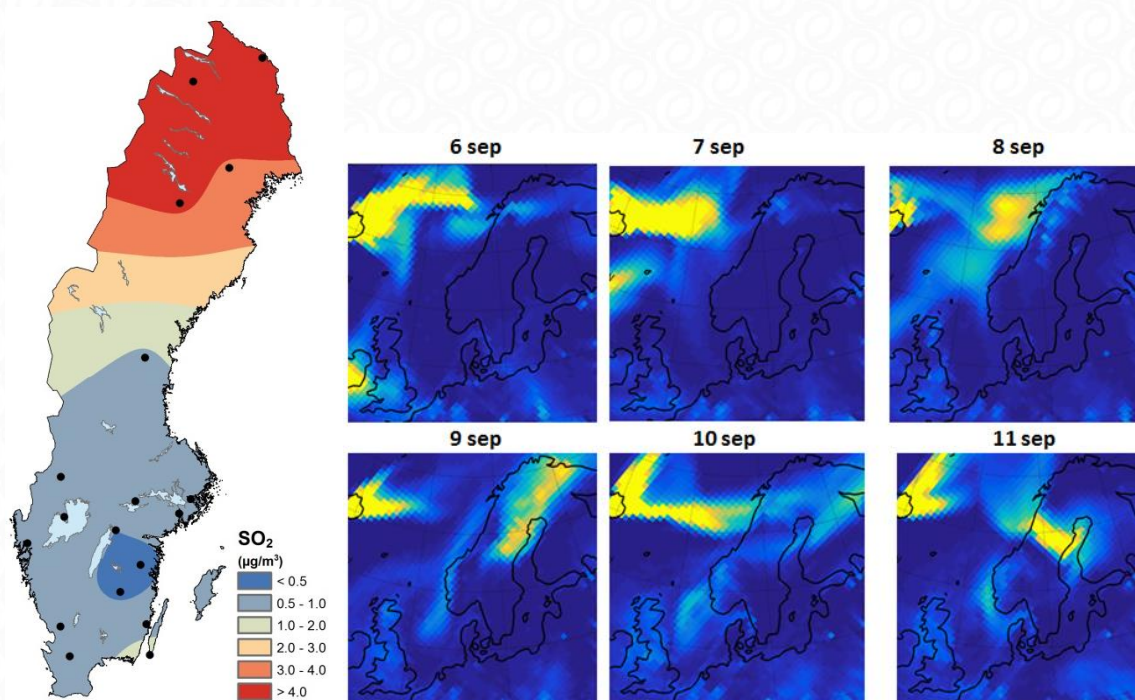




Nr C 234  
Maj 2017



## Påverkan på atmosfäriskt nedfall och luftkvaliten i Sverige av SO<sub>2</sub>-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014-2015

Utvärdering med Krondroppsnetets mätningar och EMEP modellen

Sofie Hellsten, Malin Gustafsson, Gunilla Pihl Karlsson, Helena Danielsson, Per Erik Karlsson, Cecilia Akselsson

**Författare:** Sofie Hellsten (IVL), Malin Gustafsson (IVL), Gunilla Pihl Karlsson (IVL), Helena Danielsson (IVL), Per Erik Karlsson (IVL), Cecilia Akselsson (Lunds universitet)

**Medel från:** Temarapport inom Krondropps nätet

**Framtagning av framsida:** Malin Gustafsson & Sofie Hellsten (IVL)

**Rapportnummer** C 234

**ISBN** Klicka här för att ange ISBN nr

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

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2017**

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

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

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

## Förord

Krondroppsnetzets främsta uppgift är att övervaka påverkan från antropogena utsläpp av luftföroreningar på lufthalter, nedfall och markvattenkemi i skog. För att avgöra vad som är av antropogent ursprung krävs analyser även av luftföroreningar av icke-antropogent ursprung, t.ex. från vulkaner.

Under sensommaren och hösten 2014 fram till början av 2015 pågick ett mycket stort vulkanutbrott på Island, med utsläpp av svaveldioxid i samma storleksordning som de samlade antropogena utsläppen från Europa under två år. Tack vare den omfattande geografiska täckningen av mätplatser inom Krondroppsnetzets kunde inverkan på luftkvaliteten i Sverige från svavelutsläppen från vulkanen på Island upptäckas på ett relativt tidigt stadium och göras känt för massmedia och allmänheten.

I denna rapport redovisas en ingående analys av hur svavelutsläppen från vulkanen påverkade lufthalter och atmosfäriskt nedfall över Sverige. Rapporten är en del av den serie av temarapporter som produceras inom Krondroppsnetzets.

Maj 2017

*Gunilla Pihl Karlsson*

Projektledare, Krondroppsnetzets

# Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
Summary .....	6
1 Bakgrund.....	7
1.1 Vulkanutbrott och dess effekter .....	7
1.2 Vulkanutbrottet på Island, 2014-2015 .....	7
1.3 Rapportens syfte .....	9
2 Metod .....	10
2.1 Mätningar inom Krondroppsnätet .....	10
2.2 Statistisk analys av mätresultaten.....	10
2.3 EMEP-modellering.....	11
2.3.1 Emissionsscenarier.....	12
3 Resultat.....	13
3.1 Förhöjda halter av SO <sub>2</sub> .....	13
3.1.1 SO <sub>2</sub> -halt mätningar.....	13
3.1.2 Spridningen av SO <sub>2</sub> från Holuhraun .....	17
3.2 Svavelnedfallet påverkades också .....	19
3.2.1 Totaldepositionen som krondropp .....	20
3.2.2 Mätningar av svavel i våtdeposition .....	23
3.2.3 Bidrag av svavel i nederbörd från Holuhraun .....	25
3.2.4 Effekten på årsmedelvärden.....	28
4 Slutsatser .....	29
5 Tack.....	30
6 Referenser.....	30
Bilaga 1 – Hälsoeffekter av svaveldioxid.....	32
Bilaga 2 - Ytor inom Krondroppsnätet .....	33
Bilaga 3 - Resultat från Mann-Whitney U-test.....	36
Bilaga 4 – Skillnad mellan 2014 och 2011-2013 .....	37

# Sammanfattning

Den 31 augusti 2014 till 27 februari 2015 pågick ett vulkanutbrott på Island med utsläpp av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) i samma storleksordning som de dubbla antropogena utsläppen från Europa under ett år. Merparten av svavelutsläppen från vulkanen skedde under september till november 2014. Vulkanutbrottet påverkade periodvis luftkvaliteten i Sverige, framför allt under september och oktober 2014, och i synnerhet i norra Sverige som normalt har en relativt ren miljö utan större föroreningskällor.

Samtliga mätplatser inom Krondroppsnetzets visade förhöjda lufthalter av SO<sub>2</sub> i september 2014 jämfört med tidigare år. Den uppmätta genomsnittliga SO<sub>2</sub>-halten i september 2014 över Sverige, var sex gånger så hög som motsvarande treårsmedelvärde för september under 2011-2013. Ökningen var störst i norra Sverige, där lufthalterna var 25 gånger högre än normalt. I södra och mellersta Sverige var ökningen betydligt mindre, ungefär 3 gånger så hög i mellersta Sverige och dubbelt så hög i södra Sverige. Spridningsmodellering med EMEP-modellen visade att över 90 % av SO<sub>2</sub>-halterna under september 2014 i norra Sverige hade sitt ursprung i SO<sub>2</sub>-emissioner från vulkanutbrottet.

I likhet med lufthalterna ökade svavelnedfallet mest i norra Sverige, men för nedfallet var ökningen störst under oktober månad. Detta kan förklaras av att nederbördsmängden under oktober månad var hög. September månad karaktäriserades av en låg nederbördsmängd, varför en stor mängd av torrdepositionen av svavel från september, det vill säga den deposition som fastnar i trädkronorna, sköljdes ner med regnet och samlades in i krondroppsnetzets mätningarna under trädkronorna först under oktober månad. Detta bidrog till att den totala svaveldepositionen (alltså mätningarna via krondropp) blev hög under oktober.

Nedfallet av svavel med nederbörden (våtdepositionen) var ca tre gånger så hög under oktober 2014 över Sverige jämfört med motsvarande treårsmedelvärde för oktober under 2011-2013. Totaldepositionen som krondropp ökade ännu mer och var ca fem gånger högre. Nedfallet ökade mest i norra Sverige, där nedfallet över öppet fält ökade med 350 % och totaldepositionen som krondropp ökade drygt 1200 %. Motsvarande ökning i mellersta Sverige var 270 % för nedfallet över öppet fält och 760 % för totaldepositionen som krondropp. I södra Sverige var ökningen bara 130 % respektive 220 %. Spridningsberäkningen med EMEP-modellen visade att våtdepositionsandelen från vulkanen var mer än 80 % i vissa delar av norra Sverige, under tiden för vulkanutbrottet (september 2014 – februari 2015).

Även om mätresultaten visar på kraftiga förhöjningar av SO<sub>2</sub>-halter och svavelnedfall på månadsbasis, så syns effekten inte lika tydligt om man analyserar data för årsmedelvärden (hydrologiska år), framförallt inte i södra och mellersta Sverige. Detta beror framförallt på att inledningen av vulkanutbrottet (september 2014) tillfaller det hydrologiska året 2013/2014, medan återstoden av vulkanutbrottet tillfaller det hydrologiska året 2014/2015. Om man däremot analyserar data på kalenderåret 2014 så syns effekten tydligt i hela landet.

Även om det antropogena svavelnedfallet och lufthalterna av SO<sub>2</sub> minskat dramatiskt i Sverige under de senaste 30 åren, belyser den här studien vikten av att upprätthålla luftkvalitetsmätningar. Krondroppsnetzets mätningar bekräftar inte bara återhämtning, utan är också ett användbart verktyg för att spåra effekterna av specifika föroreningshändelser såsom vulkaniska utsläpp av SO<sub>2</sub>.

## Summary

From August 31, 2014 to February 27, 2015, a volcanic eruption in Iceland was taking place with sulfur dioxide emissions (SO<sub>2</sub>) in the same order as twice the annual anthropogenic emissions from Europe. The sulfur emissions from the volcano were largest during September to November 2014. The volcanic eruption periodically affected air quality in Sweden, especially in September and October 2014, and especially in northern Sweden, which usually has a relatively clean environment without major sources of pollution.

All measurement sites within the Swedish Throughfall Monitoring (SWETHRO) Network showed increased levels of SO<sub>2</sub> in September 2014 compared with previous years. The measured average air concentration of SO<sub>2</sub> in September 2014 across Sweden was six times as high as the corresponding three-year average for September in 2011-2013. The increase was greatest in northern Sweden, where the air concentrations were 25 times higher than normal. In southern and central Sweden, the increase was considerably less, about 3 times higher in central Sweden, and twice as high in southern Sweden. The EMEP model showed that more than 90% of SO<sub>2</sub> air concentrations in September 2014 in northern Sweden originated from SO<sub>2</sub> emissions from the volcanic eruption

As for the air concentrations, also the deposition of sulfur increased the most in northern Sweden, but for the deposition, the increase was greatest in October. This can be explained by a high precipitation in October. September was characterized by a low precipitation, hence a large amount of dry deposition of sulfur from the month of September, i.e. the deposition which is captured by the tree crowns, was not rinsed down by the rain and collected as throughfall until October. This delay contributed to the large total deposition of sulfur (i.e. the throughfall measurements) during October.

The wet deposition of sulfur (bulk measurements) was about three times as high in October 2014 across Sweden compared with the corresponding three-year average for October in 2011-2013. The total deposition (throughfall measurement) increased even more and was about five times higher. The deposition increased the most in northern Sweden, where the bulk deposition increased by 350% and the throughfall measurements increased by a bit more than 1200%. The corresponding increase in central Sweden was 270% for the bulk measurements and 760% for the throughfall. In southern Sweden, the increase was only 130% and 220% respectively. The EMEP model showed that the contribution from the volcano was more than 80% to the wet deposition in some parts of northern Sweden, during the time of the eruption (September 2014 – February 2015).

Although the measurement results show strong increases in air concentrations of SO<sub>2</sub> and in sulfur deposition at a monthly resolution, the effect is not as evident at an annual resolution (hydrological years), especially in southern and central Sweden. This is because the beginning of the volcanic eruption (September 2014) belongs to the hydrological year 2013/2014, while the remainder of the volcanic eruption belongs to the hydrological year 2014/2015. However, analyzing the data for calendar years (year 2014), clearly shows the effect of the volcanic eruption across the country.

Even though anthropogenic sulphur deposition and SO<sub>2</sub> concentrations have dramatically decreased in Sweden over the last 30 years, this study highlights the importance of maintaining air quality monitoring. The SWETHRO Network not only confirms recovery from acidification, but also provides a useful tool to track impacts of extreme pollution events such as volcanic emissions of SO<sub>2</sub>.

# 1 Bakgrund

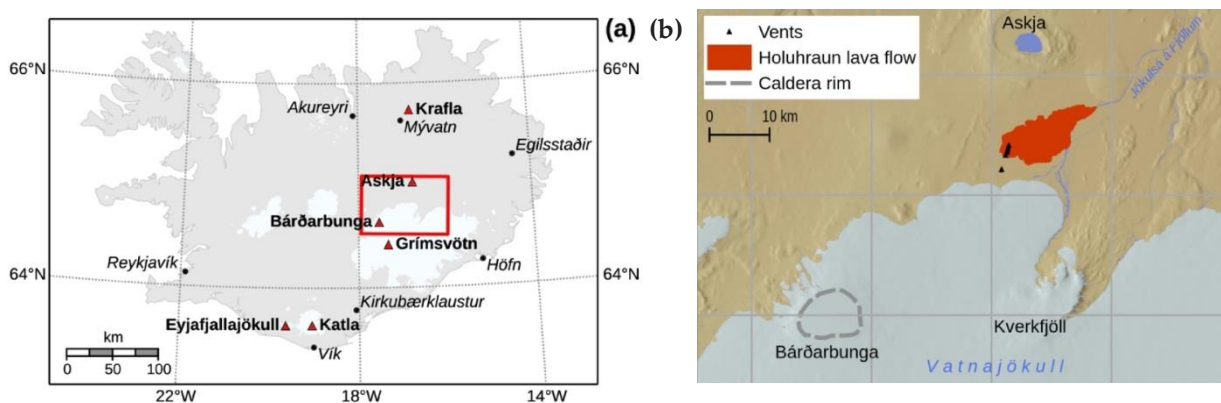
## 1.1 Vulkanutbrott och dess effekter

Vulkanutbrott kan få globala effekter på luftkemin genom utsläpp av aska och gaser, t.ex. koldioxid, kiseldioxid, halider och reaktiva svavelföreningar, främst i form av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) (Malmer, 2014). Vulkanpartiklar kan påverka människors hälsa genom inandning, eller genom intag av vatten och mat som förgiftats. Partiklarnas farlighet beror bland annat på sammansättning, storleksfördelning, koncentration och exponeringstid (Malmer, 2014).

Utsläpp av SO<sub>2</sub> har betydande påverkan på miljö och klimat. När SO<sub>2</sub> oxideras bildas aerosoler i stratosfären, vilket bidrar till stratosfäriskt ozon (Hofman och Solomon, 1989). Aerosolerna i sin tur ökar albedoeffekten och bidrar således till en kylande effekt på den globala temperaturen (Robock, 2000; Schmidt et al, 2012). Dessutom leder regnet som faller genom vulkaniska plymer av SO<sub>2</sub> till surt nedfall som bidrar till försurningen (Delmelle, 2003, Mather, 2015). SO<sub>2</sub> kan även påverka människors hälsa negativt både avseende korttids- och långtids-exponering, se Bilaga 1.

## 1.2 Vulkanutbrottet på Island, 2014-2015

Den 31 augusti 2014 startade ett vulkanutbrott vid lavafältet Holuhraun, vid Bárðarbunga-vulkanen på Island, se Figur 1. Det var inget kraterutbrott, utan ett kontinuerligt lavaproducerande utbrott från sprickor längs vulkanen. Vulkanen släppte därför inte heller ifrån sig särskilt mycket aska, utan utbrottet karaktäriserades av lavaflöden och utsläpp av gas, exempelvis SO<sub>2</sub>. Figur 2 visar gaser från vulkansprickorna. Utbrottet varade i 6 månader och ett flertal studier har visat att luftkvaliten i norra Europa påverkades (Gislason et al, 2015; Twigg et al, 2016; Grahn et al, 2015; Schmidt et al, 2015; Ialongo et al, 2015). SO<sub>2</sub> från vulkanen påverkade mätstationer upp till 2750 km bort från källan (Schmidt m.fl., 2015).



Figur 1. Översikt över vulkanutbrottet på Holuhraun på Island 2014-2015. (a) Karta med isländska städer och vulkaner. Röd rektangel visas i Figur 1b; (b) Kartan visar Bárðarbunga kalderan (streckad grå linje) och sprickor samt lavafältets utbredning. En kalderan är den stora fördjupning i jordskorpan som skapas då en vulkan kollapsar. Källa : Schmidt m.fl. (2015).

**Figur 2. Gaser från de aktiva vulkansprickorna vid Holuhraun, den 2:a september 2014, Foto : RUV.**



SO<sub>2</sub>-utsläppen från vulkanutbrottet 2014-2015 uppskattades till  $11,8 \pm 4,1$  Mt med en genomsnittlig utsläppsnivå på  $684 \pm 193$  kg s<sup>-1</sup> (Gislason m.fl., 2015). Årliga antropogena emissioner av SO<sub>2</sub> i Europa (i de 33 EEA-länderna) under 2014 har uppskattats till 5,3 Mt (EEA, 2016). Vulkanutbrottets bidrag, motsvarar således ett tillskott på mer än dubbelt så mycket som de årliga svavelutsläppen i Europa.

Utbrottet var det största vulkanutbrottet på Island sedan det så kallade Lakiutbrottet, 1783-1784, som varade i 8 månader och producerade ungefär tio gånger mer lava och SO<sub>2</sub> (120 Mt) jämfört med Holuhraunutbrottet 2014-2015 (Thordarson och Self, 2003; Gislason m.fl., 2015). Under Lakiutbrottet uppskattades det genomsnittliga månadsvisa utsläppet av SO<sub>2</sub> vara större än de månadsvisa höga globala antropogena SO<sub>2</sub>-utsläppen som pågick under 1970-1980-talet (133 Mt per år; Smith m.fl., 2011).

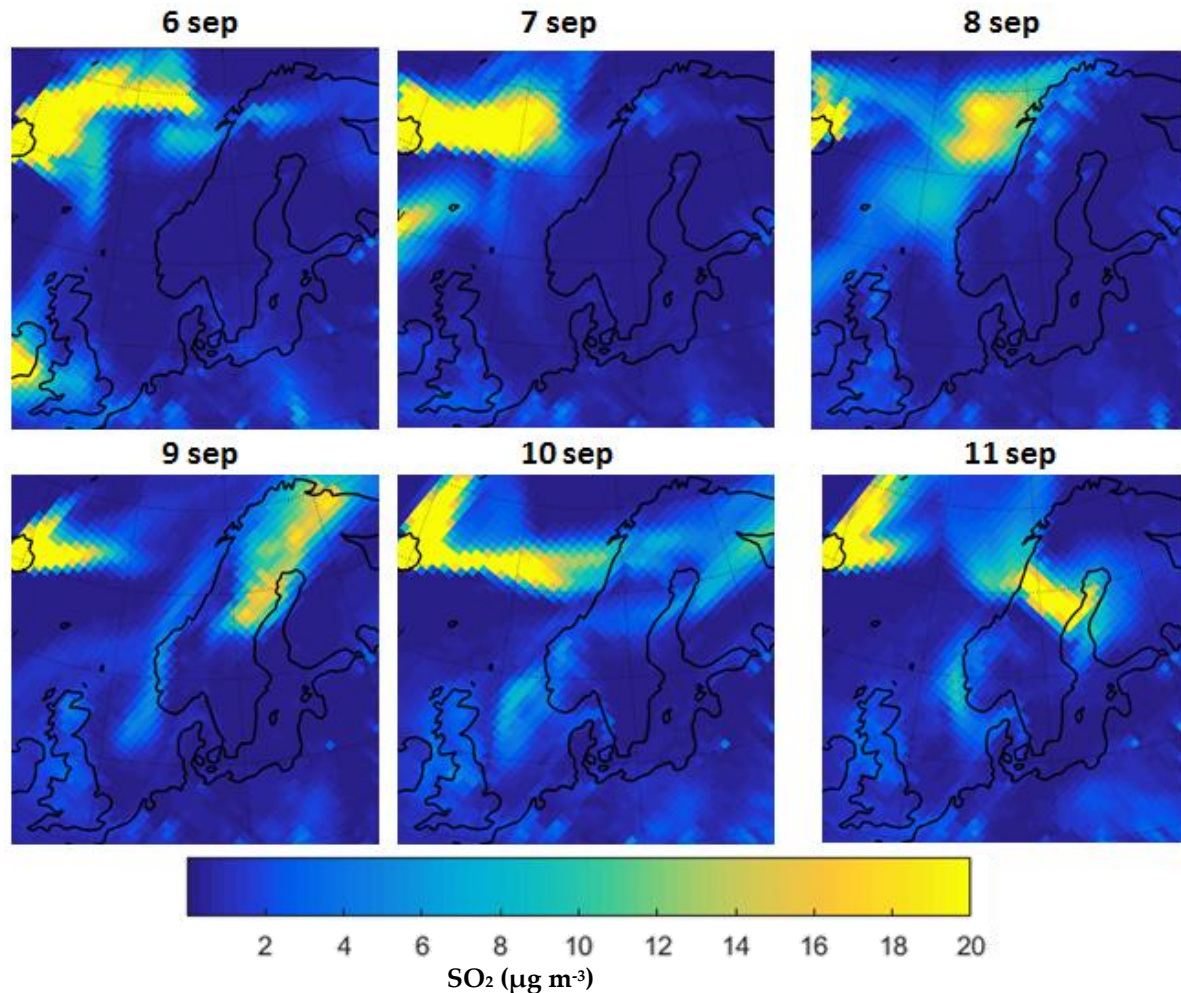
Flera studier har visat att utsläppshastigheten av SO<sub>2</sub> varierade kraftigt under Holuhraunutbrottets förlopp med högst emissioner under den första fasen av utbrottet. Emissionerna avtog därefter under mitten av september 2014 för att sedan öka igen i slutet av september och början av oktober 2014, och återigen avta under november och december 2014 (Barsotti m.fl., 2015; Gislason m.fl., 2015; Schmidt m.fl., 2015; Thordarson & Hartley, 2015). Till exempel visade mätningar under 21 september - 4 februari att SO<sub>2</sub>-utsläppen minskade från 1400 till 100 kg s<sup>-1</sup> (Gislason m.fl., 2015). Kunskapen om utsläppsnivån under januari till februari 2015 är mer bristfällig (se Kapitel 2.3.1).

Spridningen av SO<sub>2</sub> från ett vulkanutbrott beror inte bara på emissionshastigheten utan även på vilken höjd i atmosfären plymen når. SO<sub>2</sub> släpptes ut kontinuerligt under Holuhraun-utbrottet och SO<sub>2</sub>-plymer nådde i genomsnitt höjder på 1- 3 km (Arason m.fl., 2015), vilket innebar att SO<sub>2</sub> kunde transporteras långa sträckor i den nedre delen av troposfären.

Satelliter upptäckte den första SO<sub>2</sub>-signalen över Island den 1 september och sedan flyttade SO<sub>2</sub>-plymen österut mot Skandinavien. Normalt sett kan satelliter sällan detektera SO<sub>2</sub> över Europa, eftersom halterna är för låga. Däremot kan vulkaniska plymer detekteras eftersom de vanligtvis har en stor vertikal spridning och innehåller höga halter av SO<sub>2</sub>. Den 9:e september rapporterades en obehaglig lukt från Norges kust och den 10:e september hade lukten nått Västerbottens län.



Grahn m.fl. (2015) visade med hjälp av satellitdata att lukten härrörde från svavelföreningar från vulkanutbrottet. I Figur 3 visas modellerade SO<sub>2</sub>-halter över norra Europa för perioden 7 - 11 september 2014. Halterna har modellerats med hjälp av EMEP-modellen och resultaten visar tydligt hur en plym av SO<sub>2</sub> från Island transporteras österut över Norska havet mot de nordliga delarna av Skandinavien.



Figur 3. Modellerade halter av SO<sub>2</sub> (µg m<sup>-3</sup>) under perioden 6 -11 september 2014 beräknade med EMEP-modellen.

## 1.3 Rapportens syfte

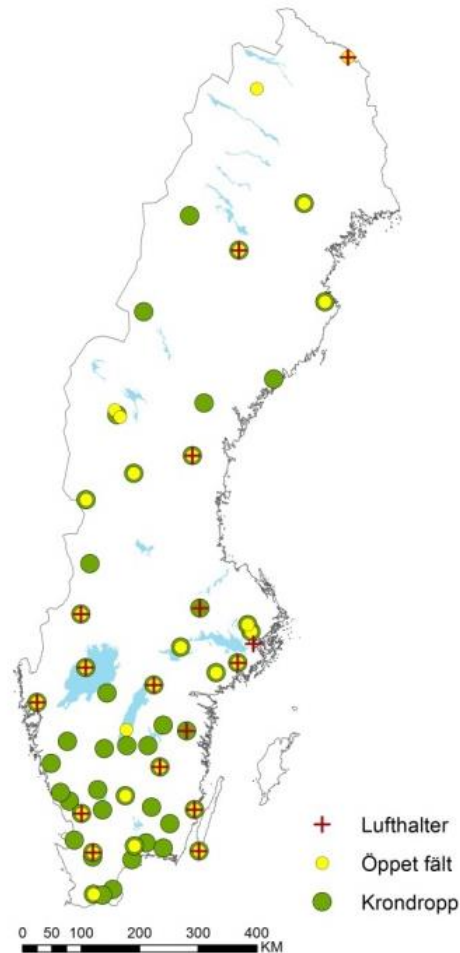
Syftet med den här studien har varit att analysera i vilken utsträckning de förhöjda svavelhalterna och svavelnedfallet vi har noterat i Krondroppsnetzets mätningar under 2014/2015 berodde på Holuhraunutbrottet på Island.

Ytterligare ett syfte var att analysera och kvantifiera ökningen och bidraget från vulkanen i olika delar av Sverige.

## 2 Metod

### 2.1 Mätningar inom Krondroppsnetz

Krondroppsnetz<sup>1</sup> omfattar mätplatser i skog och på öppet fält fördelade över hela landet (Pihl Karlsson m.fl., 2011). Under 2014 mättes lufthalter på 18 platser, våtdeposition på öppet fält vid 33 platser och krondroppsmätningar vid 57 platser, se Figur 4. I den här studien jämförde vi månadsmedelvärden för lufthalter av SO<sub>2</sub>, samt svavelnedfallet på öppet fält och i krondropp under tiden för vulkanutbrottet, främst under perioden september – november då utsläppet var som störst, med ett genomsnittligt värde för de tre föregående åren.



Figur 4. Karta över Krondroppsnetzets mätningar av luftkvalitet, öppet fält och krondropp vid 63 mätplatser under 2014.

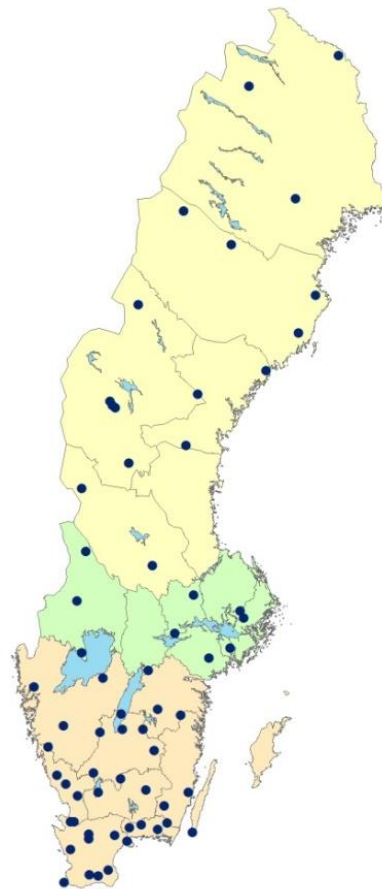
### 2.2 Statistisk analys av mätresultaten

För analyser av eventuella skillnader av nederbörds- och krondroppsmängd, svavelnedfall med nederbörden (våtdeposition) och svavelnedfall som krondropp (totaldeposition) samt SO<sub>2</sub>-halt i luft mellan två perioder (september – november 2014 och september – november 2011-2013), har Mann-Whitney U-test använts (STATGRAPHICS Plus for Windows). Mann-Whitney U-test, kan användas på samma sätt som ANOVA-test, men används antingen när data inte är normalfördelade, när fördelningen är okänd eller om datamängderna är små.

<sup>1</sup> Ytterligare information om Krondroppsnetzets mätplatser, mätningar och analysmetoder finns på [www.krondroppsnetet.ivl.se](http://www.krondroppsnetet.ivl.se) och i Pihl Karlsson m.fl. (2011). Data från Krondroppsnetz är fritt tillgängliga från IVL Svenska Miljöinstitutet.

Vid varje mätplats och för varje testad parameter summerades nedfallet för september till och med november, medan det för lufthalterna beräknades medelhalter. Därefter beräknades ett medelvärde för 2011-2013 för motsvarande tidsperiod (september till och med november) som jämfördes med motsvarande värde för 2014. Tre olika områden i Sverige utvärderades statistiskt: södra, mellersta och norra Sverige, se Figur 5, och Bilaga 2. För varje region beräknades medianen av alla mätplatser inom regionen för respektive tidsperiod.

I den statistiska analysen med Mann-Whitney U-test undersöktes och testades hypotesen att: *Medianen för olika stationers summerade mängd/medelvärde, under perioden september – november 2014, var högre än medianen för olika stationers summerade mängd/medelvärde, under perioden september – november 2011-13, för de tre regionerna.* Resultaten från Mann-Whitney U-test presenteras i detalj i Bilaga 3. Analysen utfördes med hjälp av statistikprogrammet STATGRAPHICS Plus for Windows.



Figur 5. De färgade områdena är de områden som indelats i den statistiska analysen. De mörka prickarna motsvarar Krondroppsnetzets mätplatser under 2015/16. Se även Bilaga 2.

**Södra Sverige:** Skåne, Blekinge, Halland, Kronoberg, Jönköping, Kalmar, Västra Götalands och Östergötlands län.

**Mellersta Sverige:** Värmlands, Västmanland, Stockholms och Södermanlands län.

**Norra Sverige:** Dalarnas, Västerbotten, Västernorrland, Jämtlands och Norrbottens län.

## 2.3 EMEP-modellering

EMEP MSC-W modellen användes för att undersöka bidraget av svavel till lufthalten av SO<sub>2</sub> och atmosfäriskt nedfall med nederbörden i Sverige från Holuhraunutbrottet. Spridningsberäknat nedfall och lufthalter jämfördes med mätningarna inom Krondroppsnetzets.

EMEP MSC-W modellen är en 3-dimensionell Eulersk kemisk transportmodell som utvecklats inom det europeiska övervaknings- och utvärderingsprogrammet (EMEP) (Simpson m.fl., 2012.).

Den horisontella upplösningen av modellsimuleringarna är 50 x 50 km. Modellen omfattar 20 vertikala skikt upp till cirka 100 hPa och det understa lagret är runt 90 m i vertikalled. Modellen drivs av meteorologiska parametrar från "the European Centre of Medium-Range Weather Forecasts" (ECMWF).

Modellsimuleringar genomfördes för perioden 10 augusti 2014 till 15 mars 2015 med utsläpp från Holuhraunutbrottet under tidsperioden 31 augusti 2014 och 27 februari 2015. Simuleringarna genomfördes för en period längre än den under vilken själva vulkanutbrottet pågick, detta för att kunna jämföra modellresultaten med de månadsvisa mätningarna inom Krondroppsnetzets.

### 2.3.1 Emissionsscenarier

På grund av osäkerheterna avseende den totala mängden svavelutsläpp från vulkanutbrottet och hur emissionerna varierade över tiden har två utsläppsscenarier analyserats. Scenario 1 förutsätter den genomsnittliga utsläppsnivån och tidsvariation som föreslagits av Thordarson och Hartley (2015) för perioden 31 augusti 2014 till den 31 december 2014. Eftersom information om utsläppsnivån under 2015 är mer bristfällig baseras SO<sub>2</sub>-emissionen för perioden 1 januari till 27 februari 2015 på den emission som presenteras i EMEP statusrapport (EMEP, 2016) (Tabell 1). Detta innebär en total emission av 7,8 Mt för hela perioden för Scenario 1, vilket är i det nedre intervallet av de totala utsläppen som föreslagits av Gislason m.fl. (2015).

Det totala SO<sub>2</sub>-utsläppet föreslaget i EMEP-statusrapport (2016) och av Gislason m.fl. (2015) var högre än Scenario 1 med en total emission av 12,0 respektive 11,8 ± 4,1 Mt. Men ingen studie som beskrivit den tidsmässiga variationen i utsläppen, presenterar utsläppshastigheter som är tillräckligt höga för att nå en total emissions närmare 12 Mt eller övre intervallet föreslagits av Gislason m.fl. (2015). Därför har Scenario 2 formulerats så att den behåller tidsvariationen från Scenario 1 men emissionshastigheterna skalades upp så att det totala utsläppet uppnår samma nivå som föreslagits i EMEP-statusrapport (2016). Höjden på SO<sub>2</sub>-plymen varierade under utbrottet (Schmidt m.fl., 2015), men medelhöjden har uppskattats till ca 1-3 km. I EMEP-simuleringarna av utsläppen från vulkanen vid Holuhraun har vi därför antagit att plymen inte överskred 3 km.

**Tabell 1. De två utsläppsscenarier (utsläppshastighet och total emission) som användes vid spridningsberäkningen av den vulkaniska plymen med EMEP-modellen i den här studien.**

	Scenario 1		Scenario 2		Källa
	Utsläppshastighet (kg s <sup>-1</sup> )	Total emission (Mton)	Utsläppshastighet (kg s <sup>-1</sup> )	Total emission (Mton)	
31/8 till 13/9	1157,5	1,40	1878	2,27	Thordarson & Hartley 2015
14/9 till 30/9	677	0,99	1098	1,61	Thordarson & Hartley 2015
1/10 till 14/10 2014	984	1,19	1597	1,93	Thordarson & Hartley 2015
15/10 till 30/11 2014	520,5	2,11	845	3,43	Thordarson & Hartley 2015
1/12 till 31/12 2014	376	1,01	610	1,63	Thordarson & Hartley 2015
1/1 till 27/2 2015	225	1,13	225	1,13	EMEP-status report 2016
<b>Totalt 2014 och 2015</b>		<b>7,83</b>		<b>12,01</b>	
<b>Total 2014</b>		<b>6,71</b>		<b>10,88</b>	

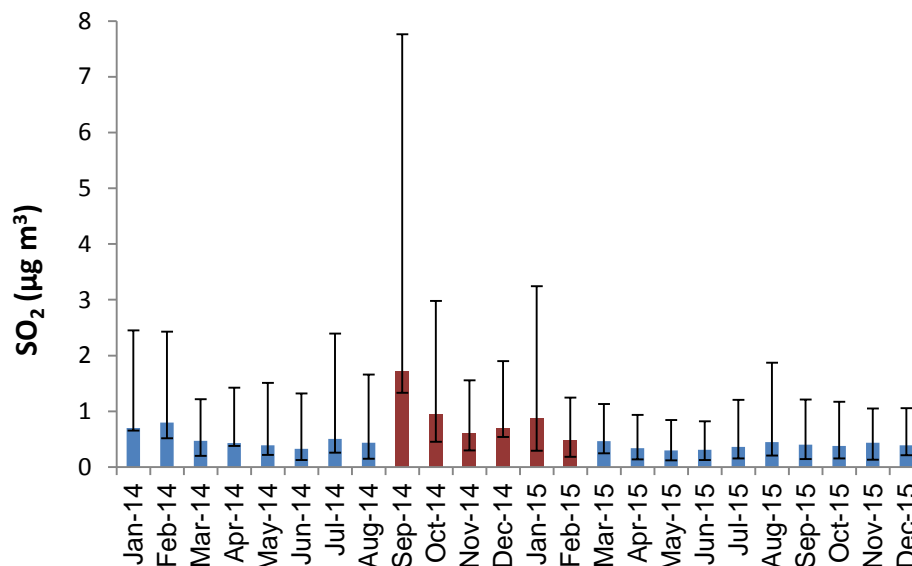
## 3 Resultat

### 3.1 Förhöjda halter av SO<sub>2</sub>

Lufthaltsmätningarna inom Krondroppsnetzets visade förhöjda SO<sub>2</sub>-halter, framförallt under september månad, och dessa förhöjda SO<sub>2</sub>-halter orsakades till stor del av SO<sub>2</sub>-emissioner från Holuhraunutbrottet. Under september 2014 var den uppmätta genomsnittliga SO<sub>2</sub>-halten sex gånger så hög jämfört med treårsmedelvärdet under 2011-2013. Spridningsmodelleringen visade att över 90 % av SO<sub>2</sub>-halten under september orsakades av SO<sub>2</sub>-emissioner från Holuhraun i stora delar av Sverige, framförallt i norra delarna av landet. I följande avsnitt beskrivs mätningarna inom Krondroppsnetzets (avsnitt 3.1.1) och hur de relaterar till den modellerade spridningen av SO<sub>2</sub> från Holuhraun (avsnitt 3.1.2).

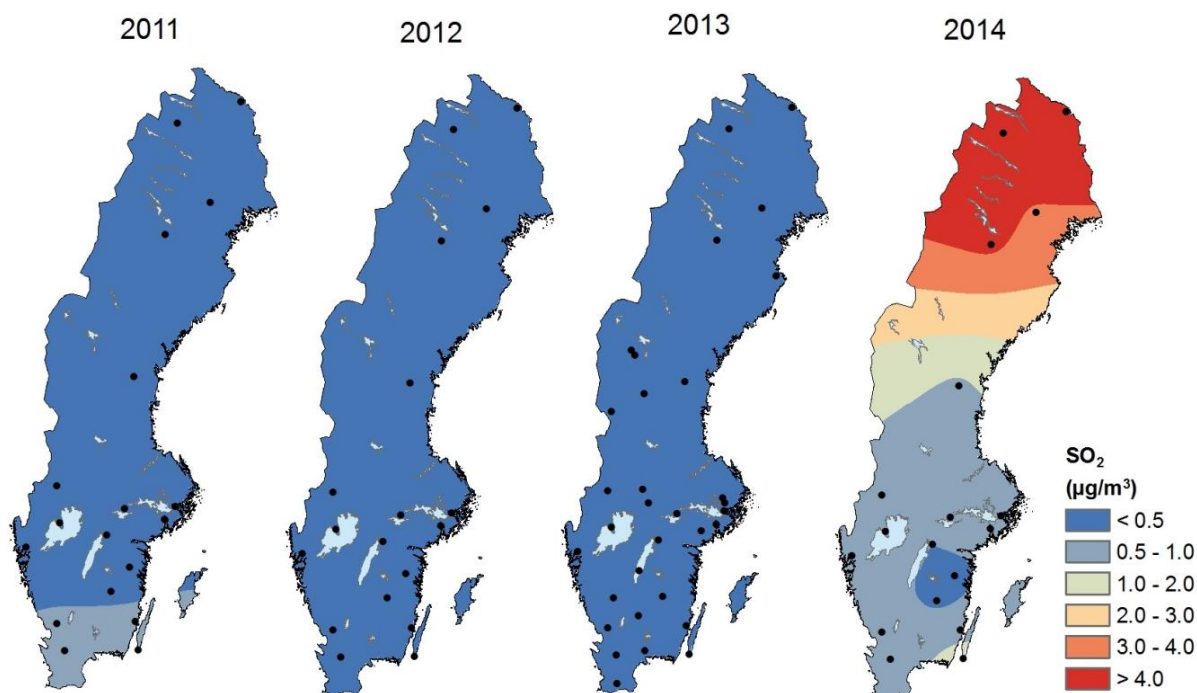
#### 3.1.1 SO<sub>2</sub>-halt mätningar

De månadsvisa mätningarna inom Krondroppsnetzets visade tydligt förhöjda halter av SO<sub>2</sub> under Holuhraunutbrottet, särskilt under september 2014, se Figur 6. Lufthalterna ökade då för Sverige som helhet i genomsnitt med 500 % jämfört med treårsmedelvärdet för september månad under 2011-2013. I södra Sverige var ökningen 90 %, i mellersta Sverige 220 % och i norra Sverige 2400 %, som ett genomsnitt för mätplatserna inom varje område (se Bilaga 4).



Figur 6. Månadsvisa lufthalter (medelkoncentrationer) av SO<sub>2</sub> för de 17 mätplatserna som var aktiva inom Krondroppsnetzets under 2014-2015. Linjerna anger högsta och lägsta värden. Röda staplar anger tiden för vulkanutbrottet.

Figur 7 visar en interpolerad karta av SO<sub>2</sub>-halten över Sverige under september 2011, 2012, 2013 och 2014. Vanligtvis är SO<sub>2</sub>-halten i hela Sverige lägre än 0,5 µg m<sup>-3</sup>, med de högsta halterna i södra delarna av landet. Det är uppenbart att både nivån och koncentrationsmönstret för SO<sub>2</sub>-halterna under september 2014 skiljer sig från tidigare mätningar. Normalt är bakgrundsluften i norra Sverige förhållandevis ren, utan större antropogen påverkan, men under inverkan av vulkanutbrottet på Island observerades höga halter av SO<sub>2</sub> i norra Sverige. Figur 3 visar spridningsberäkningen av SO<sub>2</sub> plymen från vulkanen den 6 – 11 september 2014. Där ser man tydligt hur plymen transporteras över norra delarna av Sverige.



Figur 7. SO<sub>2</sub> halter i Sverige under september månad under 2011-2014. Kartorna är ett resultat av en interpolering (kriging), baserat på mätpunkterna.

Tabell 2 visar SO<sub>2</sub>-halter och ökning vid varje mätplats under den månad då ökningen var som störst (jämfört med treårsmedelvärdet 2011-2013). För flertalet mätplatser var ökningen störst under september månad, men i södra Sverige var det vanligare att halterna ökade mer under oktober månad. Detta har troligtvis att göra med meteorologiska variationer som påverkar spridningen av vulkanplymen från Island. Tabell 2 visar att ökningen relativt sett var störst vid de fyra nordligaste mätplatserna (>2500 %). Detta beror framförallt på vulkanplymens spridning, men även på det faktum att norra Sverige normalt inte har någon större påverkan från antropogena källor. Bidraget från vulkanen i norra Sverige ger därför en extra kraftig relativ ökning i SO<sub>2</sub>-halten. Vid de tre sydligaste mätplatserna (Hissmossa, Ottenby och Timrilt), som påverkas av antropogena utsläpp i större utsträckning, var ökningen mindre än 90 %, jämfört med de tre föregående åren.

**Tabell 2. Luthalter av SO<sub>2</sub> under den månad (september 2014-februari 2015) då ökningen var som störst, det vill säga olika månader visas för olika mätplatser. Dessutom visas treårsmedelvärdet för de tre föregående åren, samt den procentuella ökningen. Endast ytor som var aktiva under hela perioden 2011-2015 ingår i tabellen. Stationerna är sorterade från norr till söder. (Se Figur B.2.1 – B.2.3 i Bilaga 2 för mätplatsernas lokalisering.).**

LokNamn	Län	Månad	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub>	Förhöjning
			medel år 2011-2013	(µg/m <sup>3</sup> ) 2014	
Palovaara	Norrbottens län	9	0.16	5.64	3341%
Nikkaluokta	Norrbottens län	9	0.19	6.04	3037%
Myrberg	Norrbottens län	9	0.14	3.80	2684%
Högbränna	Västerbottens län	9	0.16	4.26	2516%
Storulvsjön	Västernorrlands län	9	0.16	0.82	402%
Blåbärskullen	Värmlands län	10	0.23	0.91	287%
Kvisterhult/Hjälmarsberg <sup>1)</sup>	Västmanlands län	10	0.22	0.94	330%
Farstanäs	Stockholms län	9	0.23	0.68	202%
Södra Averstad	Värmlands län	10	0.26	1.19	360%
Höka	Östergötlands län	9	0.21	0.50	144%
Hensbacka	Västra Götaland län	9	0.27	0.79	196%
Risebo	Kalmar län	10	0.23	0.54	134%
Fagerhult	Jönköpings län	10	0.36	0.83	131%
Rockneby	Kalmar län	9	0.31	0.74	142%
Timrilt	Hallands län	12	0.64	0.98	53%
Ottenby	Kalmar län	10	0.86	1.59	85%
Hissmossa	Skåne län	10	0.61	1.15	88%

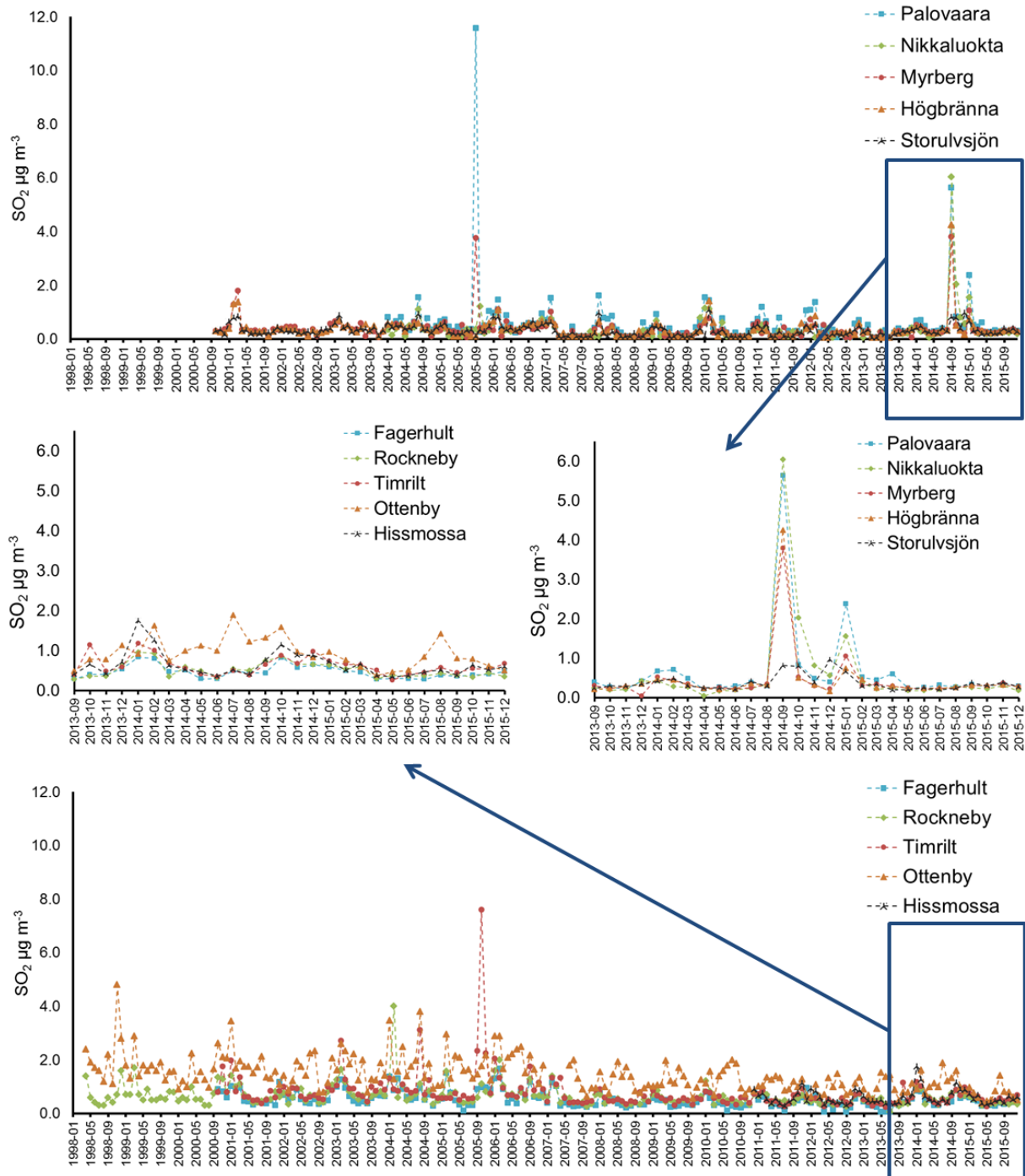
1) Från och med 2012 – Hjälmarsberg.

Vid Nikkaluokta och Palovaara, de två nordligaste mätplatserna (båda belägna i norra delen av Norrbottens län), uppmättes de högsta månadsvisa lufthalterna i Sverige (6,0 respektive 5,6 µg/m<sup>3</sup>) under september 2014. Höga SO<sub>2</sub>-halter i september 2014 rapporterades också från norra Finland (Ialongo m.fl., 2015). I likhet med Ialongo m.fl. (2015) uppmättes den högsta halten (6,0 µg m<sup>-3</sup>) vid mätplatsen som var lokaliserad på den högsta höjden, Nikkaluokta (538 m över havet). Palovaara är lokaliserad på 314 m höjd. Även den öst-västliga geografiska lokaliseringen spelar troligtvis roll, med generellt högre halter västerut (Nikkaluokta ligger väster om Palovaara). Vid Högbränna och Myrberg uppmättes också höga halter (4,3 respektive 3,8 µg m<sup>-3</sup>). Dessa båda mätplatser ligger på 399 respektive 231 m höjd över havet, och Högbränna ligger väster om Myrberg. Ialongo m.fl. (2015) noterade att den vulkaniska SO<sub>2</sub>-plymen mestadels låg i de lägre nivåerna av atmosfären, och därför upptäcktes förhöjda koncentrationer av SO<sub>2</sub> vid marknivå.

Vid Nikkaluokta och Myrberg (belägna i Norrbottens län, se Figur B.2.3) samt Högbränna (belägen i Västerbottens län, se Figur B.2.3) uppmättes de högsta månadsvisa SO<sub>2</sub>-halterna sedan mätstarten (år 2004, 2000 respektive 2000), se Figur 8. Även vid Palovaara uppmättes höga halter av SO<sub>2</sub>. Endast en gång tidigare, i september 2005, har lika höga SO<sub>2</sub>-nivåer observerats, vid Palovaara och Myrberg, då troligen orsakade av höga utsläpp från ett nickelsmältverk på Kolahalvön i Ryssland. År 2005 var halterna högre i Palovaara och lägre i Myrberg jämfört med vulkanutbrottet under 2014-2015.

I södra Sverige var, som tidigare nämnts, ökningen betydligt mer blygsam. Vid de fem sydligaste mätplatserna var ökningen som mest 53 – 142 % under september till december jämfört med motsvarande månad de tre föregående åren. Eftersom södra Sverige till stor del påverkas av antropogena utsläpp, kan det finnas mer närliggande källor som också påverkat. Ottenby på Ölands södra udde har en historia av ganska höga SO<sub>2</sub>-halter (Figur 8), förmodligen eftersom platsen är utsatt för

svavelutsläpp från sjöfarten, men kanske även till viss del på grund av sitt läge i sydost, omringad av vatten. Det är oklart vad den höga toppen (7,6 µg/m<sup>3</sup>) vid Timrilt i oktober 2005 berodde på, men samma månad noterades även höga SO<sub>2</sub>-halter vid en mätplats i Kronoberg (Tagel, visas ej här). Möjligtvis kan det ha rört sig om långdistanstransport av SO<sub>2</sub> från exempelvis östra Europa.

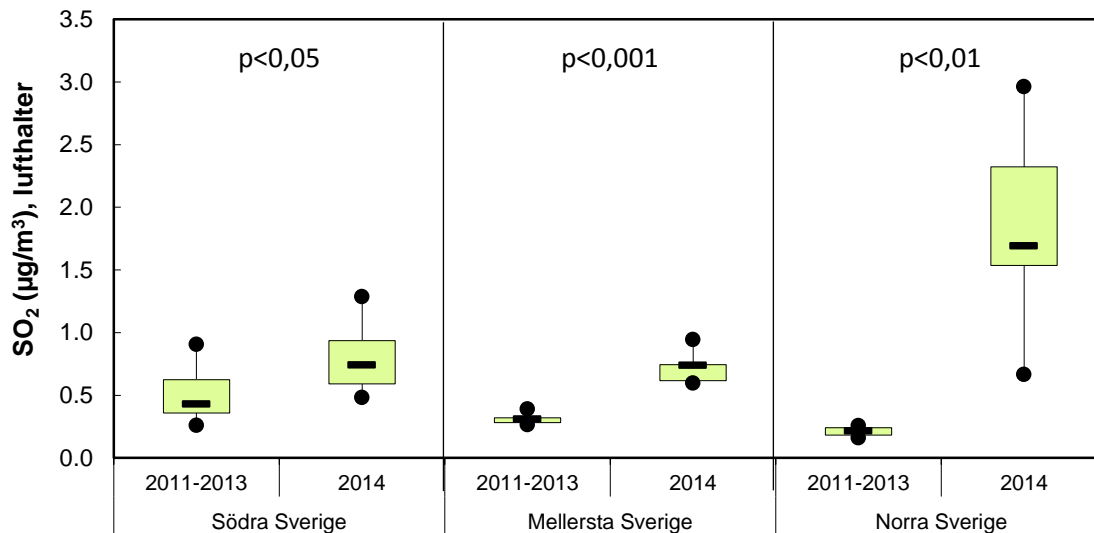


Figur 8. Uppmätta lufthalter av SO<sub>2</sub> under 1998-2015. Den övre figuren visar de fem nordligaste platserna inom Krondroppsnätet och den nedre figuren visar de fem sydligaste platserna. Figurerna däremellan visar en utvidgning av tidsperioden 2013-2015. (Se Bilaga 2 för mätplatsernas lokalisering.)



Eftersom det största utsläppet från vulkanen förekom under perioden september – november 2014 var det för denna period som den statistiska analysen genomfördes. Som nämnts tidigare testades SO<sub>2</sub>-halterna i luften med Mann-Whitney U-test. I de statistiska analyserna avseende lufthaltsmätningarna ingick resultat från 5 mätplatser i norra Sverige, 5 mätplatser i mellersta Sverige samt 8 mätplatser i södra Sverige.

Enligt den statistiska analysen var det statistiskt säkerställt att SO<sub>2</sub>-halterna i luften under perioden september – november 2014 var högre jämfört med medelvärdet för motsvarande period 2011-2013 i samtliga områden; norra, mellersta och södra Sverige, Figur 9 och Bilaga 3.

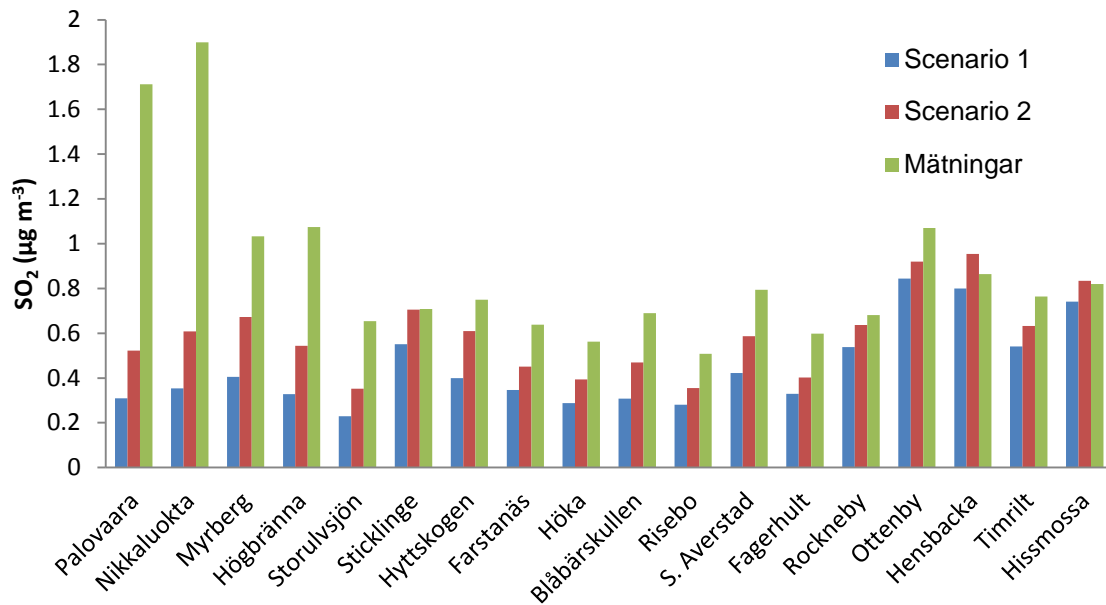


Figur 9. Medianen av medelvärdet för olika stationers SO<sub>2</sub>-halter i luft för perioden september – november 2011-2013 samt för 2014 för tre olika regioner i Sverige; södra, mellersta och norra Sverige. "Boxen" visar koncentrationer mellan nedre och övre kvartilen, vilket motsvarar 50 % av värdena. Medianen visas med ett streck i boxen. De lodräta strecken som går ut från boxen, visar det lägsta och högsta värdet.

### 3.1.2 Spridningen av SO<sub>2</sub> från Holuhraun

Vulkanutbrottet inträffade under vintern. Meteorologiska faktorer gör att plymen sprids snabbare på vintern till följd av högre genomsnittlig vindhastighet. Dessutom gör mindre antal soltimmar under vintern att risken för oxidering av SO<sub>2</sub> (bildandet av aerosoler i stratosfären som bidrar till stratosfäriskt ozon) minskar (Gislason m.fl., 2015).

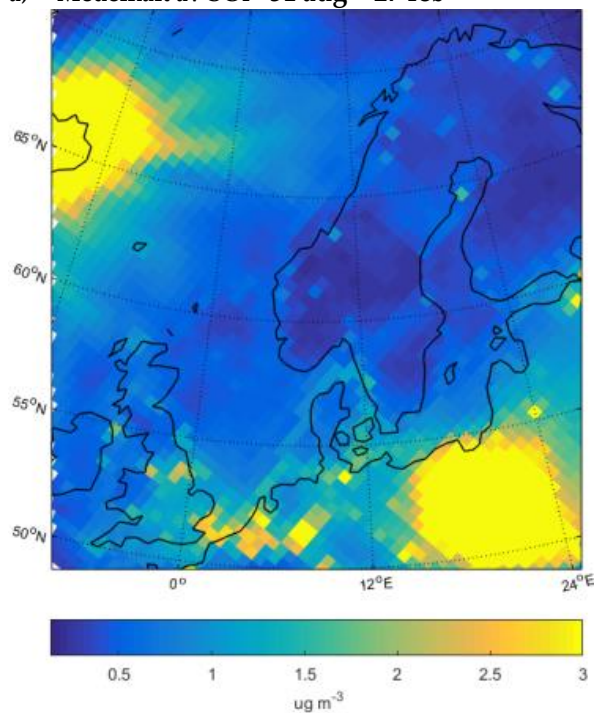
Figur 10 visar en jämförelse mellan SO<sub>2</sub>-halter beräknade med EMEP-modellen och lufthaltsmätningarna inom Krondroppsnätet. Jämförelsen visar att modellvärdena underskattade SO<sub>2</sub>-halterna i förhållande till mätningarna, framförallt i norra Sverige för såväl Emissionsscenario 1 som 2. Detta beror troligtvis dels på att modellen generellt underskattar SO<sub>2</sub>-halterna i norra Sverige, men det kan även bero på att emissionen av SO<sub>2</sub> från vulkanen var underskattad. Halterna av SO<sub>2</sub> i norra Sverige är generellt mycket låga och underlaget avseende utsläppskällor av SO<sub>2</sub> på nordliga breddgrader är inte komplett. En jämförelse mellan modellerade och uppmätta dygnsmedelhalter från en mätstation i norra Finland (Pallas) och Bredkälén i Jämtland, visade att halt-nivån under de dagar då vulkanemissionerna inte påverkade SO<sub>2</sub>-halten också underskattades i modellen. Topparna i dygnsmedelhalt orsakade av vulkanen fångades dock väl av modellen (resultatfigurer avseende denna analys redovisas inte i denna rapport). Eftersom resultaten från Emissionsscenario 2 stämde bäst överrens med mätningarna presenteras resultaten från detta scenario i Figur 11 och 12 samt fortsättningsvis i rapporten.



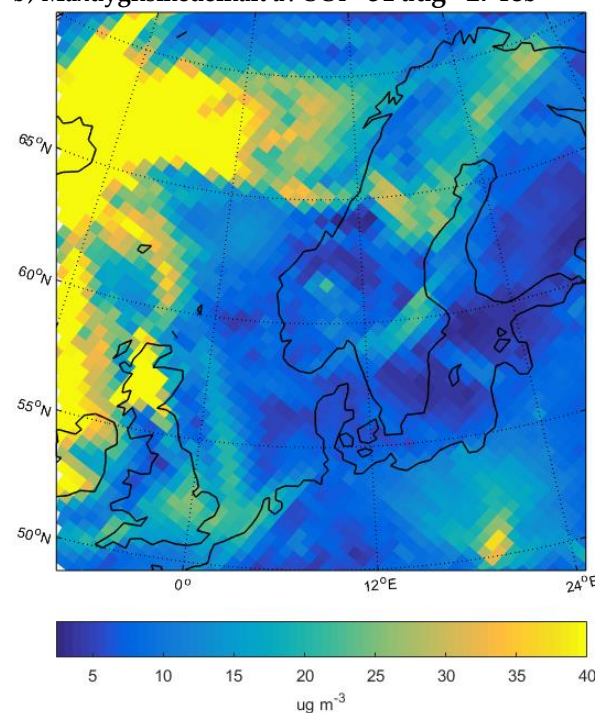
Figur 10. Jämförelse mellan modellering (EMEP modellen) och mätningar inom Krondroppsnetzets av medelhalten av SO<sub>2</sub> för perioden september 2014 till februari 2015. Stationerna är sorterade från norr till söder.

Figur 11 visar de modellerade lufthalterna av SO<sub>2</sub> för Scenario 2 under tiden för vulkanutbrottet (31 augusti – 27 februari), dels i form av en genomsnittlig halt (a), och dels i form av en maxhalt (b). De höga SO<sub>2</sub>-halterna över Island framgår tydligt, liksom höga svavelutsläpp i Polen, troligen orsakade av lokal koleldning.

a) Medelhalt av SO<sub>2</sub> - 31 aug – 27 feb



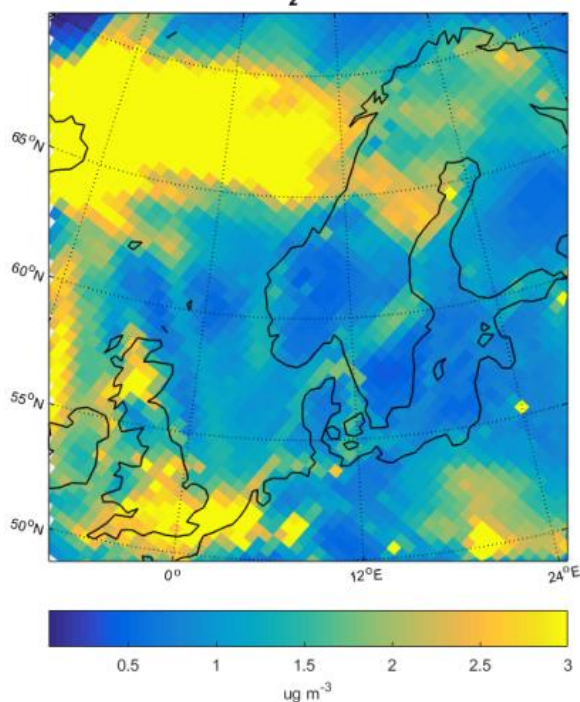
b) Maxdygnsmedelhalt av SO<sub>2</sub> - 31 aug– 27 feb



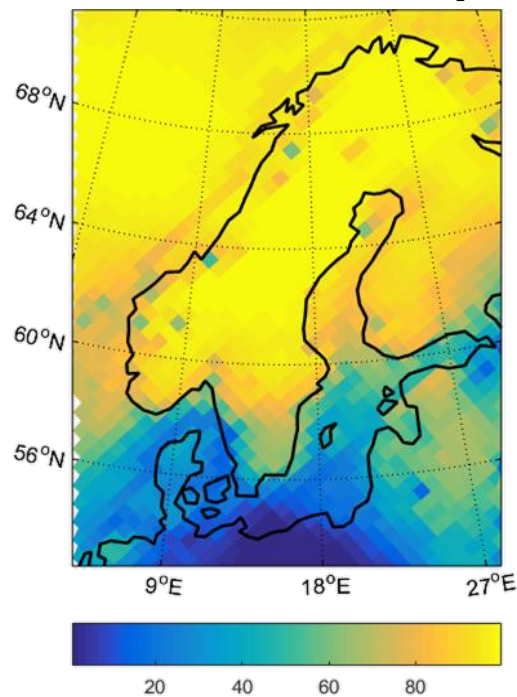
Figur 11. Lufthalt av SO<sub>2</sub> (µg m<sup>-3</sup>) under tiden för vulkanutbrottet (31 augusti – 27 februari), beräknad med EMEP-modellen, a) genomsnittliga halter; b) maxhalter.

Figur 12.a visar de modellerade SO<sub>2</sub>-halterna under september 2014, och, i likhet med Krondroppsnetets mätningar, framgår att norra Sverige generellt hade högre halter jämfört med södra Sverige. Figur 12.b visar vulkanutbrottets bidrag till SO<sub>2</sub>-halten i Sverige under september 2014. Modelleringen indikerar att svavelutsläppen från vulkanen bidrog till mer än 90 % av svavelhalterna i norra Sverige under september 2014.

a) Medelhalt av SO<sub>2</sub> – sep 2014



b) Procent av SO<sub>2</sub> från Holuhaun – sep 2014



Figur 12. Lufthalt av SO<sub>2</sub> under september 2014, beräknad med EMEP-modellen, a) Genomsnittlig lufthalt av SO<sub>2</sub> (µg m<sup>-3</sup>); b) Bidrag av SO<sub>2</sub>-halt från Holuhaun (%).

## 3.2 Svavelnedfallet påverkades också

Både mätningarna inom Krondroppsnetet och modelleringen med EMEP modellen visade att svavelnedfallet i Sverige påverkades av vulkanutbrottet på Island. Både våtdepositionen och totaldepositionen som krondropp ökade, framförallt under oktober månad. Då var det uppmätta genomsnittliga svavelnedfallet över öppet fält för hela Sverige tre gånger så högt, och nedfallet via krondropp var fem gånger så högt jämfört med treårsmedelvärdet under oktober 2011-2013. Ökningen var betydligt större i norra Sverige (350 % respektive 1240 %) jämfört med södra Sverige (130 % respektive 220 %), Se Bilaga 4.

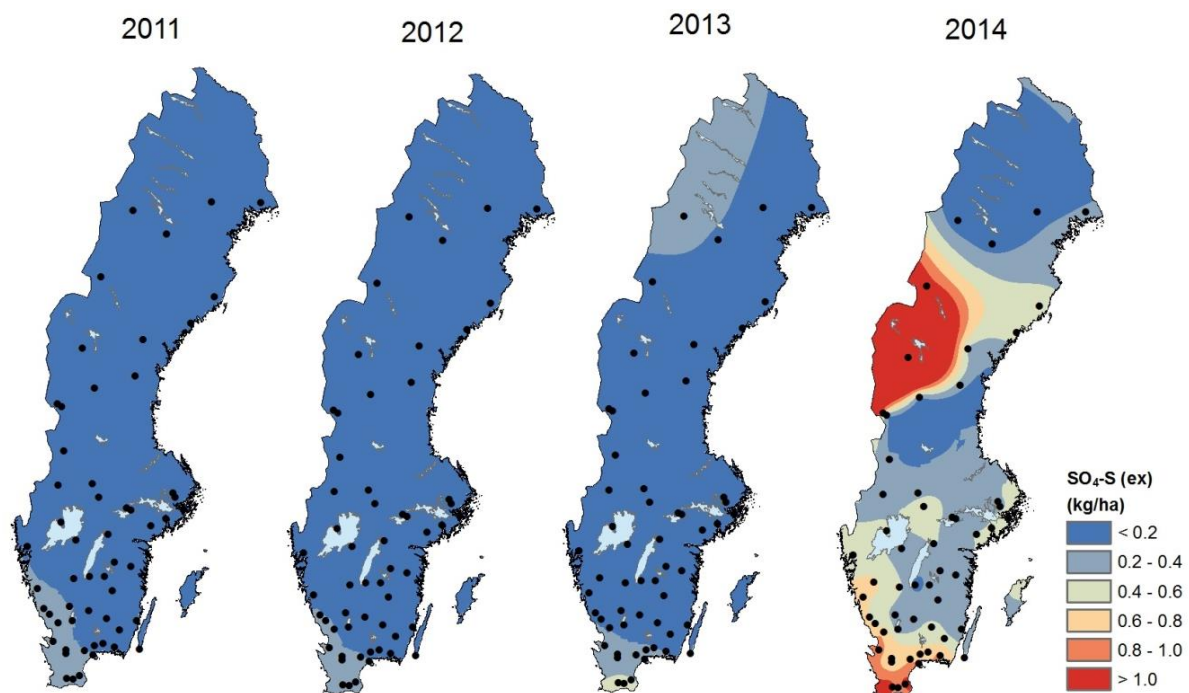
Spridningsmodelleringen visade att majoriteten av svavelnedfallet (våtdepositionen) i norra Sverige härrörde från vulkanen på Island under de 6 månader som vulkanutbrottet pågick. I vissa delar av norra Sverige var andelen mer än 80 %, men i södra Sverige var bidraget lägre.

### 3.2.1 Totaldepositionen som krondropp

Totaldepositionen som krondropp var högre än normalt i hela Sverige under perioden för vulkanutbrottet. Den största ökningen inträffade för flertalet mätstationer i oktober månad. Detta kan förklaras både av ett högt svavelutsläpp från vulkanen under oktober månad, men även av att nederbördsmängden under oktober var hög. Under september var nederbörden låg, varför en stor mängd av torrdepositionen av svavel från september, det vill säga den deposition som fastnar i trädkronorna, sköljdes ner med regnet och samlades in i krondroppsmätningarna under trädkronorna först under oktober månad. Detta bidrog till att den totala svaveldepositionen (alltså mätningarna via krondropp) blev hög under oktober.

Figur 13 visar en interpolerad karta av nedfallet via krondropp över Sverige under oktober 2011, 2012, 2013 och 2014. Vanligtvis är svavelnedfallet lägre än 0,4 kg per hektar under oktober månad, bortsett från de sydvästra delarna av Sverige. Under 2014 var nedfallet betydligt högre, framförallt vid Fiskåfjället och Hundshögen i Jämtlands län. Dessa båda ytor är belägna vid trädgränsen på hög höjd (620 respektive 780 meter över havet), och är de två lokaler som tog emot det lägsta nedfallet under oktober 2011-2013. Medelvärde under dess tre år var < 4 g kväve per hektar och månad, se Tabell 4, men under oktober 2014 var detta istället de två lokaler som tog emot det högsta svavelnedfallet via krondropp, 4,3 kg respektive 1,2 kg per hektar. Detta är till och med högre än de mest belastade ytorna i södra Sverige. Således blev den procentuella ökningen vid dessa båda mätplatser väldigt hög.

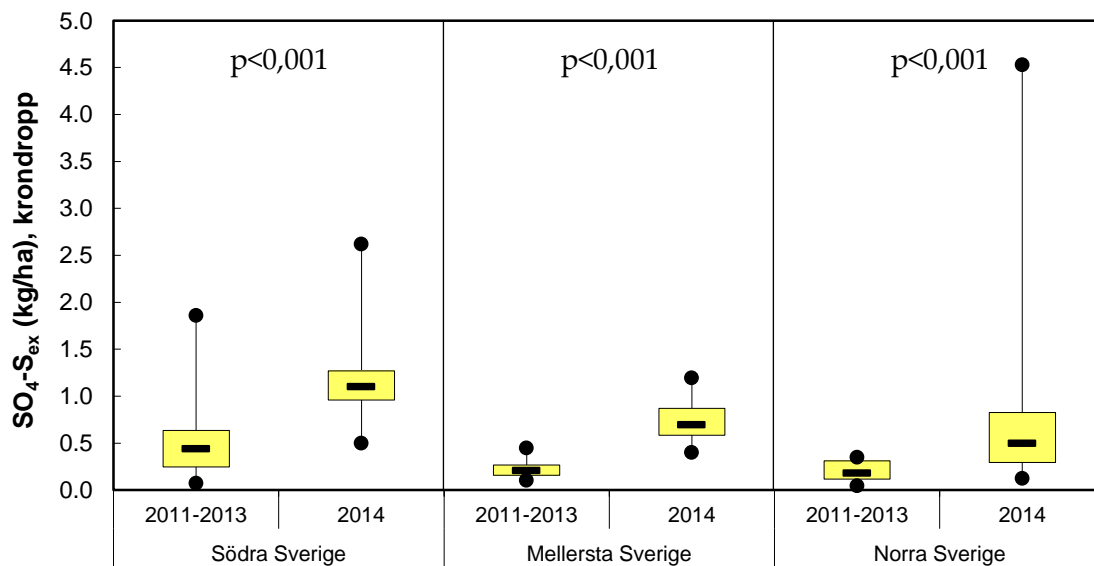
Sammanlagt ökade svavelnedfallet i krondropp som genomsnitt för hela Sverige med 370 % under oktober månad 2014 jämfört med treårsmedelvärdet för oktober månad under 2011-2013. Svavelnedfallet via krondropp ökade mest i norra Sverige, dels på grund av meteorologiska variationer som påverkade spridningen av vulkanplymen från Island, och dels beroende på att nedfallet i normala fall är betydligt lägre i norra Sverige jämfört med södra Sverige. I södra Sverige ökade svavelnedfallet i genomsnitt med 220 %, i mellersta Sverige med 760 % och i norra Sverige med 1240 %.



Figur 13. Svavelnedfallet (exklusive havssalt) som krondropp i Sverige under oktober månad, 2011-2016, baserat på interpolering (kriging) från krondroppsmätningar.

Även det totala svavelnedfallet mätt via krondropp, testades statistisk med Mann-Whitney U-test. I de statistiska analyserna när det gäller mätningarna som krondropp, ingick resultat från 12 mätplatser i norra Sverige, 12 mätplatser i mellersta Sverige samt 31 mätplatser i södra Sverige.

Enligt den statistiska analysen, var krondroppsmängden för perioden: september – november 2014 inte högre än medelvärdet för motsvarande period 2011-2013 i något område; södra, mellersta eller norra Sverige. Däremot var det statistiskt säkerställt att det totala svavelnedfallet under perioden september – november 2014 var högre jämfört med medelvärdet för motsvarande period 2011-2013 i samtliga områden; norra, mellersta och södra Sverige, se Figur 14 och Bilaga 3.



Figur 14. Medianer av olika stationers summerade totala svavelnedfall mätt via krondropp för perioden september - november, dels som ett medelvärde för perioden 2011-2013 samt för 2014 för tre olika regioner i Sverige; södra, mellersta och norra Sverige. "Boxen" visar mängder mellan nedre och övre kvartilen, vilket motsvarar 50 % av värdena. Medianen visas med ett streck i boxen. De lodräta strecken som går ut från boxen, visar det lägsta och högsta värdet.

**Tabell 3. Svavelnedfall (g/ha) som krondropp under den månad (september 2014-februari 2015) då ökningen var som störst, det vill säga olika månader visas för olika mätplatser. Dessutom visas treårsmedelvärdet för de tre föregående åren, samt den procentuella ökningen. Stationerna är sorterades från norr till söder. (Se Figur B.2.1 – B.2.3 i Bilaga 2 för mätplatsernas lokalisering.)**

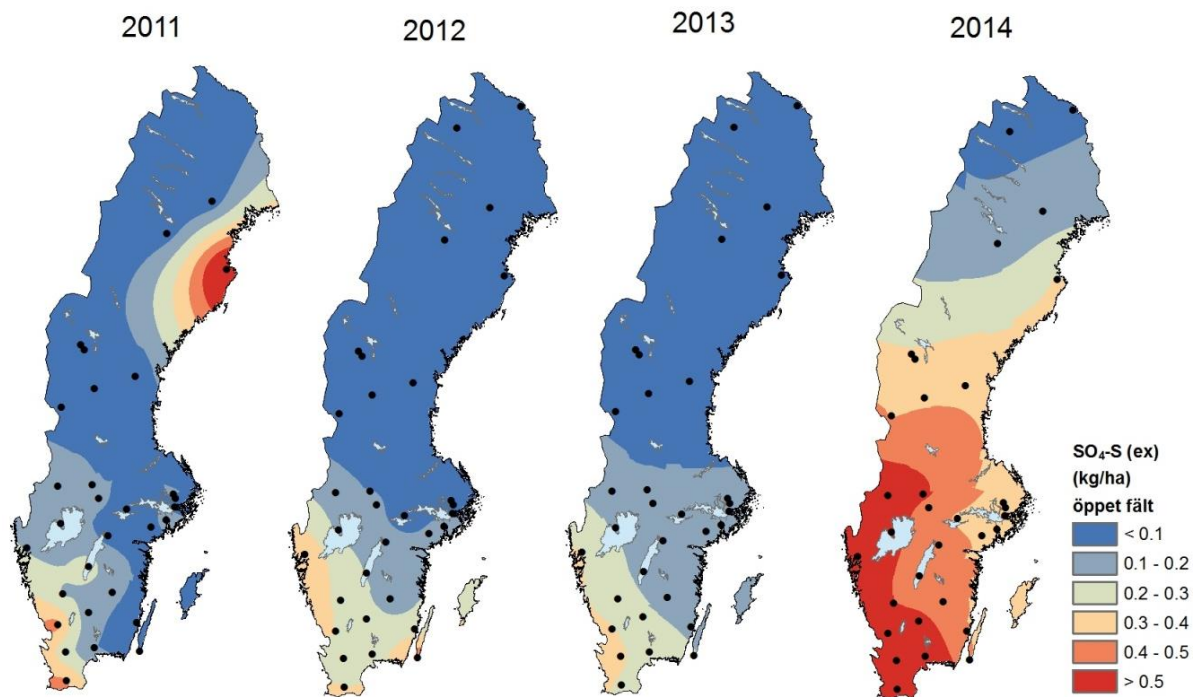
LokNamn	Län	Månad	SO <sub>4</sub> -S (g/ha)	SO <sub>4</sub> -S (g/ha)	Förhöjning
			exklusive havssalt medel 2011-2013	exklusive havssalt 2014	
Myrberg	Norrbottens län	10	36	144	300%
Amarnäs	Västerbottens län	12	7,7	172	2122%
Högbränna	Västerbottens län	10	23	114	395%
Fiskåfjället A	Jämtlands län	10	0,3	1182	380662%
Bäcksjö	Västerbottens län	10	95	485	413%
Lakamark	Västernorrlands län	10	88	524	492%
Nymyran	Jämtlands län	10	18	357	1926%
Hundshögen A	Jämtlands län	10	3,3	4317	129614%
Storulvsjön	Västernorrlands län	10	11	298	2529%
Sör-Digertjärnen	Jämtlands län	10	4,0	198	4852%
Transtrandsberget	Värmlands län	10	18	233	1209%
Blåbärskullen	Värmlands län	10	80	295	269%
Arlanda	Stockholms län	10	71	391	449%
Bergby	Stockholms län	10	24	335	1310%
Kvisterhult	Västmanlands län	10	7,9	345	4297%
Farstanäs	Stockholms län	10	44	418	853%
Södra Averstad	Värmlands län	10	27	435	1506%
Edeby	Södermanlands län	10	24	410	1589%
Höka	Östergötlands län	10	16	411	2446%
Stora Ek	Västra Götalands län	10	23	283	1131%
Hensbacka	Västra Götalands län	12	307	644	110%
Solltorp	Östergötlands län	11	15	302	1890%
Risebo	Kalmar län	10	32	325	926%
Bordsjö	Jönköpings län	10	58	266	361%
Värnvik	Jönköpings län	10	12	117	864%
Humlered	Västra Götalands län	10	109	479	340%
Söstared	Hallands län	10	203	636	213%
Fagerhult	Jönköpings län	11	130	765	487%
Mellby	Jönköpings län	10	64	328	411%
Djupeåsen	Hallands län	10	251	608	142%
Tagel	Kronobergs län	10	50	294	488%
Borgared	Hallands län	1	169 <sup>1)</sup>	392 <sup>2)</sup>	132%
Attsjö	Kronobergs län	10	125	478	282%
Rockneby	Kalmar län	11	91	671	634%
Angelstad	Kronobergs län	10	107	289	171%
Timrilt	Hallands län	10	259	789	205%
Alsjö	Kalmar län	11	118	617	423%
Kullahus	Hallands län	10	383	888	132%
Hjärtsjömåla	Blekinge län	10	110	630	471%
Komperskulla	Blekinge län	10	136	749	449%
Vång	Blekinge län	10	124	867	598%
Ottenby	Kalmar län	9	159	403	153%
Hissmossa	Skåne län	10	192	677	253%
Arkelstorp	Skåne län	10	184	795	332%
Kampholma	Skåne län	12	168	416	148%
Ryssberget	Blekinge län	10	310	780	152%
Maryd	Skåne län	10	391	1144	192%
Stenshult	Skåne län	10	700	1145	64%
Baldringe	Skåne län	10	260	616	137%

1) För januari månad representeras medelvärdet av år 2012-2014.

2) Januari månad redovisas för år 2015.

### 3.2.2 Mätningar av svavel i våtdeposition

Figur 15 visar en interpolerad karta över Sverige av nedfallet på öppet fält under oktober 2011, 2012, 2013 och 2014. Vanligtvis är svavelnedfallet över öppet fält lägre än 0,4 kg per hektar i Sverige som helhet under oktober månad, och något högre i de sydvästra delarna av landet. I norra Sverige är nedfallet så lågt som < 0,1 kg per hektar (med undantag av Holmsvattnet som år 2011 hade ett högt svavelnedfall på 0,7 kg/ha/månad). Under 2014 var nedfallet betydligt högre än normalt. I sydvästra Sverige var nedfallet högre än 0,5 kg per hektar i oktober 2014. I södra Sverige var ökningen 130 %, i mellersta Sverige 270 % och i norra Sverige 350 %. Nedfallet som helhet under 2014, ökade med 200 % jämfört med treårsmedelvärdet för oktober månad under 2011-2013.



Figur 15. Svavelnedfallet (exklusive havssalt) på öppet fält i Sverige under oktober månad, 2011-2016, baserat på interpolering (kriging) från mätningar på öppet fält.

Tabell 4 visar svavelnedfallet över öppet fält och ökningen vid varje mätplats under den månad då ökningen var som störst (jämfört med treårsmedelvärdet 2011-2013 för motsvarande månad). För flertalet mätplatser var ökningen störst under oktober månad. Ökningen var allra störst vid Hundshögen och Sör Digertjärnen i Jämtlands län, där nedfallet över öppet fält ökade med mer än 1500 %. Vid Hundshögen förekommer två olika mätningar på olika altitud, dels 670 m och dels 1250 m över havet. Nedfallet var något högre vid mätplatsen som låg på hög höjd (1250 m över havet), se Tabell 4. Även Storulvsjön i Västernorrland hade en kraftig ökning (1000 %). Dessa tre mätplatser karaktäriseras av ett lågt svavelnedfall (< 40 g/ha/månad) under normala omständigheter, men i oktober 2014 var nedfallet exceptionellt högt, > 300 g/ha. Även i södra Sverige ökade svavelnedfallet under hösten 2014 jämfört med de tre föregående åren, men här var ökningen inte lika kraftig procentuellt sett.

Det bör noteras att september 2014 var ovanligt torr i större delen av Sverige jämfört med normal nederbörd under september (SMHI, [www.smhi.se](http://www.smhi.se)). Norra Sverige var särskilt torrt och fick mindre än 50 % av den långsiktiga genomsnittliga nederbörden, med undantag av fjällkedjan. En högre nederbörd i september skulle förmodligen ha resulterat i en större mängd svavelnedfall i form av våtdeposition. Oktober månad var å andra sidan blötare eller mycket blötare än normalt (med

undantag för Lappland och norra Norrbotten). Landets mellersta delar hade de största nederbördsöverskotten där det på sina håll föll mer än tre gånger så mycket nederbörd som normalt. Allra mest nederbörd kom det i Bohuslän.

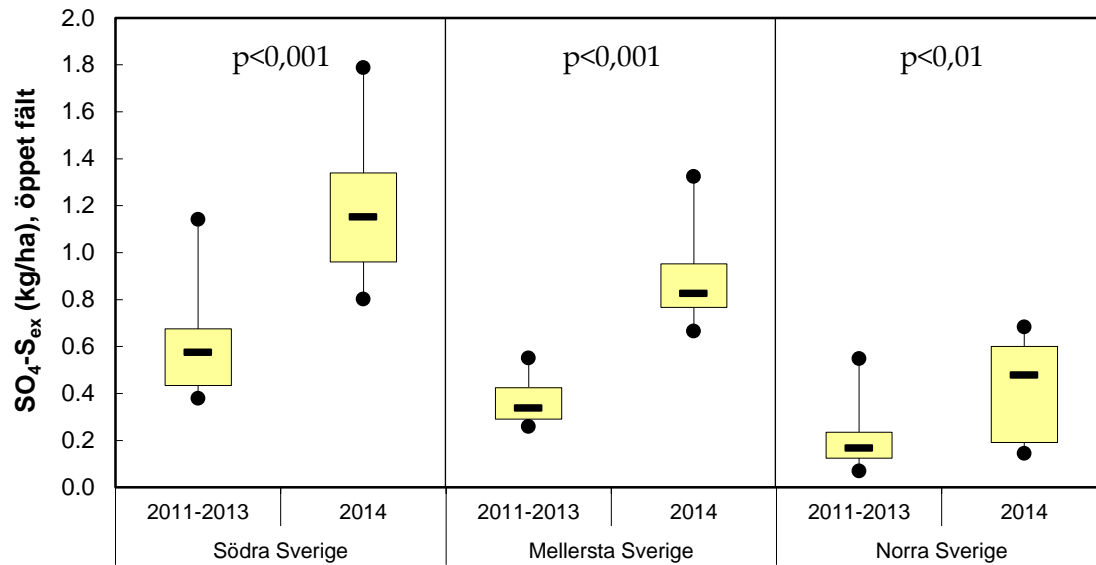
**Tabell 4. Svavelnedfall (g/ha) på öppet fält under den månad (september 2014-februari 2015) då ökningen var som störst, det vill säga olika månader visas för olika mätplatser. Dessutom visas treårsmedelvärdet för motsvarande månad för de tre föregående åren, samt den procentuella ökningen. Stationerna är sorterade från norr till söder. (Se Figur B.2.1 – B.2.3 i Bilaga 2 för mätplatsernas lokalisering.)**

Mätplats	Län	Månad	SO <sub>4</sub> -S (g/ha)	SO <sub>4</sub> -S (g/ha)	Förhöjning
			exklusive havssalt medel 2011-2013	exklusive havssalt 2014	
Myrberg	Norrbottens län	10	46	144	215%
Högbränna	Västerbottens län	12	33	77	133%
Holmsvattnet	Västerbottens län	10	279	374	34%
Hundshögen H	Jämtlands län	10	18	302	1577%
Hundshögen L	Jämtlands län	10	16	291	1753%
Storulvsjön	Västernorrlands län	10	37	404	1000%
Sör-Digertjärnen	Jämtlands län	10	24	407	1628%
Blåbärskullen	Värmlands län	10	159	536	238%
Arlanda	Stockholms län	11	54	216	300%
Bergby	Stockholms län	11	68	256	277%
Kvisterhult	Västmanlands län	10	63	343	447%
Farstanäs	Stockholms län	9	208	426	105%
Södra Averstad	Värmlands län	10	131	565	332%
Edeby	Södermanlands län	11	40	227	463%
Höka	Östergötlands län	11	126	520	314%
Hensbacka	Västra Götalands län	10	353	800	127%
Visingsö	Jönköpings län	11	66	245	270%
Fagerhult	Jönköpings län	10	142	470	231%
Tagel	Kronobergs län	10	196	616	215%
Rockneby	Kalmar län	11	140	559	300%
Timrilt	Hallands län	12	460	1074	133%
Komperskulla	Blekinge län	10	161	726	350%
Ottenby	Kalmar län	9	99	314	217%
Hissmossa	Skåne län	9	166	301	82%
Stenshult	Skåne län	10	331	1156	249%

Även svavelnedfallet med nederbörden över öppet fält testades statistiskt med Mann-Whitney U-test. I de statistiska analyserna när det gäller mätningarna över öppet fält ingick resultat från 10 mätplatser i norra Sverige, 10 mätplatser i mellersta Sverige samt 12 mätplatser i södra Sverige.

Liksom för krondroppsmängden var, enligt den statistiska analysen, inte nederbörds­mängden över öppet fält för perioden september – november 2014 högre än medelvärdet för motsvarande period 2011-2013 i något område; södra, mellersta eller norra Sverige. Däremot var det statistiskt säkert att svavelnedfallet med nederbörden var högre under perioden september – november 2014 jämfört med medelvärdet för motsvarande period 2011-2013 i samtliga områden; norra, mellersta eller södra Sverige, Figur 16 och Bilaga 3.

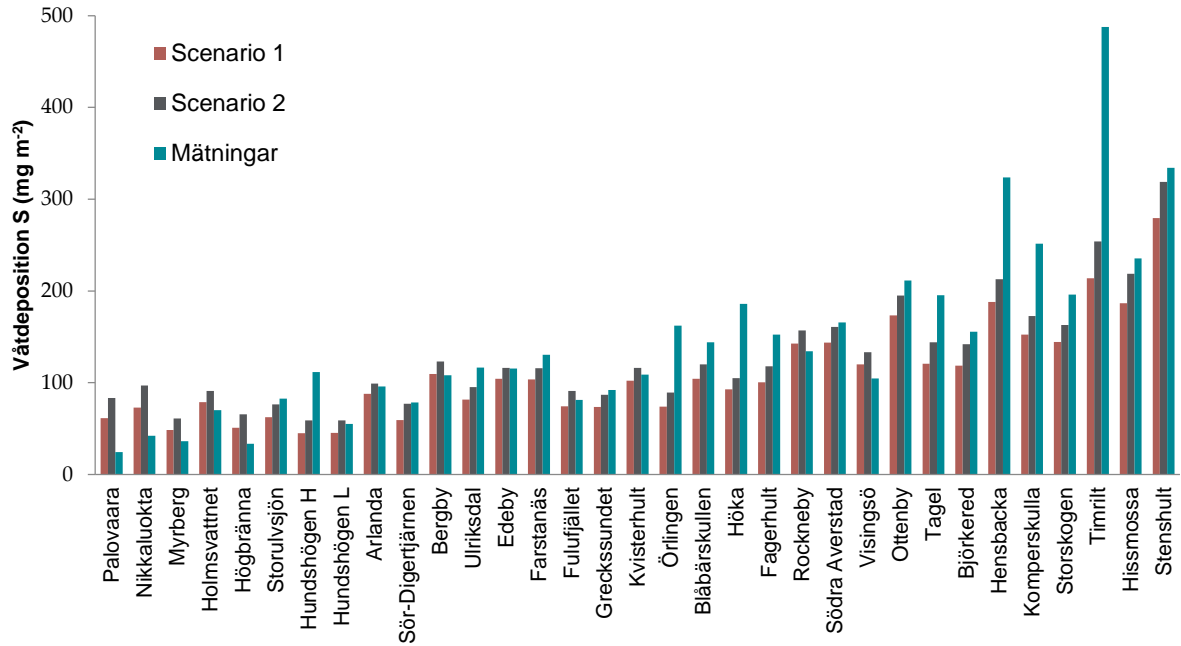




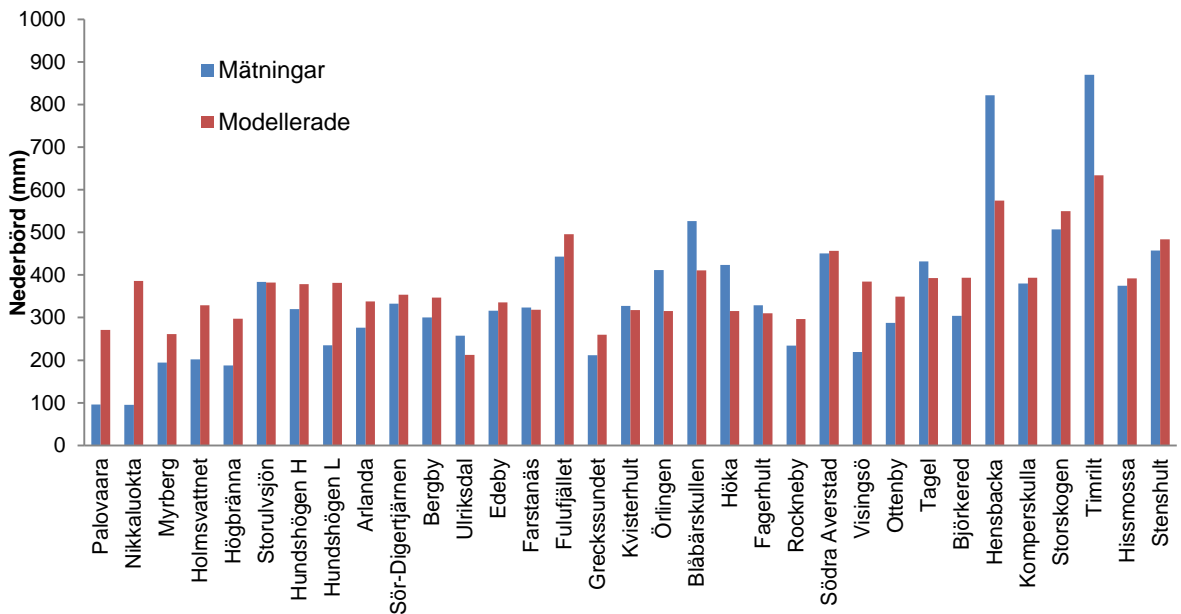
Figur 16. Medianen av olika stationers summerade svavelnedfall med nederbörden över öppet fält för perioden september - november, dels som ett medelvärde för perioden 2011-2013 samt för 2014 för tre olika regioner i Sverige; södra, mellersta och norra Sverige. "Boxen" visar mängder mellan nedre och övre kvartilen, vilket motsvarar 50 % av värdena. Medianen visas med ett streck i boxen. De lodräta strecken som går ut från boxen, visar det lägsta och högsta värdet.

### 3.2.3 Bidrag av svavel i nederbörd från Holuhraun

Figur 17 visar en jämförelse mellan det EMEP-modellerade svavelnedfallet (våtdeposition) och nedfallsmätningarna på öppet fält inom Krondroppsnetzets under september 2014 till februari 2015. Jämförelsen visar på relativt god överensstämmelse mellan de modellerade och uppmätta halterna, men modellvärdena underskattar våtdepositionen något i södra Sverige, medan den överskattar våtdepositionen på de mest nordliga mätplatserna. Detta hänger ihop med modelleringen av nederbörden, där nederbördsmängden beräknad med EMEP-modellen överskattas något i norr och underskattas i söder (Figur 18). Liksom för SO<sub>2</sub>-halterna visade våtdepositionen baserat på Scenario 2 den bästa överensstämmelsen med mätningarna. Därför presenteras resultaten från Scenario 2 framöver.



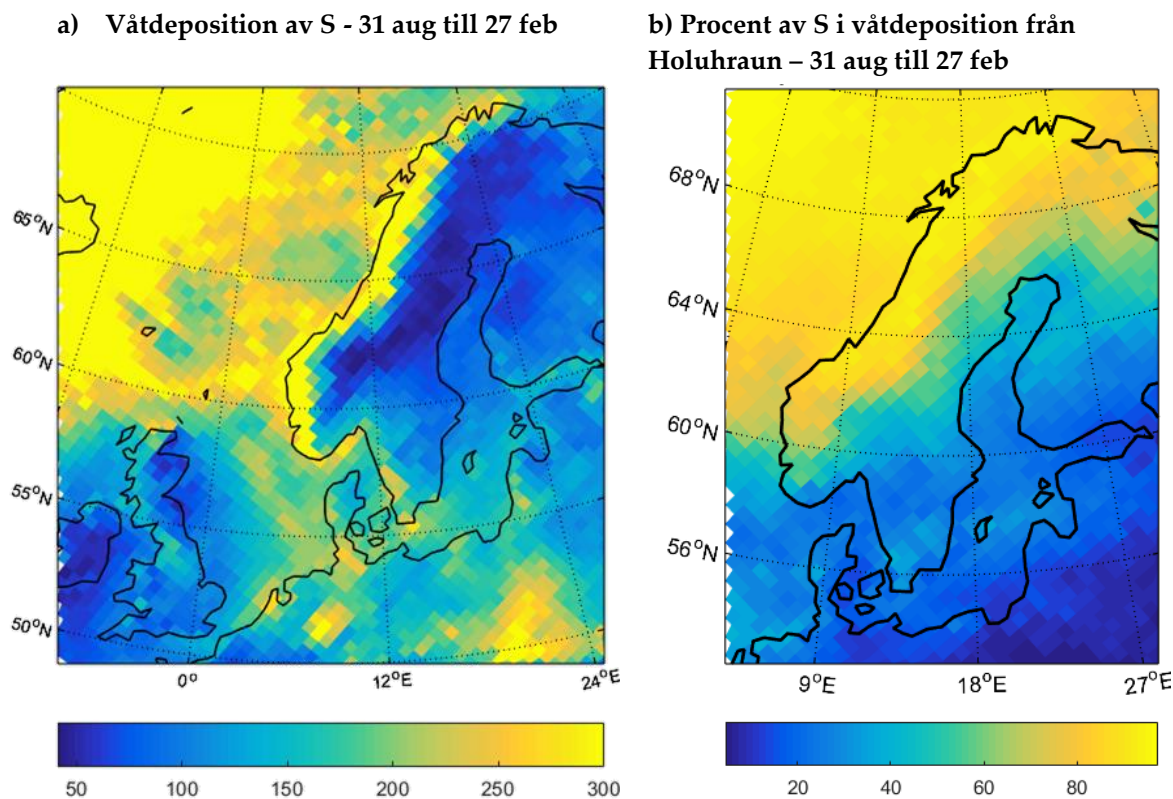
Figur 17. Jämförelse mellan den totala våtdepositionen av svavel modellerad med hjälp av EMEP modellen och nedfallsmätningar av svavel på öppet fält inom Krondroppsnätet för perioden september 2014 till februari 2015. Stationerna är sorterade från norr till söder.



Figur 18. Jämförelse mellan modellerad nederbördsmängd (EMEP modellen) och nederbördsmängder vid mätningar på öppet fält inom Krondroppsnätet för perioden september 2014 till februari 2015. Stationerna är sorterade från norr till söder.

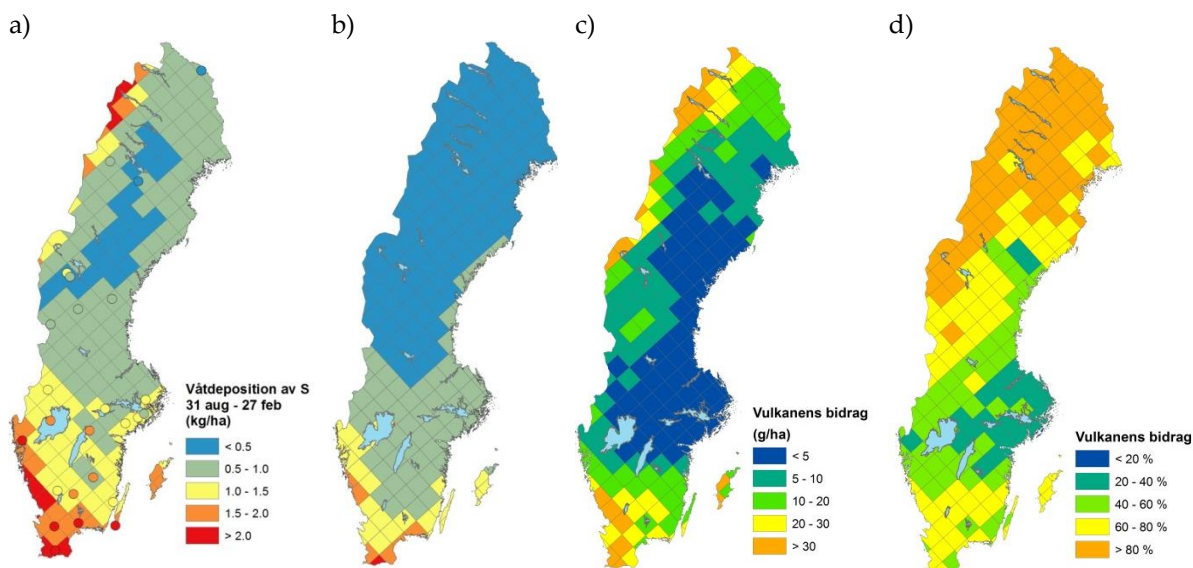
Figur 19a visar våtdepositionen av svavel under tiden för vulkanutbrottet (september 2014 – februari 2015) beräknad med EMEP-modellen. I figuren framgår att framförallt Norges västkust fick ta emot ett högt svavelnedfall under tiden för vulkanutbrottet. Nedfallet minskade dock kraftigt in över norra Sveriges inland. Figur 19b visar hur många procent av våtdeposition av svavel som härrör från Holuhraun baserat på beräkningarna med EMEP-modellen. Figuren indikerar att majoriteten av svavelnedfallet i norra Sverige härrörde från vulkanen på Island under

de 6 månader som vulkanutbrottet pågick (september 2014 – februari 2015). I vissa delar av norra Sverige var andelen från vulkanen mer än 90 %. I södra Sverige var bidraget lägre, <80 %, se även Figur 20c.



Figur 19. a) Våtdeposition av svavel ( $\text{mg m}^{-2}$ ), beräknad med EMEP-modellen under tiden för vulkanutbrottet (31 augusti – 27 februari). b) Procent av svavel i våtdeposition från Holuhraun (%).

Figur 20a visar den modellerade våtdepositionen (EMEP) under de 6 månader som vulkanutbrottet pågick, tillsammans med mätningarna på öppet fält i form av cirklar. I likhet med jämförelsen i Figur 17, framgår det även här att modellen underskattar våtdepositionen i jämförelse med mätningarna inom Krondroppsnätet. Figur 20b visar modellresultatet för motsvarande tidsperiod utan emissionerna från vulkanen. Differensen mellan karta 20a och 20b, dvs vulkanens bidrag till nedfallet under de 6 månaderna, visas i Figur 20c. Enligt modellberäkningen bidrog vulkanen till ett högre nedfall i hela Sverige, framförallt i de nordvästligaste delarna, och längst ner i söder, men i mellersta Sverige och de sydöstra delarna av norra Sverige var bidraget litet (<5 g/ha/6månader). Figur 20d visar att den relativa ökningen blev större i norr eftersom nedfallet där vanligtvis är litet. I norra Sverige uppskattades vulkanens bidrag till mer än 80% (Figur 19b och 20d).



Figur 20. a) Våtdeposition av S (kg/ha), inklusive bidraget från havssalt, beräknad med EMEP modellen, under 31 augusti – 27 februari, samt mätningarna på öppet fält i form av cirklar, b) utan emissionerna från vulkanen, c) vulkanens bidrag (g/ha/6månader), d) vulkanens bidrag (%).

Vi har inte gjort någon jämförelse med totaldepositionen av svavel från EMEP modellen. Detta beror på stora osäkerheter i modellen med avseende på torrdepositionsandelen. Dessutom ackumuleras depositionen vid krondroppsättningarna i snön och stämmer därför inte tidsmässigt med modellen. Vi kan dock konstatera att torrdepositionen av svavel från vulkanen sannolikt var hög, eftersom krondroppsättningarna av svavel var höga (se 3.2.1).

### 3.2.4 Effekten på årsmedelvärdet

Om man analyserar data för svavelnedfallet och lufthalterna av SO<sub>2</sub> på kalenderår så syns effekten tydligt i hela landet. Det bör dock noteras att när vi tittar på årsmedelvärdena för hydrologiska år blir effekten av vulkanutbrottet relativt liten, speciellt i mellersta och södra Sverige (Pihl Karlsson, m.fl. 2017a & b). Detta beror till stor del på att inledningen av vulkanutbrottet (september 2014) tillfaller det hydrologiska året 2013/2014, medan återstoden av vulkanutbrottet tillfaller det hydrologiska året 2014/2015. De högsta mätvärdena noterades under september och oktober 2014, men dessa båda månader tilldelas alltså olika hydrologiska år. Även om nedfallet och lufthalterna under dessa två månader var flera gånger högre än normalt, så blir påverkan på det årliga nedfallet (hydrologiskt år) relativt litet. I norra Sverige har vi dock noterat att effekten syns även då analysen görs på hydrologiskt år (Pihl Karlsson, m.fl. 2017c).

## 4 Slutsatser

Inom Krondroppsnetzets mätningar uppmättes förhöjda halter av SO<sub>2</sub> och högre svavelnedfall än normalt under perioden för vulkanutbrottet vid Holuhraun på Island 31:a augusti 2014 - 27:e februari 2015. Dessa observationer kompletterar tidigare studier, t.ex. Schmidt m.fl. (2015) och Twigg m.fl. (2016) som rapporterat liknande observationer för lufthalter av SO<sub>2</sub> och svavelnedfall i norra Europa för samma period.

Vulkanutbrottet påverkade periodvis luftkvaliteten i Sverige, särskilt i norra Sverige, som normalt är en relativt ren miljö utan större föroreningskällor. Effekten på luftkvaliteten i Sverige noterades som ökade lufthalter av SO<sub>2</sub>, särskilt i september 2014 och ett högre svavelnedfall framförallt under oktober jämfört med tidigare år.

Den uppmätta genomsnittliga SO<sub>2</sub>-halten i september 2014 över Sverige, var sex gånger så hög som motsvarande treårsmedelvärde för september under 2011-2013. Nedfallet av svavel med nederbörden (våtdepositionen) var ca tre gånger så hög under oktober 2014 över Sverige jämfört med motsvarande treårsmedelvärde för oktober under 2011-2013. Totaldepositionen som krondropp ökade ännu mer och var ca fem gånger högre. Ökningen var störst i norra Sverige, där lufthalterna var 25 gånger högre än normalt i september, och under oktober var våtdepositionen i norra Sverige 5 gånger högre och totaldepositionen 13 gånger högre än normalt. I södra och mellersta Sverige var ökningen betydligt mindre.

Om man analyserar data på kalenderår så syns effekten tydligt i hela landet, men om man analyserar data på hydrologiskt år, så blir effekten av vulkanutbrottet relativt liten, speciellt i södra och mellersta Sverige. Detta beror framförallt på att inledningen av vulkanutbrottet (september 2014) tillfaller det hydrologiska året 2013/2014, medan återstoden av vulkanutbrottet tillfaller det hydrologiska året 2014/2015.

Modelleringen av vulkanplymens spridning med hjälp av EMEP-modellen bekräftade både högre lufthalter av SO<sub>2</sub> över Sverige och ett högre svavelnedfall på grund av vulkanutbrottet. Modellvärdena underskattade SO<sub>2</sub>-halterna i förhållande till mätningarna, framförallt i norra Sverige. Detta beror troligtvis dels på att modellen generellt underskattar SO<sub>2</sub>-halterna i norra Sverige, och dels på att emissionerna från vulkanen kan vara underskattade. De modellerade och uppmätta svavelnedfallet var av samma storleksordning, men modellvärdena underskattade våtdepositionen något i södra Sverige, medan den överskattade nedfallet på de mest nordliga mätplatserna. Spridningsmodelleringen visade att över 90 % av SO<sub>2</sub>-halterna under september 2014 i stora delar av norra Sverige orsakades av SO<sub>2</sub>-emissioner från Holuhraun. Under tiden för vulkanutbrottet var vulkanens bidrag till våtdepositionen av svavel i Sverige också högt och norra Sverige hade ett nedfall där mer än 80 % härrörde från vulkanen.

Även om det antropogena svavelnedfallet och lufthalten av SO<sub>2</sub> minskat dramatiskt i Sverige under de senaste 30 åren, belyser denna studie vikten av att upprätthålla luftkvalitetsmätningar. Krondroppsnetzets mätningar bekräftar inte bara olika områdens status vad gäller återhämtning från förurning och kvävenedfallets effekter på markvattenkemin, utan är också ett användbart verktyg för att spåra effekterna av föroreningshändelser såsom vulkaniska utsläpp av SO<sub>2</sub>.

## 5 Tack

Den här studien utgör en temarapport inom Krondroppsnätet som finansieras av Luftvårdsförbunden i Blekinge, Jönköpings, Kalmar, Kronobergs, Skåne, Västmanlands, Värmlands och Östergötlands län samt Länsstyrelserna i Dalarnas, Hallands, Jämtlands, Norrbottens, Stockholms och Södermanlands, Västerbottens, Västernorrlands och Västra Götalands län samt Boliden Mineral AB och Swedavia AB. Vi vill också tacka all personal och alla andra hängivna kollegor i fält- och laboratorieverksamhet för ett fantastiskt arbete.

## 6 Referenser

- Arason, P., H. Björnsson, G. N. Petersen, E. B. Jónasdóttir, and B. B. Oddsson 2015. Plume height during the 2014–2015 Holuhraun volcanic eruption, *Geophys. Res., Abstracts*, EGU2015-11498.
- Barsotti, S., Jonsdottir, K., Roberts, M.J., Pfeffer, M.A., Ófeigsson, B.G., Vögjford, K., Stefánsdóttir, G. and Jónasdóttir, E.B. 2015. An overview of the Icelandic Volcano Observatory response to the on-going rifting event at Bárðarbunga (Iceland) and the SO<sub>2</sub> emergency associated with the gas-rich eruption in Holuhraun, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU2015-12581, 2015 EGU General Assembly 2015.
- Delmelle, P. 2003. Environmental impacts of tropospheric volcanic gas plumes. In: Oppenheimer, C., Pyle, D.M. Barclay, J. (Eds.), *Volcanic Degassing*. Geological Society, London, Special Publications 213, pp. 381-399.
- EEA, European Environmental Agency 2016. Emissions of the main air pollutants in Europe. Available at <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/main-anthropogenic-air-pollutant-emissions/assessment-3>.
- EMEP, 2016. EMEP Status Report 1/2016. "Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components" - Joint MSC-W & CCC & CEIP Report. ISSN 1504-6109 (print), ISSN 1504-6192 (on-line).
- Gíslason, S. R., Stefánsdóttir, G., Pfeffer, M. A., Barsotti, S., Jóhannsson, T., Galeczka, I., Bali, E., Sigmarrsson, O., Stefánsson, A., Keller, N. S., Sigurdsson, Á., Bergsson, B., Galle, B., Jacobo, V. C., Arellano, S., Aiuppa, A., Jónasdóttir, E. B., Eiríksdóttir, E. S., Jakobsson, S., Guðfinnsson, G. H., Halldórsson, S. A., Gunnarsson, H., Haddadi, B., Jónsdóttir, I., Thordarson, T., Riishuus, M., Högnadóttir, T., Dürig, T., Pedersen, G. B. M., Höskuldsson, Á., and Gudmundsson, M. T. 2015. Environmental pressure from the 2014–15 eruption of Bárðarbunga volcano, Iceland, *Geochemical Perspectives Letters*, 1, 84–93, doi:10.7185/geochemlet.1509.
- Grahn, H., von Schoenberg, P., and Brännström, N. 2015. What's that smell? Hydrogen sulphide transport from Bardarbunga to Scandinavia, *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 303, 187–192, doi:10.1016/j.jvolgeores.2015.07.006.
- Hofmann, D.J. and Solomon, S. 1989. Ozone destruction through heterogeneous chemistry following the eruption of El Chichón, *J. Geophys. Res.*, 94, 5029-5041, doi:10.1029/JD094iD04p05029.
- Ialongo, I., Hakkarainen, J., Kivi, R., Anttila, P., Krotkov, N. A., Yang, K., Li, C., Tukiainen, S., Hassinen, S., and Tamminen, J. 2015. Comparison of operational satellite SO<sub>2</sub> products with groundbased observations in northern Finland during the Icelandic Holuhraun fissure eruption, *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 2279–2289, doi:10.5194/amt-8-2279-2015.

- Malmer, E. (2014) Vulkanism– en fara för vår hälsa? - Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet, kandidatarbete, nr 382.
- Mather, T. A.: Volcanoes and the environment: Lessons for understanding Earth's past and future from studies of presentday volcanic emissions. 2015. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 304, 160–179, doi:10.1016/j.jvolgeores.2015.08.016.
- Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E. 2011. Reduced European Emissions Of S And N – Effects On Air Concentrations, Deposition And Soil Water Chemistry In Swedish Forests. *Environmental Pollution* 159, 3571-3582.
- Pihl Karlsson, G., Akselsson, C. Hellsten, S. och Karlsson, P.E. 2017a. Krondroppsnätet i södra Sverige -övervakning av luftföroreningar och dess effekter i skogsmiljön Resultat till och med september 2016, IVL Rapport C236.
- Pihl Karlsson, G., Akselsson, C. Hellsten, S. och Karlsson, P.E. 2017b. Krondroppsnätet i mellersta Sverige -övervakning av luftföroreningar och dess effekter i skogsmiljön Resultat till och med september 2016, IVL Rapport C236.
- Pihl Karlsson, G., Akselsson, C. Hellsten, S. och Karlsson, P.E. 2017c. Krondroppsnätet i norra Sverige -övervakning av luftföroreningar och dess effekter i skogsmiljön Resultat till och med september 2016, IVL Rapport C240.
- Robock, A. 2000. Volcanic eruptions and climate. *Rev. Geophys.*38. 191-219.
- Schmidt, A., Carslaw, K. S., Mann, G. W., Rap, A., Pringle, K. J., Spracklen, D. V., Wilson, M., and Forster, P. M. 2012. Importance of tropospheric volcanic aerosol for indirect radiative forcing of climate, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 7321–7339, doi:10.5194/acp-12-7321-2012,.
- Schmidt, A., Leadbetter, S., Theys, N., Carboni, E., Witham, C.S., Stevenson, J. A., Birch, C. E., Thordarson, T., Turnock, S., Barsotti, S., Delaney, L., Feng, W. H., Grainger, R. G., Hort, M.C., Hoskuldsson, A., Ialongo, I., Ilyinskaya, E., Johannsson, T., Kenny, P., Mather, T. A., Richards, N. A. D., and Shepherd, J. 2015. Satellite detection, long-range transport, and air quality impacts of volcanic sulfur dioxide from the 2014–2015 flood lava eruption at Baroarbunga (Iceland), *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 120, 9739–9757, doi:10.1002/2015jd023638.
- Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R. Emberson, L.D. Fagerli, H., Flechard, C.R., Hayman, G.D., Gauss, M., Jonson, J.E., Jenkin, M.E., Nyíri, A., Richter, C., Semeena, V.S., Tsyro, S., Tuovinen, J.-P., Valdebenito, A and Wind, P. 2012. The EMEP MSC-W chemical transport model– technical description, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 7825–7865, 2012. [www.atmos-chem-phys.net/12/7825/2012/doi:10.5194/acp-12-7825-2012](http://www.atmos-chem-phys.net/12/7825/2012/doi:10.5194/acp-12-7825-2012).
- SMHI. 2014. Swedish Meteorological and Hydrological Institute:
- <http://www.smhi.se/klimat/manadens-vader-och-vatten/sverige/manadens-vader-i-sverige/september-2014-varm-och-mestadels-torr-men-med-ett-litet-storminslag-1.77913>
  - <http://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/oktober-2014-mestadels-mild-och-nederbordsrik-1.78937>
- Smith, S.J., Vaan Aardenne, J., Klimont, Z., Andres, R.J., Volke, A., Delgado Arias, S. 2011. Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850-2005. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11, 1101-1116.
- Thordarson, T. Self, S. 2003. Atmospheric and environmental effects of the 1783-1784 Laki eruption: a review and reassessment. *Journal of Geophysical Research* 108, NO. D1, 4011.
- Twigg, M.M., Ilyinskaya, E. Beccaceci, S. Green, D.C., Jones, M.R., Langford, B., Leeson, S.R., Lingard, J.J.N., Pereira, G-M., Carter, H. Poskitt, J., Richter, A., Ritchie, S., Simmons, I., Smith, R.I., Tang, Y.S., Van Dijk, N., Vincent, K., Nemitz, E., Vieno, M. and Braban, C.F. 2016. Impacts of the 2014–2015 Holuhraun eruption on the UK atmosphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 11415-11431, 2016, doi:10.5194/acp-16-11415-2016.

## Bilaga 1 – Hälsoeffekter av svaveldioxid

Svaveldioxid (SO<sub>2</sub>) kan orsaka negativa hälsoeffekter både avseende korttids- och långtidsexponering (Naturvårdsverket, 2014). Enligt riktlinjerna fastställda av World Health Organization (WHO) bör inte korttidshalter (10 minutersmedel) överskrida 500 µg/m<sup>3</sup> medan dygnshalter inte bör överskrida 20 µg/m<sup>3</sup> (WHO, 2005), se Tabell B.1.1 Halter över riktlinjerna specificerade av WHO anses kunna orsaka luftvägsproblem, hjärtkärlsjukdomar och kan bidra till ökat antal förtida dödsfall (WHO, 2005). För att SO<sub>2</sub> ska vara direkt dödligt behöver halten överskrida 400 ppm (~1 064 000 µg/m<sup>3</sup>, omvandlingsfaktor 2661 vid 20°C och 1 atm) (Von Burg, 1999).

**Tabell B.1.1. WHO riktlinjer för luftkvalitet avseende SO<sub>2</sub>**

World Health Organization (WHO) riktlinjer till skydd för människors hälsa:	
Medelvärdestid	Värde
10 minuter	500 µg/m <sup>3</sup>
1 dygn	20 µg/m <sup>3</sup>

NATURVÅRDSVERKET 2014. Luftguiden: Handbok on miljö kvalitetsnormer för utomhusluft. Handbok 2014:1.

Von Burg, D.R. 1999. Toxicology update. *Journal of Applied Toxicology*, 19, 379-386.

WHO. 2005. WHO Air Quality Guidelines Global Update 2005. Report on a Working Group Meeting, Bonn, Germany, 18-20 October 2005, WHO Regional Office for Europe.



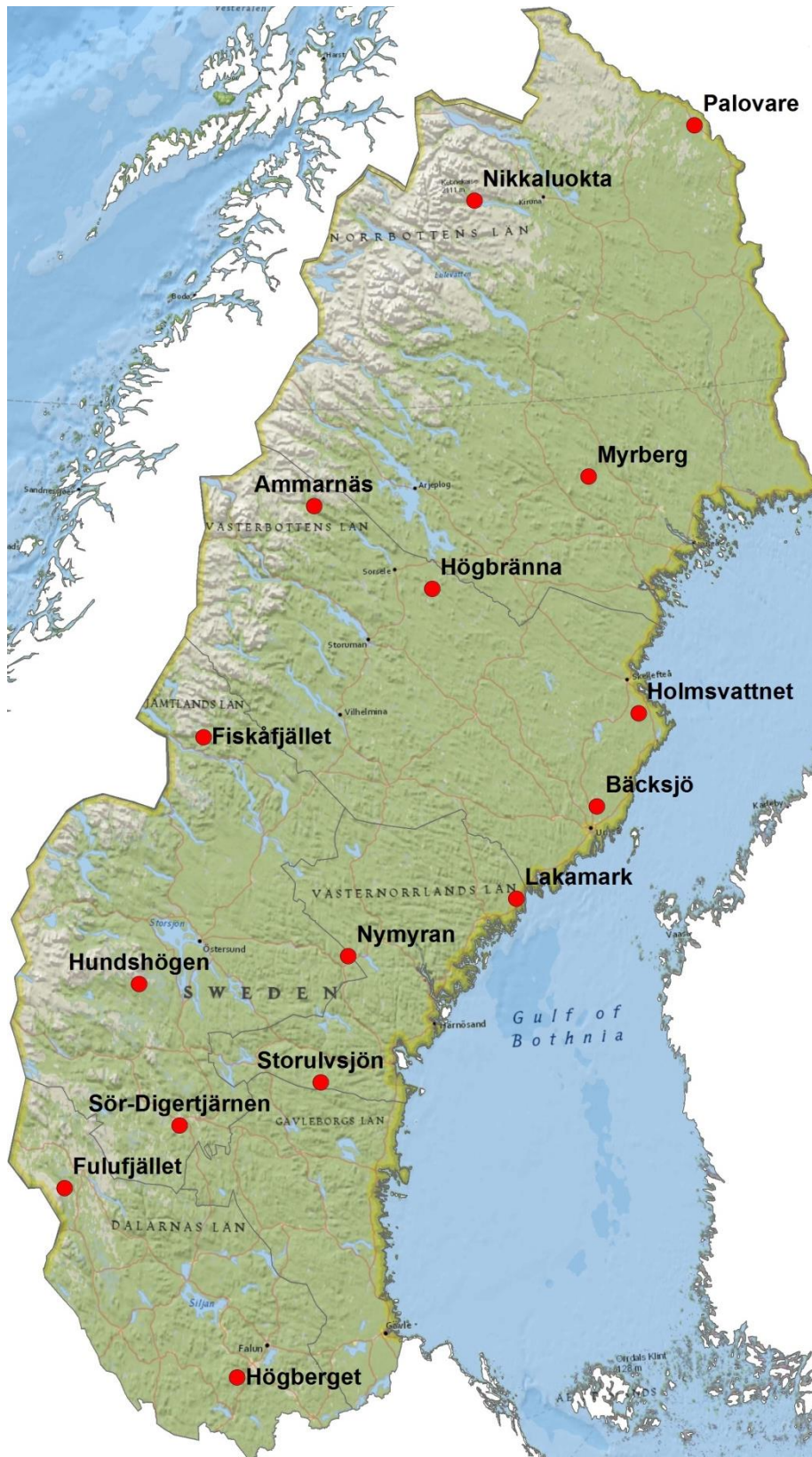
## Bilaga 2 - Ytor inom Krondroppsnetz



Figur B.2.1. Aktiva ytor inom Krondroppsnetz i södra Sverige under 2016. Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).



Figur B.2.2. Aktiva ytor inom Krondroppsnetzets i mellersta Sverige under 2016. Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).



Figur B.2.3. Aktiva ytor inom Krondroppsnetz i norra Sverige under 2016. Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

## Bilaga 3 - Resultat från Mann-Whitney U-test

**Tabell B.3.1. Resultat från en statistisk analys med Mann Whitney U test för att analysera skillnader i nederbörd, krondroppsmängd, nedfall och lufthalter, mellan två olika tidsperioder (2014 jämfört med 2011-2013), för medelvärdet/summan under september-november i södra, mellersta och norra Sverige.**

Nederbörd (mm), öppet fält	Södra Sverige		Mellersta Sverige		Norra Sverige	
	2011-2013	2014	2011-2013	2014	2011-2013	2014
1:a kvartil	140	163	159	139	119	78
Minsta mängd	110	142	128	118	91	45
Medianmängd	172	197	185	162	146	160
Maximal mängd	379	436	328	271	211	292
3:e kvartil	253	225	272	211	197	252
Antal värden (n)	12	12	10	10	10	10

Krondroppsmängd (mm)	Södra Sverige		Mellersta Sverige		Norra Sverige	
	2011-2013	2014	2011-2013	2014	2011-2013	2014
1:a kvartil	109	125	103	123	124	87
Minsta mängd	78	74	79	104	65	32
Medianmängd	135	143	122	133	146	123
Maximal mängd	256	215	189	176	205	210
3:e kvartil	164	156	138	151	163	153
Antal värden (n)	31	31	12	12	12	12

SO <sub>4</sub> -Sex (kg/ha), öppet fält	Södra Sverige		Mellersta Sverige		Norra Sverige	
	2011-2013	2014	2011-2013	2014	2011-2013	2014
1:a kvartil	0,43	0,96	0,29	0,77	0,12	0,19
Minsta mängd	0,38	0,80	0,26	0,67	0,07	0,14
Medianmängd	0,58	1,15	0,34	0,83	0,17	0,48
Maximal mängd	1,14	1,79	0,55	1,32	0,55	0,68
3:e kvartil	0,68	1,34	0,42	0,95	0,24	0,60
Antal värden (n)	12	12	10	10	10	10

SO <sub>4</sub> -Sex (kg/ha), krondropp	Södra Sverige		Mellersta Sverige		Norra Sverige	
	2011-2013	2014	2011-2013	2014	2011-2013	2014
1:a kvartil	0,25	0,96	0,16	0,58	0,12	0,29
Minsta mängd	0,07	0,50	0,11	0,40	0,05	0,13
Medianmängd	0,44	1,11	0,21	0,70	0,18	0,50
Maximal mängd	1,86	2,62	0,45	1,20	0,35	4,53
3:e kvartil	0,63	1,27	0,27	0,87	0,31	0,83
Antal värden (n)	31	31	12	12	12	12

SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ), lufthalt	Södra Sverige		Mellersta Sverige		Norra Sverige	
	2011-2013	2014	2011-2013	2014	2011-2013	2014
1:a kvartil	0,36	0,59	0,28	0,62	0,18	1,54
Minsta mängd	0,26	0,48	0,26	0,60	0,16	0,67
Medianmängd	0,43	0,74	0,31	0,74	0,22	1,69
Maximal mängd	0,91	1,29	0,39	0,95	0,26	2,96
3:e kvartil	0,62	0,94	0,32	0,74	0,24	2,32
Antal värden (n)	8	8	5	5	5	5

## Bilaga 4 – Skillnad mellan 2014 och 2011-2013

Tabell B.4.1. Medelvärden för nederbörd, krondroppsmängd, svavelnedfall och lufthalter för samtliga mätplatser inom olika regioner (norra, mellersta och södra Sverige, samt landet som helhet) under två olika tidsperioder (2011-2013 jämfört med 2014), och differensen däremellan. För lufthalter har vi jämfört september månad, och för nedfall har vi jämfört oktober månad.

	Antal värden (n)	2011-2013 (september eller oktober)	2014 (september eller oktober)	Skillnad (%)
<b>Sverige</b>				
Nederbörd (mm), öppet fält	32	69	113	63 %
Krondroppsmängd (mm)	56	53	74	39 %
SO <sub>4</sub> -Sex (kg/ha), öppet fält	32	0,14	0,42	196 %
SO <sub>4</sub> -Sex (kg/ha), krondropp	56	0,12	0,54	367 %
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ), lufthalt	18	0,27	1,66	509 %
<b>Norra Sverige</b>				
Nederbörd (mm), öppet fält	10	52	102	98 %
Krondroppsmängd (mm)	12	48	76	59 %
SO <sub>4</sub> -Sex (kg/ha), öppet fält	10	0,05	0,25	351 %
SO <sub>4</sub> -Sex (kg/ha), krondropp	12	0,05	0,70	1236 %
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ), lufthalt	5	0,16	4,11	2412 %
<b>Mellersta Sverige</b>				
Nederbörd (mm), öppet fält	10	71	119	69 %
Krondroppsmängd (mm)	12	46	76	66 %
SO <sub>4</sub> -Sex (kg/ha), öppet fält	10	0,12	0,43	268 %
SO <sub>4</sub> -Sex (kg/ha), krondropp	13	0,04	0,38	757 %
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ), lufthalt	5	0,23	0,75	222 %
<b>Södra Sverige</b>				
Nederbörd (mm), öppet fält	12	83	116	41 %
Krondroppsmängd (mm)	31	59	72	24 %
SO <sub>4</sub> -Sex (kg/ha), öppet fält	12	0,24	0,55	135 %
SO <sub>4</sub> -Sex (kg/ha), krondropp	31	0,17	0,54	217 %
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ), lufthalt	8	0,37	0,70	91 %

