



**Nr C 360**  
December 2018

## Nationell luftövervakning

### Sakrapport med data från övervakning inom Programområde Luft t.o.m. 2017

Malin Fredricsson, Eva Brorström-Lundén, Helena Danielsson, Katarina Hansson, Gunilla Pihl Karlsson, Michelle Nerentorp, Annika Potter, Karin Sjöberg (IVL), Jenny Kreuger, Therese Nanos (SLU), Hans Areskoug och Radovan Krejci (ACES), Helene Alpfjord Wylde, Camilla Andersson, Sandra Andersson, Thomas Carlund, Weine Josefsson och Wing Leung (SMHI)



NATIONELL  
MILJÖÖVERVAKNING  
PÅ UPPDRAG AV  
NATURVÅRDSVERKET

**Författare:** Malin Fredricsson, Eva Brorström-Lundén, Helena Danielsson, Katarina Hansson, Gunilla Pihl Karlsson, Michelle Nerentorp, Annika Potter, Karin Sjöberg (IVL), Jenny Kreuger, Therese Nanos (SLU), Hans Areskoug och Radovan Krejci (ACES), Helene Alpfjord Wylde, Camilla Andersson, Sandra Andersson, Thomas Carlund, Weine Josefsson och Wing Leung (SMHI)

**Medel från:** Naturvårdsverket

**Rapportnummer** C 360

**ISBN** 978-91-88787-99-6

**Upplaga** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2018**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

## Förkortningar

ACTRIS	<i>Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure network</i>
CCC	<i>Chemical Co-ordinating Center, inom EMEP, lokaliserat till NILU i Norge</i>
CLRTAP	<i>Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution</i>
EMEP	<i>European Monitoring and Evaluation Programme Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe inom UNECE</i>
FMI	<i>Finska Meteorologiska Institutet</i>
GAW	<i>Global Atmosphere Watch</i>
HELCOM	<i>Helsingfors Kommissionen</i>
IM	<i>Integrerad Monitoring (delprogram inom Programområde Skog)</i>
IMM	<i>Institutet för Miljömedicin</i>
IVL	<i>IVL Svenska Miljöinstitutet AB</i>
Krondroppsnätet	<i>Ett långsiktigt mätprogram sedan 1985 där IVL, på uppdrag av Luftvårdsförbund, Länsstyrelser, Naturvårdsverket och några enskilda kommuner och företag, mäter nedfallet av bland annat svavel och kväve över öppet fält och i skogsytor i Sverige.</i>
LNKN	<i>Luft- och nederbördskemiska nätet</i>
MATCH	<i>Multi scale Atmospheric Transport and Chemistry modeling system</i>
MKN	<i>Miljökvalitetsnorm</i>
NILU	<i>Norsk Institutt for Luftforskning</i>
NV	<i>Naturvårdsverket</i>
OSPAR	<i>The Oslo and Paris Conventions for the protection of the marine environment of the North-East Atlantic</i>
SLU	<i>Sveriges lantbruksuniversitet</i>
SMED	<i>Svenska MiljöEmissionsData</i>
SMHI	<i>Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut</i>
SSM	<i>Strålsäkerhetsmyndigheten</i>
SU	<i>Stockholms universitet</i>
SWEDAC	<i>Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll</i>
UN-ECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
WOUDC	<i>The World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre</i>

# Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	6
Summary .....	14
1 Inledning .....	22
2 Försurande och övergödande ämnen i luft och nederbörd .....	25
2.1 Resultat Försurande och övergödande ämnen .....	28
2.1.1 Luft – försurande och övergödande ämnen .....	28
2.1.2 Nedfall och nederbördsmängder – försurande och övergödande ämnen .....	39
3 Partiklar i luft .....	51
3.1 Resultat Partiklar .....	52
3.1.1 PM <sub>10</sub> och PM <sub>2,5</sub> .....	52
3.1.2 Partikelbundna organiska ämnen och sot.....	55
4.1.2. PM <sub>2,5</sub> tätort .....	61
4 Marknära ozon.....	63
4.1 Resultat Marknära ozon .....	64
4.2 Resultat Volatila organiska ämnen (VOC).....	68
5 Metaller i luft och nederbörd .....	73
5.1 Resultat Metaller.....	74
5.1.1 Luft – metaller.....	74
5.1.2 Deposition – metaller .....	79
6 Organiska miljögifter i luft och nederbörd .....	85
6.1 Resultat Organiska miljögifter .....	86
6.1.1 Organiska miljögifter i luft och deposition.....	86
6.1.2 Pesticider (reglerade inom internationella konventioner och EU-direktiv).....	94
6.1.3 Bromerade flamskyddsmedel .....	101
6.1.4 ”Nya” flamskyddsmedel.....	104
6.1.5 Per- och polyfluorerade ämnen (PFAS).....	105
6.1.6 Polyklorerade dibensodioxiner och furaner (PCDD/PCDF) .....	108
6.1.7 Klorparaffiner.....	109
6.2 Uppskattad årlig deposition .....	112
7 Pesticider i luft och nederbörd .....	113
7.1 Resultat Pesticider i luft och nederbörd.....	114
8 Ozonskiktets tjocklek .....	122
8.1 Resultat Stratosfäriskt ozon .....	123
9 Mätningar på Svalbard.....	126

9.1	Aerosolens storleksfördelning i Arktis 2000-2017 .....	126
<b>10</b>	<b>Modellresultat .....</b>	<b>131</b>
10.1	Årlig kartläggning med MATCH - Sverigesystemet .....	131
10.1.1	Meteorologiska år .....	132
10.2	Modellerade halter i luft .....	134
10.2.1	Modellerade halter i luft av svavel och kväve.....	134
10.2.2	Modellerade halter av marknära ozon .....	138
10.3	Modellerad deposition .....	141
10.3.1	Modellerad deposition av svavel och kväve .....	141
10.3.2	Modellerad deposition av baskatjoner .....	146
<b>11</b>	<b>Delprogram STRÅNG UV-indikator .....</b>	<b>149</b>
11.1	Resultat .....	150
11.1.1	Kartläggning av solstrålning via STRÅNG .....	150
<b>5.</b>	<b>Tack.....</b>	<b>155</b>
<b>12</b>	<b>Referenser.....</b>	<b>156</b>
<b>Bilaga I</b>	<b>Metoder och kvalitetssäkring .....</b>	<b>159</b>
	Mätningar .....	159
	Metodik 159	
	Kvalitetssäkringsrutiner .....	159
	Modellberäkningar .....	160
	Metodik 160	
	Kvalitetssäkringsrutiner .....	161
	Datalagring.....	162
<b>Bilaga II</b>	<b>Beskrivning av mätprogram för metaller, organiska miljögifter och pesticider .....</b>	<b>144</b>
	Tungmetaller inom EMEP .....	144
	Organiska miljögifter.....	145
	Växtskyddsmedel (pesticider) i luft och nederbörd .....	147
<b>Bilaga III</b>	<b>Beskrivning av modellberäkningar .....</b>	<b>153</b>
	Årlig kartläggning med MATCH-Sverigesystemet .....	153
<b>Bilaga IV</b>	<b>Mätstationsindelning för utvärdering av lufthalter .....</b>	<b>146</b>
<b>Bilaga V</b>	<b>Statistisk analys för nedfallsmätningar.....</b>	<b>147</b>

# Sammanfattning

Naturvårdsverket, Luftenheten, ansvarar för den nationella luftövervakningen i bakgrundsmiljö. I rapporten redovisas resultat från verksamheten inom Programområde Luft avseende mätningar (genomförda av IVL, SU, SLU och SMHI) till och med 2017 och regionala modellberäkningar (utförda av SMHI) till och med 2016. Den 1 januari 2016 flyttades verksamheten vid EMEP-mätstationen Vavihill, på Söderåsen i Skåne, till Hallahus, 1 km norr om den tidigare mätplatsen.

För flertalet av de luftföroreningskomponenter som övervakas inom den nationella miljöövervakningen har det, sedan mätningarna startade för mellan 15 och 35 år sedan, generell skett en avsevärd förbättring avseende såväl halter i luft som deposition i bakgrundsmiljö. Utvecklingen har dock varierat i något olika utsträckning beroende på komponenter och lokalisering i landet. Föroreningsbelastningen är oftast lägre ju längre norrut i landet man kommer.

För de flesta ämnen som det finns miljö kvalitetsnormer (MKN) respektive miljömål för ligger halterna avsevärt lägre än angivna gräns- och målvärden. Halterna av ozon överskrider i dagsläget MKN för hälsa. För såväl marknära ozon, partiklar (i form av PM<sub>2.5</sub>) och bensen (i urban bakgrund) finns risk för halt nivåer som överstiger miljömålets preciseringar.

## Försurande och övergödande ämnen

Den luftföroreningsrelaterade belastningen på miljön har under de senaste årtiondena minskat kraftigt till följd av internationella överenskommelser om att begränsa utsläppen av bland annat svavel- och kväveoxider samt av strukturella förändringar inom industrin.

## Luft

En jämförelse mellan uppmätta halter i luft av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) på 1980-talet och 2010-talet visar att den årliga medelhalten har minskat med mellan 89- och 95 procent vid EMEP-stationerna. För sulfat (SO<sub>4</sub>) är motsvarande minskning mellan 70 procent och 80 procent. De lägsta halterna av SO<sub>2</sub> och SO<sub>4</sub> har under hela tidsperioden uppmätts vid stationen i Bredkålen i norra Sverige och de högsta nästan alltid vid antingen Vavihill/Hallahus eller Råö/Rörvik i den södra delen av landet. Minskningen av både SO<sub>2</sub> och SO<sub>4</sub> är statistiskt signifikant.

Vid jämförelse av halterna av SO<sub>2</sub> mellan norra, sydöstra och sydvästra Sverige är det tydligt att norra Sverige för hela perioden har betydligt lägre årsmedelhalter, för 2014 dock endast marginellt lägre. Den procentuella minskningen mellan 2005 och 2017 har dock varit mindre i norra Sverige (47 procent) än i sydöstra och sydvästra Sverige (71 procent).

En jämförelse mellan uppmätta halter i luft av kvävedioxid (NO<sub>2</sub>) på 1980-talet och 2010-talet visar att de årliga medelhalterna vid EMEP-stationerna har minskat med 54 procent i södra Sverige (Vavihill/Hallahus, Rörvik/Råö och Aspvreten) och med nästan 75 procent i norra Sverige (Bredkålen).

Den skillnad som kan ses för halter i luft av SO<sub>2</sub> mellan de olika regionerna, med högre halter i söder och lägre i norr, beror till stor del på avstånd till källor för utsläpp av svavel till luft på kontinenten, trots att det även finns större punktkällor också i norra Sverige.

Årliga medelkoncentrationer av nitrat (NO<sub>3</sub>) i luft, uppmätta vid EMEP-stationerna under 1986-2017, visar en minskning på drygt 50 procent vid Vavihill/Hallahus och Aspvreten och knappt 40 procent vid Rörvik/Råö. Nitratkoncentrationen vid Bredkålen har för hela tidsperioden varit

betydligt lägre jämfört med vid övriga EMEP-stationer, men även där har koncentrationerna minskat (knappt 45 procent). Årsmedelvärdet av ammonium ( $\text{NH}_4$ ) i luft har vid EMEP-stationerna minskat med ungefär 55 - 65 procent under motsvarande tidsperiod. Den största minskningen ses vid Bredkålen i norra Sverige. Minskningen av lufthalter av alla kväveföreningar är statistiskt signifikant.

Jämförelsen mellan svenska regioner visar att halterna av  $\text{NO}_2$  för hela perioden 2005 – 2017 var högst i sydvästra Sverige och lägst i norra Sverige. Årsmedelhalterna för 2017 var 20 procent lägre för norra Sverige, 50 procent lägre för sydöstra Sverige respektive 39 procent lägre för sydvästra Sverige jämfört med 2005. Minskningen är signifikant för sydöstra Sverige och sydvästra Sverige medan ingen signifikant trend kan ses för norra Sverige.

På samma sätt som för  $\text{SO}_2$  finns en gradientskillnad över Sverige även för halter av  $\text{NO}_2$  i luft. Denna skillnad beror, även för kväve, till stor del på avstånd till källor för utsläpp till luft på kontinenten.

Halter i luft av Cl, Na, Mg, Ca och K har mätts vid EMEP-stationerna under 2009-2017. Generellt har årsmedelhalterna varit högst vid Råö och lägst vid Bredkålen. De höga koncentrationerna av speciellt klorid, natrium och magnesium vid Råö beror på att stationen är belägen nära havet på västkusten.

Modellering av regionala lufthalter utförs med MATCH Sverigesystemet genom att kombinera observationer och modelldata till en nationell kartläggning, där mätningar respektive modeller kompletterar varandra i syfte att uppnå ett förbättrat kunskapsläge. Med hjälp av modellering kan föroreningshalterna i Sverige dessutom delas upp i halter orsakade av svenska emissioner och halter orsakade av emissioner utanför Sverige.

Modelleringen visar att för reducerat kväve ( $\text{NH}_x$ , ammonium + ammoniak) i luft varierade årsmedel av totalhalten av  $\text{NH}_x$  för 2016 mellan som högst  $1,29 \mu\text{g N/m}^3$  i söder och som lägst  $0,003 \mu\text{g N/m}^3$  i nordligaste Sverige. För kvävedioxid varierade årsmedelhalten mellan som lägst 0,06 i Norrlands inland och som högst i södra Sverige och Stockholmsregionen, med maxvärde  $2,34 \mu\text{g N/m}^3$ . Koncentrationen av svaveldioxid år 2016 varierade mellan 0,03 och  $0,84 \mu\text{g S/m}^3$ . Under 2016 orsakade de svenska emissionerna i genomsnitt 58 procent av totalhalterna för  $\text{SO}_2$  över svenska landområden. Motsvarande siffra för  $\text{NO}_2$  och reducerat kväve beräknas till 62 procent respektive 63 procent.

### *Nederbörd och deposition*

Vätdepositionen av svavel var generellt låg under både 2016 och 2017. Det finns en gradient över landet, med högst nedfall i sydväst och lägst i norr. Speciellt lågt var svavelnedfallet i fjällområdena i nordväst. Gradienten beror dels på närheten till de stora källorna för luftföroreningsutsläpp på kontinenten, dels på att nederbördsmängderna är högst i sydväst och avtar mot nordost. Dock kan svavelnedfallet vara relativt högt vid Norrlandskusten på grund av utsläpp från de industrier som finns där. Det högsta svavelnedfallet med nederbörden (utan havssaltsbidrag) som uppmättes under 2016 var 2,3 kilo per hektar i Halland. Motsvarande siffra för 2017 var 3,4 kilo per hektar, vilket också uppmättes i Halland. Om man även räknar med torrdepositionen, uppmättes det totala svavelnedfallet (utan havssaltsbidrag) under 2016 som högst till 3,6 kilo per hektar i Skåne, vilket kan jämföras med de 2,3 kilo svavel per hektar som uppmättes med nederbörden i Halland samma år. Mätningar av den totala depositionen av svavel sker inom Krondroppsnetet via mätningar av krondropp.

Även för kvävenedfallet syns en tydlig depositionsgradient, med högre nedfall i sydväst och lägre mot norr. Liksom för svavel beror gradienten dels på närheten till de stora källorna för luftföroreningsutsläpp på kontinenten, dels på att nederbördsmängderna är högst i sydväst och avtar mot nordost. Även våtdepositionen av oorganiskt kväve var låg under de båda åren 2016 och 2017. Högst oorganiskt kvävenedfall med nederbörden uppmättes i sydligaste Skåne och Halland, där nedfallet var strax över 10 kilo per hektar under bägge åren. Detta kan jämföras med 2014, då det högsta kvävenedfallet med nederbörden var det dubbla, 20,5 kg/ha i Skåne. Om man även räknar med torrdepositionen så var det totala kvävenedfallet under 2016 som högst strax över 15 kilo per hektar att jämföra med 10,2 kilo kväve per hektar som uppmättes som främst våtdeposition. Torrdepositionen av kväve till granskog kan i södra Sverige utgöra 30-50 procent av den totala depositionen. Det totala nedfallet av kväve mäts och beräknas med hjälp av mätningar inom Krondroppsnetet med strängprovtagare och bulkprovtagare som sker på öppet fält tillsammans med närliggande mätningarna av krondropp.

En statistisk trendanalys för nedfall med nederbörden (våtdepositionen) har genomförts för perioden 2000-2017, uppdelat på tre olika områden i Sverige (norra, sydöstra och sydvästra). De lokaler som ingått i analysen i de olika områdena är de lokaler som har full datatäckning under samtliga år. Ingen representativitetsaspekt för vilka lokaler som representerar de olika områdena har ingått i analysen. När det gäller nederbörsmängderna syns ingen statistiskt säkerställd trend i något av de tre analyserade områdena (norra, sydöstra eller sydvästra Sverige). Våtdepositionen av svavel har minskat med 57-70 procent för alla tre områdena i Sverige. Mest har svaveldepositionen minskat i sydvästra Sverige och minst i norra Sverige, där belastningen varit som lägst. Vätejondepositionen, som kan användas som ett mått på den försurande belastningen, har även den minskat i samtliga områden. Ingen statistiskt signifikant förändring har erhållits för kloridnedfallet med nederbörden i något område sedan år 2000.

Våtdepositionen av oorganiskt kväve (nitrat + ammoniumkväve) har under perioden 2000-2017 minskat signifikant i alla tre områdena i Sverige. I norra Sverige var minskningen 37 procent, i sydvästra Sverige 32 procent och i sydöstra Sverige 40 procent. För enbart ammoniumkväve minskade nedfallet med nederbörden statistiskt säkerställt i sydöstra och norra Sverige medan nedfallet av nitratkväve minskade statistiskt säkerställt i alla tre områdena.

Modelleringen visar att största depositionen av reducerat kväve sker i södra Sverige och minst deponeras i norra Norrlands inland. En viss ökning av totaldepositionen ses för 2016 jämfört med 2015 i Stockholmsområdet och Norrlands inland. Det svenska bidraget beräknades vara markant högre i södra Sverige och längst Norrlandskusten under 2016 än 2015. Till exempel varierade totaldepositionen över Sverige mellan 20 och 510 mg N/m<sup>2</sup> (0,2 och 5,1 kg N/ha) under 2016. Liknande mönster syns för oxiderat kväve, och för 2016 varierade totaldepositionen mellan 20 och 630 mg N/m<sup>2</sup> (0,2 och 6,3 kg N/ha).

Totaldepositionen av XSOX (oxiderat svavel exklusive havssalt) var något högre längs Norrlandskusten men var lägre i resten av Sverige 2016 jämfört med 2015. Det svenska bidraget visar att det är svenska emissioner som förklarar den något högre depositionen längst Norrlandskusten under 2016. Totaldepositionen av svavel utan havssalt varierade mellan 30 och 520 mg S/m<sup>2</sup> (0,3 och 5,2 kg S/ha) år 2016. Under 2016 orsakade de svenska emissionerna i genomsnitt 15 procent av totaldepositionen för svavel (exklusive havssalt) över svenska landområden. Motsvarande siffra för oxiderat kväve och reducerat kväve var 13 procent respektive 42 %.



## Tungmetaller

Halterna av tungmetaller i luft och nederbörd är, med viss reservation för kvicksilver, lägre i Sverige än i många andra jämförbara EU-länder, främst till följd av vår nordliga position och våra förhållandevis låga inhemska emissioner. Eftersom kvicksilver huvudsakligen uppträder som en gas, med lång uppehållstid i atmosfären, har metallen ett delvis annorlunda spridningsmönster än övriga tungmetaller. Numera är halterna av kvicksilver i luft och nederbörd i södra Sverige och i stora delar av Europa ungefär lika höga.

Generellt var årsmedelhalterna av tungmetaller, inklusive partikulärt kvicksilver, högre vid Råö och Aspvreten jämfört med de nordligare stationerna Bredkålen och Pallas. Förhöjda halter i luft beror främst på långväga lufttransport från Europa. Vissa metaller, förknippade med förbränning av fossila bränslen, visar en säsongsvariation med högre halter på vintern. Årsmedelvärden av bly, nickel, kadmium och arsenik i luft i södra Sverige är som högst en faktor 10 gånger lägre än de tröskelvärden som anges i EU:s direktiv om halter i luft (2004/107/EG; 2008/50/EG). Generellt visar trender att depositionen av de flesta tungmetaller på många stationer minskar.

## Organiska miljögifter

PAH-halterna i luft har inte visat någon tydlig minskning sedan starten av mätningarna. Detta har också visats genom trendanalys för Råö och Pallas. Halterna av PCB och klorerade pesticider i bakgrundsluft har generellt minskat på samtliga stationer sedan mätningarna startade 1996. De senaste åren har dock ingen minskning observerats med halter på ungefär samma nivåer.

Under perioden 2009 till 2017 har halterna av PAH, PCB och DDT i luft och deposition varit högre i södra Sverige jämfört med i norra Finland (Pallas). Lufthalterna av  $\alpha$ -HCH och klordaner har inte visat någon geografisk skillnad, vilket också gäller för depositionen. Halterna av  $\alpha$ -HCH i luft vid Pallas är i samma storleksordning som mätt i arktiska områden.

Endosulfan ( $\alpha$ -,  $\beta$ -endosulfan, endosulfan-sulfat) förekommer i samtliga luft- och depositionsprover från både Råö och Pallas. Vid Råö detekterades en årstidsvariation med högre deposition på sommaren.

Pesticiderna aldrin och heptaklor, vilka mäts vid Råö i södra Sverige, har endast kunnat detekteras i enstaka luft- och depositionsprover. Dieldrin som började mätas vid Råö 2016 detekterades mer frekvent i luft, men har inte detekterats i depositionsprover.

Sedan starten av mätningarna har halterna av BDE (47, 99, 100) i luft och deposition generellt minskat vid samtliga stationer. Dock förekommer en mellanårsvariation. BDE 85, 153, 154, 209 och HBCDD har endast detekterats vid enstaka tillfällen.

Mätningarna av PFAS i luft och nederbörd startade 2009 vid Råö. Ingen trend observerades för PFAS i luft, dock var halterna av PFOS och PFOA i deposition lägre under de senaste åren. Programmet utökades i juli 2017 med fler ämnen och stationer. Resultaten visar en geografisk skillnad med högre lufthalter vid Råö jämfört med vid Pallas.

Under 2009-2017 uppmättes vid de flesta tillfällen högre halter dioxiner/furaner i luften på svenska västkusten (Råö) jämfört med östkusten (Aspvreten). Halterna av klorparaffiner (SCCP och MCCP) i luft var tvärtom oftast högre vid Aspvreten. Klorparaffiner i deposition var dock högre vid Råö.

Dessa mätningar, vars syfte är följa upp halter av organiska miljögifter i luft och deposition, visar att åtgärder som användningsförbud medför att halter i luft och deposition långsiktigt minskar. PCB förekommer dock fortfarande i bakgrundsluft trots att användningen för länge sedan stoppats. Minskningen av PCB-halterna går långsamt, vilket visar att det i samhället och i ekosystem skett en upplagring av PCB. Vad gäller t.ex. PBDE syns en tydlig nedgång av halterna, vilket är en effekt av att de förbjudits inom EU.

### Växtskyddsmedel (pesticider)

Högre halter och fler substanser av växtskyddsmedel påträffades i nederbörd från Vavihill/Hallahus i sydligaste Sverige jämfört med nederbörd från Aspvreten/Norunda som ligger längre åt nordost (Mälardalen). Skillnaden mellan lokalerna beror på att Vavihill/Hallahus ligger betydligt närmare stora jordbruksområden, både i Sverige och på kontinenten, jämfört med Aspvreten/Norunda. För båda platserna gällde att knappt hälften av de substanser som oftast påträffades i nederbörden inte har varit godkända för användning i Sverige under de åren undersökningen pågick. Den samlade depositionen av pesticider vid Vavihill/Hallahus har i medeltal varierat mellan 100 och 650 mg/ha, mån (10-65 µg/m<sup>2</sup>, mån). Vid Aspvreten/Norunda ligger depositionen ca en tiopotens lägre. I luftprov från Vavihill/Hallahus påträffas i stor utsträckning samma substanser som i nederbördsproven. Inom ett tidigare specialprojekt undersöktes om det finns bekämpningsmedel som huvudsakligen transporteras i luften bundna till partiklar. Resultaten visar att en betydande andel av de substanser som idag är tillåtna för användning, både inom Sverige och EU, kunde detekteras i filtret snarare än i adsorbenten som normalt analyseras. Projektet visar att det framöver vore angeläget att inkludera analyser även av filtermaterialet inom den löpande luftövervakningen för pesticider. Detta har resulterat i att filteranalyser numera ingår i den ordinarie övervakningen. Ogräsmedlet prosulfokarb förekommer i både nederbörd och luft under en stor del av säsongen och är den substans som påträffas i högst halter i bägge matriserna.

### Flyktiga organiska ämnen (VOC)

Halterna för de flesta VOC: er är högst under november till mars, d.v.s. under den kallare tiden av året. Orsakerna till årstidsvariationen är sannolikt att utsläppen från olika typer av förbränning är större under den kallare tiden av året, men även att blandningsskiktet i den lägre delen av atmosfären är lägre under vintermånaderna. Ingen årstidsspecifik variation av fördelningen mellan mer eller mindre flyktiga VOC påvisades för 2009-2016, de mest volatila ämnena stod för den största andelen under alla årstider.

De uppmätta haltnivåerna indikerar att MKN för bensen och preciseringar till de nationella miljömålen, för 1,3-butadien och bensen inte överskreds.

För eten finns ett hälsobaserat nivågränsvärde på 1,2 µg/m<sup>3</sup>. Samtliga periodmedelhalter av eten 2014-2016 överskred det hälsobaserade nivågränsvärdet, vilket tydligt indikerar ett överskridande på årsbas för mätplatsen.

### Partiklar

Halten av PM<sub>10</sub> i den regionala bakgrunden är ungefär 15 µg/m<sup>3</sup> i södra Sverige (Vavihill och Råö), ungefär 8 i Mellansverige (Aspvreten och Norr Malma i Uppland) och 3 – 4 i norra Sverige (Bredkälen). Att halterna är högre i södra Sverige beror på närheten till källområdena i Centraleuropa. På Råö ger havssalt också ett betydande bidrag.

Vid Aspvreten i Mellansverige, där mätningar av PM<sub>10</sub> har pågått sedan 1990, har halten sjunkit från nästan 20 till 7 – 9 µg/m<sup>3</sup> idag. Vid Vavihill i Skåne, där mätningarna startade 2000, och Råö i Göteborgstrakten (mätstart 2007) finns ingen tydlig trend.

Halten av PM<sub>2.5</sub> i den regionala bakgrunden är 6-7 µg/m<sup>3</sup> i södra Sverige (årsmedelvärde, Vavihill), 3 – 4 i mellersta Sverige (Råö, Norr Malma och Aspvreten) och 1 -2 i norra delen av landet (Bredkålen).

PM<sub>2.5</sub> vid Aspvreten har sedan 1998 sjunkit från 11- 12 till cirka 4 µg/m<sup>3</sup> i dag. Det är framförallt under perioden 2000 – 2005 som halten sjunkit, därefter verkar minskningen avstannat. De senaste tre-fyra åren har dock halterna minskat igen. Trenden på de övriga stationerna överensstämmer väl med den på Aspvreten.

Halten av organiskt kol (OC) i PM<sub>10</sub>-fraktionen är i södra och mellersta delen av Sverige (Vavihill och Aspvreten) ungefär 1,5 µg/m<sup>3</sup> utan någon tydlig årstidsvariation. Halten av elementärt kol (EC) är cirka 0,2 – 0,5 µg/m<sup>3</sup> (månadsmedelvärden) under vintern och 0,1 – 0,2 under sommarhalvåret. Mätningar har gjorts sedan april 2008. Ingen tendens till ökande eller minskande halter av OC och EC syns under denna relativt korta tid. Inga mätningar görs i norra Sverige.

Sot har mätts med en indirekt metod som 'black smoke' (BS) på flera bakgrundsstationer sedan början av 1980-talet. Sedan dess har halten i södra Sverige minskat från 4 - 8 till strax under 1,5 µg/m<sup>3</sup> idag. I norra Sverige (Bredkålen) var halten cirka 1,5 µg/m<sup>3</sup> under 1980-talet och är under 1 µg/m<sup>3</sup> idag. Huvuddelen av minskningen skede under 1980-talet och början av 1990-talet.

En orsak till att ingen minskning kan ses därefter kan vara att halterna ofta är under mätmetodens detektionsgräns. Dessa mätningar upphörde 2016.

### Marknära ozon

Halten av ozon styrs i stor utsträckning av de meteorologiska förutsättningarna, och för medelbelastningen av ozon finns det varken någon tydlig tidsmässig trend eller någon geografisk gradient över landet. Antalet höghaltstillfällen är dock betydligt fler i södra än i norra Sverige, vilket återspeglas i såväl 8-timmarsmedelvärdet (MKN för hälsa) som AOT40 (MKN för växtlighet). Under åren 2016 och 2017 uppmättes inga timmedelhalter över informationsnivån (180 µg/m<sup>3</sup>). Däremot överskreds såväl miljömålet för timme (80 µg/m<sup>3</sup>) som MKN för 8-timmarsmedelvärdet (120 µg/m<sup>3</sup>) vid flera av mätstationerna under dessa år.

Modellerade dygnsmedelöverskridanden över 70 µg/m<sup>3</sup> av marknära ozon visar att antalet överskridanden var fler år 2016 än 2015 längst kusten i östra Svealand och sydöstra Norrland och på Gotland. Däremot var det färre dygnsöverskridanden av 70 µg/m<sup>3</sup> i nästan hela Götaland, Norrlands inland och på ostkusten år 2016. Flest överskridanden inträffade i södra Sverige, på Öland samt i Norrlands inland.

När det gäller överskridanden av 120 µg/m<sup>3</sup> som 8-timmarsmedelvärde skedde dessa främst i södra Sverige, och under 2016 också i Norrlands inland. Flest antal överskridanden skedde i Blekinge år 2016, med 11 dygn över 120 µg/m<sup>3</sup>. För 2015 skedde de flesta överskridandena i Skåne och kring Göteborg, med som mest cirka 4 dagars överskridande. Det årliga antalet överskridanden över 120 µg/m<sup>3</sup> var över perioden 1990-2013 lågt i norr (upp till 2 dygn) och högre i söder (ca 4-15 dygn). Det innebär att 2015 var ett lågt år för de högsta halterna medan 2016 var ett år med fler höga halter än normalt, men inte ett extremt år under perioden förutom i Blekinge.

Trenden är minskande i söder för överskridande av  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Att 2016 var högre än 2015 är en effekt av meteorologisk variabilitet.

Måtten AOT40c och AOT40f indikerar vegetationspåverkan på grödor respektive skog. Vegetationspåverkan var högre under 2016 än 2015, och störst påverkan var det i södra Sverige, Svealand, särskilt Stockholmsregionen, och på Gotland. AOT40 för grödor hade år 2016 ett värde som är ungefär som medel över perioden 1990-2013, medan 2015 var lägre än medelåret. Detsamma gällde för AOT40 för skog, förutom i Norrlands inland under 2016, där vegetationspåverkan på skog nådde nära maximum för perioden 1990-2013. Skillnaderna mellan åren 2015-2016 orsakades av meteorologisk variabilitet.

### Stratosfäriskt ozon

Mängden av ozon i stratosfären över Sverige varierar ofta kraftigt från dag till dag, och uppvisar även en tydlig årlig cykel. Dessa variationer beror i huvudsak på storskaliga variationer i hur luften i stratosfären rör sig men även på att kemiska reaktioner både bildar och bryter ner ozon. Överlagrat på detta finns en långsiktig trend som beror på att människans utsläpp av ozonnedbrytande ämnen har påverkat kemin. Enligt globala mätdata har ozonskiktets tjocklek stabiliserats från slutet av 1990-talet efter tidigare decennier av förtunning. En tydlig återhämtning är dock ännu inte synbar, varken vid de svenska stationerna eller i globala data, beroende på den stora naturliga variationen.

### STRÅNG

STRÅNG är en modell för beräkning av solstrålning över norra Europa. Den har varit i drift sedan 1999 och används bland annat som ett komplement till de ganska sparsamma mätningar som finns för solstrålning, för övervakning av UV-strålning och för kolbalansberäkningar i samband med klimatrapporteringsförordningen. Infallande solstrålning uppvisar stora variationer som styrs av årstid och tidpunkt på dagen genom solens position i relation till en plats. Strålningen styrs också i hög grad av atmosfärens tillstånd, framförallt av molnighet, vilket över tid ger upphov till geografiska skillnader i instrålning mellan t.ex. kustområden (hög strålning) och inland (lägre strålning). Även luftens innehåll av t.ex. ozon och luftburna partiklar, samt markytans reflektionsförmåga, har betydelse. Åren 2016 och 2017 ligger i linje med tidigare år, och uppvisar inga anmärkningsvärda avvikelser.

### Svalbard

Sedan 2000 har Sektionen för Atmosfärvetenskap vid Institutionen för Miljövetenskap och Analytisk Kemi vid Stockholms universitet, observerat aerosolens storleksfördelning på toppen av Zeppelinberget i det gamla gruvsamhället Ny Ålesund på Svalbard. Mätningarna, som kompletteras med observationer av partiklarnas ljusabsorberande och ljusspridande egenskaper samt på senare tid även partiklarnas interaktion med moln, bedrivs på 473 meters höjd och stationen är omväxlande i och utanför det marina gränsskiktet.

Aerosolens storleksfördelning är en mycket viktig parameter, och utifrån storleksfördelningens beskaffenhet kan man dra slutsatser angående aerosolens ålder, dess förmåga till direkt interaktion med kortvågig strålning (särskilt om den kemiska sammansättningen är känd) gällande både spridning av kortvågig strålning och absorption av densamma. En kännedom om aerosolens storleksfördelning är även central för aerosolens förmåga att delta i molnbildningsprocesser. Även sänkprocesser är i atmosfären starkt storleksberoende.



I en känslig miljö som Arktis är även små förändringar av strålningsbalansen av stor betydelse, förändrar vi mängden molnbildande aerosoler får vi en direkt återkoppling på atmosfärens budget för både kort- och långvågig strålning, samtidigt som den direkta spridningen av kortvågig strålning påverkas.

Mätningarna har visat att den arktiska aerosolen uppvisar en mycket distinkt årscykel, med störst antal stora partiklar under den arktiska våren, mest nyartikelbildning under sommaren följt av ett minimum i antalskoncentration runt september-oktober. Den långa tidserien har även möjliggjort en preliminär trendanalys; som årsmedel har partikelkoncentrationen i ackumuleringsmoden (dvs de partiklar som främst deltar i molnbildningsprocesser) minskat med 1 partikel per år. Detta innebär en total minskning i ackumuleringsmoden med 21 procent under tidsperioden 2000-2017. Under den mest förorenade perioden, mars-maj, har motsvarande minskning varit 34 procent. Samtidigt har antalet små partiklar ökat. Minskningen av ackumuleringsmodkoncentrationen kan med största sannolikhet kopplas till minskade antropogena emissioner vid lägre latituder, medan det ökande antalet små partiklar kan härröras till källor i Arktis, och dessa källor är sannolikt naturliga.

## Summary

The Swedish Environmental Protection Agency, the unit for Air Quality and Climate Change, is responsible for the national air quality and precipitation monitoring in rural background areas. This report presents the results from the activities within the National monitoring programme for air pollutants including measurements (performed by IVL, SU, SLU and SMHI respectively) until 2017 and modelling (performed by SMHI) until 2016. January 1, 2016 the monitoring activities at the EMEP site Vavihill, Söderåsen in Skåne, were moved to Hallahus, 1 km north of the former location.

For most of the air pollutants monitored the situation has improved significantly since the measurements started between 15 and 35 years back, regarding air concentrations as well as deposition in the rural background. The pollution load is in general decreasing the further north one goes.

For most of the components for which there are environmental quality standards and environmental objectives, the concentrations are well below the limit and target values. The concentrations of ground-level ozone exceed the air quality standard for health. For ground-level ozone, particles and benzene (in urban background air) there is a risk for concentration levels above the specifications of the environmental objectives.

### Acidifying and eutrophying substances

The concentration of pollutants in air and precipitation has during the last decades decreased significantly due to international agreements to reduce emissions of e.g. sulphur and nitrogen oxides.

#### *Air*

A comparison between the measured concentrations of sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) in air in the 1980's and in the 2010's shows that the annual average concentration has been reduced by between 89 and 95% at the EMEP sites. Annual average concentrations of sulphate (SO<sub>4</sub>) in air, measured at the EMEP sites, have fallen by between 70 and 80% from the 1980's to the 2010's. The lowest levels of SO<sub>2</sub> and SO<sub>4</sub> have been measured at the Bredkålen station in northern Sweden and the highest at either Vavihill / Hallahus or Rää / Rörvik in the southern part of Sweden. The reduction of both SO<sub>2</sub> and SO<sub>4</sub> is statistically significant.

When comparing SO<sub>2</sub> levels between the regions; northern, south-east and south-west Sweden, it is clear that northern Sweden has a significantly lower annual average for the whole period, but only marginally lower in 2014. However, the percentage decrease between 2005 and 2017 has been less in northern Sweden (47%) than in south-east and south-west Sweden (71 %).

A comparison between the measured concentrations in air of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) in the 1980's and the 2010's shows that the annual average concentrations at the EMEP sites have decreased by 54% in southern Sweden (Vavihill/Hallahus, Rörvik/Rää and Aspveten) and with almost 75% in northern Sweden (Bredkålen).

The difference in concentrations of SO<sub>2</sub> between the different regions, with higher concentrations in the south and lower in the north, are generally due to large point sources of emission of sulphur to air on the continent, although there are large point sources also in northern Sweden

Annual average concentrations of nitrate ( $\text{NO}_3$ ) in the air, measured at the EMEP sites during 1986-2017, show a reduction of more than 50% in Vavihill/Hallahus and Aspvreten and just below 40% at Rörvik / Råö. The nitrate concentration in Breckälven is for the whole time period much lower compared with the other EMEP sites, but even here the concentrations have decreased (almost 45%).

The annual average of ammonium ( $\text{NH}_4$ ) in the air has at the EMEP sites declined by approximately 55-65% during the same time period. The largest decrease can be seen at Breckälven in northern Sweden. The reduction of all nitrogen compounds in air is statistically significant.

The comparison between the Swedish regions shows that the concentrations of  $\text{NO}_2$  in air, for the entire period 2005-2017, were highest in southwestern Sweden and lowest in northern Sweden. The annual average for 2017 was 20% lower for northern Sweden, 50% lower for south-east Sweden and 39% lower for south-west Sweden compared to 2005. The decrease was significant for south-east Sweden and south-west Sweden, while no significant trend could be seen for northern Sweden.

In the same way as for  $\text{SO}_2$ , there is a gradient across Sweden also for  $\text{NO}_2$  concentrations in air, mainly depending on the distance to point sources of emissions to air on the continent.

Concentrations of Cl, Na, Mg, Ca, and K in air have been measured at the EMEP sites from 2009 to 2017. Generally the annual average concentrations have been highest at Råö and lowest at Breckälven. The high concentrations of especially chloride, sodium and magnesium at Råö are due to the fact that the station is located near the sea on the west coast.

Modelling the concentration of different substances in air is achieved by combining observations with model data in the MATCH Sweden system. Measurements and model data complement each other in order to achieve a better knowledge. With the model system, concentration levels can be divided into contributions from Swedish and foreign emission sources (long-range transport).

Modelling results (on a regional scale) show that the total yearly average concentration of reduced nitrogen (the sum of ammonium and ammonia) varied between  $1.29 \mu\text{g N}/\text{m}^3$  in the south of Sweden, and  $0.003 \mu\text{g N}/\text{m}^3$  in the most northern parts of the country in 2016. For nitrogen dioxide the highest concentrations were modelled in the larger urban areas and the concentration varied between 0.06 and  $2.34 \mu\text{g N}/\text{m}^3$ . The modelled air concentration of  $\text{SO}_2$  varied between 0.03 and  $0.84 \mu\text{g S}/\text{m}^3$  in Sweden. During 2016 the Swedish emissions were calculated to have caused on average 58% of the total concentration of  $\text{SO}_2$  over Swedish land areas. For  $\text{NO}_2$  and reduced nitrogen the equivalent percentage was estimated to 62% and 63%, respectively.

### ***Precipitation and Deposition***

Wet deposition of sulphur in Sweden was generally low in 2016 and 2017. There was a gradient across the country with the highest deposition in the Southwest and the lowest in the North, the sulphur deposition was especially in the mountain areas in the Northwest part of Sweden. The gradient is partly depending on the distance to major sources of air pollution emissions in the continent and partly because the precipitation is highest in the Southwestern part of Sweden and decreases towards the Northeast. However, sulphur deposition is relatively high at the coast in northern Sweden due to emissions from local sources. The highest wet deposition of sulphur (without sea salt) during 2016 was measured in Halland, where the deposition was 2.3 kilos per hectare. In 2017 the highest sulphur wet deposition (without sea salt) was 3.4 kilos per

hectare; and it was also measured in Halland. The highest total deposition (dry plus wet deposition) of sulphur in 2016 was 3.6 kilos per hectare and it was measured in Skåne. Total deposition of sulphur is measured by throughfall measurements within the SWETHRO Network.

Also for nitrogen deposition a clear gradient appears with higher deposition in the Southwest part of Sweden and lower deposition towards the North. As for sulphur the gradient depends of the distance to the major sources of air pollution emissions on the continent as well as that the precipitation is highest in the Southwestern part of Sweden and decreases towards the Northeast. Also the wet deposition of inorganic nitrogen was low during the two years 2016 and 2017. The highest deposition of inorganic nitrogen in precipitation was measured in southern Skåne and Halland, where the deposition was with just over 10 kilos per hectare during both years. This may be compared to 2014 where the highest nitrogen deposition by precipitation was 20.5 kg/ha in Skåne. The highest total nitrogen deposition (both dry and wet deposition) measured in 2016 was just over 15 kilos per hectare in Skåne. The dry deposition of nitrogen to pine forests in southern Sweden may be up to 30-50 percent of the total nitrogen deposition.

The total deposition of nitrogen is measured and calculated using measurements with string samplers and bulk deposition samplers together with throughfall measurements within the SWETHRO Network.

A statistical trend analysis for wet deposition has been made for the years 2000-2017. Averages for measurements separated for three different areas in Sweden (North, South-East and South-West) were used in the trend analysis. The monitoring stations included in the analysis in the different areas were the stations that have full data coverage during all years. No aspects of the stations representability in the different areas have been included in the analysis. Wet deposition of sulphur has decreased significantly by 57-70% over the period 2000-2017 for all three areas in Sweden. The largest decline of sulphur deposition was in southwestern Sweden and lowest in northern Sweden. The hydrogen ion deposition, which may be used as a measure of the acid load, has also declined in all regions since 2000. No statistically significant change was obtained for chloride deposition in any area 2000-2017.

Wet deposition of inorganic nitrogen (nitrate + ammonium nitrogen) decreased significantly during the period 2000-2017 in all three areas in Sweden. In northern Sweden the decline was 37 %, in southwestern Sweden the decline was 32 % and in southeastern Sweden 40 %. The wet deposition of ammonium nitrogen decreased statistically significant in northern and southeastern Sweden. The wet deposition of nitrate nitrogen decreased statistically significant in all three areas in Sweden during the period 2000 - 2017.

The modelling shows that the deposition of reduced nitrogen is the highest in southern parts of Sweden, and is the lowest in northern Sweden. The total deposition has increased in 2016 compared to 2015 in Stockholm region and the inland of Norrland. The Swedish contribution was significantly higher in 2016 in southern Sweden and along the coast of Norrland. The total deposition varied between 20 and 510 mg N/m<sup>2</sup> (0.2 and 5.1 kg N/ha) in 2016. Similarly, the deposition of oxidised nitrogen varied between 20 and 630 mg N/m<sup>2</sup> (0.2 and 6.3 kg N/ha).

The total deposition of oxidised sulphur (sea salt not included) was a bit higher along the Norrland's coast, other than that it was lower in the rest of Sweden in 2016 compared to 2015. The higher deposition along the Norrland's coast was mainly due to the Swedish contribution. The total deposition of sulphur without sea salt varied between 30 and 520 mgS/m<sup>2</sup> (0.3 and 5.2 kg S/ha).



In 2016 the Swedish emissions caused on average 15% of the total deposition of sulphur (sea salt not included) in Swedish land areas. The corresponding number of oxidized and reduced nitrogen was 13% and 42% respectively.

### **Heavy metals**

The levels of heavy metals in air and precipitation are, with some reservation for mercury, lower in Sweden than in many other comparable EU countries. This is mainly due to our northern position and our relatively low domestic emissions.

Since mercury in air primarily exists as a gas, having a long residence time in the atmosphere, it spreads differently than other heavy metals. Nowadays, the concentrations of mercury in air and deposition in southern Sweden are similar to levels in large parts of Europe.

The annual average concentrations of heavy metals, including particulate mercury, were generally higher at Råö and Aspvreten compared to Breckkälen and Pallas, located more north. Elevated air concentrations are mainly due to long-range air transport from sources in Europe. Some metals associated with fossil fuel combustion show a seasonal variation with higher levels in winter. Annual average values of lead, nickel, cadmium and arsenic in air in southern Sweden are as low as 10 times lower than the thresholds values specified in the EU Directives (2004/107 / EC; 2008/50 / EC). Trends indicate that the deposition of most heavy metals generally is decreasing at many stations.

### **Persistent organic substances**

PAH concentrations in air have not shown any clear decrease since the start of the measurements. This has also been demonstrated through trend analysis for Råö and Pallas. The levels of PCB and chlorinated pesticides in background air have generally decreased at all stations since the start of measurements in 1996. However, in recent years no decrease has been observed, showing leveled concentrations.

During the period 2009-2017, the levels of PAH, PCB and DDT in air and deposition were higher in southern Sweden than in northern Finland (Pallas). The air concentrations of  $\alpha$ -HCH and chlordane's showed no geographical variation, same for atmospheric deposition. The air measurements of  $\alpha$ -HCH at Pallas were at the same magnitude as measurements in Arctic areas.

Endosulfan ( $\alpha$ -,  $\beta$ -endosulfan, endosulfan sulfate) have been detected in all of the air and deposition samples from both Råö and Pallas. At Råö, a seasonal variation with higher deposition in summer was detected. The pesticides, aldrin, heptachlor, diuron, atrazine and isoproturon, which only are measured at Råö, have only been detected occasionally in air and deposition samples. Dieldrin (started 2016 at Råö) was detected more frequently in air, however, never in deposition samples.

Since the start of measurements, the levels of BDE (47, 99, 100) in air and deposition have generally decreased at all stations. However, an annual variation is detectable. BDE 85, 153, 154, 209 and HBCDD were only detected occasionally.

The measurements of PFAS in air and deposition started in 2009 at Råö. No trend was observed for PFAS in air, however, the levels of PFOS and PFOA in deposition were lower the recent years. The measurement program expanded in July 2017 to include more substances and stations. The results show a geographical variation with higher air levels at Råö compared to Pallas.

In 2009-2017, on most occasions, higher levels of dioxins / furans were measured in air on the Swedish west coast (Råö) compared to the east coast (Aspvreten). The levels of chlorinated paraffin's (SCCPs and MCCPs) in air were, on the contrary, usually higher at Aspvreten. However, deposition of chlorinated paraffin's was generally higher at Råö.

The long term monitoring program gives the possibility to follow up measures and bans. Although the use of PCBs was banned long time ago, they still occur in background air. The decrease in PCB levels is slow, which shows that the PCBs are stored in the communities and ecosystems. For example, PBDE shows a clear decline in levels, which is a consequence of the ban of these chemicals in the EU.

### **Plant protection products (pesticides)**

Higher concentrations and a larger number of different pesticides were found in precipitation collected at Vavihill/Hallahus in the very south of Sweden, compared to precipitation collected at Aspvreten/Norunda (situated just south of Stockholm). Differences in findings between the sites can be explained by the closeness of Vavihill/Hallahus to more intense agricultural areas, both in Sweden and on the European continent. A substantial portion (close to 50 %) of the pesticides occurring in precipitation is no longer applied within Sweden, high-lightening the importance of a trans-boundary transport, also of some modern pesticides. Average deposition of pesticides at Vavihill/Hallahus has varied between 100 and 650 mg/ha./month-1 (10-65  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{month}$ ). The deposition at Aspvreten/Norunda has been one tenth of that at Vavihill/Hallahus. Substances found in air samples are to a large extent the same as those found in precipitation. In an earlier project we examined whether there are pesticides that are mainly transported in air bound to particles. The results show that a significant proportion of the substances that are currently permitted for use could be detected in the filter rather than in the adsorbent normally analyzed. The project shows that it is important in the future to include analysis also of the filter material within the long-term air-monitoring program for pesticides. This resulted in filter analysis of air samples now being included in the long-term monitoring program. The herbicide prosulfocarb is detected in air and precipitation during extended periods and also detected in the highest concentrations, in both matrices.

### **Volatile organic components (VOC)**

Highest concentrations of the VOCs were measured in November to Mars, i.e. during the colder period of the year. The seasonal variations are probably due to higher emissions from combustion processes at wintertime combined with a lower mixing layer in the lower part of the atmosphere during the same period of the year. No specific seasonal variation in the distribution of the VOCs were detected in 2009-2016, the most volatile substances accounted for the largest share in all seasons.

EQS for benzene is 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  as an arithmetic annual average and it was not exceeded at any sites during 2009-2016. The Swedish Environmental Objective "Clean Air", which is intended to be achieved within one generation, has a specification of 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  as a yearly average for benzene. Average concentrations of benzene and 1,3-butadiene did not exceed.

For ethene, there is a health-based concentration limit of 1.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . All weekly averages of ethene 2014- 2016 exceed this concentration, which clearly indicates an annual exceedance for the site.

## Particles

The concentration of PM<sub>10</sub> in the regional background is about 15 µg/m<sup>3</sup> in southern Sweden (Vavihill and Råö), about 8 in central Sweden (Aspvreten and Norr Malma) and 3 - 4 in the north (Bredkålen). The higher concentrations in the south are due to the vicinity to the sources in Central Europe and, in the case of Råö on the Swedish west coast, the nearby North Sea.

At Aspvreten in central Sweden, where measurements of PM<sub>10</sub> has been going on since 1990, the level has dropped from almost 20 to 7 - 9 µg/m<sup>3</sup> today. At Vavihill in Skåne, where measurements began in 2000, and Råö in the Gothenburg area (start of measurement in 2007), there is no clear trend.

The concentration of PM<sub>2.5</sub> in the regional background is 6 - 7 µg/m<sup>3</sup> in southern Sweden (annual mean, Vavihill), 3 - 4 µg/m<sup>3</sup> in central Sweden (Råö, Norr Malma and Aspvreten) and 1 - 2 in the northern part of the country (Bredkålen).

PM<sub>2.5</sub> at Aspvreten since 1998 has fallen from 11 to 12 to about 4 µg m<sup>-3</sup> today. Most of the decrease occurred in the period 2000 – 2005, but concentrations have increased again during the last couple of years. The trends are similar at the other stations in Sweden.

The concentration of organic carbon (OC), in the PM<sub>10</sub> fraction, was approximately 1.5 µg/m<sup>3</sup> in the southern and middle part of Sweden (Vavihill and Aspvreten) with no clear seasonal variation. The monthly averages concentration of elemental carbon (EC) is about 0.2 to 0.5 µg/m<sup>3</sup> during the winter and from 0.1 to 0.2 during the summer. There is no obvious trend of OC and EC since the start of the measurements in 2008. No measurements are made in Northern Sweden.

Soot has been measured with an indirect method as 'black smoke' (BS) in several background stations since the early 1980s. Since then, the concentration in southern Sweden decreased from 4-8 to approximately 1.5 µg/m<sup>3</sup> today. In northern Sweden (Bredkålen) the concentration was approximately 1.5 in the 1980s and is below 1 µg/m<sup>3</sup> today. Most of the decrease occurred in the 1980s and early 1990s. One reason that no reduction is seen thereafter may be that the levels are often below the detection limit of the measurement method. The measurements of black smoke have now ended

## Ground-level ozone

The concentration of ground-level ozone is largely determined by the meteorological conditions, and for the average annual level of ozone there is neither a clear trend in time nor a geographical gradient over the country. The number of episodes of high concentrations of ozone, though, is significantly higher in the southern part of Sweden than in the north, both as regards the 8 hour mean value (limit value for health) and AOT40 (limit value for vegetation). During 2016 and 2017 no hourly values above the information threshold (180 µg/m<sup>3</sup>) were observed. However, the environmental goal for hourly means (80 µg/m<sup>3</sup>) as well as the limit value for the 8 hour mean (120 µg/m<sup>3</sup>) were exceeded at many of the monitoring sites during these years.

Modelled daily exceedances of 70 µg/m<sup>3</sup> of ground-level ozone show that year 2016 had more exceedances than 2015 along the coast of eastern Svealand, southeast Norrland and Gotland. However there were less exceedances of 70 µg/m<sup>3</sup> in almost the whole Götaland, Norrland's inland and the east coast in 2016. Most exceedances occurred in southern Sweden, Öland and Norrland's inland.

Daily exceedances of  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  occur most frequently in southern Sweden, and during 2016 also in the inlands of Norrland. The highest number of exceedances occurred in Blekinge in 2016, with about 11 days exceeding  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In 2015, most exceedances occurred in Skåne and around Gothenburg, with around 4 days of exceedances. The yearly number of days with exceedances of  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  over the period 1990-2013 was lower in the northern parts of Sweden (up to two days) and higher in the south (4-15 days).

This suggests that 2015 was a low year for the highest concentrations, while 2016 was a year with higher, but not extreme concentrations than normal, except for in Blekinge. The trend of the last 25 years suggests that the number of exceedances of  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  is decreasing in the south of Sweden. The concentrations were higher in 2016 than 2015 was a result of meteorological variability.

The indicator AOT40c and AOT40f indicate the vegetation impact on crops and forest respectively. AOT40c was higher during 2016 than 2015, with the largest impact in the south, Svealand, around Stockholm and Gotland. AOT40c in 2016 was close to the average of the period 1990-2013, whilst 2015 were lower than average. The same was with AOT40f except the inland of Norrland during 2016, where the vegetation impact on forest reached almost the maximum of the period 1990-2013. The differences between the years 2015-2016 were caused by meteorological variability.

### **Stratospheric ozone**

There is a large natural variation of ozone in the stratosphere from day to day and also over the year. These variations are mainly caused by large scale atmospheric transport mechanisms, but there is also a dependence on atmospheric chemistry. One of these chemically introduced factors is a long term decline of stratospheric ozone due to manmade ozone depleting substances. In global records the amount of total ozone has stabilized since the late 1990-ies after earlier decades of depletion. However, a clear recovery is not yet visible neither at the Swedish monitoring sites nor in global data due to the large natural variation caused by atmospheric dynamics.

### **STRÅNG**

STRÅNG is a model for calculations of solar radiation over the Northern Europe. It has been running since 1999 and is used among many things as a complement to the sparse measurements of solar radiation in Sweden, for surveillance of UV exposure, and for calculation of carbon budgets for the national greenhouse gas emission inventories. The amount of solar radiation that reaches the earth surface is controlled by time of year and day through the position of the sun in relation to a place on earth. Down welling radiation is also controlled to large extent by the atmospheric state, in particular by cloudiness, which over time causes geographical differences in irradiation. For instance the radiation is higher along the Swedish coasts than at the inland areas. Also the compositions of the air, where ozone and aerosol particles are important components, and the reflectivity of the surface, alter the amount of radiation. Model results for the years 2016 and 2017 are in line with previous years and do not show any large deviations.

### **Svalbard**

Since 2000 section for Atmospheric Science, Department of Applied Environmental Science and Analytical Chemistry at Stockholm University have been observing the aerosol number concentration at the top of Mt Zeppelin in the old mining community Ny Ålesund, Svalbard.



The measurements, as well as additional observation systems for monitoring light absorption and scattering, together with recent initiatives for observing aerosol cloud interactions, are performed at an altitude of 473m. The observations are due to the location of the station, reflecting both free troposphere and marine boundary layer conditions.

The aerosol size distribution is a very important parameter, and based on knowledge of the aerosol size distribution (especially if the chemical composition is known) conclusions can be drawn regarding the age of the aerosol as well as its potential to interact directly with shortwave radiation (direct absorption and scattering) in the atmosphere. Knowledge of the aerosol size distribution is further central in order to understand how the aerosol will interact with clouds. Also sink processes are strongly linked to the size distribution of the aerosol.

In a sensitive environment like the Arctic, even small changes of the radiative budget may be of great importance; if the number of cloud forming aerosols is changed, we will have a direct feedback on the budget of both shortwave and longwave radiation. At the same time, direct scattering will also be affected.

The results show that the Arctic aerosol behaves very predictably and varies over the seasons, with largest amount of large-sized particles during the spring, most new particle formation during summer and overall minimum particle concentration around September to October. The long and unique timeseries have facilitated a preliminary trend study; on an annual basis, the particle concentration in the accumulation mode has declined with on average one particle per cubic centimeter. This may seem little, but given the low overall concentration this equals a reduction of 21% during the period 2000-2017. During the most polluted period, March-May, the corresponding reduction has been 34%. At the same time, smaller particles are becoming more abundant. The reduction in accumulation mode number concentration can most probably be linked to reduced anthropogenic emissions at lower latitudes, while the higher number of small particles suggests stronger sources within the Arctic which most likely are of natural origin.

# 1 Inledning

Naturvårdsverket (NV), Luftenheten, ansvarar för den nationella luftövervakningen i bakgrundsmiljö. På uppdrag av Naturvårdsverket bedrivs mätningar av bl.a. luftens och nederbördens sammansättning, främst i bakgrundsmiljö, inom olika mät- och modelleringsprogram. IVL Svenska Miljöinstitutet har ansvar för genomförandet av merparten av mätverksamheten inom luftområdet. Därtill ombesörjer både Institutionen för Miljövetenskap och Analytisk kemi vid Stockholms universitet (SU) och Institutionen för Mark och Miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) delar av övervakningen. Även SMHI genomför övervakning inom programområdet samt årliga kartläggningar, där modellberäkningar och data från mätverksamheten integreras genom dataassimilering.

Syftet med mätningarna är främst att:

- ge underlag till bedömningar om huruvida nationella och länsvisa miljömål samt miljökvalitetsnormer uppnås;
- långsiktigt övervaka miljön för att finna storskaliga förändringar i föroreningshalterna som kräver åtgärder eller vidare forskningsinsatser;
- ge underlag vid utarbetande av lokala och regionala åtgärdsstrategier samt studera effekter av vidtagna åtgärder;
- erhålla en bild av hur lufthalter, nederbördskoncentrationer och deposition varierar både geografiskt och med tiden över landet;
- från dessa resultat i bakgrundsmiljö erhålla bedömningsunderlag vid studier av mer föroreningsbelastade miljöer, t.ex. vid bedömningar i miljökonsekvensbeskrivningar;
- ge underlag för validering av beräkningsmodeller och följa upp resultatet av vidtagna åtgärder;

Samordnad övervakning på nationell nivå påbörjades i slutet av 1970-talet och har varierat i omfattning under åren. Mätprogrammet revideras regelbundet, och förändringar sker till följd av förändrade krav och behov.

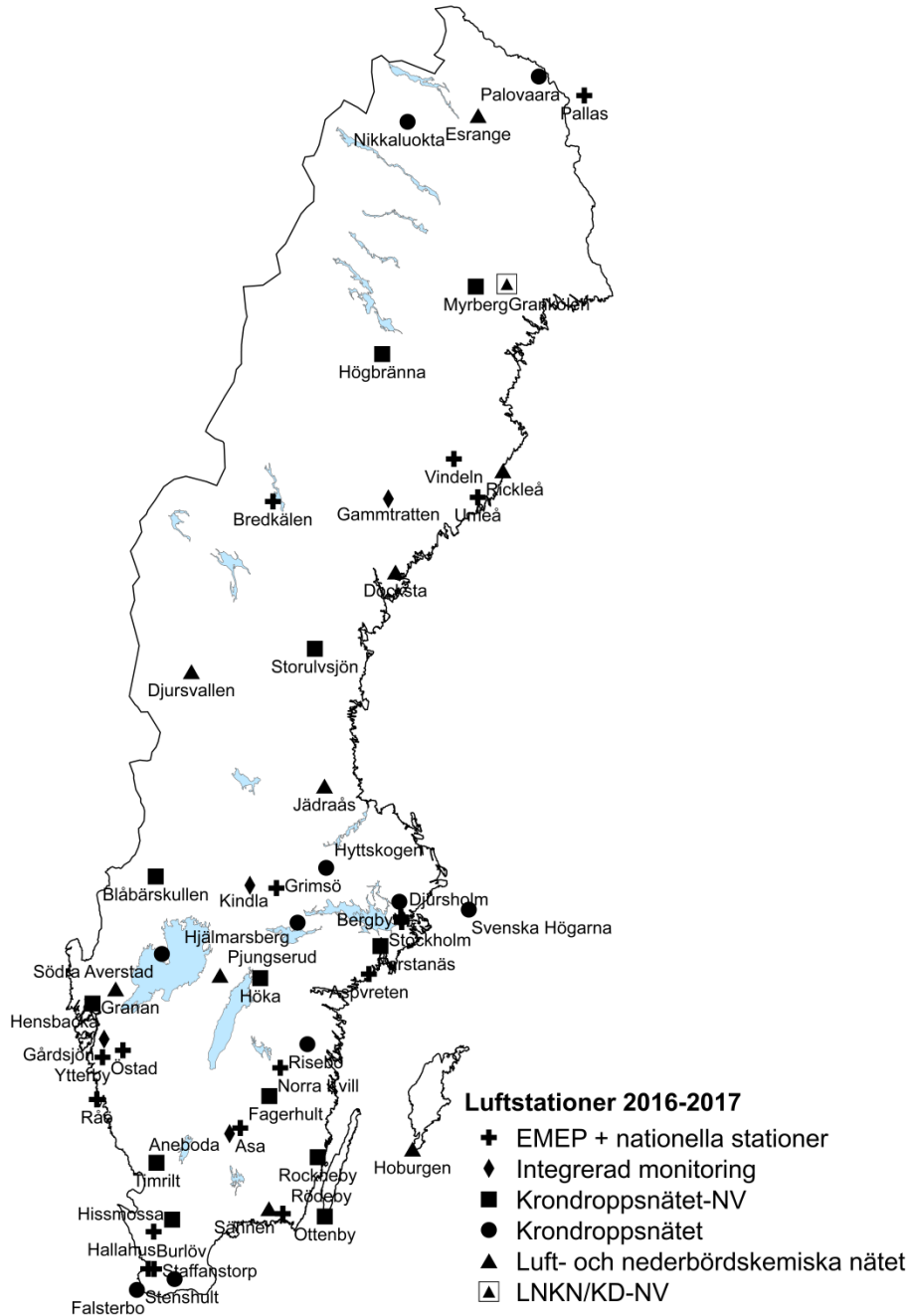
SMHI:s årliga modellberäkningar av lufthalter och deposition över Sverige har pågått sedan tidigt 1990-tal. Modellsystemet har under de senaste åren uppdaterats med mer avancerad metodik.

Övervakningen av ozonskiktet inleddes 1988 i Norrköping och 1991 i Vindeln. Modellsystemet STRÅNG startade år 2000. Det har uppgraderats i omgångar, senast i mars 2017 för att göra nödvändiga tekniska förändringar för att systemet ska fortsätta fungera, och samtidigt införa och förbereda för vidare förbättringar i modellens prestanda.

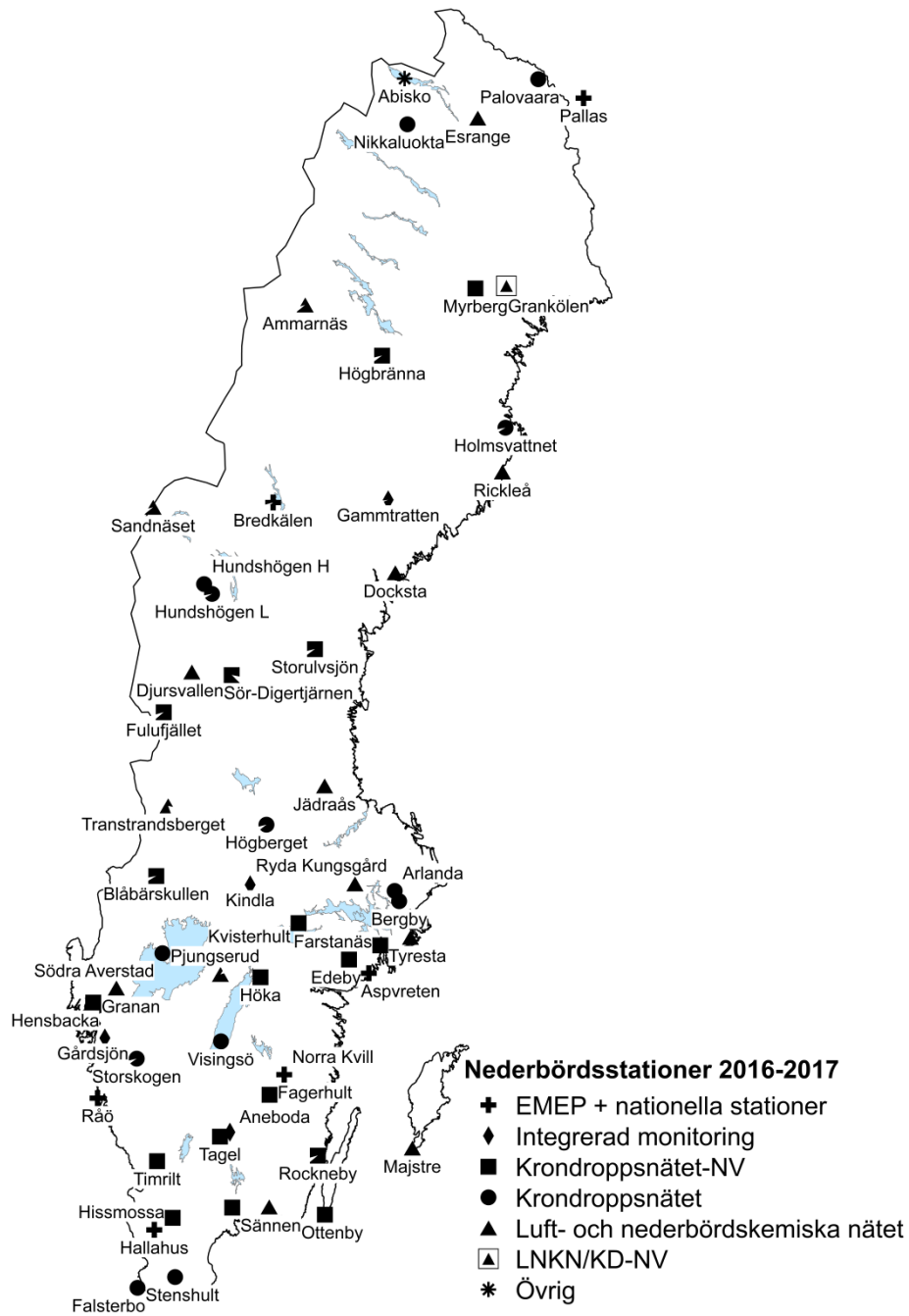
Sedan 2000 har aerosolens storleksfördelning på toppen av Zeppelinberget i det gamla gruvsamhället Ny Ålesund på Svalbard observerats.

I föreliggande rapport redovisas resultaten från större delen av IVL:s, SU:s, SLU:s och SMHI:s verksamhet inom Programområde Luft till och med 2017 (för modellberäkningarna t.o.m. 2016). När det gäller lufthalter samt nedfall av försurande och övergödande ämnen redovisas även resultat från andra miljöövervakningsprogram: Integrerad Monitoring (IM), som finansieras av Programområde Skog, samt Krondropps nät, som förutom den del som finansieras av Naturvårdsverket inom Programområde Luft främst finansieras av olika luftvårdsförbund och länsstyrelser.

Mätstationernas geografiska läge presenteras i Figur 1-1 och Figur 1-2. Modelleringen inbegriper hela Europa, men redovisningen av beräknade lufthalter och deposition visas över Sverige.



**Figur 1-1** Mätstationerna för Luft inom EMEP, andra nationella stationer, LNKN, Krondroppsnätet och IM som ingår i den nationella miljöövervakningen (för mätstationernas programtillhörighet, se Bilaga IV). Symbolerna indikerar vilket mätnät som mätstationen tillhör. I figuren ingår även stationer inom Krondroppsnätet som inte ingår i den nationella miljöövervakningen.



**Figur 1-2**

Mätstationerna för Nederbörd inom EMEP, andra nationella stationer, LNKN, Kron droppsnätet och IM som ingår i den nationella miljöövervakningen (för mätstationernas programtillhörighet, se Bilaga III). Symbolerna indikerar vilket mätnät som mätstationen tillhör. I figuren ingår även stationer inom Kron droppsnätet som inte ingår i den nationella miljöövervakningen.



## 2 Försurande och övergödande ämnen i luft och nederbörd

Under denna rubrik presenteras två delprogram. Delprogrammet: Försurande och övergödande ämnen samt Delprogrammet Krondropps nätet-NV, se tabellerna 2-1, och 2-2 nedan. Båda delprogrammen följer trender för försurande och övergödande ämnen. Rapportering sker till internationella konventioner. De nationella miljö kvalitetsmål som främst berörs är *Bara naturlig försurning*, *Ingen övergödning* och *Frisk luft*. Syftet är att uppfylla nationella, länsvisa och internationella riktlinjer som ligger till grund för nationell och regional miljömålsuppföljning

I resultatredovisningen tas även data från hela Krondropps nätet samt Integrerad Övervakning (IM) (Programområde Skog) med. Krondropps nätet (KD) startades 1985 som ett regionalt finansierat, nationellt samordnat mätprogram. Sedan år 2000 har Naturvårdsverket även varit medfinansierare för en del mätyper och mätstationer. Den del av Krondropps nätet som finansieras av Naturvårdsverket (KD-NV) utgörs främst av mätningar i nederbörd över öppet fält vid 18 stationer samt torrdeposition vid 10 stationer. Finansieringen för den större delen av Krondropps nätet, som är regionalt finansierad, kommer främst från olika luftvårdsförbund och länsstyrelser. Inom hela Krondropps nätet mäts bland annat deposition (nedfall) av bland annat svavel och kväve samt baskatjoner, data samt information om Krondropps nätet finns på [www.krondroppsnetet.ivl.se](http://www.krondroppsnetet.ivl.se). IM finansieras av Naturvårdsverket inom Programområde Skog. För IM-data hänvisas till <http://www.slu.se/institutioner/vatten-miljo/miljoanalys/integrerad-monitoring-im/data/>.

Tabell 2-1 Luft- och nederbördskemi inom EMEP.

Parametrar	Oorganiska komponenter i luft: SO <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> +HNO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> +NH <sub>3</sub> , Cl, Na, K, Ca, Mg, NO <sub>2</sub> Oorganiska komponenter i nederbörd: SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , pH, Na, K, Ca, Mg, Cl, konduktivitet, nederbördsmängd
Stationer	Aspvreten, Breckälven, Hallahus/Vavihill, Råö
Mätfrekvens	Dygnsvis och månadsvis
Kravställare	EU - direktiv, Miljö kvalitetsnormer, Luftvårdskonventionen.
Lagringsplats	Grunddata lagras samt kan hämtas via datavårdens webbplats <a href="http://www.smhi.se/datavardluft">www.smhi.se/datavardluft</a> .
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet AB
Mer information	Mätstationerna ingår i det europeiska mätnätet EMEP (Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe), som är ett Europeiskt samarbetsprogram för övervakning av långdistanstransporterade, gränsöverskridande luftföroreningar. Resultaten från EMEP ligger till grund för arbetet med konventioner om gränsöverskridande luftföroreningar inom UNECE-regionen.



**Tabell 2-2** Luft- och nederbörds kemi inom Luft- och Nederbörds kemiska nätet

Mättyp	Öppet fält (16 mätstationer), lufthalter (9 mätstationer).
Parametrar	Nederbörds mängd, pH, alkalinitet, SO <sub>4</sub> -S, Cl, NO <sub>3</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N, P, konduktivitet, Ca, Mg, Na, K. Lufthalter av NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> och O <sub>3</sub>
Stationer	Totalt 17 mätstationer fördelade över hela Sverige: Erange, Grankölen, Ammarnäs, Rickleå, Sandnäset, Docksta, Djursvallen, Jädraås, Transtrandsberget, Ryda Kungsgård, Tyresta, Pjungs erud, Granan, Majstre, Norra Kvill, Hoburgen, Sännen.
Mätfrekvens	Månadsvis
Kravställare	Det finns många olika syften med mätningarna och användningsområden för data från LNKN. Ett användningsområde är att fungera som underlag vid utvärdering av de svenska miljömålen.
Lagringsplats	Grunddata lagras samt kan hämtas via datavärdens webbplats <a href="http://www.smhi.se/datavardluft">www.smhi.se/datavardluft</a> .
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet AB
Mer information	Inom Luft- och nederbörds kemiska nätet har mätningarna av halter i nederbörd pågått sedan 1983 och av halter i luft sedan 1994 på stationer över hela landet. Ytterligare cirka tjugo stationer har tidigare ingått i mätnätet, men dessa har avslutats.

**Tabell 2-3** Krondroppsnetet-NV

Mättyp	Öppet fält (18 mätstationer), Strängprov (10 mätstationer), Krondropp (2 mätstationer), Lufthalter (2 mätstationer), Markvatten (2 mätstationer).
Parametrar	Nederbörds mängd, Krondroppsmängd, Provolym (pH), Alkalinitet vid pH>5,4, Sulfatsvavel (SO <sub>4</sub> -S), Klorid (Cl), Nitratkväve (NO <sub>3</sub> -N), Ammoniumkväve (NH <sub>4</sub> -N), Konduktivitet (Kond), Kalcium (Ca), Magnesium (Mg), Natrium (Na), Kalium (K), Mangan (Mn), Totalfosfor (P-tot), Kjeldahlkväve (KjN), Organiskt kol (DOC, filter Ø=0,8µm), Järn (Fe), Totalaluminium (Al-tot), Organiskt aluminium (oAl), Svaveldioxid (SO <sub>2</sub> ), Kvävedioxid (NO <sub>2</sub> ), Ammoniak (NH <sub>3</sub> ), Ozon (O <sub>3</sub> ).
Stationer	Totalt 19 mätstationer fördelade över hela Sverige: Blåbärskullen, Edeby, Fagerhult, Farstanäs, Fulufjäll, Grankölen, Hensbacka, Hissmossa, Högbränna, Höka, Komperskulla, Kvisterhult, Ottenby, Rockneby, Stenshult, Storulvsjön, Sör-Digertjärn, Tagel, Timrilt.
Mätfrekvens	Månadsvisa mätningar
Kravställare	Mätningarna används nationellt främst för utvärdering av miljömålen <i>Bara naturlig försurning</i> och <i>Ingen övergödning</i> genom att de utgör underlag för miljömålsindikatorerna, Nedfall av svavel ( <i>Bara naturlig försurning</i> ) och nedfall av kväve ( <i>Ingen övergödning</i> ). Mätresultaten används även flitigt i den regionala miljömålsuppföljningen. Förutom ovan nämnda miljömål berör aktiviteterna inom Krondroppsnetet även miljömålen: <i>Frisk Luft</i> , <i>Levande sjöar och vattendrag</i> , <i>Grundvatten av god kvalitet</i> samt <i>Levande skogar</i> .
Lagringsplats	Färdiga data att använda (lufthalter, våtdeposition, totaldeposition, markvattenkemi) lagras samt kan hämtas via Krondroppsnetets webbplats <a href="http://www.krondroppsnetet.ivl.se">www.krondroppsnetet.ivl.se</a> . Rådata (lufthalter och våtdeposition) lagras samt kan hämtas via datavårdens webbplats <a href="http://www.smhi.se/datavardluft">www.smhi.se/datavardluft</a> .
Mer information	Krondroppsnetet bedrivs främst på uppdrag av Luftvårdsförbund, Länsstyrelser och Naturvårdsverket. Mer detaljerad information om Krondroppsnetet-NV finns på <a href="http://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhalltet/miljoarbete-i-sverige/miljoovervakning/Luft/beskrivning-delprogrammet-krondropp-170703.pdf">http://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhalltet/miljoarbete-i-sverige/miljoovervakning/Luft/beskrivning-delprogrammet-krondropp-170703.pdf</a> . Mer information om hela Krondroppsnetet finns på <a href="http://www.krondroppsnetet.ivl.se">www.krondroppsnetet.ivl.se</a> .

Halter i luft av bland annat svavel- och svavelkomponenter, kväve- och kvävekomponenter, klorid och baskatjoner mäts inom de fyra mätnäten "The European Monitoring and Evaluation Programme" (EMEP), "Luft- och nederbörds kemiska nätet" (LNKN), "Integrerad monitoring" (IM) och "Krondroppsnetet" (KD), där vissa stationer finansieras av Naturvårdsverket (KD-NV) och andra av luftvårdsförbund, länsstyrelser och företag. Dessutom mäts halter av kvävedioxid vid ytterligare två nationella mätstationer (Östad och Asa) finansierade av Naturvårdsverket.

Krondroppsnetet är ett gemensamt delprogram "Nedfall av luftföroreningar och markvattenkvalitet i skog". Den del av Krondroppsnetet som finansieras av Naturvårdsverket utgörs främst av mätningar i nederbörden över öppet fält vid 18 stationer samt av torrdeposition vid 10 platser (2018).

Syftet med delprogrammet Krondroppsnetet-NV är att säkerställa långsiktiga mätningar av atmosfäriskt nedfall på representativa lokaler i landet. Resultaten skall användas till

beräkningar av totaldeposition till skog av försurande, alkaliserande och övergödande ämnen. Resultaten är viktiga för främst nationella och regionala bedömningar av deposition till skog men även till att bedöma nedfallet till all typ av mark i Sverige. Dessa bedömningar utgör underlag för uppföljning av en rad miljö kvalitetsmål, (*Bara naturlig försurning, Ingen övergödning, Levande sjöar och vattendrag, Levande skogar samt Grundvatten av god kvalitet*), utgör underlag för miljömålsindikatorerna, Nedfall av svavel (*Bara naturlig försurning*) och nedfall av kväve (*Ingen övergödning*), beräkningar av överskridande av kritisk belastning samt internationell rapportering (EU, LRTAP, HELCOM).

I denna rapport redovisas även data från programmet Integrerad miljöövervakning i naturekosystem (IM). IM ingår i Miljöövervakningens Programområde Skog. Sedan 1996 bedrivs mätningarna vid fyra avrinningsområden i Sverige. I områdena mäts in- och utflöde av föroreningar och näringsämnen samt deras effekter i ekosystemet.

## 2.1 Resultat Försurande och övergödande ämnen

### 2.1.1 Luft – försurande och övergödande ämnen

Nedan presenteras trender för årsmedelhalter i luft av svavel och kväve samt även årsmedelhalter av klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium.

Inom EMEP startade mätningar av halter i luft redan 1978. EMEP är därmed det mätnät där mätningar av halter i luft har pågått under längst tid. Mätseriernas längd varierar något mellan stationer och parametrar. I figurerna nedan visas årsmedelhalter av SO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> och NH<sub>4</sub> stationsvis för samtliga år då mätningar pågått.

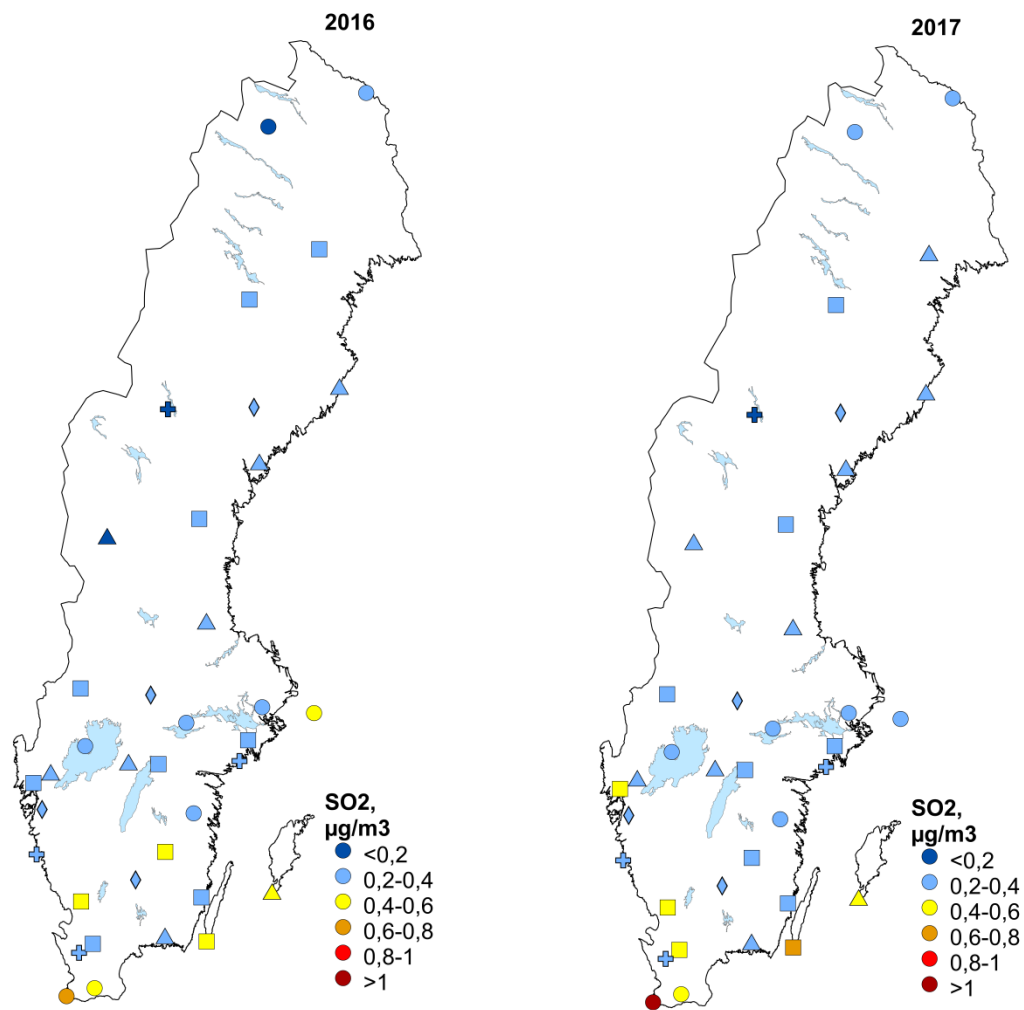
Halter i luft av SO<sub>2</sub> och NO<sub>2</sub> har mätts vid sammanlagt 28 respektive 31 stationer sedan 2005 inom de ingående mätnäten. För flera av stationerna inom EMEP, LNKN och Krondroppsnätet finns mätdata ända från 1980- och 1990-talen. För att kunna se om skillnader finns mellan olika delar av landet har Sverige delats in i tre olika regioner, se Bilaga 4. Indelningen är densamma som den som används inom miljömålsuppföljningen. Baserat på årsmedelvärden för enskilda mätstationer inom respektive region har årsmedelvärden beräknats för regionerna. Stationer med mätserier som saknar mätdata för ett eller flera år under perioden 2005 – 2017 har uteslutits ur beräkningarna. För stationer med databortfall över 20 % har inte årsmedelvärden beräknats.

I avsnitt 2.1.1.1 och 2.1.1.2 presenteras årsmedelhalter för svavel respektive kväve och i avsnitt 2.1.1.3 redovisas årsmedelhalter av klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium i luft.

#### 2.1.1.1 Svavel i luft

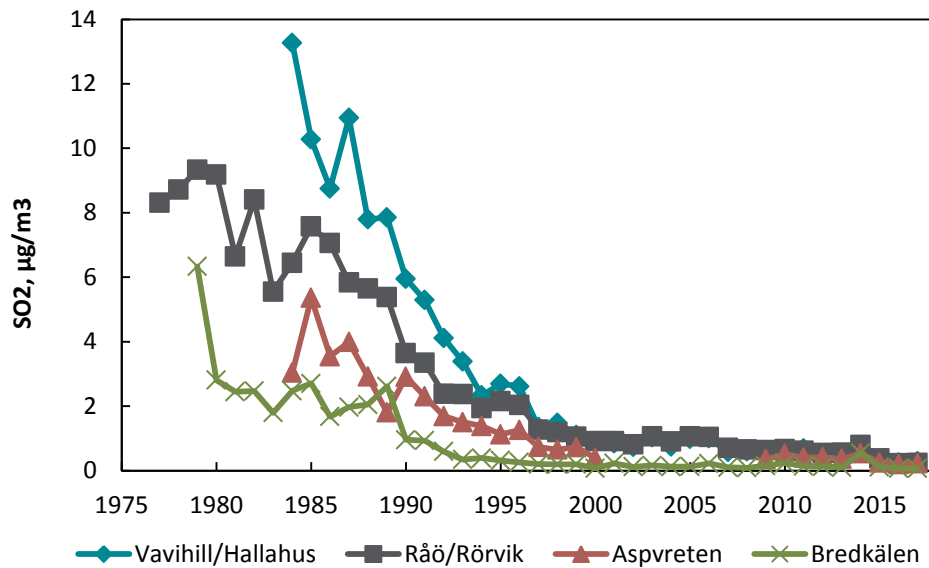
I kartorna nedan (Figur 2-1) visas lufthalterna av SO<sub>2</sub> för åren 2016 och 2017. Jämförelsen mellan åren visar inte på några större skillnader i halter.

Den högsta årsmedelhalten under 2016, och även under 2017, observerades vid Falsterbo (0,6 respektive 1,1 µg/m<sup>3</sup>). Under 2016 uppmättes halter högre än 0,4 µg/m<sup>3</sup> även vid de kustnära stationerna Stenshult, Hoburgen, Ottenby, Timrilt och Stenshult men även vid Fagerhult i Jönköpings län. Under 2017 översteg årsmedelhalten av SO<sub>2</sub> 0,6 µg/m<sup>3</sup> vid Ottenby medan årsmedelhalterna översteg 0,4 µg/m<sup>3</sup> vid Stenshult, Hoburgen, Timrilt, Hensbacka och Hissmossa. Vid övriga mätstationer var årsmedelhalterna under 0,4 µg/m<sup>3</sup>.



**Figur 2-1** Årsmedelhalter av SO<sub>2</sub> i luft (µg/m<sup>3</sup>) för åren 2016 och 2017. Symbolerna indikerar vilket mätnät som resultaten tillhör: plustecken = EMEP, fyrkanter = Krondroppsnätet-NV, trianglar = LNKN, cirklar = Krondroppsnätet och romber = IM och övriga nationella stationer.

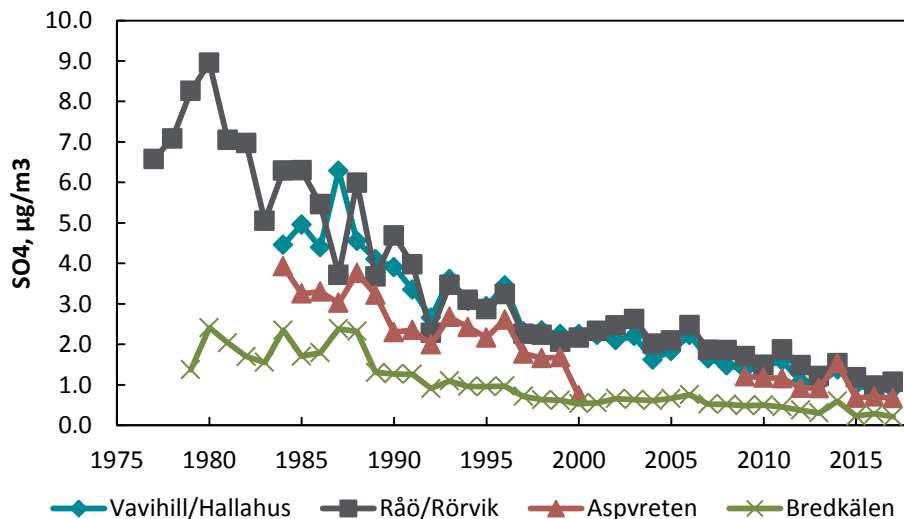
Årsmedelhalter av SO<sub>2</sub> i luft för EMEP-stationerna för perioden 1978 - 2017 visas i Figur 2-2. Vid en jämförelse mellan uppmätta halter av SO<sub>2</sub> på 1980-talet och 2010-talet har medelhalterna minskat med mellan 89 procent och 95 procent vid EMEP-stationerna.



**Figur 2-2** Årsmedelhalter av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) i luft (µg/m<sup>3</sup>) vid EMEP-stationerna Vavihill/Hallahus, Rörvik/Råö, Aspvreten och Bredkälén.

Motsvarande presentation av årsmedelhalter av SO<sub>4</sub> ses i Figur 2-3. Medelhalterna av SO<sub>4</sub> har minskat med knappt 80 procent vid Bredkälén, med runt 75 procent vid Rörvik/Råö samt Vavihill och med knappa 70 procent vid Aspvreten från 1980-talet till 2010-talet

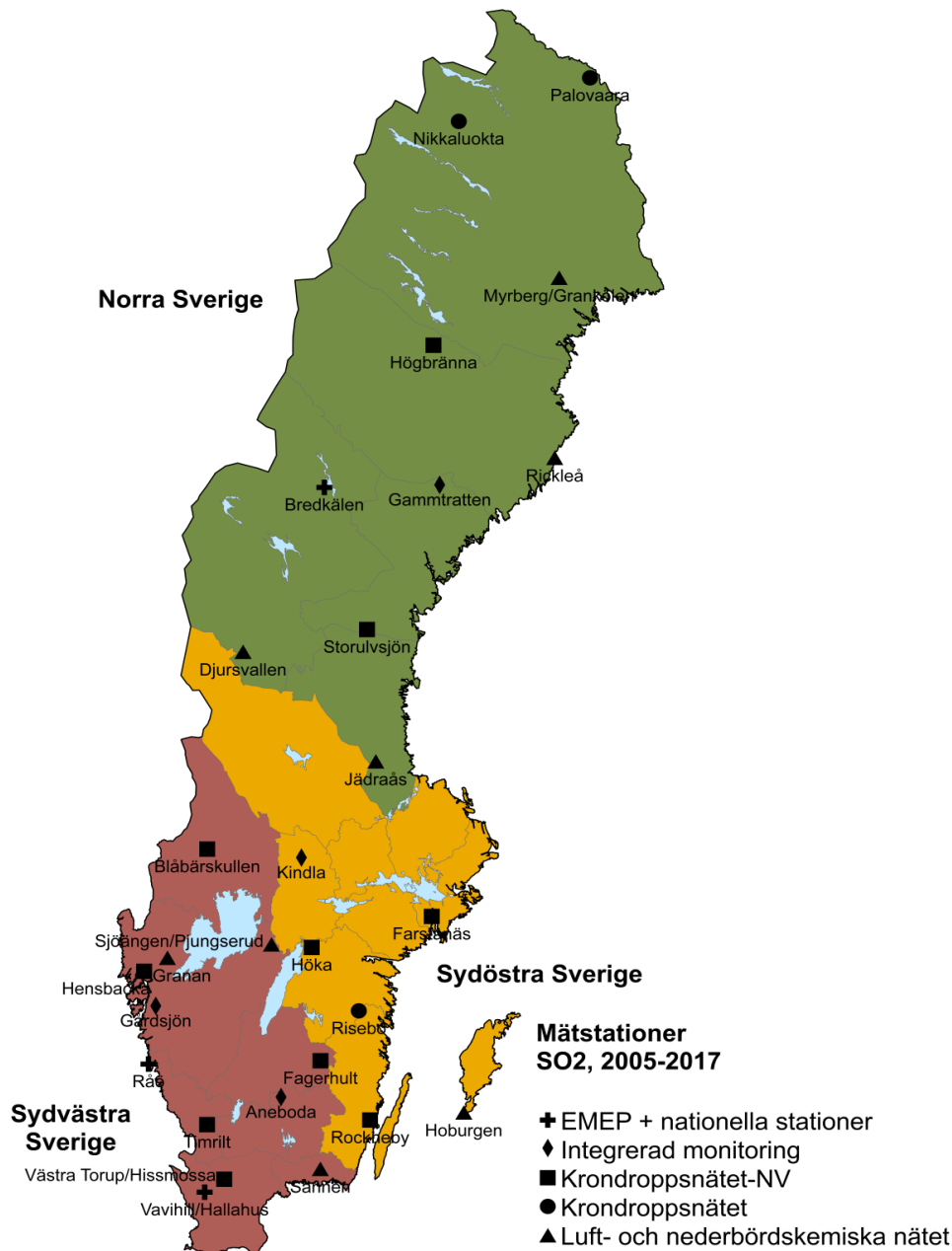
De lägsta halterna av SO<sub>2</sub> och SO<sub>4</sub> har under hela tidsperioden uppmätts vid stationen i Bredkälén och de högsta nästan alltid vid antingen Vavihill/Hallahus eller Råö/Rörvik.



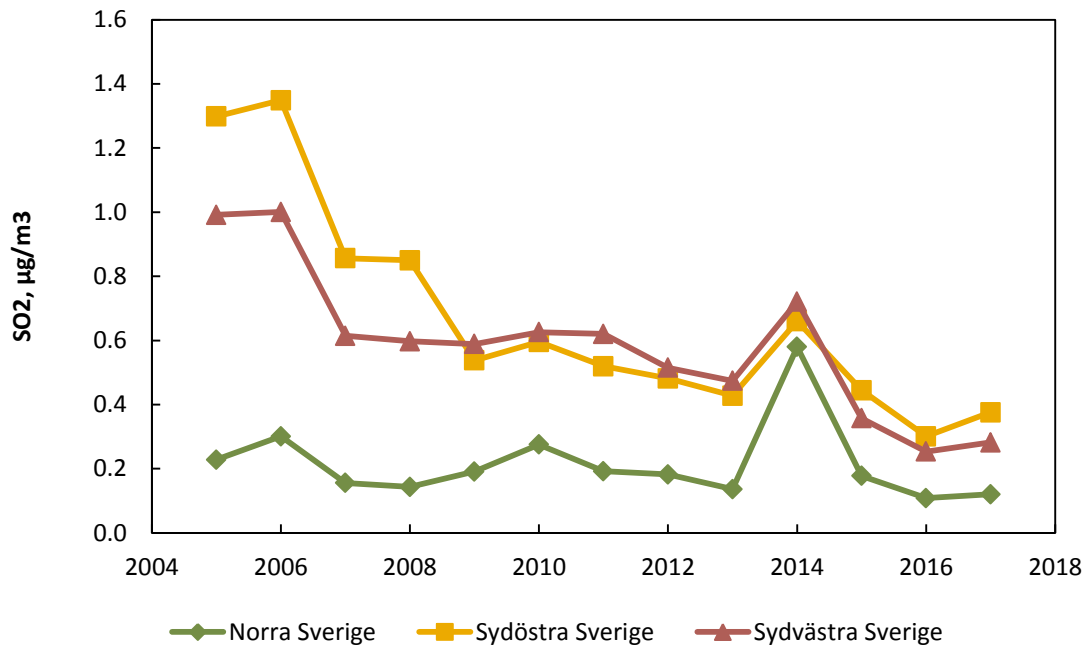
**Figur 2-3** Årsmedelhalter av sulfat (SO<sub>4</sub>) i luft (µg/m<sup>3</sup>) vid EMEP-stationerna Vavihill/Hallahus, Rörvik/Råö, Aspvreten och Bredkälén.

Statistisk analys av trenderna (Mann Kendall) visar att minskningen av lufthalter av både SO<sub>2</sub> och SO<sub>4</sub> är statistiskt signifikanta ( $p < 0,001$ ) för samtliga EMEP-mätstationer.

I kartan nedan (Figur 2-4) visas de 28 stationer som är inkluderade i medelvärdesbildningen och i (Figur 2-5) visas årsmedelhalter av SO<sub>2</sub> i luft för regionerna norra Sverige, sydöstra Sverige och sydvästra Sverige, 2005 – 2017.



**Figur 2-4** Mätstationer inkluderade i beräkning av årsmedelvärden av SO<sub>2</sub>, 2005 – 2017. Regionindelningen följer den indelning som används i miljömålsuppföljningen av miljömålet Bara naturlig försurning. Symbolerna indikerar vilket mätnät som mätstationen tillhör. I figuren ingår även några stationer från Krondroppsnetet som inte ingår i den nationella miljöövervakningen.



**Figur 2-5** Årsmedelhalter av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) i luft (µg/m<sup>3</sup>) i de tre regionerna norra Sverige, sydöstra Sverige och sydvästra Sverige för perioden 2005 – 2017. Stationer med mätserier som saknar mätdata för ett eller flera år under perioden 2005 – 2017 är exkluderade.

Årsmedelhalterna har minskat signifikant för perioden för sydöstra Sverige ( $p < 0,001$ , Mann Kendall) och för sydvästra Sverige ( $p < 0,01$ , Mann Kendall), med den största minskningen under periodens början. För norra Sverige ses ingen signifikant trend. Medelhalterna för 2014 är högre jämfört med intilliggande år. Anledningen till detta beror sannolikt på luftintransport av svavel från vulkanen Holuhraun på Island under hösten/vintern 2014-2015 (Hellsten, m.fl. 2017). Under perioden 2005 – 2008 var uppmätta lufthalter av SO<sub>2</sub> högst i sydöstra Sverige. Under resten av den presenterade perioden låg halterna i sydöstra- och sydvästra Sverige på ungefär samma nivå. Norra Sverige har för hela perioden uppvisat tydligt lägre årsmedelhalter, för 2014 dock endast marginellt lägre. Årsmedelhalterna 2017 var 47 procent lägre för norra Sverige och 71 procent lägre för sydöstra och sydvästra Sverige jämfört med 2005.

### 2.1.1.2 Kväve i luft

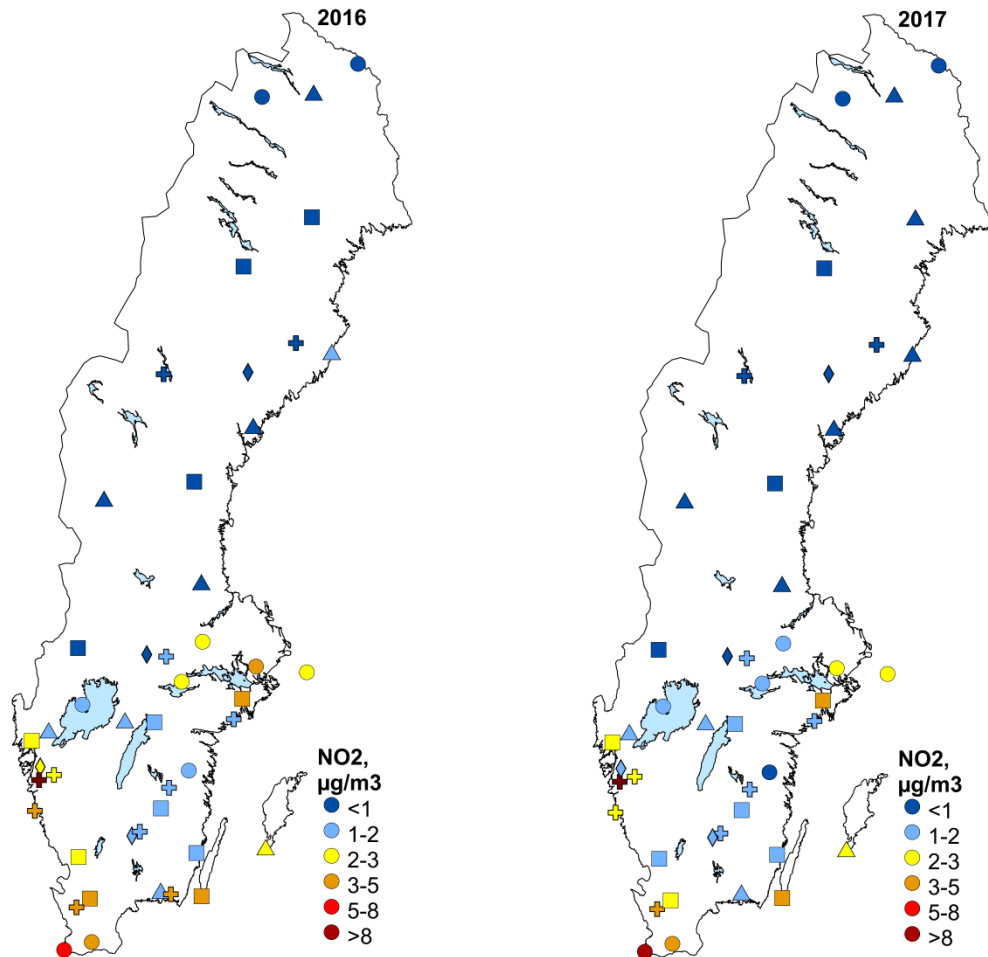
Årsmedelhalter av NO<sub>2</sub> för 2016 och 2017 illustreras i kartorna nedan (Figur 2-6). Kartorna visar tydligt att det finns en syd-nordgradient för halter av NO<sub>2</sub> i luft, med de högsta halterna i landets södra delar, och då framför allt i kustnära trakter.

Den högsta årsmedelhalten under 2016 observerades i Ytterby i Västra Götalands län (8,3 µg/m<sup>3</sup>). Även Falsterbo och Stenshult i Skåne län och Rödeby i Blekinge län har förhållandevis höga årsmedelhalter (6,1 µg/m<sup>3</sup>, 4,4 µg/m<sup>3</sup>, respektive 4,1 µg/m<sup>3</sup>). Ytterligare sex mätstationer har under 2016 årsmedelhalter över 3 µg/m<sup>3</sup> (Farstanäs i Stockholms län, Råö i Västra Götaland, Ottenby på Öland, Bergby i Stockholms län samt Hissmossa och Hallahus i Skåne län).

Det finns ingen tydlig skillnad mellan årsmedelhalterna av NO<sub>2</sub> mellan 2016 och 2017. 2017 har sex av mätstationerna uppmätt årsmedelhalter över 3 µg/m<sup>3</sup>. Precis som 2016 hör Falsterbo, Ytterby och Stenshult till de stationer som har de högsta årsmedelhalterna (8,7, 8,1 respektive 4,7 µg/m<sup>3</sup>).

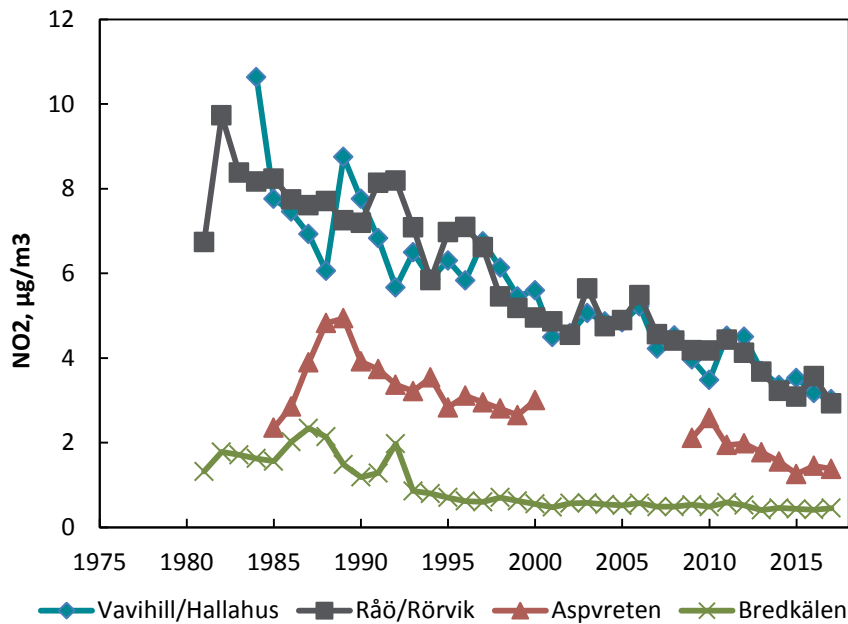


Utöver dessa tre mätstationer har årsmedelhalter på eller över  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  uppmäts på tre stationer under 2017. Dessa är Farstanäs, Ottenby och Hallahus ( $3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respektive  $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



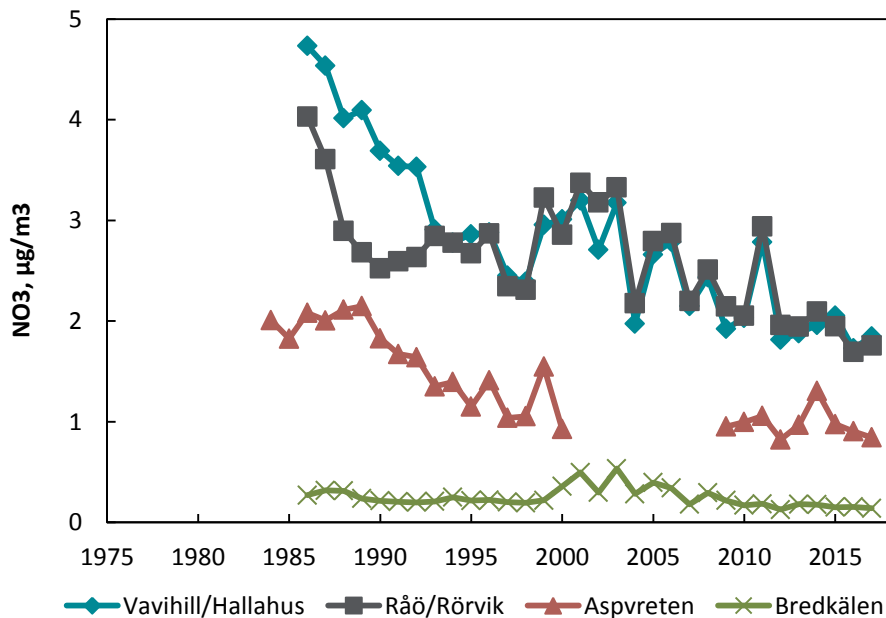
**Figur 2-6** Årsmedelhalter av  $\text{NO}_2$  i luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) för åren 2016 och 2017. Symbolerna indikerar vilket mätnät som resultaten tillhör: fyrkanter = Kron droppsnätet-NV, trianglar = LNKN, cirklar = Kron droppsnätet, romber = IM och plustecken = EMEP och övriga nationella stationer.

Årsmedelhalter av  $\text{NO}_2$  i luft för EMEP-stationerna för perioden 1981 - 2017 visas i Figur 2-7. Lufthalterna är högst vid Vavihill/Hallahus och Råö/Rörvik och allra lägst vid Breckälven. Halterna i Aspvreten ligger däremellan. Lufthalterna av  $\text{NO}_2$  har för Vavihill/Hallahus, Råö/Rörvik och Aspvreten minskat med 54 procent från 1980- till 2010-talet. Den procentuella minskningen är än större för Breckälven (74 procent).



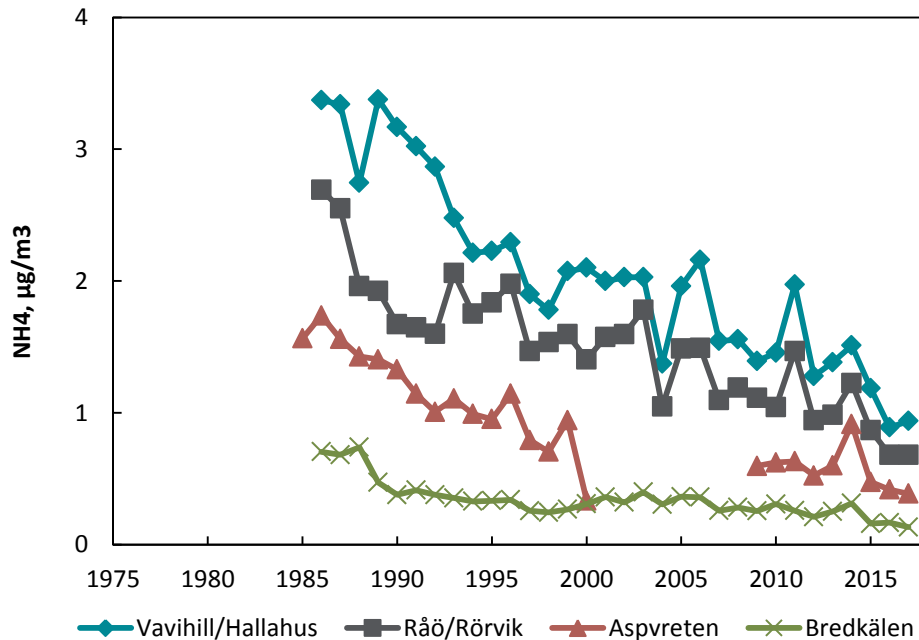
**Figur 2-7** Årsmedelhalter av kvävedioxid (NO<sub>2</sub>) i luft (µg/m<sup>3</sup>) vid EMEP-stationerna Vavihill/Hallahus, Råö/Rörvik, Aspvreten och Bredkålen.

Årsmedelhalter av NO<sub>3</sub> i luft (gas + partiklar) för perioden 1984 - 2017 visas i Figur 2-8. Vid en jämförelse mellan uppmätta halter av NO<sub>3</sub> på 1980-talet och 2010-talet har medelhalterna minskat med 54 procent vid Vavihill/Hallahus och med 51 procent vid Aspvreten. Minskningen vid Råö/Rörvik är lägre, 38 procent. För Bredkålen är minskningen 44 procent.



**Figur 2-8** Årsmedelhalter av nitrat (NO<sub>3</sub>) i luft (µg/m<sup>3</sup>) vid EMEP-stationerna Vavihill/Hallahus, Råö/Rörvik, Aspvreten och Bredkålen.

Motsvarande presentation av årsmedelvärden av NH<sub>4</sub> i luft (gas + partiklar), 1985 - 2017, för EMEP-stationerna visas i Figur 2-9. Även halterna av NH<sub>4</sub> i luft har minskat från 1980- till 2010-talet. Den procentuella minskningen är mellan 57 och 65 procent, med den största procentuella minskningen vid Breckälven.

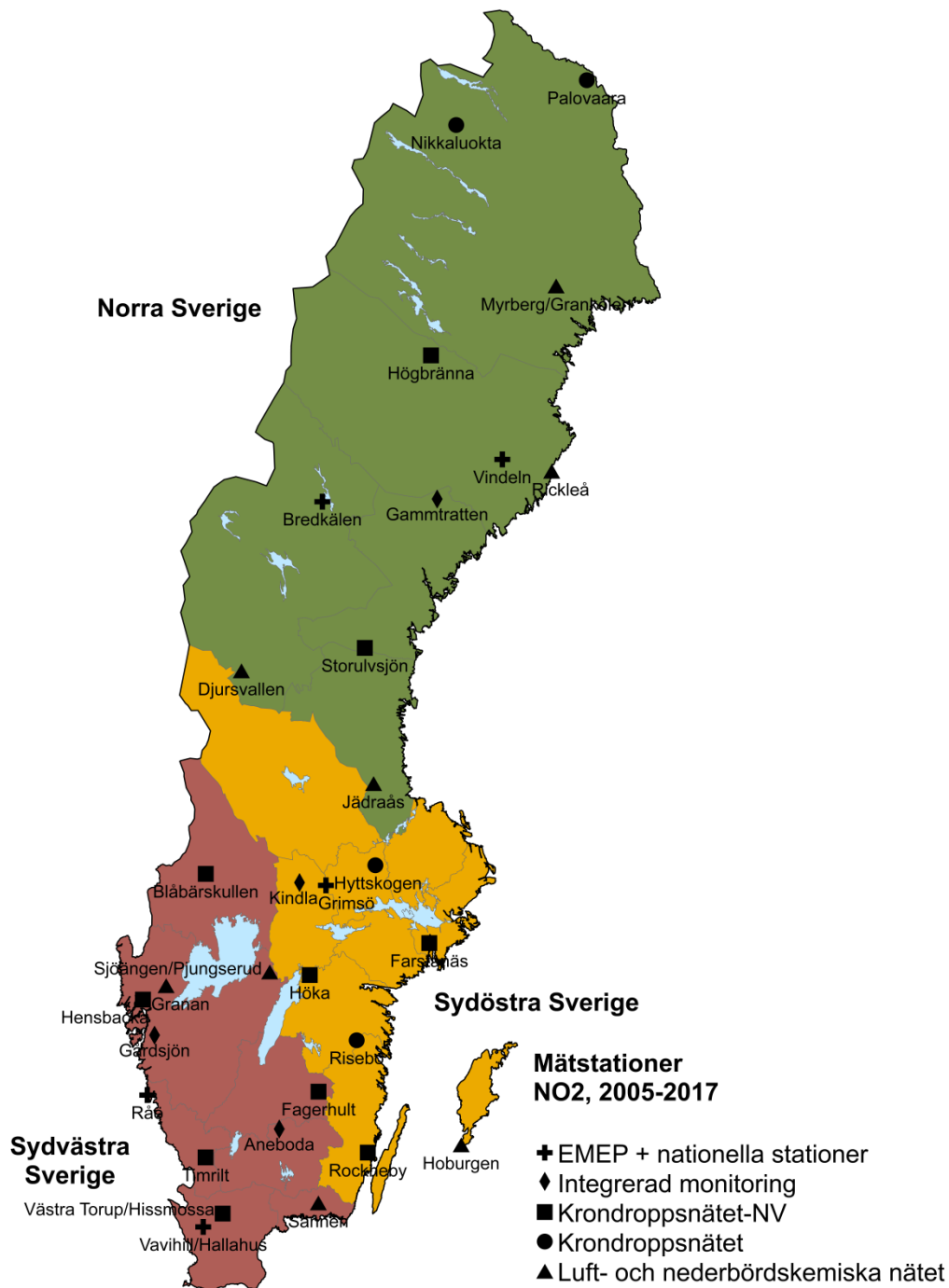


**Figur 2-9** Årsmedelhalter av ammonium (NH<sub>4</sub>) i luft (µg/m<sup>3</sup>) vid EMEP-stationerna Vavihill/Hallahus, Råö/Rörvik, Aspvreten och Breckälven.

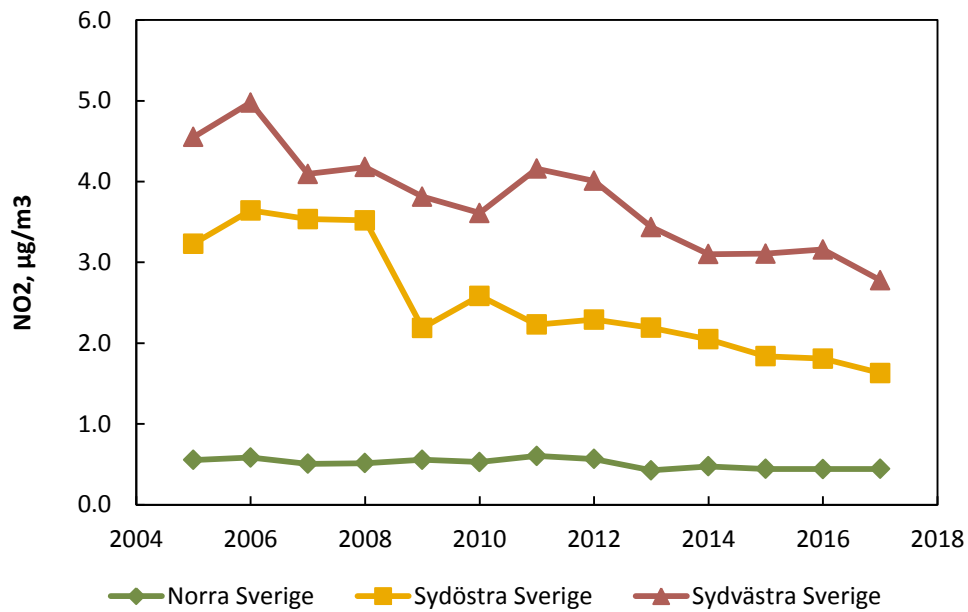
Den statistiska trendanalysen (Mann Kendall) visar att minskningen av lufthalter av alla kväveföreningar är statistiskt signifikant (NO<sub>2</sub> och NH<sub>4</sub>: p<0,001 för samtliga EMEP-mätstationer, NO<sub>3</sub>: p<0,001 för Vavihill/Hallahus, Råö/Rörvik och Aspvreten, p<0,01 för Breckälven).

Figur 2-10 visar de 31 stationer som är inkluderade i medelvärdesbildningen och i Figur 2-11 visas årsmedelhalter av NO<sub>2</sub> i luft för regionerna norra Sverige, sydöstra Sverige och Sydvästra Sverige, 2005 – 2017. Årsmedelhalterna har minskat signifikant för perioden, för sydöstra- (p<0,001) och sydvästra Sverige (p<0,01). För norra Sverige ses ingen signifikant trend.

Halterna av NO<sub>2</sub> är för hela perioden 2005 – 2017 högst i sydvästra Sverige och lägst i norra Sverige. Årsmedelhalterna för 2017 är 20 procent lägre för norra Sverige, 50 procent lägre för sydöstra Sverige respektive 39 procent lägre för sydvästra Sverige jämfört med 2005.



**Figur 2-10** Mätstationer inkluderade i beräkning av årsmedelvärden av NO<sub>2</sub>, 2005 – 2017. Regionindelningen följer den indelning som används i miljömålsuppföljningen av miljömålet *Bara naturlig försurning*. Symbolerna indikerar vilket mätnät som mätstationen tillhör. I figuren ingår även några stationer från Krondroppsnetet som inte ingår i den nationella miljöövervakningen.

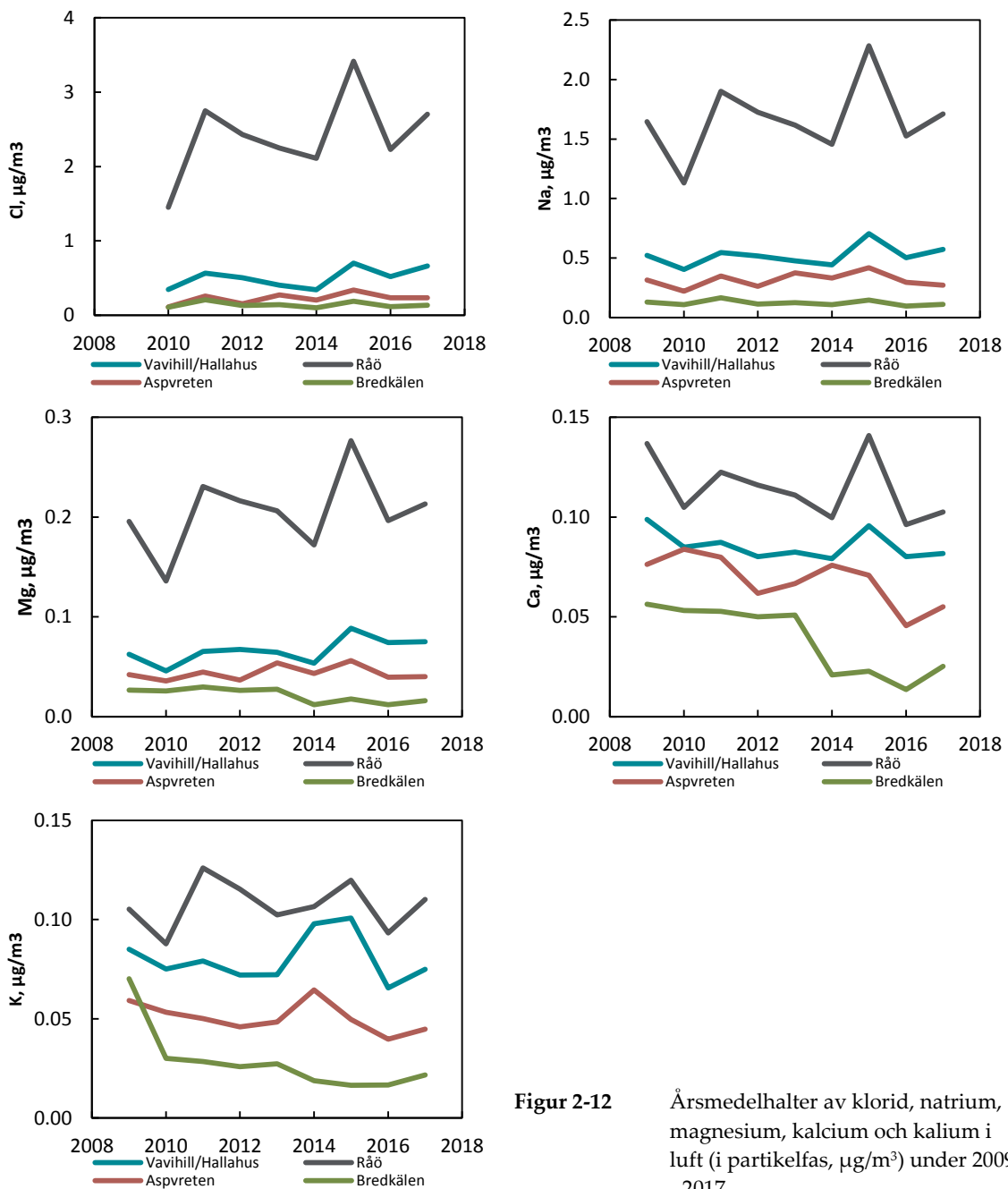


**Figur 2-11** Årsmedelhalter av NO<sub>2</sub> i luft (µg/m<sup>3</sup>) i de tre regionerna norra, sydöstra och sydvästra Sverige för perioden 2005 – 2017. Stationer med mätserier som saknar mätdata för ett eller flera år under perioden 2005 – 2017 är exkluderade.

### 2.1.1.3 Klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium i luft

I januari 2009 påbörjades dygnsvisa mätningar av klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium i luft vid EMEP-stationerna Vavihill, Råö, Aspvreten och Bredkålen. Resultaten redovisas i Figur 2-12 som årsmedelvärden för respektive station och parameter.

Generellt uppvisar haltnivåerna av klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium samma avtagande gradient från söder till norr som för övriga mätta parametrar. Uppmätta halter är lägst i Bredkålen och högst i Råö. Att halterna av speciellt klorid, natrium och magnesium är högst vid Råö beror på att stationen är belägen nära havet på västkusten. Mellanårsvariationen är ganska stor och någon tydlig trend finns inte förutom för kalcium och kalium i nederbörd från Bredkålen ( $p < 0.01$ ) och kalcium i nederbörd från Aspvreten ( $p < 0.05$ ) (Mann Kendall).



Figur 2-12 Årsmedelhalter av klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium i luft (i partikelfas,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) under 2009 - 2017.

## 2.1.2 Nedfall och nederbördsmängder – försurande och övergödande ämnen

I följande kapitel används för kvävenedfallet beteckningarna nitrat- och ammoniumkväve, det vill säga kvävedelen av nitrat respektive ammonium. Vid modellering av motsvarande används ofta beteckningarna oxiderat (allt oxiderat kväve) respektive reducerat ( $\text{NH}_3$  och  $\text{NH}_4^+$ ) kväve, se Kapitel 10. Den enhet som används nedan i kapitel 2.1.2, kg/ha, kan jämföras med den enhet som används vid modellering med MATCH - Sverigesystemet,  $\text{mg}/\text{m}^2$ , ( $1 \text{ kg}/\text{ha} = 100 \text{ mg}/\text{m}^2$ ).

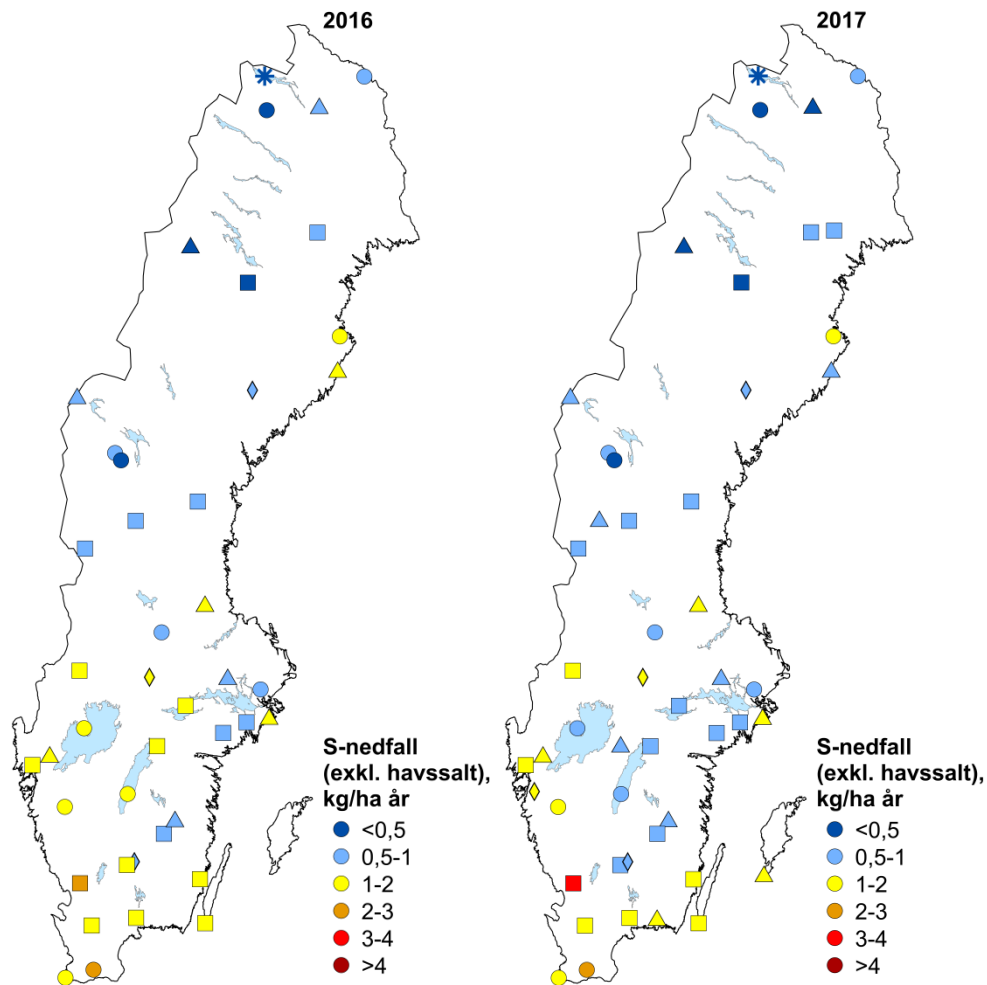
### 2.1.2.1 Nedfall via nederbörden av svavel och kväve

Halter i nederbörd av olika försurande och övergödande ämnen mäts inom fem olika mätnät; EMEP, LNKN, Krondroppsnetet (som här har delats upp i Krondroppsnetet och Krondroppsnetet-NV) och IM.

Nedan visas kartor från åren 2016 och 2017 för nedfall med nederbörden över öppet fält av svavel (utan havssaltsbidrag) samt oorganiskt kväve (summan av nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) och ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )) över öppet fält, Figur 2-13 och Figur 2-14. Data som visas i kartorna kommer från Krondroppsnetet-NV, LNKN, Krondroppsnetet samt IM, vilket indikeras med olika symboler. Data från EMEP har inte använts då mätutrustningen är annorlunda samt att tidigare varit problem med själva lockprovtagarna vid några av mätstationerna.

Svavelnedfallet med nederbörden 2016 och 2017 var generellt lågt jämfört med tidigare år. Det finns en gradient med högre nedfall i södra Sverige och lägst nedfall i norr, speciellt lågt i fjällområdena i nordväst. Gradienten beror dels av närheten till de stora källorna för luftföroreningsutsläpp på kontinenten, dels på att nederbördsmängderna är högst i sydväst och avtar mot nordost. Dock kan svavelnedfallet vara relativt högt vid Norrlandskusten på grund av utsläpp från de industrier som finns där.

Svavelnedfallet för de båda åren 2016 och 2017 var ungefär på samma låga nivå, endast något högre under 2017 i sydväst (Figur 2-13). Det högsta svavelnedfallet (utan havssaltsbidrag) som uppmättes under 2016 var 2,3 kilo per hektar i Halland. Motsvarande uppmättes som högst under 2017 ett svavelnedfall på 3,4 kilo per hektar i Halland.

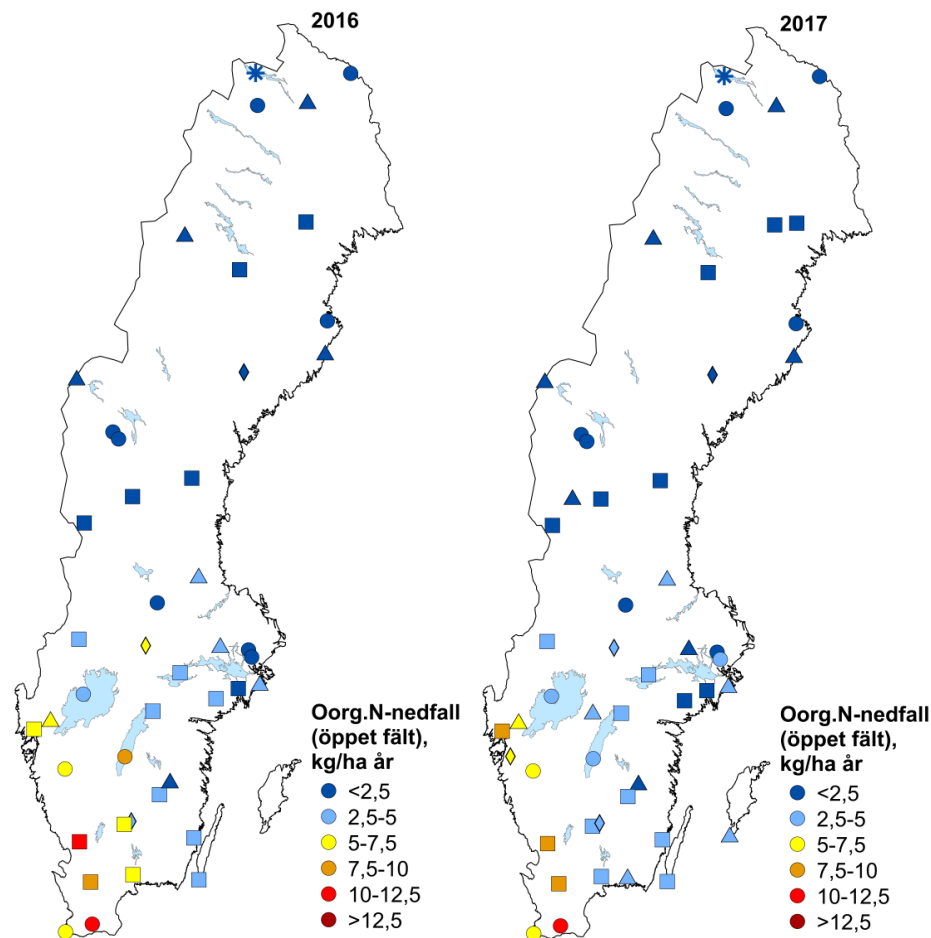


**Figur 2-13** Svavelnedfall (sulfatsvavel,  $SO_4\text{-S}$ ) utan havssaltsbidrag över öppet fält (bulkdeposition) för kalenderåren 2016 och 2017. Symbolerna indikerar vilket mät nät som resultaten tillhör: fyrkanter = Krondroppsnätet-NV, trianglar = LNKN, cirklar = Krondroppsnätet och romber = IM.

Även för kvävenedfallet syns en tydlig depositionsgradient med högre nedfall i sydväst och lägre mot norr. Liksom för svavel beror gradienten dels av närheten till de stora källorna för luftföroreningsutsläpp på kontinenten samt dels på att nederbördsmängderna är högst i sydväst och avtar mot nordost. Kvävenedfallet var generellt lågt under 2016 och 2017. Under båda åren uppmättes högst kvävenedfall med nederbörden (10,2 respektive 10,6 kg/ha) i sydligast Skåne, på Romeleåsen, Figur 2-14. Även i Halland uppmättes ett kvävenedfall på runt 10 kilo per hektar under 2016 och 2017.

Mätningarna av nedfall över öppet fält (s.k. bulkdeposition) inkluderar främst våtdeposition men även en mindre mängd torrdeposition till själva mätutrustningen. För en äldre modell av bulkprovtagare uppskattades andelen torrdepositionen av kväve till mätutrustningen till cirka 10 procent i södra Sverige (Hellsten & Westling, 2006). Ju längre norrut i Sverige, desto lägre andel torrdeposition till bulkprovtagarna (Karlsson m. fl., 2011). För den provtagaren som nu används pågår mätningar, finansierade av Naturvårdsverket, för att beräkna torrdepositionen till utrustningen.





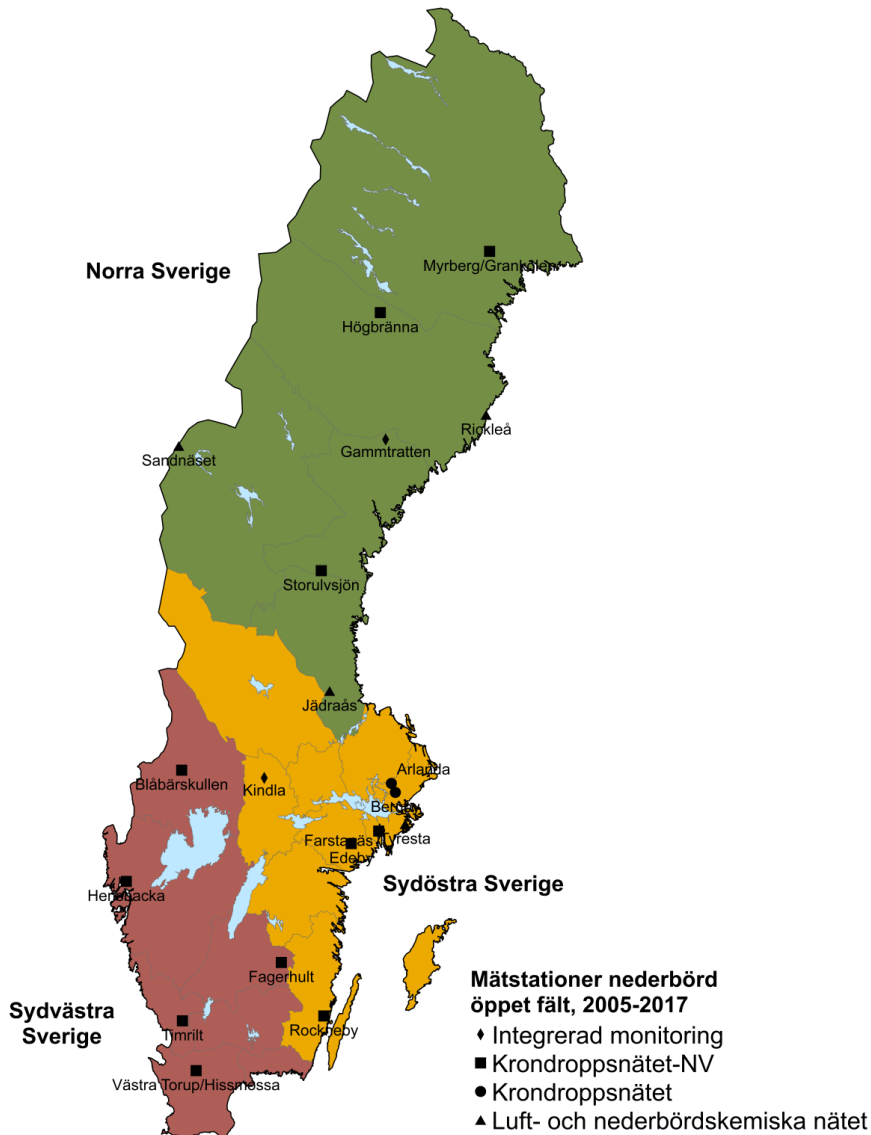
**Figur 2-14** Nedfall av oorganiskt kväve (nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N) + ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N)) över öppet fält (bulkdeposition) för 2016 samt 2017. Symbolerna indikerar vilket mätnät som resultaten tillhör: fyrkanter = Kron droppsnätet-NV, trianglar = LNKN, cirklar = Kron droppsnätet och romber = IM.

### 2.1.2.2 Trendanalys av nederbördsmängder samt nedfall med nederbörden av vätejoner, svavel, klorid och oorganiskt kväve

Dataanalysen har för trender i bulkdepositionen koncentrerats till perioden 2000-2017. Figurerna baseras på kalenderår och endast stationer där alla års data finns, är med i trendanalysen. I Figur 2-15 visas vilka stationer som ingår i trendanalysen tillsammans med den nationella indelning som gjorts för trendanalysen av nederbörd och bulkdeposition. I Bilaga V visas resultaten från den statistiska analysen samt en tabell över ingående mätplatser. Indelningen är densamma som den som används för miljömålsuppföljningen inom miljömålen *Bara naturlig försurning* och *Ingen övergödning*. I analysen ingår även en del stationer som inte finansieras av Naturvårdsverket utan av medlemmarna inom Kron droppsnätet.

Inom de olika mätnäten hanteras saknade värden på lite olika sätt, beroende på syftet med mätnäten. Inom Kron droppsnätet görs en uppskattning av saknade värden främst utifrån omkringliggande stationer, inom EMEP samt LNKN görs ingen liknande ersättning, varför data från en del månader i dessa mätnät kan saknas. I denna analys inkluderas resultat från stationer där det saknas data från högst två månader. I dessa fall har nederbördsmängden korrigerats för att motsvara tolv månader. Halterna kan dock fortfarande vara baserade på mätningar för tio eller elva månader (ej korrigerade).

Statistisk analys av trender har gjorts med Mann-Kendall-analys. Den statistiska analysen har genomförts både för medelvärde av nedfallet av olika ämnen för de olika områdena och för enskilda mätstationer. Man bör beakta att endast de lokaler som uppfyller ovan ställda krav på datatäckning har ingått, dvs. ingen representativitetsaspekt för de olika stationerna i de tre områdena har ingått i analysen.



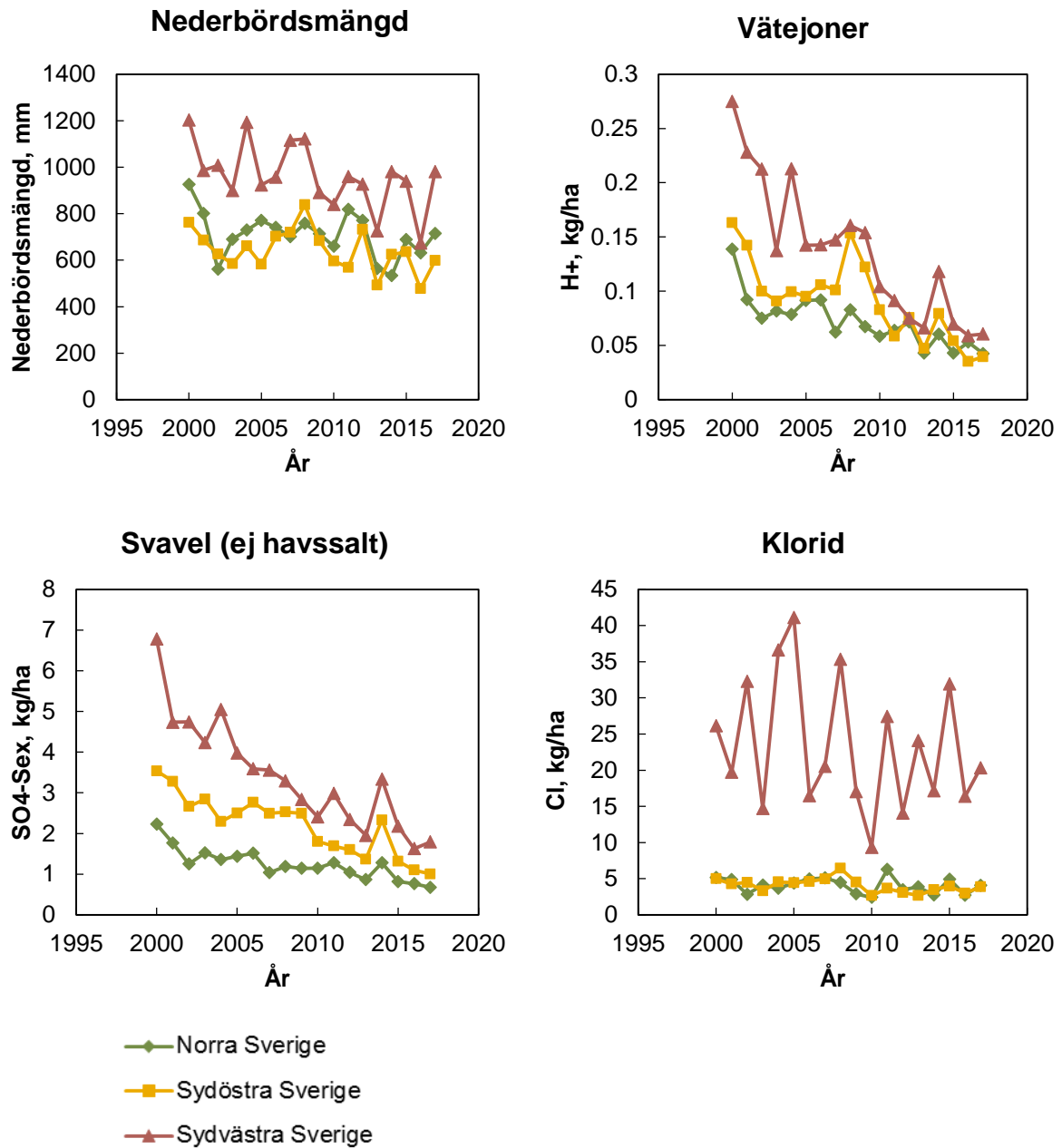
**Figur 2-15** Karta över de mätstationer som ingår i trendanalysen av nederbördsmätningarna, 2005 – 2017, för regionerna norra Sverige, sydöstra Sverige och sydvästra Sverige. Regionindelningen följer den indelning som används i miljömålsuppföljningen av miljömålen: *Bara naturlig försurning* och *Ingen övergödning*. Mätstationerna som ingår är hämtade från Krondroppsnätet-NV, LNKN och IM som ingår i den nationella miljöövervakningen. I figuren ingår även stationer från Krondroppsnätet som inte ingår i den nationella miljöövervakningen. Symbolerna indikerar vilket mätnät som resultaten tillhör.

Årlig nederbördsmängd samt bulkdeposition av klorid, svavel och  $H^+$ , som medelvärden för de tre områdena under perioden 2000-2017, visas i Figur 2-16. För nederbördsmängderna fanns ingen statistiskt säkerställd trend för något av de tre olika områdena. Nederbördsmängderna varierar relativt kraftigt mellan åren vilket gör det svårare att erhålla en statistiskt signifikant förändring. För de enskilda ingående mätstationerna fanns en signifikant minskning av nederbördsmängden vid en av sju mätstationer i norra Sverige, vid två av sju mätstationer i sydöstra Sverige samt vid två av fem mätstationer i sydvästra Sverige. Att nederbördsmängden spelar en stor roll för nedfallet är tydligt för flertalet av analyserade ämnen. Exempelvis var nedfallet relativt lågt för flera ämnen under 2013 då nederbördsmängden var låg, medan nedfallet var högt för flera ämnen under 2014 och 2015 då nederbördsmängderna var högre. Att inte bara nederbördsmängden bestämmer nedfallet syns för 2014, då mycket höga nedfall av vissa ämnen inte endast kan förklaras av nederbördsmängden.

Nedfallet av vätejoner ( $H^+$ ) minskade statistiskt säkerställt vid alla tre områdena i Sverige och vid samtliga enskilda mätstationer som ingått i trendanalysen under perioden 2000-2017. Nedfallet av vätejoner kan användas som ett mått på den försurande belastningen. Minskningen var 55 procent i norra Sverige, 68 procent i sydöstra Sverige och 81 procent i sydvästra Sverige under perioden 2000-2017. Under 2016 och 2017 var nedfallet av vätejoner relativt lågt.

Under 2016 och 2017 var svavelnedfallet i de tre områdena i Sverige mycket lågt. Liksom tidigare år var svavelnedfallet högst i sydvästra Sverige och lägst i norra Sverige. Den statistiska analysen visar att svavelnedfallet (utan bidrag från havssalt) minskade med mellan 57 och 70 procent under perioden 2000-2017 för alla tre områdena i Sverige. Mest minskade svavelnedfallet i sydvästra Sverige och minst i norra Sverige där belastningen också var lägst. Att svavelnedfallet minskat beror främst på minskade utsläpp av svavel. Svavelutsläppen från EU28 har under perioden 2000-2016 minskat med 79 procent. I sydvästra och sydöstra Sverige minskade svavelnedfallet signifikant vid samtliga ingående mätstationer och i norra Sverige vid sex av sju mätstationer. Under 2014 var svavelnedfallet förhållandevis högt i alla tre områdena, vilket till stor del beror på svavelutsläppen från vulkanen Holuhraun på Island. Vulkanutbrottet startade den 31 augusti 2014 och pågick till 27 februari 2015, och det svavel som släpptes ut från vulkanen transporterades vid ett flertal tillfällen med vindarna till Sverige (Hellsten, m.fl. 2017).

Även nedfallet av klorid var lågt under 2016 och 2017 och, liksom för tidigare år, högst i sydvästra Sverige vilket förklaras av att kloridnedfallet speglar påslaget från havssalt. Inte heller när det gäller kloridnedfallet fanns någon statistiskt säkerställd trend för de tre områdena. Nedfallet av klorid varierar relativt kraftigt mellan åren vilket gör det svårare att erhålla en statistiskt signifikant förändring. För de enskilda ingående mätstationerna fanns dock en signifikant minskning av kloridnedfallet vid två av sju mätstationer i norra Sverige, vid två av sju mätstationer i sydöstra Sverige och vid en av fem mätstationer i sydvästra Sverige.



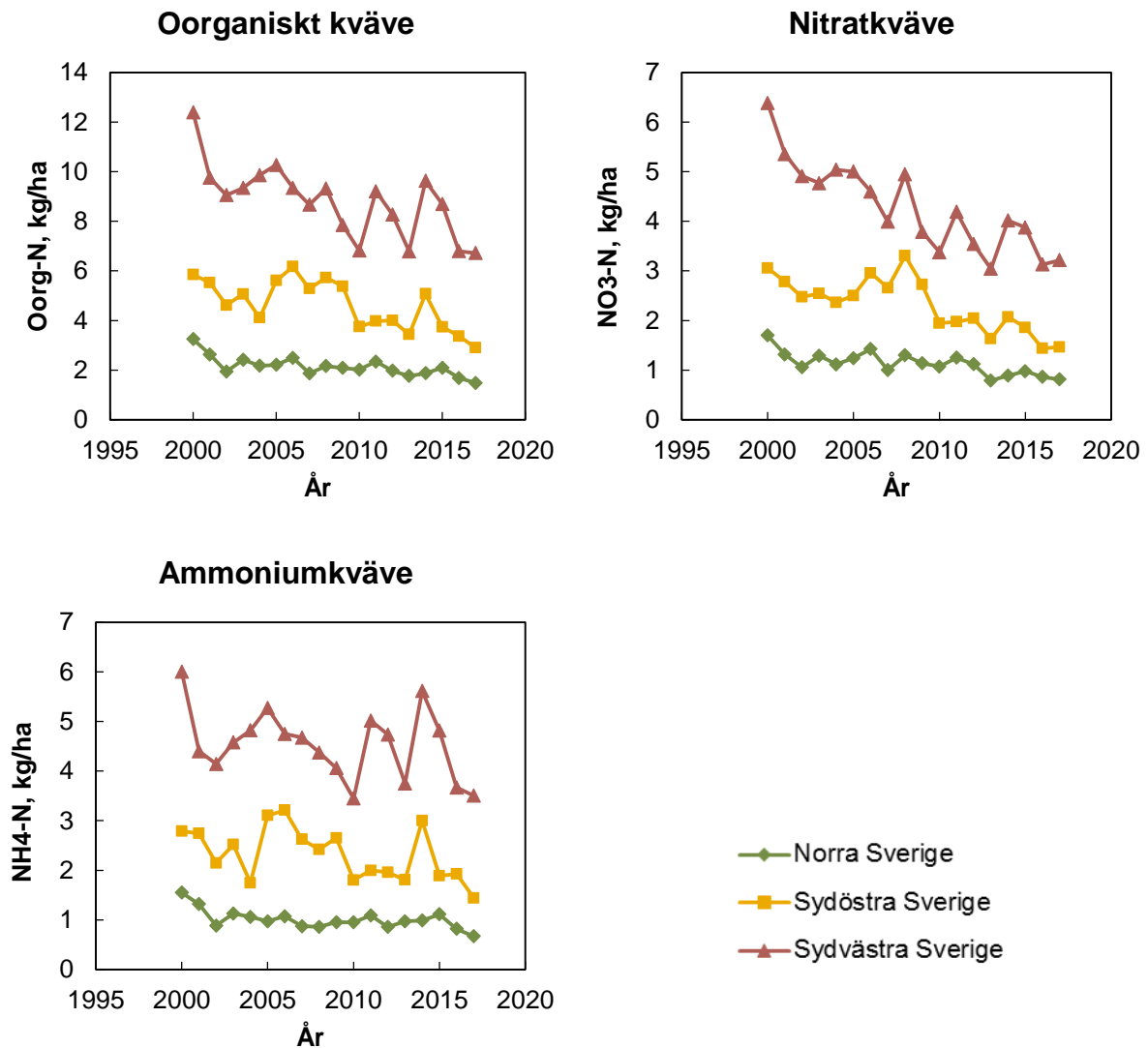
**Figur 2-16** Årsvis (kalenderår) nederbördsmängd samt nedfall (våtdeposition) av klorid, svavel (sulfatsvavel (SO<sub>4</sub>-S)) utan havssaltsbidrag samt H<sup>+</sup> som medelvärde för tre områden över Sverige under 2000-2017. För norra och sydöstra Sverige ingår mätresultat från 7 mätstationer vardera i medelvärdet och i sydvästra Sverige från 5 mätstationer.

Kvävenedfallet med nederbörden (våtdepositionen), både som totalt oorganiskt kväve (nitrat + ammonium) och uppdelat på nitrat- respektive ammoniumkväve, på årsbasis visas som ett medelvärde för de tre olika områdena under perioden 2000-2017 i Figur 2-17. Figuren visar att nedfallet av oorganiskt kväve var lågt under 2016 och 2017, både för nitrat och för ammonium. Liksom tidigare år var kvävenedfallet högst i sydvästra Sverige och lägst i norra Sverige.

Nedfallet av oorganiskt kväve (nitrat- + ammoniumkväve) med nederbörden minskade under perioden 2000-2017 signifikant i alla tre områden i Sverige. Nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden har minskat med 37 procent i norra Sverige, 40 procent i sydöstra Sverige och 32 procent i sydvästra Sverige. För de enskilda ingående mätstationerna i norra Sverige fanns en signifikant minskning av det oorganiska kvävenedfallet vid fyra av sju mätstationer. I sydöstra Sverige minskade det oorganiska kvävenedfallet signifikant vid fyra av sju mätstationer och i sydvästra Sverige vid tre av fem mätstationer.

För enbart ammoniumkväve minskade nedfallet med nederbörden statistiskt säkerställt i norra och sydöstra Sverige, vid sydvästra Sverige fanns ingen statistiskt säkerställd förändring. I sydöstra Sverige minskade ammoniumnedfallet med nederbörden med 36 procent och i norra Sverige med 29 procent. Utsläppen av ammoniak från EU28 har under perioden 2000-2016 minskat med 13 procent. För de enskilda ingående mätstationerna i norra- och sydvästra Sverige fanns en signifikant minskning av ammoniumnedfallet med nederbörden vid fyra av sju mätstationer, medan ingen mätstation i sydvästra Sverige uppvisade ett minskande ammoniumnedfall.

Däremot har nitratnedfallet med nederbörden minskat signifikant i alla tre områdena sedan 2000. I sydvästra och sydöstra Sverige har nitratnedfallet med nederbörden minskat med 45 procent och i norra Sverige med 41 procent. Utsläppen av NO<sub>x</sub> från EU28 har under perioden 2000-2016 minskat med 44 procent. Om man ser till enskilda lokaler har nitratnedfallet med nederbörden minskat i norra Sverige vid fyra av sju mätstationer, i sydöstra Sverige vid fem av sju mätstationer och i sydvästra Sverige har nitratnedfallet minskat vid fyra av fem mätstationer.



**Figur 2-17** Årsvist ( kalenderår) nedfall med nederbörden (våtdeposition) av oorganiskt kväve ( $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ ) samt nitrat- och ammoniumkväve som medelvärde för tre olika områden över Sverige under 2000-2017. För norra och sydöstra Sverige ingår mätresultat från 7 mätstationer vardera i medelvärdet och i sydvästra Sverige från 5 mätstationer.

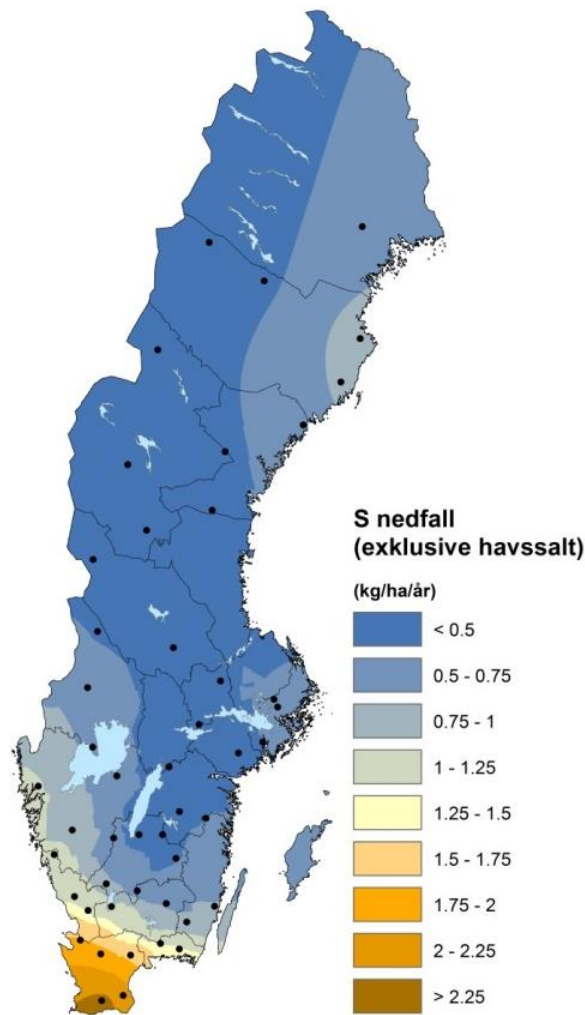
### 2.1.2.3 Totaldeposition av svavel och oorganiskt kväve – mätresultat och trendanalys

Mätningarna av nedfall över öppet fält (s.k. bulkdeposition) inkluderar främst våtdeposition. Mätningar av den totala depositionen av svavel sker inom Krondroppsnetet via mätningar av krondropp. Det totala nedfallet av kväve mäts och beräknas med hjälp av mätningar med strängprovtagare och bulkprovtagare som sker på öppet fält tillsammans med närliggande mätningarna av krondropp. De mätningarna med strängprovtagare och bulkprovtagare som finansieras av Naturvårdsverket inom Programområde Luft är avgörande för att kunna beräkna totalt nedfall av kväve. Detta eftersom kväve intern cirkulerar i träden, vilket gör att krondroppsmätningar ej kan användas "rakt av" för detta ändamål.



Metoden för att beräkna totalt nedfall av kväve finns beskrivet i Karlsson m.fl., 2018. Torrdepositionen av kväve till granskog kan i södra Sverige utgöra 30-50 procent av den totala depositionen.

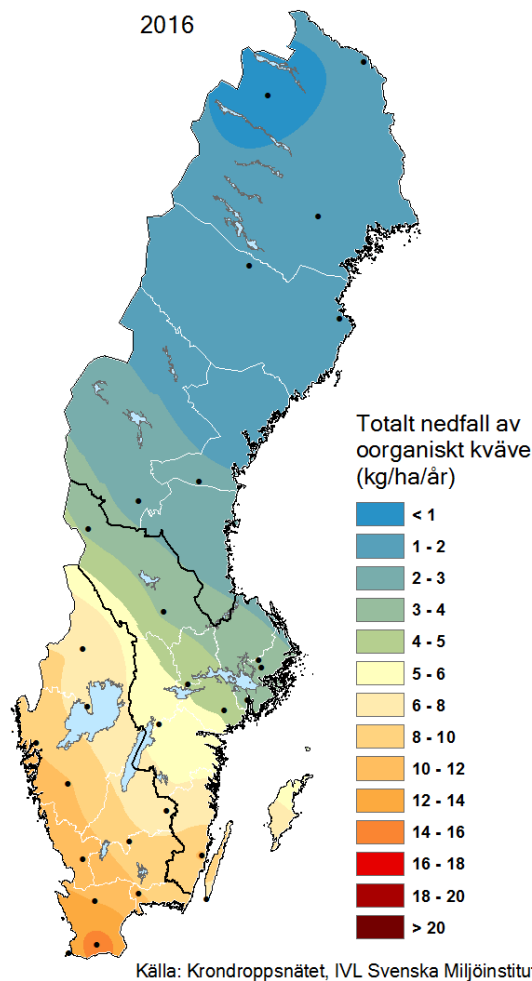
Totalt nedfall av svavel till skog i Sverige beräknas årligen inom Krondroppsnetet och rapporteras per hydrologiskt år, d.v.s. mellan oktober till och med september påföljande år. I Figur 2-18 visas det totala svavelnedfallet till Sverige för det hydrologiska året 2016/17. Gradienten för svavelnedfallet är tydlig med högst svavelnedfall i sydväst och lägst i norr (Figur 2-18). Nedfallet under 2016/17 var dock lågt i hela landet, från under 0,5 kg per hektar i norr till strax över 2 kg i söder. Om man istället ser till kalenderåret 2016 varierade det totala svavelnedfallet (utan havssalt) från 0,1 kg per hektar i norr till 3,6 kg per hektar i söder (Skåne). Om man jämför det uppmätta totala svavelnedfallet under 2016 med det modellerade (MATCH – Sverigesystemet), se Kapitel 10, ser man att det modellerade varierade mellan 0,3 – 5,2 kg S/ha (högst halter vid Norrlandskusten) vilket var något högre än det som uppmättes i krondroppet, som varierade mellan 0,1 – 3,6 kg S/ha. Både mätningarna och modellen visar på att svavelnedfallet under 2016 var lågt.



**Figur 2-18** Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) under det hydrologiska året 2016/17 i krondroppet vid mätstationerna (gran och tall) inom Krondroppsnätet i Sverige. De svarta prickarna indikerar mätstationerna som använts.

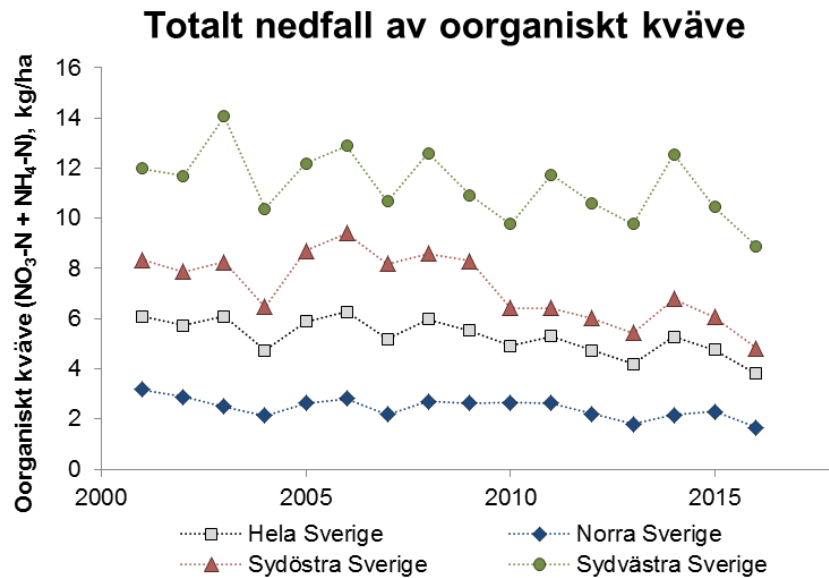
I Figur 2-19 visas det totala kvävenedfallet till barrskog i Sverige för kalenderåret 2016 som tagits fram och rapporterats inom miljömålet *Ingen övergödning* för indikatorn "Nedfall av kväve till barrskog". Precis som för svavel så uppvisar kvävenedfallet en tydlig gradient, från som mest 14-16 kg N/ha/år i sydväst (Skåne) till <1 kg N/ha/år som lägst i nordväst. Om man jämför det uppmätta totala kvävenedfallet under 2016 med det modellerade, se Kapitel 10, ser man att det modellerade (MATCH – Sverigesystemet) varierade mellan 0,4 – 11,4 kg N/ha (summan reducerat och oxiderat kväve), vilket var lägre än det som togs fram från mätningar, som varierade mellan 0,8 – 15,3 kg N/ha. Både mätningarna och modellen visar på att kvävenedfallet under 2016 var lågt.





**Figur 2-19** Totalt oorganiskt kvävenedfall till barrskog i Sverige under 2016. Kartan är framtagen med hjälp av geografisk interpolation (Kriging). Enskilda mätpunkter som interpoleringen baseras på är markerade med svarta punkter på kartan. Data kommer från indikatorn "Nedfall av kväve till barrskog" inom miljömålet *Ingen övergödning*. <http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/>. Metoden finns beskriven i detalj i Karlsson m.fl., 2018.

Kartor för totalt nedfall av kväve har tagits fram för åren 2001-2016. För att få fram tidsserier har årliga medelvärden av alla pixlar (2 km x 2 km) i kartorna beräknats, uppdelat i tre områden. Varje pixel har tilldelats ett värde på nedfallet via en grafisk interpolation (kriging) baserat på de aktiva mätplatserna för varje år. I Figur 2-20 visas områdesvisa tidsserier för det totala kvävenedfallet samt en tidsserie för Sverige som helhet. Som visats tidigare i t.ex. Figur 2-14 och Figur 2-19 finns även för de areaviktade tidsserierna i Figur 2-20 en tydlig gradient, med högst totalt kvävenedfall i det sydvästra området och lägst i norr. Att nedfallet är störst i sydväst beror som tidigare nämnts på stora nederbördsmängder i kombination med en närhet till kontinenten varifrån luftföroreningar förs in med vindarna. Även de svenska utsläppen av NO<sub>x</sub> och NH<sub>3</sub> är högst i de sydvästra delarna av Sverige.



**Figur 2-20** Årligt totalt nedfall av oorganiskt kväve ( $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ ) till barrskog i tre olika geografiska områden över Sverige, norra, sydöstra samt sydvästra Sverige samt till Sverige som helhet. Beräkningarna, som utgår från interpolerade kartor, inkluderar summan av torr- och våtdeposition och baseras på kalenderår. Data för torrdepositionen mellan 2008-2013 är interpolerad. Data kommer från indikatorn "Nedfall av kväve till barrskog" inom miljömålet *Ingen övergödning*. <http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/>. Metoden finns beskriven i detalj i Karlsson m.fl., 2018.

En statistisk analys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-metodik (Mann, 1945) för de areaviktade områdesvisa medelvärden för totalt kvävenedfall som visas i Figur 2-20. Analysen visade att för Sverige som helhet samt för de tre indelade områdena finns en statistiskt signifikant minskning av det totala kvävenedfallet mellan 2001 - 2016. Den totala procentuella minskningen var för Sverige som helhet cirka 27 procent, norra Sverige ca 31 procent, för sydöstra Sverige cirka 37 procent och för sydvästra Sverige cirka 19 procent.

Det minskande kvävenedfallet beror främst på att utsläppen både i Sverige och från källor i Europa har minskat som ett resultat av nationellt och internationellt luftvårdsarbete inom EU och FN:s Luftvårdskonvention (CLRTAP).

Det finns inga motsvarande statistiskt signifikanta förändringar av de areaviktade nederbördsmängderna för Sverige som helhet eller för de tre områdena, vilket visar att minskat kvävenedfall inte beror på minskad nederbörd.

### 3 Partiklar i luft

Tabell 3-1

Parametrar	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , organiskt och elementärt kol i PM <sub>10</sub> (OC och EC), sot som 'black carbon' (BC) och black smoke (BS) (avslutat 2016)
Stationer	Aspvreten, Bredkålen, Råö, och Vavihill/Hallahus
Mätfrekvens	1 timme: PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> och BC. 3 dygn: OC och EC
Kravställare	EU-direktiv och miljökvalitetsnormer samt Luftvårdskonventionen
Lagringsplats	Datavårdskap luft, <a href="http://www.smhi.se/datavardluft">www.smhi.se/datavardluft</a> <a href="http://ebas.nilu.no/default.aspx">http://ebas.nilu.no/default.aspx</a>
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet, ACES Stockholms universitet
Mer information	

Delprogrammet Partiklar i luft följer upp miljökvalitetsmålet *Frisk luft* samt direktiv 2008/50/EG om luftkvalitet och renare luft i Europa. Även önskemål från EMEP tillgodoses.

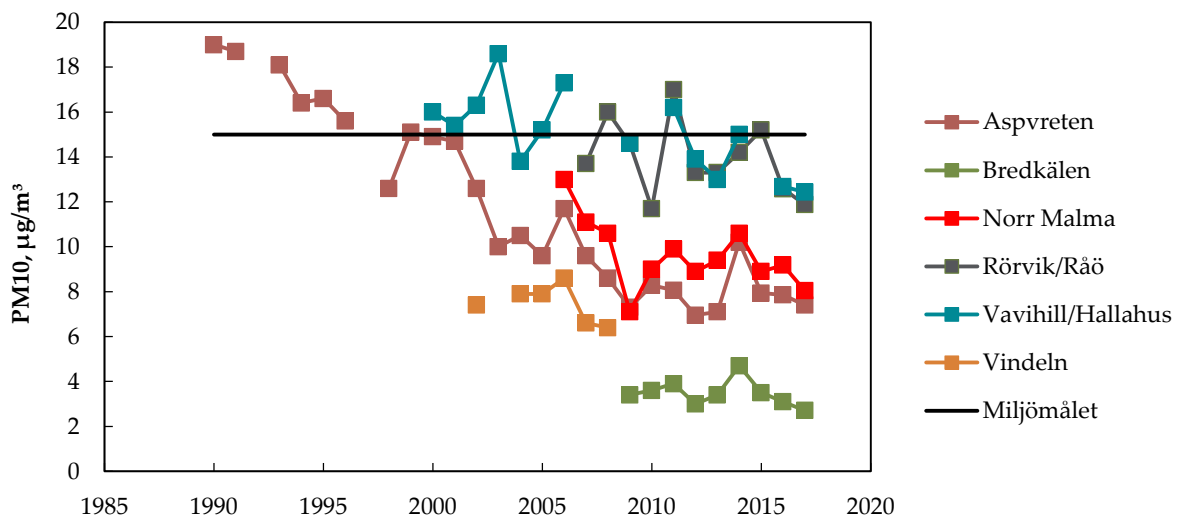
Mätning av partiklar i form av PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> sker idag vid de fyra EMEP-stationerna, där även andra luftkomponenter samt nederbörd övervakas. Vid vissa av dessa stationer sker också mätning av andra partikelmått. För uppföljning av det exponeringsminskningsmål (mått på befolkningens genomsnittliga exponering) som anges i Luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477) övervakas även PM<sub>2.5</sub> i urban bakgrundsluft i tre tätorter i landet.

Stationerna Aspvreten (Norunda from 2018) och Hallahus/Vavihill ingår också i ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure Network). ACTRIS syfte är att samordna avancerade markbaserade mätningar av aerosoler, molnegenskaper och kortlivade gaser vid ett tjugotal stationer runt om i Europa. En del av dessa mätningar ingår i den nationella miljöövervakningen: organiskt och elementärt kol (OC/EC), partiklarnas storleksfördelning, ljusabsorption och ljusspridning.

## 3.1 Resultat Partiklar

### 3.1.1 PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub>

I Figur 3-1 och Figur 3-2 redovisas årsmedelvärdena av PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> i bakgrundsluft vid ett antal bakgrundsstationer. Vid Aspvreten och Hallahus/Vavihill har mätningar av PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> gjorts sedan 1990 resp. 2000. PM<sub>2.5</sub>-mätningarna vid Aspvreten startade 1998. Mätningarna vid Råö och Bredkålen startades 2007 resp. 2009. Mätdata från Stockholms stads mätstation Norr Malma i närheten av Norrtälje med mätstart 2006 redovisas också här. Resultat från Vindeln i Västerbotten, där mätningar gjordes i början av 2000-talet redovisas också.



Figur 3-1 Årsmedelvärden av PM<sub>10</sub> vid svenska bakgrundsstationer 1990 – 2017

Koncentrationen av PM<sub>10</sub> är idag i stort sett lika hög, som miljömålet för årsmedelvärdet på Vavihill/Hallahus och Råö, d.v.s. runt 15 µg/m<sup>3</sup>. På stationerna längre öster- och norrut, Aspvreten, Norr Malma och Bredkålen är koncentrationerna lägre. Vid Aspvreten (Södermanland) och Norr Malma (Uppland) är halten 8 - 10 µg/m<sup>3</sup> och vid Bredkålen ungefär 3 µg/m<sup>3</sup>. Att halterna är högre ju längre söderut man befinner sig i landet beror huvudsakligen på att södra Sverige ligger betydligt närmare de stora källområdena i Centraleuropa.

Vid Råö är bidraget av havssalt till PM<sub>10</sub> större än på de övriga stationerna. Utgående från de mätningar av partikelbundet natrium som görs inom EMEP-programmet, kan mängden havssalt i PM<sub>10</sub> vid de olika stationerna beräknas, se Tabell 3-2.<sup>1</sup> Havssaltbidraget vid Råö är mellan 3 och 5 µg/m<sup>3</sup> större än på de övriga stationerna, vilket förklarar att PM<sub>10</sub>-koncentrationen där är högre än vad som motiveras av dess nordliga läge.

<sup>1</sup> Provtagningen för att bestämma partiklarnas kemiska sammansättning inom EMEP-programmet görs inte på samma sätt som då PM<sub>10</sub> bestäms. Resultaten uppmätta med de två metoderna är därför inte helt jämförbara. Men enligt manualen för mätprogrammet inom EMEP är provtagningsutrustningen utformad för att minimera insamlingen av partiklar större än 10 µm. Därför kan värdena givna i tabellen anses ge ett bra mått på skillnaden mellan de olika stationerna

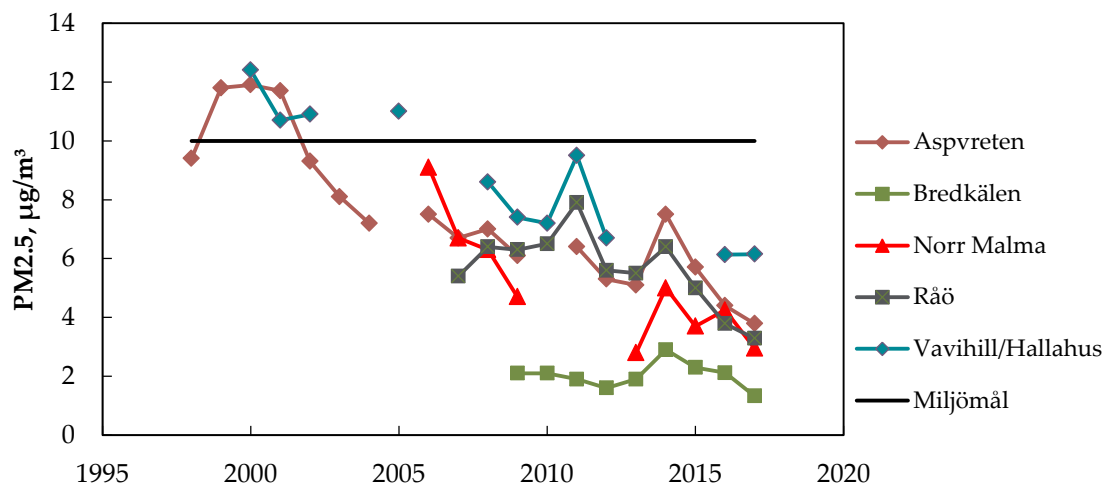
**Tabell 3-2** Beräknad mängd havssalt i PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) på några bakgrundsstationer.

År	Aspvreten	Bredkålen	Vavihill	Råö
2016	0.97	0.31	1.6	5.0
2017	0.89	0.36	1.9	5.6

Vid Aspvreten har årsmedelvärdet av PM<sub>10</sub> sjunkit från nästan 20 µg/m<sup>3</sup> i början av 1990-talet till under 10 i dag. Den största minskningen skede under 1990-talet. Det finns ingen tydlig trend vid Vavihill sedan år 2000. Mätningarna vid Råö och Bredkålen visar på en minskning de senaste åren.

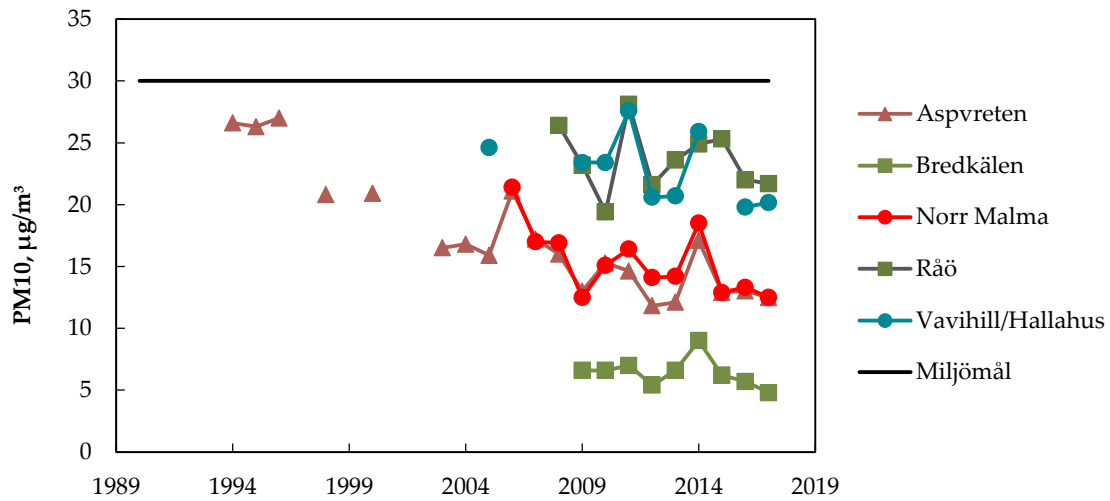
Miljömålet för årsmedelvärdet av PM<sub>2.5</sub> klaras idag vid alla svenska bakgrundsstationer. Vid Vavihill är årsmedelvärdet 6 - 7 µg/m<sup>3</sup> idag, se Figur 3-2. Observera att Vavihill-data fattas för 2014 och 2015. Vid Råö, Norr Malma och Aspvreten är halten lägre, 3 - 4 µg/m<sup>3</sup>. I Bredkålen i Jämtland betydligt lägre, 1 - 2 µg/m<sup>3</sup>.

Trenden för PM<sub>2.5</sub> vid Aspvreten sedan 1998, se Figur 3-2, överensstämmer väl med den för PM<sub>10</sub> på samma station. Årsmedelvärdet har sjunkit från 11 -12 µg/m<sup>3</sup> till ca 4 idag. Det är framförallt under perioden 2000 – 2005 som halten sjunkit, därefter avtog minskningen, men har fortsatt igen under de senaste åren. Trenden på de övriga stationerna överensstämmer väl med den på Aspvreten.



**Figur 3-2** Årsmedelvärden av PM<sub>2.5</sub> vid svenska bakgrundsstationer 1998 – 2017

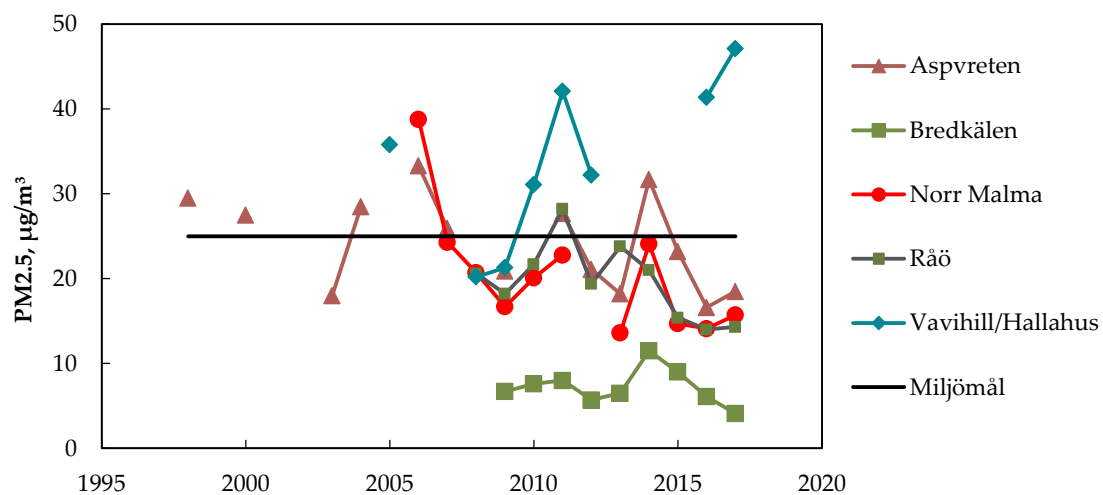
För både PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> finns förutom miljömålet för årsmedelvärde men även ett för dygnsmedelvärde. För PM<sub>10</sub> får dygnsmedelvärdet överstiga 30 µg/m<sup>3</sup> högst 35 gånger per år, vilket motsvarar 90-percentilen. För PM<sub>2.5</sub> är miljömålet att dygnsmedelvärdet får överskrida 25 µg/m<sup>3</sup> högst 3 gånger under ett år. Detta motsvarar 99-percentilen.



Figur 3-3 90-percentil av dygnsmedelvärdena för PM<sub>10</sub> på svenska bakgrundsstationer 1994 - 2017.

Miljömålet för PM<sub>10</sub>-dygnsmedelvärden uppfylls på alla stationer, se Figur 3-3. Vid Vavihill och Råö är 90-percentilen runt 25 µg/m<sup>3</sup> och på stationerna i övriga delar av landet betydligt lägre. Vid Aspvreten kan man också se att 90-percentilen sjunkit från strax över 25 till runt 15 µg/m<sup>3</sup> sen början av 1990-talet. Sen början av 2000-talet finns det ingen tydlig trend på någon station.

Miljömålet för dygnsmedelvärdena av PM<sub>2.5</sub> uppfylls däremot inte alla år, se Figur 3-4. Det är bara vid Bredkålen i Jämtland som målet med säkerhet nås varje år. Miljömålets formulering, högst tre dygn per år över 25 µg/m<sup>3</sup>, gör också målet väldigt känsligt för vädrets variationer mellan åren. Det räcker med ett par tillfällen under året med transport av förorenad luft från kontinenten för att målet ska överskridas i södra Sverige. Antalet sådana tillfällen kan variera betydligt mellan åren beroende på meteorologin. T.ex. var 99-percentilen vid Vavihill långt över miljömålet såväl 2016 som 2017.



Figur 3-4 99-percentil av dygnsvärdena för PM<sub>2.5</sub> på svenska bakgrundsstationer 1998 - 2015

## 3.1.2 Partikelbundna organiska ämnen och sot

### 4.1.1.4. Partikelbundna organiska ämnen

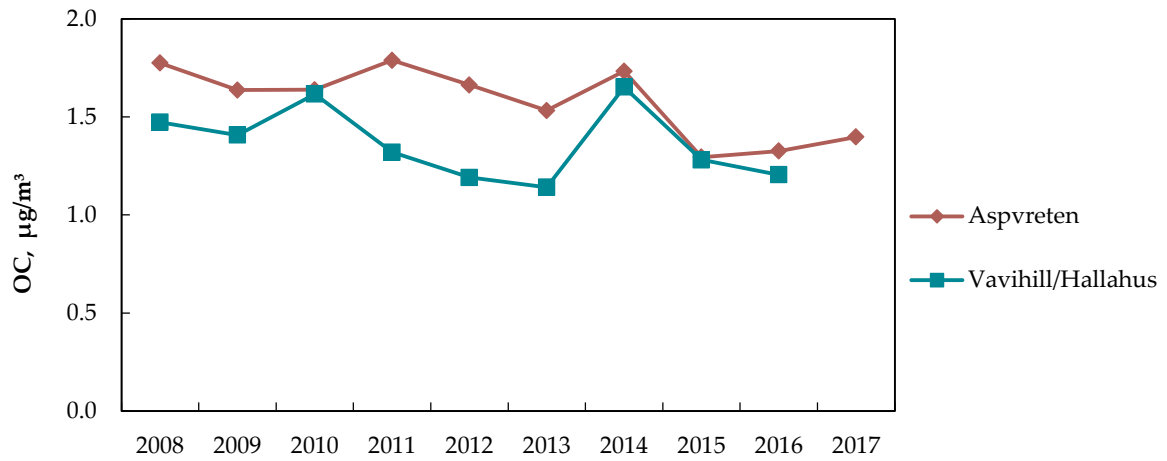
Mätningarna av partikelbundna organiska ämnen startades vid Vavihill och Aspvreten i april 2008. Vid Aspvreten har mätningarna gjorts var tredje dag och periodvis med högre frekvens. Vid Vavihill har mestadels vecko- eller tredygnsprover tagits. Under 2016 harmoniserades mätningarna och har sedan dess gjorts som tredygnsprover

Under de 10 år mätningarna gjorts har årsmedelvärdet varit mellan 1.0 och 1.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se Figur 3-5. Under perioden har halterna varit i stort sett oförändrade, möjligen har halterna på Aspvreten sjunkit något. Observera att data saknas från Vavihill för år 2017.

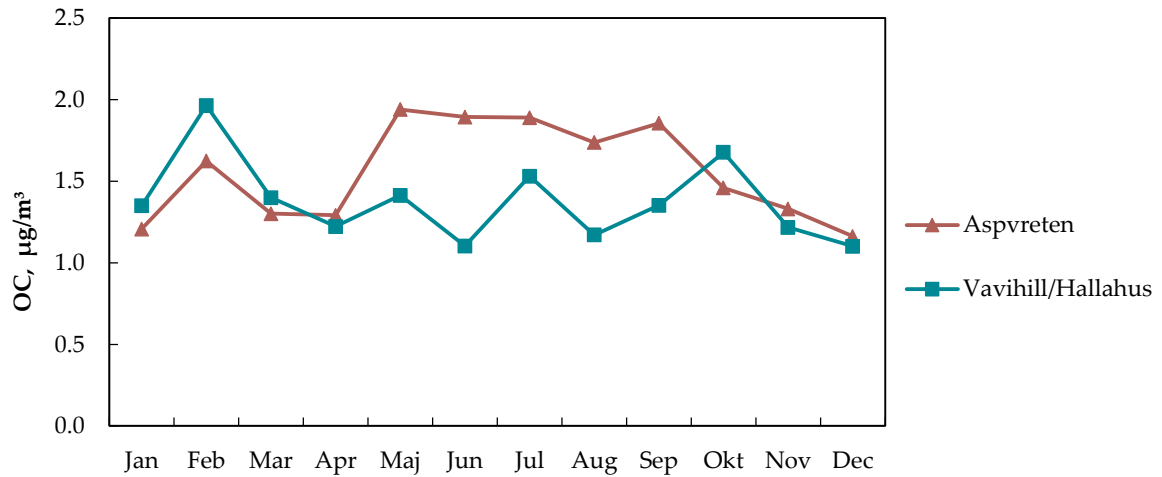
Vid Aspvreten är koncentrationen av OC något högre under sommaren, se Figur 3-6. Detta kan bero på utsläpp från växtligheten. Vid Vavihill syns inte samma variation.

Det organiska kolet, OC, ingår i olika föreningar med andra ämnen, främst syre, kväve och väte. Den totala massan av organiska ämnen (OM) är alltså högre än OC. Andelen kol i dessa föreningar beror på aerosolens ålder, dvs. avstånd från källorna och källornas sammansättning, och på meteorologiska förhållanden under transporten från källorna. I den vetenskapliga litteraturen anges att kolandelen i dessa föreningar kan variera mellan 50 – 70 procent. Det innebär att OM (årsmedelvärdet) vid Aspvreten och Vavihill under 2008 – 2015 var mellan 2 och 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Organiska ämnen, OM, finns mestadels bundet till de små partiklarna, dvs.  $\text{PM}_{2.5}$ . Vid Aspvreten och Vavihill var årsmedelvärdet av  $\text{PM}_{2.5}$  mellan 6 och 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  under 2008 -2015. Det innebär att OM utgör mellan 20 – 50 procent av  $\text{PM}_{2.5}$  vid dessa stationer.



**Figur 3-5** Partikelbundet organisk kol, OC, vid Vavihill/Hallahus och Aspvreten. Årsmedelvärden 2008 till och med 2017



**Figur 3-6** Partikelbundet organisk kol, OC, vid Vavihill/Hallahus och Aspvreten. Årsvariation, månadsmedelvärden

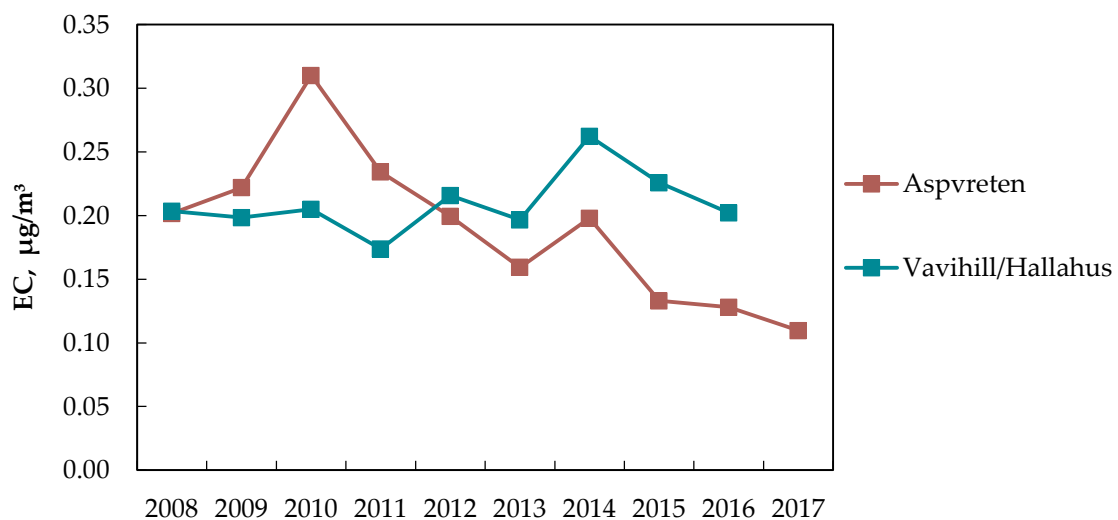


### 3.1.2.1 Sot

Sot bestäms på flera olika sätt, och det mätresultat man erhåller beror på metoden. Beteckningen elementärt kol (EC) används om bestämningen görs med en termo-optisk metod. Om halten bestäms med hjälp av ljusabsorption används beteckningen black carbon (BC), och om halten bestäms med hjälp av ljusreflektion från ett filter med partiklar används ofta uttrycket black smoke (BS). Här presenteras resultat från alla metoder. Om bestämningen görs som EC görs en direkt mätning av partiklarnas kolinnehåll, vid de övriga metoderna måste det uppmätta värdet (ljusabsorption resp. ljusreflektion) räknas om till en koncentration med hjälp av olika antaganden. Bestämningen av sot som EC är därför den metod som ger det mest tillförlitliga värdet på mängden elementärt kol. Vid analysen bestäms samtidigt organiskt kol, OC. Metoden kan dock inte på ett säkert sätt skilja på OC och EC. Vad som anges som OC och EC är därför metodberoende.

Halterna av sot som EC har bestämts sedan april 2008 vid Aspvreten och Vavihill. Liksom för OC är det andelen EC i PM<sub>10</sub>-fraktionen som mäts.

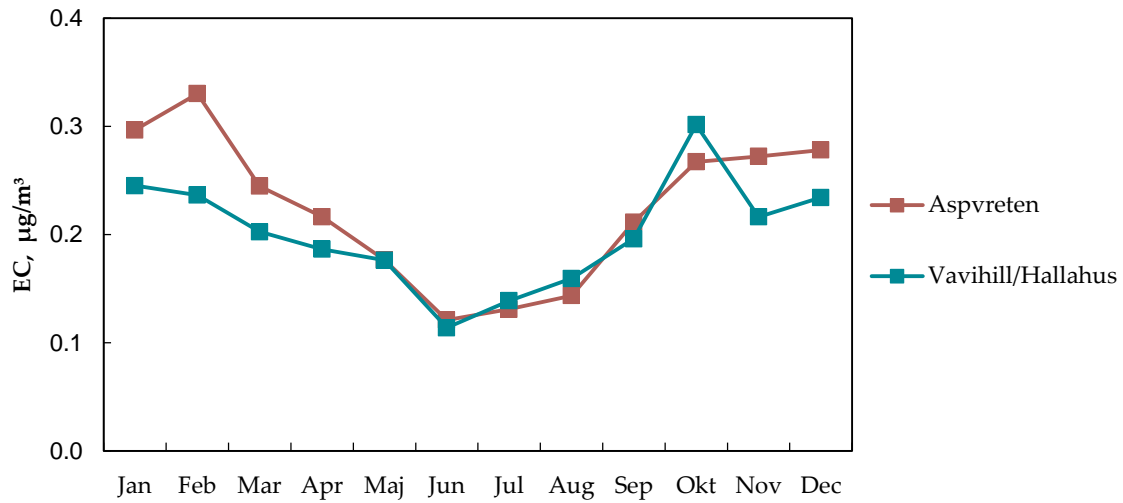
Årsmedelvärdena sedan 2008 har legat i intervallet 0.1 till 0.3 µg/m<sup>3</sup>, se Figur 3-7. Vid Aspvreten har halterna sjunkit, men den tendensen syns inte på Vavihill. Observera att data för 2017 fattas från Vavihill.



**Figur 3-7** Partikelbundet elementärt kol, EC, vid Vavihill och Aspvreten. Årsmedelvärden 2008 – 2017.

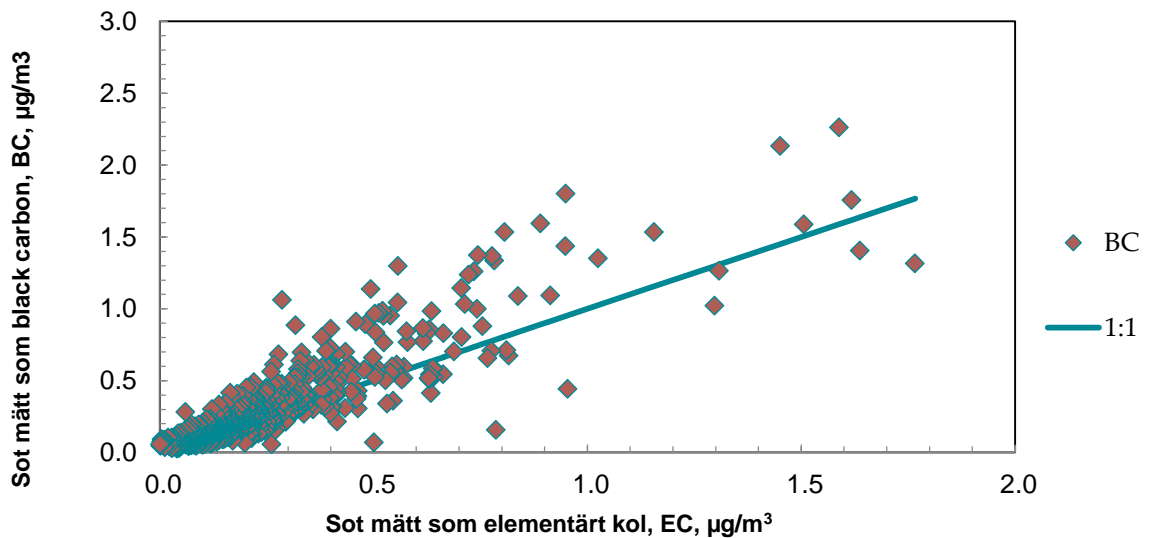
Koncentrationerna av elementärt partikelbundet kol är betydligt högre under vinterhalvåret än under sommaren, se Figur 3-8

Orsaken till de högre halterna under den kalla årstiden är att förbränningen av fossila bränslen och biobränslen den främsta källan till sot ökar i Europa under den kalla årstiden.



**Figur 3-8** Partikelbundet elementärt kol, EC, vid Vavihill och Aspvreten. Årsvariation, månadsmedelvärden.

Vid Aspvreten och Vavihill bestäms också sot som 'black carbon' (BC). Vid Aspvreten visar mätningarna av EC och BC, dvs. två metoder med helt olika principer för att mäta innehållet av sot, god korrelation, se Figur 3-9. Den optiska metoden, BC, ger dock i genomsnitt något högre värden än metoden för EC. Det visas i figuren genom att de flesta punkterna ligger ovanför den heldragna 1:1-linjen

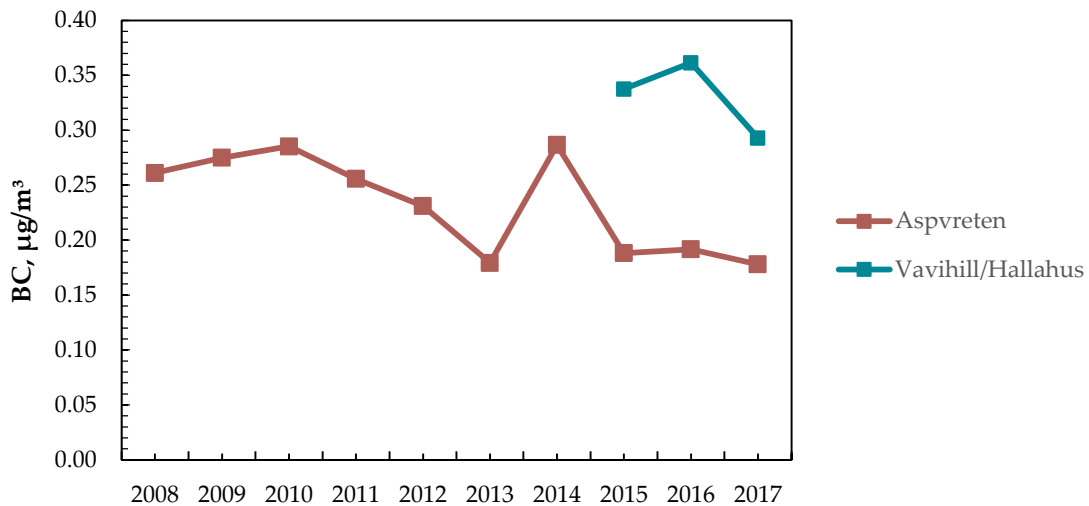


**Figur 3-9** Sot mätt som BC plottat mot sot mätt som EC. Dygnsdata från Aspvreten.

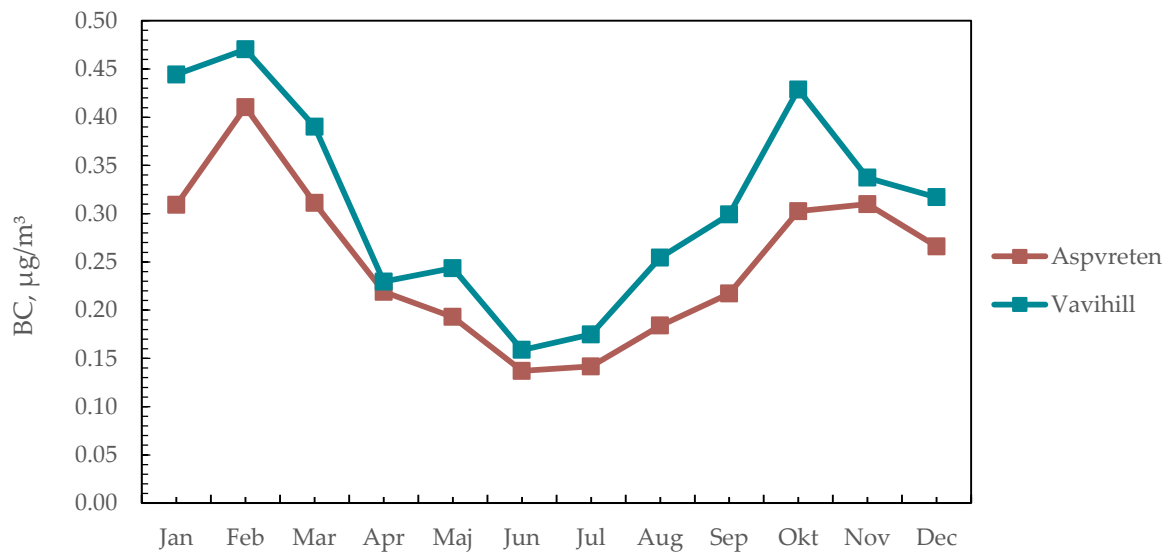
Mätningarna av sot som BC vid Aspvreten och Vavihill startade under första halvåret 2008. I Figur 3-10 visas årsmedelvärdena sedan mätningarnas start. För Vavihill saknas en hel del data, varför data endast visas för år 2015 – 2017.

Sothalten vid Aspvreten se Figur 3-10, mätt som BC, har i linje med mätningarna av sot som EC, Figur 3-7, sjunkit något sedan 2008. Vid Vavihill var halterna av EC högre än på Aspvreten. Orsaken till att halterna av BC, liksom för nästan alla andra luftföroreningsparametrar, är högre på Vavihill är att Vavihill ligger närmare utsläppskällorna i Centraleuropa.

Precis som för EC är BC högre under vinterhalvåret än under sommarhalvåret, se Figur 3-11.



Figur 3-10 Årsmedelvärden av BC vid Aspvreten och Vavihill/Hallahus 2008 - 2015

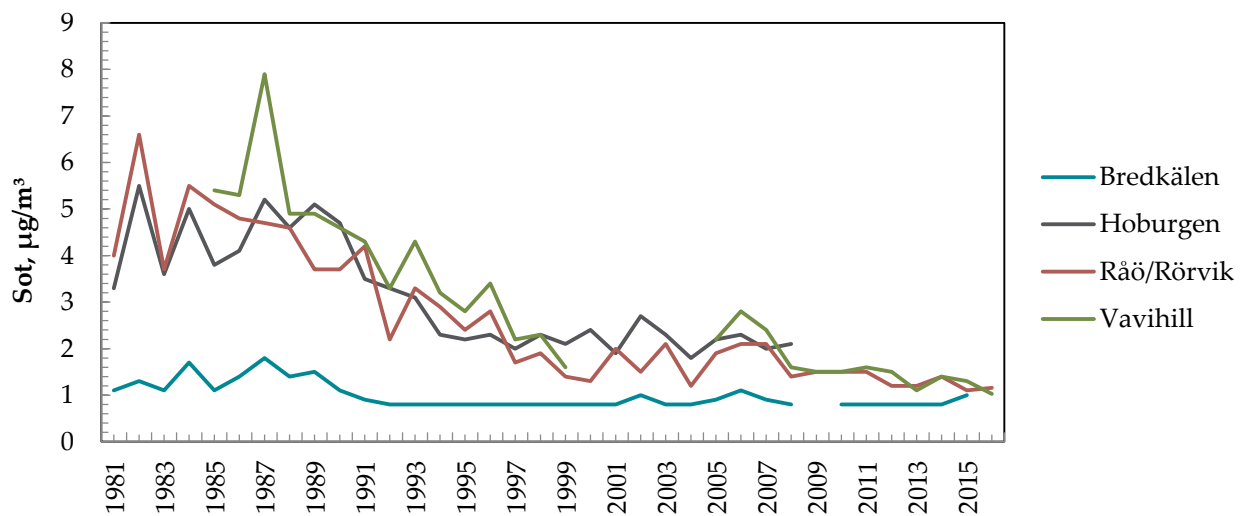


Figur 3-11 Årsvariation av BC på Aspvreten och Vavihill

Vid många av bakgrundstationerna (och i städer) har sot bestämts som 'black smoke' (BS), se ovan, under många år. Denna metod utvecklades under 1960-talet och fungerade bra så länge halterna av svarta partiklar i luften var hög. Idag, och framför allt i den regionala bakgrunden, är metoden alltför okänslig och sot-mätningarna med denna metod avslutades 2016. Under 2015 var t.ex. halterna under detektionsgränsen för metoden under runt 350 av årets dagar vid den nordligaste belägna stationen Bredkålen och vid Vavihill i Skåne var halterna, där halterna är högst, över detektionsgränsen under bara 1/6 av årets dagar. Mätningarna av 'black smoke', har nu upphört.

Årsmedelvärdena har sjunkit kraftigt sedan början av 1980-talet, se Figur 3-12. Halten sot som BS har vid de sydliga stationerna Vavihill, Rörvik/Råö och Hoburgen minskat från 4 – 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  under 1980-talet till under 1,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  under senare år. Minskningen var störst från mitten av 80-talet till slutet av 1990-talet. Därefter har halterna inte minskat lika fort.

Vid Bredkålen syns inte någon minskning i samma omfattning. Under de allra första åren av perioden tycks en viss minskning ha skett, men sedan är halterna i stort sett oförändrade. En orsak till detta kan vara att haltnivåerna ligger i närheten av metodens detektionsgräns, vilket gör det svårare att upptäcka eventuella förändringar. Detta gäller också för stationerna i söder sedan slutet av 1990-talet.



Figur 3-12 Årsmedelvärden av sot uppmätt som 'black smoke', vid svenska bakgrundsstationer 1981 - 2016

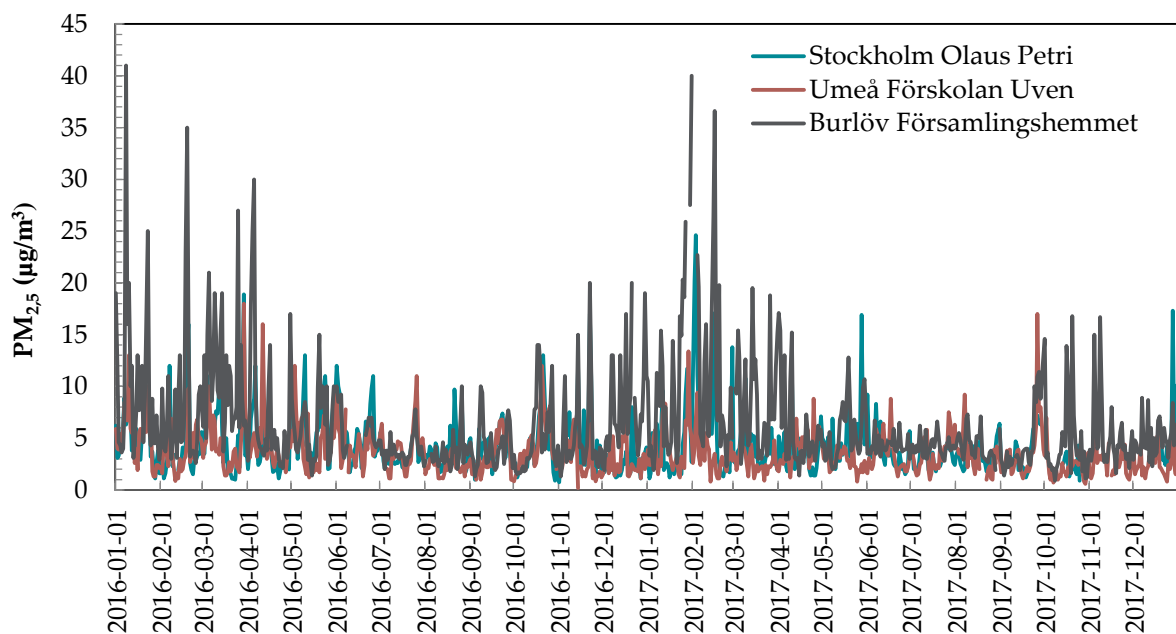
## 4.1.2. PM<sub>2.5</sub> tätort

I Luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477) anges, i syfte att skydda människors hälsa, ett exponeringsminskningsmål för PM<sub>2.5</sub>. Måttet på befolkningens genomsnittliga exponering baseras på det sammanlagda medelvärdet för koncentrationen av PM<sub>2.5</sub> i urban bakgrundsluft i tre tätorter i landet; Burlöv (strax utanför Malmö), Umeå och Stockholm. Indikatorn beräknas som ett glidande tre-årsmedelvärde för koncentrationen av PM<sub>2.5</sub> i samtliga dessa mätpunkter. Detta utgör underlaget för att fastställa målet (i procent) för en minskad exponering, där medelhalten för åren 2009-2011 ska jämföras med motsvarande värde för åren 2018-2020. För perioden 2009-2011 var den genomsnittliga exponeringsnivån 6,6 µg/m<sup>3</sup>.

Under 2014 flyttades två av mätstationerna, i Burlöv (140709) respektive Umeå (141219), på grund av att de byggnader där instrumenten var placerade skulle rivras. I båda fallen ligger den nya lokaliseringen i närheten av den tidigare mätplatsen och bedöms vara jämförbar beträffande föroreningsbelastning.

I Figur 3-13 redovisas dygnsmedelhalter för respektive mätstation under 2016 och 2017.

PM<sub>2.5</sub> är generellt lägst under sommarhalvåret. Vintertid är haltnivån, framför allt i södra Sverige, betydligt högre vilket delvis beror på en ökad förbränning och partiklar som förs in med vindarna från övriga Europa. Liksom i den regionala bakgrundsluften avtar den genomsnittliga partikelbelastningen i urban bakgrund norrut i landet. Miljömålet (högst 3 dygn > 25 µg/m<sup>3</sup>) överskreds i Burlöv både 2016 (4 dygn) och 2017 (5 dygn). I Stockholm och Umeå noterades inga dygnsmedelvärden över 25 µg/m<sup>3</sup> under dessa två år.

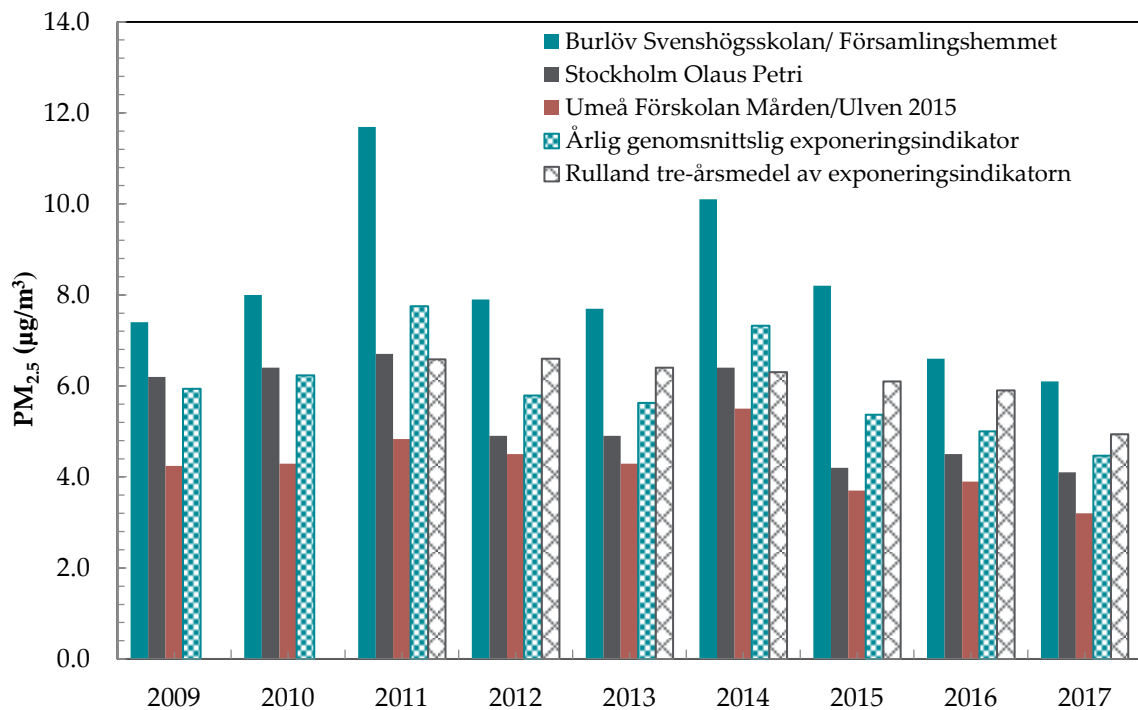


**Figur 3-13** Dygnsmedelhalter av PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) under 2016 och 2017.

I Figur 3-14 redovisas årsmedelhalter av PM<sub>2.5</sub> under 2009-2017. För att kunna beräkna exponeringsindikatorn har, för de år då databortfallet varit >25 procent (Stockholm 2009, 2013 och Umeå 2009), har en viss komplettering gjorts med PM<sub>2.5</sub>-data från andra mätningar i urban bakgrundsluft i dessa städer.

Av Figuren framgår att det generellt finns en tendens till minskning av årsmedelhalten med undantag av 2014, då halterna var tydligt förhöjda för samtliga stationer. Halterna i Stockholm och Umeå var under 2016 och 2017 i samma nivå som 2015. I Burlöv sys en tydlig minskning de tre senaste åren (2015-2017).

Resultatet av indikatorberäkningen ger (som rullande tre-årsmedelvärde) en genomsnittlig exponering för åren 2015-2017 på 4,9 µg/m<sup>3</sup>, ett lägre värde än de tidigare perioderna som går att beräkna (från 2011 och framåt). Denna indikatorhalt innebär att man i Sverige redan uppnått det krav som ställs för en acceptabel exponeringsnivå (<8,5 µg/m<sup>3</sup>) med avseende på PM<sub>2.5</sub> år 2020, förutsatt att nivån inte ökar.



**Figur 3-14** Årsmedelhalter av PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) i urban bakgrundsluft under 2009 – 2017 samt årligt genomsnitt och rullande tre-årsmedelvärde av exponeringsindikatorn. *Observera att viss komplettering gjorts av mätdata för Stockholm (2009, 2013) respektive Umeå (2009).*

## 4 Marknära ozon

**Tabell 4-1** Marknära ozon

Parametrar	Ozon (O <sub>3</sub> )
Stationer	<p>Timvisa mätningar, bakgrundsstationer: Vavihill; Råö; Norra Kvill; Grimsö; Aspvreten; Bredkålen; Vindeln; Esrange; Östad; Asa;</p> <p>Timvisa mätningar förortsstationer: Staffanstorp; Rödeby; Ytterby; Djursholm</p> <p>Månadsvisa mätningar: Djursvallen, nedre; Docksta; Granan; Jädraås; Rickleå; Sjöängen; Sannen; Hoburgen</p>
Mätfrekvens	Timme respektive månad
Kravställare	EU - direktiv, Miljökvalitetsnormer, Luftvårdskonventionen
Lagringsplats	Datavärdskap luft <a href="http://www.smhi.se/datavardluft">www.smhi.se/datavardluft</a> , <a href="http://www.ivl.se/ozon">www.ivl.se/ozon</a>
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet, ACES Stockholms universitet
Mer information	

Syftet med delprogrammet är att följa upp de halter av marknära ozon som är reglerade enligt svensk och internationell lagstiftning. Delprogrammet följer upp miljökvalitetsmålet *Frisk luft*.

Även övervakningen av marknära ozon sker inom ramen för EMEP-programmet. Mätningarna sker på timbasis med kontinuerligt registrerande UV-absorptionsinstrument vid totalt 14 stationer, varav IVL driver 13 och ACES vid Stockholms universitet en av dessa.

Enligt gällande EU-direktiv och svenska miljökvalitetsnormer skall allmänheten informeras om halterna överskrider vissa nivåer. IVL har ansvar för detta varningssystem, och vid tillfällen då ozonhalten överstiger 180 µg/m<sup>3</sup> i mer än en timme skickar IVL ut information till lokalradiostationerna. Hemsidan ([www.ivl.se/ozon](http://www.ivl.se/ozon)) uppdateras också varje timme med aktuella halter vid samtliga mätstationer i bakgrundsluft samt några mätstationer i tätorter i södra Sverige.

Därutöver sker mätning av ozon på månadsbasis vid de nio stationer som mäter luft inom LNKN (avsnitt, 2.1.1). EU:s luftkvalitetsdirektiv 2008/50/EG kräver, förutom ozon, även mätningar av ozonbildande ämnen såsom kväveoxider och ett antal VOC. Kvävedioxid (NO<sub>2</sub>) mäts på månadsbasis vid de fyra ozonstationer där dygnsprovtagning av NO<sub>2</sub> inte sker. Cirka 30 olika VOC mäts sedan 2004 i luft inom miljöövervakningsprogrammet. Många VOC spelar en viktig roll i fotokemiska processer i den lägre delen av atmosfären, där de bidrar till bildningen av ozon och andra oxidanter. De VOC som ingår i mätprogrammet är, med undantag av formaldehyd och totalkolväte, de ämnen som man inom direktivet rekommenderar mätningar av.

Några VOC som har visats, eller misstänks vara cancerogena, ingår också bland de VOC som mäts. Exempel är eten, propen, 1,3-butadien och bensen (IMM-rapport, 1994 och 2004).

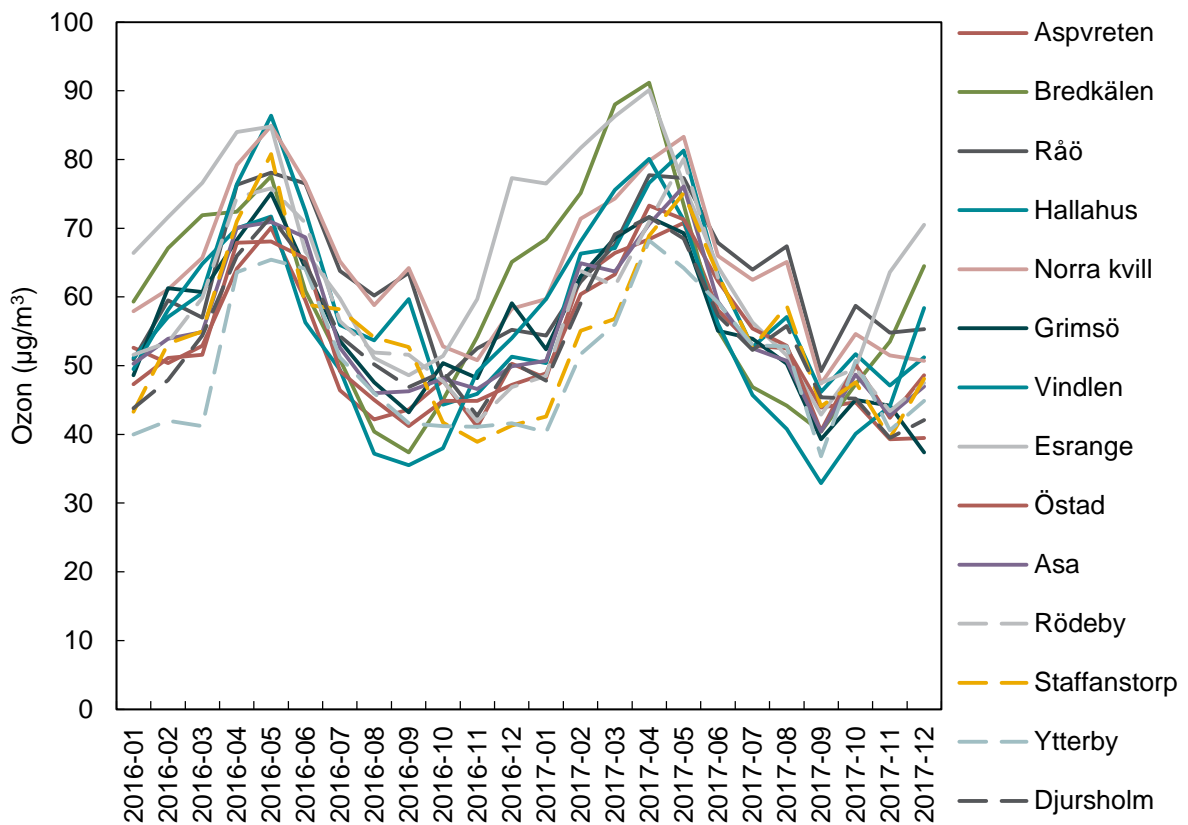
Eftersom den långväga transporten spelar en viktig roll när det gäller ozon och de mer stabila ozonbildande flyktiga kolvätena har även diffusiva veckomätningar av bensen, toluen, etylbensen och xylener (BTEX) utförts vid Råö sedan 2009.

## 4.1 Resultat Marknära ozon

Månadsmedelvärden under 2016 och 2017 för de fjorton platser där marknära ozon mäts på timbasis redovisas i Figur 4-1. Generellt observeras de högsta medelhalterna under våren (mars-maj), och något tidigare i norra Sverige än i de södra delarna av landet.

Den högsta månadsmedelhalt mellan 2016-2017 uppmättes i Bredkålen i april 2017, då var månadsmedelhalten 91  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Samma månad och år hade även Esrange en medelhalt på 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vid övriga stationer låg halterna som månadsmedelvärde under 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Miljömålet för timmedelvärdet, 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , överskreds kraftigt vid samtliga mätstationer. Uppmätta halter i förorterna visade generellt på något lägre nivåer än i den regionala bakgrunden i södra Sverige, vilket delvis beror på att ozon bryts ner av kväveoxid från fordonsavgaser. Informationsnivån (180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  som enskilt timmedelvärde) överskreds inte någon gång under 2016 och 2017. Det högsta timmedelvärdet (178  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) uppmättes 2016 i Asa.

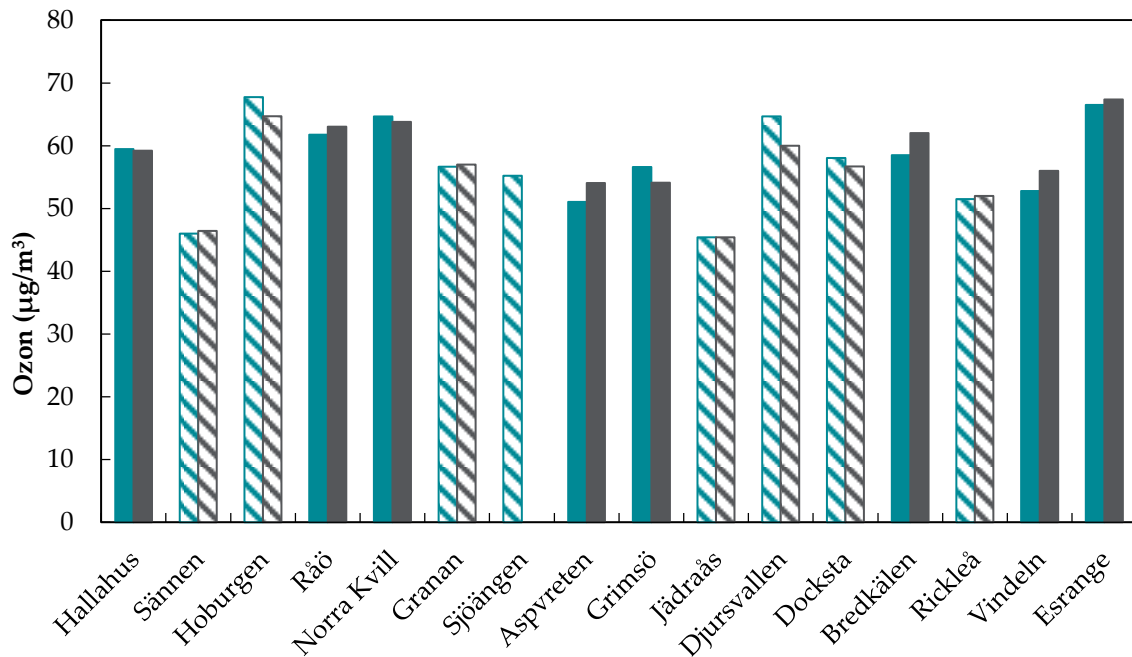


**Figur 4-1** Månadsmedelhalter, baserat på mätningar på timbasis, vid de svenska bakgrundsstationerna under 2016-2017. De heldragna linjerna avser mätningar i regional bakgrund och de streckade linjerna avser mätningar i förorter.



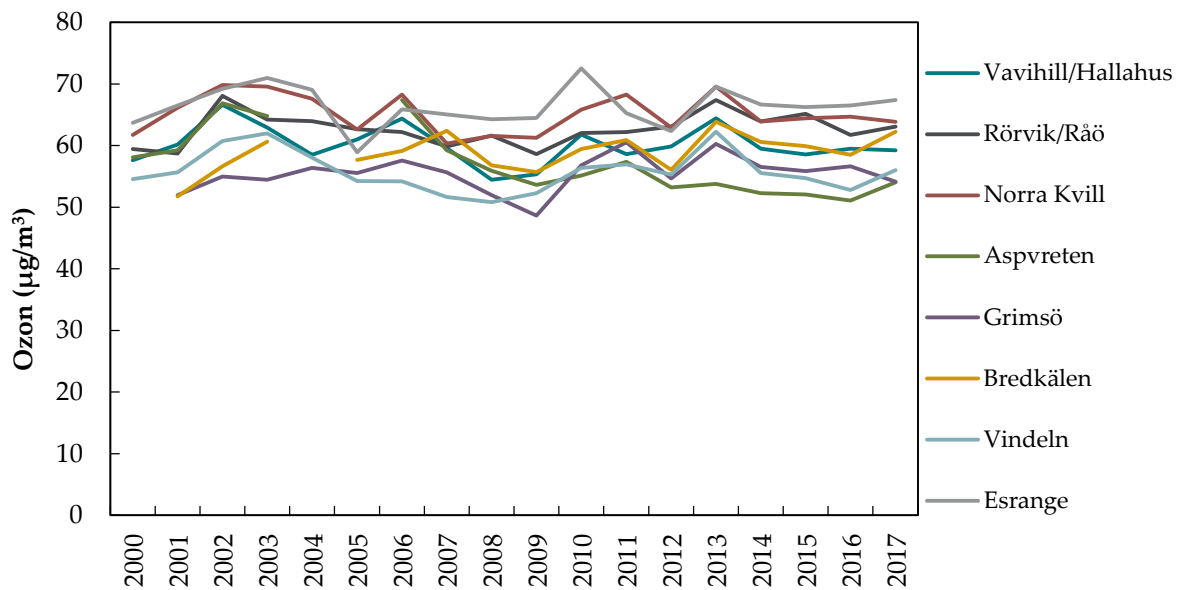
I Figur 4-2 visas belastningen av ozon i form av årsmedelhalter i bakgrundsluft under 2016 och 2017 vid samtliga 16 mätstationer som ingår i den nationella övervakningen och för vilka årsmedelvärden kan beräknas. Halthnivån varierade mellan 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Jädraås, 2016 och 2017) och 68  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Hoburgen, 2016).

Skillnaden mellan årsmedelhalterna 2016 och 2017 var mycket liten. Till skillnad från många andra luftföroreningskomponenter finns det för årsmedelvärdet ingen tydlig geografisk haltgradient över landet.



**Figur 4-2** Årsmedelhalter av ozon i svensk bakgrundsluft under 2016-2017 från mätningar på både tim- och månadsbas. De blåa stolparna avser mätningar under 2016 och de gråa stolparna avser mätningar 2017. De streckade staplarna avser mätningar med diffusionsprovtagare.

Det finns heller ingen tydlig trend i medelbelastningen av ozon på årsbas under det senaste decenniet, utan det är framför allt meteorologin som styr mellanårsvariationen. I Figur 4-3 redovisas utvecklingen avseende årsmedelhalten under perioden 2000-2017 vid de åtta EMEP-stationer för vilka det finns långa mätserier. Av figuren framgår också att Esrange och Norra Kvill, med undantag för några år i mitten av 2000-talet, genomgående uppvisat de högsta halthnivåerna.

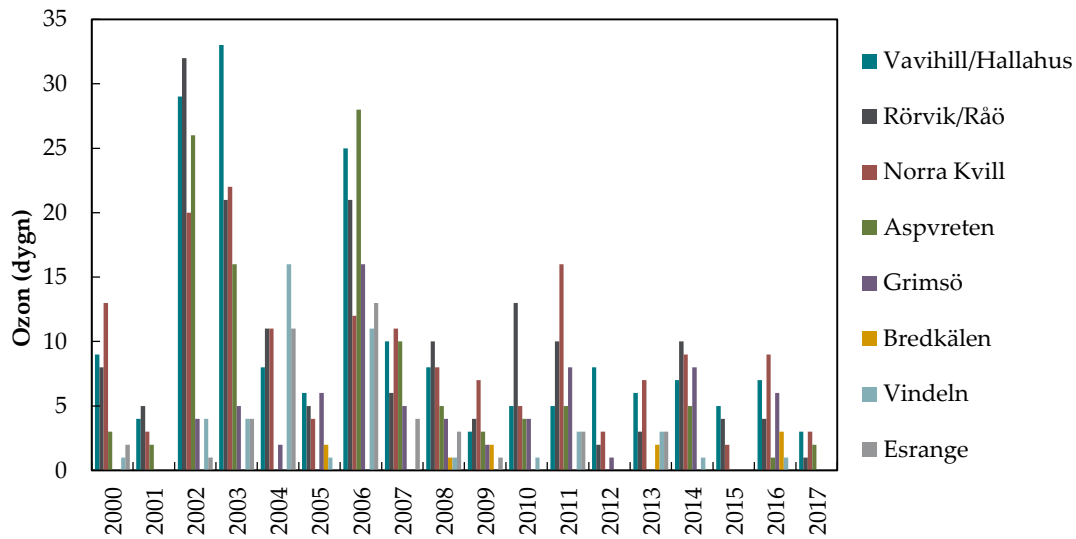


Figur 4-3 Årsmedelhalterna av ozon mellan åren 2000 och 2017.

Antalet dygn då det glidande 8-timmarsmedelvärdet är högre än  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  varierar också, främst i förhållande till meteorologin, se Figur 4-4.

Här syns dock en tydlig geografisk gradient, där antalet höghaltstillfällen är betydligt fler i södra än i norra Sverige. Vid högtryckstillfällen, då kraftigt förorenad luft från centrala Europa förs in över Sverige med svaga vindar, kan det uppstå så kallade ozonepisoder. Under dessa episoder kan ozonhalten vara två-tre gånger högre än normalt.

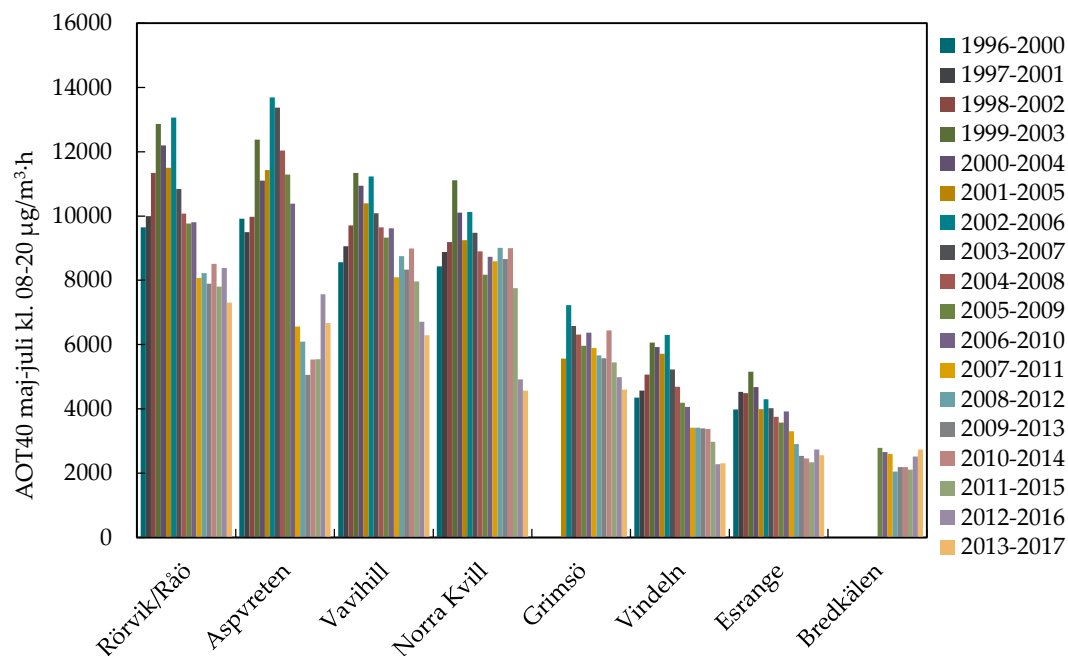
Nuvarande MKN för människors hälsa överskrids varje år vid flertalet av stationerna. Antalet dygn med förhöjda halter har dock varit lägre under de senaste åren jämfört med under några av de tidigare åren under 2000-talet. Den högsta frekvensen noterades under 2016 i Norra Kvill (9 dygn) och under 2017 i Hallahus och Norra Kvill (3 dygn). Miljömålets precisering överskrids kraftigt i regional bakgrund i hela landet.



**Figur 4-4** Antalet dygn med glidande 8-timmarsmedelvärden > 120 µg ozon/m<sup>3</sup> mellan åren 2000 och 2017.

Samma mönster som för miljö kvalitetsnormen till skydd för människors hälsa, en högre ozonbelastning i södra Sverige, ses även för normen för växtlighet, AOT40, Figur 4-5. Den belastningsnivå (18 000 µg/m<sup>3</sup>·h som 5-årsmedelvärde) som skall eftersträvas från 2010 har aldrig överskridits.

I södra Sverige låg nivån för perioden 2013-2017 som högst kring 7 300 µg/m<sup>3</sup>·h, medan belastningen i norra och mellersta Sverige låg lägre än nivån för det värde (6 000 µg/m<sup>3</sup>·h) som gäller från 2020.



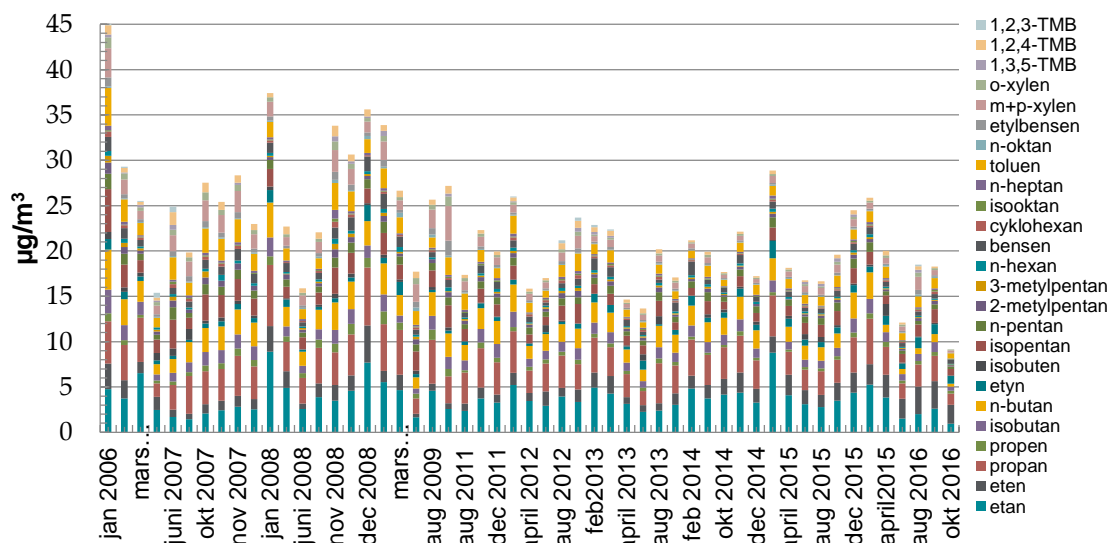
**Figur 4-5** AOT40 (µg/m<sup>3</sup>·h) för ozon mellan maj – juli, kl. 08-20, som rullande 5-årsmedelvärden mellan åren 2000 och 2017 (som slutår i medelvärdesberäkningen).

## 4.2 Resultat Volatila organiska ämnen (VOC)

Från 2004-2007 utfördes de timbaserade VOC-mätningarna i urban bakgrundsluft i Göteborg huvudsakligen under vinterhalvåret, vilket från 2008 ändrades till sex mätveckor spridda över året. Redan 2006 flyttades dock en av mätperioderna till juni månad med tanke på att det är under sommarsäsongen som de högsta ozonhalterna vanligtvis uppmäts. På grund av instrumentproblem utfördes inga timbaserade mätningar av VOC under 2017. Mätningarna återstartades först inför 2018, när de nya instrumenten var på plats.

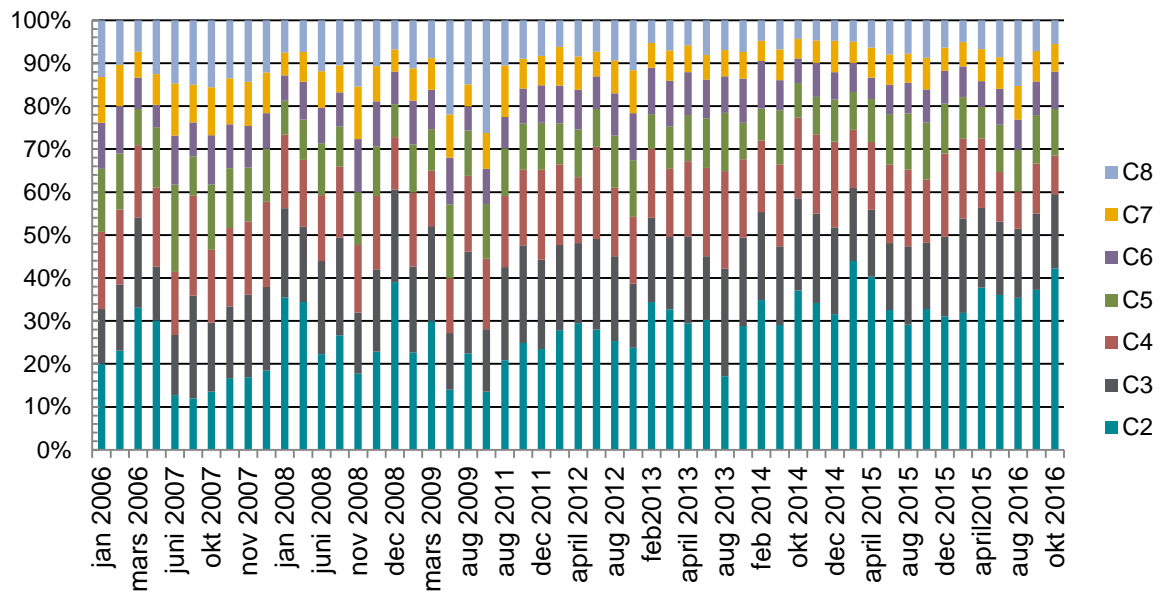
De summerade medelhalterna av uppmätta VOC för hela mätperiodens respektive månad finns redovisade i Figur 4-6. För de flesta månaderna baserar sig medelhalterna på timmedelvärden uppmätta under en vecka av månaden.

VOC-halterna är för de flesta VOC högst under november till mars, d.v.s. under den kallaste tiden av året, medan de lägsta halterna återfinns under juni till oktober. Orsakerna till denna fördelning under året kan sannolikt vara att utsläppen från olika typer av förbränning ofta är större under den kallare tiden av året, men även att blandningsskiktet i den lägre delen av atmosfären är lägre under vintermånaderna.



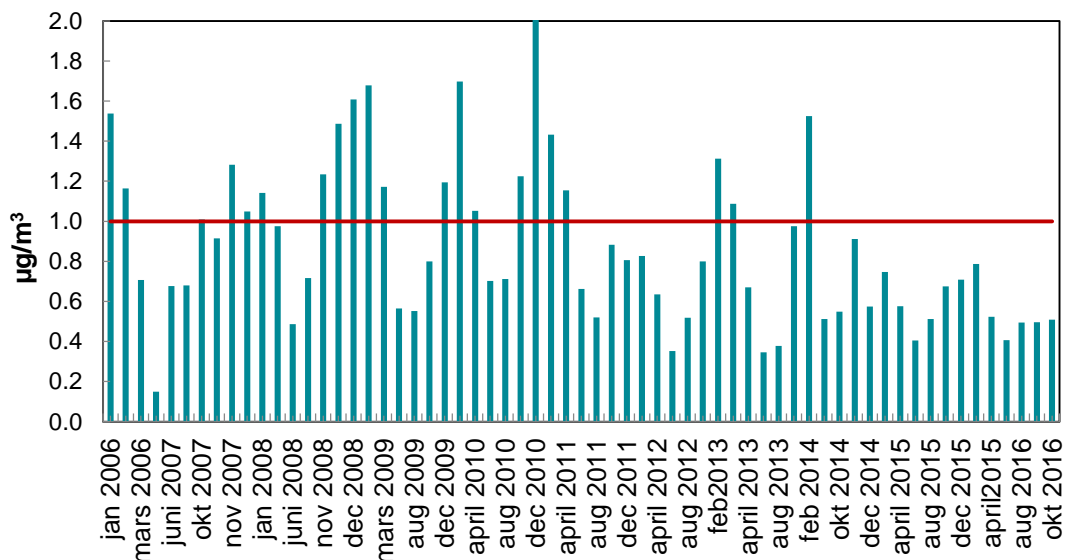
**Figur 4-6** Uppmätta timmedelvärden av VOC i urban bakgrundsluft i Göteborg aggregerade, som veckovisa periodmedelvärden. Halterna är angivna i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Under november 2007, december 2008, februari 2013 och augusti 2016 utfördes två veckolånga mätperioder under respektive månad och resultaten från dessa visas med samma namn i tabellen.

Fördelningen av VOC som veckomedel över rapporteringsgräns, det vill säga den lägsta haltnivå som kan bestämmas kvantitativt med tillfredsställande säkerhet, baserat på antal kolatomer visas i Figur 4-7. Ingen årstidsspecifik variation av fördelningen kan utläsas ur figuren, de mest volatila ämnena står för den största andelen under alla årstider. Andelen uppmätta VOC med 2-3 kolatomer (C2-3) är cirka 30-50 procent och andelen C4-kolväten 15-20 procent, medan C5-, C6- och C7-kolvätena står för cirka 10 procent vardera av summan av de kolväten som uppmäts över rapporteringsgräns.



**Figur 4-7** Fördelning av uppmätta VOC i urban bakgrundsluft i Göteborg baserat på antal kolatomer för veckomedelhalter 2006-2016.

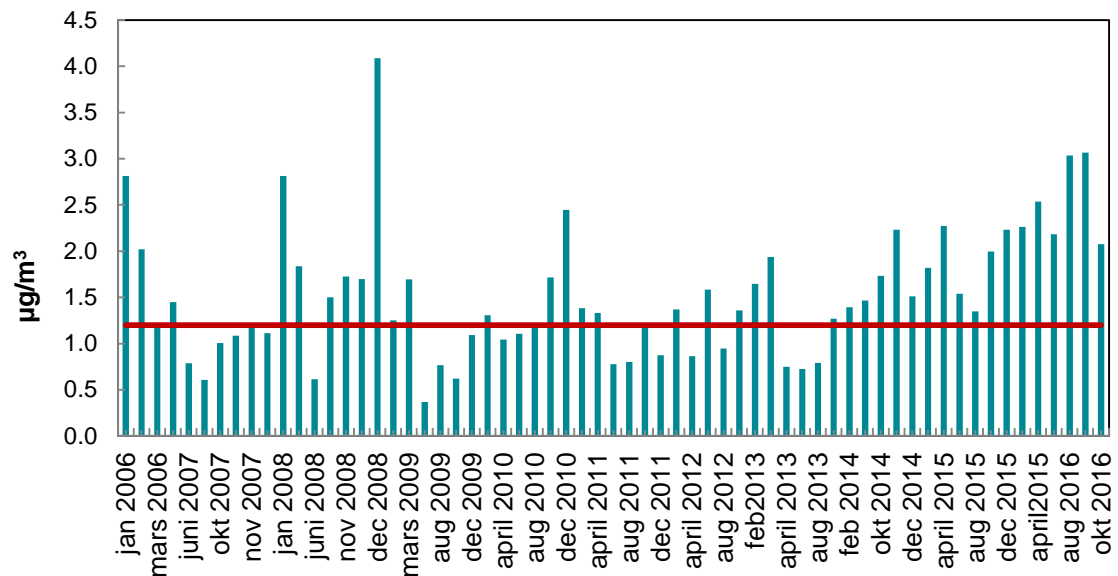
MKN för bensen är  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  som ett aritmetiskt årsmedelvärde som inte skall överskridas från år 2010. Med ledning av veckomedel av uppmätta bensenhalter, där den högsta uppmätta halten är  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (se Figur 4-8), bedöms att MKN sannolikt inte överskrids vid mätplatsen, åtminstone inte i taknivå där VOC-mätningarna utförts.



**Figur 4-8** Halten av bensen i urban bakgrundsluft i Göteborg aggregerat som veckomedelvärden och visade månadsvis. Den röda linjen visar det nationella miljömålet för bensen på  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  som ett årsmedelvärde. Halterna är angivna i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

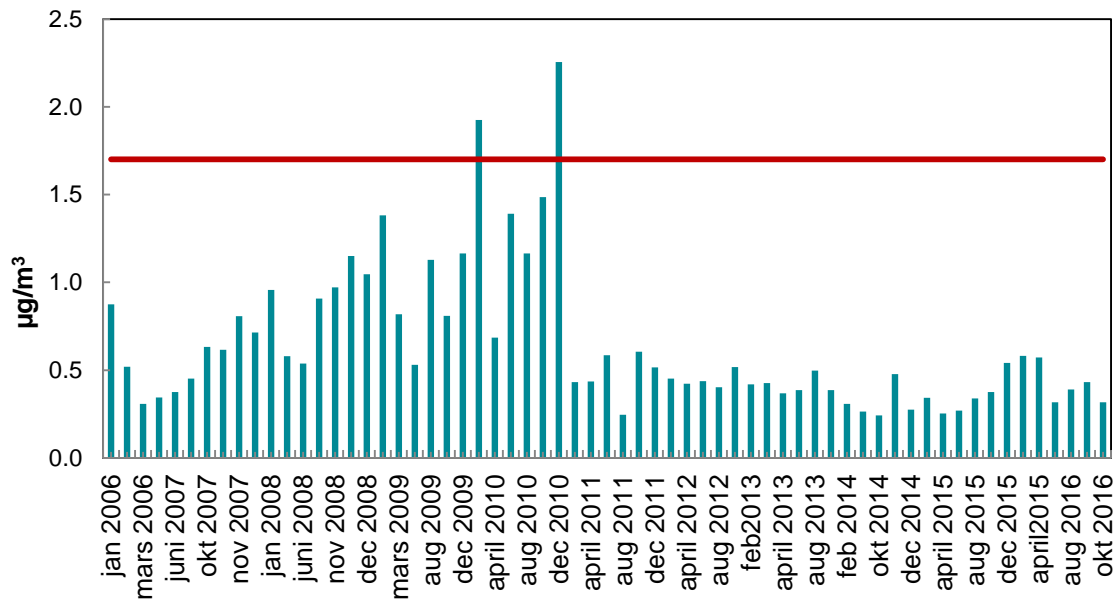
För bensen och 1,3-butadien finns nationella preciseringar av miljökvalitetsmålen avseende årsmedelvärden för bensen ( $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) och butadien ( $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Miljödepartementet, 2012). Under samtliga mätveckor 2006-2016 var uppmätta veckomedel av 1,3-butadienhalterna lägre än  $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  medan 21 av 64 periodmedelvärden av bensen överskred  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se Figur 4-8. Under 2015 och 2016 överskred ingen periodmedelhalt av bensen miljökvalitetsmålet, vilket indikerar att målet uppfylls på årsbas.

Institutet för miljömedicin (IMM) har angivit rekommenderade medicinska lågrisknivåer för ett antal enskilda VOC som anses kunna ge upphov till cancer eller påverka centrala nervsystemet. Lågrisknivån definieras som den haltnivå som teoretiskt kan ge upphov till ett cancerfall per 100 000 invånare vid livstidsexponering. För eten finns ett hälsobaserat värde på  $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (IMM-rapport, 1992a). Periodmedelhalter av eten visas i Figur 4-9. Samtliga periodmedelhalter av eten från 2015 och 2016 överskrider det hälsobaserade nivågränsvärdet. ( $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), vilket tydligt indikerar ett överskridande på årsbas för denna mätplats.



**Figur 4-9** Uppmätta timmedelvärden av eten i urban bakgrundsluft i Göteborg aggregerade som veckomedelvärden visade månadsvis. Den röda linjen visar den medicinska lågrisknivån för eten på  $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  som livstidsexponering. Halterna är angivna i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

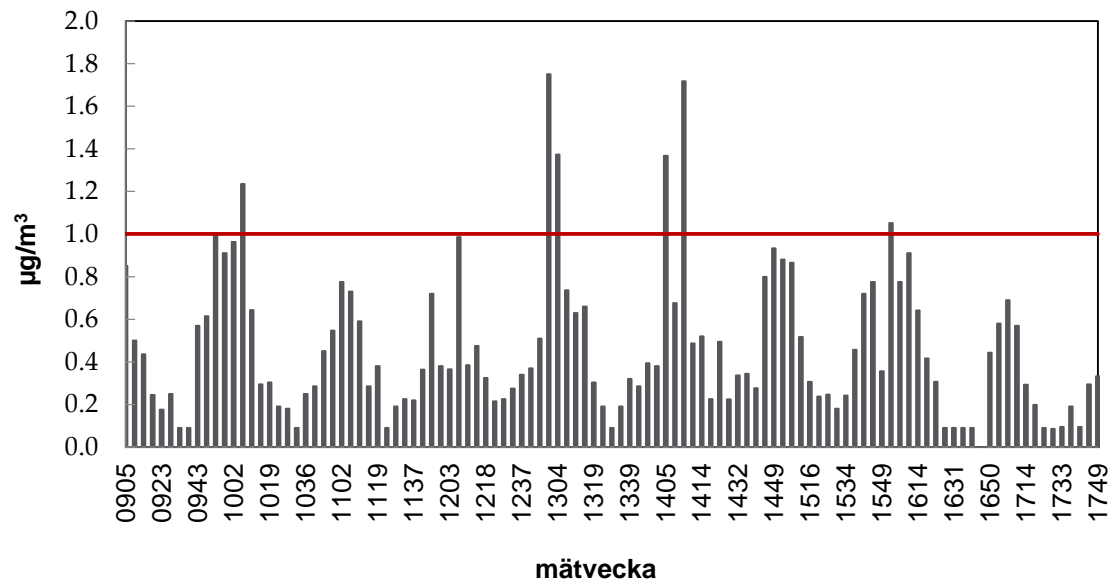
För propen finns ett hälsobaserat nivågränsvärde angivet som ett intervall;  $1,7-17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (IMM-rapport, 1992b). Veckomedelhalter av propen visas i Figur 4-10. För propen uppnår eller överskrider endast 2 av 64 periodmedelvärden nivågränsvärdet. Från 2011 är halterna betydligt lägre än innan. Anledningen till att lägre halter uppmäts är oklar.



**Figur 4-10** Halten av propen i urban bakgrundsluft i Göteborg aggregerat som veckomedelvärden och visade månadsvis. Den röda linjen visar nedre gräns för intervallet av den medicinska lågrisknivån för propen på 1,7 µg/m<sup>3</sup> som livstidsexponering. Halterna är angivna i µg/m<sup>3</sup>.

I Figur 4-11 visas bensenhalten vid bakgrundsstationen Råö uppmätt med diffusiv veckoprovtagning, en vecka per månad under 2009-2017. Då mätdata saknades för februari 2009 adderades en extra mätvecka i december samma år. För november 2016 saknas mätdata då mätningen på grund av sjukdom inte avslutades i tid.

Precis som för mätplatsen i centrala Göteborg finns en tydlig säsongvariation med högre bensenhalter under vintersäsongen än under sommaren. Sommarmätningarna 2016 och 2017 utmärkte sig genom att ett flertal mätresultat var lägre än rapporteringsgräns. I figuren nedan har halter under rapporteringsgräns ersatts med halva rapporteringsgräns. Av 108 uppmätta veckomedelhalter av bensen var det endast fem som var 1 µg/m<sup>3</sup> eller högre, vilket indikerar att det nationella miljömålet inte överskreds vid Råö 2009-2017.



**Figur 4-11** Veckomedelhalter av bensen uppmätta vid Råö. Den röda linjen visar det nationella miljömålet för bensen på 1 µg/m<sup>3</sup> som ett årsmedelvärde. Halterna är angivna i µg/m<sup>3</sup>.



## 5 Metaller i luft och nederbörd

Tabell 5-1 Metaller i luft och nederbörd

Parametrar	Arsenik (As), kadmium (Cd), kobolt (Co), krom (Cr), koppar (Cu), nickel (Ni), mangan (Mn), bly (Pb), vanadin (V), zink (Zn), totalt gasformigt kvicksilver (TGM), totalt partikulärt kvicksilver (TPM).
Stationer	Hallahus (tidigare Vavihill), Råö, Bredkålen, Pallas, Aspvreten
Mätfrekvens	1-2 dygn/vecka, veckoprover (TGM, TPM, luft), 2-veckorsprov (Total Hg, nederbörd), månadsprov (tungmetaller, luft, nederbörd).
Kravställare	Luftvårdskonventionen (CLRTAP), Minamatakonventionen, EU-direktiv 2004/107/EG
Lagringsplats	Datavårdskapet för luftkvalitet, <a href="http://www.smhi.se/datavardluft">www.smhi.se/datavardluft</a>
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet
Mer information	De nationella miljö kvalitetsmål som främst berörs är <i>Giftfri miljö</i> samt <i>Frisk luft</i> .

Tungmetaller i luft och nederbörd mäts vid Hallahus (tidigare Vavihill), Råö, Aspvreten och Bredkålen, med undantag för kvicksilver som mäts vid Pallas i norra Finland istället för vid Aspvreten. Enligt en överenskommelse mellan FMI i Finland och Naturvårdsverket ansvarar FMI för tungmetallmätningarna i Pallas och rapporterar dessa data till EMEP som gemensamma finsk-svenska data. På motsvarande sätt mäter och rapporterar IVL kvicksilvermätningar i Pallas som gemensamma finsk-svenska data. Syftet med miljöövervakningen av tungmetaller är att följa upp haltutvecklingen i luft och i deposition.

Flera av de metaller som presenteras i detta kapitel är i låga doser essentiella för djur och människor (Cu, Zn, Cr, Ni, Co, Mn och V). I brist av eller i för höga doser kan de däremot vara skadliga för hälsan. Till skillnad mot de essentiella metallerna är Pb, As, Cd och Hg exempel på metaller som inte har någon funktion i levande vävnader och kan därför vara skadliga redan i låga halter. Tabell 5-2 sammanfattar de 10 presenterade metallernas vanligaste utsläppskällor och dess möjliga hälsorisker.

**Tabell 5-2** Vanliga utsläppskällor till metaller i luft och deras möjliga negativa hälsoeffekter vid höga doser.

Utsläppskällor till luft		Möjliga hälsoskador
Bly (Pb)	Metallverk, skrot och malmbaserade stålverk, glasindustri Eldning av olja, kol, ved, avfall, flygbränsle	Skador på nervsystemet, blodbrist, njurskador, blykolik,
Arsenik (As)	Metallverk, malmbaserade stålverk, glasindustri, bomullsindustri, pesticider Eldning av olja, kol, ved, flygbränsle	Cancerframkallande, hjärt-kärlsjukdom, leverskada, kronisk hosta, diabetes
Nickel (Ni)	Skrotbaserade malmverk, gruvor, raffinaderier Eldning av olja, kol, ved	Lungcancer, hudallergier
Kadmium (Cd)	Skrot- och malmbaserade stålverk, metallverk, handelsgödsel, fosfatgödmiddel Eldning av olja, kol, ved, flygbränsle	Njurskador, benskörhet och frakturer.
Vanadin (V)	Framställningsprocessen, ferrovanadintillverkning, raffinaderier Eldning av olja	T.ex. huvudvärk, skakningar, hjärtklappning
Kobolt (Co)	Framställningsprocessen, volframkarbidframställning Eldning av fossila bränslen, avfall	Hudbesvär, lungsjukdom
Mangan (Mn)	Järn- och stålverk, framställningsprocessen, tryckfärger, fungicider Eldning av fossila bränslen	Kan påverka nervsystemet i höga doser
Koppar (Cu)	Skrot- och malmbaserade stålverk, metallverk Eldning av olja, kol, ved	Kan ge hälsorisker vid över- och underskott
Krom (Cr)	Skrotbaserade malmverk, ferrolegeringsverk, gruvor, gjuteri Eldning av ved	Cancerframkallande (6-värt), astma, hudbesvär
Zink (Zn)	Skrot- och malmbaserade stålverk, metallverk, verkstadsindustri, gruvor, gjuteri Eldning av olja, ved	Höga halter kan vara giftigt
Kvicksilver (Hg)	Småskalig guld- och silvertillverkning, metallverk, cementindustri, kloralkaliindustri Eldning av fossila bränslen, avfall	Skador på nervsystemet, känselstörningar, njurskador

## 5.1 Resultat Metaller

I detta kapitel rapporteras de mätningar av tungmetaller i luft och deposition som genomförts inom miljöövervakningen från 1995 till 2017. Eventuella trender och säsongvariationer diskuteras.

### 5.1.1 Luft – metaller

#### 5.1.1.1 Årsmedelvärden

I Figur 5-1 presenteras årsmedelvärden av de 10 tungmetallerna som analyserats på den uppmätta partikel fraktionen PM<sub>10</sub> (<10 µm) från 2009 till 2017 på de fem mätstationerna.

Generellt var årsmedelhalterna av tungmetaller högre vid Råö och Aspvreten jämfört med de nordligare stationerna Breddkålen och Pallas.

Den sydligaste stationen Vavihill/Hallahus hade lägre halter än Råö och Aspvreten. Detta trots att Vavihill/Hallahus är närmare belägen flera möjliga utsläppskällor av tungmetaller; ett metallverk i Landskrona (ca 30 km), ett järn/stålverk i Höganäs (ca 40 km) och ett järnverk i Halmstad (ca 70 km). Råö-stationen är belägen långt från direkta emissionskällor. Den potentiella källa som ligger närmast stationen är ett ferrolegeringsverk placerat i Vargön, ca 100 km norr om Råö.

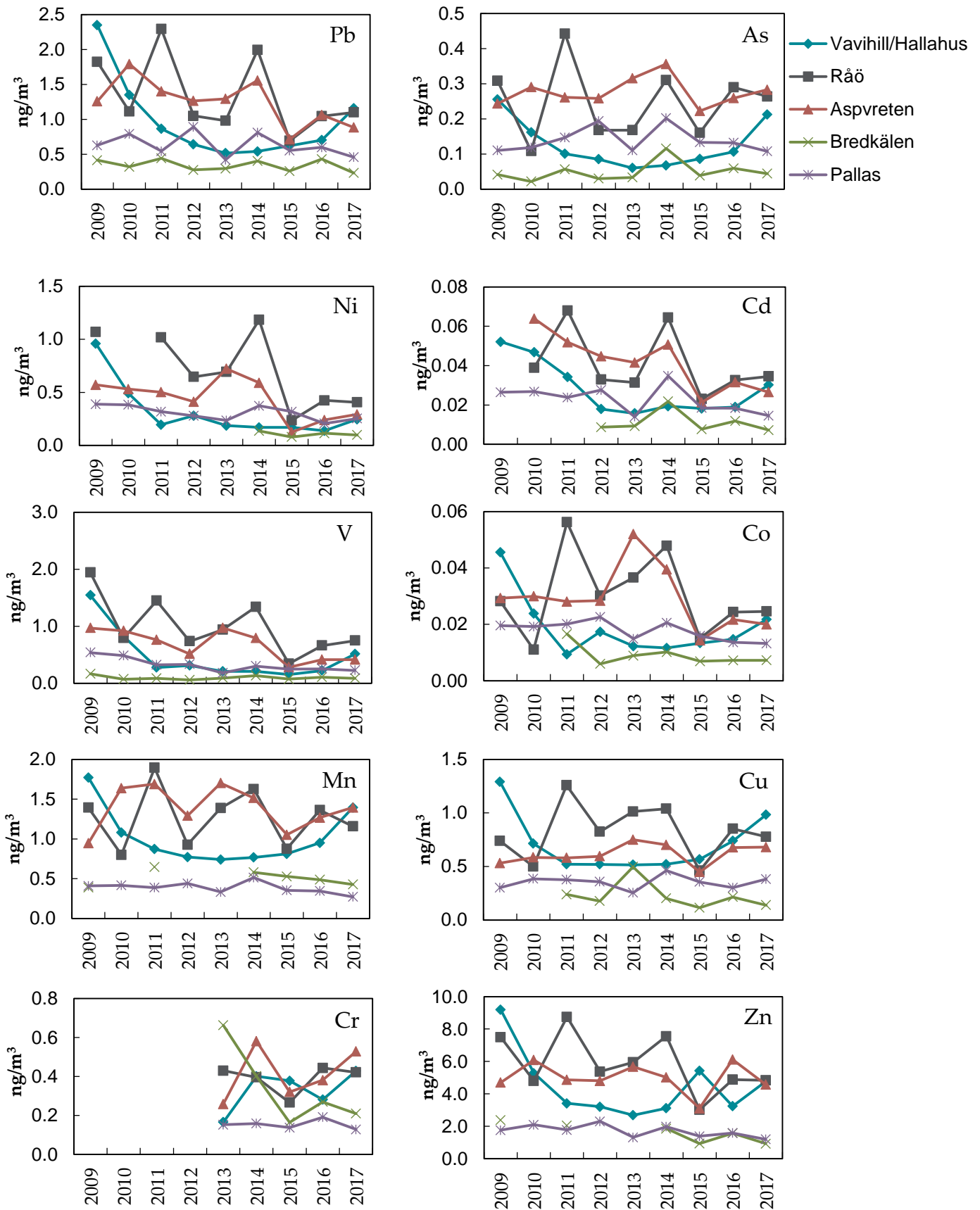
Stationen Aspvreten ligger ca 20 km från ett stålverk i Oxelösund. Sydväst om stationen, 80 respektive 90 km bort, ligger två metallverk i Finspång och Gusum. Bredkälven, som oftast har lägst halter, ligger långt från aktiva gruvor och metallverk. Närmast stora utsläppskälla är Boliden Mineral AB i Kristineberg, ca 200 km norrut, och kopparsmältverket i Rönnskär (ca 300 km nordöst), som näst efter Falu Gruva är Sveriges genom tiderna största föroreningskälla. Närmast den nordligaste stationen Pallas ligger en gruvdrift i Kittilä (73 km söderut) där guld utvinns. Guld och andra basmetaller utvinns även i Sodankylä, ca 160 km sydöst. Detta visar att det kan finnas en viss koppling mellan uppmätta luftkoncentrationer och avstånd till direkta utsläppskällor. Det största bidraget av tungmetaller i luft i Sverige kommer dock från utländska källor via långväga lufttransport.

Av den totala depositionen av Pb, Cd och Hg i Sverige så kommer respektive cirka 90, 10 och 55 procent från långväga lufttransport från utanför Europa (EMEP Status Report 2/2018, EMEP Status Report 2/2016). I Europa har halterna av metaller i luft minskat sedan åtgärder för minskade utsläpp införts i och med introduktionen av Protokoll för tungmetaller och andra miljöpolicys (EMEP Status Report 2/2018).

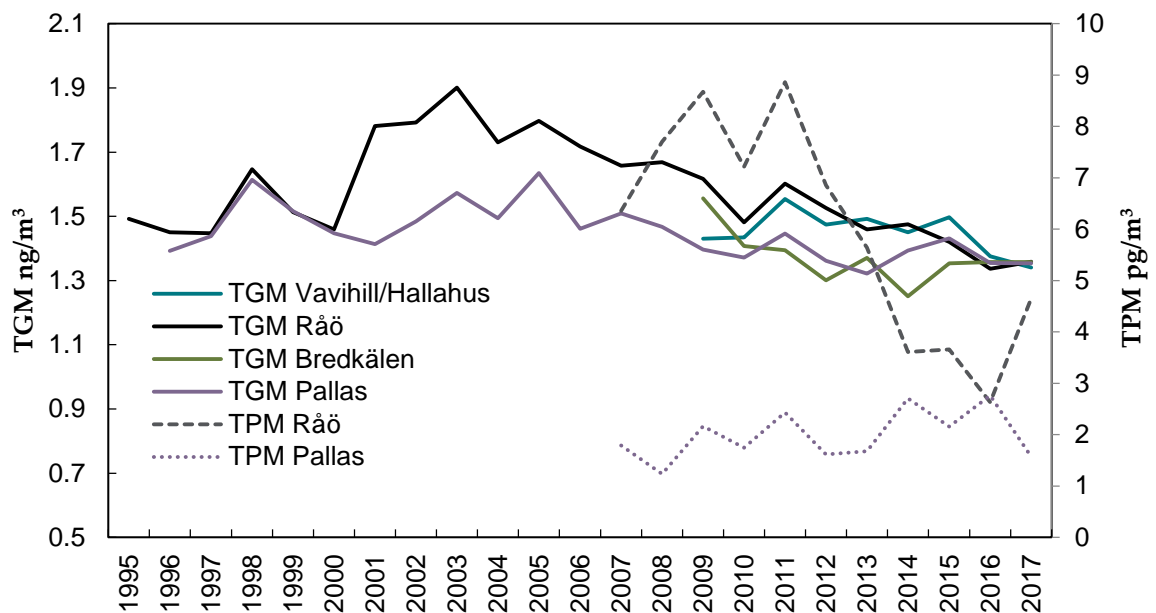
En korrelationsanalys (IBM SPSS Statistics) utförd av IVL på data fram till 2015, indikerar en möjlig koppling mellan de flesta metallhalterna vid Vavihill/Hallahus. Även på Råö förekom korrelationer mellan de flesta metallhalter, förutom för Cr. Detta kan bero på att många Cr-värden 2009-2012 var under detektionsgränsen (ej presenterade i Figur 5-1). Vid Aspvreten påträffades störst samvariation mellan Pb, Cd och Zn, men också mellan Co, Ni, Mn och V. En gemensam nämnare för dessa metaller är utsläpp vid förbränning av olja. Vid Bredkälven och Pallas var samvariationerna störst mellan Pb, Zn och V. Detta kan bero på gemensamma källor.

Mätningarna av Pb i luft visade en svagt nedåtgående trend på alla stationerna mellan 2009 och 2017. Sedan 1990-talet har halterna av Pb i luft minskat med 90 procent, troligtvis tack vare förbudet av blytillsats i bensin som infördes på 1990-talet (EMEP, 2015). Svagt nedåtgående trender observerades också på alla stationerna för halterna av Zn, V, Cd och Ni i luft. Övriga metaller visade olikartade trender, med en möjlig ökning av halterna av As, Co och Mn vid Bredkälven. Vid Pallas har en eventuell trendökning av koncentrationerna av As, Cr och Cu i luft observerats.

I luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477) presenteras miljö kvalitetsnormer för skydd av människors hälsa. De nedre utvärderingströsklarna för årsmedelvärden av tungmetaller i luft presenteras för Pb (250 ng/m<sup>3</sup>), As (2,4 ng/m<sup>3</sup>), Ni (10 ng/m<sup>3</sup>) och Cd (2 ng/m<sup>3</sup>). Dessa årsmedelvärdetrösklar har inte uppnåtts vid någon av de fem stationerna sedan mätningarna startades.



Figur 5-1 Årsmedelvärden av de 10 mätta tungmetallerna i luft från 2009 till 2017 uppmätta vid stationerna Vavihill/Hallahus, Råö, Aspvreten, Bredkålen och Pallas.



**Figur 5-2** Årsmedelvärden av totalt gasformigt kvicksilver (TGM) och totalt partikulärt kvicksilver (TPM) uppmätt vid Vavihill/Hallahus, Råö, Bredkålen och Pallas från 1995 till 2017.

Figur 5-2 visar årsmedelhalter av totalt gasformigt kvicksilver (Hg) (TGM) i luft från Vavihill/Hallahus, Råö, Bredkålen och Pallas och totalt partikulärt Hg (TPM) i luft från Råö och Pallas. På Råö och Pallas, som har de längsta mätserierna, har koncentrationen av TGM stadigt minskat sedan 2005, se Figur 3-2. Även vid Vavihill/Hallahus och Bredkålen har koncentrationerna minskat sedan mätstarten 2009. En tydlig geografisk trend kan skönjas med lägre halter i norr än i söder, vilket troligtvis beror på avståndet till källor söderifrån (Wängberg et al., 2016).

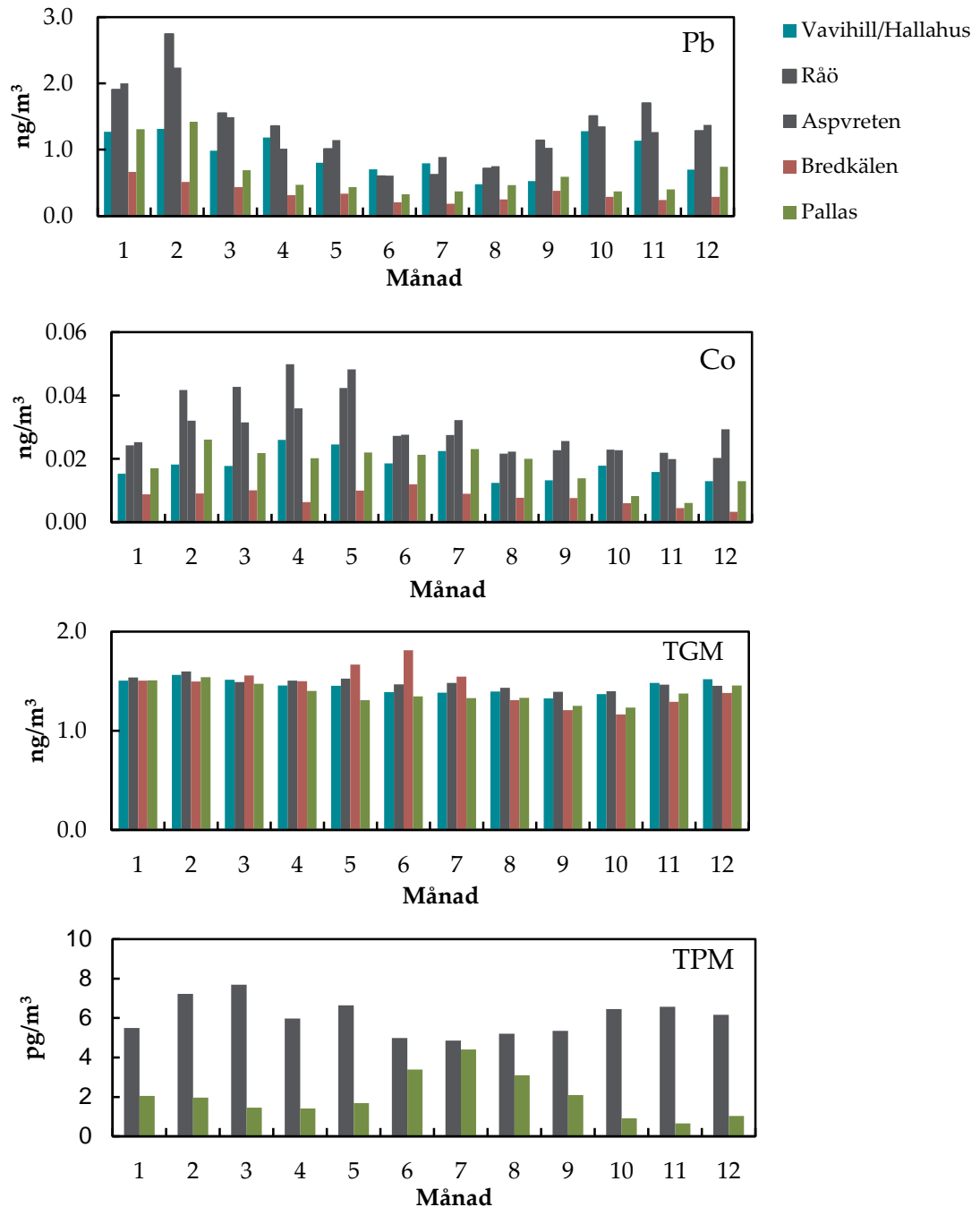
Bakgrundskoncentrationen av TGM i luft har i norra hemisfären haft en kraftig nedåtgående trend sedan 1980-talet. Mellan 1985 och 1989 var medelhalten av TGM vid Råö 3,2 ng/m<sup>3</sup> (Iverfeldt et al., 1995). Till följd av minskade utsläpp av Hg från både inhemska och europeiska källor har koncentrationen mer än halverats till dagens nivå kring 1,4 ng/m<sup>3</sup>. Medelhalten av TGM i norra hemisfären, mätt på 13 stationer, var för perioden 2013-2014 1,3 – 1,6 ng/m<sup>3</sup>, vilket stämmer väl in på de värden som presenteras i Figur 3-2 (Sprovieri et al., 2016).

Halten av TPM, som generellt är förknippad med antropogena källor, har sedan 2009 varit högre vid Råö än vid Pallas. Dock visar TPM-halterna vid Pallas en ökande trend, medan koncentrationerna tydligt har minskat vid Råö.

### 5.1.1.2 Säsongsvariationer

Månadsmedelvärden för år 2009-2017 för Pb, Co, TGM och TPM presenteras i Figur 5-3. Årsvariationerna för Pb, Cd och Zn uppvisade liknande mönster på alla stationer, med lägre halter på sommaren och högre på vintern, se exempel för Pb i Figur 5-3. Detta beror troligtvis på ökad förbränning av fossila bränslen på vintern med anledning av ökat värmebehov. As uppvisar en liknande tydlig säsongsvariation, men endast på Råö.

Co, Ni, V och Mn uppvisar likartade säsongsvariationer med högre halter på våren (månad 2-5) se exempel för Co i Figur 5-3 Cu och Cr påvisar ingen tydlig säsongsvariation vid någon av stationerna.



**Figur 5-3** Månadsmedelvärden på de fem mätstationerna, räknat på data från 2009-2017 av bly (Pb), kobolt (Co), totalt gasformigt kvicksilver (TGM) och totalt partikulärt kvicksilver (TPM) i luft.

Totalt gasformigt kvicksilver (TGM) visar en genomgående säsongsvariation på samtliga fyra mätstationer, med högre halter under vinterhalvåret. En trolig förklaring till detta är ökade utsläpp av kvicksilver, till följd av bl. a. ökad kolförbränning i norra hemisfären, i kombination med lägre atmosfärisk blandningshöjd under vinterhalvåret. Enligt en nyligen publicerad artikel, som bygger på analys av tillgängliga TGM-data från bland annat Europa och USA, föreslås att upptag av kvicksilver till växtlighet också bidrar till minskade TGM-halter under sommaren (Jiskra et al., 2018). De högre månadsmedelvärdena uppmätta vid Breckålen under maj och juni månad kan inte förklaras. En teori är att det kan bero på kringliggande källor.

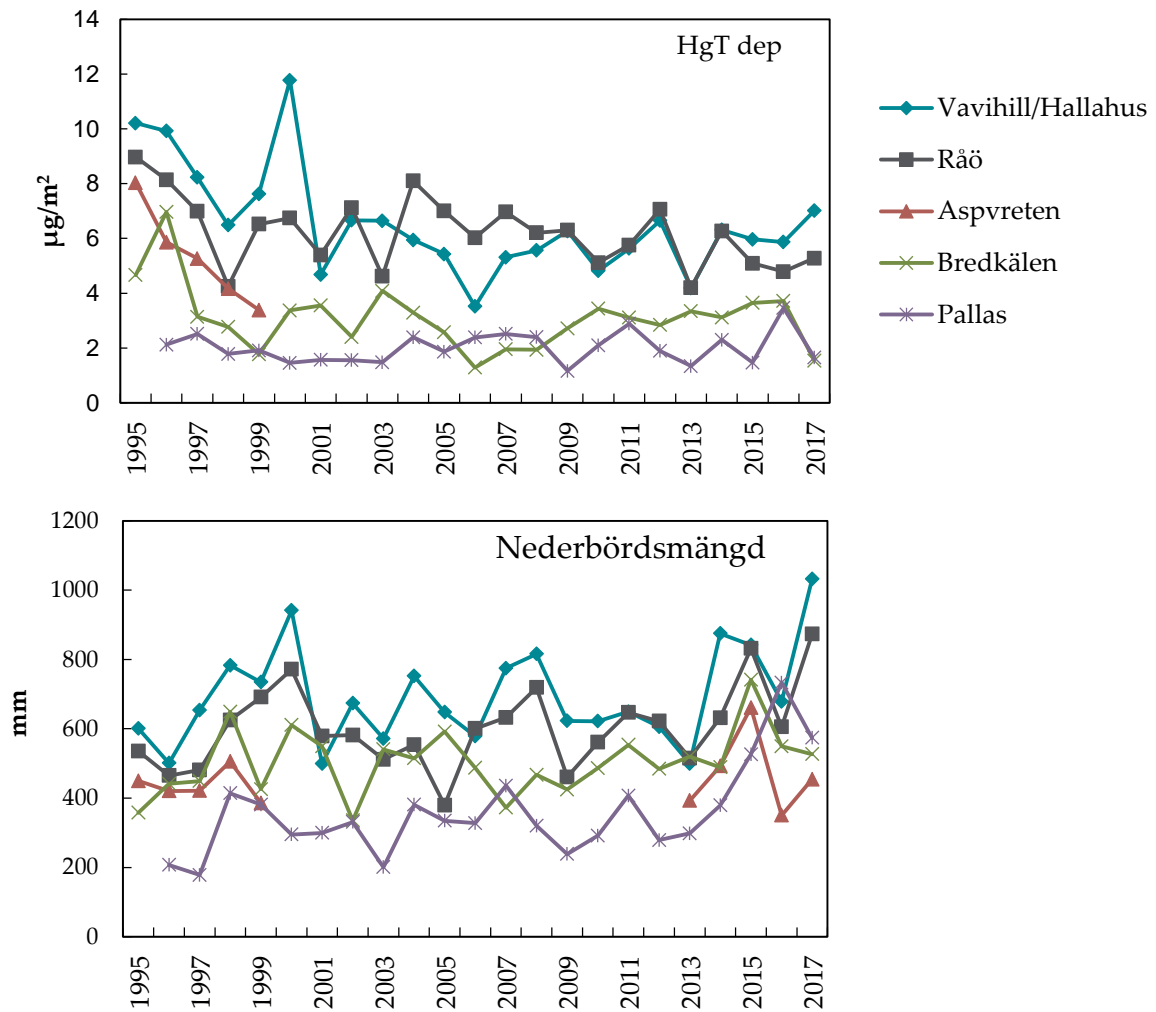
Årsvariationen av bildandet av totalt partikulärt kvicksilver (TPM) visar motsatta trender i Råö jämfört med Pallas. Råö, som ligger närmare europeiska utsläppskällor, är troligtvis mer influerat av långväga luftburen transport från antropogena källor, medan Pallas mer påverkas av lokal naturlig oxidation och bildning av TPM (Wängberg et al., 2016).

## 5.1.2 Deposition – metaller

### 5.1.2.1 Årsmedelvärden

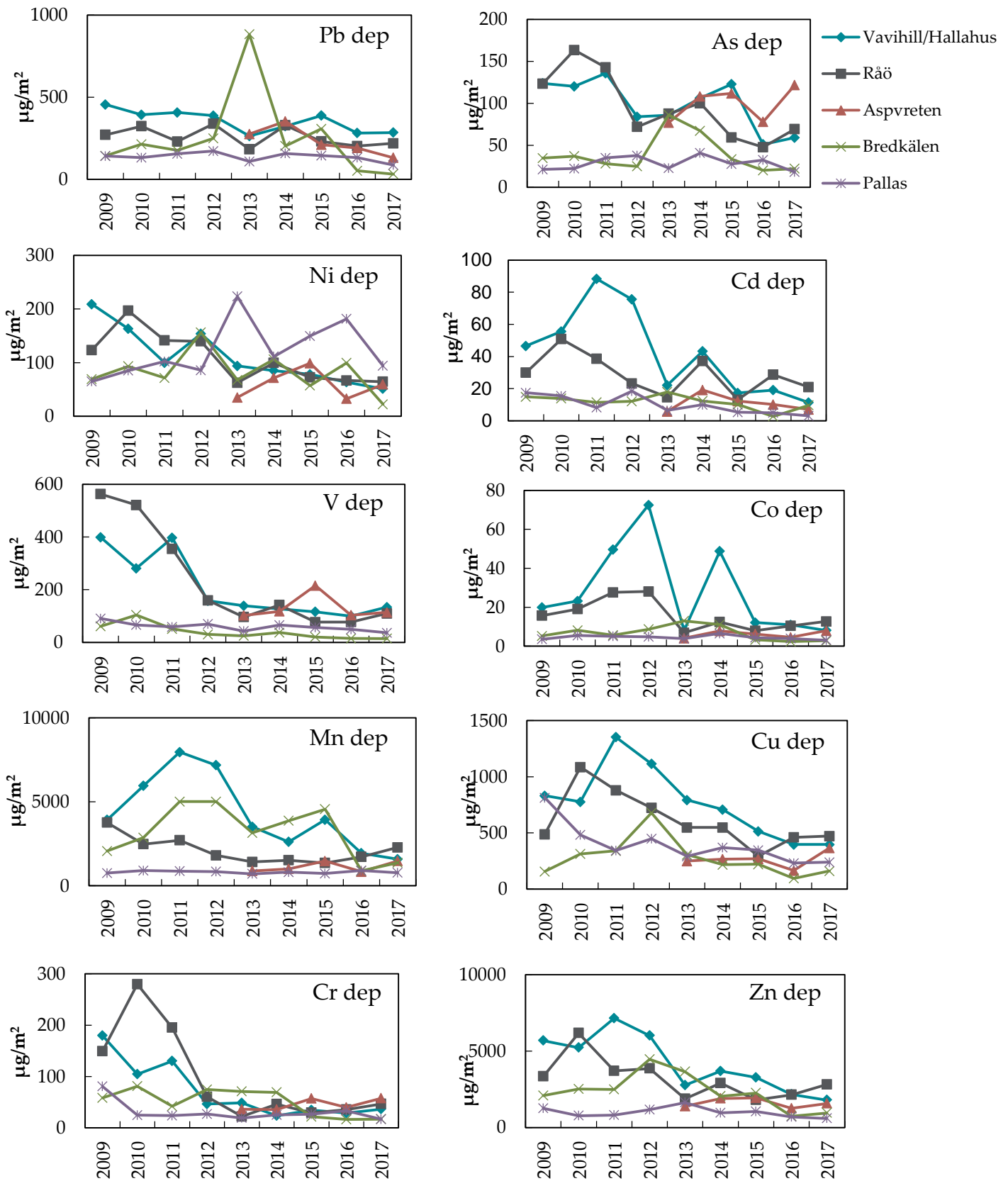
Årsmedelvärden av nederbördsmängd och deposition av Hg och tungmetaller, uppmätt med bulkprovtagning, presenteras i Figur 5-4 och Figur 5-5. Nedfallet av Hg och tungmetaller visar generellt en geografisk trend med högre nedfall i söder än i norr. Vavihill/Hallahus har, trots förhållandevis lägre lufthalter än Råö och Aspvreten, högre deposition av flertalet tungmetaller, såsom Pb, Zn, Cd, Co, Mn och Cu, än de nordligare stationerna. År 2010 uppskattades det via modellering att mer än 85 procent av den totala depositionen av Pb, Cd och Hg i Sverige berodde på långväga transport via luft från Europa (EMEP, 2012). Närheten till källor i östra Europa kan vara en trolig orsak till den höga depositionen i Aspvreten.

Trendanalys av årsmedelhalterna av tungmetaller i deposition (2009-2017) visar svagt nedåtgående trender för halterna av alla metaller på alla stationer, förutom för Aspvreten som visar tendens på en ökning av halterna av As, V, Co, Mn, Cu, Cr och Ni i deposition mellan 2013 till 2017. Även Pallas visar en svag ökning av depositionen av As och Ni.



Figur 5-4 Årsmedelvärden av totalt kvicksilver (HgT) i depositionsprover och total nederbördsmängd från 1995 till 2017 vid stationerna Vavihill, Råö, Aspvreten, Bredkålen och Pallas.





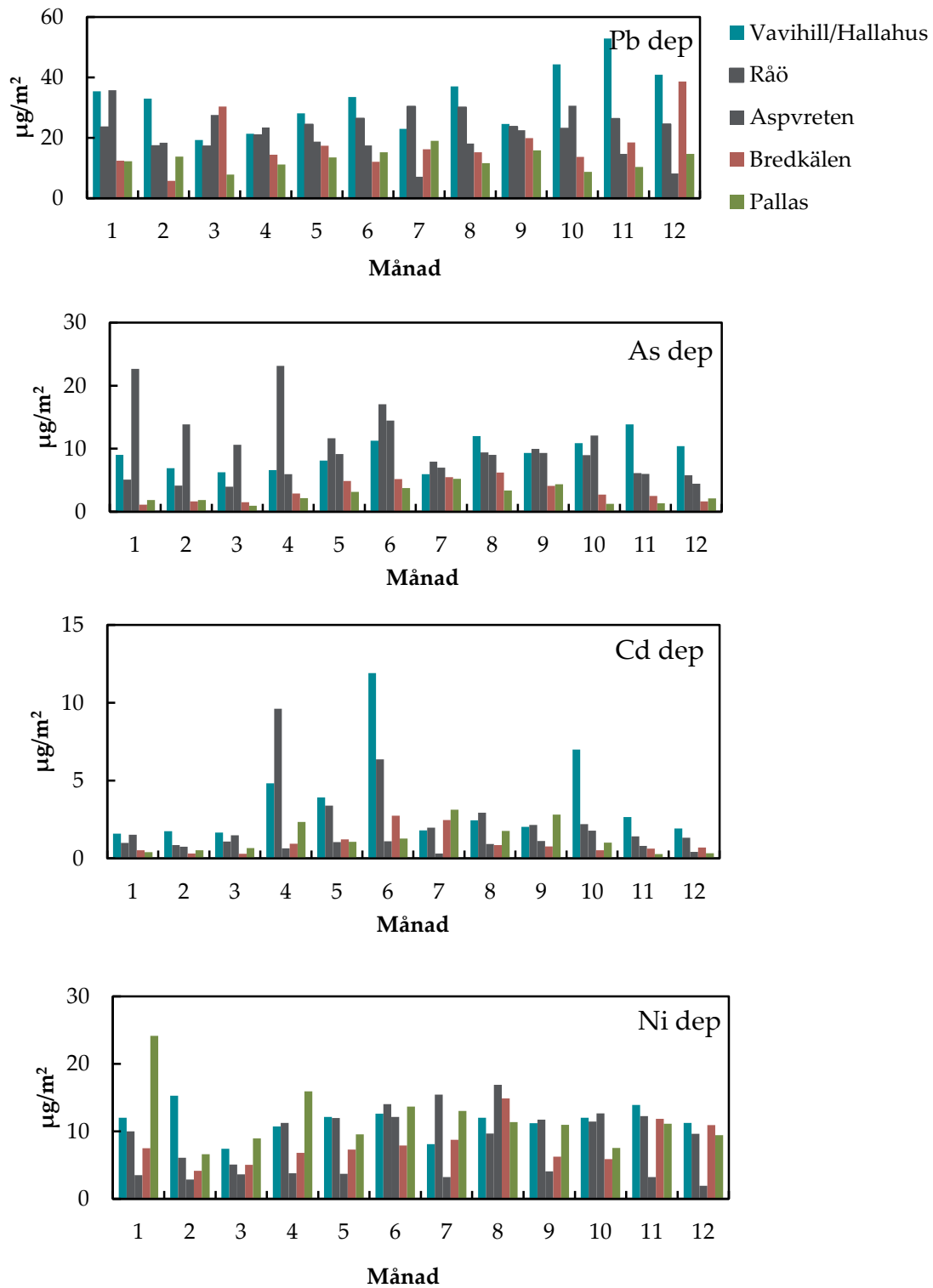
Figur 5-5 Årsmedelhalter av de 10 mätta tungmetallerna i depositionsprover (2009-2017) vid de fem mätstationerna.



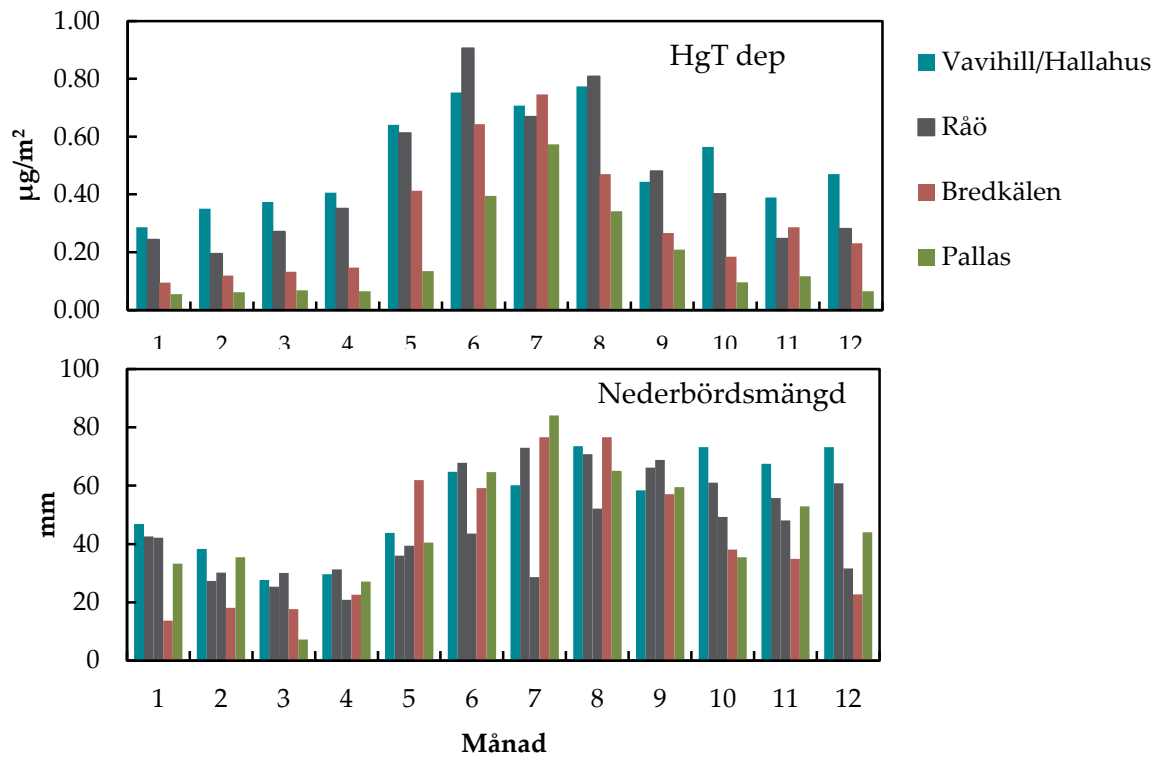
### 5.1.2.2 Säsongsvariationer

Månadsmedelhalterna, räknat på data från 2009 till 2017, för Pb, As, Ni och Cd (reglerade i Luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477)) presenteras i Figur 5-6. Månadsmedeldepositionen av totalt Hg samt nederbörds mängd presenteras i Figur 5-7.

Trots att nederbörds mängden varierade med tydlig säsongsvariation på alla stationer Figur 5-7 visade månadsmedelhalterna för de 10 metallerna i deposition inga tydliga säsongsvariationer eller kopplingar sinsemellan, såsom observerats för luft Figur 5-6. Depositionen av HgT, däremot, visar en tydlig säsongsvariation på alla fyra stationer, med generellt två till fyra gånger högre deposition på sommaren jämfört med vintern. Detta mönster följer väl säsongsvariationen av bildandet av TPM i luft uppmätt vid Pallas (Figur 5-3 **Error! Reference source not found.**), vilket kan antas vara en naturlig oxidation. Trots att TPM-halterna i luft, uppmätt vid Råö, följer säsongsvariationen av antropogena utsläpp, verkar depositionen av Hg vid Råö vara mer influerat av säsongsberoende naturlig oxidation, vilken tidigare visats vara större på sommaren (Wängberg et al., 2016).



Figur 5-6 Månadsmedelvärden av bly (Pb), arsenik (As), kadmium (Cd) och nickel (Co) i deposition på de fem mätstationerna, räknat på data från 2009-2017.



**Figur 5-7** Månadsmedelvärden av totalt kvicksilver (HgT) i depositionsprover och nederbördsmängd från 2009 till 2017 vid stationerna Vavihill/Hallahus, Råö, Aspvreten, Bredkålen och Pallas.

## 6 Organiska miljögifter i luft och nederbörd

Tabell 6-1

Parametrar	Polycykliska Aromatiska Kolväten (PAH), Polyklorerade Bifenylter (PCB), Hexaklorbensen (HCB), Hexaklorocyklohexaner, (HCH), Klordaner, DDTer, Endosulfaner, Aldrin, Heptaklor, Dieldrin, Atrazin, Diuron, Isoproturon, Bromerade flamskyddsmedel (BFR), per- och polyflourerade ämnen (PFAS), Polyklorerade dibensodioxiner och furaner (PCDD/PCDF), Klorparaffiner
Stationer	Hallahus (tidigare Vavihill), Råö, Aspvreten, Norunda, Pallas (Finland)
Mätfrekvens	Veckoprover, slås ihop till månadsprover
Kravställare	Miljö kvalitetsmålen "Giftfri miljö" och "Frisk luft", EG-direktiv för luftkvalitet (2004/107/EG), EMEP/AMAP, Stockholmskonventionen
Lagringsplats	Datavärdskapet för luftkvalitet, <a href="http://www.smhi.se/datavardluft">www.smhi.se/datavardluft</a>
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet
Mer information	

Mätningar inom delprogrammet Organiska miljögifter bedrivs vid fyra stationer: Hallahus (tidigare Vavihill), Råö, Aspvreten och Pallas. Mätningarna inom ramen för den nationella miljöövervakningen på Råö och Aspvreten startades 1994. Mätningarna vid Pallas i norra Finland startade 1996 och genomförs i samarbete med Finska Meteorologiska Institutet (FMI). Fram till 2008 genomfördes mätningarna av organiska ämnen i luft och deposition vid Aspvreten av Stockholm Universitet (SU). År 2008 tog IVL över ansvaret för provtagning och analys. Mätningar av PAH vid Vavihill inkluderades i delprogrammet år 2009.

2001 respektive 2003 inkluderades mätningar av polybromerade difenyletrar (PBDE) vid Råö och Pallas. Från 2009 utökades delprogrammet med ännu flera ämnen och ämnesgrupper, som dioxiner och furaner, klorparaffiner, per- och polyflourerade ämnen samt vissa pesticider. Från juli 2017 tillkom ett antal nya främst bromerade flamskyddsmedel, dieldrin och flera per- och polyflourerade ämnen. Mer information om ämnesgrupperna ges i Bilaga 2. I figurerna nedan presenteras resultat från mätningar utförda mellan 1996 och 2017. Fram till 2001 (Råö) och 2008 (Aspvreten och Pallas) genomfördes mätningarna med en frekvens på 1 vecka per månad för att därefter övergå till kontinuerliga månatliga mätningar. De nationella miljö kvalitetsmål som främst berörs är *Giftfri miljö* samt *Frisk luft*.

## 6.1 Resultat Organiska miljögifter

### 6.1.1 Organiska miljögifter i luft och deposition

#### 6.1.1.1 Polycykliska Aromatiska Kolväten (PAH)

Årsmedelhalterna av summa (12) PAH (se Bilaga 2) i luft vid Råö, Aspvreten och Pallas för åren 1996 till 2017 visas i Figur 6-1. Årsmedelhalterna varierade mellan 1,2-6,1 ng/m<sup>3</sup> vid Råö, 1,2-5,2 ng/m<sup>3</sup> vid Aspvreten samt 0,4-1,0 ng/m<sup>3</sup> vid Pallas. Årsmedelhalten av summa (12) PAH (2012-2017) vid Vavihill/Hallahus låg mellan 0,40-1,2 ng/m<sup>3</sup>.

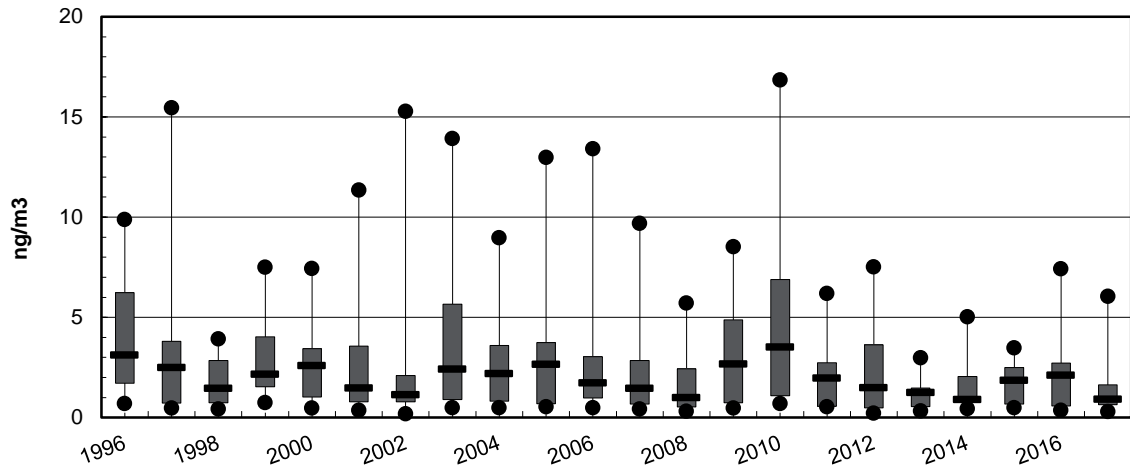
Som ett exempel på årstidsvariation visas i Figur 6-2 en av PAH-komponenterna, benso(a)pyren. Halten benso(a)pyren var under 2017, i likhet med andra år, högst under den kalla årstiden. MKN och EU-direktivet för benso(a)pyren, som ligger på 1 ng/m<sup>3</sup> som årsmedelvärde, överskreds inte vid någon av stationerna.

Depositionen av summa (12) PAH vid Råö, Aspvreten och Pallas för åren 1996 till 2017 visas i Figur 6-3. Med undantag för de första mätåren vid Råö och Aspvreten har den uppmätta depositionen av PAH varit relativt likartad från år till år. Under perioden 1996-2017 har medeldepositionen varierat mellan 0,063–0,44 µg/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö, 0,063–0,58 µg/m<sup>2</sup>, dygn vid Aspvreten och 0,019-0,20 µg/m<sup>2</sup>, dygn vid Pallas. Under perioden 2009-2017 varierade PAH-depositionen vid Vavihill/Hallahus mellan 0,081- 0,17 µg/m<sup>2</sup>, dygn. I juni 2017 erhöles en extremt hög deposition vid Pallas, vilket kan bero på kontaminering av provet t.ex. i samband med markröjning. Detta värde har exkluderats i figuren och i beräkningar.

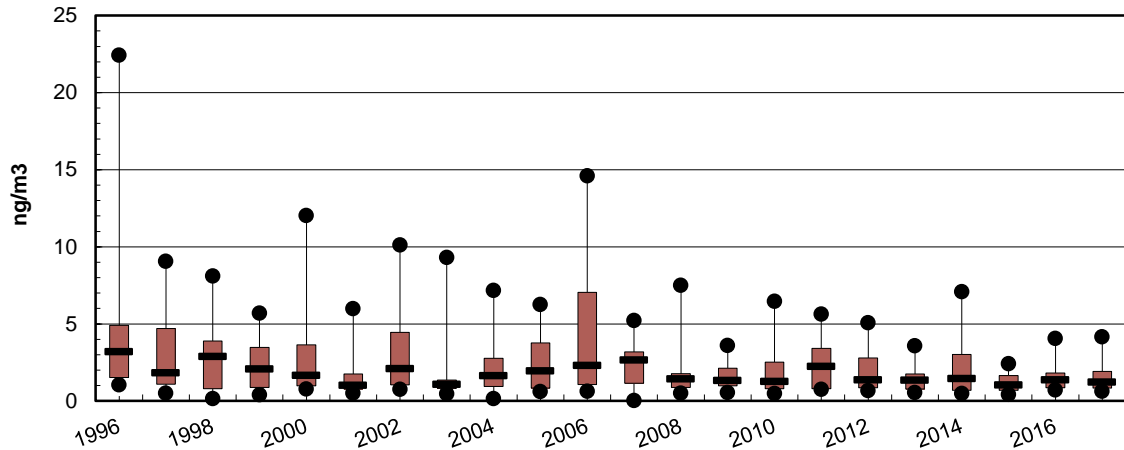
PAH emitteras till luft via förbränning av till exempel fossila bränslen men även via naturliga källor som vulkanisk aktivitet och skogsbränder. Det som kan påverka halterna i luft är närheten till källor, men PAH kan även transporteras i luft över stora avstånd varför de återfinns i bakgrundsområden (Anttila et al., 2016).

Sedan starten av mätprogrammet, 1995, har PAH-halterna inte visat på någon tydligt minskande trend, vilket också har visats för Råö och Pallas i en trendanalys där ingen signifikant minskande långtidstrend kunde påvisas för summa PAH (Anttila et al., 2016). Däremot förekommer en mellanårsvariation. Halten av PAH i luft har generellt varit högre i söder, Vavihill, Råö och Aspvreten jämfört med Pallas i norr. Även depositionen är något lägre i norr än vid de södra stationerna. Detta beror troligtvis på avståndet till utsläppskällor i Europa och ökad lokal belastning i de södra delarna av Sverige. Årstidsvariationer visar generellt på högre lufthalter på vintern, vilket främst beror på ett större användande av fossila bränslen (Brorström-Lundén, 1995).

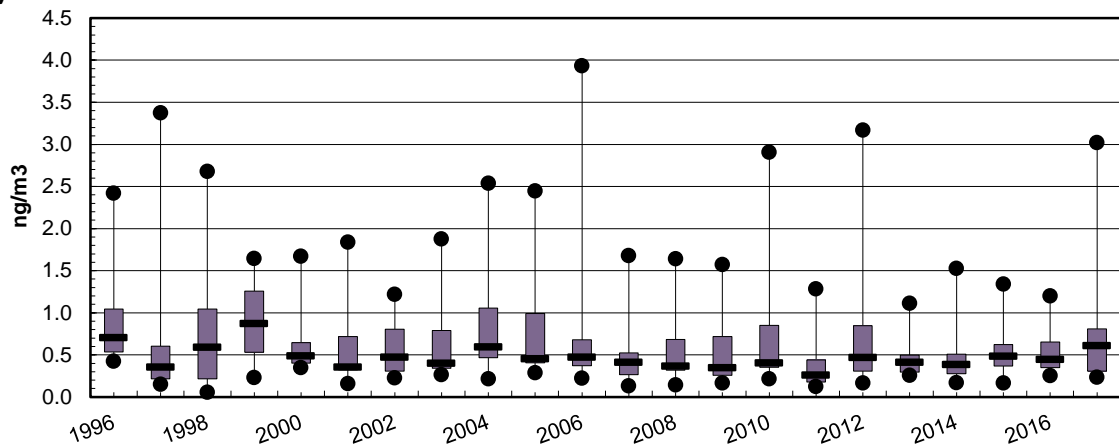
a) Råö PAH luft



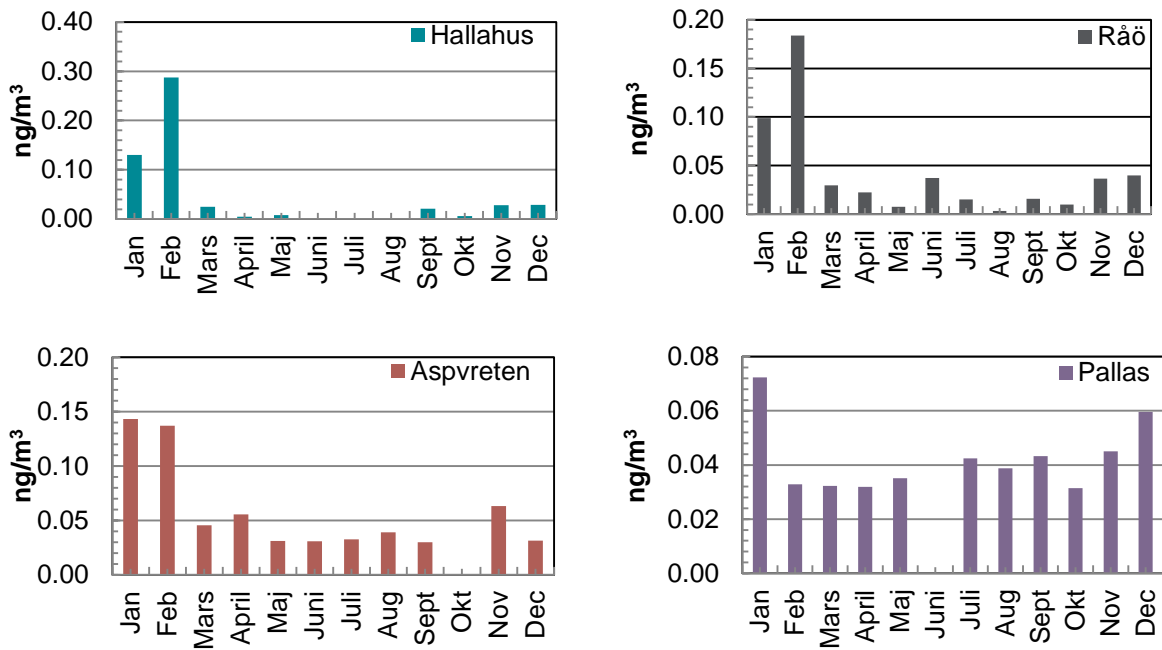
b) Aspvreten PAH luft



c) Pallas PAH luft



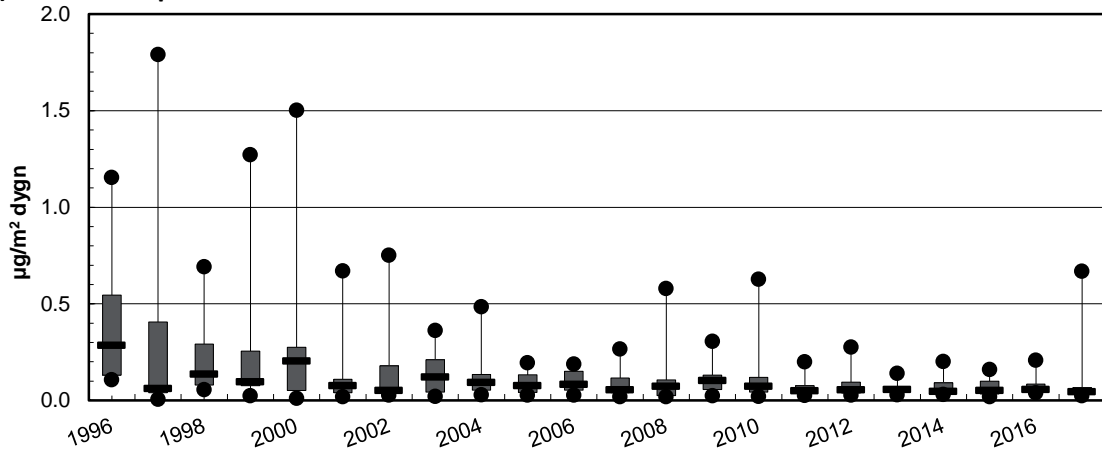
**Figur 6-1** Medelårshalten av PAH (summa 12) i luft vid a) Råö, b) Aspvreten och c) Pallas från 1996 till 2017. Notera att skalor på y-axeln är olika. Resultaten redovisas som "box whisker plots", där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.



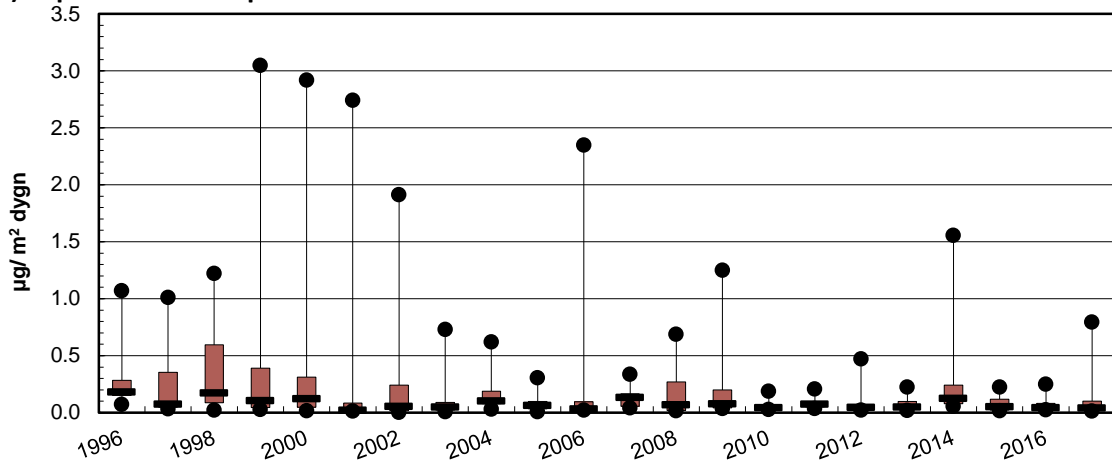
**Figur 6-2** Halten benso(a)pyren i luft 2017 vid Hallahus, Råö, Aspvreten och Pallas. Observera att det är olika skalor på y-axeln. Två värden saknas (Aspvreten oktober och Pallas juni) pga. interferenser på benso(a)pyren respektive kontaminering av provtagningsplatsen.



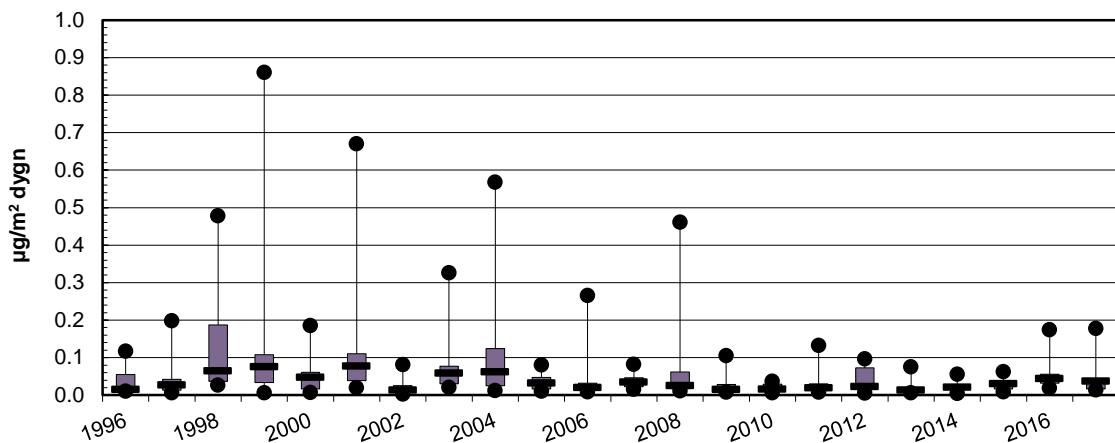
a) Råö PAH dep



b) Aspvreten PAH dep



c) Pallas PAH dep



**Figur 6-3** Deposition av PAH (summa 12) vid a) Råö, b) Aspvreten och c) Pallas från 1996 till 2017. Notera att skalor på y-axeln är olika. Resultaten redovisas som "box whisker plots" där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.

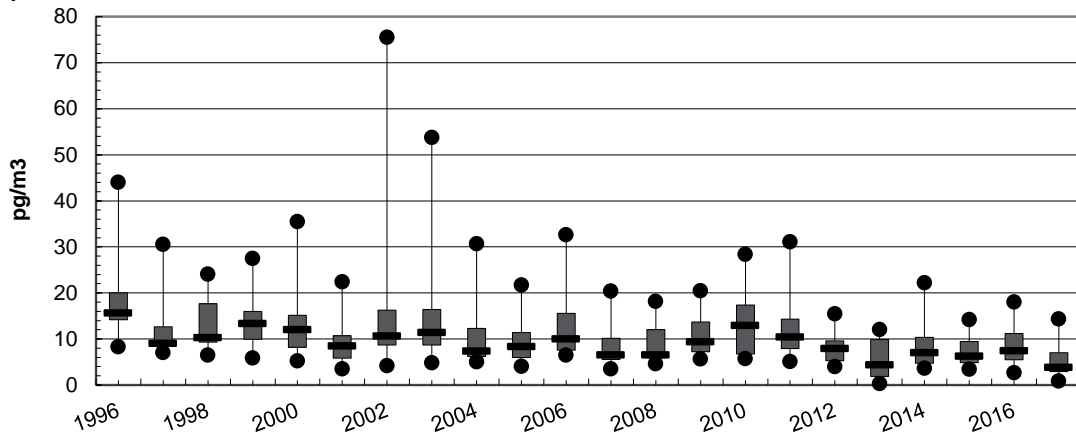
### 6.1.1.2 Polyklorerade Bifenyl (PCB)

Årsmedelhalterna av PCB (summa 7, se Bilaga 2) i luft vid Råö och Pallas för åren 1996 till 2017 visas i Figur 6-4. Årsmedelhalten av PCB varierade 1996-2017 mellan 5,6–19 pg/m<sup>3</sup> vid Råö, 2,8–13 pg/m<sup>3</sup> vid Aspvreten och 2,6–11 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas. I Figur 6-5 visas som exempel årstidsvariationen av PCB-153 under 2017. Den högsta halten under 2017 förekom, i likhet med andra år, under sommaren och de lägsta koncentrationerna under vinterhalvåret.

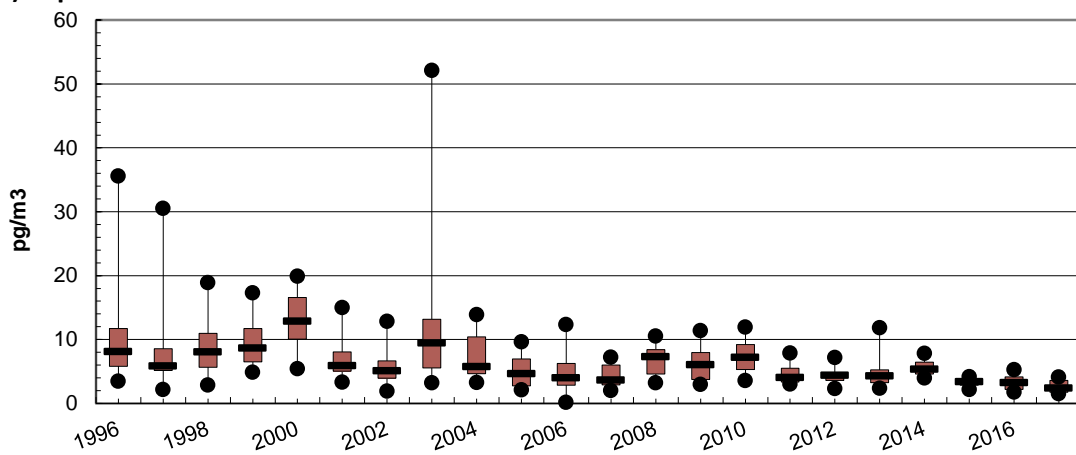
Dygnsdepositionen av PCB (summa 7) för åren 1996-2017 vid Råö, Aspvreten och Pallas presenteras i Figur 6-6. Generellt har depositionen minskat sedan de första årens mätningar och i likhet med halterna i luft har minskningen klingat av och varit relativt likartad från år till år vid alla tre stationerna. I likhet med för luft har depositionen vid Råö varit något högre jämfört med Aspvreten och Pallas. Under hela mätperioden varierade årsmedelhalterna mellan 0,39–2,4 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö, 0,15–2,1 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Aspvreten samt 0,016–2,3 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid i Pallas.

Användningen av PCB förbjöds i nya produkter i Sverige 1978 och Europa, men finns fortfarande kvar i miljön på grund av dess långa nedbrytningstid, persistens (Naturvårdsverket, 2017). Resultaten från mätningar mellan 1994-2015 vid Råö och Pallas visar att PCB-halterna i luft minskat vid båda stationerna sedan starten av mätprogrammet, vilket bekräftas av trendanalyser (Anttila et al., 2016; Hung et al., 2016). Anttila et al., (2016) visade att PCB-halterna fram till 2012 i genomsnitt har minskat med 2-4 procent per år vid såväl Pallas som Råö. Generellt har dock minskningen klingat av och under de senaste åren ligger halterna i stort sett på samma nivåer.

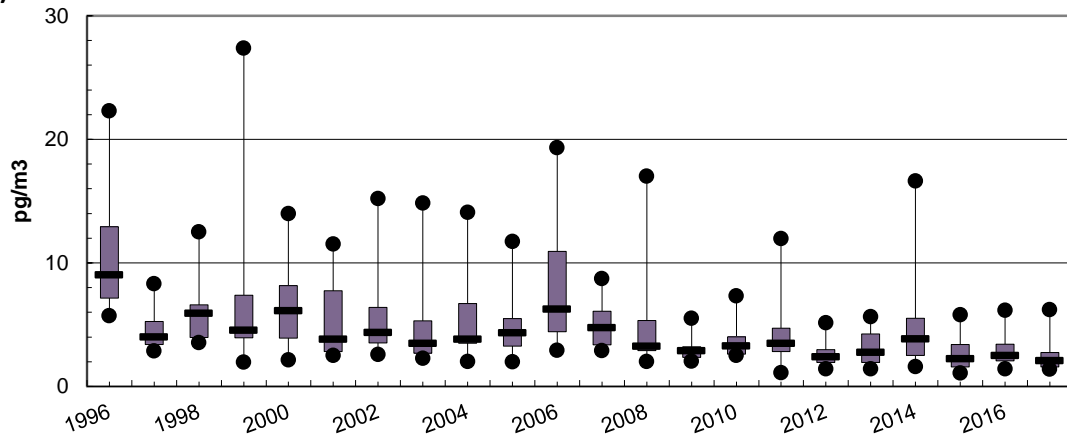
a) Råö PCB luft



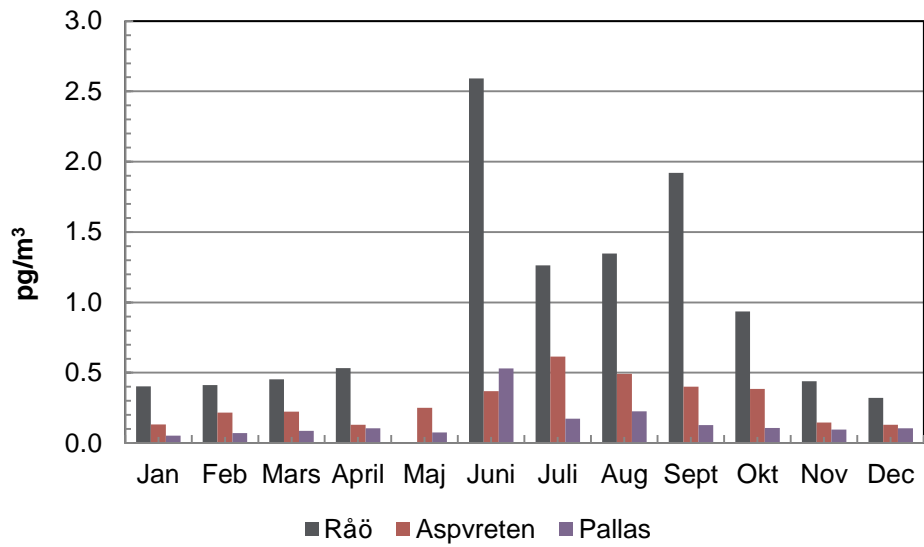
b) Aspvreten PCB luft



c) Pallas PCB luft

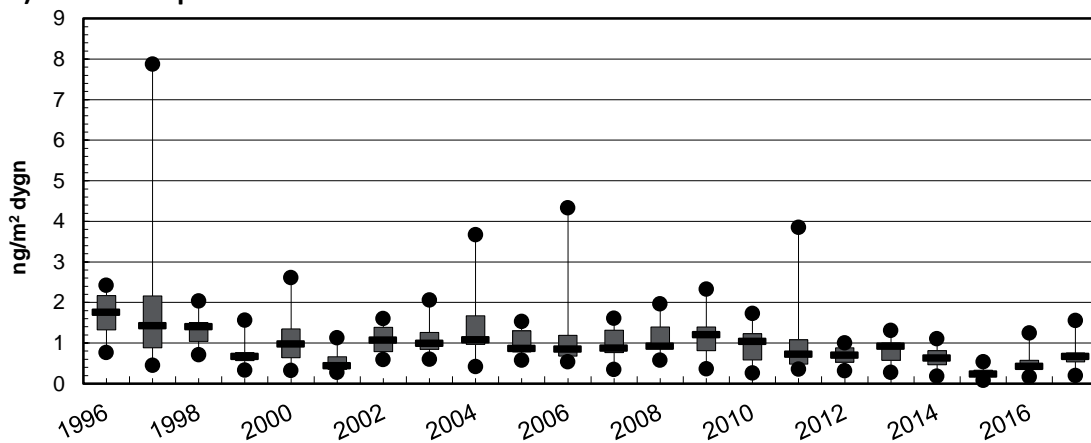


**Figur 6-4** Årsmedelhalten PCB (summa 7) i luft vid a) Råö, b) Aspvreten och c) Pallas från 1996 till 2017. Notera att det är olika skalor på y-axeln. Resultaten redovisas som "box whisker plots", där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.

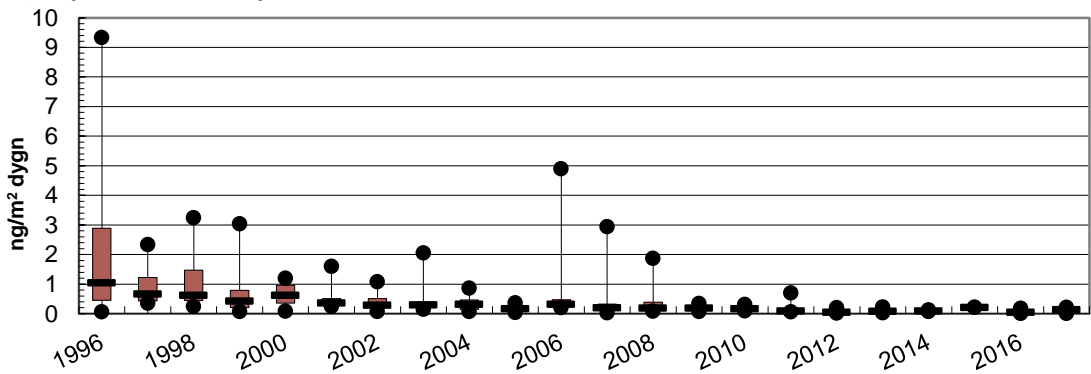


Figur 6-5 Månadsmedelhalten PCB-153 (pg/m<sup>3</sup>) i luft 2017 vid Råö, Aspvreten och Pallas.

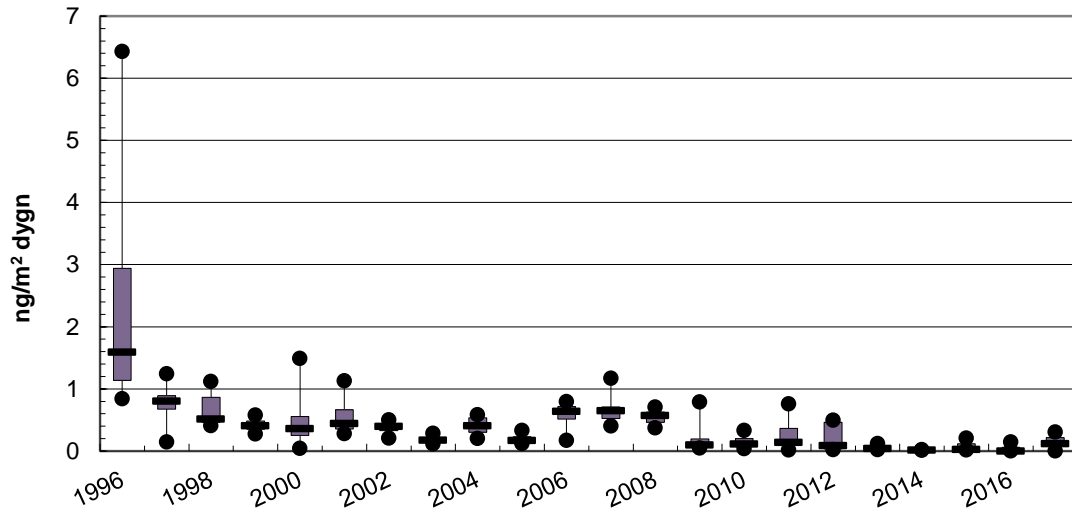
a) Råö PCB dep



b) Aspvreten PCB dep



c) Pallas PCB dep



**Figur 6-6** Deposition av PCB (summa 7) vid a) Råö, b) Aspvreten och c) Pallas från 1996 till 2017. Notera att det är olika skalor på y-axeln. Resultaten redovisas som "box whisker plots", där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.

Mätningarna visar att årsmedelhalten av PCB i luft och deposition varierar årsvis för de olika stationerna. Halterna har generellt varit något högre på västkusten (Råö) jämfört med ostkusten (Aspvreten) och finska Lappland (Pallas). Detta beror troligtvis på spridningsmönstret från utsläppskällor. De högre halterna på sommaren beror främst på sekundära källor, d.v.s. re-emissioner till luft från mark- och vattenytor.

### 6.1.1.3 Hexaklorbensen (HCB)

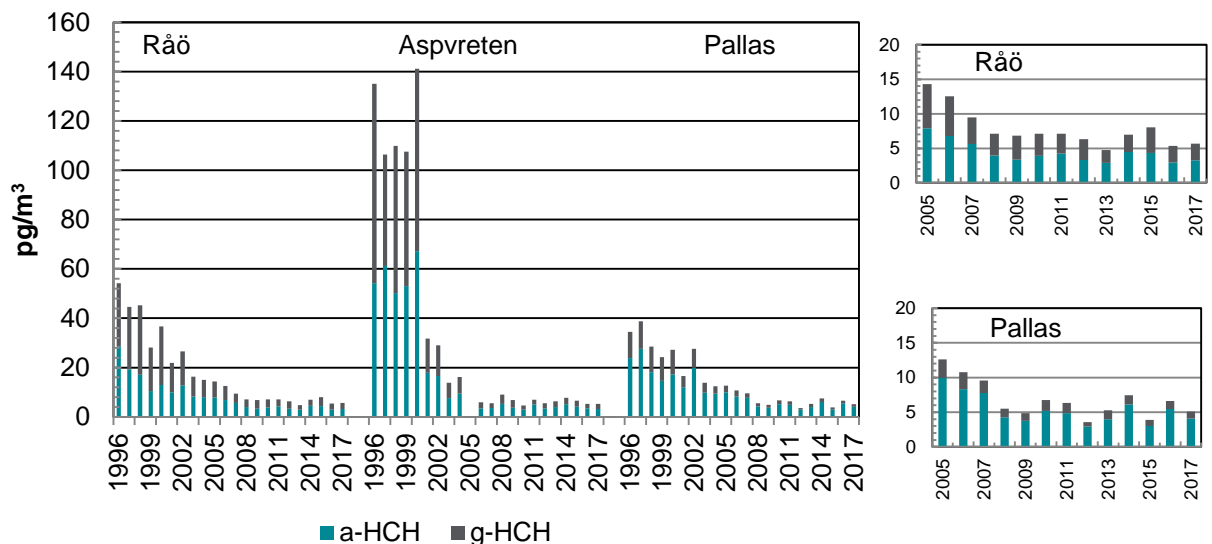
HCB förekommer i luft vid samtliga tre stationer. Mellan 2009-2017 varierade medelårshalten hexaklorbensen (HCB) i luft mellan 6-32 pg/m<sup>3</sup> vid Råö, 6-37 pg/m<sup>3</sup> vid Aspvreten och 6-51 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas. Dessa halter är underskattade p.g.a. provtagningsmetodik, det vill säga långa provtagningsstider och den använda adsorbenten, vilket också visas av att HCB-halten vid tre arktiska stationer (Alert - Canada, Zeppelin - Svalbard och Storhofdi - Island) är högre än vid Pallas (Hung et al., 2010). Detta innebär också att det inte går att se några trender i resultaten.

Depositionen av HCB varierade under 2009 till 2017 mellan 0,06-0,23 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö, 0,063-0,14 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Aspvreten och <0,04-0,17 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Pallas.

## 6.1.2 Pesticider (reglerade inom internationella konventioner och EU-direktiv)

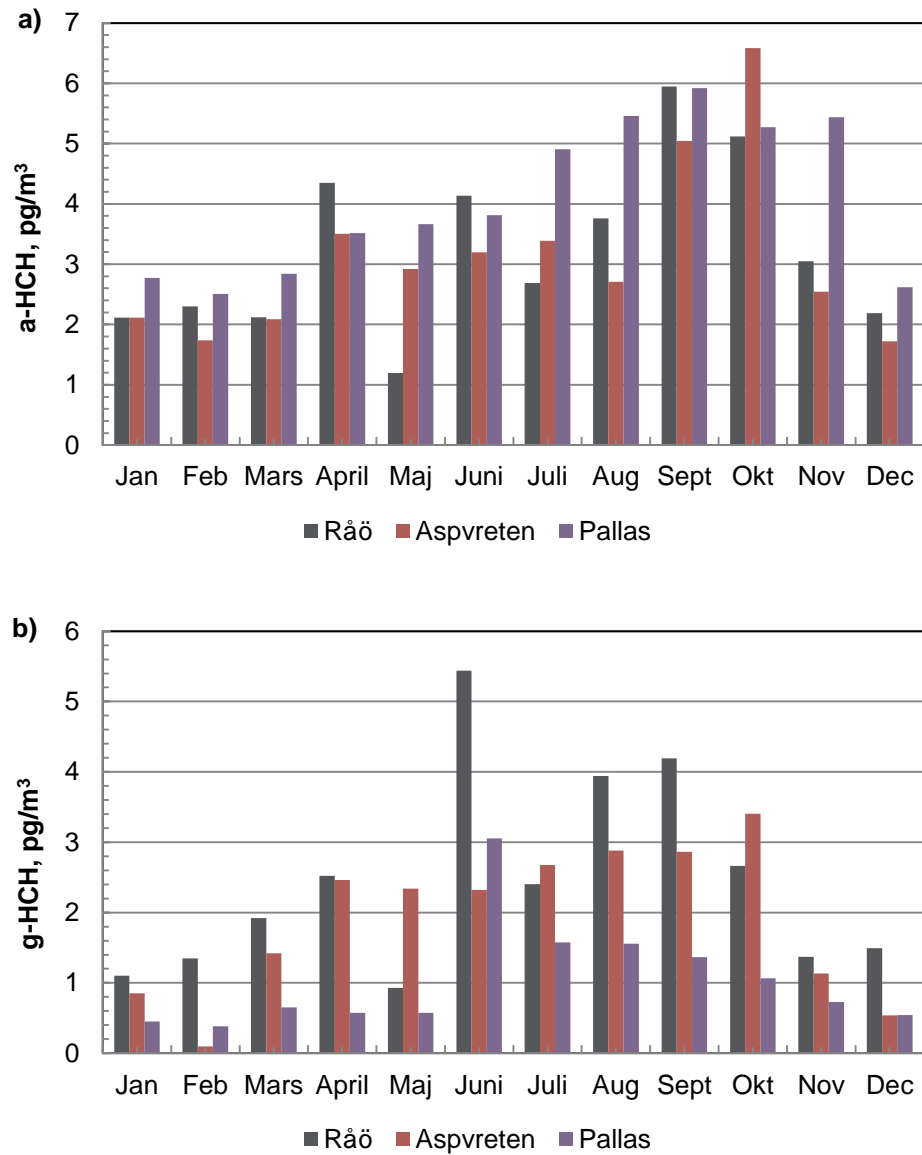
### 6.1.2.1 Hexaklorocyklohexaner (HCH),

Årsmedelhalten av insekticiden  $\gamma$ - och  $\alpha$ -HCH i luft för åren 1996-2017 vid Råö, Aspvreten och Pallas visas i Figur 6-7. Under åren 1996-2017 varierade årsmedelhalten av  $\alpha$ -HCH mellan 2,9–29  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Råö, 1,0–62  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Aspvreten och 3,0–28  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Pallas. Årsmedelhalten av  $\gamma$ -HCH varierade under samma period mellan 1,9–28  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Råö, 1,7–81  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Aspvreten och 0,72-11  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Pallas. Från 1996 till 2008 utfördes analyserna av prover från Aspvreten på Stockholms Universitet. Därför är det svårt att avgöra om de tidiga höga värdena på stationen beror på en närliggande källa eller på mätmetodiken. Årstidsvariationen av  $\alpha$ -respektive  $\gamma$ -HCH i luft under 2017 visas i Figur 6-8. Precis som för PCB:er var halterna under vår- och sommarmånader förhöjda.

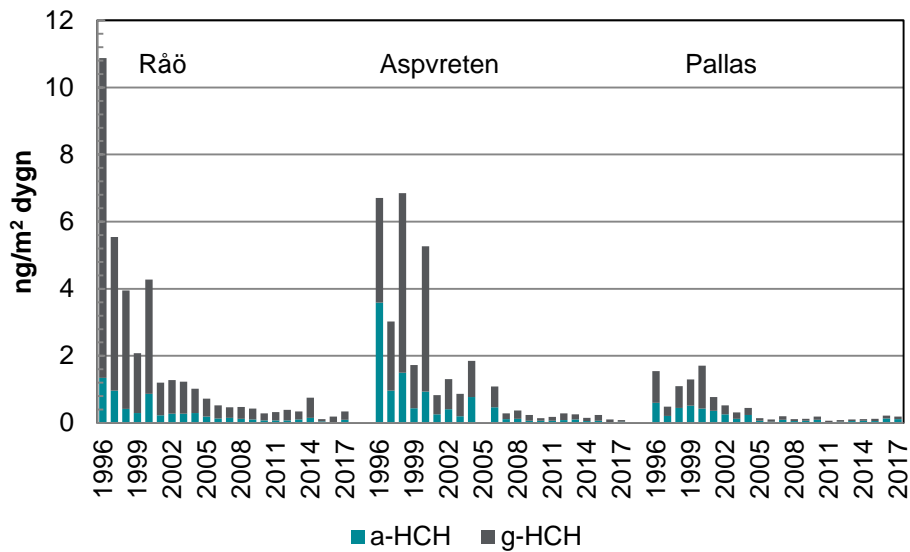


**Figur 6-7** Årsmedelhalten av  $\alpha$ - och  $\gamma$ -HCH i luft vid Råö, Aspvreten och Pallas från 1996 till 2017. Till höger: förstoring av data från Råö och Pallas från 2005 till 2017.

Depositionen av  $\alpha$ - och  $\gamma$ -HCH vid Råö, Aspvreten och Pallas (1996-2017) visas i Figur 6-9. Sedan starten av mätningarna har depositionen minskat vid alla tre stationerna. Årsmedelvärdena av dygnsdepositionen av  $\alpha$ -HCH varierade mellan <0,03-1,3  $\text{ng}/\text{m}^2$ , dygn vid Råö, 0,033-3,6  $\text{ng}/\text{m}^2$ , dygn vid Aspvreten och 0,028-0,60  $\text{ng}/\text{m}^2$ , dygn vid Pallas. Under de senaste åren har  $\alpha$ -HCH-fluxerna varit i samma storleksordning vid alla tre stationer och ingen skillnad mellan norr och söder kan urskiljas. Depositionen av  $\gamma$ -HCH (1996-2017) varierade mellan 0,064 -9,5  $\text{ng}/\text{m}^2$ , dygn vid Råö, 0,052-5,4  $\text{ng}/\text{m}^2$ , dygn vid Aspvreten och 0,035-1,3  $\text{ng}/\text{m}^2$ , dygn i Pallas. Depositionen av  $\gamma$ -HCH uppvisade samma geografiska fördelning som i luft, med de högsta fluxerna i söder och de lägsta i norr (Pallas).



Figur 6-8 Halten av a)  $\alpha$ -HCH och b)  $\gamma$ -HCH i luft 2017 vid Råö, Aspvreten och Pallas.



Figur 6-9 Deposition av HCH vid Råö, Aspvreten och Pallas från 1996 till 2017.

Både  $\alpha$ -HCH och  $\gamma$ -HCH är listade i Stockholmskonventionen. Användning och produktion av teknisk blandning av HCH, där  $\alpha$ -HCH utgör den största andelen, förbjöds innan Lindan ( $\gamma$ -HCH) förbjöds inom jordbruket år 2009. Halterna av HCHer i luft visar en tydlig minskande trend (Anttila et al., 2016; Hung et al., 2016). Trendanalyser av data från Råö respektive Pallas mellan 1994 (1995) och 2011 visar en genomsnittlig minskning av  $\alpha$ -HCH på 6 procent och  $\gamma$ -HCH på 6-7 procent per år för båda stationerna (Anttila et al., 2016). Den största minskningen skedde under de första årens mätningar.

Sedan år 2005 har halten  $\alpha$ -HCH i luft varit i samma storleksordning vid alla tre stationer, någon geografisk variation mellan syd och norr förekommer alltså inte. Däremot var halten  $\gamma$ -HCH högre i söder (Råö och Aspvreten) jämfört med norra Finland (Pallas). Vid Pallas var halten  $\alpha$ -HCH högre än  $\gamma$ -HCH, se förstoringar för 2005 till 2017 i Figur 6-7, vilket även observerats på Zeppelin, Ny-Ålesund och vid Svalbard (<http://ebas.nilu.no>). Halterna av  $\alpha$ -HCH ligger alltså i samma nivå i norra Finland som vid arktiska områden. En förklaring kan vara re-emission av  $\alpha$ -HCH (Anttila et al., 2016).

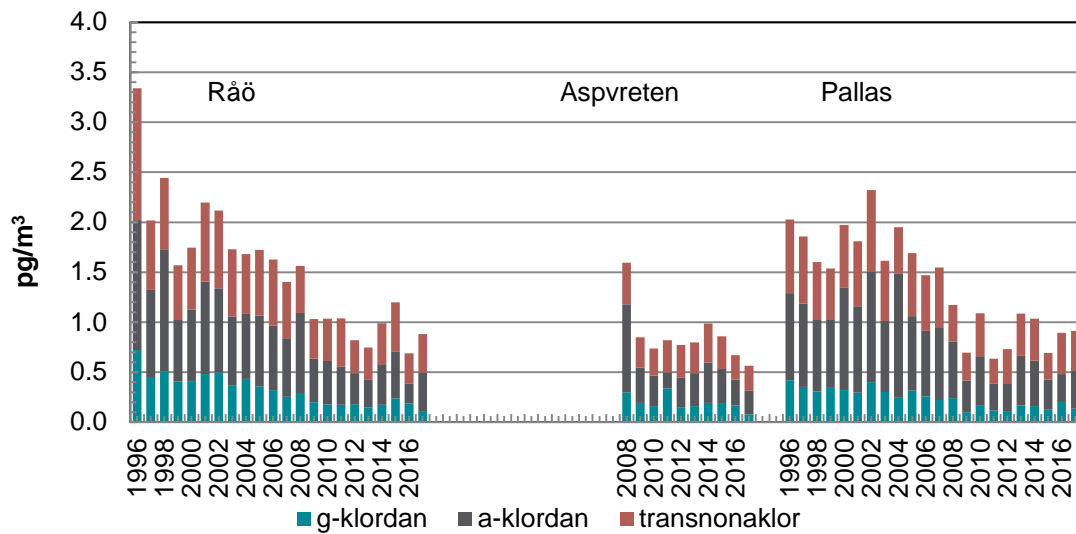
### 6.1.2.2 Klordaner

Årsmedelhalten  $\gamma$ - och  $\alpha$ -klordan samt transnonaklor i luft (1996-2017) vid Råö, Aspvreten och Pallas visas i Figur 6-10. Mätningarna av klordaner vid Aspvreten startade 2008.

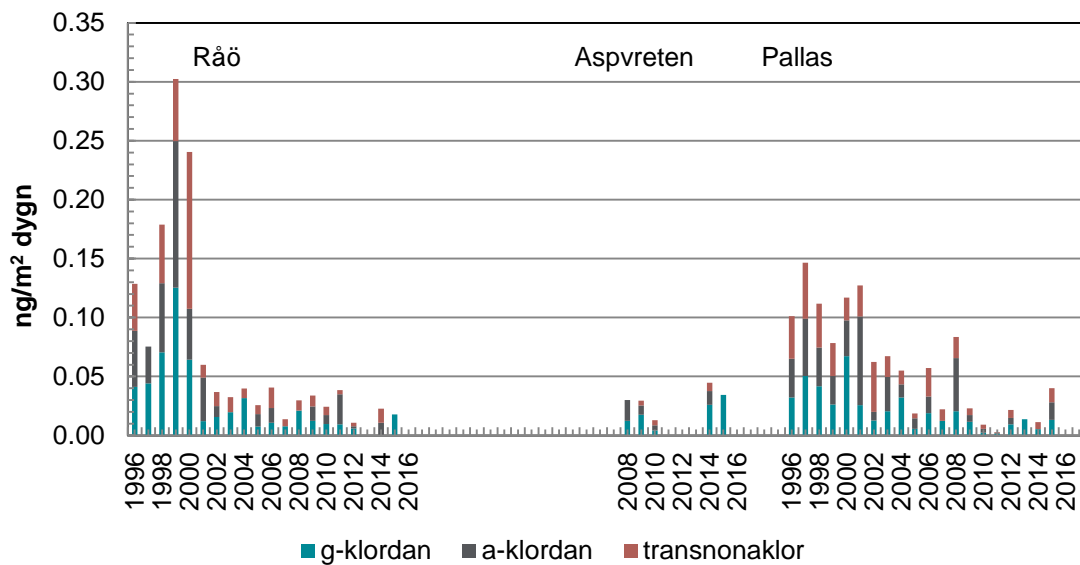
Årsmedelhalterna ligger i samma storleksordning vid alla tre stationer. Årsmedelhalten av klordaner 1996-2017 varierade mellan 0,67–3,3 pg/m<sup>3</sup> vid Råö, 0,56–1,6 pg/m<sup>3</sup> vid Aspvreten (2008-2017) samt 0,63–2,3 pg/m<sup>3</sup> i Pallas. Depositionen av klordaner har minskat och under de senaste fem åren har mängden legat nära eller under rapporteringsgränsen för den analytiska metoden, se Figur 6-11.

Klordaner användes bland annat som insekticid och termiticid och är idag reglerade inom Stockholmskonventionen. Trendanalyser gjorda på data från Råö respektive Pallas (1994 (1995) - 2011) visar en genomsnittlig årlig minskning i luftkoncentration på ca 3-4 procent vid båda stationerna (Anttila et al., 2016). I liket med t.ex. PCB och  $\alpha$ -HCH har minskningen av klordanerna avklingat under de senare åren.





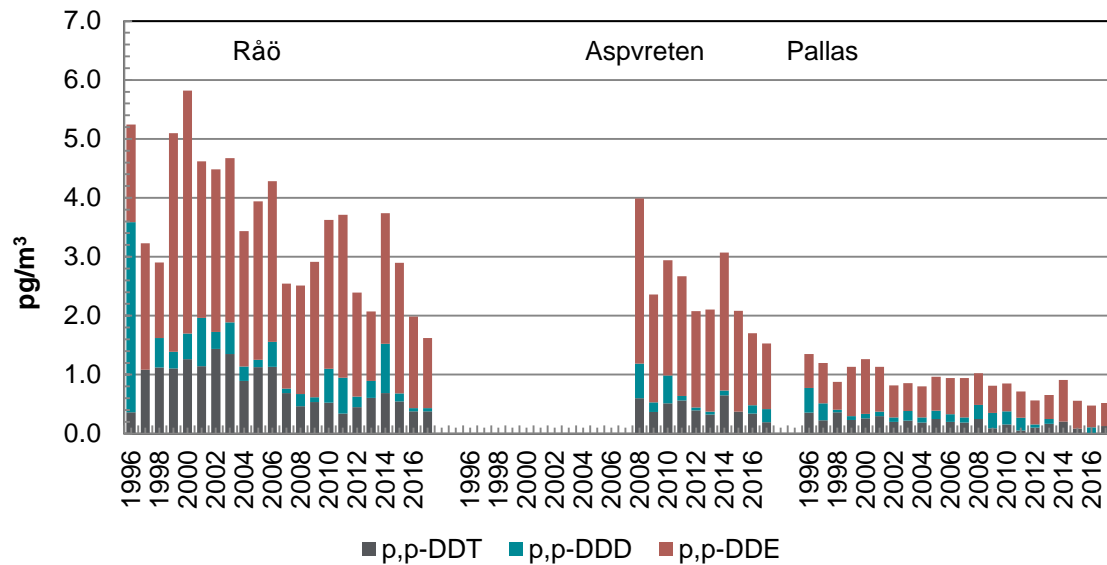
Figur 6-10 Årsmedelhalter av klordaner i luft vid Råö, Aspvreten och Pallas.



Figur 6-11 Årsmedelhalter av klordaner i deposition vid Råö, Aspvreten och Pallas.

### 6.1.2.3 DDT

Årsmedelhalten av p,p-DDE, p,p-DDT och p,p-DDD i luft vid Råö, Aspvreten och Pallas (1996 (2008)-2017) visas i Figur 6-12. DDE-halterna har varit högre än både DDT och DDD. Årsmedelhalterna i luft av p,p-DDD varierade under denna mätperiod mellan 0,053-3,2 pg/m<sup>3</sup> vid Råö, <0,03-0,59 pg/m<sup>3</sup> vid Aspvreten samt <0,03-0,42 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas. Årsmedelhalten för p,p-DDT varierade under samma period mellan 0,34-1,4 pg/m<sup>3</sup> (Råö), 0,19-0,60 pg/m<sup>3</sup> (Aspvreten) och 0,053-0,35 pg/m<sup>3</sup> (Pallas), medan årsmedelhalten av p,p-DDE låg mellan 1,2-4,1 pg/m<sup>3</sup> vid Råö, 1,1-9,0 pg/m<sup>3</sup> vid Aspvreten samt 0,37-0,93 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas.



**Figur 6-12** Årsmedelhalter av p,p-DDT, p,p-DDD och p,p-DDE i luft vid Råö, Aspvreten och Pallas från 1996 till 2017.

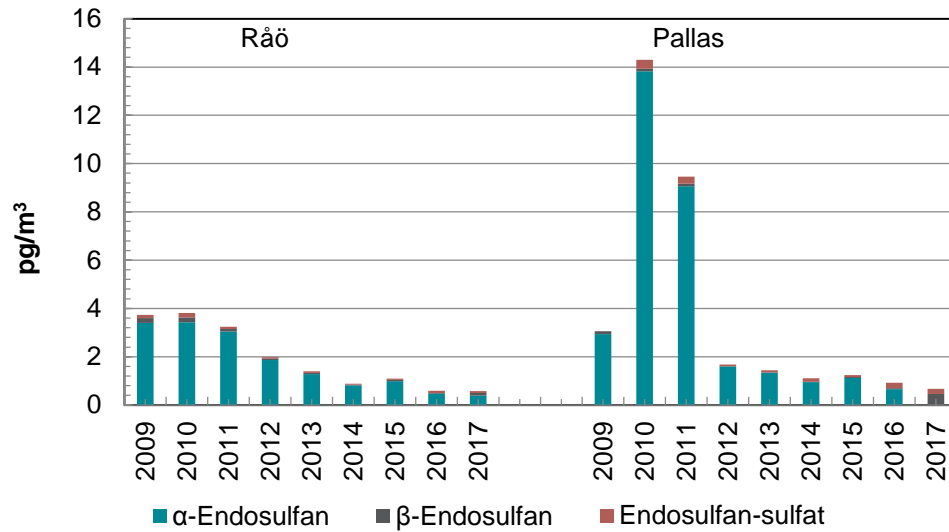
Dygnsdepositionen av p,p-DDT, p,p-DDE och p,p-DDD har under 1996-2017 generellt varit låg. p,p-DDD-fluxerna varierade mellan <0,03-0,25 ng/m<sup>2</sup>, dygn (Råö), <0,03-0,035 ng/m<sup>2</sup>, dygn (Aspvreten) och <0,003-0,24 ng/m<sup>2</sup>, dygn (Pallas). p,p-DDT-fluxerna varierade mellan 0,051-0,47 ng/m<sup>2</sup>, dygn (Råö), <0,01-0,18 ng/m<sup>2</sup>, dygn (Aspvreten) och <0,02-0,22 ng/m<sup>2</sup>, dygn (Pallas). Depositionen av p,p-DDE varierade mellan 0,05-0,40 ng/m<sup>2</sup>, dygn (Råö), 0,006-0,56 ng/m<sup>2</sup>, dygn (Aspvreten) och 0,01-0,14 ng/m<sup>2</sup>, dygn (Pallas).

p,p-DDT användes tidigare som insekticid och står listad i Stockholmskonventionen (Stockholm Convention, 2008) (i Annex B, begränsad användning). p,p-DDE och p,p-DDD är nedbrytningsprodukter till p,p-DDT. Lufthalterna vid Råö och Aspvreten var högre jämfört med Pallas, och även depositionen var lägst i Pallas jämfört med de andra stationerna. De geografiska skillnaderna förklaras med dess avstånd till källområden. Anttila et al. (2016) visade en nedåtgående trend i luftkoncentrationen av p,p-DDE och p,p-DDT i luft på cirka 2-5 procent per år vid både Råö och Pallas (1996-2011). För p,p-DDT gick det inte att genomföra trendanalysen.

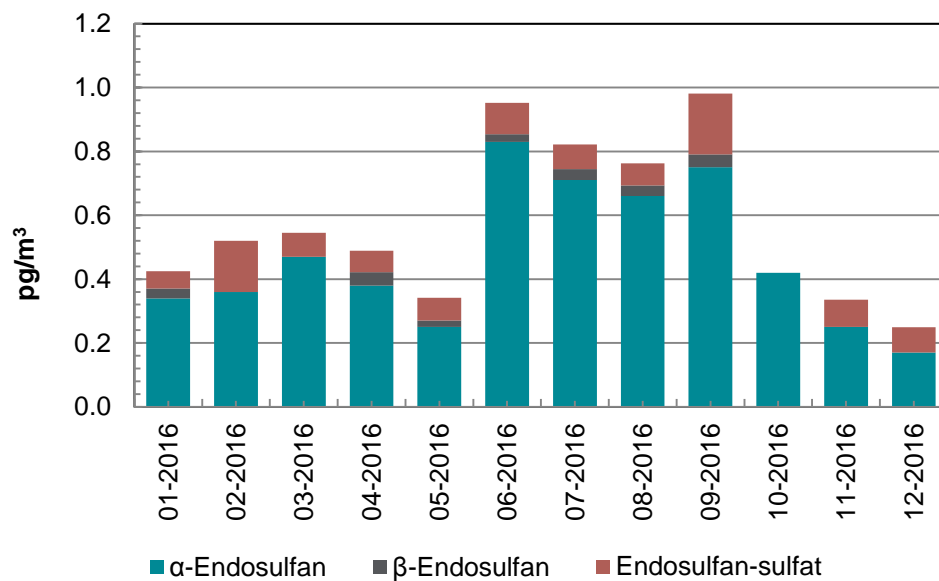
#### 6.1.2.4 Endosulfan

Årsmedelhalten av  $\alpha$ - och  $\beta$ -endosulfan samt endosulfan-sulfat i luft vid Råö och Pallas för åren 2009-2017 presenteras i Figur 6-13.

$\alpha$ -endosulfan uppmättes i de högsta halterna jämfört med de övriga och varierade mellan <0,012-6,4 pg/m<sup>3</sup> vid Råö respektive 0,096-23 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas. En viss årstidsvariation förekom 2016 med något förhöjda värden under sommaren, se Figur 6-14. På grund av interferenser i analysen kunde inte halten  $\alpha$ -endosulfan bestämmas i prover från Råö 2017. Halten  $\beta$ -endosulfan för åren 2009-2017 varierade mellan 0,012-0,33 pg/m<sup>3</sup> vid Råö och 0,012-0,45 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas. Halten endosulfan-sulfat varierade mellan 0,007-0,31 pg/m<sup>3</sup> vid Råö respektive 0,0068-0,96 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas.

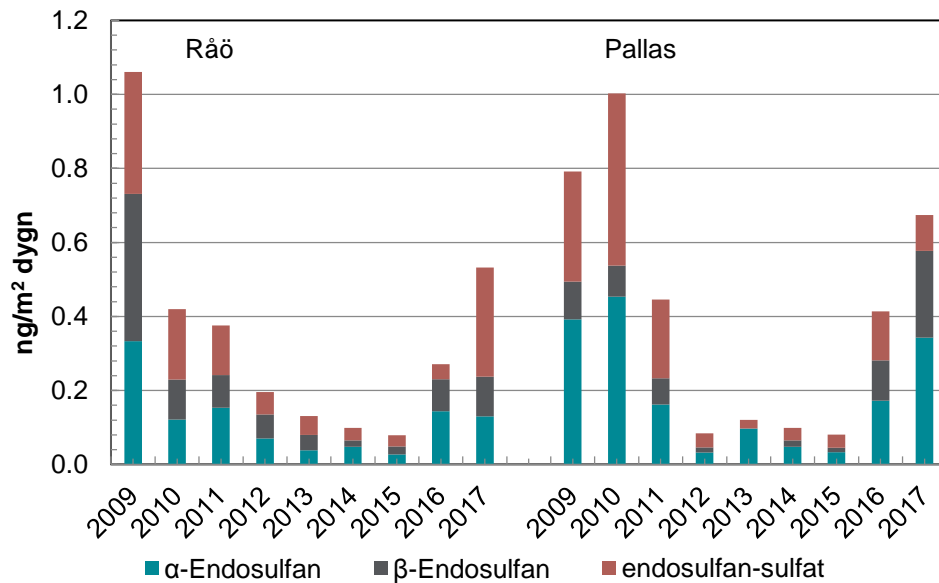


Figur 6-13 Årsmedelhalten av  $\alpha$ - och  $\beta$ -endosulfan samt endosulfan-sulfat i luft vid Råö och Pallas.



Figur 6-14 Årstidsvariation av  $\alpha$ - och  $\beta$ -endosulfan samt endosulfan-sulfat i luft vid Råö 2016.

Depositionen av  $\alpha$ - och  $\beta$ -endosulfan samt endosulfan-sulfat vid Råö och Pallas visas i Figur 6-15. Under 2009-2017 var depositionen av  $\alpha$ -endosulfan i ungefär samma nivå vid Råö (årsmedel 0,027-0,33 ng/m<sup>2</sup>, dygn) och Pallas (0,033-0,45 ng/m<sup>2</sup>, dygn). Depositionen av  $\beta$ -endosulfan varierade mellan 0,018-0,40 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö och <0,01-0,23 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Pallas och depositionen av endosulfan-sulfat varierade mellan 0,030-0,33 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö och 0,023-0,46 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Pallas. För 2017 var mängderna i deposition vid de flesta mättillfällen under kvantifieringsgränsen, varför årsmedelvärdet endast är baserat på ett fåtal mättillfällen (mängder under kvantifieringsgränsen ingår inte i årsmedelvärdet). Depositionen av endosulfan uppmättes vid Råö under april-juni och vid Pallas under juli och november.



Figur 6-15 Deposition av endosulfan vid Råö och Pallas 2009-2017.

Endosulfan är en insekticid. Ämnet inkluderades i Stockholmskonventionen år 2014. Förhöjda lufthalter uppmättes vid Pallas under 2010 och 2011, men i övrigt indikerades minskande halter vid båda stationerna.

I deposition skiljde sig den relativa fördelningen mellan de olika föreningarna från den i luft. α-endosulfan var inte lika dominant i deposition jämfört med i luft, medan endosulfan-sulfat var högre. Detta beror på ämnens olika vattenlöslighet. En viss årstidsvariation, med större deposition under sommarhalvåret, indikerades vid Råö. Säsongsvariationen var inte lika tydlig vid Pallas. Vid både Råö och Pallas uppmättes en lägre deposition under de senare mätåren jämfört med i början, och med en minskad trend fram till 2015. Ökningen år 2016 sammanfaller inte med några ökade lufthalter och har för närvarande ingen förklaring.

### 6.1.2.5 Aldrin, heptaklor, dieldrin

Aldrin har endast detekterats i ett luftprov från Råö, augusti 2010, då 1,2 pg/m<sup>3</sup> uppmättes. Heptaklor har hittats i två luftprover från 2010 (juli och augusti) i halter på 0,80 respektive 1,2 pg/m<sup>3</sup>. I övriga prover kunde aldrin eller heptaklor inte påvisas. I deposition har aldrin endast detekterats i ett prov från Råö 2009-2015 (0,12 ng/m<sup>2</sup>, dygn, mars 2013). Heptaklor detekterades endast i juli- och augustiprovet från 2010 (0,47 respektive 0,25 ng/m<sup>2</sup>, dygn).

Dieldrin började mätas i luft och depositionsprover år 2016. Koncentrationen av dieldrin i luft på Råö varierade 2016 mellan 0,78 och 4,7 pg/m<sup>3</sup> och 2017 mellan <0,06 och 4,9 pg/m<sup>3</sup>. Dieldrin kunde inte detekteras i depositionsprover.

Aldrin och dieldrin har båda använts i pesticidprodukter. Dessutom kan dieldrin vara en nedbrytningsprodukt av aldrin. Heptaklor är en insekticid som använts för att bland annat bekämpa termiter och andra insekter. Då många halter var under rapporteringsgränsen för analysen har en årstidsvariation på Råö bara kunnat observeras för dieldrin. Trenden visar högre halter under sommarhalvåret än under vintern. Detta kan bero på en högre fotodegradering under sommaren (AMAP, 2017). Även en statistiskt signifikant korrelation med temperatur har observerats av Bossi et al., (2013).

### 6.1.2.6 Atrazin, diuron och isoproturon

Pesticiderna isoproturon, diuron och atrazin bestämdes i luft och depositionsprover från Råö fram till 2016. Isoproturon uppmättes sporadiskt i luft då halterna varierade mellan <0,005-2,5 pg/m<sup>3</sup>. Atrazin har inte hittats i något av proverna (<0,5 pg/m<sup>3</sup>), och diuron detekterades endast i ett prov från 2009 (0,49 pg/m<sup>3</sup>). De högsta halterna uppmättes under vår- och höstmånader.

Diuron och atrazin detekterades inte i något av depositionsproverna från Råö 2009-2015 (<0,1 ng/m<sup>2</sup>, dygn). Atrazin detekterades i 8 stycken depositionsprover under 2016 med ett årsmedelvärde på 0,49 ng/m<sup>2</sup>, dygn. Isoproturon detekterades i totalt sju månadsprover (2011, 2013 och 2016) och depositionen varierade mellan 0,026-0,19 ng/m<sup>2</sup>, dygn.

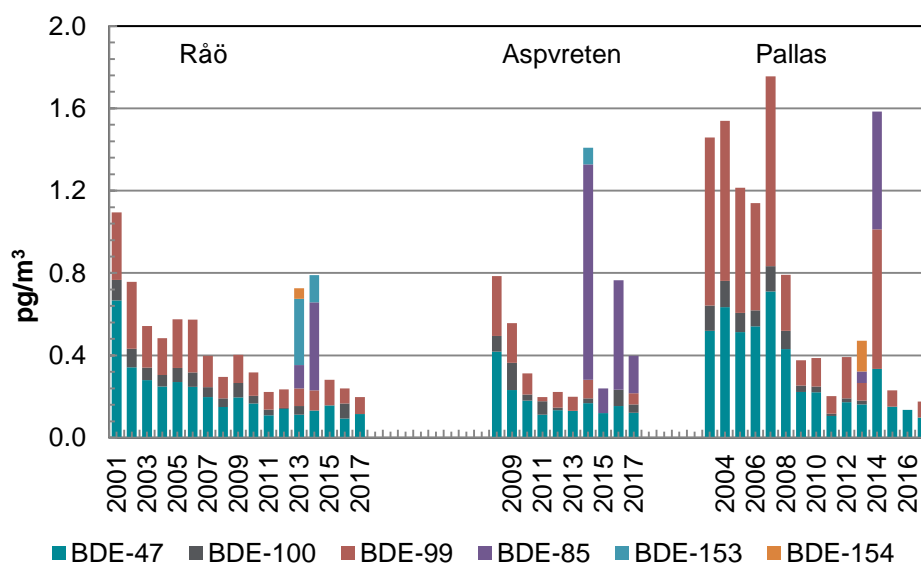
## 6.1.3 Bromerade flamskyddsmedel

### 6.1.3.1 Polybromerade difenyletrar, PBDE och HBCDD

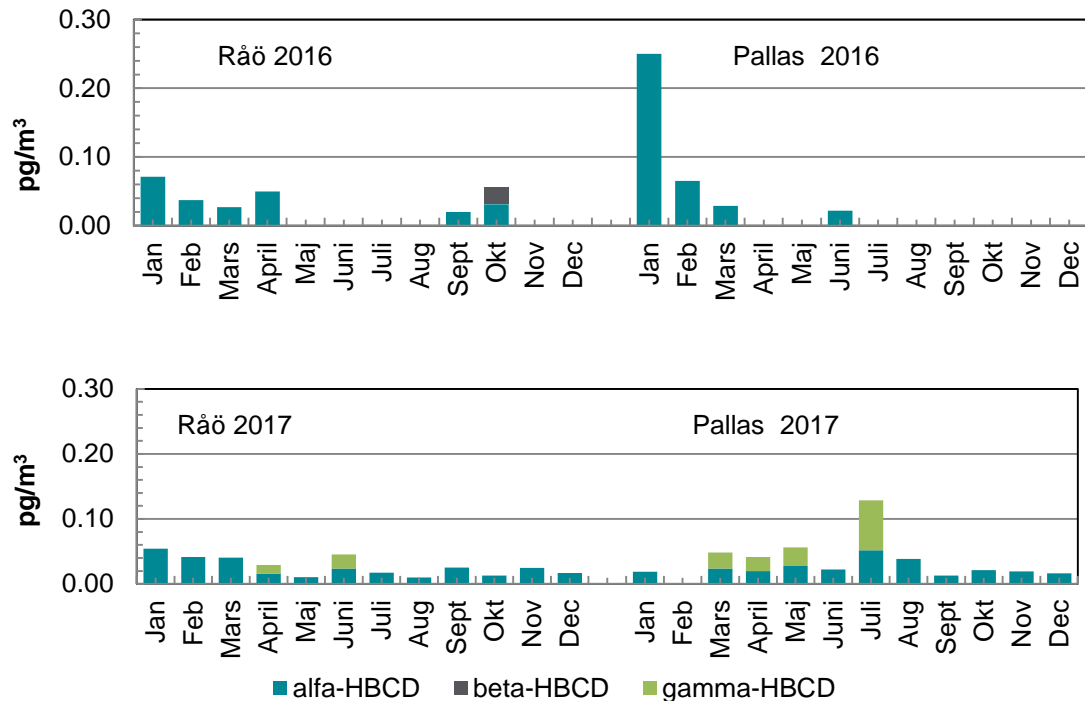
Årsmedelhalten av PBDE i luft vid Råö, Aspvreten och Pallas visas i Figur 6-16. Sedan starten av mätningarna har årsmedelhalterna av BDE (47, 99, 100) varierat mellan 0,2-1,1 pg/m<sup>3</sup> vid Råö, 0,20-0,78 pg/m<sup>3</sup> vid Aspvreten och 0,13-1,8 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas. 2013 inkluderades BDE 85, 154 och 153 i mätningarna. Halterna av dessa var generellt låga eller under kvantifieringsgränsen för analysen. Enstaka månadsvärden bidrog dock till förhöjda halter för vissa år (t.ex. 2014). Årsmedelhalten av summa BDE-85, 153, 154 från 2013 till 2017 varierade mellan <0,05-0,60 pg/m<sup>3</sup> vid Råö, <0,05-1,1 vid Aspvreten och <0,05-0,57 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas.

BDE-209 (deca-BDE) och hexabromcyklododekan (HBCDD) i luft på Råö och Pallas (2009-2017) förekom endast sporadiskt i detekterbara halter. Årsmedelhalten av BDE-209 varierade mellan <0,2-17 pg/m<sup>3</sup> vid Råö och <0,08-0,68 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas. Årsmedelhalten av HBCDD i luft (2009-2017) varierade mellan 0,02-4.4 pg/m<sup>3</sup> vid Råö och 0,05-0,092 pg/m<sup>3</sup> vid Pallas.

Från 2016 genomförs analyserna på en LC-MS, med vilken alfa-, beta- och gamma-HBCDD bestäms separat med lägre detektionsgränser. År 2016 och 2017 varierade halterna HBCDD mellan <0,02 och 0,07 pg/m<sup>3</sup> vid både Råö och Pallas, se Figur 6-17. Någon årstidsvariation kunde inte urskönjas.



**Figur 6-16** Årsmedelhalten av BDE (47, 99, 100) i luft vid Råö, Aspvreten och Pallas 2001-2017. I figuren visas också årsmedelhalten BDE (85, 153, 154) för 2013-2017.



**Figur 6-17** Halten av alfa-, beta- och gamma-HBCDD i luft vid Råö och Pallas för 2016 och 2017.

Depositionen av PBDE (BDE-47, 99, 100) vid Råö, Aspvreten och Pallas visas i Figur 6-18. De högsta BDE-47, 99, 100-fluxerna uppmättes vid Pallas 2003 och 2004. Depositionen av BDE (47, 99, 100) sedan starten av mätningarna varierade mellan 0,041-0,73 ng/m<sup>2</sup>, dygn på Råö, 0,037-0,13 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Aspvreten och 0,043-2,4 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Pallas.

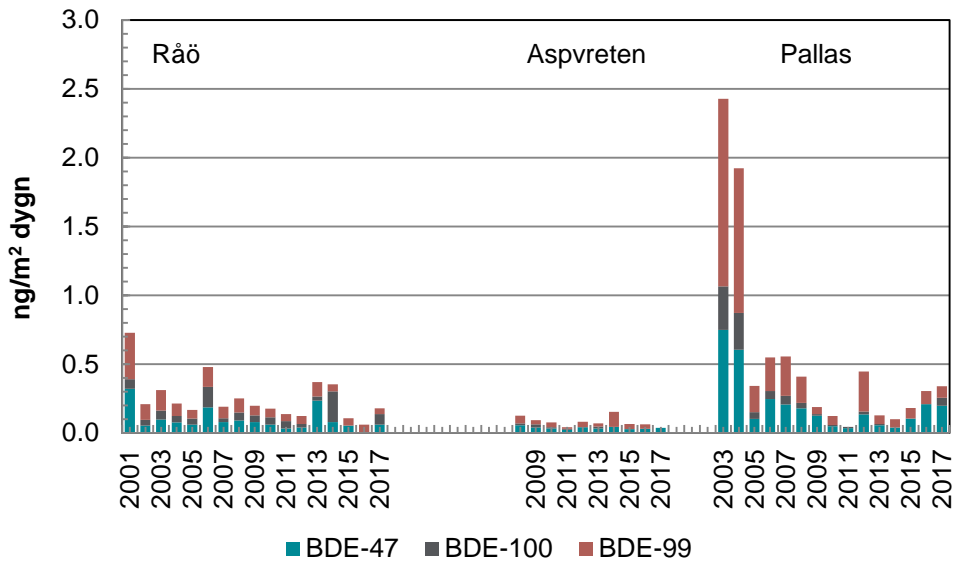
Depositionen av BDE-85, 153, 154 (2013-2017) uppmättes till <0,05-0,85 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö, <0,05-0,064 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Aspvreten samt <0,02-0,11 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Pallas, vilket var i samma nivå som summa BDE (47, 99, 100) under samma period.

Depositionen av BDE-209 och HBCDD på Råö och Pallas (2009-2017) varierade, precis som i luft, mellan olika tillfällen och detekterades endast sporadisk. HBCDD kunde inte bestämmas i depositionsprover från Råö 2017, troligtvis beroende på en matriseffekt. Under 2016 och 2017 detekterades både BDE-209 och HBCDD i flera av depositionsprover, både från Råö och Pallas, se Figur 6-19.

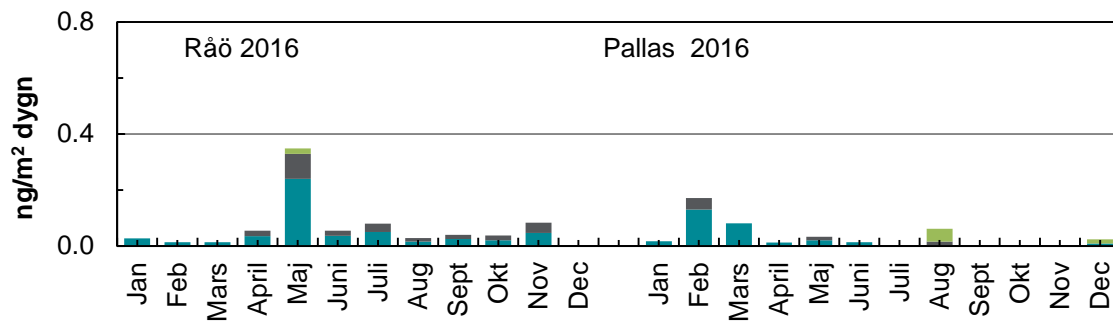
Årsmedeldepositionen från 2009 till 2017 av BDE-209 varierade mellan <0,3-3,3 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö och <0,3-1,8 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Pallas. Depositionen av HBCDD varierade mellan <0,3-3,3 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö. HBCDD detekterades inte i prover från Pallas mellan 2009 och 2014 (<0,05 ng/m<sup>2</sup>, dygn). Årsmedelvärdet av HBCDD i deposition vid Pallas 2015-2017 låg på 0,02-0,19 ng/m<sup>2</sup>, dygn. Den lägre detekterbara haltnivån under senare år beror på att en annan analytisk metod med lägre kvantifieringsgränser använts.

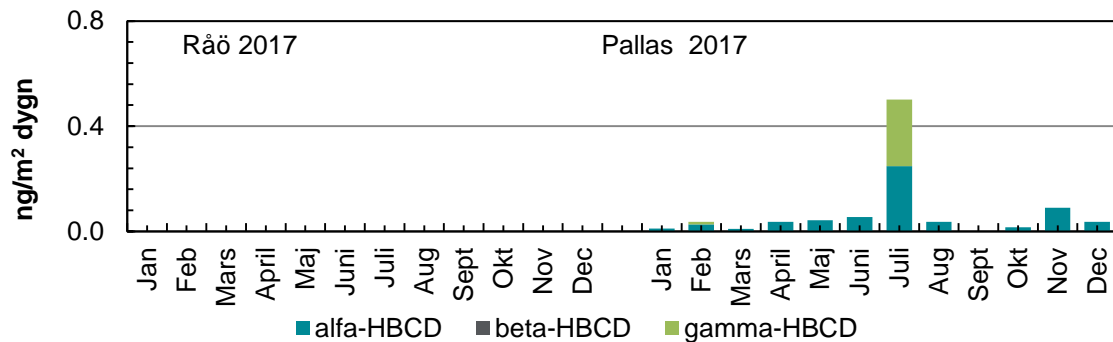
Det som skiljer olika BDE åt är dess bromeringsgrad. PentaBDE (mix av huvudsakligen BDE-47, 99 men också 85, 100, 153, 154) och OktabDE förbjöds i EU 2004 och är reglerade inom Luftvårdskonventionen (CLRTAP) och Stockholmskonventionen. BDE-209 (decaBDE) inkluderades i Stockholmskonventionen 2017 och HBCDD 2014.

Med undantag för Pallas 2014 har halterna av BDE 47, 99 och 100 i luft minskat sedan starten av mätningar vid alla tre stationer. Även depositionen har minskat. Inga trender kunde urskönjas för BDE-209 eller HBCDD.



Figur 6-18 Deposition av BDE (47, 99, 100) vid Råö, Aspvreten och Pallas.





**Figur 6-19** HBCDD i deposition från Råö och Pallas för 2016 och 2017. Data för Råö deposition 2017 saknas på grund av interferenser i analysen, troligen till följd av matriseffekten.

## 6.1.4 "Nya" flamskyddsmedel

På grund av utfasningen av PBDE som flamskyddsämnen har ett stort och ökande antal alternativa flamskyddsmedel introducerats på marknaden. Med "nya" menas här flamskyddsmedel vars användning och förekomst i miljön förväntas öka (på engelska används termen "emerging brominated flame retardants"). Förutom de bromerade flamskyddsmedlen ingick även ett klorerat flamskyddsmedel, Dechlorane Plus, i mätningarna.

Nya bromerade flamskyddsmedel, se Tabell 4-1 började mätas i luft i juli 2017 och mättes under tre valda månader.

**Tabell 6-20** Flamskyddsmedel som ingår i mätningarna

1,2-Dibromo-4-(1,2-dibromoethyl) cyclohexane, $\alpha$ -DBE-DBCH	TBECH1(alfa)
1,2-Dibromo-4-(1,2-dibromoethyl) cyclohexane, $\beta$ -DBE-DBCH	TBECH2(beta)
Pentabromotoluene	PBT
Pentabromoethylbenzene	PBEb
Hexabromobenzene	HBB
2-Ethylhexyl 2,3,4,5-tetrabromobenzoate	EH-TBB
1,2-Bis(2,4,6-tribromophenoxy)ethane	BTBPE
Bis(2-ethylhexyl) tetrabromophthalate	BEH-TEBP
Decabromodiphenyl ether	BDE-209
Decabromodiphenylethane	DBDPE
Syn-dechlorane Plus	DP syn
Anti-dechlorane Plus	DP anti

Av de bromerade föreningarna var det endast HBB, BEH-TBP och DBDPE som kunde detekteras vid Råö, Apsvreten och Pallas. HBB detekterades i halter 0,11–0,12  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid alla tre stationer, BEH-TBP detekterades i halter 0,2–2,5  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Råö, 0,13–0,47  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Apsvreten och 0,53–1,4  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Pallas. DBDPE detekterades endast vid Råö i halterna 1,1–3,1  $\text{pg}/\text{m}^3$ .

Dechlorane Plus uppmättes på alla tre stationer och halterna var i nivå med vad som tidigare uppmätts vid Råö och Pallas (Remberger et al., 2014). DP syn varierade mellan 0,01–0,021  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Råö, uppmättes i oktoberprovet till 0,012  $\text{pg}/\text{m}^3$  vid Apsvreten och i julioprovet vid Pallas till 0,013  $\text{pg}/\text{m}^3$ . DP anti uppmättes vid Råö till 0,029–0,056  $\text{pg}/\text{m}^3$  och vid Apsvreten 0,012–0,026



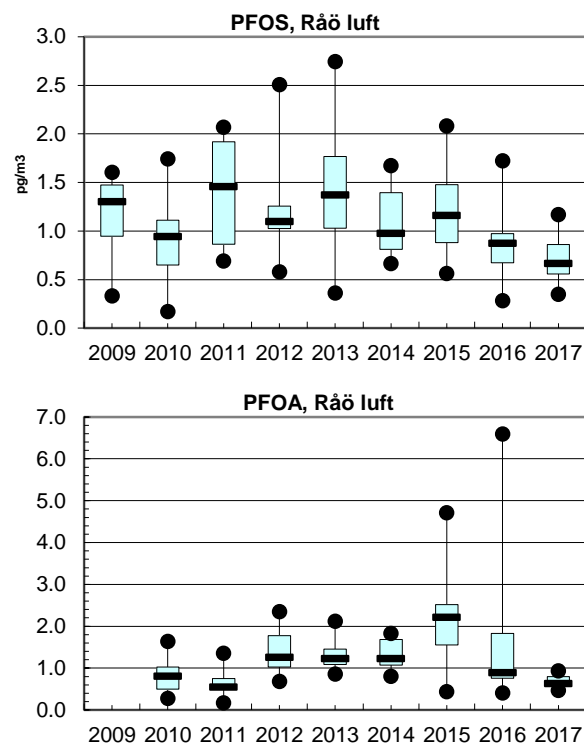
pg/m<sup>3</sup>. Vid Pallas var koncentrationen av DP anti mellan 0,011 och 0,017 pg/m<sup>3</sup>. Lufttransport är en viktig spridningsväg för detta flamskyddsmedel och kan därför finnas i bakgrundsmiljöer.

Då endast tre månadsprover hittills har analyserats kommer ytterligare utvärdering att göras då resultaten från 2018 års prover är analyserade.

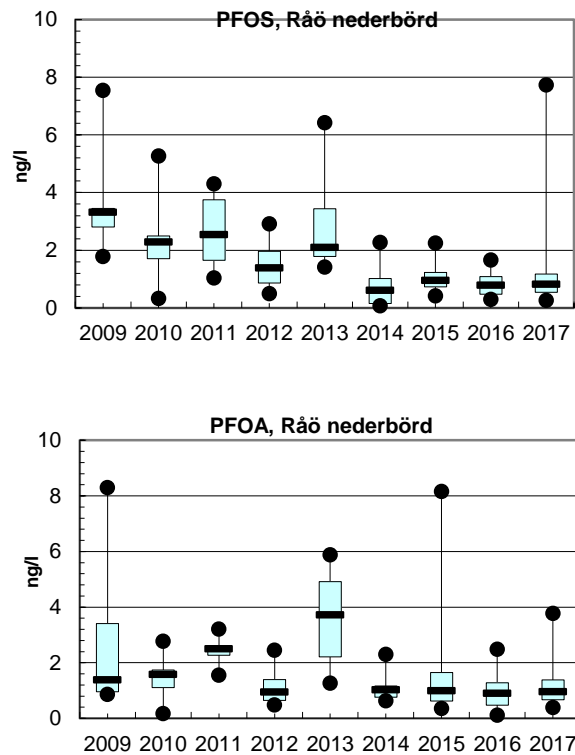
## 6.1.5 Per- och polyfluorerade ämnen (PFAS)

Mätningar i luft och nederbörd av två per- och polyfluorerade ämnen, perfluoroktansulfonat (PFOS) och perfluoroktansyra (PFOA), vid Råö startade i juli 2009. Halterna av PFOS och PFOA vid Råö för åren 2009-2017 i luft visas i Tabell 6-20 och i nederbörd i Figur 6-21. Årsmedelhalten för PFOS i luft 2009-2017 vid Råö varierade mellan 0,91 och 1,4 pg/m<sup>3</sup>. Motsvarande variation för årsmedelhalt av PFOA i luft var 0,64–2,1 pg/m<sup>3</sup>. Någon tydlig trend av PFOS och PFOA i luft indikeras inte. Den högsta halten av PFOS uppmättes 2011 och 2013, medan de högsta PFOA-halterna förekom 2015 och 2016.

Årsmedelhalten av PFOS i nederbörden vid Råö 2009-2017 varierade mellan 0,8 och 3,7 ng/l och PFOA varierade mellan 1,1 och 3,6 ng/l. Halterna av både PFOS och PFOA har vanligen varit lägre under de senaste åren.



**Figur 6-21** Halten av PFOS och PFOA i luft vid Råö från 2009 till 2017. Notera att det är olika skalor på y-axeln. Resultaten redovisas som "box whisker plots", där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.

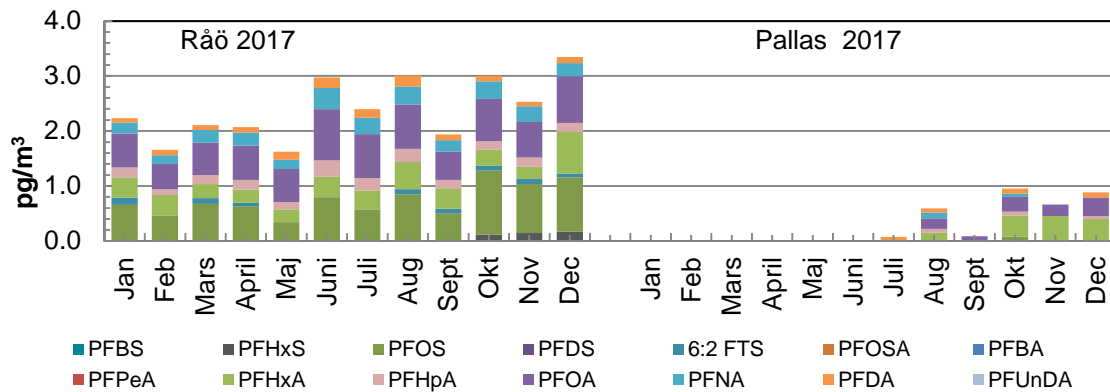


**Figur 6-22** Halten av PFOS och PFOA i nederbörd vid Råö från 2009 till 2017. Resultaten redovisas som "box whisker plots", där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.

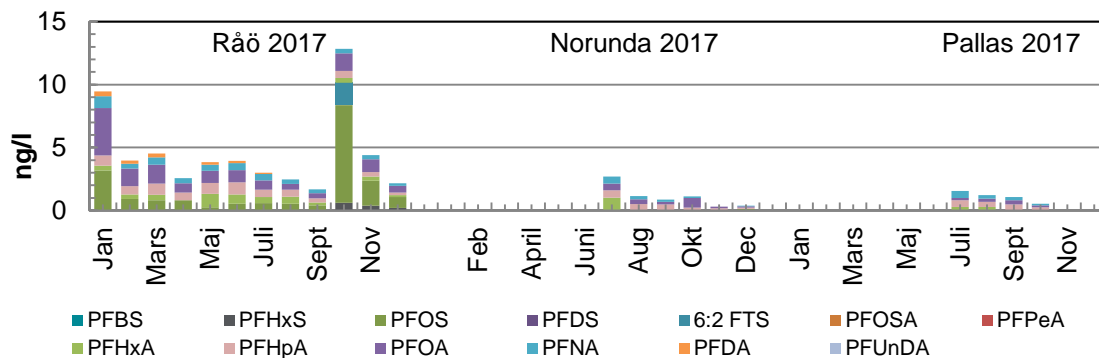
Från juli 2017 utökades mätprogrammet med fler fluorerade ämnen och fler stationer. Luftmätningarna utökades då med en station, Pallas, och nederbördsmätningarna med två stationer, Pallas och Norunda. I proverna från Råö inkluderades de nya substanserna redan från januari. I och med införandet av fler substanser och fler stationer kan förekomst och trender bättre bevakas.

Antalet PFAS utökades till att omfatta 14 substanser - perfluorbutansyra (PFBA), perfluorpentansyra (PFPeA), perfluorhexansyra (PFHxA), perfluorheptansyra (PFHpA), perfluoroktansyra (PFOA), perfluorononansyra (PFNA), perfluordekansyra (PFDA), perfluorundekansyra (PFUnDA), perfluorbutansulfonat (PFBS), perfluorhexansulfonat (PFHxS), perfluoroktansulfonat (PFOS), perfluordekansulfonat (PFDS), fluortelomersulfonat (6:2-FTS) och perfluoroktansulfonamid (PFOSA). PFBA kunde inte bestämmas i nederbördsproverna. Den analytiska metoden av PFBA har inför kommande analyser förbättrats.

Halten av de PFAS som bestämdes 2017 i luft från Råö och Pallas visas i Figur 6-23 Figur 6-24 och i nederbörd från Råö, Pallas och Norunda i Figur 6-24.



Figur 6-23 Halten av PFAS i luft vid Råö och Pallas 2017.



Figur 6-24 Halten av PFAS i nederbörd vid Råö, Norunda och Pallas 2017.

Mätresultaten från 2017 visar att PFAS-koncentrationen i luft är högre i södra Sverige (Råö) jämfört med norra Finland (Pallas). Medelhalten vid Råö låg på 2,5 pg/m<sup>3</sup> och vid Pallas på 0,87 pg/m<sup>3</sup>, baserat på mätningarna från andra halvåret. Även halten PFOS och PFOA i luft var högre vid Råö (0,71 och 0,68 pg/m<sup>3</sup>) jämfört med Pallas (0,081 och 0,22 pg/m<sup>3</sup>). Summan av PFOS och PFOA vid Råö och Pallas motsvarade ca 50 respektive 35 procent av summan 14 PFAS.

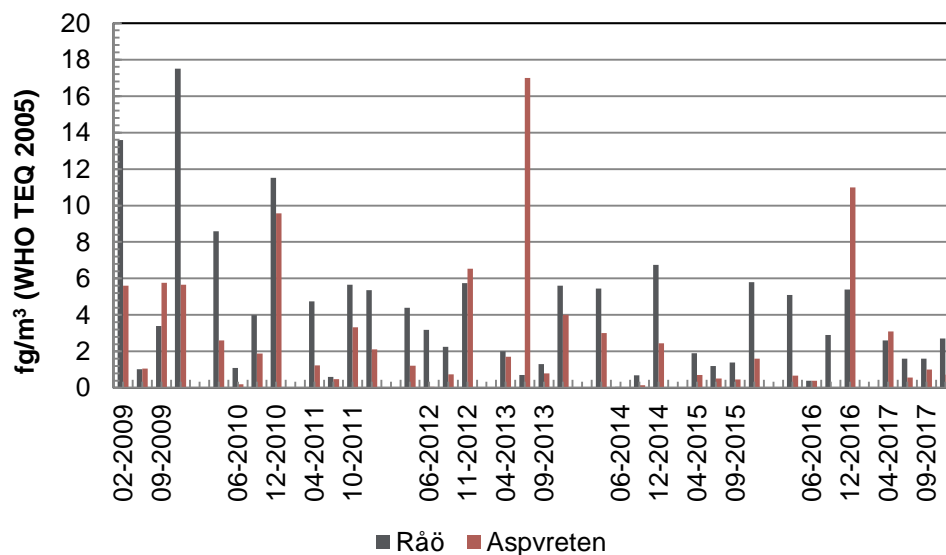
De halter av PFAS i nederbörd som under tidigare år har uppmätts vid Råö har varit höga, vilket kan förklaras med det havsnära läget och påverkan av "sea spray". Detta var en av anledningarna till införandet av mätningar vid Norunda och Pallas. Vid de två nya stationerna uppmättes lägre halter PFAS än vid Råö. Halten PFAS i nederbörd på Råö 2017 låg på 6,7 ng/l, medan halten vid Pallas och Norunda låg på 1,1 ng/l. Summan av PFOS och PFOA på Råö och Norunda utgjorde cirka 40 % av summan 14 PFAS. PFOS kunde inte bestämmas i nederbördsproverna från Pallas, eftersom halterna var låga och under rapporteringsgränsen för analysen.

Höglfluorerade ämnen, såsom perfluorooktansulfonat (PFOS) och perfluorooktansyra (PFOA), är persistenta, bioackumulerande och toxiska föroreningar med global spridning. Trots att långkedjiga PFAS, däribland PFOS och PFOA, inte längre tillverkas eller används i Europa så fortsätter de att läcka ut i miljön från sekundära källor.

## 6.1.6 Polyklorerade dibensodioxiner och furaner (PCDD/PCDF)

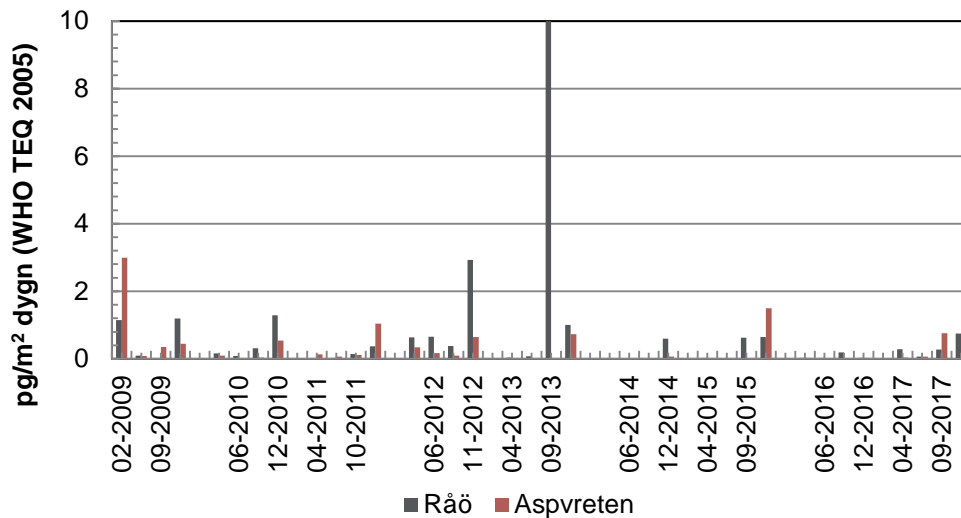
Polyklorerade dibensodioxiner och furaner (PCDD/PCDF) mäts sedan 2009 i luft- och deposition vid Råö och Aspvreten under fyra månader jämnt spridda över året. Resultaten från dessa mätningar presenteras i Figur 6-25.

Halten av summan PCDD/PCDF på Råö varierade för perioden 2009-2017 mellan 0,063-18 fg TEQ/m<sup>3</sup>, generellt med lägre koncentrationer under sommaren. Vid Aspvreten uppmättes vid de flesta tillfällen lägre halter jämfört med vid Råö (0,037-17 fg TEQ/m<sup>3</sup>). I juni 2013 förekom förhöjda halter av två enskilda komponenter (2378-TCDD och 12378-PeCDD) vid Aspvreten. Dessa avvikande halter under sommarhalvåret har inte kunnat förklaras.



**Figur 6-25** Summa polyklorerade dibensodioxiner och furaner i luft vid Råö och Aspvreten 2009-2017, halterna är angivna i fg TEQ/m<sup>3</sup>, lower limit (WHO TEQ 2005).

Deposition av summan PCDD/PCDF vid Råö och Aspvreten presenteras i Figur 6-26. Baserat på fyra mätningar per år varierade dygnsmedeldepositionen av summa PCDD/PCDF mellan 0,008 till 10 pg TEQ/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö och 0,006 till 3,0 pg TEQ/m<sup>2</sup>, dygn vid Aspvreten.



**Figur 6-26** Deposition av polyklorerade dibensodioxiner och furaner (summa PCDD/PCDF) vid Råö och Aspvreten 2009-2017, halterna är angivna i pg TEQ/m<sup>2</sup>, dygn, lower limit (WHO TEQ 2005).

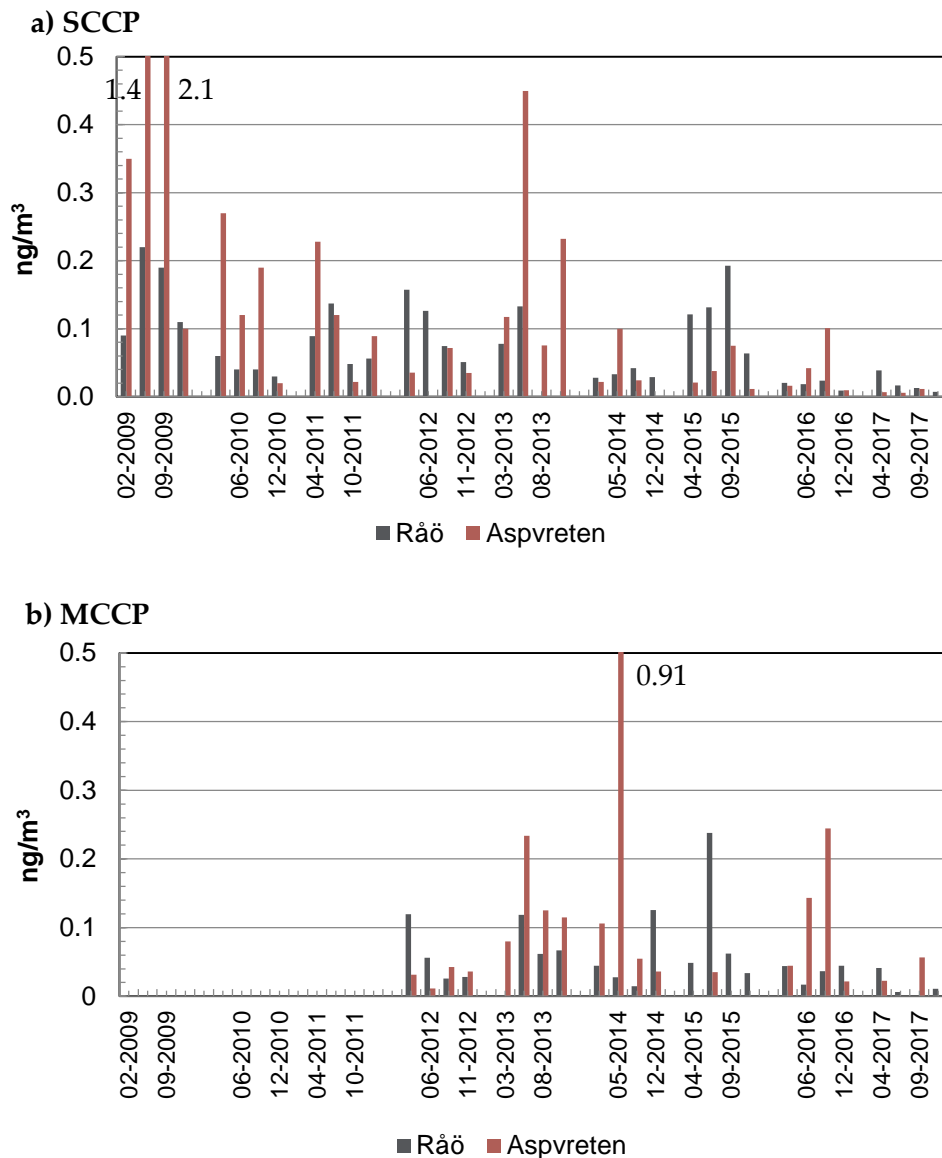
Dioxiner kan bildas oavsiktligen vid förbränning i närvaron av klor. De har också naturliga källor vid vulkanutbrott och skogsbränder. PCDD/PCDF lades till i Annex C (reducering av oavsiktliga utsläpp) i Stockholmskonventionen 2004 (Stockholm Convention, 2008).

Lufthalterna av dioxiner vid Råö var 2016-2017 i samma storleksordning som vid tidigare mätningar på Råö (2004-2005) (Palm Cousins et al., 2006). Med undantag för juni 2013 vid Råö har den högsta depositionen vid båda stationerna uppmätts under vintermånader. Då dioxiner bildas vid förbränning detta förklara observerade årstidsvariationer. Det avvikande värdet i juni beror på två höga enskilda komponenter, (2378-TCDD och 12378-PeCDD, vilket inte kan förklaras.

## 6.1.7 Klorparaffiner

Kortkedjiga klorparaffiner, C10-13 (SCCP), mäts sedan 2009 i luft- och deposition vid Råö och Aspvreten, under fyra månader jämnt spridda över året. Mediumkedjiga klorparaffiner, C14-17 (MCCP) inkluderades i programmet 2012.

Halten SCCP och MCCP i luft vid Råö och Aspvreten presenteras i Figur 6-27. Halten SCCP (2009-2017) varierade mellan 0,007-0,22 ng/m<sup>3</sup> på Råö samt mellan 0,006-2,1 ng/m<sup>3</sup> vid Aspvreten. MCCP-koncentrationen varierade under 2012-2017 mellan 0,006 till 0,024 ng/m<sup>3</sup> vid Råö och 0,011-0,91 ng/m<sup>3</sup> vid Aspvreten. Under första året av mätningar inträffade ett par tillfällen med högre SCCP-halter vid Aspvreten. Ingen tydlig årstidsvariation går att utläsa.



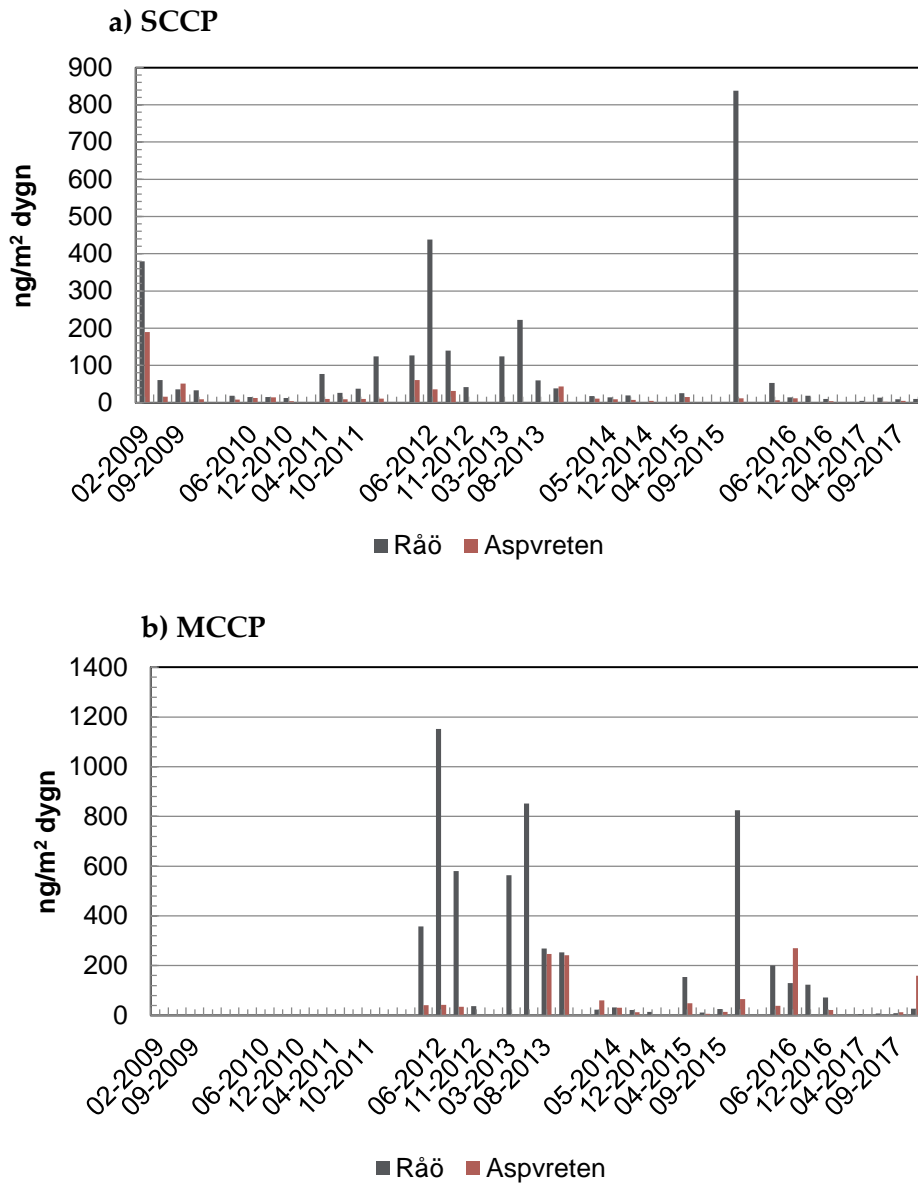
**Figur 6-27** Halten av a) SCCP och b) MCCP (ng/m<sup>3</sup>) i luft vid Råö och Aspvreten 2009-2017. Observera att två värden för SCCP 2009 (Aspvreten) i figuren är kapade pga. skalan.

Depositionen av SCCP och MCCP för mätningarna mellan 2009 (2012) och 2017 varierade stort mellan olika månader vid såväl Råö som Aspvreten, vilket visas i Figur 6-28 **Figur 6-29**.

Depositionen av SCCP som årsmedel baserat på fyra mätningar per år, varierade mellan 4,3 och 840 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö och mellan 1,6 och 190 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Aspvreten. Depositionen av MCCP som årsmedel, baserat på fyra mätningar per år (2012-2017), var 4,3 - 1150 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Råö och 5,5 - 270 ng/m<sup>2</sup>, dygn vid Aspvreten. Den största depositionen av SCCP uppmättes i december 2015.

SCCP har producerats sedan 1930-talet och har använts som industrikemikalie i en stor antal applikationer, t.ex. som flamskyddsmedel och som tillsatsmedel i plaster. De reglerades i Stockholmskonventionen först 2017. MCCP har liknande användningsområden som SCCP, och det viktigaste är som en extender i PVC.

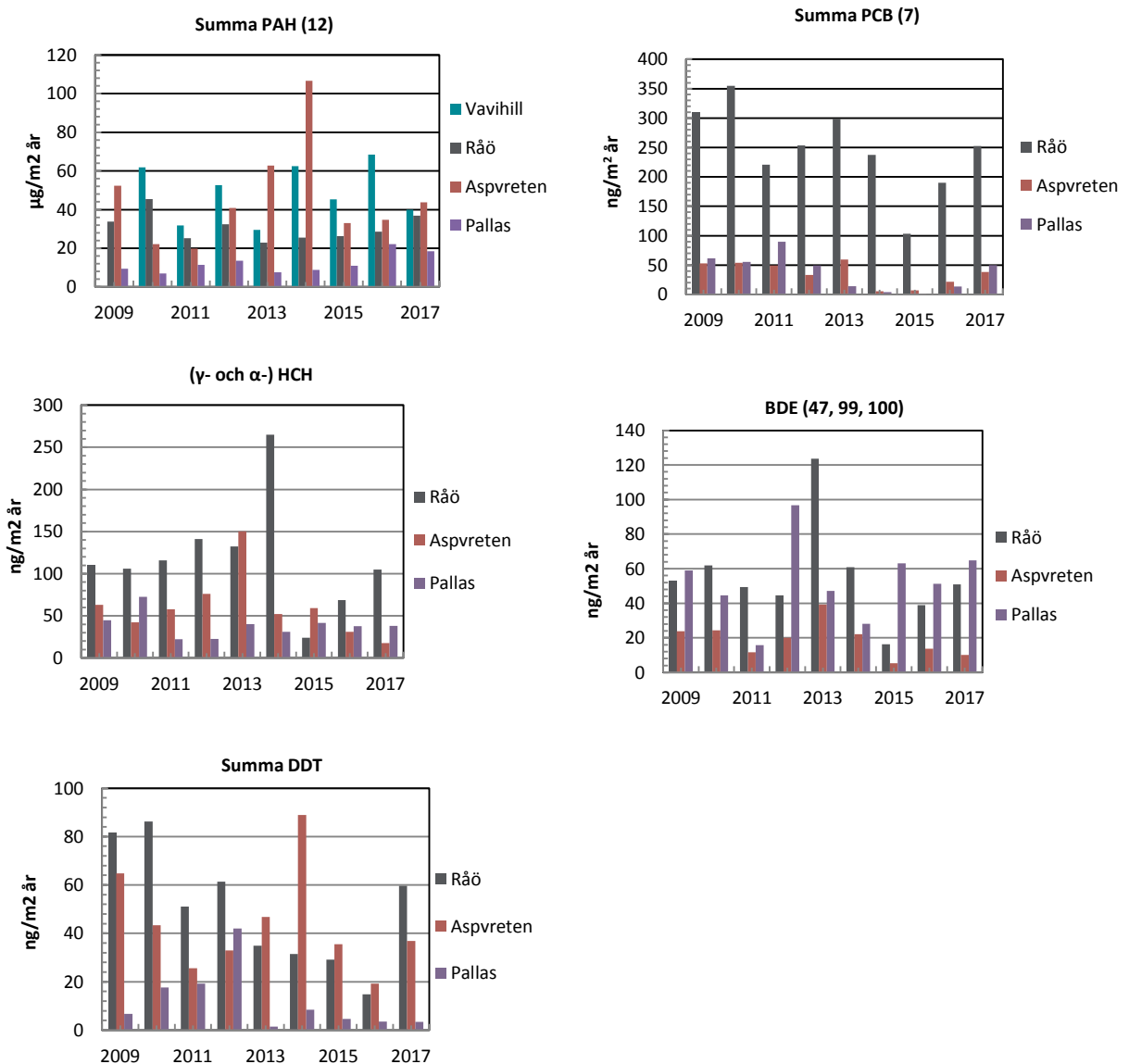
De är inte del av Stockholmskonventionen, men det finns förslag till framtida reglering. Inga trender för klorparaffiner har hittills observerats vid varken Råö eller Aspvreten.



Figur 6-28 SCCP och MCCP i deposition vid Råö och Aspvreten 2009-2017.

## 6.2 Uppskattad årlig deposition

Uppskattad årlig deposition av summa PAH, PCB, HCH, DDT samt BDE (47, 99, 100) för åren 2009 till 2017 presenteras i Figur 6-29. Depositionen av klordaner under de senaste åren har varit liten och har inte alltid kunnat detekteras. Dessa presenteras därför inte i figuren nedan.



**Figur 6-29** Uppskattad årlig deposition av summa PAH (12), PCB (7), klordaner, DDT (DDE, DDT, DDD), HCH samt BDE (47, 99, 100) för åren 2009-2017.



## 7 Pesticider i luft och nederbörd

Tabell 7-1 Pesticider i luft och nederbörd

Parametrar	<i>Luft:</i> 115 (filter) och 101 (PUF) olika pesticider, vilka både avspeglar historisk och nutida användning, varav en del är förbjudna inom Sverige och därmed avspeglar långväga transport. <i>Nederbörd:</i> 148 olika pesticider, vilka både avspeglar historisk och nutida användning, varav en del är förbjudna inom Sverige och därmed avspeglar långväga transport
Stationer	<i>Luft:</i> Vavihill (2009-2016), Hallahus (2017-) <i>Nederbörd:</i> Vavihill (2002-2016), Hallahus (2017-), Aspvreten (2009-2016), Norunda (2017-)
Mätfrekvens	<i>Luft:</i> apr-okt, 1-4 prov/månad, <i>Nederbörd:</i> apr-okt, ca 2 prov/mån
Kravställare	Förordning EG 1107/2009 (godkännande av växtskyddsmedel) och direktiv 2009/128/EG (uthållig användning av växtskyddsmedel), samt EMEP, LRTAP för vissa substanser (legacy POP:s).
Lagringsplats	I en Access-databas på Institutionen för vatten och miljö, SLU, samt hos datavärden (Jordbruksmark) på Institutionen för mark och miljö, SLU. <a href="https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/miljoanalys/dv/bekampningsmedel-i-nederbord-och-luft/">https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/miljoanalys/dv/bekampningsmedel-i-nederbord-och-luft/</a>
Utförare	Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)
Mer information	

Växtskyddsmedel (pesticider) ingår i begreppet bekämpningsmedel och är en grupp kemiska substanser som främst används för att skydda grödor från olika typer av angrepp, exempelvis av svampar och insekter, och för att hålla undan konkurrerande vegetation (ogräs). Jordbruket står för den största användningen av dessa substanser, men även inom den produktionsinriktade trädgårdsodlingen är användningen omfattande. Användningen sker under större delen av odlingssäsongen, och avdunstning från mark och gröda kan leda till betydande förluster till atmosfären. Aktiva substanser i växtskyddsmedel bedöms gemensamt inom EU och regleras numera genom förordningen 1107/2009.

Godkännandeprocessen innebär en riskbedömning av substanserna, vilken bland annat inkluderar en bedömning av hur långlivad substansen är i atmosfären och därmed av risken för långdistansspridning. Detta arbete bygger i stor utsträckning på modeller, varför det föreligger ett behov av underlag som visar hur substanserna uppträder i naturen. Arbetet under det senaste årtiondet har lett till att flera växtskyddsmedel med kända negativa effekter i miljön numera är förbjudna inom EU. Några av dessa är atrazin, endosulfan och lindan, vilka tidigare har använts i stor omfattning och varit vanligt förekommande i atmosfärisk deposition inom exempelvis de nordiska länderna, men förbuden gör att depositionen nu klingar av.

Det finns fortfarande uppskattningsvis cirka 400 olika aktiva substanser registrerade som växtskyddsmedel inom EU, och det godkänns även kontinuerligt nya substanser. Dessa substanser har generellt sett bättre egenskaper vad gäller både hälsa och miljö än tidigare generationer av växtskyddsmedel.

Det finns emellertid substanser som fortfarande är godkända, trots att de till exempel är både endokrinstörande och persistenta i mark och vatten, eller med en beräknad halveringstid i luft

på närmare 2 dygn. Det är därför angeläget att kontinuerligt följa utvecklingen när det gäller potentiellt hälso- och miljöfarliga växtskyddsmedel som deponeras över Sverige.

Nuvarande övervakningsprogram för växtskyddsmedel (Delprogram Pesticider i luft och nederbörd) inleddes 2002 med insamling av nederbörd vid en lokal i södra Sverige (Vavihill). Delprogrammet utvidgades 2009 och inkluderar numera även luftprovtagning av växtskyddsmedel vid Vavihill (Hallahus från 2017) och nederbördsprovtagning vid Aspvreten (Norunda från 2017).

Syftet med miljöövervakningsprogrammet är att:

- studera innehåll av växtskyddsmedel i luft och nederbörd samt följa förändringar i sammansättning och halter över tiden,
- ge underlag för bedömningar av atmosfärisk deposition av växtskyddsmedel i Sverige,
- ge underlag till nationellt och internationellt arbete kring riskminskning vid användning av växtskyddsmedel samt uppföljning av utförda åtgärder,
- komplettera mätningar i ytvatten för att studera varifrån belastningen härrör, som underlag för myndigheternas arbete med påverkansanalys.

## 7.1 Resultat Pesticider i luft och nederbörd

Mätningarna av nederbörd inleddes 2002 vid en station på Söderåsen i Skåne (Vavihill). 2009 utökades mätningarna till att omfatta även luft vid Vavihill och en ny station för nederbörd etablerades vid Aspvreten i Södermanland. En flytt av de bägge stationerna skedde 2016/2017, med en ny station på Söderåsen i Skåne (Hallahus), nära den gamla, och stationen vid Aspvreten flyttades till Norunda i Uppland. Bägge de nya stationerna är fortsatt samlokaliserade med IVL:s stationer. I samband med flytten genomfördes parallella provtagningar vid både den gamla och den nya stationen under en hel säsong. Från 2017 rapporteras luft och nederbördsdata från de två nya stationerna Hallahus och Norunda. Undersökningens utformning och analysprogrammets omfattning redovisas i Bilaga 2.

Under vintern 2017/2018 har provtagning genomförts vid Hallahus för att undersöka förekomst av växtskyddsmedel i luft och nederbörd även under den del av året då normalt endast begränsad användning av växtskyddsmedel sker. Vinterprovtagning av nederbörd har endast gjorts vid ett tidigare tillfälle (2008/2009), däremot har vinterprovtagning av luft inte tidigare genomförts.

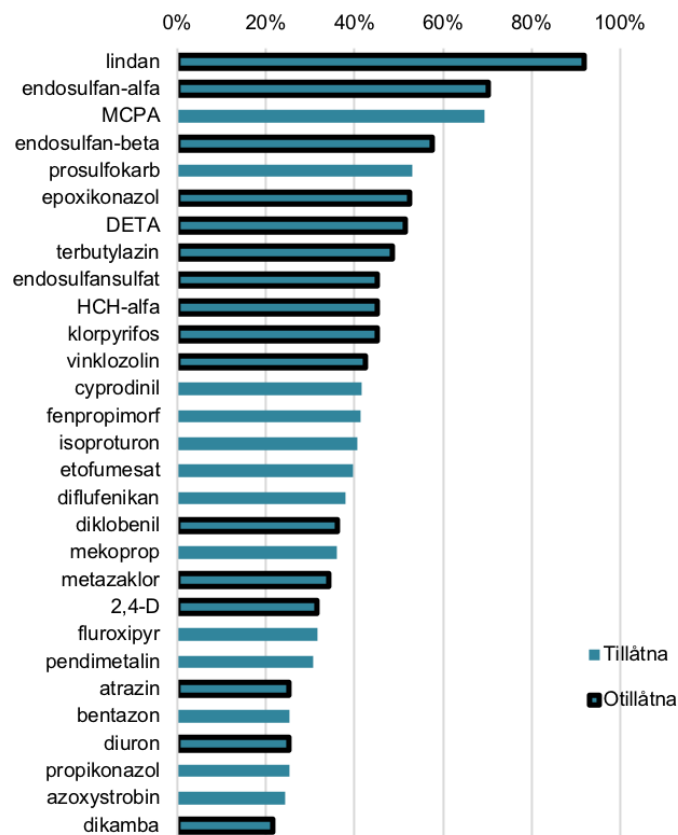
Under åren provtagningen har pågått, har pesticider regelbundet påträffats i halter i spannet 0,001-0,1 µg/L, men med enstaka högre halter. Högsta uppmätta halt i nederbörd av en enskild substans uppmättes hösten 2016 på Vavihill med 5,3 µg/L av ogräsmedlet prosulfokarb. Vid stationen längre norr ut är halterna genomgående lägre, med högsta uppmätta halt sommaren 2017 i Norunda med 0,098 µg/L av ogräsmedlet MCPA. Förutom generellt högre halter påträffas också fler substanser i nederbördsproverna från Vavihill/Hallahus, totalt 101 olika substanser jämfört med 47 i Aspvreten/Norunda, av de totalt cirka 160 substanser som analyserats under hela eller delar av perioden 2002-2017. Skillnader mellan de två provplatserna återspeglar främst att Aspvreten/Norunda ligger på större avstånd från områden med mer intensiv användning av växtskyddsmedel, både i Sverige och på kontinenten, jämfört med Vavihill/Hallahus.

En betydande andel av de fynd som gjorts i nederbörd från Vavihill utgörs av växtskyddsmedel har varit förbjudna för användning i Sverige under hela eller större delen av perioden. Under

de första åtta åren (2002-2009) återfanns 29 substanser i fler än 20 procent av proverna från Vavihill, varav 16 av dessa varit förbjudna Figur 7-1.

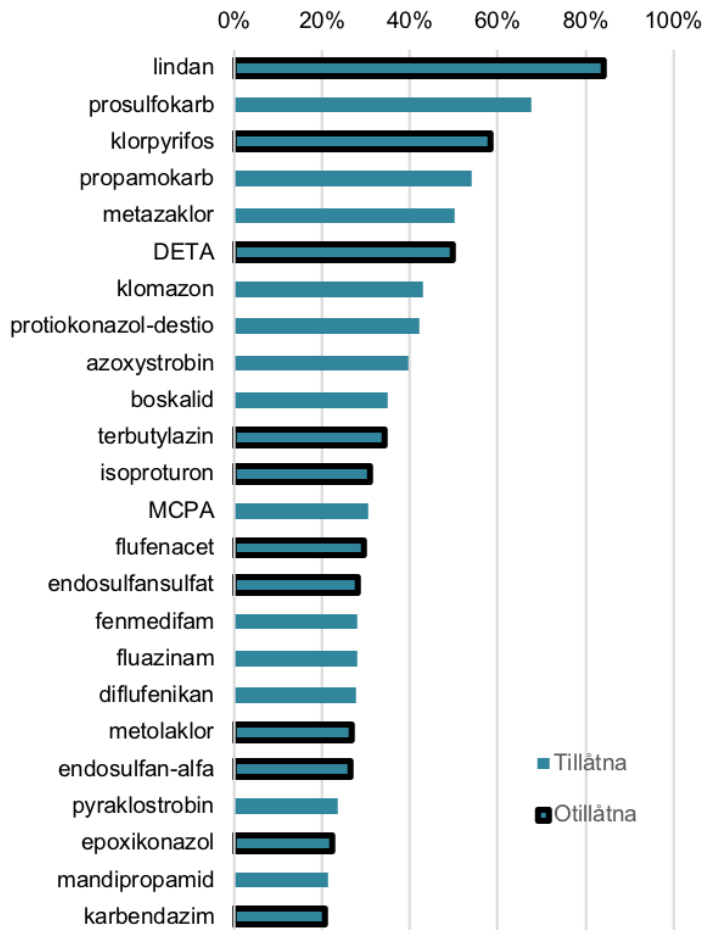
Under de senaste åtta åren (2010-2017) har något färre substanser påträffats i fler än 20 procent av proverna, 24 stycken, varav 11 av dessa varit förbjudna (Figur 7-2). I nederbördsprover från Aspvreten är det 12 substanser som påträffas i fler än 20 procent av proverna, varav 7 av dessa varit förbjudna (Figur 7-3).

Prosulfokarb är den tillåtna substans som påträffats flest gånger under perioden 2010-2017, i 68 procent av proverna från Vavihill/Hallahus (Figur 7-2). Den substans som påträffats oftast i prover från Vavihill är dock lindan ( $\gamma$ -HCH), som återfinns i nästan nio av tio prov för båda tidsperioderna, trots att den varit förbjuden som växtskyddsmedel i Sverige i drygt 25 år och inom EU i drygt 15 år. Halten av lindan har som mest varit 0,008  $\mu\text{g/L}$  nederbörd från Vavihill, vilket är lägre än till exempel riktvärdet för ytvatten (0,02  $\mu\text{g/L}$ ; som anger högsta halten av en substans då inga skador på akvatisk miljö kan förväntas). Lindan påträffas också i 70 procent av proverna från Aspvreten, följt av DETA (desetylterbutylazin, en nedbrytningsprodukt till terbutylazin) som påträffas i cirka 43 procent av proverna. Högsta halten av lindan som påträffats i prover från Aspvreten är 0,0009  $\mu\text{g/l}$ . Halterna av vissa förbjudna substanser, främst atrazin, uppvisar en tydligt avtagande trend till följd av att de förbjudits inom EU. Samtidigt visar resultaten att en betydande andel av de substanser som påträffas i depositionen är förbjudna i Sverige, och i vissa fall inom EU, vilket visar på en fortsatt gränsöverskridande atmosfärisk transport av växtskyddsmedel från kontinenten, eller i vissa fall ännu mer långväga.

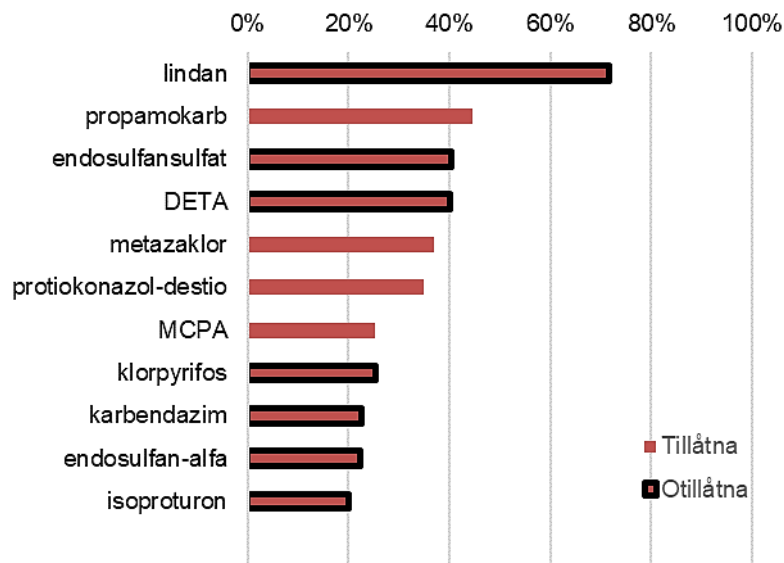


**Figur 7-1** Fyndfrekvens (andel prov med fynd) för de vanligast förekommande pesticiderna i nederbörd från Vavihill 2002-2009 (ex. lindan har återfunnits i 92

procent av nederbördsproverna). Staplar med svart ram anger de substanser, inklusive nedbrytningsprodukter till vissa av dessa, som inte varit tillåtna att användas inom jordbruket i Sverige under hela eller huvuddelen av tidsperioden.

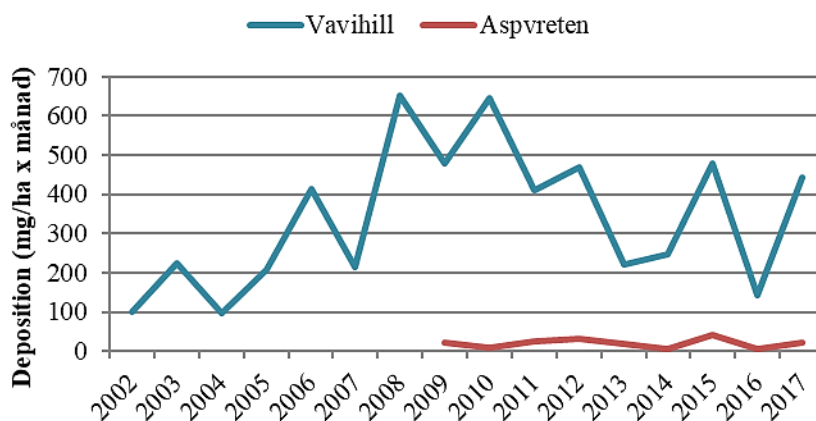


**Figur 7-2** Fyndfrekvens (andel prov med fynd) för de vanligast förekommande pesticiderna i nederbörd från Vavihill 2010-2016 och 2017 från Hallahus. Staplar med svart ram anger de substanser, inklusive nedbrytningsprodukter till vissa av dessa, som inte varit tillåtna att användas inom jordbruket i Sverige under hela eller huvuddelen av tidsperioden.



**Figur 7-3** Fyndfrekvens (andel prov med fynd) för de vanligast förekommande pesticiderna i nederbörd från Aspvreten 2009-2016 och 2017 från Norunda. Staplar med svart ram anger de substanser, inklusive nedbrytningsprodukter till vissa av dessa, som inte varit tillåtna att användas inom jordbruket i Sverige under hela eller huvuddelen av tidsperioden.

Den sammanlagda depositionen vid Vavihill/Hallahus har varierat mellan 100 och 650 mg/ha, månad<sup>-1</sup> (motsvarande 10-65 µg/m<sup>2</sup>/mån), under 2002-2017 räknat som månadsmedel för maj, juni och oktober (Figur 7-4). Aspvreten/Norunda har haft betydligt lägre deposition, mellan 7 och 41 mg/ha/månad under 2009-2017. Depositionen vid Vavihill/Hallahus är förhållandevis varierande mellan åren, och utan någon tydlig trend under perioden. Depositionen i Aspvreten/Norunda har hållit sig förhållandevis jämn över åren (Figur 7-4).

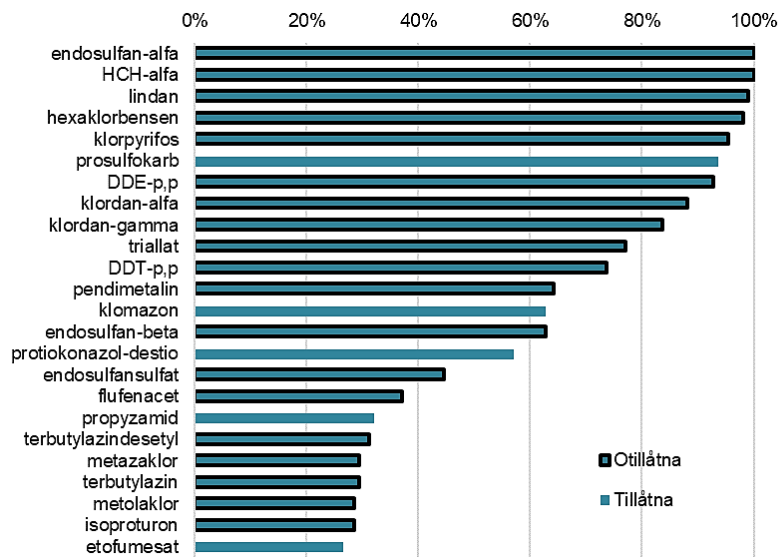


**Figur 7-4** Genomsnittlig månadsdeposition för maj, juni och oktober för Vavihill/Hallahus, Skåne, 2002-2017 och maj, juni och september för Aspvreten, Södermanland/Norunda, Uppland, 2009-2017.

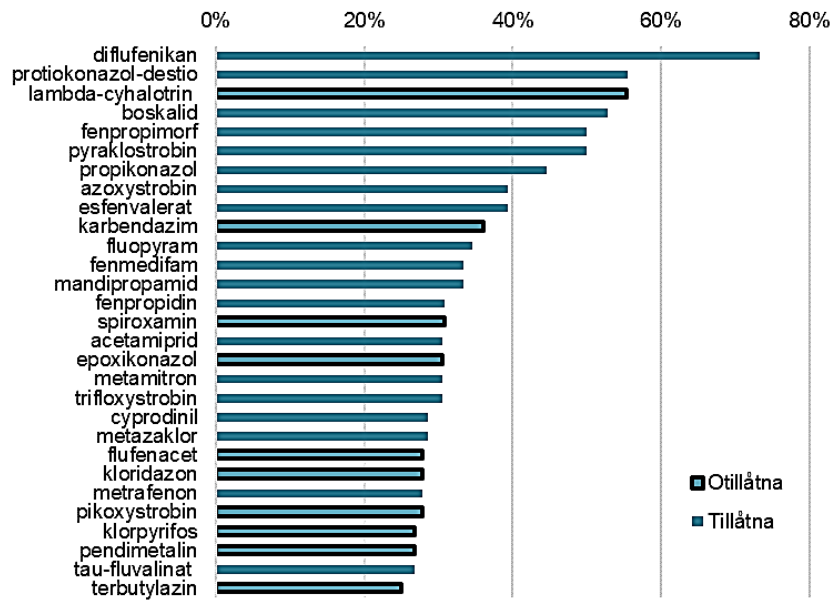
Resultaten från luftprovtagningen i adsorbenten, PUF, (2009-2017) vid Vavihill/Hallahus visar att många av de pesticider som detekteras i nederbörden även återfinns i luften Figur 7-5. Totalt har mellan 15 och 58 enskilda substanser detekterats per år. Av de 24 substanser som påträffats i fler än 25 procent av proverna är endast 4 stycken numera tillåtna för användning inom Sverige. Precis som för nederbördsproverna från Vavihill/Hallahus är det prosulfokarb som har påträffats i högst halt i luftproverna, med 32,3 ng m<sup>-3</sup> luft i ett prov (sju dygn) under hösten 2017. Prosulfokarb hör till den substans som oftast påträffas i luft (PUF), samt i nederbördsproverna, och under lång tid efter att höstbekämpningen avslutats i mitten av oktober, vilket kan bero på att avdunstningen fortsätter under en tid efter bekämpningstillfället. Halterna är dock oftast högst i slutet av oktober och under november vilket tyder på ett bidrag från länder i närområdet där substansen har stor användning, ibland annat i Danmark och England, där höstbekämpningarna ofta sker senare än i Sverige.

Fördelningen av vilka substanser och hur ofta de påträffas i luft respektive nederbörd är delvis beroende på hur de transporteras i atmosfären, men också i vilka halter de förekommer. Varje luftprov representerar stora volymer luft (ca 3 500 m<sup>3</sup> luft som passerar en adsorbent under sju dagars aktivt pumpande), vilket kan bidra till att vissa förbjudna substanser som förekommer i låga halter oftare påträffas i luftproverna jämfört med nederbördsproverna.

Inom ett tidigare specialprojekt genomfördes analyser även av det glasfiberfilter som sitter monterat framför PUF-adsorbenten i samma kassett. Projektet syftade till att studera om det finns bekämpningsmedel som transporteras i luften bundna till partiklar och som därmed fångas upp av filtret innan de når adsorbenten. Resultaten visar att filtret fångar upp en större andel av de substanser som idag är tillåtna för användning, både inom Sverige och EU, än vad som påträffas i PUF-adsorbenten. Detta resulterade i att filteranalyser numera ingår i den ordinarie miljöövervakningen, och resultatet presenteras överskådligt i Figur 7-6. Den substans som oftast påträffas i filterproverna är ogräsmedlet diflufenikan, som återfinns i 73 procent av alla prover, följt av protikonazol-destio, som är en nedbrytningsprodukt till svampmedlet protikonazol. Av de 29 substanser som förekommit i mer än 25 procent av filterproverna, är 19 stycken tillåtna för användning i Sverige, vilket stärker bilden av att de bägge provtagningsmatriserna kompletterar varandra när det gäller att spegla förekomsten av växtskyddsmedel i luft.



**Figur 7-5** Fyndfrekvens (andel prov med fynd) för de vanligaste förekommande pesticiderna i luft från Vavihill/Hallahus (PUF) 2009-2017. Staplar med svart ram anger de substanser, inklusive nedbrytningsprodukter till vissa av dessa, som inte varit tillåtna att användas inom jordbruket i Sverige under större delen av tidsperioden. Endast substanser med fyndfrekvens över 25 procent visas. Tillåtna substanser avser godkända substanser i Sverige.



**Figur 7-6** Fyndfrekvens (andel prov med fynd) för de vanligaste förekommande pesticiderna i luft från Vavihill/Hallahus (filter) 2014-2017. Staplar med svart ram anger de substanser, inklusive nedbrytningsprodukter till vissa av dessa, som inte varit tillåtna att användas inom jordbruket i Sverige under större delen av tidsperioden. Endast substanser med fyndfrekvens över 25 procent visas. Tillåtna substanser avser godkända substanser i Sverige.

Under vinterhalvåret 2017/18 gjordes en vinterprovtagningsskampanj i Hallahus för att studera vilka växtskyddsmedel som påträffas i nederbörd och luft under vintern. Resultatet presenteras i Tabell 7-2.1

I nederbörd i Hallahus påträffades färre substanser under vinterhalvåret, 15 stycken mot 48 under sommarhalvåret. Däremot påträffades prosulfokarb i förhöjd halt under vinterprovtagningen jämfört med sommarprovtagningen, i en halt av 2,1 µg/l den 11 november och 1,6 µg/l den 13 november.

I luftproverna syns samma mönster, att färre substanser påträffas under vinterhalvåret, men i absorbenten (PUF) förekom ändå en förhöjd halt av prosulfokarb den 13 november på 5,3 ng/m<sup>3</sup>.

Resultaten från vinterprovtagningen 2017/2018 visar att ett stort antal växtskyddsmedel förekommer i luft och nederbörd under hela eller stora delar av vintern. Vinterprovtagning kommer således att ske också vintern 2018/19 för att följa upp den första vinterprovtagningsskampanjen.



**Tabell 7-2** Sammanfattning av fynd från nederbörd och luft under 2017/2018. Antal substanser visar totalt antal substanser som påträffats i ett eller flera prov från respektive matris och område. Högsta sammanlagda halt inkluderar spårhalter. Oftast påträffad substans visar de substanser som förekommit i alla prov eller i flest förekommande prov

Område	Antal substanser	Högsta sammanlagda halt i ett prov	Oftast påträffad substans	Högsta halt av en enskild substans i ett prov	
<i>Nederbörd</i>					
Norunda	28	0,17 µg/l	lindan	MCPA	0,098 µg/l
Hallahus	48	1,2 µg/l	lindan	prosulfokarb	1,2 µg/l
Hallahus - vinter	15	2,2 µg/l	klorpyrifos, lindan, propyzamid, prosulfokarb	prosulfokarb	2,1 µg/l
<i>Luft</i>					
Hallahus PUF	58	33 ng/m <sup>3</sup>	endosulfan-alfa, HCH-alfa, hexaklorbensen, klordan-alfa, lindan, pendimetalin, propyzamid, prosulfokarb	prosulfokarb	32 ng/m <sup>3</sup>
Hallahus PUF - vinter	18	5,7 ng/m <sup>3</sup>	DDE-p,p, endosulfan-alfa, HCH-alfa, hexaklorbensen, klordan-alfa, klordan-gamma, klorpyrifos, lindan, pendimetalin, propyzamid, prosulfokarb, triallat	prosulfokarb	5,3 ng/m <sup>3</sup>
Hallahus Filter	62	0,73 ng/m <sup>3</sup>	dilfufenikan	fenpropimorf	0,31 ng/m <sup>3</sup>
Hallahus Filter - vinter	12	0,046 ng/m <sup>3</sup>	propyzamid	prosulfokarb	0,026 ng/m <sup>3</sup>

## 8 Ozonskiktets tjocklek

Tabell 8-1 Ozonskiktets tjocklek

Parametrar	Totalozon
Stationer	Vindeln och Norrköping
Mätfrekvens	1 värde per dag sorteras ut från flera mätvärden per timme dagtid.
Kravställare	Wienkonventionen för skydd av ozonskiktet
Lagringsplats	<a href="https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/ozon">https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/ozon</a> , <a href="https://woudc.org/home.php">https://woudc.org/home.php</a> , <a href="http://rbcce.aemet.es/eubrewnet">http://rbcce.aemet.es/eubrewnet</a>
Utförare	SMHI
Mer information	

Syftet med delprogrammet är att följa hur ozonskiktet varierar från dag till dag och hur det utvecklas långsiktigt. Eftersom problemet med uttunning av ozonskiktet är globalt är verksamheten en del av det globala nätet av stationer, GAW (Global Atmosphere Watch). Mätningarna görs vid två stationer i Sverige: Vindeln och Norrköping. Data skickas sedan varje månad till WOUDC (World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre). Mätningarna utförs som en följd av Wienkonventionen för skydd av ozonskiktet, men är även intressant som en indikator över förhållandena i stratosfären. De nationella miljökvalitetsmål som främst berörs är *Skyddande ozonskikt* och *Säker strålmiljö* (ultraviolett solstrålning).

Det finns två typer av standardinstrument som använts under många år för totalozonmätningar: Dobson- och Brewer- spektrofotometrar. I Vindeln finns både en Dobson spektrofotometer, som är ett gammalt men robust instrument som sköts manuellt, och en Brewer som är ett automatiskt instrument. Även Brewer spektrofotometrar behöver dock frekvent tillsyn och underhåll. I Norrköping används bara en Brewer spektrofotometer.

Inom ett europeiskt COST-projekt har nyligen ett europeiskt nätverk av ozonstationer med Brewer spektrofotometrar etablerats. I detta nätverk som går under namnet EUBREWNET, samlas data in i nära realtid och utvärderingar sker med gemensamma metoder. Sedan 2017 ingår de svenska stationerna även i detta europeiska nät. EUBREWNETs databas, samt även en grupp av referensinstrument och kalibreringsverksamhet för totalozonmätningar, drivs av den spanska vädertjänsten AEMET (se <http://rbcce.aemet.es/eubrewnet> och <http://rbcce.aemet.es/>). Förutom att de svenska ozonmätningarna snabbt finns tillgängliga via EUBREWNETs hemsida bidrar EUBREWNET också till kvalitetsövervakning av de ingående stationerna och är därmed till nytta även för de svenska totalozonmätningarna.

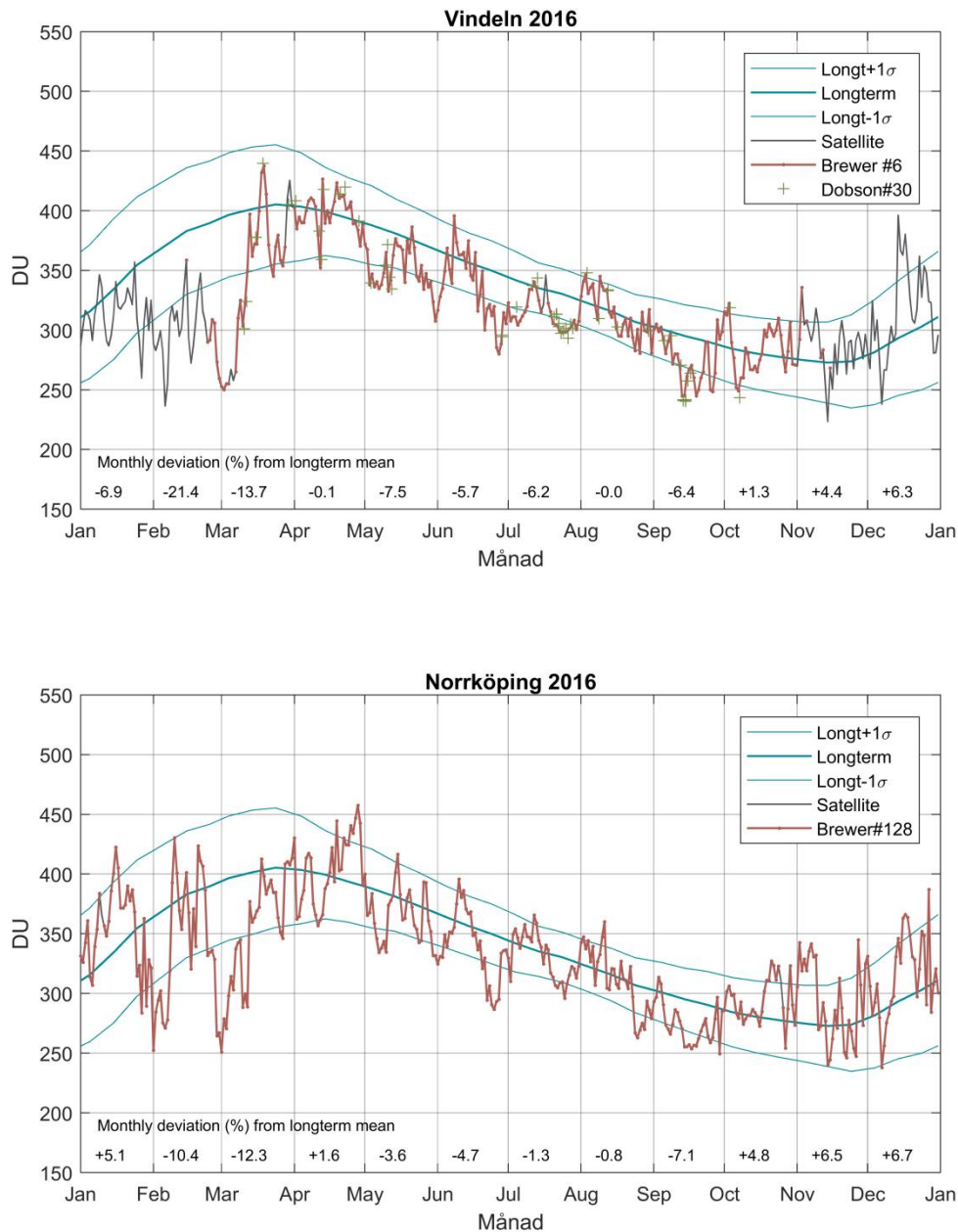
En viktig och omfattande del av verksamheten under senare år har varit, och är, kunskapsöverföring till yngre personal inför stundande pensionering av nuvarande experter och projektansvarig. Detta gäller både på stationen i Vindeln och i Norrköping.

## 8.1 Resultat Stratosfäriskt ozon

Mängden av ozon i stratosfären över Sverige varierar ofta kraftigt från dag till dag och uppvisar även en tydlig årlig cykel. Dessa variationer beror i huvudsak på storskaliga variationer i hur luften i stratosfären rör sig men även på att kemiska reaktioner både bildar och bryter ner ozon. Överlagrat på detta finns en långsiktig trend som beror på att människans utsläpp av ozonnedbrytande ämnen har påverkat kemin. Efter decennier av förtunning tyder nu globala mätdata på att ozonskiktets tjocklek stabiliserats som en följd av utsläppsminskningar. Mängden och fördelningen av stratosfäriskt ozon, det man ofta kallar ozonlagret, påverkas kraftigt av variationen i atmosfärens cirkulation. Detta visar sig särskilt tydligt på lokal skala men även globalt är den naturliga variationen betydande.

Enheten för totalozon är DU (Dobson enheter). En Dobson enhet (1 DU) motsvarar det antal ozonmolekyler som behövs i ett luftskikt av enbart ozon som är 0,01 mm tjockt vid temperaturen 0°C och luftrycket 1013,25 hPa. Ett vanligt värde på totalozonet är 300 DU. Detta motsvarar alltså ett gasskikt av enbart ozon som endast är 3 mm tjockt.

Mätningarna för 2016 av totalozon i Vindeln och i Norrköping visas i Figur 8-1 där de röda linjerna visar variationen dag för dag (motsvarande figurer för övriga år finns på [www.smhi.se](http://www.smhi.se)). I de fall det inte varit möjligt att mäta, exempelvis under en del av vinterhalvåret i Vindeln, finns satellitdata inlagt (violett linje). För att få en uppfattning om hur de dagliga värdena förhåller sig till den normala variationen finns tre mjuka kurvor som visar variationen av totalozonet som observerades i Uppsala åren 1951-1966; dels medelvärde, dels plus respektive minus en standardavvikelse. För varje månad anges den procentuella avvikelser från medelvärdet. Exempelvis framgår det att under de tre första månaderna 2016 var ozonskiktet tydligt tunnare än normalt, särskilt i Vindeln. För Vindelns del bidrog även de förhållandevis låga värdena under de betydligt soligare månaderna maj, juni, juli och september till att årsvärdet för 2016 i Vindeln blev det lägsta sedan 1997.



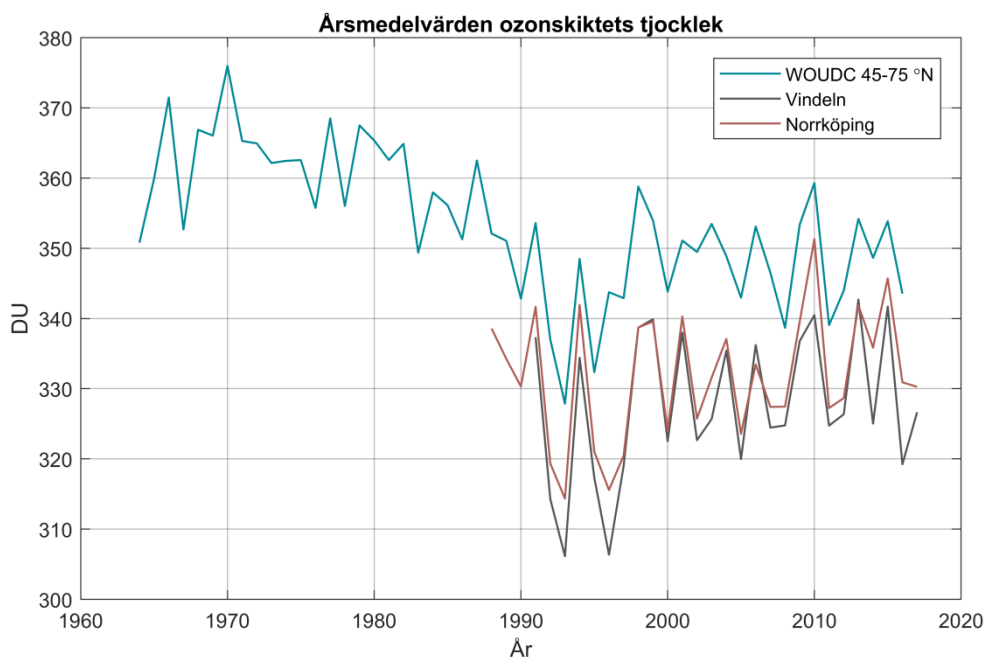
**Figur 8-1** Mängden totalozon (DU) i Vindeln (överst) och Norrköping (underst) 2016.

Hur utvecklingen av ozonskiktet har gått sedan mätningarna inleddes 1988 visas i Figur 8-2. Vid WOUDC har man beräknat latitudmedelvärden av totalozon utifrån markmätningar av totalozon för perioden 1964-2017, baserat på en studie av Fioletov et al. (2002). Från detta dataset har ett areaviktat medelvärde för området 45-75 °N också lagts in i Figur 8-2. Under den period mätningarna varit igång i Vindeln och Norrköping ingår dessa mätdata i de framräknade medelvärdena för 45-75 °N.

Som tydligt framgår av Figur 8-2 varierar den genomsnittliga tjockleken av ozonskiktet kraftigt från år till år. Detta gäller särskilt för enskilda stationer, men variabiliteten är betydande även för ett mycket stort geografiskt område. Dessa fluktuationer orsakas huvudsakligen av

variabiliteten i atmosfärens cirkulation, vilken har stor betydelse för fördelningen av det stratosfäriska ozonet. De låga värdena som observerades 1992-1993 påverkades därtill i denna riktning av det mycket kraftiga utbrottet av vulkanen Pinatubo.

Trots den stora variabiliteten är en uttunning av ozonlagret tydlig från cirka mitten av 1970-talet till mitten av 1990-talet. Under denna period ökade halterna av ozonnedbrytande ämnen, och globalt nådde de sin maximala koncentration 1997 (se t.ex. Chipperfield et al., 2017). I polartrakterna var halterna som högst några år senare. Tack vare Montrealprotokollet, som antogs 1987, och dess skärpningar i efterföljande avtal har halterna av ozonnedbrytande ämnen börjat avta med start strax före millennieskiftet. I och med detta väntas på sikt en återhämtning av ozonlagret. Mätdata visar att uttunnningen har avstannat men det syns ännu inte någon klar återhämtning (Figur 8-2). I dagsläget syns inte någon signifikant trend i mätdata från slutet av 1990-talet och framåt i någon av de presenterade mätserierna. Att separera små ändringar i ozonet beroende på långsamt minskande halter av ozonnedbrytande ämnen är helt enkelt svårt. Även den pågående klimatförändringen kommer att påverka den globala fördelningen av ozon. Längre mätserier i kombination med atmosfärsmodellering behövs för att kunna fastställa framtida trender och dess orsaker.



**Figur 8-2** Totalozon (DU) årsvärden för Vindeln 1991-2017 och Norrköping 1988-2017. För perioden runt vintersolståndet, då solen står för lågt för att säkra mätningar ska kunna göras i Vindeln, har denna serie kompletterats med observationer från satellit för beräkning av årsmedelvärde. Även en längre tidsserie, som beräknats av WOUDC avseende medelvärde för latitudbandet 45-75 °N, har lagts in.

## 9 Mätningar på Svalbard

Tabell 9-1 Mätningar på Svalbard

Parametrar	Partikelantal, storleksfördelning, BC, OC/EC
Stationer	Zeppelinfjället, Svalbard
Mätfrekvens	1 timme, 1 vecka OC/EC
Kravställare	Naturvårdsverket
Lagringsplats	<a href="http://ebas.nilu.no/default.aspx">http://ebas.nilu.no/default.aspx</a>
Utförare	ACES Stockholms universitet
Mer information	

### 9.1 Aerosolens storleksfördelning i Arktis 2000-2017

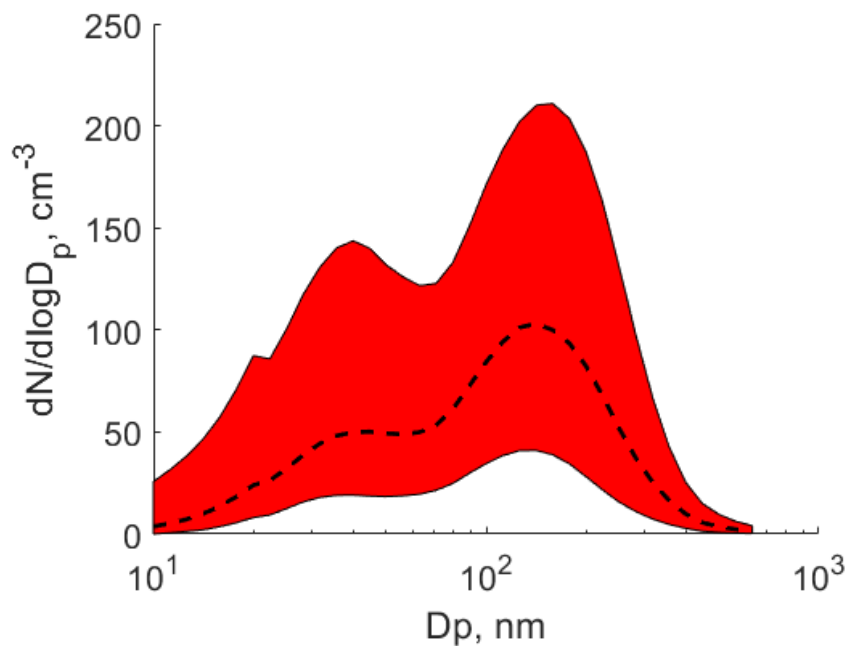
Sedan 2000 har Sektionen för Atmosfärvetenskaper vid Institutionen för Miljövetenskap och Analytisk Kemi observerat aerosolens storleksfördelning på toppen av Zeppelinberget i det gamla gruvsamhället Ny Ålesund. Mätningarna, som kompletteras med observationer av partiklarnas ljusabsorberande och ljusspridande egenskaper samt på senare tid även partiklarnas interaktion med moln, bedrivs på 473 m höjd, och stationen är omväxlande i och utanför det marina gränsskiktet. I dagsläget uppmäts aerosolens storleksfördelning mellan 5 och 630 nm, och detta storleksintervall har gällt sedan 2011 då DMPS-systemet moderniserades för att uppfylla den kvalitetssäkring och standardisering av instrumenten som följde samarbetet inom EUSAAR (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research). I samband med denna modernisering uppgraderades även stationens insug och är nu av typen "whole air inlet", vilket tillåter provtagning av samtliga partiklar även om stationen befinner sig i moln. Innan denna modernisering uppmättes partiklarnas storleksfördelning mellan 10 och 630 nm (2005-2011), och dessförinnan mellan 20nm och 630nm (mellan 2000-2005). Idag utgör detta data-set en unik databas med nära två årtiondens observationer av aerosolens storleksfördelning i Arktis.

Aerosolens storleksfördelning är av central betydelse för förståelsen av hur aerosolen interagerar med strålning i atmosfären, dels indirekt genom påverkan på molnbildning, dels direkt genom både spridning och absorption av kortvågig strålning från solen. Partiklarnas förmåga till att bilda molndroppar (dvs deras förmåga att fungera som molnkondensationskärnor, eller "CCN") är starkt storleksberoende, och stora vattenlösliga partiklar är de som fungerar bäst som molnkondensationskärnor. Storleken, och vattenlösligheten, är dessutom viktig för hur partiklarna direkt sprider inkommande kortvågig strålning samt interagerar med vattenånga i atmosfären även i miljöer undermåttade på vattenånga.

Storleksfördelningen ger också viktig information om aerosolens historia, och fungerar i viss utsträckning som ett "fingeravtryck" hos aerosolen, som ger information om källområden och processer som påverkat luften. Detta kan t.ex. vara omfattning av molnpåverkan, urtvättning och nypartikelbildning, samt påverkan från långväga transport från både skogsbränder och antropogena källor. Kunskap om aerosolens storleksfördelning är även central för förståelsen om hur aerosolen åldras och vilken livstid vi kan förvänta oss i olika typer av miljöer.

Aerosolens storleksfördelning utgör således en av de kärnparametrar utifrån vilka kunskap och förståelse kan erhållas om hur både naturliga och antropogena processer påverkar den känsliga miljön i Arktis, och långa tidserier möjliggör studier av hur dessa egenskaper förändras över tid i och med förändrade antropogena emissioner, förändrat isläge och förändrade meteorologiska förutsättningar i stort.

Generellt uppmäts det i Arktis förhållandevis låga koncentrationer av partiklar, både i fråga om antal och massa. Årsmedelvärdet för samtliga 18 år är  $188 \text{ cm}^3$  som aritmetiskt medelvärde och  $110 \text{ cm}^3$  som median. Årstidsvariationen är dock mycket stor. I Figur 9-1 redovisas aerosolens storleksfördelning som median för hela mätperioden, samt 25-75 percentil av observationerna.

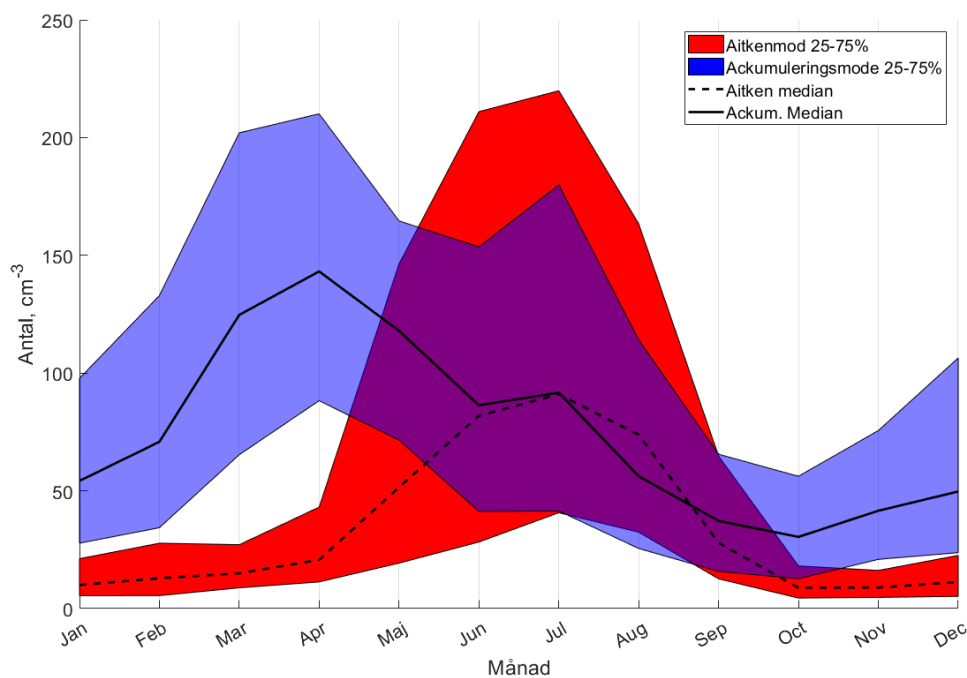


**Figur 9-1** Årsmedelvärde av aerosolens storleksfördelning samt 25-75 percentil av data för perioden 2000-2017, Mt Zeppelin, Svalbard.

Som årsmedelvärde fördelar sig aerosolen mellan två storleksklasser, dels en större mod, ackumuleringsmoden centrerad kring 150 nm, dels en mindre mod, Aitkenmoden, centrerad kring 40-50 nm. Lokalt minimum mellan dessa två moder är den nedre gräns vid vilken partiklar i medeltal börjar interagera med molnen.

Årstidsvariationen hos partikelantalet är stor, vilket redovisats i flertalet rapporter och publikationer. I Figur 9-2 redovisas årstidsvariationen hos partikelantal i ackumuleringsmoden och Aitkenmoden.

Uppdelningen mellan dessa moder har gjorts utifrån det minimum som återfinns i Figur 9-1 (dvs. medelgränsen mellan partiklar som fungerar som bra molnkondensationskärnor och de mindre partiklarna, 55 nm). Det är här tydligt att årstidsvariationen av antalskoncentrationen i de två moderna skiljer sig markant åt. Ackumuleringsmodens partiklar uppvisar ett maximum runt mars-april. Denna period av året (s.k. "Arctic Haze") är i regel som mest smutsig, och långväga transport av antropogena partiklar och prekursorer transporteras in i Arktis. Nederbörden under denna årstid är även låg, vilket gör att uppehållstiden för dessa stora partiklar blir särskilt lång. Perioden av höga halter partiklar i ackumuleringsmoden kännetecknas vidare av förhållandevis låg fotokemisk aktivitet. Under sommaren förändras transportmönstren, och luften utsätts för mer omfattande urtvättning då nederbörden ökar; detta gör att den dominerande ackumuleringsmodens antal minskar. Samtidigt ökar den fotokemiska aktiviteten och emissioner från haven (bland annat i form av DMS; dimetylsulfid) bidrar till nypartikelbildning. Dessa nybildade partiklar är små, och således ökar koncentrationen av de mindre partiklarna. I oktober observeras de allra lägsta halterna, i regel runt 50 partiklar per kubikcentimeter. Denna cykel återupprepas årligen tämligen välvärdigt, vilket gör att partikelhalterna kan uppskattas med någorlunda stor noggrannhet år efter år.

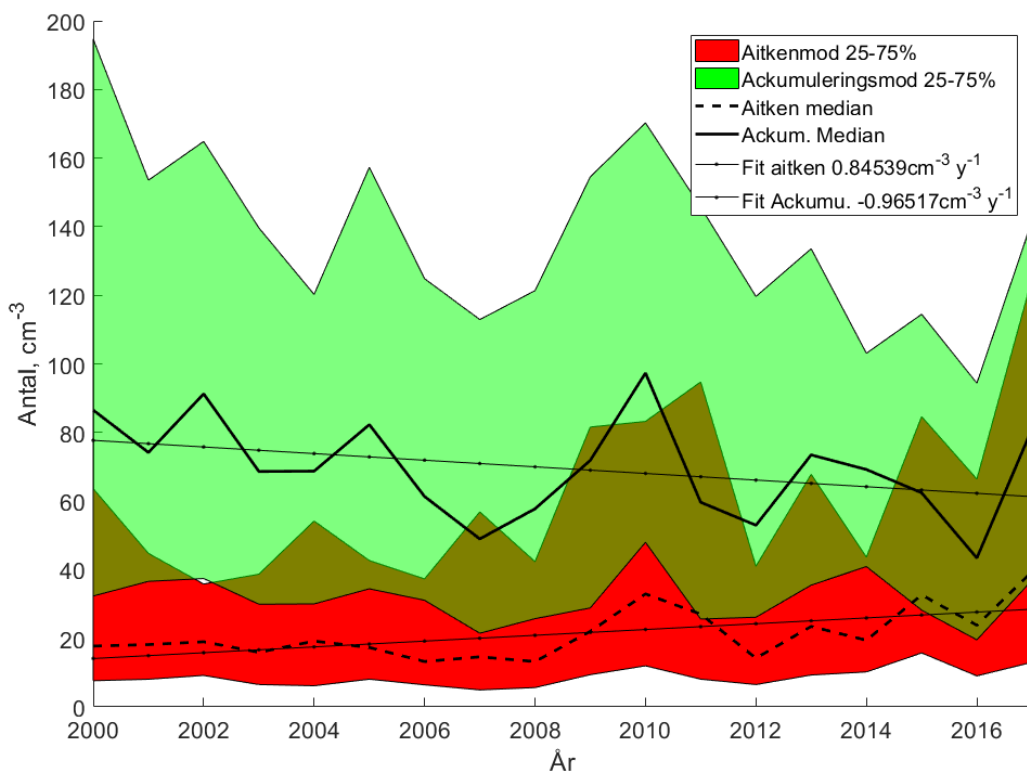


**Figur 9-2** Årstidsvariation samt 25-75 percentil av data för perioden 2000-2017, Mt Zeppelin, Svalbard.

Att undersöka hur aerosolens antalskoncentration ändras är också av stor vikt. Förändrar vi antalet partiklar som fungerar som molnkondensationskärnor, så förändrar vi samtidigt molnens egenskaper. Vilken effekt detta har på strålningsbalansen beror av vilken årstid vi tittar på; under sommaren medför en ökad mängd molnkondensationskärnor en nettoavkyllning då kortvägig solstrålning reflekteras tillbaka ut i rymden, medan en ökad mängd molnkondensationskärnor under den mörka delen av året har motsatt effekt. Då dominerar i stället återstrålningen av utgående värmestrålning, vilket leder till en värmande nettoeffekt på det arktiska klimatsystemet.



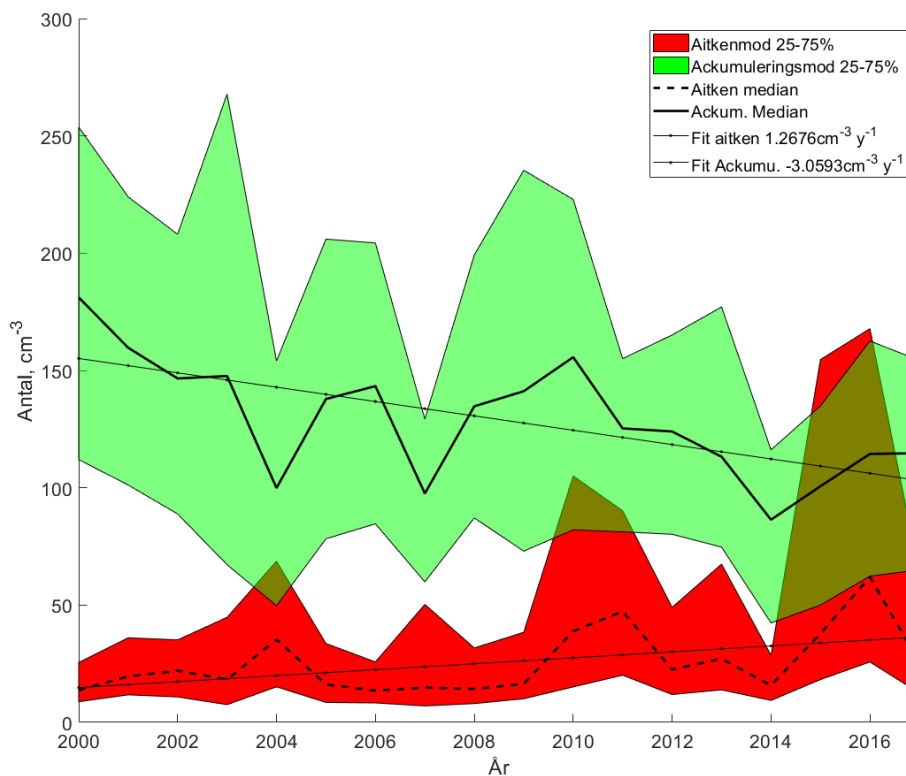
Andelen ackumuleringsmodpartiklar bestäms till stor del av antropogena källor, speciellt under "Arctic haze"-perioden, medan de finare partiklarna i huvudsak bestäms av lokala processer såsom nukleering (nypartikelbildning) i atmosfären. Förändrade isförhållanden, med större andel öppet hav, kan t.ex. förväntas bidra till ökade emissioner av DMS, vilket i sin tur ökar mängden kondenserbara gaser och därmed gas-partikel-bildning. Det är allmänt känt att de antropogena emissionerna i Europa minskat kraftigt under de senaste decennierna, men lite är redovisat av mätdata hur detta påverkat den arktiska aerosolen. Detta arbete är nu under utförande, och Figur 9-3 visar en preliminär trendanalys av partiklar större än och partiklar mindre än 55 nm. Denna preliminära analys visar att ackumuleringsmodens koncentration minskat med i medeltal 1 partikel per år. Detta kan tyckas lite, men om vi betänker de generellt låga halterna i Arktis innebär detta en total minskning under den tid mätningarna utförts på 21 procent. Detta kan potentiellt ha stor effekt på strålningsbalansen i Arktis genom den indirekta påverkan på molnens optiska egenskaper. Samtidigt kan noteras att antalet små partiklar ökat. Deras halt har stigit med i medeltal 0.8 partiklar per år, vilket procentuellt sett ger en ganska betydande ökning eftersom deras antalskoncentration initialt är mycket lägre. Detta medför att antalet partiklar i Aitken-moden faktisk har fördubblats under samma tidsperiod.



**Figur 9-3** Trender i partikelkoncentration för partiklar >55 nm och partiklar <55nm under perioden 2000-2017, Mt Zeppelin, Svalbard. Trenderna är beräknade för storleksintervallet som är gemensamt för samtliga år, dvs. 20-630 nm.

Det framgår även vid närmare analys av data att den största minskningen observeras under perioden mars-maj, dvs. Arctic Haze

Minskningen i absoluta tal uppskattas då till 34 procent, och medför en minskning av de större partiklarna från ungefär 150 till 100  $\text{cm}^3$  (Figur 9-4). Denna kraftiga reduktion av partikelantalet i ackumuleringsmoden kan med all sannolikhet härröras till minskade emissioner i norra hemisfären, vilket tydligt återspeglas i observationsdata från t.ex. Aspvreten och Vavihill. Det som gör det extra intressant med dessa data är att så markanta förändringar i de molnbildande partiklarnas koncentration som det faktiskt är tal om, borde ge en betydande inverkan på strålningsbalansen. Problemet är dock att det är svårt att utvärdera denna effekt eftersom klimatmodellerna än idag har svårt att representera partiklarnas antalskoncentration i Arktis korrekt, vilket i sin tur komplicerar en analys av deras faktiska klimateffekt.



**Figur 9-4** Trender i partikelkoncentration för partiklar >55nm och partiklar <55nm under Arctic Haze (mars-maj) 2000-2017, Mt Zeppelin, Svalbard. Trenderna är beräknade för storleksintervallet som är gemensamt för samtliga år, dvs 20-630nm.

Det verkar således finnas tydliga trender i aerosolkoncentrationen, och eftersom halterna är låga är känsligheten även för små absoluta förändringar ganska stor. Ytterligare arbete kvarstår här; framför allt måste det säkerställas att förändringen är statistiskt signifikant, särskilt då instrumentuppställningen förändrats under de studerade åren. Dock kan nämnas att dessa förändringar av mätmetoden sannolikt främst påverkar de små partiklarna, och att den minskning vi ser i ackumuleringsmoden faktiskt är korrekt. Arbetet med att analysera även övriga data med avseende på trender (ljusabsorberande egenskaper och ljusspridande egenskaper hos aerosolen) pågår, och förväntas vara slutfört våren 2019.

## 10 Modellresultat

### 10.1 Årlig kartläggning med MATCH - Sverigesystemet

Tabell 10-1

Parametrar	Halt i luft: NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NH <sub>x</sub> , marknära O <sub>3</sub> Deposition: NO <sub>y</sub> , NH <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , baskatjoner (Ca, Mg, K, Na) med och utan havssalt
Stationer	Geografisk full täckning på upplösningen 22x22 km över hela Sverige. Data från EMEP, IM, LNKN-mätstationer (luft och nederbörds kemi för kväve- och svavelföreningar samt marknära ozon) ingår i kartläggningen.
Mätfrekvens	Årlig kartläggning
Kravställare	Naturvårdsverket
Lagringsplats	Datavårdskapet ligger hos SMHI, och data hämtas här: <a href="https://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi">https://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi</a>
Utförare	SMHI
Mer information	Se Bilaga 2 för mer detaljer

SMHI genomför varje år kartläggning av halter i luft och deposition av försurande och övergödande ämnen på nationell nivå. För att uppnå en så bra kartläggning som möjligt kombineras modellbeskrivning av lufthalter och koncentration i nederbörd över Sverige med kvalitetsgranskade mätdata i en så kallad variationell analys. Genom denna analys kan man beskriva den geografiska fördelningen av föroreningshalter. För bästa möjliga analys krävs kunskap om utsläpp och de atmosfärskemiska processer som ingår i MATCH-Sverigesystemets fysikaliska modeller, samt sofistikerad användning av tillgängliga och kvalitetsgranskade mätdata.

Med hjälp av fysikaliska modeller kan man särskilja bidrag till lufthalter och deposition från olika källregioner och sektorer, t.ex. Sveriges bidrag och långdistansbidrag, något som inte är möjligt om enbart mätdata finns att tillgå. Vidare behövs modeller för att kunna beskriva förändringar framåt i tiden genom olika utsläppsscenarier samt för att uppnå full geografisk och tidsmässig täckning.

Syftet med MATCH-Sverigesystemet är att geografiskt kartlägga halter i luft samt deposition av försurande och övergödande ämnen över Sverige. De nationella miljö kvalitetsmål som berörs är främst *Frisk luft*, *Bara naturlig försurning* och *Ingen övergödning*. I systemet ingår fysikaliska modeller och kvalitetsgranskade mätdata, vars resultat integreras för att erhålla en så bra kartläggning som möjligt. MATCH-Sverigesystemets metodik lyfts fram som världsledande och unik i internationella forskningssammanhang (vid möte inom Global Atmospheric Watch, GAW, på WMO i Mars 2016; WMO, 2017).

Kartläggningar med MATCH-Sverigesystemet har gjorts sedan 1990-talet. Metodiken har förbättrats och ändrats genom åren, varför trendanalys inte har kunnat göras. Under 2015 och 2018 har två återanalyser gjorts, en för marknära ozon (1990-2013) och en för deposition av svavel och kvävekomponenter (1980-2013). Tack vare dessa studier kan vi jämföra kartläggningar gjorda med nuvarande metodik med långa tidsserier.

I denna rapport presenteras försurande och övergödande nedfall samt halter i luft för åren 2015 och 2016, framtagna med MATCH-Sverigesystemet. Resultat för 2017 inkluderas inte eftersom det är ett knappt års fördröjning från att mätdata blir tillgängliga till att resultaten är klara för MATCH-Sverigesystemet. I övrigt hänvisas till SMHIs hemsida (<http://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi>), där resultat för åren 1998-2016 finns att se och ladda ner. Tillgänglig data är sammanställd i Bilaga 3.

För depositionsresultat för svavel och kväve jämförs 2015-2016 mot återanalyserade data för åren 1980-2013. För marknära ozon jämförs resultat för 2015-2016 mot återanalyserad data för 1990-2013.

### 10.1.1 Meteorologiska år

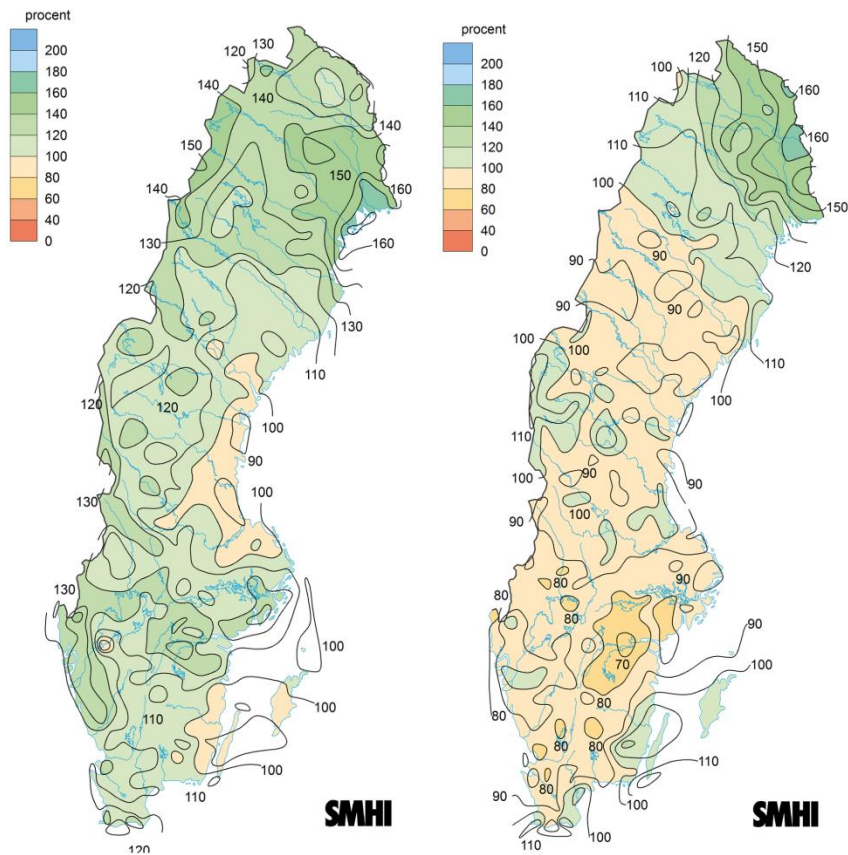
För ökad förståelse för föroreningsförhållandena i Sverige från år till år kan det vara till hjälp att studera väderförhållandena för respektive år. Kartor för temperatur, vind och nederbörd finns på SMHIs hemsida, <http://www.smhi.se/klimatdata>. Där finns kartor som visar avvikelser från normalvärden i årsmedel för temperaturer respektive nederbörd. Normalvärden används för att olika sorters klimatuppgifter ska kunna jämföras. Den nu gällande normalperioden är av Världsmeteorologiska organisationen fastställd till 1961-1990.

I Figur 10-1 visas nederbördsavvikelsen från det normala för 2015 och 2016. Vi kan se att 2015 var något blötare än normalt, medan 2016 var ett mycket torrt år i hela landet förutom i norra Norrland.

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

Generellt sett betyder mer nederbörd mer våtdeposition där lufthalterna är höga, men en snabbare minskning (starkare gradient) av lufthalterna och därmed även av depositionen norrut i Sverige.

Mönster och mängd nederbörd, temperatur, vindmönster och vindstyrka varierar mellan åren och bidrar därmed till variation i lufthalter och deposition. T.ex. bidrar en kallare vinter till mer stabilt väder (d.v.s. mindre turbulens och därmed mindre omblandning), vilket tenderar att öka halten i luft av lokalt utsläppta föroreningar.



Figur 10-1 Nederbörd som procent av det normala för 2015 (v) och 2016 (h).

## 10.2 Modellerade halter i luft

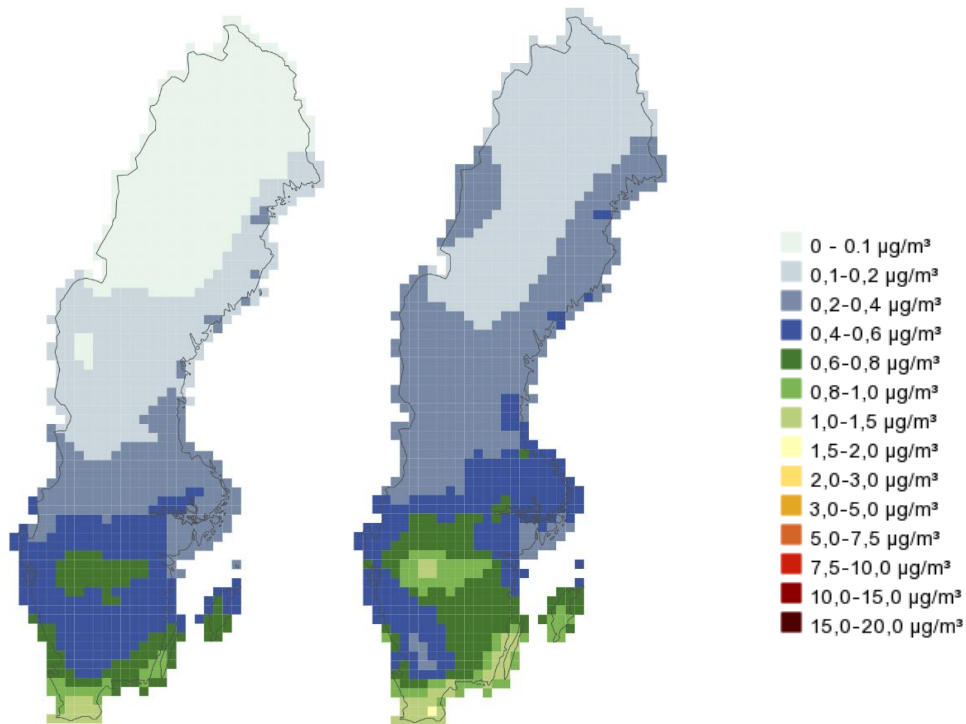
### 10.2.1 Modellerade halter i luft av svavel och kväve

I och Figur 10-3 visas halter i luft av reducerat kväve ( $\text{NH}_x$ , summan av ammonium och ammoniak), i Figur 10-4 och Figur 10-5 för kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ) och i Figur 10-6 och Figur 10-7 för svaveldioxid ( $\text{SO}_2$ ). För respektive förorening visas beräkningar av de totala halterna, d.v.s. halter innehållande både bidrag från Sverige och övriga Europa (långväga transportbidrag), samt Sveriges bidrag separat.

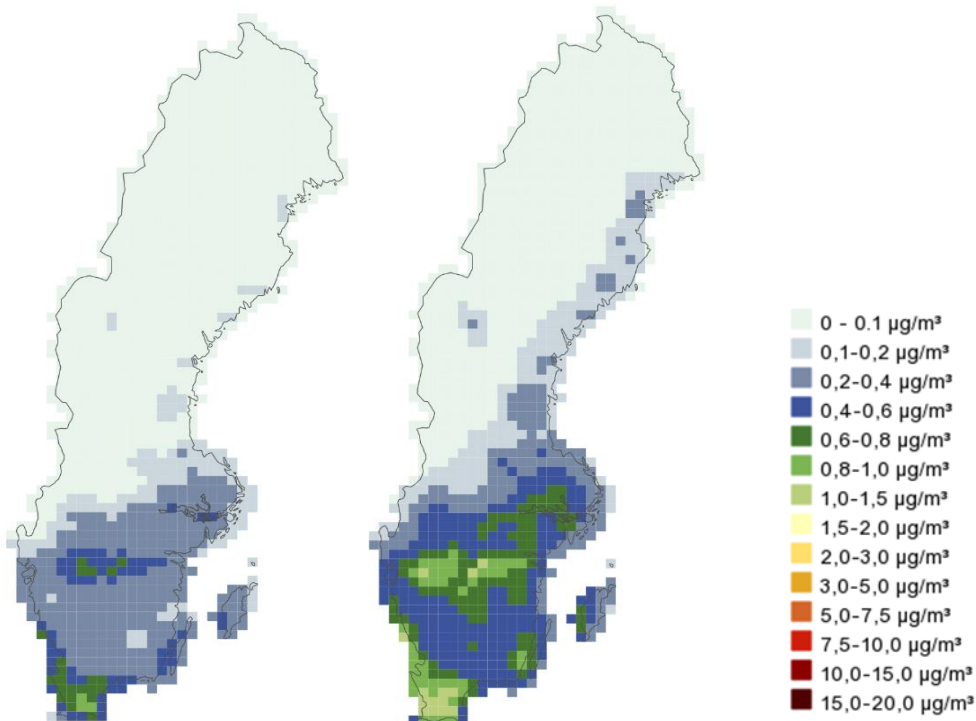
Då det gäller reducerat kväve kan vi i Figur 10-2 se att de högsta halterna i bakgrundsluft finns i södra Sverige, speciellt i Skåne, Västra Götalands län, Östergötlands län samt Kalmar-Ölandregionen och Gotland. Norrland, speciellt norra Norrlands inland, har relativt låga halter av reducerat kväve. Halterna var något högre 2016 än 2015 i Götaland. Genom att studera kartorna med Sveriges bidrag i Figur 10-3 ser vi att det svenska bidraget har ökat överlag från 2015 till 2016. För reducerat kväve i luft varierar totalhalten för 2016 mellan som högst 1,29  $\mu\text{g}/\text{N m}^3$  i söder och som lägst 0,003  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  i nordligaste Sverige.

För halter av kvävedioxid i bakgrundsluft (Figur 10-4) återfinns de högsta halterna i södra Sverige, Stockholmsregionen samt längs Norrlandskusten. Lägst är halterna i Norrlands inland. Totalhalterna 2015 och 2016 var ganska lika, med en viss ökning i Stockholms- och Malmöområdet samt Närke och Östergötland och en svag minskning i Halland 2016. I kartorna med Sverigebidrag i Figur 10-5 ser vi att halterna av kvävedioxid är ganska lika, med en viss ökning i Stockholms-, Göteborgs- och Malmöområdet, och även i Västergötland och Östergötland. Totalhalterna av kvävedioxid varierar mellan 0,06 och 2,34  $\mu\text{g}/\text{N m}^3$  över Sverige år 2016.

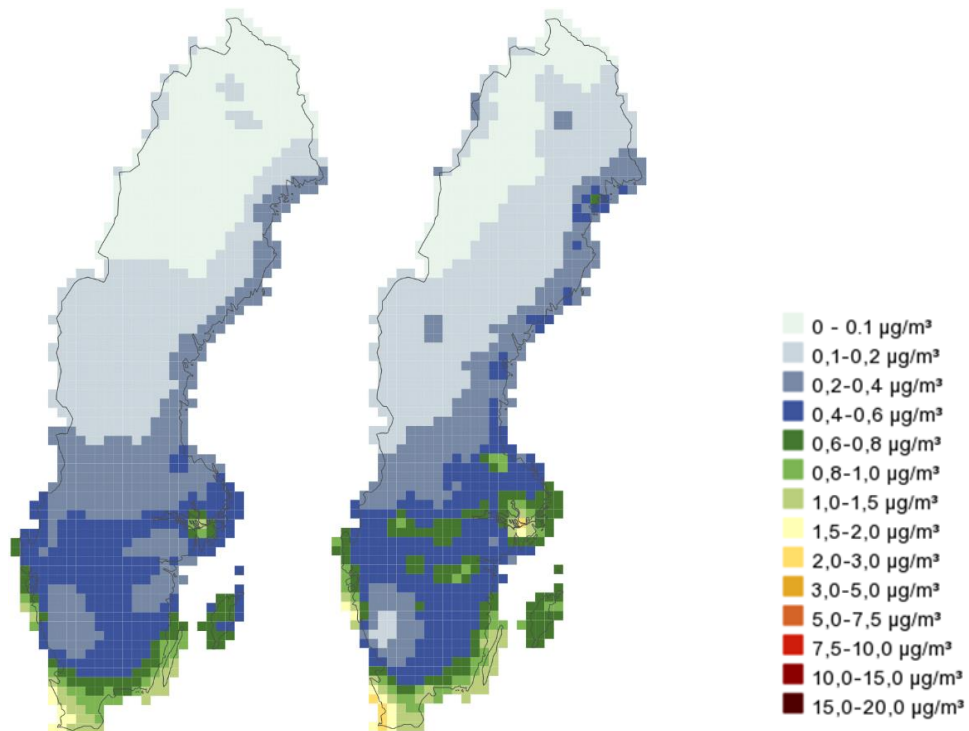
Halterna av svaveldioxid är ganska lika mellan åren 2015 och 2016 (Figur 10-6). Det syns en liten ökning i Skellefteå- och Gävleområdet 2016. Totalkoncentrationen i luft år 2016 varierade mellan 0,03 och 0,84  $\mu\text{g S}/\text{m}^3$  över Sverige. Sverigebidraget (Figur 10-7) är mycket snarlikt mellan åren. Skillnaderna mellan de två åren för oxiderat och reducerat kväve orsakades primärt av variationer i meteorologi, både direkt och via påverkan på mängden utsläpp. Under 2016 orsakade de svenska emissionerna i genomsnitt 58 procent av totalhalterna för  $\text{SO}_2$ . Motsvarande siffra för  $\text{NO}_2$  och reducerat kväve var 62 procent respektive 63 procent.



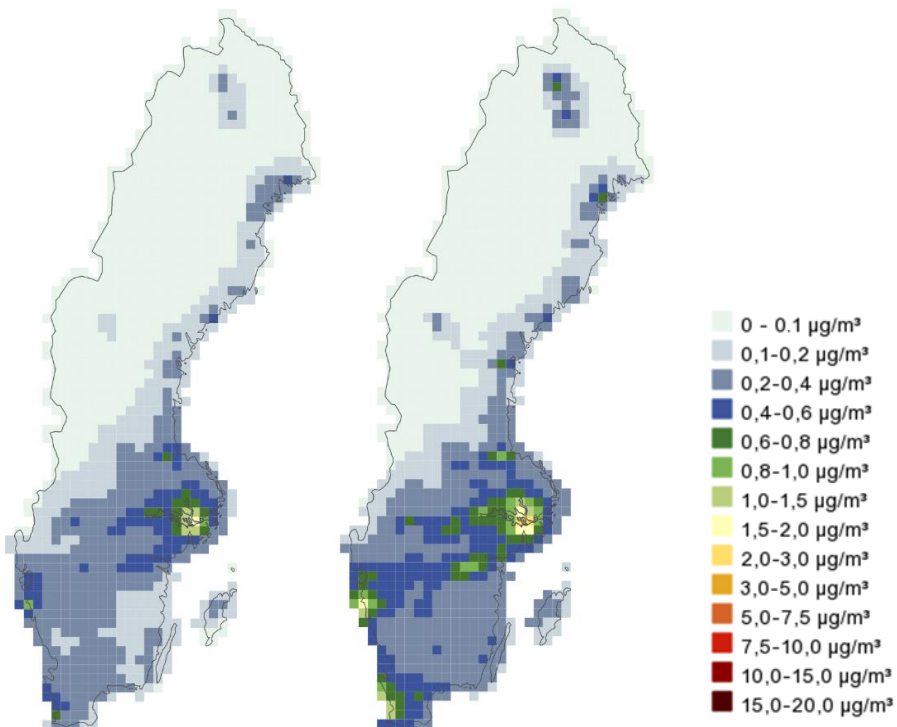
**Figur 10-2** Totala halter av reducerat kväve (summan av ammonium och ammoniak) i luft år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet  $\mu\text{g N}/\text{m}^3$ ).



**Figur 10-3** Svenskt bidrag till halter av reducerat kväve (summan av ammonium och ammoniak) i luft år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet  $\mu\text{g N}/\text{m}^3$ ).

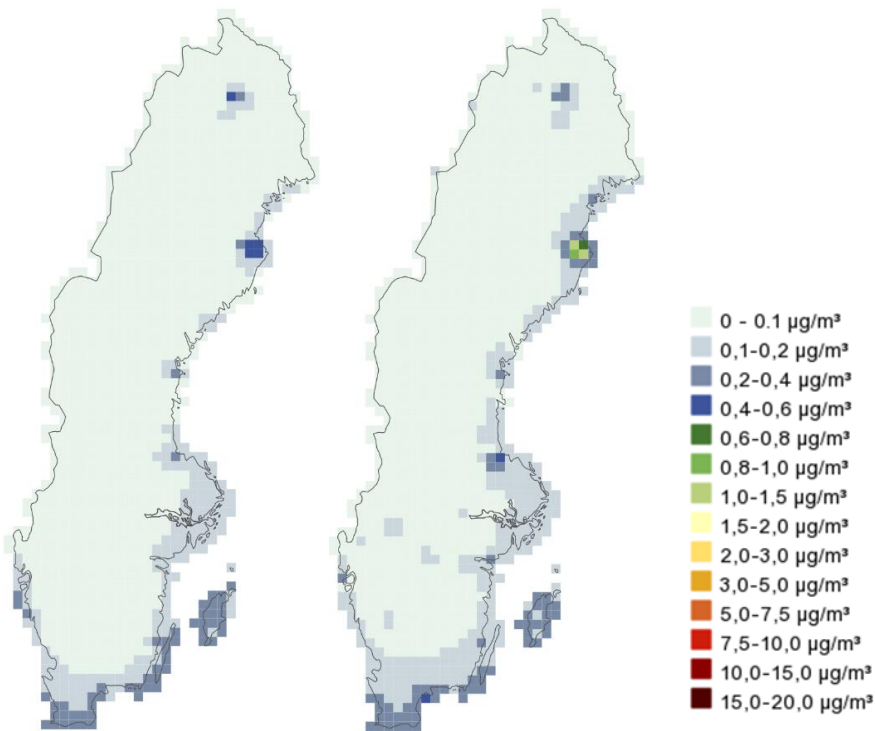


Figur 10-4 Totala halter av kvävedioxid i luft år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet µg N/m<sup>3</sup>).

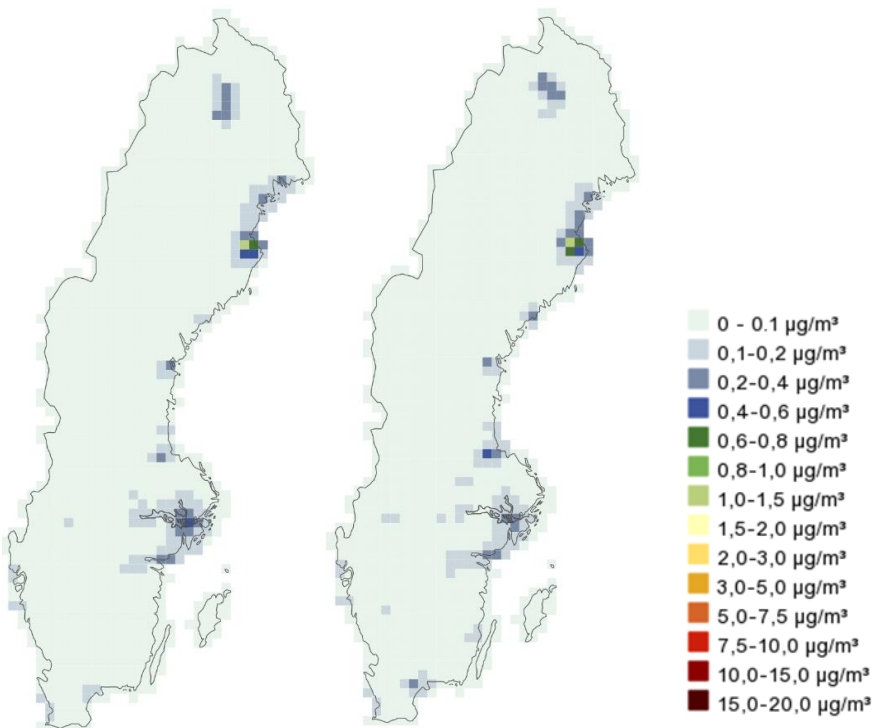


Figur 10-5 Svenskt bidrag till halter av kvävedioxid i luft år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet µg N/m<sup>3</sup>).





Figur 10-6 Totala halter av svaveldioxid i luft år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet µg S/m<sup>3</sup>).



Figur 10-7 Svenskt bidrag till halter av svaveldioxid i luft år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet µg S/m<sup>3</sup>).

## 10.2.2 Modellerade halter av marknära ozon

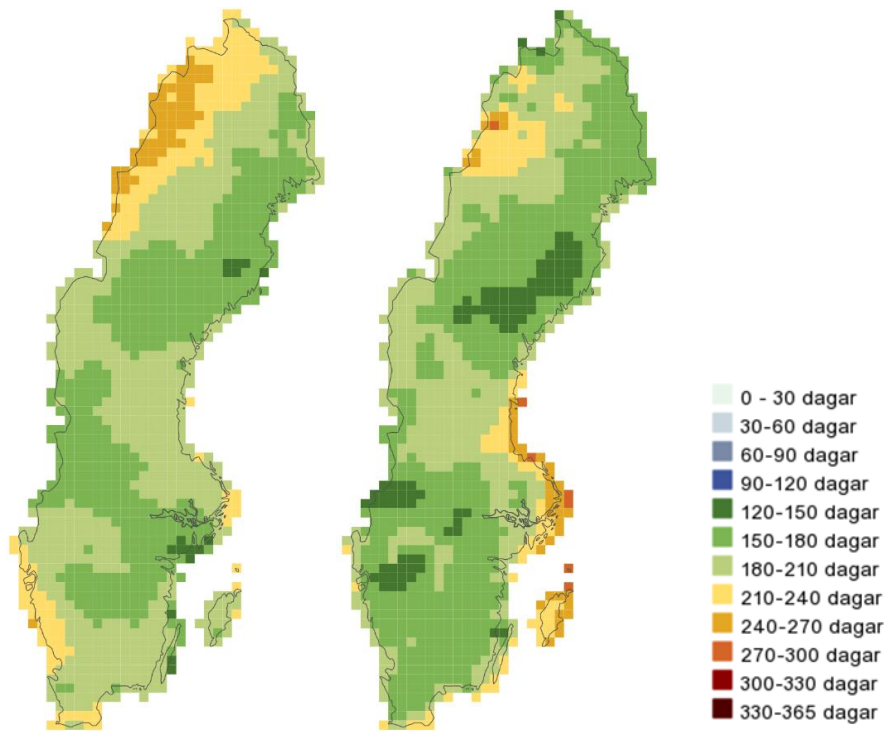
I Figur 10-8 och Figur 10-9 nedan ser vi antal dagar då dygnets maximala flytande 8h-medelvärde av marknära ozon överskred 70 respektive 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  under åren 2015 och 2016. Det var fler dygnsöverskridanden av 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  år 2016 än 2015 längst kusten i östra Svealand och sydöstra Norrland och Gotland. Däremot var det färre dygnsöverskridanden av 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i nästan hela Götaland, Norrlands inland och östra kusten år 2016. Flest överskridanden inträffade i södra Sverige, på Öland samt i Norrlands inland.

För 1990-2013 (Andersson, et al; 2015) är det årliga antal dygn med maximalt flytande 8-timmarsmedelvärde över 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i medel 160-190 över hela perioden i stora delar av landet, och något högre i fjällen och södra Götalands kusttrakter, medan det i norra Norrlands kusttrakter och delar av västliga Svealand är något lägre.

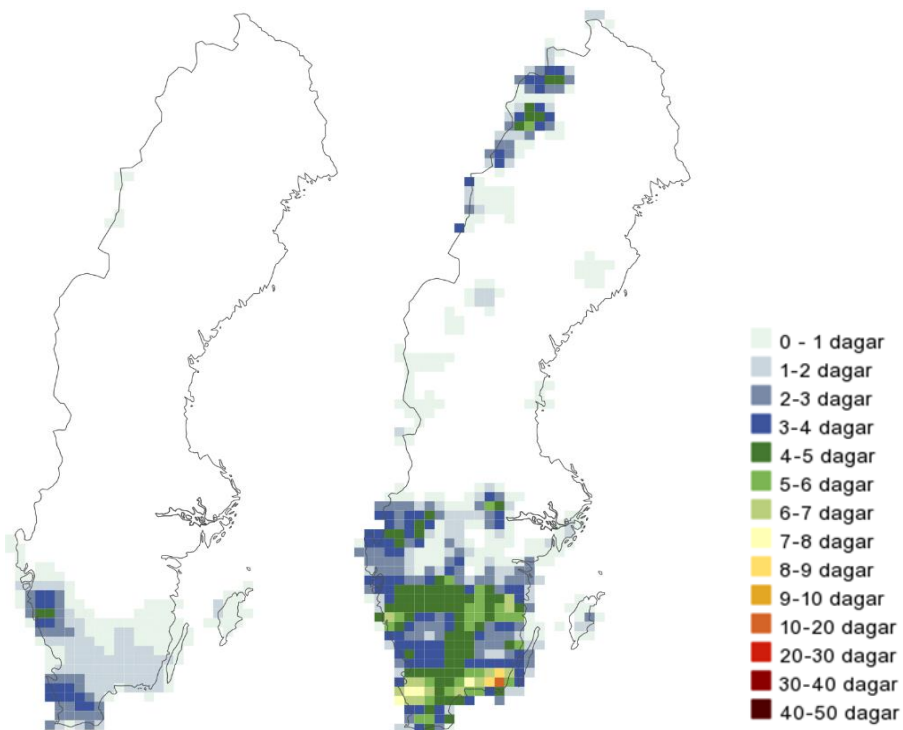
Detta innebär att år 2015 och 2016 var över genomsnittet under den långa perioden. Jämfört med maximum över hela perioden var 2016 i närheten av det maximala året för överskridande av 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Detta stämmer överens med den ökande trenden över i princip hela landet över perioden 1990-2013.

När det gäller överskridanden av 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  så skedde dessa främst i södra Sverige, och under 2016 också i Norrlands inland. Flest antal överskridanden skedde i Blekinge år 2016, med cirka 11 dygn över 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . För 2015 skedde de flesta överskridandena i Skåne och kring Göteborg, med som mest cirka 4 dagars överskridande. För detta överskridande var medel över hela perioden 1990-2013 (Andersson et al, 2015) lågt i norr (upp till 2 dygn) och högre i söder (ca 4-15 dygn). Maximalt antal överskridanden i norr under perioden översteg 10 dygn i vissa områden och i söder varierade de mellan 10 och 36 dygn. Detta innebär att 2015 var ett lågt år för de högsta halterna medan 2016 var ett år med fler höga halter än normalt, men ingalunda ett extremt år i hela perioden förutom i Blekinge. Trenden är minskande i söder för överskridande av 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Att 2016 var högre än 2015 är en effekt av meteorologisk variabilitet.

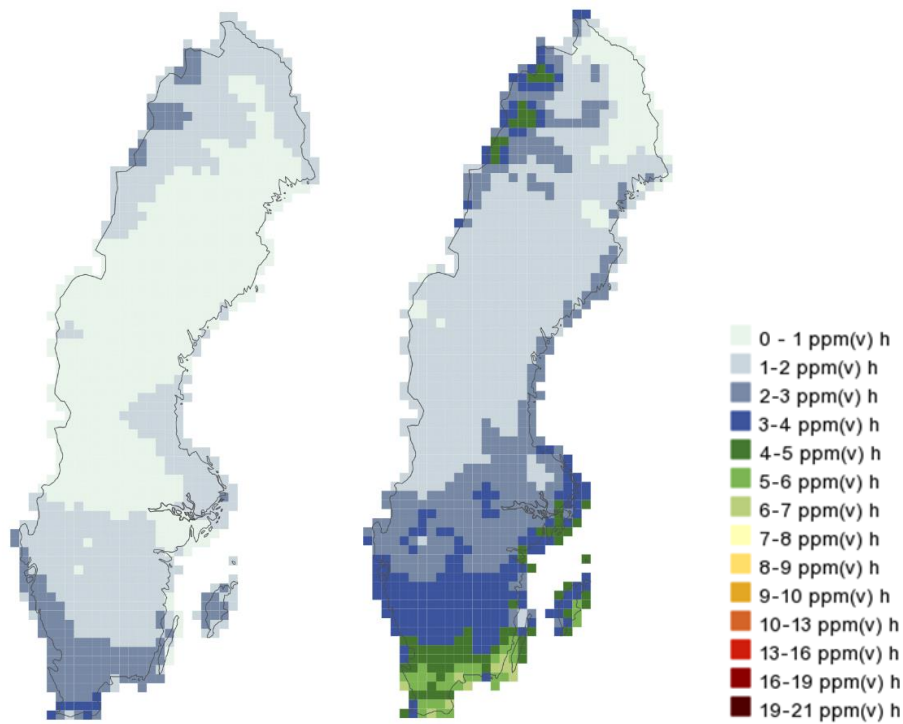
I Figur 10-10 och Figur 10-11 visas AOT40, som indikerar vegetationspåverkan på grödor respektive skog. AOT40 anges här i enheten ppm(v) h (parts per million volume hours), d.v.s. summan av halter som överstiger 40 ppb(v) under en del av året, givet som volymsblandningsförhållande. Vegetationspåverkan var högre under 2016 än 2015, och störst påverkan var det i södra Sverige, Svealand (särskilt Stockholmsregionen) och Gotland. AOT40 för grödor hade år 2016 ett värde som är ungefär som medel över perioden 1990-2013, medan 2015 var lägre än medelåret. Detsamma gällde för AOT40 för skog, förutom för Norrlands inland under 2016, där vegetationspåverkan på skog nådde nära maximum för perioden 1990-2013. Skillnaderna mellan åren 2015-2016 orsakades av meteorologisk variabilitet.



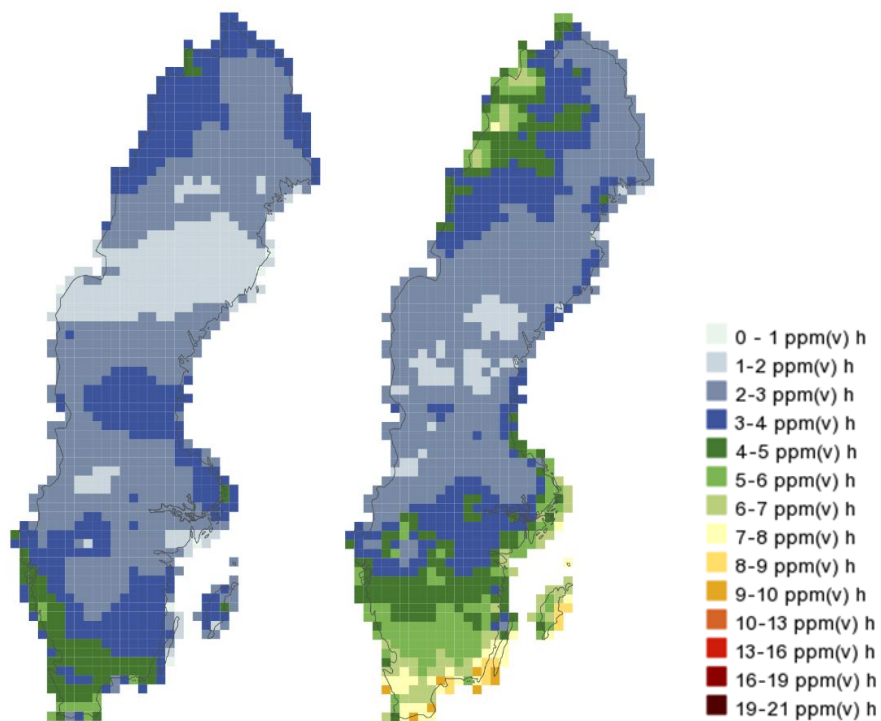
Figur 10-8 Antal dagar över 70 µg/m<sup>3</sup> av marknära ozon år 2015 (v) och 2016 (h).



Figur 10-9 Antal dagar över 120 µg/m<sup>3</sup> av marknära ozon år 2015 (v) och 2016 (h).



Figur 10-10 AOT40 för grödor i ppm(v) h för marknära ozon år 2015 (v) och 2016 (h).



Figur 10-11 AOT40 för skog i ppm(v) h för marknära ozon år 2015 (v) och 2016 (h).

## 10.3 Modellerad deposition

### 10.3.1 Modellerad deposition av svavel och kväve

Figur 10-12 till Figur 10-17 visar deposition (våt- och torrdeposition) av reducerat kväve ( $\text{NH}_x$ , dvs. summan av ammonium och ammoniak), oxiderat kväve ( $\text{NO}_y$ , dvs. summan av bland annat  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ , PAN,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ,  $\text{NO}_3$ -salter och organiskt  $\text{NO}_3$ ) och oxiderat svavel exklusive havssalt ( $\text{XSO}_x$ , dvs. summan av svaveldioxid och sulfat utan havssaltbidrag) för år 2015-2016. För varje förorening visas figurer för den totala depositionen, d.v.s. summan av Sverigebidrag och långdistanstransportbidrag (bidrag från resten av Europa), samt Sveriges bidrag. På SMHI:s hemsida presenteras depositionen, uppdelad på våt- och torrdeposition, samt torrdepositionsflöde till olika marktyper.

Vi kan se i Figur 10-12 att 2015 var något blötare än normalt, medan 2016 var ett mycket torrt år i hela landet förutom i norra Norrland. Kartläggningen med MATCH-Sverigesystemet visar att för både svavel och kväve syns en minskad våtdeposition år 2016 jämfört med 2015, medan torrdepositionen var högre 2016 än året innan.

Andelen våtdeposition relativt totaldepositionen för 2016 över svenska landområden var i genomsnitt 59, 65 och 67 procent för oxiderat svavel (exklusive havssalt), reducerat respektive oxiderat kväve.

För både halter i luft och totaldeposition är det svenska bidraget högre 2016 än 2015, men totalhalter/deposition är relativt lika under de två åren. Det är meteorologisk variabilitet som påverkar mängden långtransporterade föroreningar över Sverige. De svenska emissionerna varierar inte så mycket från ett år till nästa, utan utsläppstrender syns över längre tidsperioder.

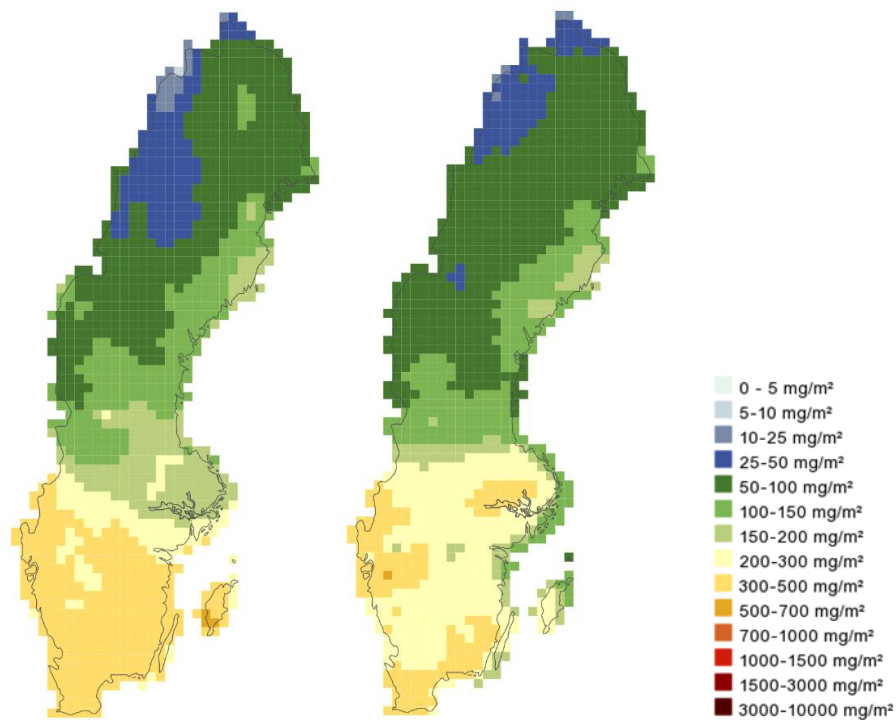
Under 2016 orsakade de svenska emissionerna i genomsnitt 15 procent av totaldepositionen för svavel (exklusive havssalt) över svenska landområden. Motsvarande siffra för oxiderat kväve och reducerat kväve var 13 procent respektive 42 procent.

Den största depositionen av reducerat kväve (Figur 10-12) sker i södra Sverige och minst deponeras i norra Norrlands inland. Det fanns en viss ökning av totaldepositionen år 2016 i Stockholmsområdet och Norrlands inland, och en minskning i södra Sverige och Gotland. Det svenska bidraget, i Figur 10-13, var markant högre i södra Sverige och längst Norrlandskusten under 2016 än 2015. Till exempel varierar totaldepositionen över Sverige mellan 20 och 510 mg  $\text{N}/\text{m}^2$  under 2016. Jämfört med tidsserien 1980-2013 är 2016 ungefär i nivå med 10-percentilen, det vill säga ungefär som det tredje/fjärde lägsta året under perioden. Totaldepositionen av reducerat kväve har en sjunkande trend, snabbare i söder än i norra Sverige, där belastningen är lägre.

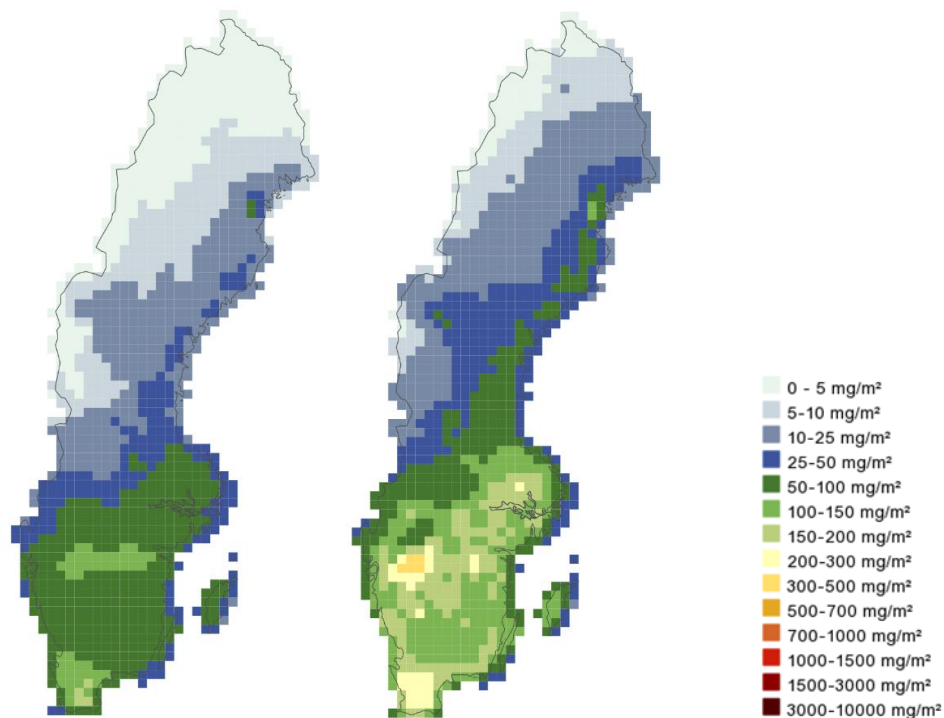
Störst totaldeposition av oxiderat kväve sker i södra Sverige och minst sker i Norrlands inland. Figur 10-14 visar att totaldepositionen av oxiderat kväve ökade under 2016 jämfört med 2015 i Göteborgs- och Stockholmsregionen, och minskade i södra Skåne. Sveriges bidrag (Figur 10-15) ökade markant främst i Stockholms- och Göteborgsregionen och även i södra Sverige och längst Norrlandskusten. För 2016 varierade totaldepositionen mellan 20 och 630 mg/ $\text{N m}^2$ . Jämfört med tidsserien 1980-2013 är 2016 ett av de år som uppvisat lägst i totaldeposition av oxiderat kväve, vilket överensstämmer med den nedåtgående trenden över Sverige som beräknats i Andersson, C., et al. (2018).



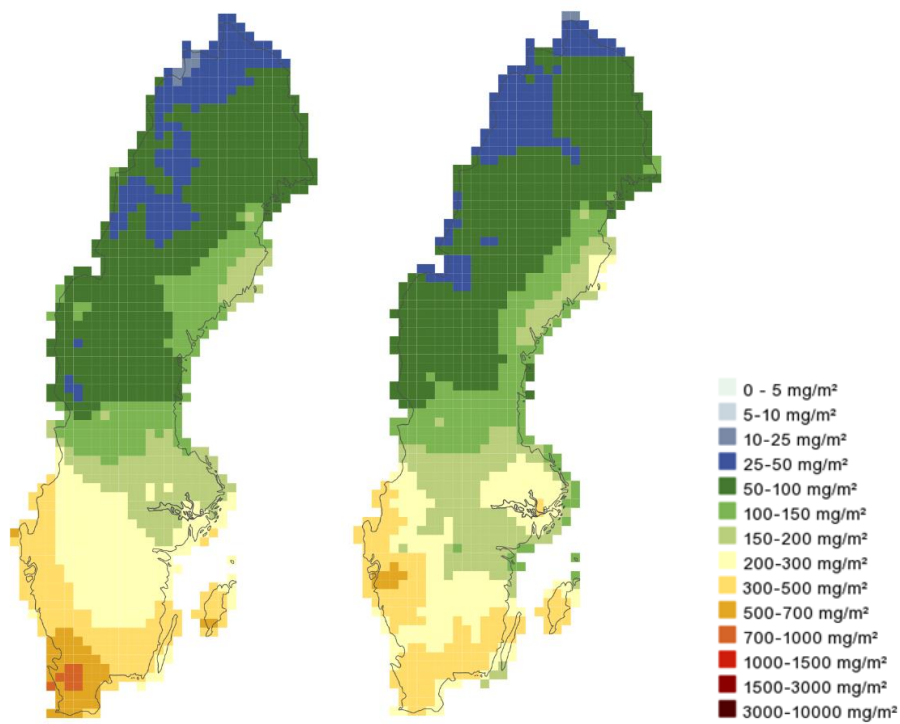
Totaldepositionen av oxiderat svavel i Figur 10-16 visar något högre värden längs Norrlandskusten men, lägre deposition i resten av Sverige, 2016 jämfört med 2015. Det svenska bidraget (Figur 10-17) visar att det är svenska emissioner som förklarar den något högre depositionen längst Norrlandskusten under 2016. Totaldepositionen av svavel utan havssalt varierade mellan 30 och 520 mg S/m<sup>2</sup> år 2016. Vid en jämförelse mot tidsserien 1980-2013 är 2016 i paritet med året med lägst deposition, vilket överensstämmer med den nedåtgående trenden för svaveldeposition över Sverige. Den nedåtgående trenden är starkare för svavel än för kväve enligt Andersson, C., et al, (2018).



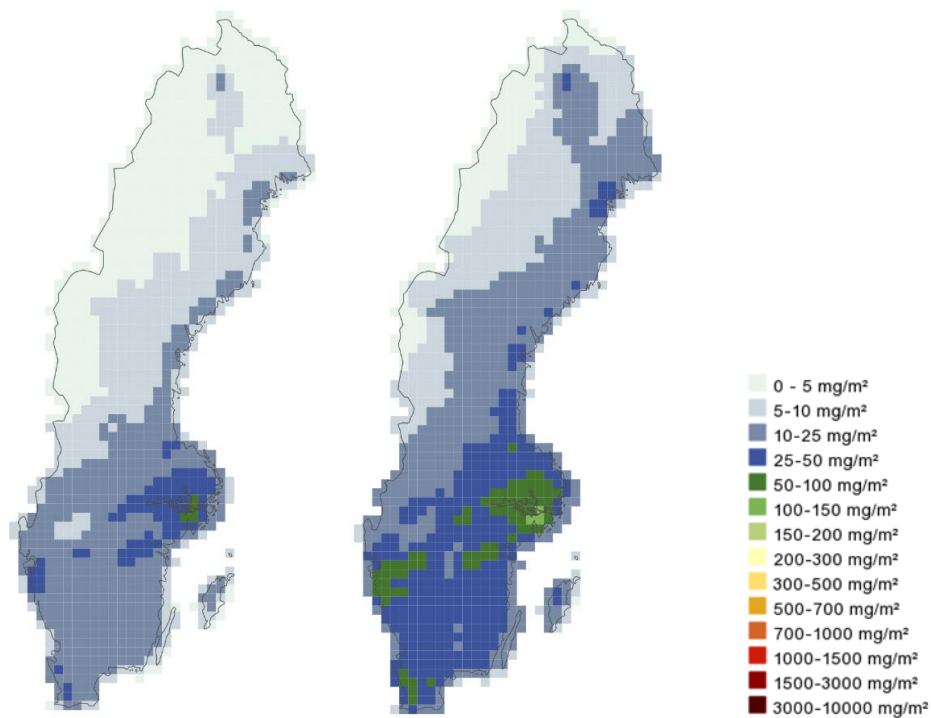
**Figur 10-12** Totaldeposition av reducerat kväve (summan av ammonium och ammoniak) år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet mg N/m<sup>2</sup>).



**Figur 10-13** Svenskt bidrag till deposition av reducerat kväve (summan av ammonium och ammoniak) år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet mg N/m<sup>2</sup>).

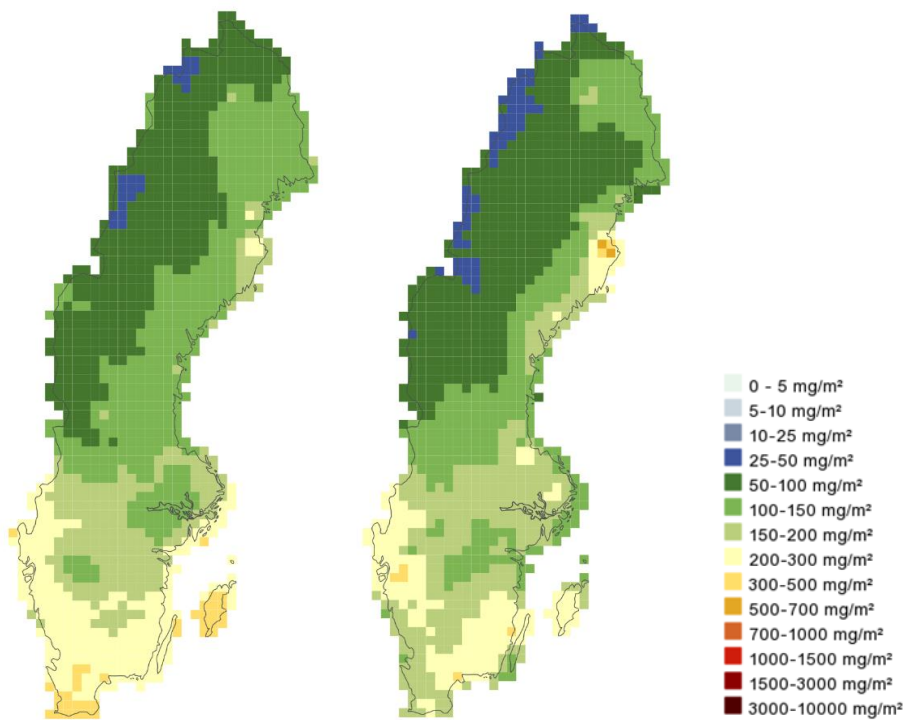


**Figur 10-14** Totaldeposition av oxiderat kväve (summan av bland annat NO, NO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, PAN, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub>-salter och organiskt NO<sub>3</sub>) år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet mg N/m<sup>2</sup>).

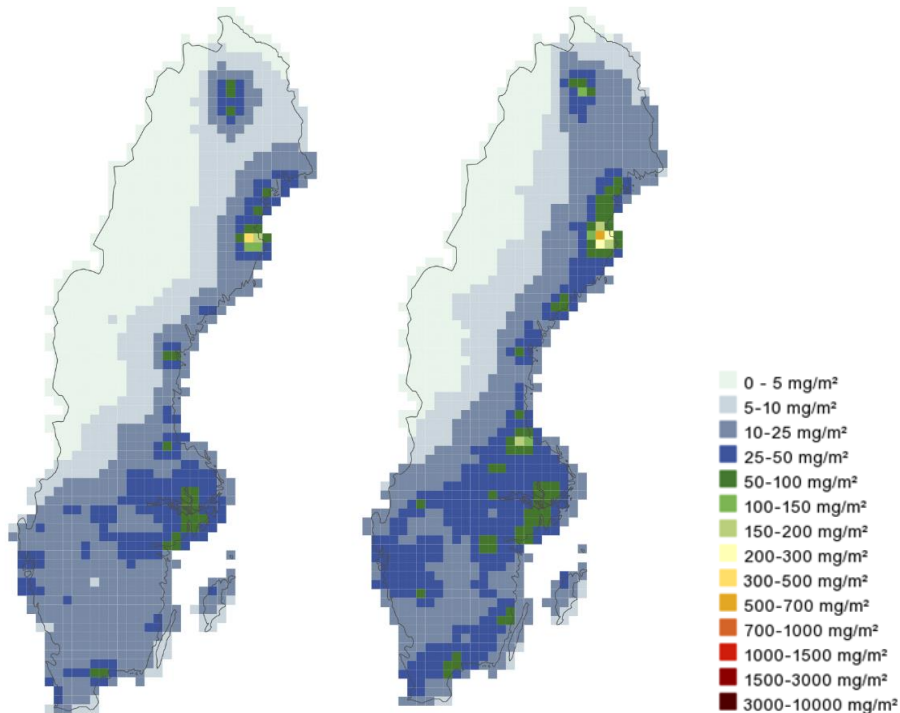


**Figur 10-15** Svenskt bidrag till deposition av oxiderat kväve (summan av bland annat NO, NO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, PAN, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub>-salter och organiskt NO<sub>3</sub>) år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet mg N/m<sup>2</sup>).





**Figur 10-16** Totaldeposition av oxiderat svavel (summan av svaveldioxid och sulfat) exkl. havssalt år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet mg S/m<sup>2</sup>).



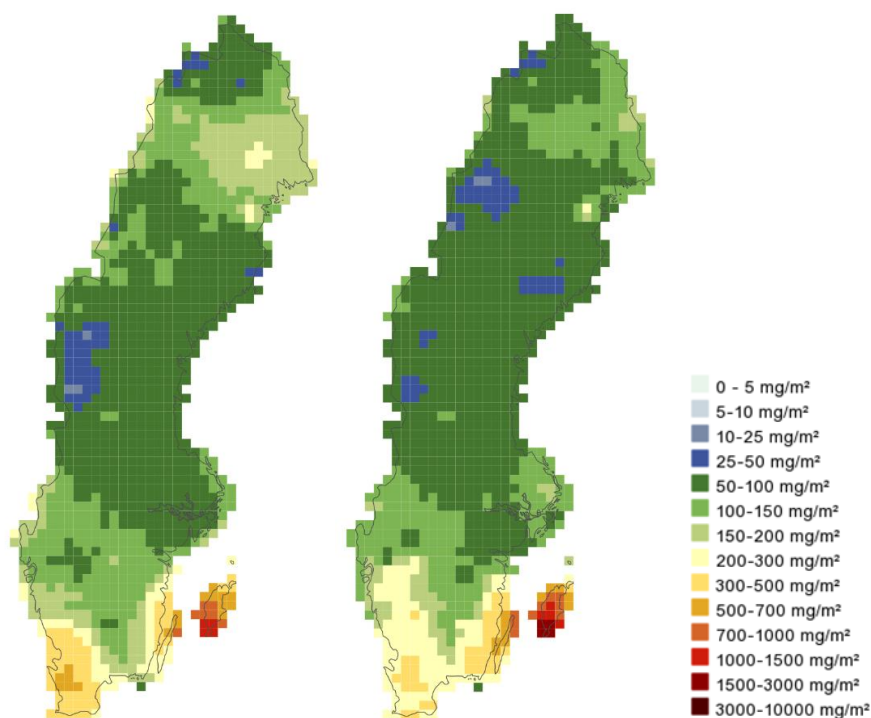
**Figur 10-17** Svenskt bidrag till deposition av oxiderat svavel (summan av svaveldioxid och sulfat) exkl. havssalt år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet mg S/m<sup>2</sup>).

## 10.3.2 Modellerad deposition av baskatjoner

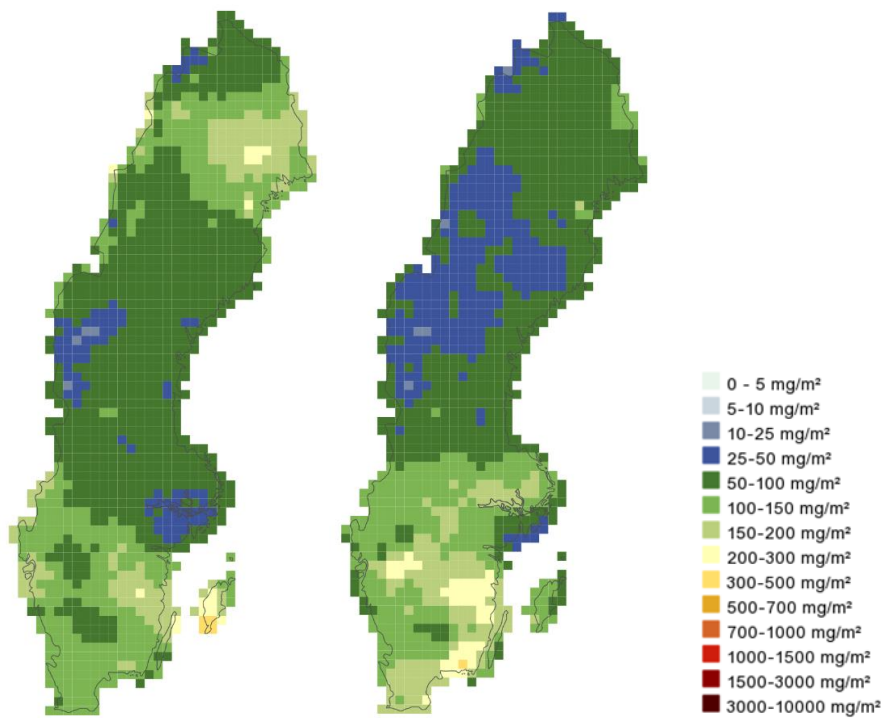
Våtdeposition av baskatjoner beräknas i MATCH-Sverigesystemet. I Figur 10-18 till Figur 10-21 visas resultat för våtdepositionsberäkningar av baskatjoner för 2015-2016. Deposition av baskatjoner är av intresse eftersom det verkar neutraliserande. Vid försurningsmodellering är kunskap om detta nedfall användbart, då det kan balansera åtminstone delar av det försurande kväve- och svavelnedfallet som sker.

Den största våtdepositionen av kalcium (Ca) och kalium (K) återfinns främst över södra Sverige (Figur 10-18 respektive Figur 10-19). Våtdeposition av magnesium (Mg) är störst utmed västkusten, vilket är väntat eftersom det absolut största bidraget kommer från havssalt (Figur 10-20). Även natrium återfinns i höga nivåer, framför allt längs västkusten och delvis längs ostkusten (Figur 10-21). Våtdepositionen av natrium utmed gränsen mot Norge är en effekt av mycket höga natriumhalter i nederbörd utmed Norges kust. Natriumet kommer från havssalt.

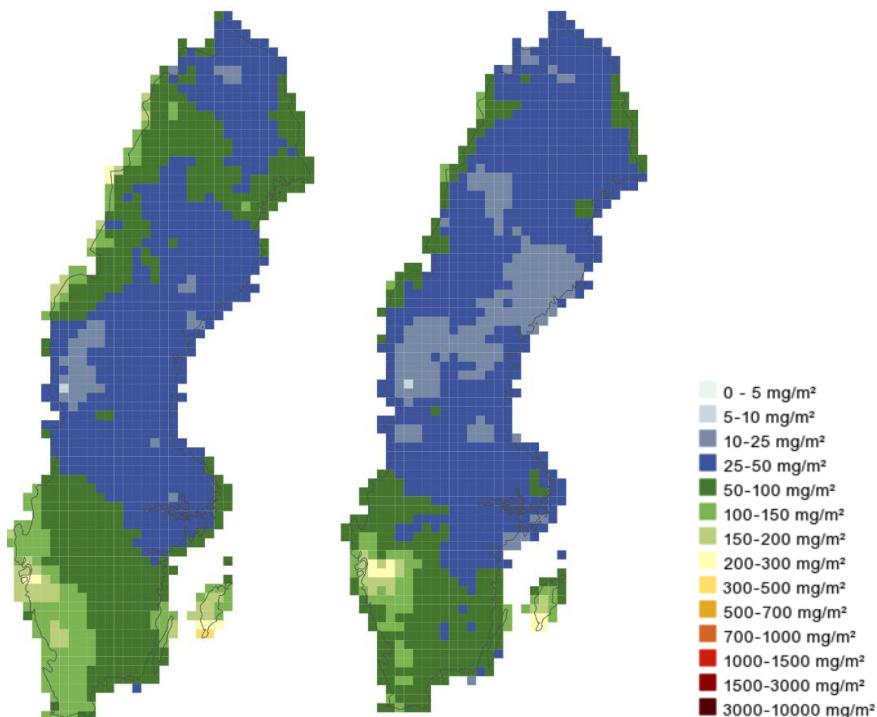
Överlag kan vi se något lägre våtdeposition år 2016 jämfört med 2015 på grund av mindre nederbördsmängder.



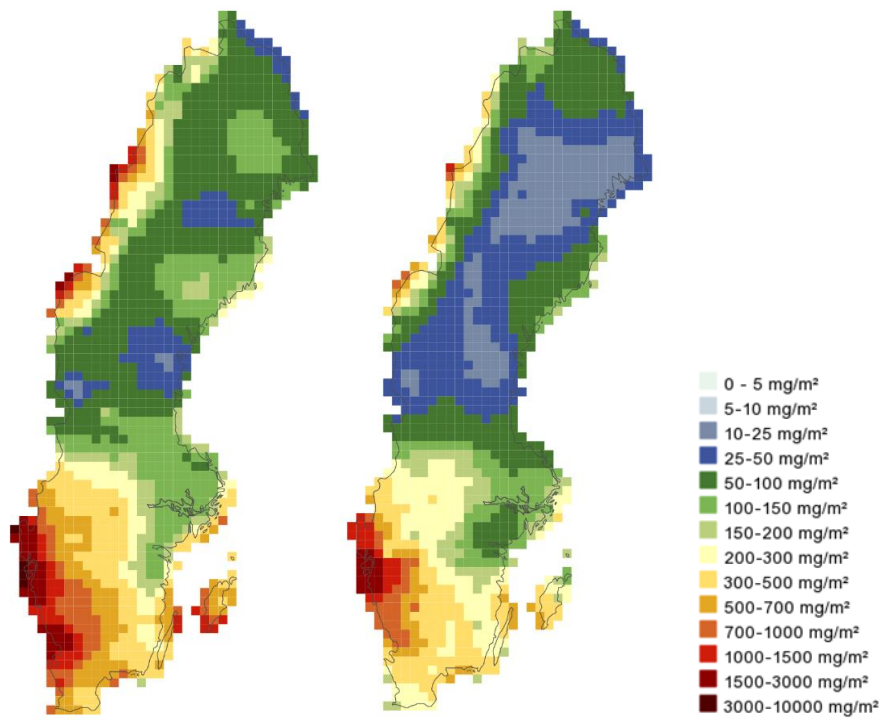
Figur 10-18 Våtdeposition av kalcium år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet mg Ca/m<sup>2</sup>).



Figur 10-19 Våtdeposition av kalium år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet mg K/m<sup>2</sup>).



Figur 10-20 Våtdeposition av magnesium år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet mg Mg/m<sup>2</sup>).



Figur 10-21 Våtdeposition av natrium år 2015 (v) och 2016 (h) (enhet mg Na/m<sup>2</sup>).

# 11 Delprogram STRÅNG UV-indikator

Tabell 11-1 Delprogram STRÅNG UV-indikator

Parametrar	Global, direkt, diffus och UV-strålning samt fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR)
Stationer	Inga, modellberäkning i rutnät om 2,5 * 2,5 km över nordn (490770 gridpunkter)
Mätfrekvens	Tidsupplösning från 1 timme upp till 1 år
Kravställare	Naturvårdsverket
Lagringsplats	Data kan laddas ner fritt från webben: <a href="http://strang.smhi.se/">http://strang.smhi.se/</a>
Utförare	SMHI
Mer information	<a href="http://strang.smhi.se/">http://strang.smhi.se/</a>

Syftet med delprogrammet är att beräkna ett antal solstrålningsvariabler; här ges en översikt av modellresultat för globalstrålning, UV-strålning och fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR). Data från STRÅNG är tillgängliga via ett webbgränssnitt för vem som helst och presenteras i form av kartor och tidsserier (från timvärden upp till årsvärden). Systemet är framtaget som ett samarbete mellan Naturvårdsverket (NV), SMHI och Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM). De beräknade värdena jämförs regelbundet med mätningar från SMHI:s solstrålningsnät.

Modellresultaten från STRÅNG används till flertalet olika syften, dessvärre inte alltid kända eftersom data kan laddas ner från webben. Globalstrålningen används av SLU för att utföra kolbalansberäkningar i samband med klimatrapporteringsförordningen, vilket är NV:s intresse. UV-strålningen ger en bild av hur mängden skadlig ultraviolett solstrålning fördelar sig i norra Europa, vilket är värdefullt för SSM att få en bild av. SMHI har behov att kunna fylla ut perioder i mätningar av solstrålning då dessa fallerat. Det nationella miljökvalitetsmål, utöver *Begränsad klimatpåverkan*, som berörs är *Säker strålmiljö*.

Under åren har STRÅNG genomgått en del förändringar, vilket gjort att bland annat modellens upplösning och modellområde ändrats. Detta påverkar utseendet på kartor och val av tidsperioder för medelvärdesbildning som presenteras här. Under modellens första period, januari 1999 – maj 2006 var den rumsliga upplösningen 22 km, under april 2006 – mars 2017 var den 11 km, och från april 2017 är upplösningen nu 2,5 km.

## 11.1 Resultat

### 11.1.1 Kartläggning av solstrålning via STRÅNG

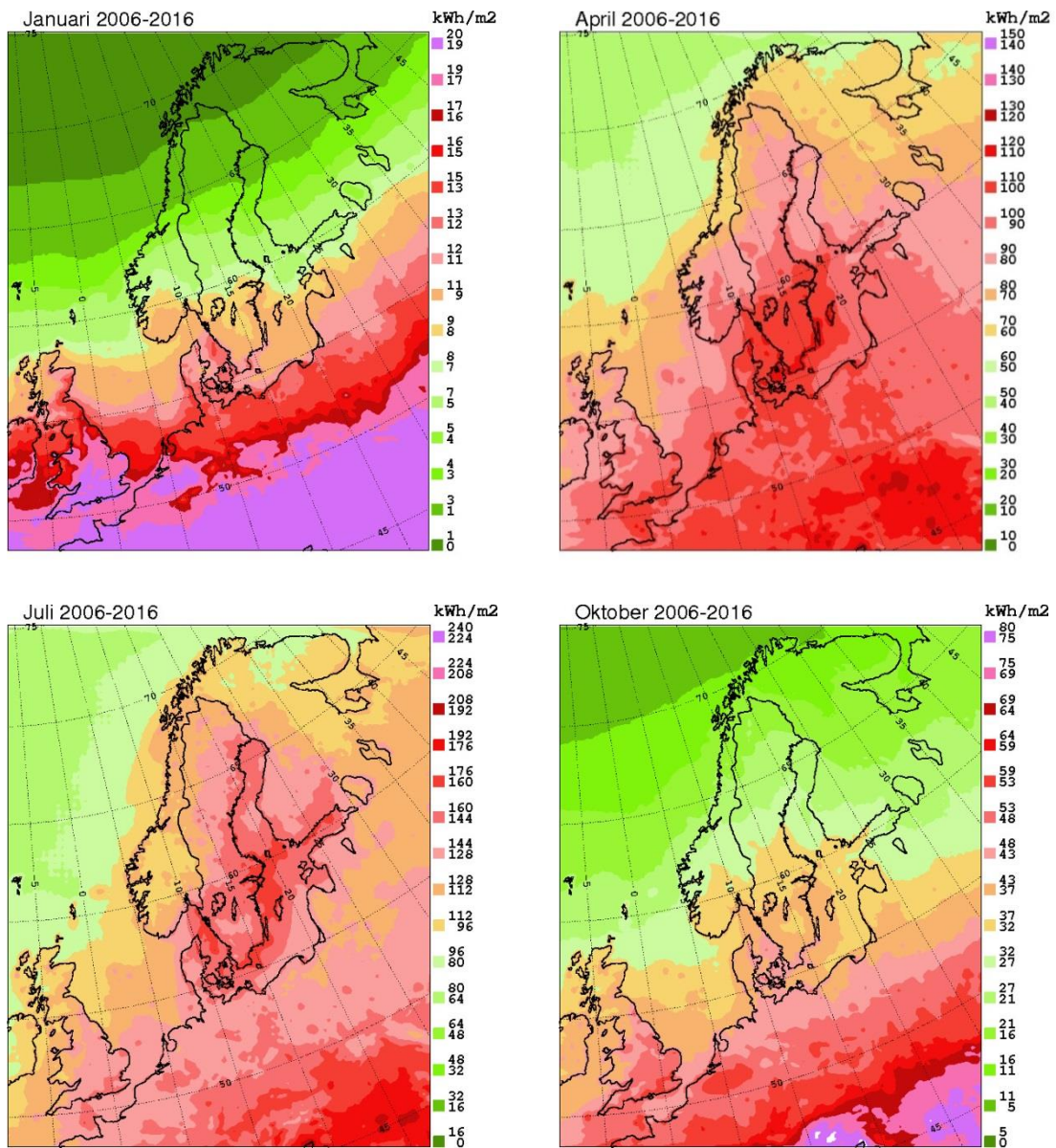
#### 11.1.1.1 Globalstrålning

Globalstrålning är den strålning som infaller från himlavalvet mot en horisontell yta. Den innefattar både det ljus som kommer direkt från solen, och det som spritts i atmosfären och mot marken. Globalstrålningen spänner över hela det strålningsspektrum som infaller mot jordytan från solen, ca 0,28-4  $\mu\text{m}$ . Figur 11-1 visar den genomsnittliga globalstrålningen från STRÅNG under perioden 2006-2016 för månaderna januari, april, juli och oktober, som här får representera de fyra årstiderna, (december - februari, mars - maj, juni - augusti, september - november).

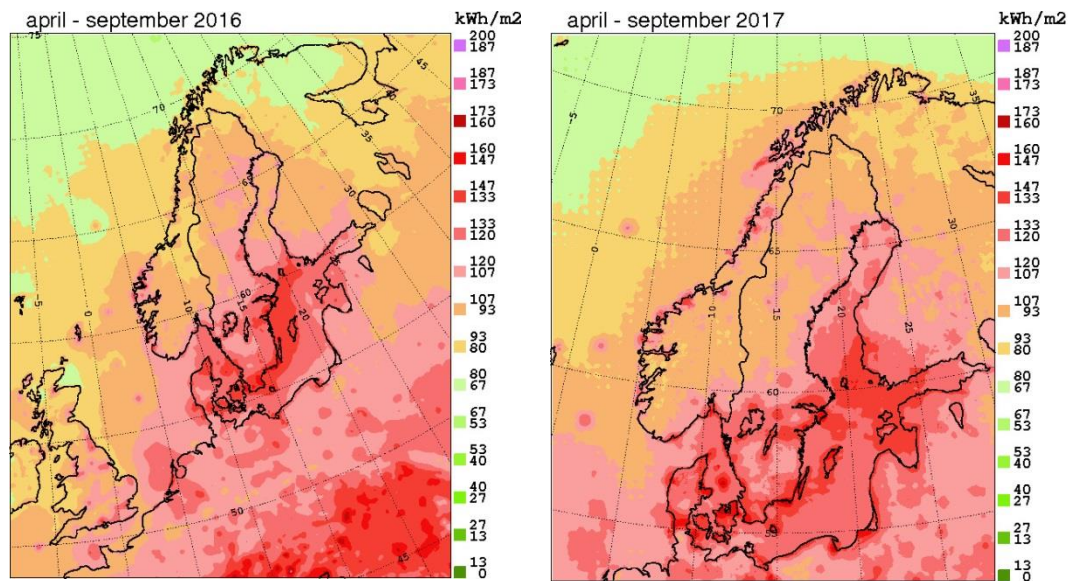
Den månatliga globalstrålningen som visas i Figur 11-1 beror av dygnets längd, samt av absorption och spridning av ljus i luften. Framförallt molnmängd, men också halterna av ozon, luftburna partiklar samt vattenånga, påverkar hur mycket strålning som når marken. En ytterligare faktor här är solhöjden, som varierar över dagen och året, eftersom den påverkar hur lång vägen genom atmosfären blir. Starkast är strålningen nära ekvatorn, där solen står som högst. Således är också globalstrålningen högre i södra Sverige än i norra Sverige. Störst skillnad mellan breddgrader ses för april och oktober i Figur 11-1, då skillnaderna i dagslängd spelar en viktig roll under vintermånaderna. Den månatliga instrålningen är mer än 10 gånger större sommartid än vintertid i Sverige. Man kan också se variationer som huvudsakligen beror på geografiska skillnader i molnighet. I söder är globalstrålningen lägre över sydsvenska höglandet än utmed kusterna och över de stora sjöarna. I norra Sverige avtar globalstrålningen från kusten uppemot fjällen. Man kan också se att området kring Östersjön och södra Sverige får mer strålning än omgivningen på motsvarande breddgrad, med nivåer som liknar dem nedåt södra Tyskland under sommarmånaderna.

I Figur 11-2 visas den genomsnittliga globalstrålningen för åren 2016 och 2017 under sommarhalvåret (april-september). För 2017 kommer data från den uppdaterade versionen av STRÅNG, som täcker ett mindre område men har högre upplösning (2,5x2,5 km och 490770 pixelvärden, tidigare 11x11 km och 65928 pixelvärden). Den högre upplösningen gör det möjligt att bättre urskilja geografiska skillnader, så som den högre strålningen längs med kusterna och över de stora sjöarna. Totalt sett visar modellresultaten på relativt små skillnader i globalstrålning för åren 2016 och 2017.

Tittar man på långsiktiga trender visar mätdata att globalstrålningen minskade i stora delar av Europa från 1960-talet och fram till slutet av 1980-talet, så även i Sverige. Sedan dess har det skett en viss ökning (Wild, 2012), och från cirka 2005-2006 pekar svenska mätdata på att det skett en stabilisering på den högre nivån.



**Figur 11-1** Genomsnittlig globalstrålning från STRÅNG under perioden 2006-2016 för månaderna januari, april, juli och oktober. Varje bild visar ackumulerade månadsvärden medelvärdsbildade över samtliga år.



**Figur 11-2** Globalstrålning för åren 2016 och 2017 under sommarhalvåret (medel av ackumulerade månadsvärden för april-september).

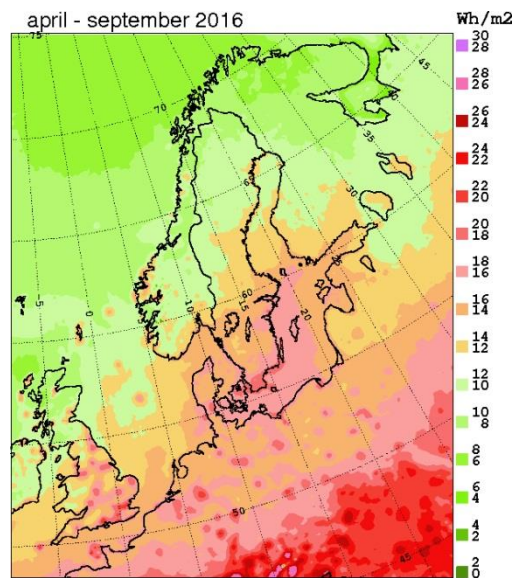
### 11.1.1.2 UV-strålning

Ultraviolett (UV) strålning utgörs av den kortvågiga ändan av solens spektrum (280-400 nm), och är den strålning som gör oss solbrända eller i värsta fall kan orsaka hudcancer. Genom STRÅNG beräknas den CIE-erytemviktade UV-strålningen (enhet mW/m<sup>2</sup>), vilket innebär att hänsyn tagits till våglängdsberoendet hos strålningens solbränneeffekt på huden när totalen över UV-intervallet beräknats (ICNIRP, 1995). Från detta kan man vidare beräkna UV-index vid en tidpunkt, vilket vanligen ges på en (heltalig) skala från 0 till 11+ med enheten 25 mW/m<sup>2</sup>. UV-index syftar till att förenklat indikera hur stark UV strålningen är och vilket skydd som är nödvändigt.

UV-strålningen påminner mycket om globalstrålningen, men eftersom den endast spänner över de korta våglängderna skiljer den sig i hur den interagerar med atmosfären. Dessa våglängder sprids mer av luftens molekyler, varav UV strålningen visar ett starkt höjd- och latitudberoende, samtidigt som den påverkas mindre av förekomsten av moln.

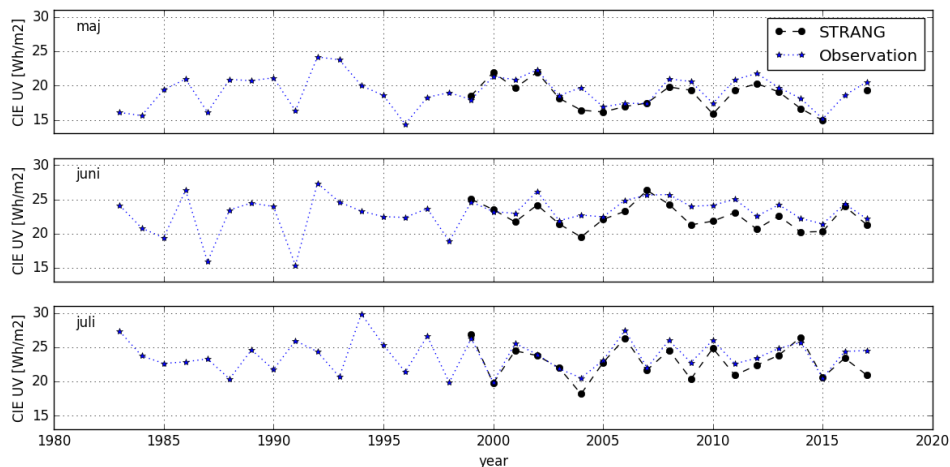
Figur 11-3 visar CIE-UV för 2016. Under vår och tidig sommar 2017 finns ett fel i ozondata som används i modellen vilket påverkar modellresultatet för UV strålningen. Därav har vi valt att inte visa UV strålning för 2017. Nya data för perioden planeras vara på plats under tidigt 2019. I Figur 11-3 visas att Östersjöområdet och södra Sverige, liksom för globalstrålningen, exponeras för mer UV-strålning än omgivningen på motsvarande breddgrad.





**Figur 11-3** CIE-erytemviktad UV-strålning för året 2016 under sommarhalvåret (medel av ackumulerade månadsvärden för april-september).

En tidserie med modellerad UV-strålning från STRÅNG samt uppmätta värden i Norrköping visas i Figur 11-4 för månaderna maj-juli, då UV-strålningen är som högst. Skillnaden mellan olika år kan vara relativt stor, uppåt 50 procent, och är framförallt kopplad till molnighet. Felet för timvärden på UV för modellen jämfört med mätningar ligger på i genomsnitt ca 30procent. Någon trendanalys för dessa data har inte gjorts, men tittar man på årsvärden ifrån mätningarna i Norrköping (ej visat) syns inga signifikanta trender.

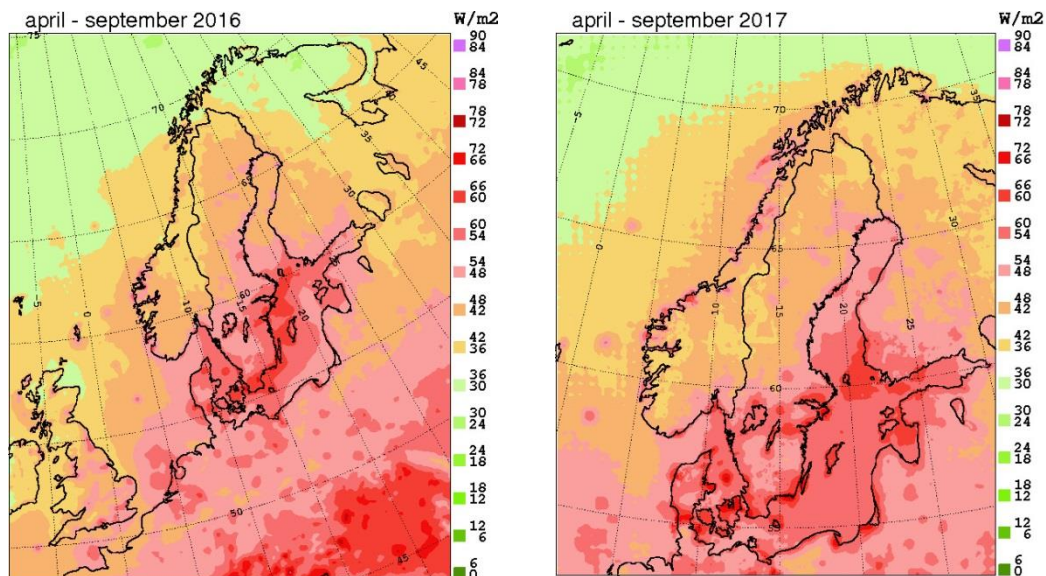


**Figur 11-4** Ackumulerade månadsvärden av CIE-erytemviktad UV-strålning från STRÅNG (start 1999) samt mätdata från Norrköping (start 1983) för månaderna maj, juni och juli.

### 11.1.1.3 Fotosyntetiskt aktiv strålning

Fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR) är den del av solens spektra (400-700 nm) som kan användas för växternas fotosyntes. PARs geografiska fördelning påminner starkt om den för globalstrålningen, eftersom PARs spektrala tyngdpunkt ligger nära globalstrålningens tyngdpunkt. De båda strålningsstorheterna påverkas därför i liknande grad av strålningsprocesser i atmosfären.

Fram till uppgraderingen av STRÅNG angavs PAR i enheten  $\mu\text{m}/\text{m}^2$  (det vill säga antalet fotoner per kvadratmeter), men har därefter ändrats till  $\text{W}/\text{m}^2$  (energi). Orsaken är att den nu underliggande strålningsmodellen (LibRadtran) räknar ut energin i bredare bandområden. Det går dock att i efterhand omvandla till fotondensitet om man vill, vilket gjorts i Figur 11-5. Som framgår av Figur 11-5 är PAR högt även över Östersjön, vilket påverkar t.ex. algblomning. PAR i detta område är en intressant och efterfrågad variabel eftersom det finns få mätningar tillgängliga.



**Figur 11-5** Fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR) för åren 2016 och 2017 under sommarhalvåret (medel av ackumulerade månadsvärden för april-september). Data för 2016 har räknats om från fotondensitet till  $\text{W}/\text{m}^2$  genom antagande om en genomsnittlig atmosfärssammansättning och solhöjd.



## 5. Tack

Vi vill rikta ett stort tack till all enskild provtagningspersonal ute i landet som genom sitt arbete möjliggjort denna rapport.

## 12 Referenser

- AMAP. (2017). AMAP Assessment 2016: Chemicals of Emerging Arctic concern. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xvi+353 pp.
- Andersson, C., Engardt, M., Alpfjord, H. (2015). Återanalys av marknära ozon i Sverige för perioden 1990-2013. SMHI rapport nr 2015-80.
- Andersson, C., Bergström, R., Bennet, C., Robertson, L., Thomas, M., Korhonen, H., Lehtinen, K. and Kokkola, H. (2015) MATCH-SALSA – Multi-scale Atmospheric Transport and CHemistry model coupled to the SALSA aerosol micropysics model. Part 1 – model description and evaluation. *Geosci Model Develop* 8, 171-189.
- Andersson, C., Alpfjord, H., Robertson, L., Karlsson, P.E. and Engardt, M. (2017) Reanalysis of and attribution to near-surface ozone concentrations in Sweden during 1990-2013. *Atmos. Chem. Phys.* 17, 13869-13890, <https://doi.org/10.5194/acp-17-13869-2017>.
- Andersson, C., Alpfjord Wylde, H., Engardt, M., (2018). Long-term sulfur and nitrogen deposition in Sweden - 1983-2013 reanalysis. SMHI rapport nr 2018-XX.
- Anttila, P., Brorström-Lundén., Hansson, K., Hakola H. and Vestenius, M. (2016). Assessment of the spatial and temporal distribution of persistent organic pollutants (POPs) in the Nordic atmosphere, *Atmospheric Environment* 140 (2016) 22e33.
- Bossi, R., Skjoth, C.A., Skov, H. (2013). Three years (2008-2010) of measurements of atmospheric concentrations of organochlorine pesticides (OCPs) at Station Nord, North-East Greenland. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 15, 2213-2219.
- Brorström-Lundén, E. (1995). "Measurements of Semivolatile Organic Compounds in Air and Deposition". Doktorsavhandling. Departement of Analytical and Marine Chemistry, Göteborg. ISBN 91-7197-114-9.
- Chipperfield, M., Bekki, S., Dhomse, S., Harris, N., Hassler, B., Hossaini, R., Steinbrecht, W., Thiéblemont, R., and Weber, M.: Detecting recovery of the stratospheric ozone layer, *Nature*, 549, 211–218, <https://doi.org/10.1038/nature23681>, 2017.
- Colette, A., Andersson, C., et al., (2017). EURODELTA-Trends, a multi-model experiment of air quality hindcast in Europe over 1990-2010. *Geosci. Model Dev.* 10, 3255-3276, [doi.org/10.5194/gmd-10-3255-2017](https://doi.org/10.5194/gmd-10-3255-2017).
- EG:s förordning 1107/2009 som reglerar villkoren för godkännande av växtskyddsmedel inom EU.
- EMEP Status Report 2/2012. "Long-term changes of Heavy Metal Transboundary Pollution of the Environment (1990-2010)"
- EMEP Status Report 2/2016. "Assessment of heavy metals transboundary pollution, progress in model development and mercury research".
- EMEP Status Report 2/2018. "Assessment of heavy metal transboundary pollution on global, regional and national scales".
- Fioletov, V. E., Bodeker, G. E., Miller, A. J., Mc Peters, R. D., and Stolarski, R.: Global and zonal total ozone variations estimated from ground-based and satellite measurements: 1964–2000, *J. Geophys. Res.*, 107, 4647, <https://doi.org/10.1029/2001JD001350>, 2002.



- Hung, H., Kallenborn, K., Breivik, Y., Su, E., Brorström-Lunden, E., Oalbsdottir, K., Thorlacius, J.M., Leppänen, S., Bossi, R., Skov, H., Mano, S., Patton, G.W., Stern, G., Sverko, E., Fellin, P. (2010). Atmospheric monitoring of organic pollutants in the Arctic under the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP): 1993-2006. *Science of the Total Environment* 408, 2854-2873.
- Hung, H., Katsoyiannis A., Eva Brorström-Lundén, E., Olafsdottir, K., Aas, W., t Breivik, K., Bohlin-Nizzetto, P., Sigurdsson, E., Hakola H., Bossi R., Skov H., Sverko, E., Barresi, E., Fellin P. and Wilson, S. (2016) Temporal trends of Persistent Organic Pollutants (POPs) in arctic air: 20 years of monitoring under the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). *Environmental Pollution*
- Hellsten, S., Westling, O. (2006). Försurande och övergödande nedfall i skog – Delprogram Krondropp inom programområde Luft, Sakrapport 2006 06 01, För Naturvårdsverket, Avtal 211 0411.
- Hellsten, S., Gustafsson, G., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E. & Akselsson C. 2017. Påverkan på atmosfäriskt nedfall och luftkvaliteten i Sverige av SO<sub>2</sub>-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014-2015 IVL Rapport C234.
- ICNIRP (1995), Global Solar UV Index, A joint recommendation of WHO, WMO, UNEP and ICNIRP, ICNIRP-1/95, ISBN 3-9804789-0-4.
- IMM-rapport (1992 a): Hälsorelaterad miljöövervakning - ett programförslag, rapport nr 7/92.
- IMM-rapport (1992 b): Victorin, K. (1992b). Uppdaterad hälsoriskbedömning av etenoxid, eten och propen. Institutet för miljömedicin, rapport nr 8/92.
- Iverfeldt Å., Munthe J., Brosset C., Pazyna J. (1995). Long term changes in concentration and deposition of atmospheric mercury over scandinavia. *Water, Air, and Soil Pollution* 80, 227-233.
- Jiskra, M, Sonke, J., Obrist, D., Bieser, J., Ebinghaus, R., Myhre, C., Aspmo, K., Wängberg, I., Kyllönen, K., Worthy D., Martin, L., Labuschagne, C., Mkololo, T., Ramonet, M., Magand, O., Dommergue, A, 2018. A vegetation control on seasonal variations in global atmospheric mercury. *Nature Geoscience*. NGS-2017-04-00901C.
- Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson. (2011). Totaldeposition av kväve till skog. IVL Rapport B1952.
- Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C. 2018b. Utveckling av en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog inom miljö kvalitetsmålet *Ingen övergödning*. IVL Rapport C 286.
- Luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477).
- Miljödepartementet (2012). Svenska miljömål – preciseringar av miljö kvalitetsmålen och en första uppsättning etappmål. Ds 2012:23.
- Naturvårdsverkets föreskrifter om kontroll av luftkvalitet (NFS 2013:11).
- Naturvårdsverket (2017). PCB i miljön (online). <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Organiska-miljogifter/PCB/> [2018-09-20]
- Otero, N., Sillman, J., Mar., K.A., Rust, H.W., Solberg, S., Andersson, C., et al. (2018) A multi-model comparison of meteorological drivers of surface ozone over Europe. *Atmos. Chem. and Phys.*, 18, 12269-12288. <https://doi.org/10.5194/acp-18-12269-2018>



- Palm Cousins A., Hansson K. och Brorström-Lundén, IVL, Schlabach M., NILU (2006). "Dioxins in the Swedish atmosphere - Results from monitoring activities in 2004 and 2005", IVL Rapport U1969.
- Remberger, M, Kaj, L., Hansson, K., Bibi, M., Brorström-Lundén, E., Haglund, P., Liljelind, P., Bergek, S., Andersson, R., Kitti-Sjöström, A., (2014). Screening of Emerging Brominated Flame Retardants (BFRs) and Polybrominated dibenzofurans (PBDFs). IVL rapport B2110
- SMHI, 2014: (<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614> ).
- Sprovieri, F., Pirrone, N., Bencardino, M., D'Amore, F., Carbone, F., Cinnirella, S., Mannarino, V., Landis, M., Ebinghaus, R., Weigelt, A., Brunke, E-G., Labuschagne, C., Martin, L., Munthe, J., Wängberg, I., Artaxo, P., Morais, F., Cairns, W., Barbante, C., Diéguez, C., Garcia, P.E., Dommergue, A., Angot, H., Magand, O., Skov, H., Horvat, M., Kotnik, J., Read, K.A., Neves, M., Gawlik, B, M., Sena, F., Mashyanov, N., Obolkin, V.A., Wip, D., Feng, X.B., Zhang, H., Fu, X., Ramachadran, R., Cossa, D., Knoey, J., Marussczak, N., Nerentorp Mastromonaco, M., Norstrom, C. (2016). Atmospheric mercury concentrations observed at ground-based monitoring sites globally distributed in the framework of the GMOS network. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, doi:10.5194/acp-2016-466,
- Stockholm Convention (2008). "All POPs listed in the Stockholm Convention" (<http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx>).
- Vivanco, M.G., Theobald, M.R., Garcia-Gomez, H., Garrido, J.L., Prank, M., Aas, W., Adani, M., Alyuz, U., Andersson, C., et al. (2018) Modelled deposition of nitrogen and sulfur in Europe estimated by 14 air quality model-systems: Evaluation, effects of changes in emissions and implications for habitat protection. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 10199-10218, <https://doi.org/10.5194/acp-18-10199-2018>.
- Wild, M. (2012), Enlightening Global Dimming and Brightening, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, pp. 27–37.
- WMO, 2017. Global Atmospheric Watch Workshop on Measurement-Model Fusion for Global Total Atmospheric Deposition (MMF-GTAD). GAW Report, available online in May 2017 on the web page: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/WorkshoponMeasurementModelFusion.html>
- Wängberg, I., Nerentorp Mastromonaco, M.G., Munthe, J., Gårdfeldt, K, 2016. Airborne mercury species at the Råö background monitoring site in Sweden: distribution of mercury as an effect of long-range transport. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 13379-13387.

# Bilaga I Metoder och kvalitetssäkring

## Mätningar

### Metodik

För beskrivning av mätmetoder hänvisas till de beskrivningar av undersökningstyper som finns på Naturvårdsverkets hemsida ([www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)). Inom den nationella luftkvalitetsövervakningen används de i mätföreskrifterna (NFS 2016:9) angivna referensmetoderna för ozon (timbasis), PM<sub>2.5</sub>-mätningar i urban bakgrund och analys av tungmetaller.

### Kvalitetssäkringsrutiner

IVL har ackreditering hos SWEDAC enligt SS-EN ISO/IEC 17025:2005. Ackrediteringen omfattade från början, 1991, merparten av analysverksamheten inom luftövervakningen, men har successivt utvidgats och inkluderar idag fler analyser samt stora delar av provtagningsverksamheten. IVL har en årlig revision av SWEDAC där kvaliteten följs upp. Intern revision genomförs en gång per år. Tillämpliga rutiner för kvalitetskontroll (QC) och kvalitetssäkring (QA) inom den ackrediterade verksamheten används även för övriga metoder.

IVL deltar årligen i provningsjämförelser som anordnas av EMEP och andra internationella organ där luft- och nederbördsprover ingår som provmatriser, samt följer upp bland annat ny analysmetodik genom att delta vid internationella konferenser.

Miljökemiska laboratoriet vid Kemiska institutionen vid Umeå universitet anlitas för analys av dioxiner och klorparaffiner. Dioxinanalyserna utförs inom ramen för laboratoriets ackreditering (registeringsnummer 1808) och klorerade paraffiner kvalitetssäkras på liknande sätt.

SLU:s pesticidlaboratorium är ackrediterat av SWEDAC enligt SE-EN ISO/IEC 17025:2005 och deltar regelbundet i internationella interkalibreringar för relevanta matriser. Laboratoriet har analyserat växtskyddsmedel (pesticider) i miljömatriser sedan början av 1980-talet och inom ramen för ackreditering sedan 1994. Vid laboratoriet analyseras även övriga prover från den nationella miljöövervakningen av växtskyddsmedel (ytvatten, grundvatten och sediment) med samma metodik som för regnvattenproverna.

Alla mätningar av marknära ozon som görs inom den nationella miljöövervakningen är kvalitetssäkrade genom årliga spårbara kalibreringar mot det referensinstrument som finns hos SU.

För bestämning av halter av partiklar i luft mätt som PM<sub>10</sub> och PM<sub>2.5</sub> (partiklar mindre än 10 resp. 2.5 µm) skall enligt EU-direktivet (2008/50/EG) endast referensmetoderna eller metoder som har visats vara likvärdiga med referensmetoden användas.

Mätningarna av PM<sub>2.5</sub> i den urbana bakgrunden görs med referensmetoden. På de övriga stationerna används likvärdiga metoder. Likvärdigheten har visats efter test enligt de principer som fastslagits inom EU eller har visats ge likvärdiga resultat men inte testats så rigoröst som krävs i EU:s testprogram.

De partikelmått som bestäms inom ACTRIS (OC/EC, sot, ljusspridning och partikelstorleksfördelning) kvalitetssäkras genom kalibreringar och interkalibreringar mellan olika forskningsgrupper runt om i Europa samt standardisering av mätmetoderna.

Instrumenten för mätning av stratosfäriskt ozon kalibreras mot internationella referenser enligt de metoder som utvecklats, underhålls och regleras av WMO (Världsmeteorologiska organisationen) inom GAW (Global Atmosphere Watch). Kalibreringar och service utförs med tre till fem års mellanrum. Däremellan kontrolleras stabiliteten genom regelbundna mätningar mot lampor, samt jämförelser mot satellitdata vilket kan indikera problem om stora systematiska avvikelser visar sig.

## Modellberäkningar

### Metodik

#### Årlig kartläggning med MATCH-Sverigesystemet

MATCH-Sverige är ett modellsystem som består av den atmosfärskemiska spridningsmodellen MATCH, en modell för variationell analys (där uppmätta atmosfärskemiska data integreras med modellerade resultat) och en modell för beräkning av depositionsflöden till olika marktyper (Alpfjord och Andersson, 2017).

I MATCH-modellen (Robertson m.fl., 1999; Andersson m.fl., 2007; Andersson m.fl., 2015) beskrivs utsläpp, spridning, luftkemi och nedfall av luftföroreningar såsom marknära ozon, partiklar och kväve- och svavelhaltiga föroreningar. I modellen ingår ett 70-tal kemiska komponenter vars fotokemi och termiska kemi beskrivs genom ca 130 kemiska reaktioner. Utsläpp av volatila organiska föreningar (VOC) från naturen beskrivs av modellen, baserat på olika meteorologiska förhållanden och markanvändning.

MATCH används i två steg inom modellsystemet, på Europaskala och nationell nivå. Över Europa används en grövre modellskala (22 km), och de antropogena utsläppen kommer från EMEP med 50 km upplösning (EMEP). För beräkning av det svenska bidraget till lufthalter används en version av MATCH som är speciellt anpassad för beräkningar baserade på svenska högupplösta emissioner från SMED ([www.smed.se](http://www.smed.se)). Denna version av MATCH körs med en upplösning på 11 km.

Inom MATCH-Sverigesystemet används tvådimensionell variationell analys för att beskriva halter i luft och koncentration i nederbörd. I variationell analys beräknas de optimala analyserade luft- och nederbördshalterna på basis av såväl modell- och mätvärden som osäkerhet hos mätningar och modellberäkningar. De observerade data som används i dataassimilationen tillhandahålls av IVL och NILU. De stationsnät som utnyttjas är svenska och norska EMEP, IM samt LNKN.

#### STRÅNG UV-indikator

STRÅNG är ett system som beräknar ett antal solstrålningsvariabler timme för timme över norra Europa (Landelius et al., 2001). Systemet bygger på strålningsberäkningar med hjälp av en modell (LibRadtran (Emde et al., 2016) sedan april 2017, tidigare Smarts2 (Gueymard, 1995)), och indata med information om atmosfärens tillstånd som kommer från en kombination av observationer och modellerade värden. Beräkningarna görs med en dags eftersläpning för att indata ska finnas tillgänglig.



Eftersom modellkörningarna är datorkrävande har beräkningarna gjorts i förväg för olika värden på indata, och sparats i så kallade "look-up-tables" (LUT) vilket minimerar beräkningstiden. I ett första steg beräknas solstrålning för molnfria förhållanden via LUT och därefter appliceras en molneffektsfunktion. Utöver molnslag och molnmängd används mängden vattenånga, ozon och aerosoler samt markytans egenskaper som indata. Det senare inkluderar även i vilken grad marken är snötäckt eller havet istäckt.

Den UV-strålning som beräknas är densamma som används internationellt för att beräkna UV-index. En för många intressant variabel utöver UV är den fotosyntetiskt aktiva strålningen och att den finns beräknad över till exempel Östersjön.

Under tiden som STRÅNG varit i drift har ett antal uppdateringar införts, vilket gjort att tex den rumsliga upplösningen för modellen ändrats. Upplösningen är sedan april 2017 2,5 km, tidigare cirka 11 km och ännu längre tillbaka 22 km. Uppdateringen som lanserades 2017 var av mer omfattande karaktär, för att anpassa modellen till ett skifte av SMHIs väderprognosmodell, som nu utgörs av skriptsystemet Harmonie med Arome-fysik och markmodellen SURFEX. Uppdateringen av modellen har lett till att:

- Upplösningen har ökats från ca 11 till 2,5 km.
- Beskrivningen av markens reflektans (albedo) har reviderats och bygger nu på spektrala mätningar från satellit.
- Aerosolernas effekt på strålningen gavs tidigare av en månatlig klimatologi. Nu tas information om aerosolernas mängd och egenskaper från Copernicus-modellen CAMS.
- Strålningsmodellen som utgör kärnan i STRÅNG har bytts ut mot libRadtran som möjliggör direkt modellering av molniga radianser. Information om molnmängd tas idag som tidigare från SMHIs analyssystem MESAN men förhoppningen är att kunna använda data som kombinerar satellitobservationer med numeriska modeller så småningom. Det skulle troligt förbättra prestandan märkbart, eftersom molnen är den avsevärt viktigaste faktorn men dessvärre svår att beskriva.

## Kvalitetssäkringsrutiner

### MATCH-Sverigesystemet

MATCH-modellen har utvärderats såväl i specifika modelljämförelsestudier (t.ex. Colette et al., 2017; Vivanco et al., 2018; Otero et al., 2018) som kontinuerligt i uppdrag (ex. Andersson m.fl., 2011; Engardt m.fl., 2010; Andersson m.fl. 2017) och forskningsprojekt (t.ex. Markakis m.fl., 2016; Simpson m.fl., 2014; Langner m.fl., 2012). Utvärderingen är utförd för såväl gasfaskomponenter som våtdeposition och halter i nederbörd. Slutsatsen är att MATCH har en kvalitet som är i toppen av de allra bästa internationella modellerna inom forskning och kartläggning (bl.a. Colette et al., 2017; Vivanco et al., 2018; Otero et al., 2018). De exakta utvärderingsresultaten beror på modelluppsättning (modellversion), indata, skala och meteorologiskt år. Exempel på (typisk) modellavvikelse över Europa för våtdeposition av oxiderat svavel och oxiderat och reducerat kväve är -17 procent, -32 procent respektive -15 procent i Andersson m.fl. (2011), och -1 procent, -16 procent respektive -17 procent i Andersson m.fl. (2007). Marknära ozon utvärderades bl.a. i ett återanalysprojekt (Andersson m.fl., 2015; Andersson m.fl. 2017), vilket visade en mycket god överensstämmelse med mätningar i Sverige (medelavvikelse på 1 procent resp. 0 procent för årsmedel).

I den variationella analysen (2dvar-modellen) i MATCH-Sverigesystemet används alla tillgängliga mätdata för halt i luft på rätt tidsupplösning i Sverige och Norge, vilket innebär att det inte finns oberoende mätningar att jämföra mot. Dock kvalitetsgranskas och kontrolleras 2dvar-resultaten inom MATCH-Sverigesystemets kartläggning genom överensstämmelse med mätdata. 2dvar-modellen har dessutom kvalitetsräts för marknära ozon (Andersson m.fl., 2014; 2015; 2017) samt luft- och nederbördshalter av svavel och kvävekomponenter (Andersson m.fl., 2014; 2018).

Inom ett utvecklingsprojekt för MATCH-Sverigesystemet kvalitetsgranskades systemet med korsvalidering för luft- och nederbördshalter. Resultatet av denna utvärdering står att finna i Andersson m.fl. (2014). Utvärderingen visar att variationell analys är ett kraftfullt verktyg för att beskriva geografisk och temporal variation hos föroreningar, där en fysikalisk modellens resultat kan förbättras med hjälp av tillgängliga observationsnätverk.

Inom projektet föreslogs en förbättrad metodik för MATCH-Sverige-systemet, där även 2dvar-analyserat marknära ozon har inkluderats bland fälten som tillgängliggörs för 2013 och framåt. Tio olika mått presenteras för marknära ozon årligen. Baserat på denna metodik har vi tagit fram en återanalys av svenskt marknära ozon för tidsperioden 1990-2013 (Andersson m.fl., 2015), vilken kan användas för att relatera den årliga kartläggningen till trender och extremer över en lång tidsperiod. Även metodiken för beräkning av totalhalter/totaldeposition och långtransportbidrag har delvis ändrats från 2013 och framåt, då 2dvar-analysen numera görs på totalfälten och inte på det långtransporterade bidraget.

Det finns förbättringspotential för metodiken i den variationella analysen. En övergång till variationell analys i tre dimensioner skulle troligen förbättra slutresultaten. En annan förbättring skulle vara framtagande av optimala spridningslängder över hela Sverige, där avståndet som varje observation sprids från sin mätplats skulle optimeras beroende på plats, säsong och kemiskt ämne. I nuläget används konstanta spridningslängder.

## STRÅNG UV-indikator

De av STRÅNG beräknade värdena jämförs regelbundet med mätningar från SMHI:s stationsnät för solstrålningsobservationer och presenteras på webbsidan (<http://strang.smhi.se/validation/validation.html>). Felet (RMSE) för globalstrålning från STRÅNG ligger på ca 30 procent för timvärden, 16 procent för dygnsvärden och 9 procent för månadsvärden. Sedan STRÅNG startade för nästan 20 år sedan har flera ändringar införts i modellen och underliggande datakällor. Detta har medfört att data inte är helt konsistenta över tiden när de jämförs med uppmätta värden. Vi har även noterat att det finns lokala avvikelser, framförallt utanför Sverige, som är onödigt stora. Dessa problem har tagits i beaktande i den senaste uppdateringen av STRÅNG under 2017 och utvärderas nu.

## Datalagring

Resultaten från den nationella miljöövervakningen rapporteras till aktuell datavärd, som i sin tur ansvarar för det långsiktiga hållandet av databasen, inkluderande säkerhetskopiering, behörighetskontroll, skydd mot oriktig användning (dataintegritet), uppdatering av datamodeller och uppdatering till nya programversioner och ny maskinvara. Data framtagna av IVL respektive SU levereras till Datavärdskap Luft ([www.smhi.se/datavardluft](http://www.smhi.se/datavardluft)), medan data som genereras av SLU ingår i Datavärdskap Jordbruksmark



(<https://www.slu.se/institutioner/vatten-miljo/miljoanalys/bekampningsmedel/>) där även övriga data för växtskyddsmedel samlas i en gemensam databas.

Mätningarna av totalozon finns tillgängliga dels via datavärden SMHIs hemsida ([www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi](http://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi)) men även från det internationella datacentrumet WOUDC (woudc.org). Uppdatering av dessa databaser sker ungefär en gång per månad.

Modellresultat för miljöövervakning finns tillgängliga i form av kartor och för nedladdning via SMHI:s karttjänst (se [www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi](http://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi)).

Data från STRÅNG kan laddas ner via <http://strang.smhi.se/>. Dessa data uppdateras dagligen med föregående dygns data.

# Bilaga II Beskrivning av mätprogram för metaller, organiska miljögifter och pesticider

## Tungmetaller inom EMEP

Med start januari 2009 genomförs övervakning av tungmetaller enligt Tabell II:1 nedan. Tungmetaller mäts med filterprovtagare (PM<sub>10</sub>) på månadsbasis med 50 procent tidstäckning. Tidigare mättes Pb, Cd, Ni och As endast på Råö-stationen. Filterprov på månadsbasis samlades då in med "open face"-provtagare med en tidstäckning av 25 procent.

Totalt gasformigt kvicksilver i luft (TGM) mättes tidigare endast vid Råö och Pallas. Vid Råö och Pallas tas två dygnsprov per vecka med manuell guldfälla. Mätningar vid Vavihill och Breckälen sker på samma sätt men med en frekvens av ett dygnsprov per vecka. Partikulärt kvicksilver (TPM) mäts vid Råö (två dygnsprov per vecka) samt vid Pallas (kontinuerliga veckoprov) med hjälp av TPM-minifälla.

För provtagning av tungmetaller (exkl. Hg) i nederbörd samlas månadsvisa trippelprov in med bulkprovtagare. Totalkvicksilver (Hgtot) i nederbörd mäts enkelprov med bulkprovtagare på 14-dagarsbasis. Nederbördsmätningarna görs med samma frekvens vid alla stationer. Samtliga analyser av kvicksilver och övriga metaller genomförs av IVL.

**Tabell II:1** Aktuellt mätprogram avseende tungmetaller inom EMEP.

Delområde	Parameter	Frekvens	Stationer
<i>Metaller</i>			
Luft	As, Cd, Ni, Pb, Co, Cr, Cu, Zn, Mn, V	Månadsvis (på PM <sub>10</sub> -filter), 50 % -ig tidstäckning	Vavihill; Råö; Aspvreten; Breckälen
	Gasformigt totalkvicksilver (TGM)	1-2 dygn per vecka	Vavihill; Råö; Breckälen; Pallas
	Partikulärt kvicksilver (TPM)	2 dygn per vecka, veckoprov	Råö; Pallas
Nederbörd	As, Cd, Ni, Pb, Co, Cr, Cu, Zn, Mn, V	Månadsvis trippelprov	Vavihill; Råö; Aspvreten; Breckälen
	Totalkvicksilver (tot-Hg)	14-dagarsprov, enkelprov	Vavihill; Råö; Breckälen; Pallas

## Organiska miljögifter

IVL Svenska Miljöinstitutet genomför på uppdrag av Naturvårdsverket mätningar inom den nationella miljöövervakningen av organiska ämnen i luft och nederbörd vid totalt fyra stationer. I Tabell II:2 visas stationsnätet, startår för mätningarna, mätfrekvensen (fr. 2009) och ämnen som ingår i delprogrammet. Fram till 2001 (Råö) och 2008 (Aspvreten och Pallas) genomfördes mätningarna med en frekvens på 1 vecka per månad för att därefter övergå till kontinuerliga månatliga mätningar.

**Tabell II:2** Mätprogram – organiska miljögifter i luft och nederbörd.

Grupp	Parameter	Frekvens	Stationer			
			Råö	Pallas	Aspvreten	Vavihill
1	Summa (12) PAH: Fenantren, antracen, flouranten, pyren, benso(a)antracen, krysen, benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, benso(a)pyren, dibenso(ah)antracen, benso(ghi)perylen, indeno(cd)pyren	Månad	1994	1996	1995	2009
2	Summa (7) PCB: PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180	Månad	1994	1996	1995	
2	Hexaklorbensen (HCB)	Månad	2009	2009	2009	
3	Pesticider: $\alpha$ -, $\gamma$ -HCH, p,p-DDD, p,p-DDT, p,p-DDE, - $\alpha$ - klordan, $\gamma$ - klordan, trans-nonaklordan	Månad	1996	1996	1995* 2009 (klordaner, DDD, DDT)	
3b	Endosulfan ( $\alpha$ , $\beta$ ), endosulfan-sulfat	Månad	2009	2009		
3d	Aldrin, heptaklor, atrazin, diuron, isoproturon**	Månad	2009			
	Dieldrin	Månad	2016			
4	Bromerade flamskyddsmedel PBDE: (BDE 47, 99, 100)	Månad	2001	2003	2009	
4	BDE-85, 153, 154	Månad	2013	2013	2013	
4	BDE-209, HBCD	Månad	2009	2009		
4	Nya BFR (HBB, PBT, PBEB, TBECH, BEH- TEBP, BTBPT, EH-TBB, Syn/anti-dechlorane Plus, DBDPE, TBP, PBP)	6 månader/år (endast uft)	2017	2017	2017	
5	PFAS: (PFOS, PFOA)	Månad	2009			
5	PFAS (PFOS, PFOA,	Månad	2017	2017	2017***	

Grupp	Parameter	Frekvens	Stationer			
			Råö	Pallas	Aspvreten	Vavihill
	PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFBS, PFHxS, PFDS, 6:2-FTS, PFOSA)					
	Dioxiner/furaner: 2378-TCDD, 12378- PeCDD, 123478-HxCDD, 123678-HxCDD, 123789- HxCDD, 1234678- HpCDD, OCDD, 2378- TCDF, 12378/12348 – PeCDF, 23478-PeCDF, 123478/123479 –HxCDF, 123678-HxCDF, 123789, HxCDF, 234678-HxCDF, 1234678-HpCDF, 1234789-HpCDF, OCDF,	4 månader/år	2009		2009	
	Kortkedjiga klorparaffiner (SCCP)	4 månader/år	2009		2009	
	Mediumkedjiga klorparaffiner (MCCP)	4 månader/år	2012		2012	

\* ej klordaner

\*\*Diuron, isoproturon utgick från programmet 2016

\*\*\*Endast nederbörd, Norunda

## Växtskyddsmedel (pesticider) i luft och nederbörd

Miljöövervakning av pesticider i luft och nederbörd genomförs av SLU på uppdrag av Naturvårdsverket. Mätningarna av nederbörd inleddes 2002 vid en station på Söderåsen i Skåne (Vavihill). 2009 utökades mätningarna till att omfatta även luft vid Vavihill och en ny station för nederbörd etablerades vid Aspvreten i Södermanland. En flytt av de bägge stationerna skedde 2016/2017, med en ny station på Söderåsen i Skåne (Hallahus), nära den gamla, och stationen vid Aspvreten flyttades till Norunda i Uppland. Bägge de nya stationerna är fortsatt samlokaliserade med IVL:s stationer. I samband med flytten genomfördes parallella provtagningar vid både den gamla och den nya stationen under en hel säsong. Från 2017 rapporteras luft och nederbördsdata från de två nya stationerna Hallahus och Norunda.

Provtagningen omfattar insamling av nederbörd (bulkdeposition) och är händelsestyrd (d.v.s. är avhängig på hur mycket det regnar) med som mest 14 dagar mellan start av nederbördsinsamling och uttag av prov för analys. Proverna samlas i ett kylskåp (+4 °C) under insamlingsperioden. Insamlingen har huvudsakligen skett under två perioder, maj-juni och september-oktober, med 10-13 prover per år, men sedan 2008 har provtagningssäsongen förlängts vid Vavihill och omfattar numera hela perioden april-oktober. Vinterprovtagning har genomförts vid två tillfällen (2008/2009 samt 2017/2018). Vid Aspvreten pågår insamlingen under perioden maj-september. Sedan 2009 ingår även insamling av luftprover vid Vavihill under perioden maj-oktober. Luftprover samlas in med hjälp av en luftpump som pumpar luften genom en kassett med ett glasfiberfilter och en absorbent bestående av polyuretanskum (PUF), samt en mätare som kontinuerligt mäter luftflödet under drift. PUF-adsorbenten har analyserats under hela perioden 2009-2017. Inom ett specialprojekt har även glasfiberfiltret analyserats (2010-2015, ej 2013) för att även undersöka partikelbunden transport av pesticider. Filteranalyser ingår numera i den ordinarie provtagningen efter detta försök.

Strategin var inledningsvis att samla in prov under den mest besprutningsintensiva perioden i Sverige, d.v.s. under försommar och höst. Provperioden utökades dock 2008 till hela sommarhalvåret (april-oktober), dels med tanke på att besprutningssäsongen på kontinenten både börjar tidigare och slutar senare än i Sverige och dels då många grödor (både i Sverige och i våra grannländer) behandlas under hela sommarsäsongen (främst med fungicider och insekticider).

Variabler som analyserats är aktiva substanser av bekämpningsmedel (växtskyddsmedel) som främst används inom jordbruket och trädgårdsnäringen. De utvalda substanserna framgår av Tabell 1 och inkluderar tre grupper av pesticider: A) pesticider som är förbjudna inom EU; B) pesticider som är förbjudna i Sverige men används inom andra EU-länder; C) pesticider som är tillåtna i Sverige. Listan inkluderar samtliga prioriterade pesticider inom EU:s ramdirektiv för vatten (2013/39/EU), även om alla utom tre är förbjudna i Sverige. Sammanlagt ingår för närvarande 139 substanser i nederbördsanalyserna och över 90 substanser i luftanalyserna (PUF, filter), varav flertalet också ingår i den nationella miljöövervakningen av pesticider i yt- och grundvatten

Substans <sup>^</sup>	Typ <sup>#</sup>	Grupp <sup>*</sup>	Kandidat substitution <sup>§</sup>	Analyserad i regn	Analyserad i luft <sup>α</sup>
acetamiprid <sup>b</sup>	I	C		2010-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
aklonifen <sup>p</sup>	H	C	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
alaklor	H	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
aldrin	I	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
alfacypermetrin	I	C		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
amidosulfuron	H	C		2010-2017	2016-2017 <sup>F</sup>
amisulbrom	F	C		2015-2017	
atrazin <sup>p</sup>	H	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
DEA	N			2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
DIPA	N			2002-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
azoxystrobin	F	C		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
benazolin	H	A		2003-2014	
bentazon	H	C		2002-2017	
betacyflutrin	I	C		2005-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
bifenox <sup>p</sup>	H	C		2011-2017	2013-2017 <sup>PUF, F</sup>
bifenox-syra	N			2011-2017	
bitertanol	F	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
bixafen	F	C		2017-2017	2017 <sup>PUF, F</sup>
boskalid	F	C		2013-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
cinidonetyl	H	A		2004-2004	
cyanazin	H	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
cyazofamid	F	C		2010-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
cybutryn <sup>p</sup>	B	A		2012-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
cyflufenamid	F	C		2011-2017	2017 <sup>PUF, F</sup>
cyflutrin	I	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
cykloxidim	H	C		2010-2017	
cypermetrin <sup>p</sup>	I	C		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
cyprodinil	F	C	PBT	2005-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
2,4-D	H	C		2002-2017	
DDT-p,p <sup>p</sup>	I	A		2002-2005	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
DDD-p,p <sup>p</sup>	N			2002-2005	2011-2017 <sup>PUF, F</sup>
DDE-p,p <sup>p</sup>	N			2002-2005	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
DDT-o,p <sup>p</sup>	N			2002-2005	2010-2017 <sup>PUF, F</sup>
deltametrin	I	C		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
difenokonazol	F	C	PBT	2011-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
diflufenikan	H	C	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
dikamba	H	B		2002-2010	
diklobenil	H	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
BAM	N			2002-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
diklorprop	H	B <sup>†</sup>		2002-2017	



Substans <sup>^</sup>	Typ <sup>#</sup>	Grupp <sup>*</sup>	Kandidat substitution <sup>§</sup>	Analyserad i regn	Analyserad i luft <sup>α</sup>
diklorvos <sup>P</sup>	I	A		2012-2017	
dikofol <sup>P</sup>	I	A		2003-2005	
dimetoat	I	B	Low	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
dimetomorf	F	C		2017-2017	2017 <sup>F</sup>
diuron	H	B		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
endosulfan-alfa <sup>P</sup>	I	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
endosulfan-beta <sup>P</sup>	I	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
endosulfansulfat	N			2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
epoxikonazol	F	B	PBT, Repro, Endoc	2008-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
esfenvalerat	I	C	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
etofumesat	H	C		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
fenarimol	F	A		2008-2012	2009-2009 <sup>PUF</sup>
fenitroton	I	A		2005-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
fenmedifam	H	C		2002-2017	2012-2017 <sup>F</sup>
fenoxaprop-P	H	C		2002-2011	
fenpropidin	F	C		2011-2017	2017 <sup>F</sup>
fenpropimorf	F	C		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
flamprop	H	A		2002-2010	
florasulam	H	C		2010-2017	
fluazinam	F	C		2010-2017	
fludioxonil	F	C	PBT	2008-2017	2009-2017 <sup>F</sup>
flufenacet	H	B	PBT	2015-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
fluopikolid	F	C	PBT	2015-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
fluopyram	F	C		2017-2017	2017 <sup>PUF, F</sup>
flupyrsulfuronmetyl-Na	H	A		2010-2017	
fluroxipyr	H	C		2002-2017	
flurprimidol	TV	A		2010-2014	
flurtamon	H	B		2004-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
flusilazol	F	A	Repro	2008-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
flutriafol	F	B		2008-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
foramsulfuron	H	C		2011-2017	
fuberidazol	F	B		2005-2016	2009-2017 <sup>F</sup>
heptaklor	I	A		2002-2017	2009-2017 <sup>F</sup>
heptaklorepoxid	N			2002-2017	2012-2017 <sup>PUF, F</sup>
hexaklorbensen	F	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
hexazinon	H	A		2002-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
hexytiazox	I	C		2010-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
imazalil	F	C		2002-2017	2017 <sup>F</sup>
imidakloprid <sup>b</sup>	I	C		2005-2017	2017 <sup>F</sup>

Substans <sup>^</sup>	Typ <sup>#</sup>	Grupp <sup>*</sup>	Kandidat substitution <sup>§</sup>	Analyserad i regn	Analyserad i luft <sup>α</sup>
indoxakarb	I	C		2015-2017	2017 <sup>PUF</sup>
iprodion	F	A		2002-2014	2009-2014 <sup>PUF</sup>
isoproturon <sup>P</sup>	H	A	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
jodsulfuronmetyl-Na	H	C		2010-2017	
karbendazim	F/N	B	Repro	2011-2017	2016-2017 <sup>F</sup>
karbofuran	I	A		2002-2014	2009-2015 <sup>PUF</sup>
karbosulfan	I	A		2002-2004	
karfentrazonetyl	H	C		2010-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
karfentrazonsyra	N			2004-2017	
kletodim	H	C		2017-2017	
klomazon	H	C		2010-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
klopyralid	H	C		2002-2017	
klordan-alfa	I	A		2010-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
klordan-gamma	I	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
klorfenvinfos <sup>P</sup>	I	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
kloridazon	H	B		2002-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
klorpyrifos	I	B		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
klotianidin <sup>b</sup>	I	B		2012-2017	2017 <sup>F</sup>
kvinmerak	H	C		2002-2017	
lambda-cyhalotrin	I	B	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
lindan <sup>P</sup>	I	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
HCH-alfa <sup>P</sup>	N			2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
HCH-beta <sup>P</sup>	N			2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
HCH-delta <sup>P</sup>	N			2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
linuron	H	A	Repro	2008-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
mandipropamid	F	C		2011-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
MCPA	H	C		2002-2017	
mekoprop	H	B <sup>†</sup>		2002-2017	
mesosulfuronmetyl	H	C		2010-2017	
mesotrion	H	C		2017-2017	
metabenziazuron	H	A		2002-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
metalaxyl	F	C <sup>†</sup>		2002-2017	2009-2017 <sup>F</sup>
metamitron	H	C		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
metazaklor	H	B		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
metiokarb <sup>b</sup>	I	B		2012-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
metolaklor	H	B <sup>†</sup>		2010-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
metrafenon	F	C		2011-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
metribuzin	H	C	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
metsulfuronmetyl	H	C	PBT	2010-2017	
napropamid	H	C		2017-2017	2017 <sup>PUF, F</sup>

Substans <sup>^</sup>	Typ <sup>#</sup>	Grupp <sup>*</sup>	Kandidat substitution <sup>§</sup>	Analyserad i regn	Analyserad i luft <sup>α</sup>
oxadiazon	H	B	PBT	2015-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
pendimetalin	H	B	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
penkonazol	F	C		2005-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
permetrin	I	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
pikloram	H	C		2012-2017	
pikolinafen	H	C		2017-2017	2017 <sup>PUF, F</sup>
pikoxystrobin	F	A		2008-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
pirimikarb	I	C	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
procymidon	F	A		2008-2010	2009-2009 <sup>PUF</sup>
prokloraz	F	B	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
propakizafop	H	C		2017-2017	2017 <sup>PUF, F</sup>
propamokarb	F	C		2010-2017	
propikonazol	F	C	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
propoxikarbazon-Na	H	C	PBT	2010-2017	
propyzamid	H	C	PBT	2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
prosulfokarb	H	C		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
protiokonazol-destio	N (F)	C		2010-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
pymetrozin	I	C		2014-2017	
pyraklostrobin	F	C		2004-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
pyroxsulam	H	C		2011-2017	2017 <sup>F</sup>
quinoxifen <sup>P</sup>	F	B	PBT	2003-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
rimsulfuron	H	C		2010-2017	
siltiofam	F	C		2010-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
simazin <sup>P</sup>	H	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
spiroxamin	F	B		2010-2017	2017 <sup>F</sup>
sulfosulfuron	H	C		2010-2017	2017 <sup>F</sup>
tau-fluvalinat	I	C		2008-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
terbutryn <sup>P</sup>	H	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
terbutylazin	H	B		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
DETA	N			2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
tiaklopid <sup>b</sup>	I	C	Endoc	2010-2017	2017 <sup>PUF, F</sup>
tiametoxam <sup>b</sup>	I	C		2010-2017	2017 <sup>F</sup>
tienkarbazon-metyl	H	C		2017-2017	
tifensulfuronmetyl	H	C		2010-2017	
tiofanatmetyl	F	C		2011-2017	
tolklofosmetyl	F	C		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
tolyfluanid	F	A		2002-2014	
triallat	H	B	PBT	2015-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>
tribenuronmetyl	H	C		2010-2017	
trifloxystrobin	F	C		2010-2017	2016-2017 <sup>PUF, F</sup>

Substans <sup>^</sup>	Typ <sup>#</sup>	Grupp <sup>*</sup>	Kandidat substitution <sup>§</sup>	Analyserad i regn	Analyserad i luft <sup>⊠</sup>
trifloxystrobin-syra	N			2017-2017	
trifluralin <sup>P</sup>	H	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>
triflusulfuronmetyl	H	C		2010-2017	2017 <sup>F</sup>
trinexapak-etyl	TV	C		2011-2017	
trinexapak-syra	N			2011-2017	
tritikonazol	F	B		2010-2017	2016 <sup>F</sup>
vinklozolin	F	A		2002-2017	2009-2017 <sup>PUF, F</sup>

<sup>^</sup> = p – prioämne inom ramdirektivet för vatten (2013/39/EU); b – upptagen på bevakningslistan inom ramdirektivet för vatten (2018/840).

<sup>#</sup> = H – herbicid; F – fungicid; I – insekticid; N – nedbrytningsprodukt (alt. biprodukt); TV – tillväxtreglerare; B – biocid.

<sup>¶</sup> = Godkännandet gäller den aktiva isomeren: diklorprop-P, mekoprop-P, metalaxyl-M and S-metolaklor.

<sup>\*</sup> = A – förbjuden inom EU; B – godkänd inom EU, men ej registrerad i Sverige; C – godkänd i Sverige. Anger läget 2018.

<sup>§</sup> = Kandidat för substitution inom EU:s godkännandeprocess för växtskyddsmedel (EC/2009/117).

PBT – Två PBT kriterier; Low – Låga ADI/ARfD/AOEL-värden; Repro – Toxisk för reproduktion IA/IB; Endoc – Endokrinstörande egenskaper. Data från [https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/approval\\_active\\_substances\\_en](https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/approval_active_substances_en)

<sup>⊠</sup> = PUF – substansen ingår i analys av polyuretanskum, PUF (2009-2017), F – substansen ingår i filteranalyser (2015-2017)

### Aktuella direktiv, konventioner, miljömål mm

Ramdirektivet för vatten (2000/60/EU), med tillhörande lista över prioriterade substanser (2013/39/EU). I ramdirektivet anges även att substanser som ”släpps ut i betydande mängd” ska kontrolleras.

Miljökvalitetsmålet Giftfri miljö.

EG:s förordning 1107/2009 som reglerar villkoren för godkännande av växtskyddsmedel inom EU (i godkännandeprocessen ingår även att bedöma risken för spridning via luften).

Tematisk strategi för en uthållig användning av växtskyddsmedel - EU direktiv 2009/128.

Prioriterad ämnesgrupp inom HELCOM, OSPAR och FNs miljögiftskonvention (Stockholmskonventionen).

Nationell handlingsplan för hållbar användning av växtskyddsmedel för perioden 2013-2017 (Landsbyggsdepartementet beslut 2013-06-19 bilaga nr 8).

# Bilaga III Beskrivning av modellberäkningar

## Årlig kartläggning med MATCH-Sverigesystemet

Syftet med MATCH-Sverigesystemet är att geografiskt kartlägga halter i luft samt deposition av försurande och övergödande ämnen över Sverige. I systemet ingår fysikaliska modeller och kvalitetsgranskad mätdata, vars resultat integreras för att erhålla en så bra kartläggning som möjligt.

Tillgänglig data är sammanställd i Tabell III:1. I rapporteringen ingår lufthalter av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>), kvävedioxid (NO<sub>2</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) och marknära ozon (O<sub>3</sub>) samt våt- och torrdeposition av oxiderat och reducerat kväve (NO<sub>x</sub> och NH<sub>x</sub>) samt oxiderat svavel (SO<sub>x</sub>) med och utan havssaltsbidrag. För dessa ämnen beräknas förutom torrdepositionens geografiska variation även torrdeposition till olika marktyper. Även våtdeposition av baskatjoner med och utan havssaltsbidrag beräknas. Simulerad lufthalt och deposition presenteras som griddad data med en geografisk upplösning på 20x20 km. För deposition redovisas för de flesta ämnen den totala depositionen orsakad av alla utsläpp i Europa (benämns i tabellen Sverige+LRT). Dessutom redovisas för torrdepositionen bidraget av Sveriges utsläpp (benämns Sveriges bidrag till total deposition i tabellen). Till lufthalter redovisas Sveriges bidrag, långdistansbidraget samt de totala halterna (Sveriges bidrag + långdistansbidraget).

**Tabell III:1** Förteckning över parametrar som finns tillgängliga via SMHI:s karttjänst.

MATCH-Sverige Deposition	Svavel inkl. havssalt	Svavel exkl. havssalt	Oxiderat kväve NO <sub>y</sub>	Reducerat kväve NH <sub>x</sub>	Baskatjoner (Ca, Mg, K, Na) inkl. havssalt	Baskatjoner (Ca, Mg, K) exkl. havssalt
Total deposition (våt + torr)	X	X	X	X		
Sveriges bidrag, total deposition (våt + torr)		X	X	X		
Total våtdeposition	X	X	X	X	X	X
Total torrdeposition		X	X	X		
Torrdeposition åker		X	X	X		
Torrdeposition lövskog		X	X	X		
Torrdeposition granskog		X	X	X		
Torrdeposition vatten		X	X	X		

MATCH-Sverige Halter i luft	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>x</sub>			
Sveriges bidrag	X	X	X			
Långtransport- bidrag	X	X	X			
Totalt	X	X	X			

För marknära ozon presenteras kartläggningar för de tio olika statistiska mått som listas nedan.

- Årsmedelvärde
- Somarmedelvärde (juni till augusti)
- Årsmaximum av dygnets maximala flytande 8h-medelhalt, samt antal dygn med överskridande av 70 mg/m<sup>3</sup> för utvärdering av miljömålet frisk lufts mål och antal dygn med överskridande av 120 mg/m<sup>3</sup> för utvärdering av direktivets mål.
- Årets maximala 1h-medelhalt samt antalet timmar under året med överskridande av halten 80 mg/m<sup>3</sup>.
- För utvärdering av påverkan på grödor och skog beräknas AOT40 under maj-juli respektive april-september. AOT40 är den ackumulerade ozonhalten överskridande 40 ppbv (80 mg/m<sup>3</sup>) under denna period, enbart under timmarna 8-20 varje dygn.

SOMO35 är en indikator för ozons hälsopåverkan som rekommenderas av WHO. I denna indikator summeras halter hos dygnets maximala flytande 8h-medelvärde som överskrider 35ppbv (70 mg/m<sup>3</sup>) under hela året.

# Bilaga IV Mätstationsindelning för utvärdering av lufthalter

Tabell IV:1 Indelning av mätstationer i tre regioner för redovisning av halter i luft av SO<sub>2</sub> och NO<sub>2</sub>

Region	Mätstation	Mät nät	
Norra Sverige	Bredkälén	EMEP	
	Djursvallen	LNKN	
	Gammtratten	IM	
	Högbränna	Krondropps nätet-NV	
	Jädraås	LNKN	
	Myrberg/Grankölen	LNKN/Krondropps nätet-NV	
	Rickleå	LNKN	
	Storulvsjön	Krondropps nätet-NV	
	Nikkaluokta	Krondropps nätet	
	Palovaara	Krondropps nätet	
	Vindeln*	Nationell station	
	Sydvästra Sverige	Aneboda	IM
		Blåbärskullen	Krondropps nätet-NV
Fagerhult		Krondropps nätet-NV	
Granán		LNKN	
Gårdsjön		IM	
Hensbacka		Krondropps nätet-NV	
Råö		EMEP	
Sjöängen/Pjungserud		LNKN	
Sännen		LNKN	
Timrilt		Krondropps nätet-NV	
Vavihill/Hallahus		EMEP	
Västra Torup/Hissmossa		Krondropps nätet-NV	
Sydöstra Sverige		Farstanäs	Krondropps nätet-NV
	Hyttskogen*	Krondropps nätet	
	Grimsö*	EMEP	
	Hoburgen	LNKN	
	Höka	Krondropps nätet-NV	
	Kindla	IM	
Risebo	Krondropps nätet		

\*) Mätdata finns endast för NO<sub>2</sub>

## Bilaga V Statistisk analys för nedfallsmätningar

Den statistiska analysen som genomförts för nedfallsmätningarna har utförts med Mann-Kendall-analys. Mann-Kendall är en utvärderingsmetod för att påvisa signifikanta monotona trender (Mann, 1945) utan att göra antaganden om någon fördelning för värdena. Mann-Kendall kan användas för att analysera flera platser samtidigt och på så små dataset som fyra värden per plats. Förenklat kan man säga att metoden jämför alla värden parvis och summerar hur ofta det senare värdet är större respektive mindre än det tidigare värdet. Detta gör att ett fåtal eventuella kraftigt avvikande värden inte påverkar resultatet i någon större utsträckning. Saknade värden är inte heller något problem. Allt detta gör Mann-Kendall till en robust metod som passar för utvärdering av nedfallsmätningarna.

Signifikans anges i tre olika nivåer;  $p < 0.05 = *$  signifikans;  $p < 0.01 = **$  signifikans;  $p < 0.001 = ***$  signifikans.



Tabell V:1 Resultat från trendanalys (Mann-Kendall) för våtdepositionen.

Grupp	Parameter	Period	Statistisk signifikans	Total procentuell förändring över hela perioden
Norra Sverige	Nederbördsmängd mm	2000-2017		
Sydvästra Sverige	Nederbördsmängd mm	2000-2017		
Sydöstra Sverige	Nederbördsmängd mm	2000-2017		
Norra Sverige	H+_kgha	2000-2017	***	-55
Sydvästra Sverige	H+_kgha	2000-2017	***	-81
Sydöstra Sverige	H+_kgha	2000-2017	***	-68
Norra Sverige	SO <sub>4</sub> -S <sub>ex</sub> _kgha	2000-2017	***	-57
Sydvästra Sverige	SO <sub>4</sub> -S <sub>ex</sub> _kgha	2000-2017	***	-70
Sydöstra Sverige	SO <sub>4</sub> -S <sub>ex</sub> _kgha	2000-2017	***	-66
Norra Sverige	Cl_kgha	2000-2017		
Sydvästra Sverige	Cl_kgha	2000-2017		
Sydöstra Sverige	Cl_kgha	2000-2017		
Norra Sverige	Oorg_N_(NO <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N)_kg/ha	2000-2017	***	-37
Sydvästra Sverige	Oorg_N_(NO <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N)_kg/ha	2000-2017	**	-32
Sydöstra Sverige	Oorg_N_(NO <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N)_kg/ha	2000-2017	**	-40
Norra Sverige	NO <sub>3</sub> -N_kgha	2000-2017	**	-41
Sydvästra Sverige	NO <sub>3</sub> -N_kgha	2000-2017	***	-45
Sydöstra Sverige	NO <sub>3</sub> -N_kgha	2000-2017	**	-45
Norra Sverige	NH <sub>4</sub> -N_kgha	2000-2017	*	-29
Sydvästra Sverige	NH <sub>4</sub> -N_kgha	2000-2017		
Sydöstra Sverige	NH <sub>4</sub> -N_kgha	2000-2017	*	-36

**Tabell V:2** Antal lokaler som uppvisade statistisk signifikans i de olika områdena

Grupp	Parameter	Antal lokaler med statistisk signifikant minskning under 2000-2017 (inom parentes visas totalt antal lokaler som ingår i analysen)
Norra Sverige	Nederbördsmängd mm	1 (7)
Sydvästra Sverige	Nederbördsmängd mm	2 (5)
Sydöstra Sverige	Nederbördsmängd mm	2 (7)
Norra Sverige	H <sup>+</sup> _kgha	7 (7)
Sydvästra Sverige	H <sup>+</sup> _kgha	5 (5)
Sydöstra Sverige	H <sup>+</sup> _kgha	7 (7)
Norra Sverige	SO <sub>4</sub> -S <sub>ex</sub> _kgha	6 (7)
Sydvästra Sverige	SO <sub>4</sub> -S <sub>ex</sub> _kgha	
Sydöstra Sverige	SO <sub>4</sub> -S <sub>ex</sub> _kgha	7 (7)
Norra Sverige	Cl_kgha	2 (7)
Sydvästra Sverige	Cl_kgha	1 (5)
Sydöstra Sverige	Cl_kgha	2 (7)
Norra Sverige	Oorg_N_(NO <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N)_kg/ha	4 (7)
Sydvästra Sverige	Oorg_N_(NO <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N)_kg/ha	3 (5)
Sydöstra Sverige	Oorg_N_(NO <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N)_kg/ha	4 (7)
Norra Sverige	NO <sub>3</sub> -N_kgha	4 (7)
Sydvästra Sverige	NO <sub>3</sub> -N_kgha	4 (5)
Sydöstra Sverige	NO <sub>3</sub> -N_kgha	5 (7)
Norra Sverige	NH <sub>4</sub> -N_kgha	4 (7)
Sydvästra Sverige	NH <sub>4</sub> -N_kgha	
Sydöstra Sverige	NH <sub>4</sub> -N_kgha	4 (7)

**Tabell IV:3** Namn och mätnät för mätstationer som ingår i trendanalysen för de olika områdena

Region	namn	Mätnät
Norra Sverige	Högbränna	KD-NV
Norra Sverige	Myrberg/Grankölen	LNKN/KD-NV
Norra Sverige	Storulvsjön	KD-NV
Norra Sverige	Gammtratten	IM
Norra Sverige	Jädraås	LNKN
Norra Sverige	Rickleå	LNKN
Norra Sverige	Sandnäset	LNKN
Sydöstra Sverige	Arlanda	KD
Sydöstra Sverige	Bergby	KD
Sydöstra Sverige	Edeby	KD-NV
Sydöstra Sverige	Farstanäs	KD-NV
Sydöstra Sverige	Kindla	IM
Sydöstra Sverige	Rockneby	KD-NV
Sydöstra Sverige	Tyresta	LNKN
Sydvästra Sverige	Blåbärskullen	KD-NV
Sydvästra Sverige	Fagerhult	KD-NV
Sydvästra Sverige	Hensbacka	KD-NV
Sydvästra Sverige	Timrilt	KD-NV
Sydvästra Sverige	Västra Torup/Hissmossa	KD-NV





NATIONELL  
MILJÖÖVERVAKNING  
PÅ UPPDRAG AV  
NATURVÅRDSVERKET



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

**SMHI**



Stockholms  
universitet



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm  
Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)