.
- 52 Ericson, K. (1986)  
Meteorological measurements performed May 15, 1984, to June, 1984, by the SMHI
- 53 Wern, L., Fredriksson, U. (1986)  
Spridningsberäkning för Kockums Plåtteknik, Ronneby.
- 54 Eriksson, B. (1986)  
Frekvensanalys av timvisa temperaturobservationer.
- 55 Wern, L., Kindell, S. (1986)  
Luktberäkningar för AB ELMO i Flen.
- 56 Robertson, L. (1986)  
Spridningsberäkningar rörande utsläpp av NO<sub>x</sub> inom Fagersta kommun.
- 57 Kindell, S. (1987)  
Luften i Nässjö.
- 58 Persson, Ch., Robertson, L. (1987)  
Spridningsberäkningar rörande gasutsläpp vid ScanDust i Landskrona - bestämning av cyanväte.
- 59 Bringfelt, B. (1987)  
Receptorbaserad partikelmodell för gatumiljömodell för en gata i Nyköping.
- 60 Robertson, L. (1987)  
Spridningsberäkningar för Varbergs kommun. Bestämning av halter av SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> samt några kolväten.
- 61 Vedin, H., Andersson, C. (1987)  
E 66 - Linderödsåsen - klimatförhållanden.
- 62 Wern, L., Fredriksson, U. (1987)  
Spridningsberäkningar för Kockums Plåtteknik, Ronneby. 2.
- 63 Taesler, R., Andersson, C., Wallentin, C., Krieg, R. (1987)  
Klimatkorrigering för energiförbrukningen i ett eluppvärmt villaområde.
- 64 Fredriksson, U. (1987)  
Spridningsberäkningar för AB Åretå-Trycks planerade anläggning vid Kungens Kurva.
- 65 Melgarejo, J. (1987)  
Mesoskalig modellering vid SMHI.
- 66 Häggkvist, K. (1987)  
Vindlaster på kordahus vid Alviks Strand - numeriska beräkningar.
- 67 Persson, Ch. (1987)  
Beräkning av lukt och föroreningshalter i luft runt Neste Polyester i Nol.
- 68 Fredriksson, U., Krieg, R. (1987)  
En överskalig klimatstudie för Tornby, Linköping.

- 69 Häggkvist, K. (1987)  
En numerisk modell för beräkning av vertikal momentumtransport i områden med stora råhetselement. Tillämpning på ett energiskogsområde.
- 70 Lindström, Kjell (1987)  
Weather and flying briefing aspects.
- 71 Häggkvist, K. (1987)  
En numerisk modell för beräkning av vertikal momentumtransport i områden med stora råhetselement. En koefficientbestämning.
- 72 Liljas, E. (1988)  
Förbättrad väderinformation i jordbruket - behov och möjligheter (PROFARM).
- 73 Andersson, Tage (1988)  
Isbildning på flygplan.
- 74 Andersson, Tage (1988)  
Aeronautic wind shear and turbulence. A review for forecasts.
- 75 Kållberg, P. (1988)  
Parameterisering av diabatiska processer i numeriska prognosmodeller.
- 76 Vedin, H., Eriksson, B. (1988)  
Extrem arealnederbörd i Sverige 1881 - 1988.
- 77 Eriksson, B., Carlsson, B., Dahlström, B. (1989)  
Preliminär handledning för korrektion av nederbördsmängder.
- 78 Liljas, E. (1989)  
Torv-väder. Behovsanalys med avseende på väderprognoser och produktion av bränsletorv.
- 79 Hagmarker, A. (1991)  
Satellitmeteorologi.
- 80 Lövblad, G., Persson, Ch. (1991)  
Background report on air pollution situation in the Baltic states - a prefeasibility study.  
IVL Publikation B 1038.
- 81 Alexandersson, H., Karlström, C., Larsson-McCann, S. (1991)  
Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-90. Referensnormaler.
- 82 Vedin, H., Alexandersson, H., Persson, M. (1991)  
Utnyttjande av persistens i temperatur och nederbörd för vårflödesprognoser.
- 83 Moberg, A. (1992)  
Lufttemperaturen i Stockholm 1756 - 1990. Historik, inhomogeniteter och urbaniseringseffekt.  
Naturgeografiska Institutionen, Stockholms Universitet.
- 84 Josefsson, W. (1993)  
Normalvärden för perioden 1961-90 av globalstrålning och solskenstid i Sverige.
- 85 Laurin, S., Alexandersson, H. (1994)  
Några huvuddrag i det svenska temperatur-klimatet 1961 - 1990.
- 86 Fredriksson, U. och Ståhl, S. (1994)  
En jämförelse mellan automatiska och manuella fältmätningar av temperatur och nederbörd.
- 87 Alexandersson, H., Eggertsson Karlström, C. och Laurin S. (1997).  
Några huvuddrag i det svenska nederbörds-klimatet 1961-1990.
- 88 Mattsson, J., Rummukainen, M. (1998)  
Växthuseffekten och klimatet i Norden - en översikt.
- 89 Kindbom, K., Sjöberg, K., Munthe, J., Peterson, K. (IVL) Persson, C. Roos, E., Bergström, R. (SMHI). (1998)  
Nationell miljöövervakning av luft- och nederbörds-kemi 1996.
- 90 Foltescu, V.L., Häggmark, L (1998)  
Jämförelse mellan observationer och fält med griddad klimatologisk information.
- 91 Hultgren, P., Dybbroe, A., Karlsson, K.-G. (1999)  
SCANDIA - its accuracy in classifying LOW CLOUDS



- 92 Hyvarinen, O., Karlsson, K.-G., Dybbroe, A. (1999)  
Investigations of NOAA AVHRR/3 1.6  $\mu\text{m}$  imagery for snow, cloud and sunglint discrimination (Nowcasting SAF)
- 93 Bennartz, R., Thoss, A., Dybbroe, A. and Michelson, D. B. (1999)  
Precipitation Analysis from AMSU (Nowcasting SAF)
- 94 Appelqvist, Peter och Anders Karlsson (1999)  
Nationell emissionsdatabas för utsläpp till luft - Förstudie.
- 95 Persson, Ch., Robertson L. (SMHI) Thaning, L (LFOA). (2000)  
Model for Simulation of Air and Ground Contamination Associated with Nuclear Weapons. An Emergency Preparedness Model.
- 96 Kindbom K., Svensson A., Sjöberg K., (IVL) Persson C., (SMHI) ( 2001)  
Nationell miljöövervakning av luft- och nederbörds kemi 1997, 1998 och 1999.
- 97 Diamandi, A., Dybbroe, A. (2001)  
Nowcasting SAF  
Validation of AVHRR cloud products.
- 98 Foltescu V. L., Persson Ch. (2001)  
Beräkningar av moln- och dimdeposition i Sverigemodellen - Resultat för 1997 och 1998.
- 99 Alexandersson, H. och Eggertsson Karlström, C (2001)  
Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-1990. Referensnormaler - utgåva 2.
- 100 Korpela, A., Dybbroe, A., Thoss, A. (2001)  
Nowcasting SAF - Retrieving Cloud Top Temperature and Height in Semi-transparent and Fractional Cloudiness using AVHRR.
- 101 Josefsson, W. (1989)  
Computed global radiation using interpolated, gridded cloudiness from the MESA-BETA analysis compared to measured global radiation.
- 102 Foltescu, V., Gidhagen, L., Omstedt, G. (2001)  
Nomogram för uppskattning av halter av  $\text{PM}_{10}$  och  $\text{NO}_2$
- 103 Omstedt, G., Gidhagen, L., Langner, J. (2002)  
Spridning av förbränningsemissioner från småskalig biobränsleeldning – analys av  $\text{PM}_{2.5}$  data från Lycksele med hjälp av två Gaussiska spridningsmodeller.
- 104 Alexandersson, H. (2002)  
Temperatur och nederbörd i Sverige 1860 - 2001
- 105 Persson, Ch. (2002)  
Kvaliteten hos nederbörds kemiska mätdata som utnyttjas för dataassimilation i MATCH-Sverige modellen".
- 106 Mattsson, J., Karlsson, K-G. (2002)  
CM-SAF cloud products feasibility study in the inner Arctic region  
Part I: Cloud mask studies during the 2001 Oden Arctic expedition
- 107 Kärner, O., Karlsson, K-G. (2003)  
Climate Monitoring SAF - Cloud products feasibility study in the inner Arctic region. Part II: Evaluation of the variability in radiation and cloud data
- 108 Persson, Ch., Magnusson, M. (2003)  
Kvaliteten i uppmätta nederbörds mängder inom svenska nederbörds kemiska stationsnät
- 109 Omstedt, G., Persson Ch., Skagerström, M (2003)  
Vedeldning i småhusområden
- 110 Alexandersson, H., Vedin, H. (2003)  
Dimensionerande regn för mycket små avrinningsområden
- 111 Alexandersson, H. (2003)  
Korrektion av nederbörd enligt enkel klimatologisk metodik
- 112 Joro, S., Dybbroe, A. (2004)  
Nowcasting SAF – IOP  
Validating the AVHRR Cloud Top Temperature and Height product using

weather radar data  
Visiting Scientist report

*Modellbeskrivning och slutrapport mars  
2007*

- 113 Persson, Ch., Ressner, E., Klein, T. (2004)  
Nationell miljöövervakning – MATCH-  
Sverige modellen  
Metod- och resultatsammanställning för  
åren 1999-2002 samt diskussion av  
osäkerheter, trender och miljömål
- 114 Josefsson, W. (2004)  
UV-radiation measured in Norrköping  
1983-2003.
- 115 Martin, Judit, (2004)  
Var tredje timme – Livet som  
väderobservatör
- 116 Gidhagen, L., Johansson, C., Törnquist, L.  
(2004)  
NORDIC – A database for evaluation of  
dispersion models on the local, urban and  
regional scale
- 117 Langner, J., Bergström, R., Klein, T.,  
Skagerström, M. (2004)  
Nuläge och scenarier för inverkan på  
marknära ozon av emissioner från Västra  
Götalands län – Beräkningar för 1999
- 118 Trolez, M., Tetzlaff, A., Karlsson, K-G.  
(2005)  
CM-SAF Validating the Cloud Top Height  
product using LIDAR data
- 119 Rummukainen, M. (2005)  
Växthuseffekten
- 120 Omstedt, G. (2006)  
Utvärdering av PM<sub>10</sub> mätningar i några  
olika nordiska trafikmiljöer
- 121 Alexandersson, H. (2006)  
Vindstatistik för Sverige 1961-2004
- 122 Samuelsson, P., Gollvik, S., Ullerstig, A.,  
(2006)  
The land-surface scheme of the Rossby  
Centre regional atmospheric climate model  
(RCA3)
- 123 Omstedt, G. (2007)  
VEDAIR – ett internetverktyg för  
beräkning av luftkvalitet vid småskalig  
biobränsleledning
- 124 Persson, G., Strandberg, G., Barring, L.,  
Kjellström, E. (2007)  
Beräknade temperaturförhållanden för tre  
platser i Sverige – perioderna 1961-1990  
och 2011-2040
- 125 Engart, M., Foltescu, V. (2007)  
Luftföroreningar i Europa under framtida  
klimat
- 126 Jansson, A., Josefsson, W. (2007)  
Modelling of surface global radiation and  
CIE-weighted UV-radiation for the period  
1980-2000
- 127 Johnston, S., Karlsson, K-G. (2007)  
METEOSAT 8 SEVIRI and NOAA Cloud  
Products. A Climate Monitoring SAF  
Comparison Study
- 128 Eliasson, S., Tetzlaff, A.,  
Karlsson, K-G. (2007)  
Prototyping an improved PPS cloud  
detection for the Arctic polar night
- 129 Trolez, M., Karlsson, K-G., Johnston, S.,  
Albert, P (2008)  
The impact of varying NWP background  
information on CM-SAF cloud products
- 130 Josefsson, W., Ottosson Löfvenius, M  
(2008)  
Total ozone from zenith radiance  
measurements. An empirical model  
approach
- 131 Willén, U (2008)  
Preliminary use of CM-SAF cloud and  
radiation products for evaluation of  
regional climate simulations
- 132 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
- 133 Andersson, S., Bergström, R., Omstedt,  
G., Engardt, M (2008)  
Dagens och framtidens partikelhalter i

- Sverige. Utredning av exponerings-  
minskningsmål för PM2.5 enligt nytt  
luftdirektiv
- 134 Omstedt, G., Andersson, S (2008)  
Vintervägar med eller utan dubbdäck.  
Beräkningar av emissioner och halter av  
partiklar för olika dubbdäcksscenarioer
- 135 Omstedt, G., Andersson, S., Johansson,  
Ch., Löfgren, B-E (2008)  
Luftkvalitet och småskalig biobränsle-  
eldning. Tillämpningar av SIMAIR ved för  
några kommuner
- 136 Josefsson, W., Ottosson Löfvenius, M  
(2009)  
Measurements of total ozone 2006-2008
- 137 Andersson, S., Omstedt, G (2009)  
Validering av SIMAIR mot mätningar av  
PM10, NO<sub>2</sub> och bensen.  
Utvärdering för svenska tätorter och  
trafikmiljöer avseende år 2004 och 2005
- 138 Wern, L., Barring, L (2009)  
Sveriges vindklimat 1901 – 2008  
Analys av förändring i geostrofisk vind
- 139 Wern, L., German, J (2009)  
Korttidsnederbörd i Sverige, 1995 – 2008
- 140 Omstedt, G., Andersson, S., Bergström., R  
(2010)  
Dagens och framtidens luftkvalitet i  
Sverige. Haltberäkningar av NO<sub>2</sub>, PM10  
och PM2.5 i svenska trafikmiljöer för  
framtidsscenarioer med minskade  
europeiska emissioner
- 141 Wern, L., Isaksson, L (2010)  
Åska i Sverige 2002 – 2009
- 142 Andersson, S., Omstedt, G., Robertson, L  
(2010)  
Känslighetsanalys, vidareutveckling och  
validering av SIMAIRs urbana spridnings-  
modell BUM
- 143 Wern L., (2010)  
Extrem nederbörd i Sverige  
under 1 till 30 dygn, 1880 – 2010
- 144 Omstedt, G., Andersson, S., Bennet, C.,  
Bergström, R., Gidhagen, L., Johansson,  
Ch., Persson, K (2010)  
Kartläggning av partiklar i Sverige –  
halter, källbidrag och kunskapsluckor
- 145 Engardt, M., Andersson, C., Bergström, R  
(2010)  
Modellering av Marknära Ozon  
- Regionala och högupplösta tillämpningar  
av MATCH
- 146 Omstedt, G., Forsberg, B., Nerhagen, L.,  
Gidhagen, L., Andersson, S (2011)  
**SIMAIR**scenario – ett modellverktyg för  
bedömning av luftföroreningars  
hälsoeffekter och kostnader
- 147 Andersson, C., Andersson, S., Langner, J  
och Segerström, D (2011)  
Halter och deposition av luftföroreningar -  
Förändring över Sverige från 2010 till  
2020 i bidrag från Sverige, Europa och  
Internationell Sjöfart



**SMHI**

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

ISSN 0283-7730