Nr C 239
April
2017

Krondroppsnätet i mellersta Sverige - övervakning av luftföroreningar och dess effekter i skogsmiljön

Resultat till och med september 2016

Gunilla Pihl Karlsson, Cecilia Akselsson*, Sofie Hellsten & Per Erik Karlsson

*Lunds universitet

ivl SVENSKA MILJÖINSTITUTET

På uppdrag av: Luftvårdsförbunden i Västmanlands och Värmlands län, Länsstyrelserna i Stockholms och Södermanlands län samt Swedavia AB

Författare: Gunilla Pihl Karlsson (IVL), Cecilia Akselsson (Lunds universitet), Sofie Hellsten (IVL) & Per Erik Karlsson (IVL)
Medel från: Luftvårdsförbunden i Västmanlands och Värmlands län, Länsstyrelserna i Stockholms och Södermanlands län samt Swedavia AB
Framtagning av framsida: Sofie Hellsten (IVL)
Rapportnummer C 239
ISBN 978-91-88319-57-9
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

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

Förord

På uppdrag av Luftvårdsförbunden i Västmanlands och Värmlands län, Länsstyrelserna i Stockholms och Södermanlands län samt Swedavia AB redovisas resultaten från 2015/16 års mätningar inom Krondroppsnätet, tillsammans med tidigare års resultat, i en för mellersta Sverige sammanhållen regional rapport. I rapporten redovisas även andra relaterade projekt samt aktuella händelser från 2016, som är relevanta ur Krondroppsnätets synvikel. Dessutom beskrivs kortfattat några projekt, med anknytning till Krondroppsnätet, som är på gång under 2017.

Sammanfattning

I denna andra omgång av årsrapporter inom Krondroppsnätets Program 2015-2020 fokuserar vi på en analys av hur atmosfäriskt nedfall, och effekterna på markvattenkemi, av försurande och övergödande ämnen, har förändrats över tiden. Vi redovisar denna analys såväl nationellt som för mellersta Sverige separat. Vi visar även resultaten för samtliga mätstationer i mellersta Sverige var för sig i Bilaga 1.

De europeiska utsläppen till luft av svavel har minskat med nästan 90 % mellan 1990 och 2014. Motsvarande minskning för kväveoxider är drygt 50 %. Sverige har minskat sina utsläpp i ungefär samma omfattning. Mer problematiskt är det med ammoniak, där Europas utsläpp endast minskat 24 % och Sveriges utsläpp knappt förändrats alls. Lufthalterna av svavel- och kväveoxider på olika platser i Sverige har generellt minskat, som förväntat, i samma utsträckning som rapporterade utsläppsminskningar, vilket utgör en värdefull bekräftelse av metodiken för svensk och europeisk utsläppsrapportering.

De minskade svavelutsläppen i Europa har kraftigt reducerat svavelnedfallet i Sverige sedan slutet av 1980-talet. I de högst belastade delarna av mellersta Sverige (Stockholms, Södermanlands, Västmanlands och Värmlands län) har nedfallet minskat från omkring 10 till under 2 kg per hektar och år sedan början av 1990-talet. Under det hydrologiska året 2015/16 understeg svavelnedfallet 1 kg per hektar och år på samtliga mätplatser i mellersta Sverige. En bidragande orsak till den låga nivån på nedfallet 2015/16 var de låga nederbördsmängderna.

Effekterna av det minskade svavelnedfallet syns tydligt i minskade svavelhalter i markvattnet på 50 cm markdjup, vid samtliga mätplatser i mellersta Sverige och vid flertalet mätplatser med långa tidsserier i Sverige, även om svavelprocesser i marken gör att minskningen ofta inte är lika kraftig som nedfallsminskningen.

Markvattnet är dock fortfarande försurat på många platser i Sverige, framför allt i de sydvästra delarna. Den syraneutraliserande förmågan, ANC, har varit positivt i markvattnet vid alla nio mätplatser i mellersta Sverige under den senaste treårsperioden och pH har visat på måttlig till låg surhet, mellan 5 och drygt 6. Fyra av sex mätplatser, med långa tidsserier, i mellersta Sverige visar på en signifikant återhämtning från försurning, i form av ökat pH och/eller ANC. De två platser som inte har någon signifikant återhämtning uppvisar ändå relativt goda förhållanden, med pH över 5,2 och positivt ANC.

Det samlade nedfallet av oorganiskt kväve (nitrat + ammonium), uppmätt som våtdeposition på öppet fält, har under perioden mellan 1996/97 och 2015/16 minskat statistiskt säkerställt vid 7 av 24 platser i Sverige. Av de sex mätplatserna i mellersta Sverige med långa tidsserier minskade våtdepositionen av kväve vid tre av dessa under denna period, alla belägna i de östra delarna av området. Beräknat totalt oorganiskt kvävenedfall överskred under 2015/16 den kritiska belastningen för barrskog, 5 kg N/ha/år, i de mellersta och västra delarna av mellersta Sverige, med högre överskridande ju längre västerut man kommer. Överskridanden kan leda till påverkan på markvegetationen i skogsekosystemen samt risk för läckage av nitrat till yt- och grundvatten.

Nitrat förekommer hittills sällan i markvattnet i ostörda skogsekosystem, förutom i de sydvästligaste delarna av Sverige. Dock kan halterna av nitrat öka till ganska höga nivåer i markvattnet efter avverkning, men även efter relativt begränsade stormskador. I mellersta Sverige är det få mätplatser som har haft eller har förhöjda nitrathalter i markvattnet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 4

1 Inledning 7

1.1 Bakgrund 7
1.2 Metoder 7
1.3 Mätplatser 9
1.4 Hur används resultaten? 9

2 Minskande utsläpp och lufthalter av svavel och kväve 10

2.1 Betydelsen av långväga transporterade luftföroreningar 10
2.2 Utsläppsminskningar 11
2.3 Minskar lufthalterna av svavel och kväve över Sverige som förväntat? 11

3 Tillståndet i skogsmiljön i Sverige 15

3.1 Sammanfattning av väderläget det hydrologiska året 2015/16 15
3.2 Nederbörd 16
3.3 Försurning 17
3.4 Övergödning 21

4 Tillståndet i skogsmiljön i mellersta Sverige 24

4.1 Vad händer med försurningen av skogsekosystemen i mellersta Sverige? 24

4.1.1 Svavelnedfallet i mellersta Sverige – effekter av emissionsminskning och vädervariationer 24
4.1.2 Markvattnet reagerar långsamt på minskat svavelnedfall 26

4.2 Förändras övergödningsproblematiken i skogsmiljön i mellersta Sverige? 30

4.2.1 Nedfallet av kväve med nederbörden minskar i delar av mellersta Sverige 30
4.2.2 Förhöjda kvävehalter i markvattnet endast i några få fall 32

5 Aktuellt 2016 33

5.1 Temarapporten om vulkanutbrottet och dess effekter 33
5.2 Har sänkt svavelinnehåll i fartygsbränsle fortsatt gett bättre luftkvalitet? 35
5.3 Krondroppsnätet som bas för ekosystemforskning 37

5.3.1 Effekter av skogsbruk på ekosystemtjänster i skogen 37
5.3.2 Effekter av stormskador på mark- och markvattenkemi 38

5.4 Halt i mossa – nedfall, metaller, svavel och kväve – NV-rapport 38
5.5 Miljöövervakningsdagarna, Kiruna 39
5.6 Publikationer/rapporter under 2016 42

5.6.1 Vetenskaplig artikel om Lamb Weather Types 42
5.6.2 Nytt nationellt miljöövervakningsprogram 2017 43

6 Vad är på gång 2017? 44

6.1 Vad händer efter 2020? - förstudie 44
6.2 RUT-försök 44

7 Referenser 45

Bilaga 1. Stationsvis redovisning 46
B1. Stockholms län 46
B2. Södermanlands län 52
B3. Värmlands län 54
B4. Västmanlands län 60

1 Inledning

Sedan 1985 har Krondroppsnätet följt utvecklingen av lufthalter, nedfall (på öppet fält och som krondropp) och markvattenkemi i skogen och studerat dess effekter på mark och vatten i Sverige. Idag sker mätningar på 63 mätplatser fördelade över hela landet.

Resultaten från Krondroppsnätet används i stor utsträckning inom den regionala, lokala samt den nationella miljöövervakningen bl.a. för att följa upp de svenska miljökvalitetsmålen, framför allt: *Bara Naturlig Försurning* och *Ingen Övergödning*.

Förutom sin starka koppling till den regionala och nationella miljöövervakningen är Krondroppsnätet även väl förankrat i forskningen bl.a. kring försurning och övergödning av skogsekosystemen.

1.1 Bakgrund

Mätprogrammet Krondroppsnätet har sedan 1985 följt utvecklingen av lufthalter och atmosfäriskt nedfall av luftföroreningar i skogen och dess effekter på mark och vatten i Sverige. Krondroppsnätet drivs av IVL Svenska Miljöinstitutet i samarbete med Lunds universitet. Programmets fokus är att utifrån länsbaserade nedfalls-, markvatten- samt lufthaltsmätningar ge kunskap om regional belastning av luftföroreningar med avseende på bland annat försurning, övergödning och marknära ozon.

Krondroppsnätet drivs främst med länsvis finansiering från luftvårdsförbund och länsstyrelser, men även via finansiering från enskilda företag. Även Naturvårdsverket bidrar med finansiering, främst vad gäller mätningar av nederbörd och torrdeposition på öppet fält. Årets rapportering är den andra i nuvarande samarbetsprogram, ”Program 2015” (2015-2020) och görs i år i form av tre rapporter som tillsammans täcker hela landet: södra, mellersta och norra Sverige där resultaten analyseras för de senaste 19 åren. Detta för att samtidigt omfatta långa tidsserier och många platser. I varje rapport finns även en samlad analys av luftföroreningssituationen i Sverige samt några gemensamma kapitel om olika aktuella frågor, publikationer och händelser under 2016 samt vad som är på gång under 2017 inom Krondroppsnätet. Slutligen redovisas länsvis årliga mätresultat för alla mätplatser i Bilaga 1.

1.2 Metoder

De metoder som används för att mäta lufthalter, nedfall samt markvatten illustreras i Figur 1. Nedfall av luftföroreningar mäts månadsvis inom Krondroppsnätet, på öppet fält, i skog under krontak (krondropp) samt med hjälp av strängprovtagare under tak. Mätningarna redovisas för hydrologiska år d.v.s. från oktober ena året till och med september påföljande år.

Nedfall av luftföroreningar sker i huvudsak via två olika processer, våt- respektive torrdeposition. Våtdeposition är helt knuten till nederbörden och består av olika ämnen lösta i regndropparna. Torrdeposition sker oberoende av nederbörden och beror av att olika gasformiga eller partikelbundna ämnen adsorberas till olika ytor i ekosystemen. Regnet sköljer sedan dessa

adsorberade ämnen till marken. Vissa torrdeponerade ämnen kan dock till viss del tas upp direkt i trädkronorna, se nedan.

Mätningarna av nedfall på det öppna fältet speglar huvudsakligen våtdepositionen. Dock fastnar en mindre mängd torrdeposition på provtagningsutrustningen. Mätningarna under trädkronorna (krondroppsmätningarna) speglar utöver våtdepositionen även torrdepositionen, det vill säga luftföroreningar som i gasform eller partikelburet transporterats med vinden och fastnat i trädkronorna. Vissa ämnen, t ex kväve och baskatjoner, samverkar med trädkronorna så att de antingen tas upp eller läcker ut från blad och barr. Därför kompletteras nedfallsmätningarna vid 10 mätplatser i landet med strängprovtagare för att få ett bättre mått på torrdepositionen av de ämnen som interagerar med trädkronorna.

Lufthaltsmätningar av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon bedrivs med hjälp av diffusionsprovtagare som kvantitativt absorberar den gas som mäts och som ger en medelhalt för den period som de exponerats.

För att undersöka effekter av nedfallet i skogsmarken mäts även kemin i vattnet under trädens rötter (markvattnet). Markvattenmätningar bedrivs med lysimetrar som med hjälp av undertryck suger vatten från 50 cm djup via ett fint, keramiskt filter. Markvattenprovtagning utförs normalt tre gånger per år för att representera förhållandena före, under samt efter vegetationsperioden. Vid enstaka provtillfällen är det dock för torrt i marken för att det ska gå att få upp något markvattenprov.

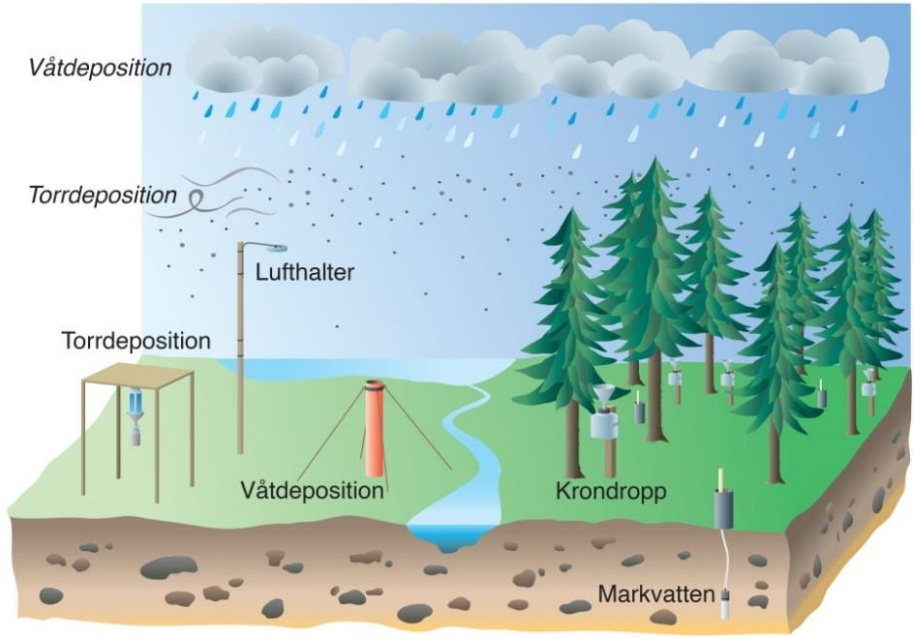


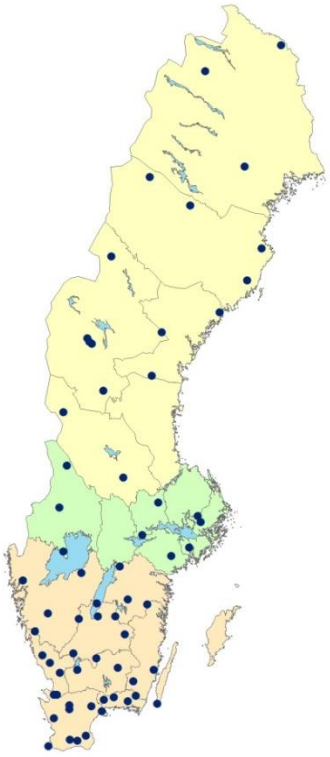
Illustration: Bo Reinerdahl

Figur 1. Inom Krondroppsnätet mäts lufthalter, våt- och torrdeposition samt markvattenkemi. Lufthalter mäts 3 meter över mark. Nedfallet till skogen består av våt- och torrdeposition och mäts dels på öppet fält, dels under trädkronorna som krondropp. Vissa ämnen samverkar med trädkronorna, och därför används även strängprovtagare för att kunna bestämma torrdepositionen av dessa ämnen. Markvattnet provtas på 50 cm djup.

Allt arbete inom Krondroppsnätet, från provtagning till kemisk analys, validering och databearbetning, utförs enligt väl utarbetade rutiner, och laboratorierna har ackreditering för de analysmetoder som används. Detta ger en hög kvalitet på data och garanterar att data från olika platser och från olika år är direkt jämförbara.

1.3 Mätplatser

Genom åren har antalet mätplatser inom Krondroppsnätet varierat, som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 mätplatser. Då övervakningen bedrivs i brukad skog har mätplatser flyttats vid avverkning eller andra händelser som påverkat mätplatserna. Idag omfattas Krondroppsnätet av 63 mätplatser fördelade över hela Sverige, se Figur 2. Mätningarna startade redan 1985 och därför finns numera för några platser i landet mätserier för drygt 30 år.



Figur 2. Krondroppsnätets mätplatser under 2015/16. De färgade områdena anger indelningen för årets regionala rapporter.

Mätningar under trädkronor (krondroppsmätningarna), bedrevs vid 54 mätplatser medan markvattenkemiska mätningar bedrevs vid 56 mätplatser under 2015/16 i landet. Mätningar av nederbörd på öppet fält bedrevs vidare vid 32 mätplatser och lufthaltsmätningar av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon vid 20 mätplatser.

En av styrkorna med Krondroppsnätet är att parallella mätningar av lufthalter, nedfall och markvattenkemi har bedrivits under långa tidsperioder och med god geografisk täckning över hela Sverige, vilket möjliggör detaljerade studier av variationen i tid och rum. Mätresultaten analyseras i relation till effekter främst avseende tillstånd i mark, ytvatten, vegetation samt den brukade skogens långsiktiga näringstillstånd och hälsa.

1.4 Hur används resultaten?

Resultaten från Krondroppsnätet används i stor utsträckning inom den länsvisa, den regionala samt den nationella miljöövervakningen bl.a. för att följa upp de svenska miljökvalitetsmålen (miljömål), framför allt: *Bara Naturlig Försurning* och *Ingen Övergödning*. Nedfallsdata används för indikatorerna: ”Nedfall av svavel” och ”Nedfall av kväve” som bland annat används inom miljömålet *Bara naturlig försurning* och både nedfalls- och markvattenkemiska data används i de

fördjupade utvärderingarna av *Bara Naturlig Försurning* och *Ingen Övergödning*. Förutom ovan nämnda miljömål berör aktiviteterna inom Krondroppsnätet även miljömålen *Frisk Luft*, *Levande sjöar och vattendrag*, *Grundvatten av god kvalitet*, *Levande skogar* samt *Storslagen fjällmiljö*.

Mätningarna inom Krondroppsnätet används även vid tillståndsprövningar och för en del företag även som recipientkontroll för utsläpp till luft. I vissa län används även de samordnade mätningarna för att i viss mån ersätta enskilda industriers krav på recipientkontroll.

Ofta relateras resultaten på regional nivå till modellresultat från det nationella miljömålsarbetet, bland annat med avseende på kritisk belastning, antropogent försurade sjöar och kväveupplagring i skogsmark, för att fördjupa underlaget för miljömålsuppföljningen.

Förutom sin starka koppling till den regionala och nationella miljöövervakningen är Krondroppsnätet även väl förankrat i forskningen bl.a. kring försurning och övergödning av skogsekosystemen. Noggranna och enhetliga mätningar under lång tid har gjort det möjligt att genomföra detaljerade studier av luftföroreningars effekter på skog, mark, vatten och vegetation. På ett tidigt stadium kan man fånga upp effekter på miljön i skogen orsakade av såväl lokala som långväga föroreningar. Genom att mätningarna inom Krondroppsnätet är nationellt samordnade, och bedrivs med samma metoder överallt, kan de användas för att beskriva tidsutvecklingen för olika miljöindikatorer såväl regionalt som nationellt. Mätserierna, som är bland de längsta i Europa, används för att beskriva tidsutvecklingen för olika miljöindikatorer och möjliggör studier av långsiktiga trender. Data från Krondroppsnätet bidrar även till utvecklingen av modeller, med målet att kunna förutsäga den framtida utvecklingen, inte minst i perspektivet av pågående klimatförändringar som kan medföra stora förändringar vad gäller försurnings- och övergödningsproblematiken.

Data från Krondroppsnätet är fritt tillgängliga från Krondroppsnätets hemsida: http://www.krondroppsnatet.ivl.se/. På hemsidan finns även kontaktuppgifter.

2 Minskande utsläpp och lufthalter av svavel och kväve

Utsläppen av svavel från Europa var nästan 90 % lägre 2014 jämfört med 1990. Motsvarande minskning för kväveoxider var drygt 50 %. Sverige har minskat sina utsläpp i ungefär samma utsträckning. Mer problematiskt är det med ammoniak, där Europas utsläpp endast minskat 24 % och Sveriges utsläpp knappt förändrats alls sedan 1990. Lufthalterna av svavel och kväveoxider på olika platser i Sverige har generellt minskat i samma utsträckning som rapporterade utsläppsminskningar, vilket utgör en värdefull bekräftelse av metodiken för utsläppsrapportering.

2.1 Betydelsen av långväga transporterade luftföroreningar

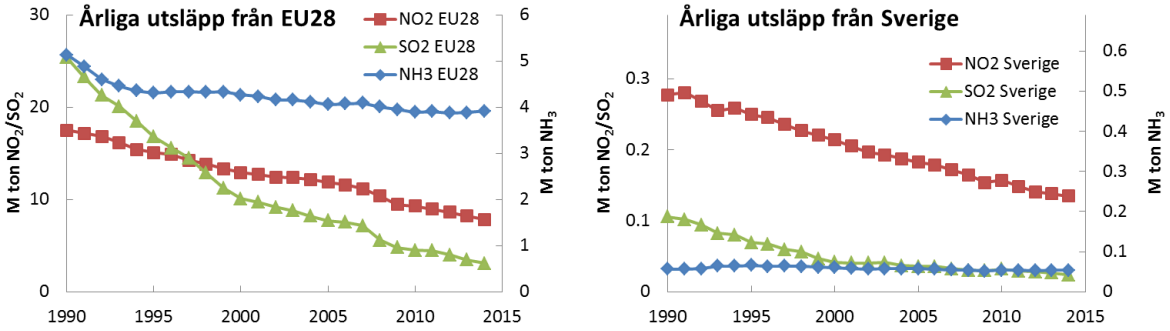
Luftföroreningsbelastningen i de svenska skogarna bestäms till stor del av långväga transporterade luftföroreningar från kontinentala och södra Europa, men även av transporter globalt över hela norra halvklotet. Belastningen från dessa långväga transporterade föroreningar, i kombination

med kritiska belastningsgränser, avgör hur mycket utrymme det finns när det gäller lokala utsläpp av luftföroreningar. Därför är det motiverat att inom regional miljöövervakning även analysera förändringar i den storskaliga luftföroreningssituationen.

2.2 Utsläppsminskningar

De samlade utsläppen av oxiderat svavel (SO_x) från EU minskade med 88 % under perioden 1990-2014 (Figur 3). Den globala ekonomiska nedgången, som startade under senare delen av 2008, gav ett visst utslag i utsläppsstatistiken. Motsvarande minskningar vad gäller utsläppen av oxiderat svavel från Sverige var 77 % mellan 1990 och 2014.

Utsläppen av oxiderat kväve (NO_x) från EU har minskat i mindre utsträckning, 55 % fram till år 2014. Motsvarande värde för Sverige var 51 % minskning. Vad gäller utsläppen av reducerat kväve (NH_3) föreligger en viss skillnad mellan Sverige och EU. EU minskade sina utsläpp med 24 % mellan 1990 och 2014 medan Sverige minskade sina utsläpp av NH_3 med endast 5 % under samma period. Sveriges utsläpp av NH_3 ligger dock proportionerligt mycket lågt, jämfört med de samlade utsläppen från EU.



Figur 3. Årliga utsläpp av oxiderat svavel (SO_2) samt oxiderat (NO_2) och reducerat kväve (NH_3) från Europeiska Unionen, EU28 (vänster diagram) och från Sverige (höger diagram). Källa: www.EMEP.int

Observera att skalan för NH_3 ligger på högra y-axeln och att skalorna på y-axlarna vad gäller diagrammet för Sverige ligger ca hundra gånger lägre än i diagrammet för EU28.

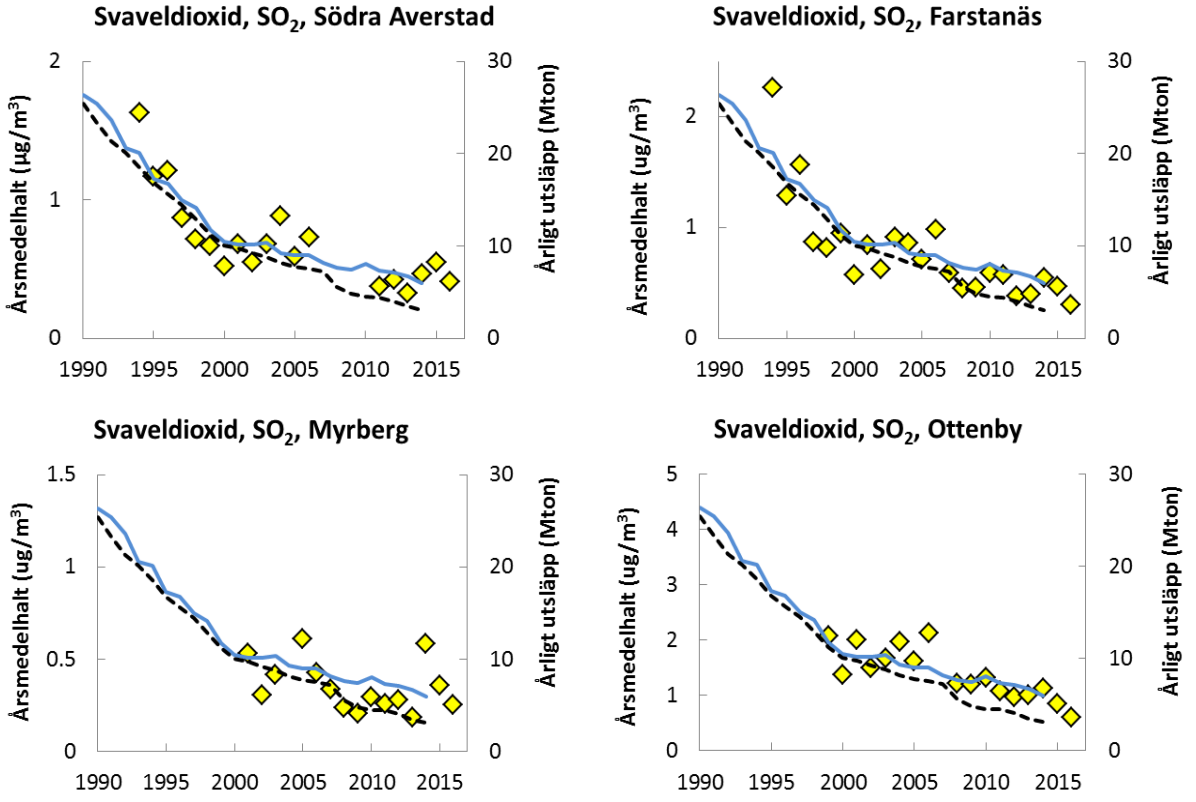
2.3 Minskar lufthalterna av svavel och kväve över Sverige som förväntat?

Metoder för rapportering av utsläpp involverar betydande osäkerheter och det är därför värdefullt att analysera om uppmätta lufthalter minskar i den utsträckning som kan förväntas utifrån rapporterade utsläppsminskningar.

I Figurerna 4 respektive 5 visas årsmedelhalter (hydrologiskt år) av svaveldioxid (SO_2) och kvävedioxid (NO_2) från fyra olika mätplatser inom Krondroppsnätet, se karta nedan. Södra Averstad i Värmlands län och Farstanäs i Stockholms län har bland de längsta mätserierna, med data från 1994. Dessutom visas data för en plats i Norrbottens län, Myrberg, samt data från Ottenby på Ölands södra udde. Data från Ottenby visas eftersom denna mätplats är starkt påverkad av utsläpp från fartygstrafiken på Östersjön.

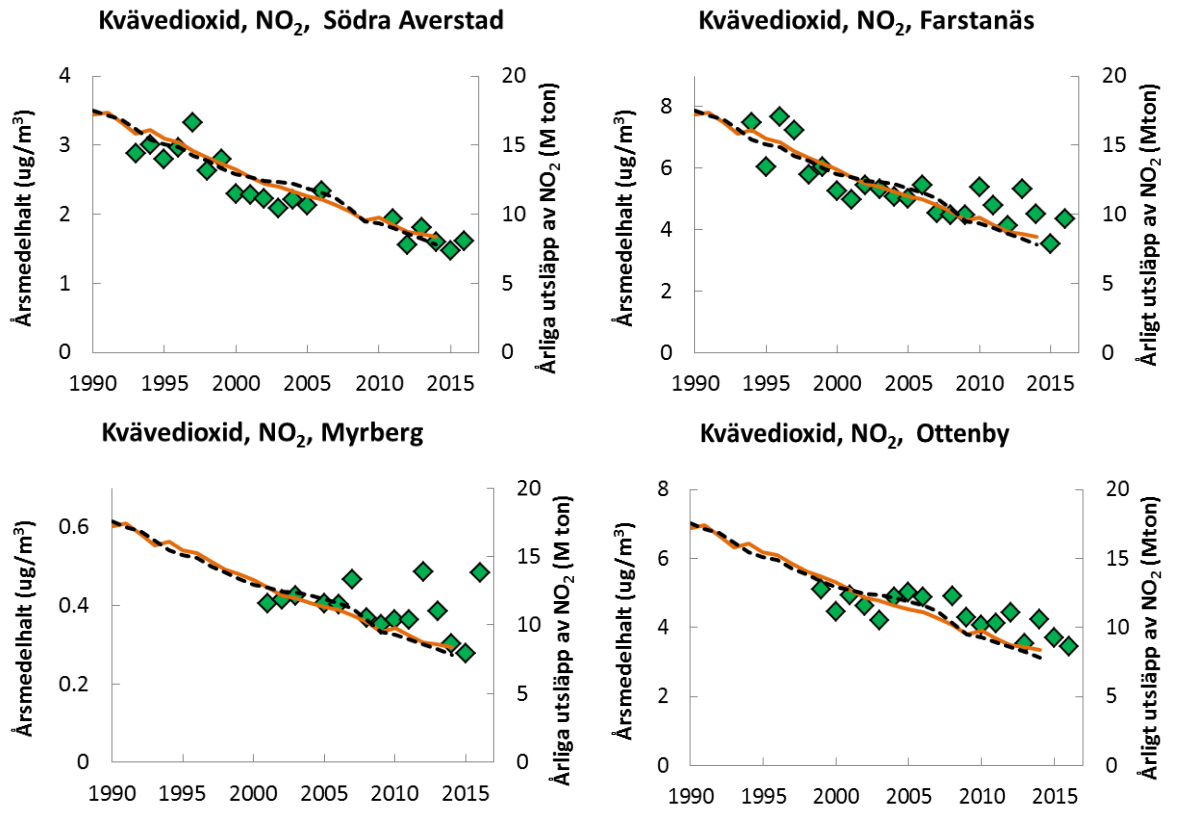
Som jämförelse visas i figurerna även den årliga utvecklingen när det gäller utsläpp av SO_2 respektive NO_2 från Sverige och ifrån Europa som helhet (EU28), vilka är samma data som visats ovan i Figur 3. Skalorna för såväl lufthalter som utsläpp är valda så att de så långt möjligt sammanfaller i början av mätserierna. När det gäller skalorna för emissionerna är Sveriges utsläpp avseende SO_2 multiplicerat med en faktor 250 och för NO_2 multiplicerat med en faktor 62. Detta för att ligga på liknande nivå som utsläppen för EU28.

Tidsutvecklingen vad gäller utsläpp av SO_2 för såväl Sverige som Europa uppvisar två faser, med en snabb minskning fram till ca år 2000 och därefter en långsammare minskning, Figur 4. Lufthalterna av SO_2 vid Södra Averstad och Farstanäs visar en liknande utveckling över tid, med en möjligen ännu mer utpräglad skillnad mellan de olika faserna. I norra Sverige (Myrberg) har nedgången under 2000-talet varit mindre och påverkats bl. a. av vulkanutbrott på Island, Figur 4. Tidsutvecklingen vad gäller lufthalter efter år 2000 förefaller i större utsträckning följa den långsammare nedgången vad gäller utsläpp av SO_2 från Sverige, jämfört med den för EU28. Lufthalterna av SO_2 vid Ottenby i relation till minskade utsläpp av svavel från fartygstrafiken analyseras mer i detalj i Kapitel 5.2 nedan.



Figur 4. Årsmedelhalter av svaveldioxid (SO_2, hydrologiska år) för fyra olika platser inom Krondroppsnätet (gula symboler, vänstra y-axeln). För jämförelse visas även rapporterade årliga utsläpp av oxiderat svavel (SO_2) från Europeiska Unionen, EU28 (svart streckad linje, högra y-axeln) och från Sverige (blå linje, högra y-axeln). För att underlätta jämförelser är Sveriges utsläpp multiplicerat med en faktor 250. Källa för utsläpp: EMEP.

De rapporterade årliga utsläppen av NO_2 uppvisar en linjär nedgång över perioden 1990-2014. Utvecklingen för Sverige och Europa är mycket likartad, vilket gör att linjerna ligger på varandra i Figur 5. De uppmätta lufthalterna av NO_2 har även de minskat i stort sett linjärt, i synnerhet vid Södra Averstad i Värmlands län vid Vänern. Vid Farstanäs, söder om Södertälje, och vid Ottenby på Ölands södra udde har inte lufthalterna av NO_2 minskat under senare åren i samma utsträckning som rapporterade utsläppsminskningar. Det kan bero på att lufthalterna av NO_2 vi dessa platser är påverkade av lokala källor, t ex fartygstrafiken. Vid Myrberg i Norrbottens län, är de eventuella lokala källorna för NO_2 mer oklara.



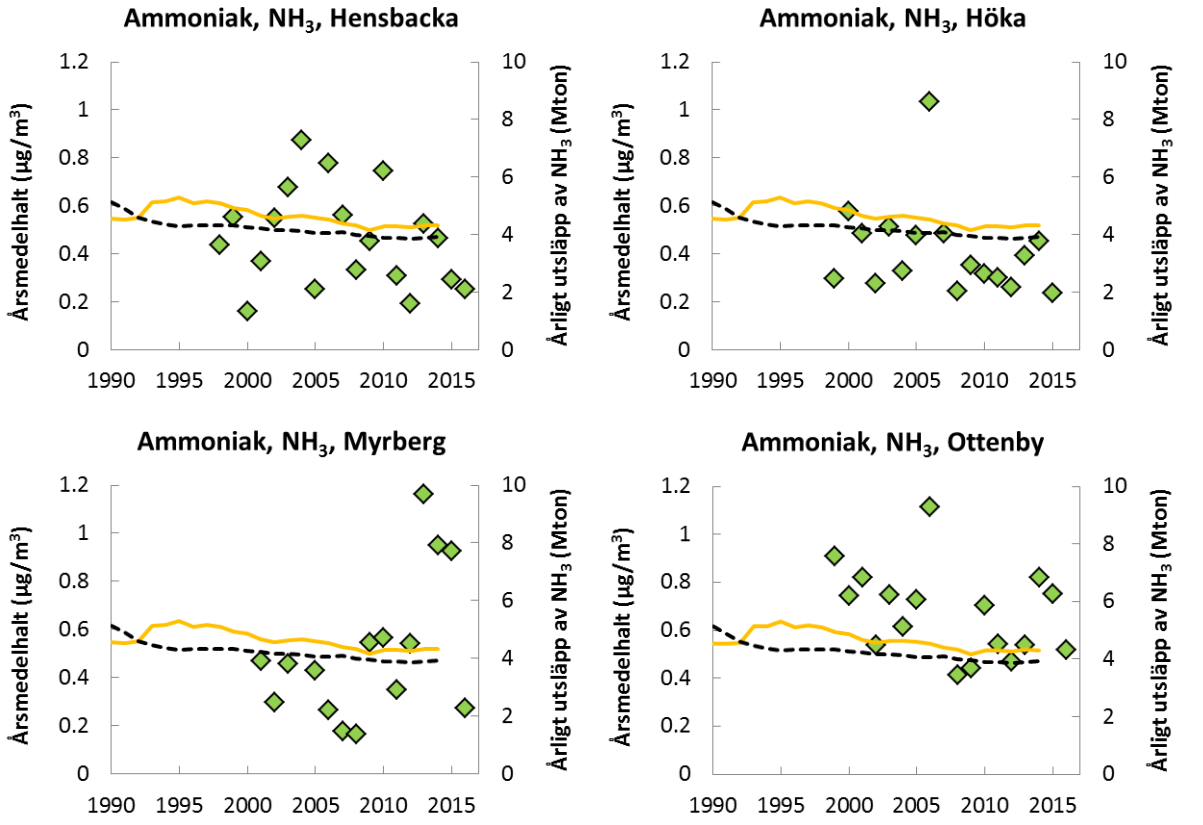
Figur 5. Årsmedelhalter av kvävedioxid (NO_2, hydrologiska år) för några olika platser inom Krondroppsnätet (gröna symboler, vänstra y-axeln). För jämförelse visas även rapporterade årliga utsläpp av oxiderat kväve (NO_2) från Europeiska Unionen, EU28 (svart streckad linje, högra y-axeln) och från Sverige (brandgul linje, högra y-axeln). För att underlätta jämförelser är Sveriges utsläpp multiplicerat med en faktor 62. Källa för utsläpp: EMEP.

Jämförelsen mellan förändrade utsläpp och uppmätta lufthalter är svårare att göra för ammoniak. Detta beror på att gasformigt ammoniak deponeras snabbt till den lokala omgivningen. Halterna av gasformigt ammoniak är därför generellt mycket låga. Ammoniak kan dock omvandlas till partikelformigt ammonium, vilket kan transporteras längre sträckor.

Mätningar av NH_3 i luft har inte bedrivits lika länge som mätningarna av SO_2 och NO_2. I Figur 6 visas årsmedelhalter (hydrologiskt år) av ammoniak (NH_3) från fyra olika mätplatser inom Krondroppsnätet, se karta nedan. De längsta tidsserierna finns för Hensbacka i Bohuslän (start 1998) och Höka i Östergötland (start 1999). Dessutom visas data för en plats i Norrbottens län, Myrberg (start 2001), samt data från Ottenby på Ölands södra udde (start 1999), Figur 6. På motsvarande sätt som för Figur 4 och 5 är skalan för NH_3-emissionerna för Sverige multiplicerade med en faktor 80 för att ligga på liknande nivå som motsvarande utsläpp för EU28.

Luftmätningarna av NH_3 visar inte på någon förändring av halterna över tid, vilket i viss mån bekräftar avsaknad av trender i rapporterade utsläpp av NH_3. Mätningarna visar på relativt små skillnader i NH_3-halter över landet.

Vid vissa platser i jordbrukstäta områden i Skåne är dock halterna av NH_3 avsevärt högre, speciellt sommartid. Vissa år förekommer relativt höga halter av NH_3 vintertid vid flera platser i norra Sverige. Det kan förekomma utsläpp av NH_3 till luft i samband med olika typer av förbränning.



Figur 6. Årsmedelhalter av ammoniak (NH_3, hydrologiska år) för några olika platser inom Krondroppsnätet (gröna symboler, vänstra y-axeln). För jämförelse visas även rapporterade årliga utsläpp av ammoniak (NH_3) från Europeiska Unionen, EU28 (svart streckad linje, högra y-axeln) och från Sverige (gulfärgad linje, högra y-axeln). För att underlätta jämförelser är Sveriges utsläpp multiplicerat med en faktor 80. Källa för utsläpp: EMEP.

3 Tillståndet i skogsmiljön i Sverige

3.1 Sammanfattning av väderläget det hydrologiska året 2015/16

Stora delar av Sverige hade ett nederbördsfattigt hydrologiskt år 2015/2016. Markvatten och grundvattennivåer minskade kontinuerligt under året till och med september 2016. Låga nederbördsmängder medförde generellt låga värden för nedfallet.

Vädret spelar en stor roll när det gäller mellanårsvariationen i lufthalter och nedfall. Grundvattennivåer och markvattenmängder kan även inverka på markvattenprovtagningen. Nedan följer en sammanställning av vädersituationen under det hydrologiska året 2015/16. Uppgifterna är hämtade från SMHI (www.smhi.se).

Oktober 2015 var varmare än normalt med små nederbördsmängder, särskilt i Mellansverige. I början av **november 2015** drog stormen *Freja* in över södra Sverige. *Freja* drabbade hårdast områden vid västkusten och i Blekinge. I slutet av månaden passerade även stormen *Gorm* över södra Sverige. I Skåne uppmättes vindhastigheter på upp mot 36 m/s och Gorm drabbade hårdast ett område från Skåne mot ostkusten via Blekinge till Gotland. Under november föll mycket nederbörd i södra Götaland och nordöstra Norrland. I Skåne föll lokalt stora mängder snö.

I **december 2015** drabbade flera större oväder landet, bl a stormen *Helga* som i början av månaden främst drabbade norra Götaland och sydligaste Svealand. *Helga* hade knappt bedarrat innan nästa oväder, *Synne*, följde i en något nordligare bana. Det var en varm och snöfattig december. På juldagen drog stormen *Staffan* in från väster. Det var i fjällen som det blåste allra mest, men även vid Bohuskusten noterades åter höga vindstyrkor. **Januari 2016** var kallare än normalt. Mer än halva landet fick dessutom mindre nederbörd än normalt. Underskottet var störst i västra och mellersta Norrland. Under slutet av månaden gav ovädret *Tor* blåsigt väder i hela Sverige. Byvindar över 20 m/s uppmättes på många håll från Bohuslän till södra Lapplandsfjällen. Vid Blåhammaren i Jämtlandsfjällen uppmättes orkanvindar. **Februari 2016** var varmare än normalt i hela landet. Det var en ganska nederbördsrik månad, i södra Sverige föll mycket av nederbörden i form av regn. För norra Norrlands del var månaden snörik utanför fjällkedjan.

Även mars 2016 var varmare än normalt i hela landet. Det var även torrare än normalt på många håll och i slutet av månaden var det snöfritt upp till sydligaste Norrland. Som helhet var också **april 2016** varmare än normalt med mycket nederbörd på många håll. Mest nederbörd föll i nordöstra Norrland. **Maj 2016** präglades av varmt väder i början och slutet av månaden med en nederbördsrikare del i mitten av månaden, framförallt i mellersta Sverige.

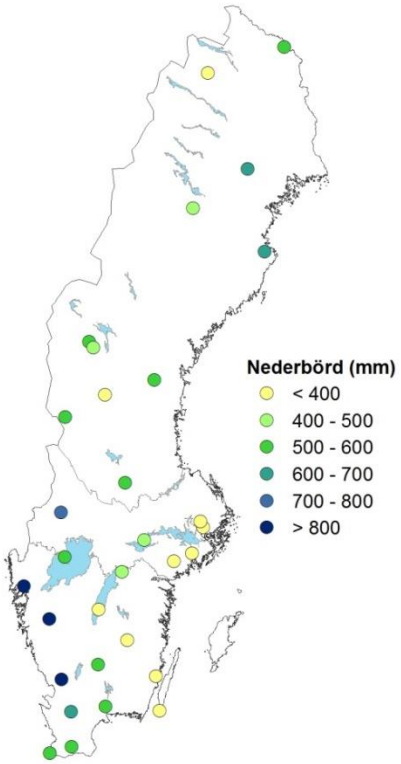
Juni 2016 inleddes och avslutades varmt med en svalare period i mitten av månaden. Stormbyar förekom i början av månaden över ett stort område i Norrland. Den långvariga torkan i södra Sverige började nu märkas på allvar. I sydöstra Sverige var det nästintill varje månad ett underskott på nederbörd under det senaste året, medan juni gav ett överskott. Även **juli 2016** bjöd på variationsrikt väder. Torkan i södra Sverige fortsatte under juli, medan nordligaste Norrland berördes av flera regnområden. **Augusti 2016** bjöd på en mycket sen värmebölja, men blev dock lite regnigare än normalt i större delen av landet.

September 2016 var på flera håll i Götaland och Svealand rekordvarm. I slutet av månaden var det blåsigt och mycket nederbörd. Grundvattennivåerna i framförallt södra halvan av landet var under de normala under flertalet månader under det hydrologiska året 2015/16 och framemot september var nivåerna mycket under det normala. De lägsta grundvattennivåerna uppmättes i östra Götaland, men även västra Götaland, delar av Svealand samt stora delar av södra Norrland hade nivåer under de normala.

3.2 Nederbörd

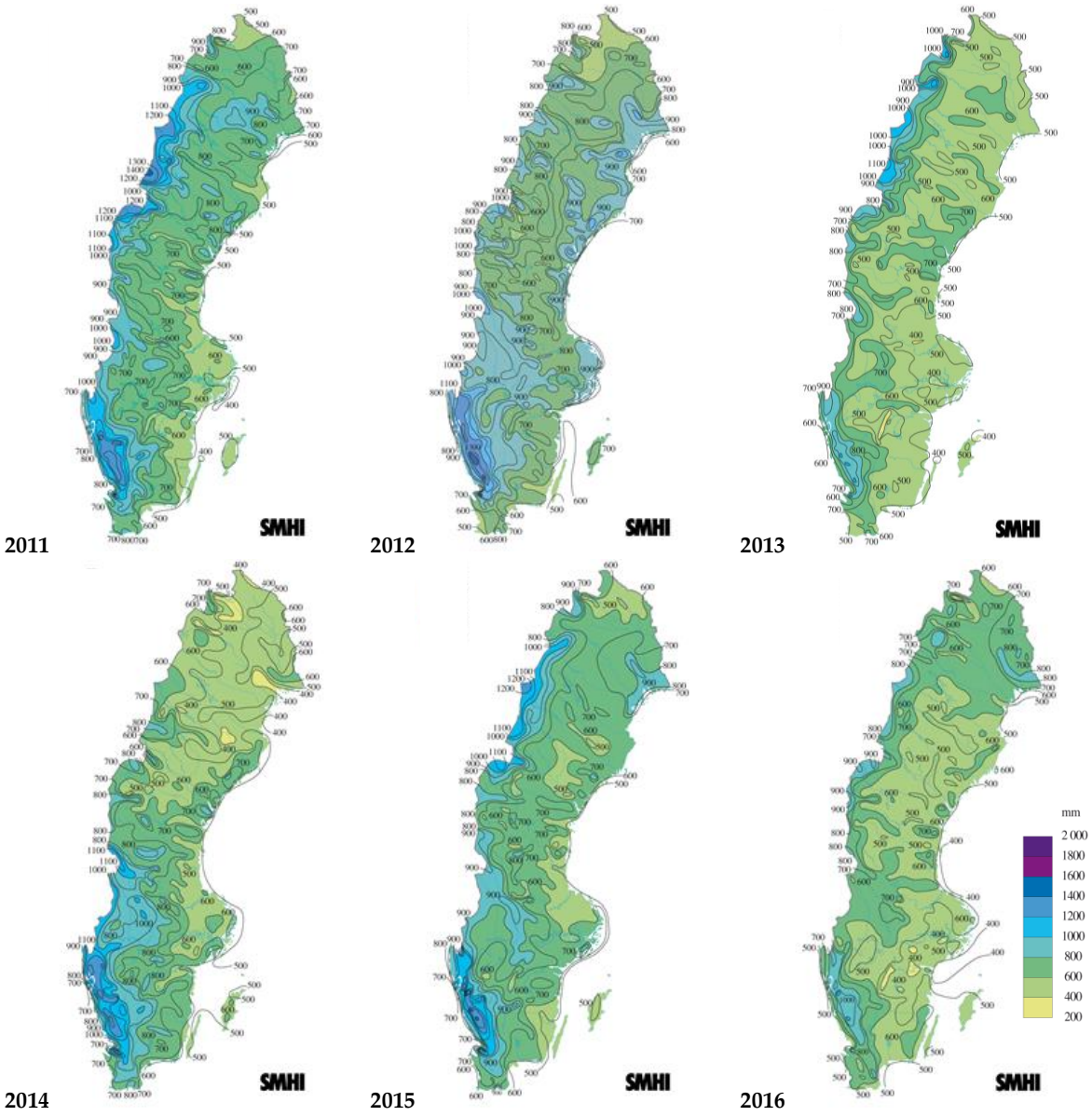
Det hydrologiska året 2015/16 kännetecknades av låga nederbördsmängder över hela landet. Detta bidrog till låga värden för nedfall. Det finns dock andra år på senare tid med lika låga nederbördsmängder.

Atmosfäriskt nedfall, i synnerhet våtdeposition, beror starkt på nederbördsmängderna. I Figur 7 visas uppmätta nederbördsmängder under det hydrologiska året 2015/16 vid stationer inom Krondroppsnätet med mätningar över öppet fält. Det skiljde minst en faktor två mellan de högsta och de lägsta nederbördsmängderna. Inte förvånande uppmättes den högsta nederbörden på västkusten och den lägsta på ostkusten. Vissa platser i norra Sveriges inland hade också låga nederbördsmängder, såsom Sör-Digertjärnen i Jämtlands län och Nikkaluokta i Norrbottens län.



Figur 7. Nederbördsmängd över öppet fält under det hydrologiska året 2015/16.

I Figur 8 visas kartor över Sverige med årsvisa nederbördsmängder under 2011 - 2016, hämtade från SMHI (Observera att SMHI redovisar kalenderår). Av kartorna framgår att kalenderåret 2016 var ett torrt år i större delen av landet. Under de senaste sex åren finns det dock även andra år med motsvarande låg nederbördsmängd för ungefär samma områden som 2016, till exempel var året 2013 ungefär lika torrt.



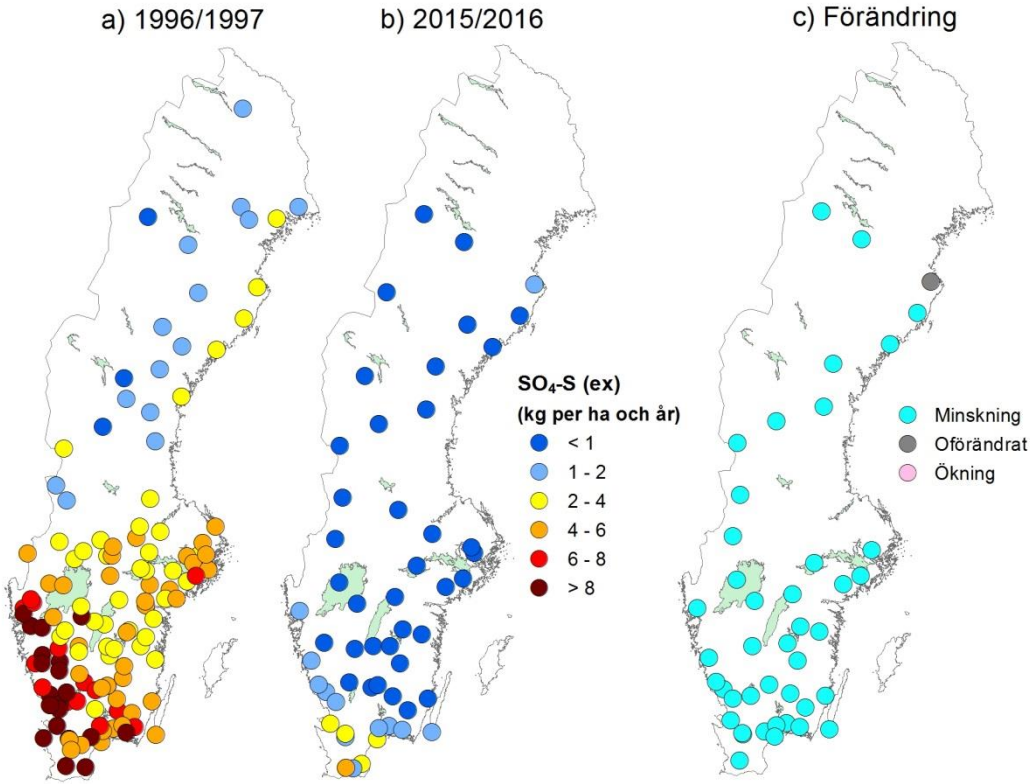
Figur 8. Kartor med årsvisa nederbördsmängder under 2011 – 2016. Kartorna är hämtade från SMHI, https://www.smhi.se/klimat/arssammanstallningar/vader.

3.3 Försurning

Minskade svavelemissioner i Europa har kraftigt reducerat svavelnedfallet i Sverige. Det hydrologiska året 2015/16 understeg nivåerna 1 kg per hektar och år på flertalet mätplatser i Sverige bortsett från i ett område i sydväst där nedfallet var mellan 1 och 5 kg per hektar och år. Effekterna av det minskade nedfallet syns tydligt i minskade svavelhalter i markvattnet på de allra flesta platserna, även om svavelprocesser i marken gör att minskningen ofta inte är lika kraftig som nedfallsminskningen. Markvattnet är dock fortfarande försurat på många platser, framför allt i södra delen av Sverige, där den syraneutraliserande förmågan, ANC, ofta är under 0 och pH i flera fall är så lågt som 4,4. Trendanalyser visar att återhämtning pågår på en del platser, men inte på andra, och att där återhämtning sker är den långsam.

Svavelnedfallet har minskat kraftigt de senaste decennierna, i takt med att svavelemissionerna minskat (Figur 3). Svavelnedfallet, utan havssalt, under 2015/16 var mycket lågt, under 1 kg per hektar och år, förutom i södra och sydvästra Sverige (Figur 9). På nästan alla 43 platser där mätningar pågått under den 19 år långa perioden mellan det hydrologiska året 1996/97 och 2015/16, har minskningen i svavelnedfall varit signifikant. Endast vid Holmsvattnet vid Skellefteå har det under perioden inte skett någon statistiskt signifikant förändring.

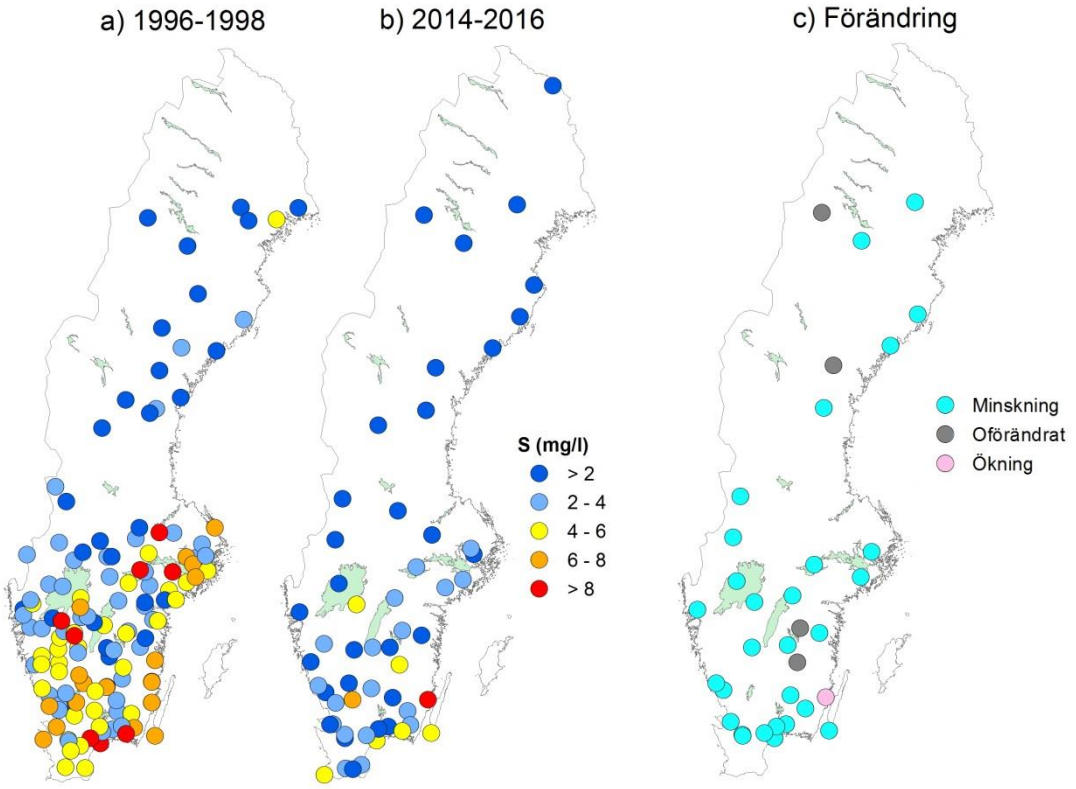
Svavelnedfallet uppvisar en tydlig geografisk gradient, med högst nedfall i de sydvästra delarna av Sverige, och lägst nedfall i norr. Detta kan förklaras med att den rådande vindriktningen är sydvästlig, och att vindarna för med sig svavel från kontinenten, som främst deponeras i de sydvästra delarna av Sverige. Minskningen i svavelnedfall har varit störst i sydväst, där nedfallet varit som störst. I de sydvästra delarna av landet var nedfallet över 8 kg per hektar och år på många platser under 1996/97, och hade sjunkit till under 4 kg per hektar på alla platser utom den extremt utsatta ytan på Romeleåsen i Skåne, 19 år senare.



Figur 9. Svavelnedfall till skogen (krondropp) under två tidsperioder 1996/97 och 2015/16 samt resultatet av statistisk analys av förändringen mellan dessa år. Statistisk analys är gjord med Mann-Kendall-metodik för de mätplatser där mätningar fanns både 1996/97 samt 2015/16.

Den mest direkta effekten på markvattenkemin som kan förväntas av en minskning av svavelnedfall, är en minskning av svavelhalten i markvattnet. Svavelhalten i markvattnet påverkas dock inte bara av svavelnedfallet, utan även av svavelprocesser i marken, vilket beskrivs närmre i kapitel 4.1.2.

Trendanalys på koncentrationen i markvattnet har kunnat göras på 34 mätplatser för 19-årsperioden mellan 1996/97 och 2015/16, Figur 10. På alla utom fem platser har svavelhalten minskat signifikant under denna period.

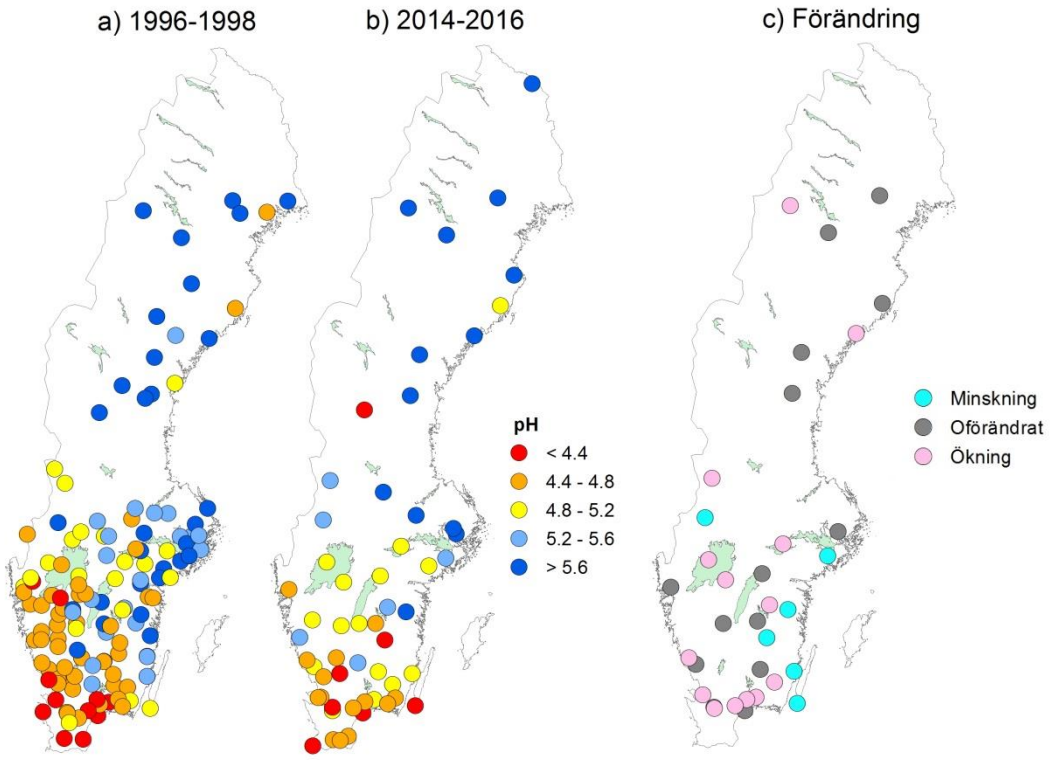


Figur 10. Svavelkoncentration (SO_4 -S) i markvatten provtagen vid 50 cm djup under två tidsperioder 1996-1998 och 2014-2016 (medianvärde) samt resultatet av statistisk analys av förändringen mellan dessa perioder. Statistisk analys är gjord med Seasonal-Kendall-metodik för de mätplatser där mätningar fanns för båda perioderna.

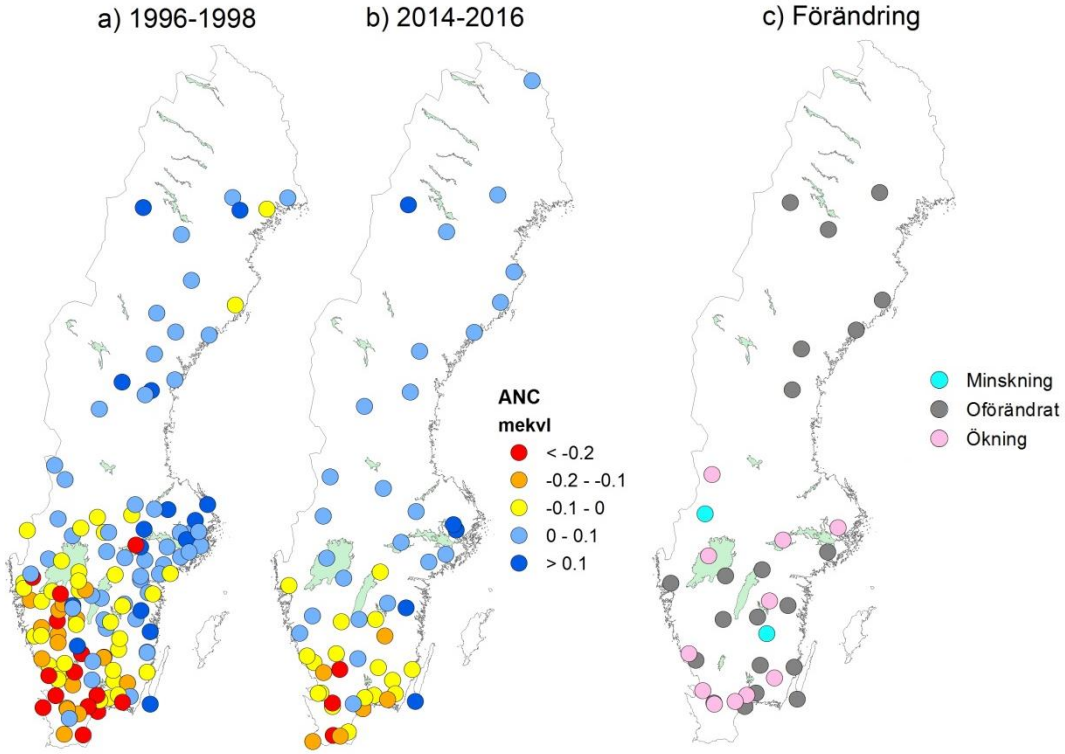
Två av de mått som används för försurningsbedömning är pH och syraneutraliserande förmåga, ANC (”Acid Neutralizing Capacity”). För pH finns gränser i bedömningsgrunder för markförsurning i skogsmark, där pH<4,4 bedöms innebära hög surhet, pH mellan 4,4 och 5,5 måttlig surhet och pH över 5,5 låg surhet. ANC i avrinnande vatten bör vara positivt så att det finns en buffringskapacitet i vattnet.

Markvattnets pH och ANC uppvisar i grova drag samma geografiska gradient som nedfallet av svavel, med lägre pH och ANC i sydväst, men med betydande regionala variationer som beror på skillnader i markegenskaper (Figur 11 & 12). Under 2014-2016 var pH (medianvärdet) som lägst mindre än 4,4 på flera platser i södra Sverige. I mellersta Sverige var pH oftast omkring 5 eller högre och i norr var pH i de flesta fall över 5,6. Två undantag i norr är Sör-Digertjärn, som gödslades 2011 och som efter det uppvisat mycket låga pH-värden, samt den kustnära norrlandslokalen Bäcksjö. Bäcksjö har även tidigare år utmärkt sig som en yta med lågt pH, vilket kan förklaras av en kombination av högre svavelnedfall längs norrlandskusten än längre inåt landet, och jordar med låg motståndskraft mot försurning.

I södra halvan av Sverige visar ungefär hälften av platserna på återhämtning i markvattnet, genom signifikant ökat pH och/eller ANC, ett fåtal platser visar på ökad försurning medan resten inte visar på någon signifikant förändring. I norra halvan av Sverige, där markvattnet har relativt högt pH och ANC oftast är över noll under hela perioden, uppvisar de flesta mätplatserna ingen signifikant trend.



Figur 11. pH i markvatten provtagen vid 50 cm djup under två tidsperioder 1996 – 1998 och 2014-2016 (medianvärde) samt resultatet av statistisk analys av förändringen mellan dessa perioder. Statistisk analys är gjord med Seasonal-Kendall-metodik för de mätplatser där mätningar fanns för båda perioderna.



Figur 12. ANC i markvatten provtagen vid 50 cm djup under två tidsperioder 1996 – 1998 och 2014-2016 (medianvärde) samt resultatet av statistisk analys av förändringen mellan dessa perioder. Statistisk analys är gjord med Seasonal-Kendall-metodik för de mätplatser där mätningar fanns för båda perioderna.

3.4 Övergödning

Det samlade nedfallet av oorganiskt kväve (nitrat + ammonium) som våtdeposition med nederbörden har under perioden mellan 1996/97 och 2015/16 minskat på ett statistiskt säkerställt sätt vid sju av 24 platser i södra och mellersta Sverige, där jämförelser kunnat göras. Beräknat totalt nedfall av oorganiskt kväve, som summan av torr- och våtdeposition, har för de tre senaste hydrologiska åren överskridit den kritiska belastningen för barrskog, 5 kg kväve per hektar och år, i större delen av södra och mellersta Sverige. Även den kritiska belastningen för lövskog, på 10 kg N/ha/år, överskrids i stora delar av sydvästra Sverige där lövskogsandelen är hög.

Inom konventionen om långväga transporterade luftföroreningar (LRTAP) uppdateras kontinuerligt kunskapen runt s.k. kritisk belastning vad gäller inverkan av luftföroreningar på ekosystemen. När det gäller kritisk belastning av kvävenedfall relaterat till effekter på ekosystemen finns en uppdatering från 2011 (Moldan m. fl., 2011). I denna uppdatering finns ett särskilt kapitel för kritisk belastning av kväve för olika ekosystem i Sverige. För lövskog i Sverige gäller en kritisk belastning på 10 kg N/ha/år, för barrskog och myrmark 5 kg N/ha/år, och för fjällvegetation 3 kg N/ha/år.

Uppskattningar av nedfallet av kväve till skog är problematiska, eftersom en viss andel av det kväve som deponeras på trädkronorna tas upp direkt av bladen och barren och därmed inte når insamlarna för krondropp. En vidareutvecklad metod med strängprovtagare (Karlsson m. fl., 2011) kan kompensera för detta. Denna metod används inom Krondroppsnätet sedan 2013 vid tio platser runt om i landet, med finansiering från Naturvårdsverket inom den nationella miljöövervakningen. Metoden beskrivs i detalj i faktarutan nedan. Denna metod är ännu inte använd under längre tidsperioder och tidsutvecklingen vad gäller det årliga nedfallet av kväve till skogen måste därför bedömas utifrån provtagningar på öppet fält. Dessa mätningar speglar dock i huvudsak endast våtdepositionen.

Faktaruta: Metodik för att beräkna totalt nedfall av kväve och baskatjoner till skog.

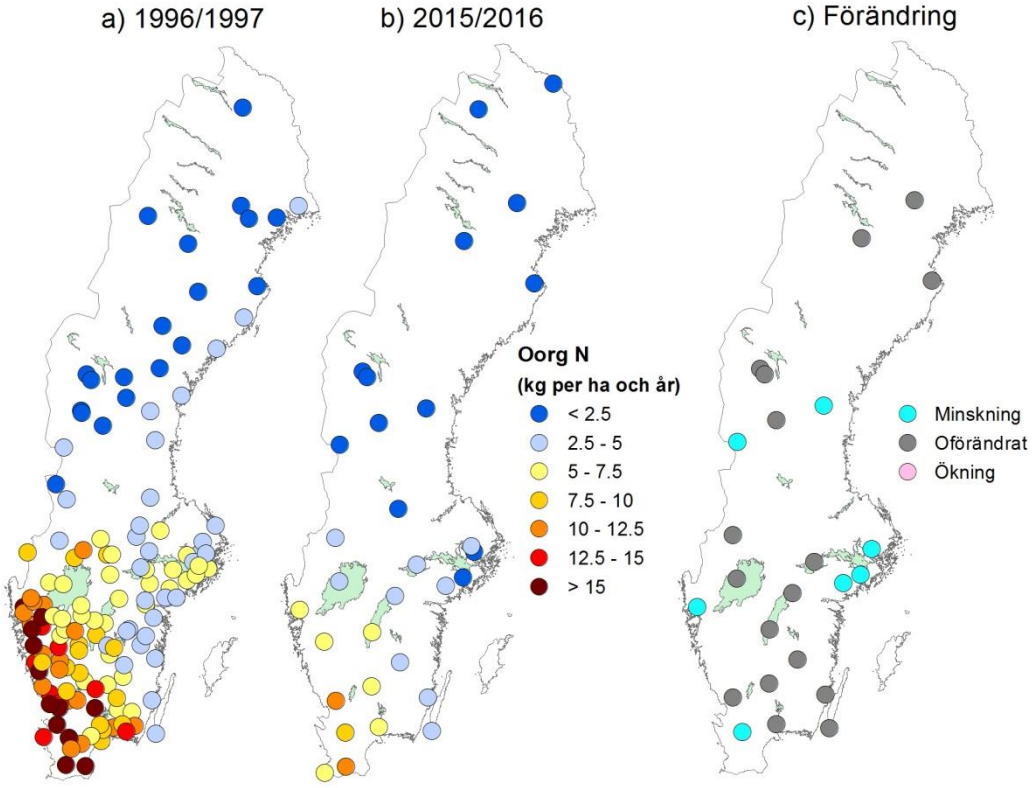
Mätningar med strängprovtagare kan, tillsammans med mätningar av nederbördskemin över öppet fält samt krondropp från platsen, ge en uppskattning av torrdepositionen för ämnen som samverkar med trädkronorna. Mätningar av nedfallet med nederbörden på öppet fält används som tidigare för att beräkna våtdepositionen.

Beräkningarna av det årliga, totala kvävenedfallet i denna rapport utgår från våtdepositionen över öppet fält för de hydrologiska åren 2013/14, 2014/15 och 2015/16 vid de mätplatser som markerats med svarta prickar i kartorna, Figur 14. Våtdepositionen kombineras med resultaten från tre års mätningar (samma år som ovan) med strängprovtagare vid 10 platser fördelade över Sverige, där andelen torrdeposition av den totala nedfallet (våt-+torrdeposition) har beräknats.

Torrdepositionen uppskattas genom användandet av surrogatytor, strängprovtagare av teflon, placerade under tak. Natrium används som en biologiskt inert markör för nedfallet till skogen. Torrdepositionen av ett specifikt ämne beräknas som koncentrationen av ämnet i provet från strängprovtagaren dividerat med koncentrationen av natrium i strängprovet och multiplicerat med nettokrondroppet för natrium till skogen vid provplatsen. Nettokrondroppet utgör för inerta ämnen såsom natrium, ett mått på torrdepositionen och beräknas som nedfallet i krondropp subtraherat med nedfallet på öppet fält, korrigerat för en viss torrdeposition till provtagningstrattarna.

Andelen torrdeposition av den totala nedfallet varierar geografiskt på ett systematiskt sätt från sydväst mot nordost. Andelen torrdeposition kan därför beräknas för alla platser som markerats i Figur 14. Utifrån detta kan det totala nedfallet av oorganiskt kväve beräknas för dessa platser. Slutligen interpoleras det totala nedfallet av oorganiskt kväve geografiskt med Kriging-teknik för att generera kartan i Figur 14.

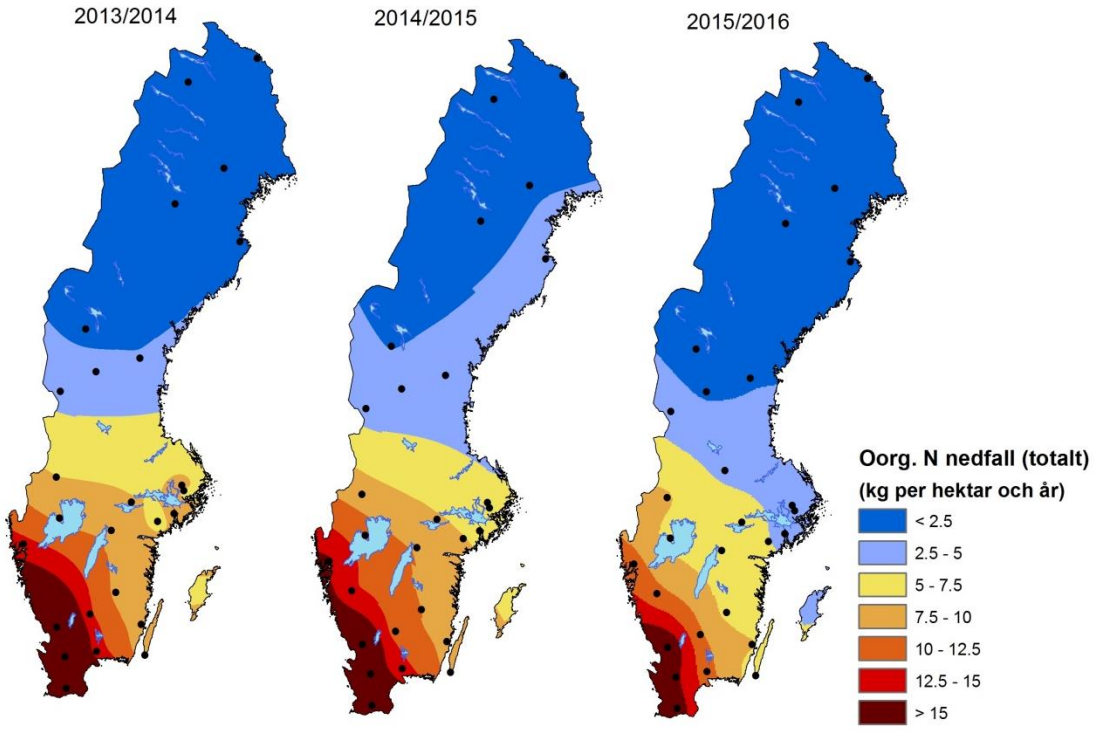
Det samlade nedfallet av oorganiskt kväve (nitrat + ammonium) som våtdeposition med nederbörden över öppet fält har under perioden mellan 1996/97 och 2015/16 minskat på ett statistiskt säkerställt sätt vid sju av totalt 24 platser, (Figur 13). Under 1996/97 varierade kvävenedfallet mellan 1 och 15 kg/ha över landet medan det under 2015/16 varierade mellan 1 och 11 kg/ha. Kvävenedfallet till öppet fält är som nämnts ovan starkt beroende av nederbördsmängderna. Av de sju platser som uppvisar en statistiskt säkerställd minskning i kvävenedfallet är det dock endast en plats, Hissmossa i Skåne, som uppvisar en statistiskt säkerställd nedgång i nederbördsmängder.



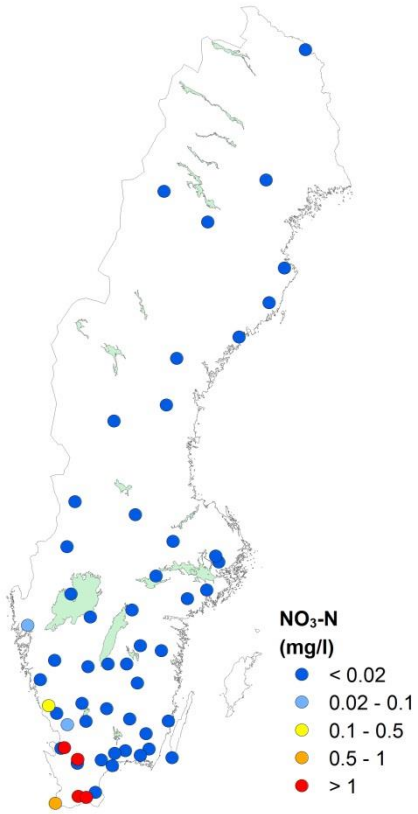
Figur 13. Nedfall av oorganiskt kväve (öppet fält) under två tidsperioder 1996/97 och 2015/16 samt resultatet av statistisk analys av förändringen mellan dessa år. Statistisk analys är gjord med Mann-Kendall-metodik för de mätplatser där mätningar fanns både 1996/97 samt 2015/16.

Beräknat totalt nedfall av oorganiskt kväve till granskog, det vill säga summan av torr- och våtdeposition, visas i Figur 14 för de tre hydrologiska åren 2013/14, 2014/15 och 2015/16. Ur kartorna kan avläsas att kvävenedfallet har varierat mellan åren. Generellt var kvävenedfallet lägst under 2015/16 och det högsta nedfallet beräknades för södra Sverige under 2013/14 medan det högsta nedfallet i norra Sverige beräknades för 2014/15, Figur 14.

Den kritiska belastningen för barrskog, 5 kg N/ha/år, överskreds i hela södra halvan av landet under alla tre åren, möjligen med undantag av nordöstra delen av södra Sverige 2015/16. I sydvästra delarna var överskridandet av belastningsgränsen kraftigt. Även den kritiska belastningen för lövskog, på 10 kg N/ha/år, överskreds i stora delar av sydvästra Sverige där lövskogsandelen är hög. Den geografiska gradienten i storleken på kvävenedfallet varierar dock mellan åren. Det allra högsta kvävenedfallet beräknades för Stenshult på Romeleåsen i Skåne till 26 kg N/ha under 2013/14. Det lägsta värdet i norr var 0.8 kg N/ha under 2015/16 vid Nikkaluokta.



Figur 14. Beräknat totalt nedfall av oorganiskt kväve till granskog för de tre hydrologiska åren 2013/14, 2014/15 och 2015/16. För beskrivning av metodik, se faktaruta i texten. Interpolering har utförts med Kriging, baserat på beräknade data för 26 platser (2013/14), 27 platser (2014/15) och 28 platser (2015/16) över landet, vilka illustreras med svarta punkter.



Förhöjda koncentrationer av nitrat, och i viss mån ammonium, förekommer i markvattnet med mycket oregelbundna intervaller. I Figur 15 visas medianvärdet för nitrathalter i markvattnet för en treårsperiod 2014-2016. Det är tydligt att de högsta halterna av nitrat i markvattnet förekommer i de sydvästra delarna av landet. I övriga Sverige ligger halterna av nitrat i markvattnet mycket lågt. Gradienten för nitrat med de högsta halterna i de sydvästra delarna av landet och minskande halter mot norr indikerar ett starkt samband med storleken på kvävenedfallet, Figur 14. I nuläget verkar ett kvävenedfall på >15 kg N/ha/år sammanfalla med hög risk för bestående läckage av nitrat till markvattnet. Det ska dock påpekas att det historiska kvävenedfallet spelar stor roll.

Figur 15. Nitrat (NO_3-N) i markvatten provtagen vid 50 cm djup under perioden 2014-2016 (medianvärde).

4 Tillståndet i skogsmiljön i mellersta Sverige

I följande kapitel visas resultaten från ett antal utvalda platser i mellersta Sverige för att ge en bild av variationen i hela området. När det gäller svavelnedfallet bör noteras att det i denna rapport alltid anges som svavelnedfallet utan havssaltsbidrag. Detta för att representera det antropogena svavelnedfallet.

I mellersta Sverige gjordes mätningar på 10 platser i fyra län under 2015/16 (Figur 16).

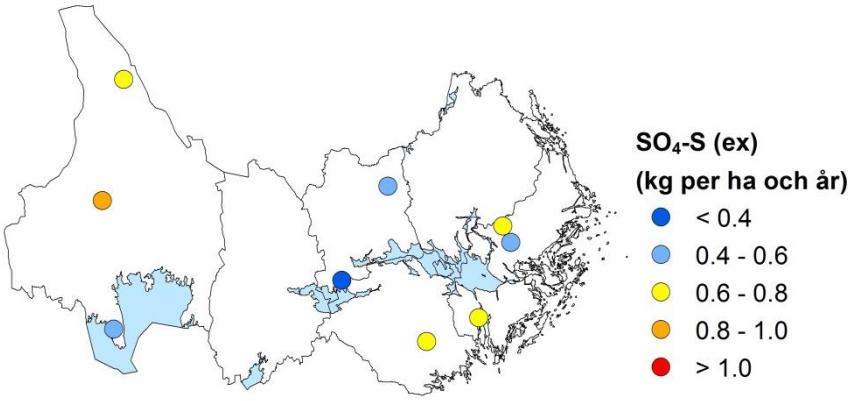
Figur 16. Mätplatser och län som ingår i denna rapportering för mellersta Sverige. Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

4.1 Vad händer med försurningen av skogsekosystemen i mellersta Sverige?

4.1.1 Svavelnedfallet i mellersta Sverige – effekter av emissionsminskning och vädervariationer

Svavelnedfallet i mellersta Sverige har minskat kraftigt sedan början av 1990-talet, i takt med de minskade emissionerna. På en av de mest utsatta platserna i den sydvästra delen av mellersta Sverige har nedfallet minskat från omkring 10 till under 2 kg per hektar och år. Under 2015/16 uppmättes på många ställen det hittills lägsta svavelnedfallet. Det beror till stor del på att nederbördsmängden var ovanligt låg, men sannolikt har även de kontinuerligt minskande svavelemissionerna spelat roll.

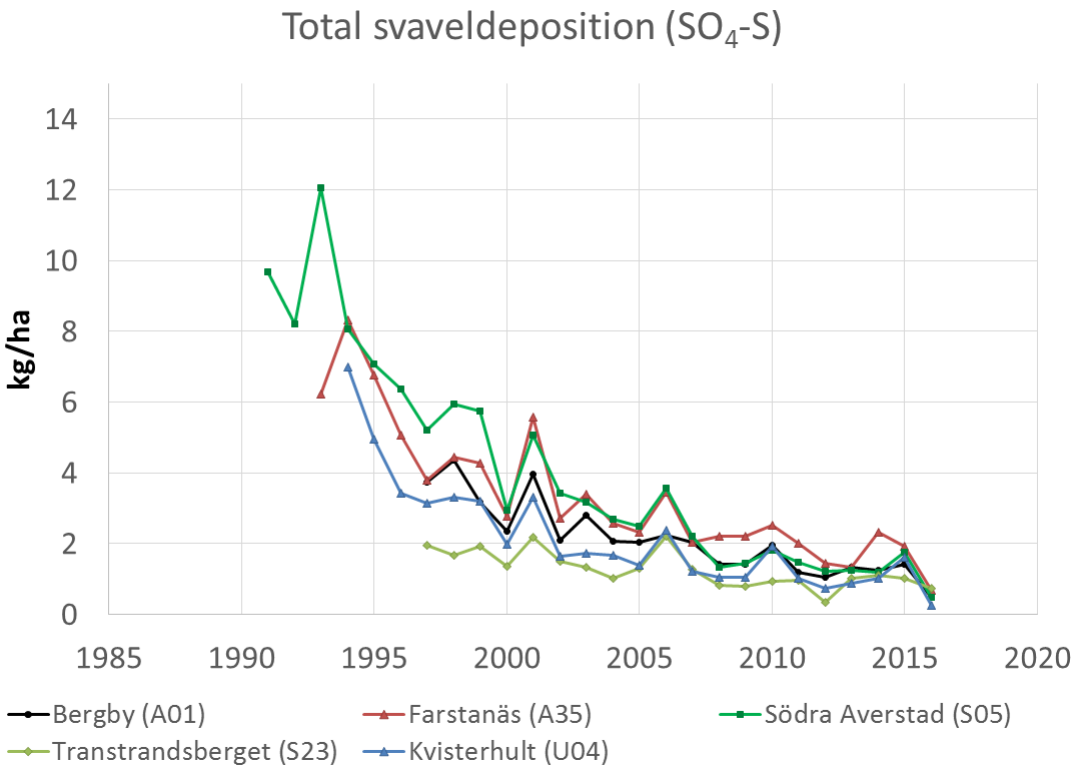
Svavelnedfallet i mellersta Sverige har minskat kraftigt sedan början av 1990-talet, från omkring 10 kg per hektar och år på de värst utsatta platserna till 1-2 kg de senaste åren (Figur 18). Den största förändringen skedde fram till omkring år 2000. Minskningen kan direkt relateras till den minskning av europeiska emissioner som skett under denna period (Kapitel 2.3). Variationer mellan åren beror till stor del på meterologiska variationer, som gör att luftmassorna kommer från olika håll och bär med sig olika mycket luftföroreningar. Andra faktorer som kan spela in är mellanårsvariationer i emissioner. Under 2015/2016 var svavelnedfallet under 1 kg per hektar på samtliga mätplatser i mellersta Sverige (Figur 17). För 20 år sedan fanns en geografisk gradient i området, med högst nedfall i de södra och östra delarna (Figur 9). Denna gradient kan inte längre skönjas (Figur 17).



Figur 17. Svavelnedfallet till skogen (krondropp) under 2015/16 vid samtliga mätplatser i mellersta Sverige.

Granskogen i Södra Averstad vid Vänern är en av de mätplatser i mellersta Sverige, med lång mätserie, som har haft högst svavelnedfall, omkring 10 kg per hektar och år i början av 1990-talet (Figur 18). Detta kan förklaras av det utsatta läget på Värmlandsnäs, som innebär att de sydvästliga vindarna för med sig föroreningar över Vänern, som deponeras i skogarna nordost om Vänern. De senaste nio hydrologiska åren har nedfallet i Södra Averstad varit under 2 kg per hektar och år. Granskogen i Farstanäs i sydöstra delen av mellersta Sverige tog generellt emot mindre svavel än Södra Averstad i början av mätperioden, men har de senaste 10 åren tagit emot omkring 2 kg per hektar och år, vilket är något mer än i Södra Averstad. Detta skulle kunna vara en effekt av att Farstanäs påverkas mer av sjöfarten, för vilken emissionerna inte minskat i samma utsträckning som andra källor. Bergby, norr om Farstanäs, har generellt haft något lägre nedfall än Farstanäs, vilket kan bero på att det är en tallskog, som därmed tar emot mindre torrdeposition. Ännu lägre har nedfallet varit i granskogen i Kvisterhult som ligger centralt i mellersta Sverige. Vid den nordligaste ytan, granskogen i Transtrandsberget i norra Värmland, har svavelnedfallet överskridit 2 kg endast två hydrologiska år, och det är därmed den mätplats i mellersta Sverige som generellt uppvisat lägst svaveldeposition.

Under det hydrologiska året 2015/16 uppmättes det hittills lägsta svavelnedfallet på många platser i mellersta Sverige. I Södra Averstad, Farstanäs, Bergby och Kvisterhult noterades det lägsta svavelnedfallet för tidsserierna, och i Transtrandsberget var nedfallet det näst lägsta som uppmätts (Figur 18). Nedfallet på dessa platser varierade mellan 0,3 kg per hektar och år (Kvisterhult) och 0,7 kg per hektar och år (Farstanäs och Transtrandsberget). De låga nivåerna beror till stor del på att nederbörden var ovanligt låg under 2015/16. I januari 2015 minskade den tillåtna svavelhalten i fartygsbränslen från 1 % till 0,1 %. Detta kan också ha påverkat svavelnedfallet i mellersta Sverige (Kapitel 5.2).



Figur 18. Årligt totalt svavelnedfall (krondropp) vid fem mätplatser i mellersta Sverige sedan mätstart vid respektive plats.

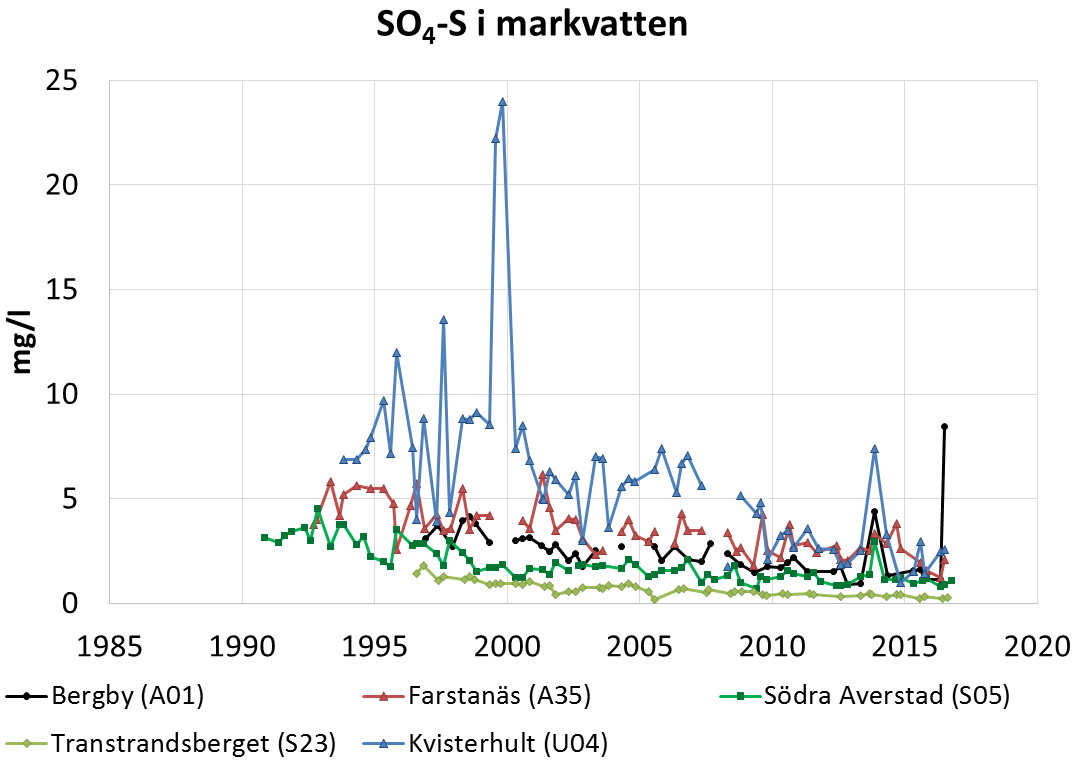
4.1.2 Markvattnet reagerar långsamt på minskat svavelnedfall

Det minskade svavelnedfallet åtföljs av signifikant minskande svavelhalter i markvattnet. Minskningens storlek beror, förutom på nedfallets förändring, på hur starka sulfatprocesserna i marken, som fördröjer återhämtningen, är. Den syraneutraliserande förmågan, ANC, har varit positivt på alla nio mätplatser i mellersta Sverige under den senaste treårsperioden och pH har visat på måttlig till låg surhet, mellan 5 och drygt 6. Vid fyra av sex av mätplatserna med lång tidsserie i mellersta Sverige visar på en signifikant återhämtning från försurning, i form av ökat pH och/eller ANC. De två platser som inte uppvisade någon signifikant återhämtning uppvisar ändå relativt goda förhållanden, med pH över 5,2 och positivt ANC.

Under perioder med högt svavelnedfall adsorberas svavel i jorden, vilket gör att försurnings-effekten minskar. Under återhämtningen avgår dock detta svavel till markvattnet, vilket försenar återhämtningen. Olika jordar har olika kapacitet att binda svavel, och tidsutvecklingen för svavel-halten i markvattnet kan ge en bra indikation på vilket återhämtningsförlopp som kan förväntas. Om svavelhalten minskar kraftigt är förutsättningarna bättre för att även pH och ANC förändras.

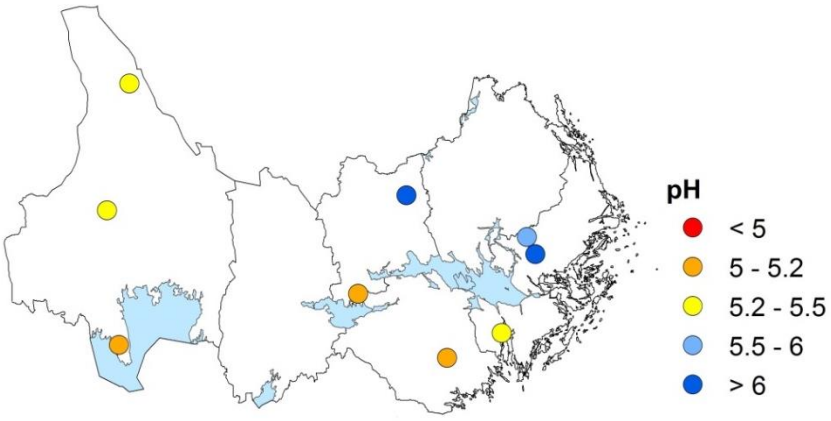
Svavelhalten i markvattnet har minskat signifikant under de senaste två decennierna på alla sex mätplatser i mellersta Sverige med tidsserier som sträcker sig över 19-årsperioden (Figur 10). Hur kraftig minskningen i svavelnedfallet varit på olika platser beror på olikheter mellan olika jordar vad gäller svavelprocesser i marken. Kvisterhult är den mätplats som haft högst halter av svavel i

markvattnet under mätperioden, oftast mellan 5 och 10 mg/l i början av perioden, trots att nedfallet inte varit störst där. Det tyder på att mycket svavel adsorberats i jorden i Kvisterhult under försurningsfasen. Halterna har minskat kraftigt, till följd av att mängden adsorberat svavel minskat. De senaste åren har halterna oftast varit under 3 mg/l, Figur 19. Bergby och Farstanäs i Stockholms län uppvisade avsevärt lägre halter i början av mätperioden. I Farstanäs var halten omkring 5 mg/l i början av 90-talet. Mätningarna i Bergby började först det hydrologiska året 1996/97, och halten var då mellan 3 och 4 mg/l, samma nivå som i Farstanäs vid den tiden. På senare år har halterna legat på ungefär samma nivå som i Kvisterhult. Värmlandsytorna Södra Averstad och Transtrandsberget uppvisar också signifikant minskade svavelhalter, men nivåerna är lägre. I Södra Averstad har halten minskat från mellan 3 och 4 mg/l i början av 90-talet till omkring 1 mg/l de senaste åren. I Transtrandsberget har svavelhalten varit under 2 mg/l sedan mätstart 1996/97, och på senare år under 0,5 mg/l.

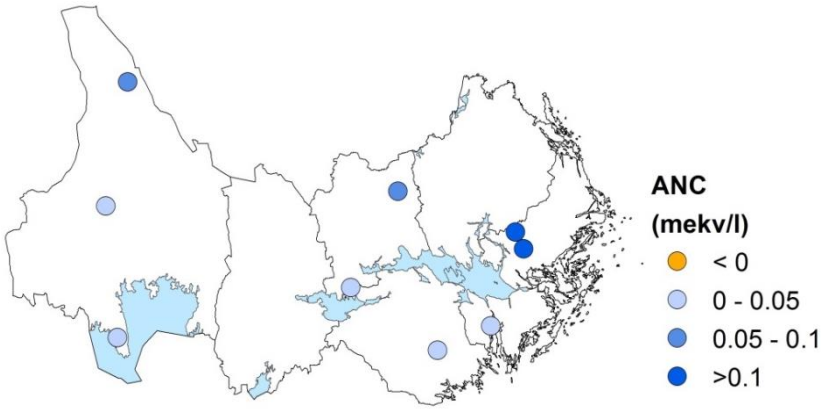


Figur 19. Halter av sulfatsvavel (SO_4-S) i markvattnet vid fem platser i mellersta Sverige.

Markvattnets pH följer i viss mån samma gradient som svavelnedfallet gjorde under perioden då det var högt, med ökat pH mot norr, men de grundläggande markförutsättningarna spelar också stor roll (Figur 20). Det tydligaste exemplet på markens betydelse är i Stockholms län, där pH-värdet är högt trots högt historiskt svavelnedfall, vilket kan förklaras av att jordarna i denna region har hög buffringskapacitet. På samtliga mätplatser i mellersta delen av Sverige har pH, som medianvärde för de tre senaste hydrologiska åren, överskridit 5,0 (Figur 20), vilket är långt över gränsen för hög surhet (pH 4,4) enligt bedömningsgrunderna. På tre av nio platser med markvattenmätningar har pH varit högre än 5,5, vilket innebär låg surhet (pH>5,5) enligt bedömningsgrunderna. Medianen för ANC har varit över 0 på samtliga mätplatser i mellersta Sverige, Figur 21.



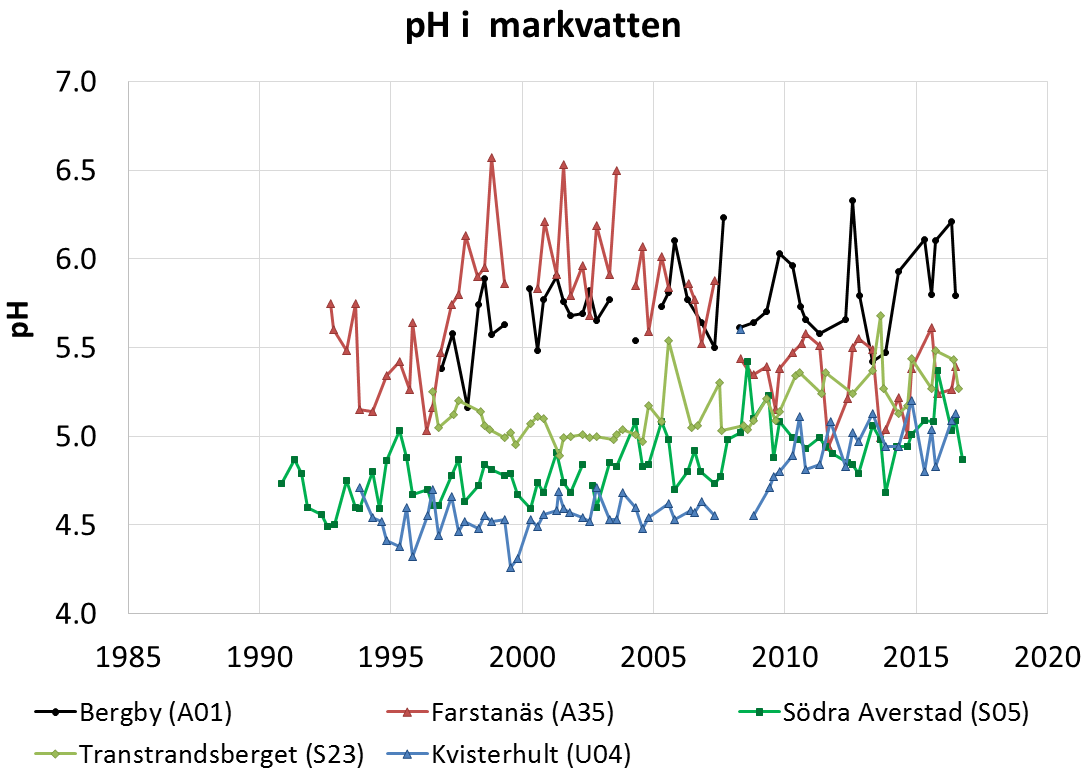
Figur 20. pH i markvatten, provtagen vid 50 cm djup, under tidsperioden 2014-2016 (medianvärde) vid samtliga mätplatser i mellersta Sverige.



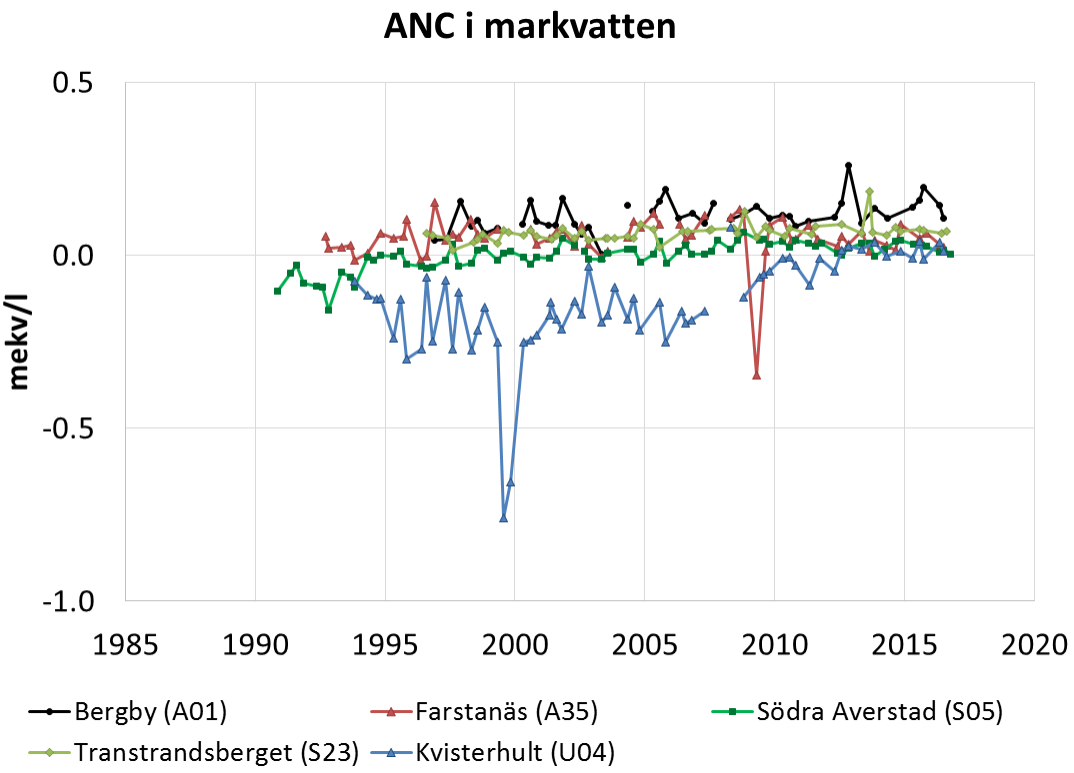
Figur 21. ANC i markvatten, provtagen vid 50 cm djup, under tidsperioden 2014-2016 (medianvärde) vid samtliga mätplatser i mellersta Sverige.

Återhämtning från försurning kännetecknas av förhöjt pH och förhöjt ANC i markvattnet. I mellersta Sverige har pH ökat signifikant på hälften av de sex mätplatserna med långa tidsserier under de senaste 19 åren (Figur 11). ANC har ökat signifikant på fyra av sex platser (Figur 12). På två platser har försurningsstatusen försämrats, på en plats (Farstanäs) har pH minskat och på en annan plats (Blåbärskullen) har både pH och ANC minskat signifikant.

Markens försurningsstatus i ett skogsbestånd beror dels på hur mycket försurande nedfall som har deponerats i beståndet, dels på markens egenskaper och dess förmåga att stå emot försurningen. I Södra Averstad, som är en av de mätplatser i mellersta Sverige som haft högst svavelnedfall, har pH ökat signifikant från låga nivåer, som lägst 4,5, till omkring 5, Figur 22. ANC har samtidigt ökat signifikant från under 0 till svagt positiva värden (Figur 23). Kvisterhult, där nedfallet varit lägre, uppvisade fram till år 2010 lägre pH och ANC än Södra Averstad, men har därefter legat på ungefär samma nivå. Även i Kvisterhalt var ökningarna statistiskt säkerställda. Den större surheten i Kvisterhult kan förklaras av hög svaveldesorption i marken under mätperioden, vilket syns på de höga svavelhalterna i markvattnet i Kvisterhult (Figur 19). Även i Transtrandsberget, där svavelnedfallet varit på en förhållandvis låg nivå under hela tidsserien, har pH och ANC ökat signifikant. ANC har varit över 0 och pH oftast över 5,0 under hela tidsperioden. På senare år har pH varit närmre 5,5. Bergby och Farstanäs har, trots att de haft relativt högt svavelnedfall historiskt sett, uppvisat pH-värden på mellan 5 och 6,5, samt oftast positiva ANC, under hela tidsperioden. ANC i Bergby uppvisar en signifikant ökning under perioden. Högt pH och ANC beror på att mätplatserna ligger i en region med jordar med god buffringskapacitet mot försurning.



Figur 22. pH i markvatten, provtagen vid 50 cm djup, sedan mätstart vid fem mätplatser i mellersta Sverige.



Figur 23. ANC i markvatten, provtagen vid 50 cm djup, sedan mätstart vid fem mätplatser i mellersta Sverige.

4.2 Förändras övergödningsproblematiken i skogsmiljön i mellersta Sverige?

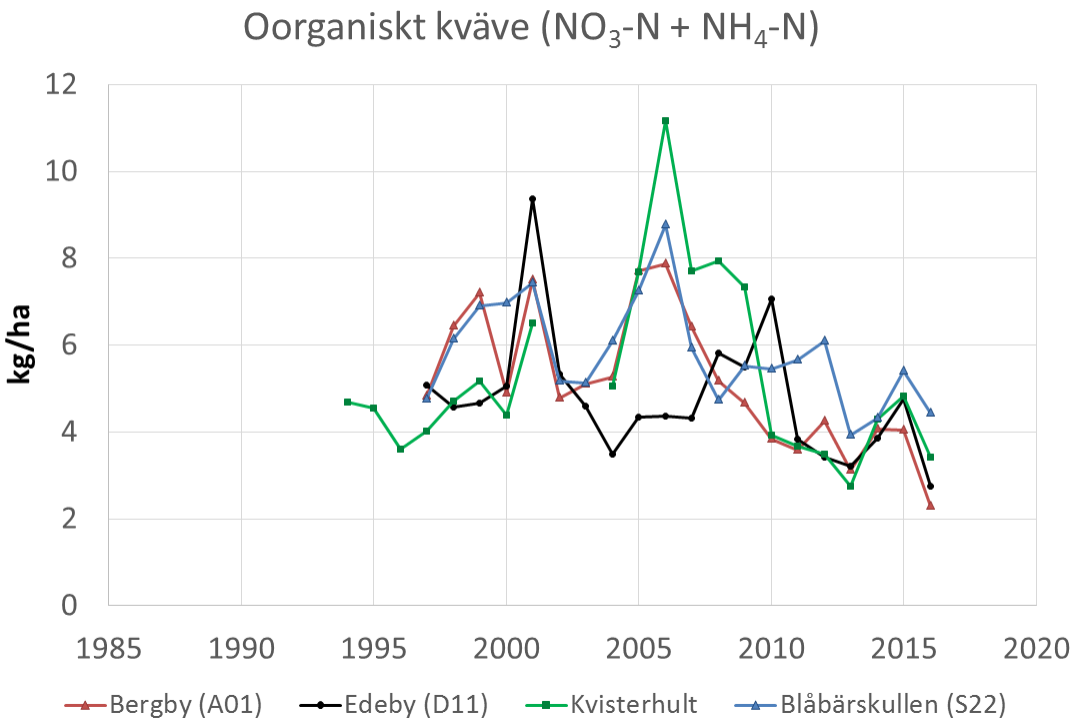
4.2.1 Nedfallet av kväve med nederbörden minskar i delar av mellersta Sverige

Kvävenedfallet som våtdeposition har minskat signifikant vid de tre mätplatserna i de östra delarna av mellersta Sverige under de senaste 19 åren. Under 2015/16 uppmättes på fyra av sex mätplatser i mellersta Sverige det lägsta kvävenedfallet med nederbörden som hittills uppmätts. Det beror till stor del på att nederbördsmängden var ovanligt låg. Beräknat totalt kvävenedfall för det hydrologiska året 2015/16 visar att kritisk belastning för kvävenedfall till barrskog överskrids främst i de västra men även i de mellersta delarna av mellersta Sverige, men inte i de östra delarna.

Det samlade nedfallet av kväve till skogsekosystemen, inkluderat både torr- och våtdeposition, är som tidigare nämnts svårt att mäta eftersom en del av kvävet tas upp direkt i trädkronorna. Metodik för att mäta det samlade kvävenedfallet beskrivs i kapitel 3.4, men den har ännu endast använts under tre års tid. Därför måste förändringar av kvävenedfallet i mellersta Sverige över tiden tills vidare analyseras baserat på mätningarna av nederbörden över öppet fält, vilket inkluderar i huvudsak våtdepositionen.

Under de senaste 19 åren minskade det organiska kvävenedfallet med nederbörden vid samtliga tre mätplaster i östra delarna av mellersta Sverige, Figur 13. Vid övriga tre mätplatser i mellersta och västra delarna av mellersta Sverige fanns ingen statistiskt säkerställd förändring, Figur 13.

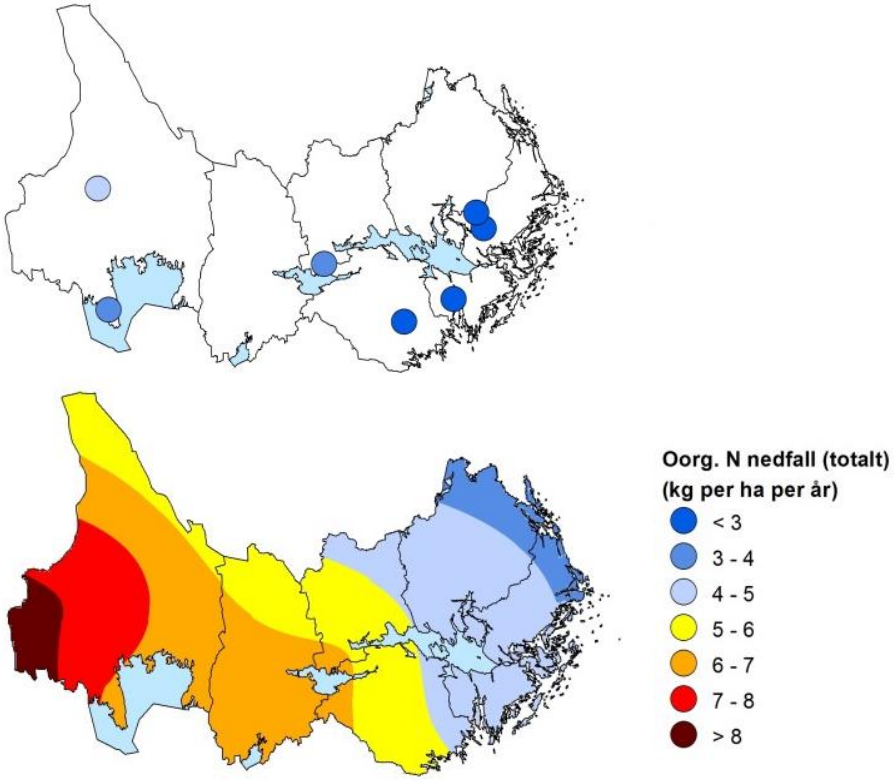
Exempel på hur våtdepositionen av oorganiskt kväve varierat över tid i mellersta Sverige visas för fyra mätplatser i Figur 24. Mellanårsvariationen är stor, främst beroende på variationen i nederbördsmängder, men även på varifrån luftmassorna kommer. Mellan 1995-2000 varierade kvävenedfallet i mellersta Sverige mellan 5-7 kg N/ha och år för att senare under perioden 2000-2010 variera mellan cirka 3-11 kg N/ha och år, Figur 24. Under de senaste sex åren har nedfallet tenderat att minska i området till mellan cirka 2-6 kg N/ha och år. Under det senaste hydrologiska året var kvävenedfallet lågt, vid Bergby och Edeby det lägsta som uppmätts vid respektive plats sedan mätstart, Figur 24. Även vid Farstanäs (Stockholms län) och Södra Averstad (Värmlands län) var kvävenedfallet det lägsta som uppmätts sedan mätstart (Data visas i Bilaga 1).



Figur 24. Årligt nedfall av oorganiskt kväve som våtdeposition med nederbörden till öppet fält vid fyra mätplatser i mellersta Sverige sedan mätstart vid respektive plats.

I Figur 25 visas kartor över nedfallet av oorganiskt kväve (NO_3 + NH_4) för 2015/16 i mellersta Sverige, dels som våtdeposition (översta kartan) och dels som beräknad totaldeposition (våt- + torrdeposition) (undre kartan). De bakomliggande data är samma som i Figur 14, och metodiken beskrivs i kapitel 3.4. I Figur 25 har dock färgskalan finjusterats för att ge mera information om situationen i mellersta Sverige.

I Figur 25 framgår en öst-västlig geografisk gradient vad gäller det totala kvävenedfallet till skog, med högst nedfall i väster. För lövskog i Sverige gäller en kritisk belastning på 10 kg N/ha/år och för barrskog 5 kg N/ha/år. Gränsen 5 kg N/ha/år överskrids under 2015/16 i den västra delen av mellersta Sverige men inte i den östra. Mätningar av torrdepositionen av kväve bedrivs vid Blåbärskullen i Värmland och vid Edeby i Södermanland. Resultaten från dessa mätplatser visar att det totala kvävenedfallet till lika delar består av oxiderat (NO_3) och reducerat (NH_4) kväve.



Figur 25. Nedfall av oorganiskt kväve (NO_3-N + NH_4-N) över öppet fält (överst) och som totalkväve (underst) under 2015/16 vid samtliga mätplatser i mellersta Sverige.

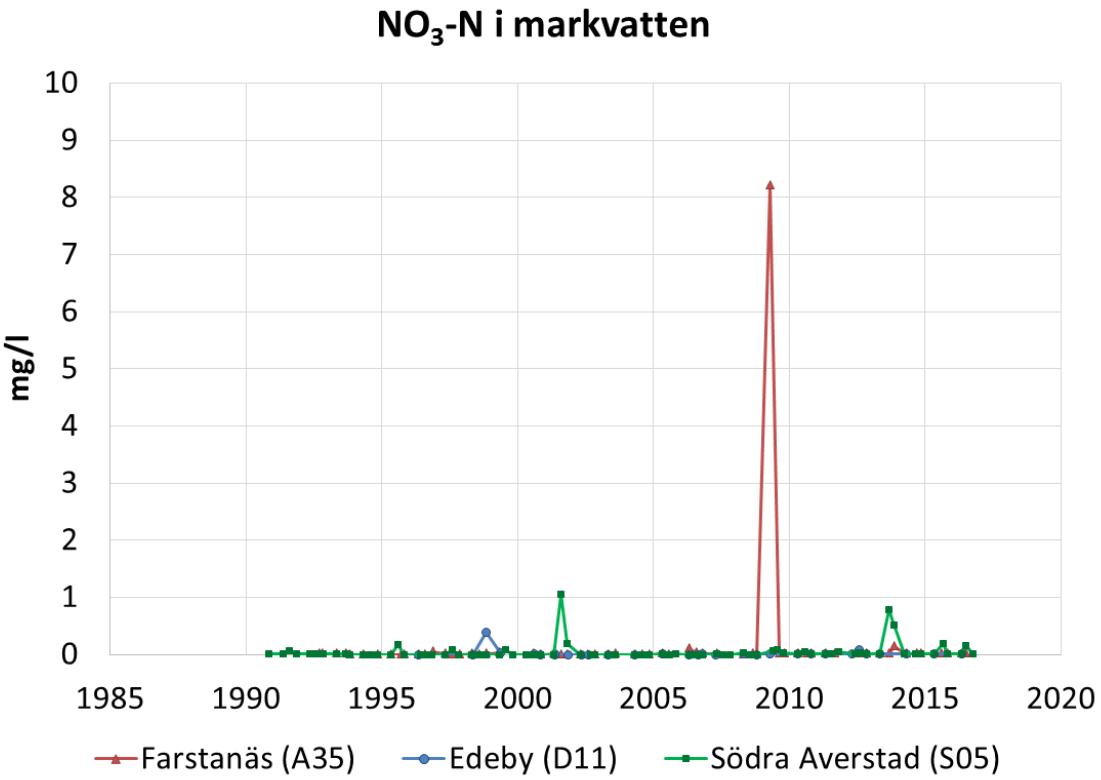
4.2.2 Förhöjda kvävehalter i markvattnet endast i några få fall

Nitrat förekommer sällan i markvattnet i ostörda skogsekosystem, förutom längst ner i sydvästra Sverige. I mellersta Sverige är det få provytor som har haft eller har förhöjda halter av nitrat (NO_3-N) i markvattnet.

I de flesta fall detekteras inget nitratkväve i markvattnet i skogen eftersom träden normalt tar upp allt kväve. I mellersta Sverige är det få av de aktiva ytorna som har haft eller har förhöjda halter av nitrat i markvattnet, och det finns inget exempel med kroniskt förhöjda halter, som det finns i de mer kvävebelastade delarna i sydvästra Sverige.

Vid Södra Averstad, i sydligaste Värmland, en av de mer kvävebelastade skogsytorna i mellersta Sverige, har det uppmätts förhöjda halter av nitrat vid enstaka tillfällen, som högst 1 mg/l (Figur 26). Denna granyta är nu avverkad och fortsatta mätningar får visa hur mycket halterna av nitratkväve i markvattnet ökar, vilket kan relateras till halterna i tidigare avverkade granytor i mer kvävebelastade skogar i södra Sverige.

Vid ett enstaka tillfälle uppmättes ett högt värde för nitratkväve vid Farstanäs, men det går inte att dra några slutsatser av ett enstaka förhöjt värde.



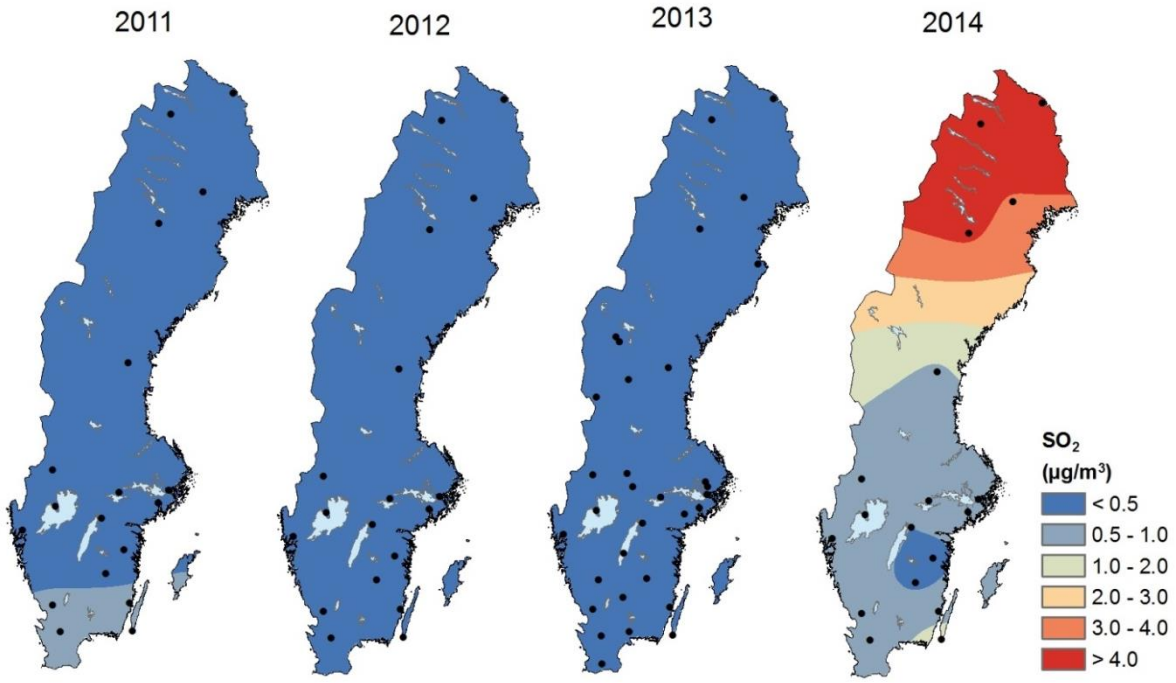
Figur 26. Halter av nitratkväve i markvattnet vid tre platser i mellersta Sverige.

5 Aktuellt 2016

5.1 Temarapporten om vulkanutbrottet och dess effekter

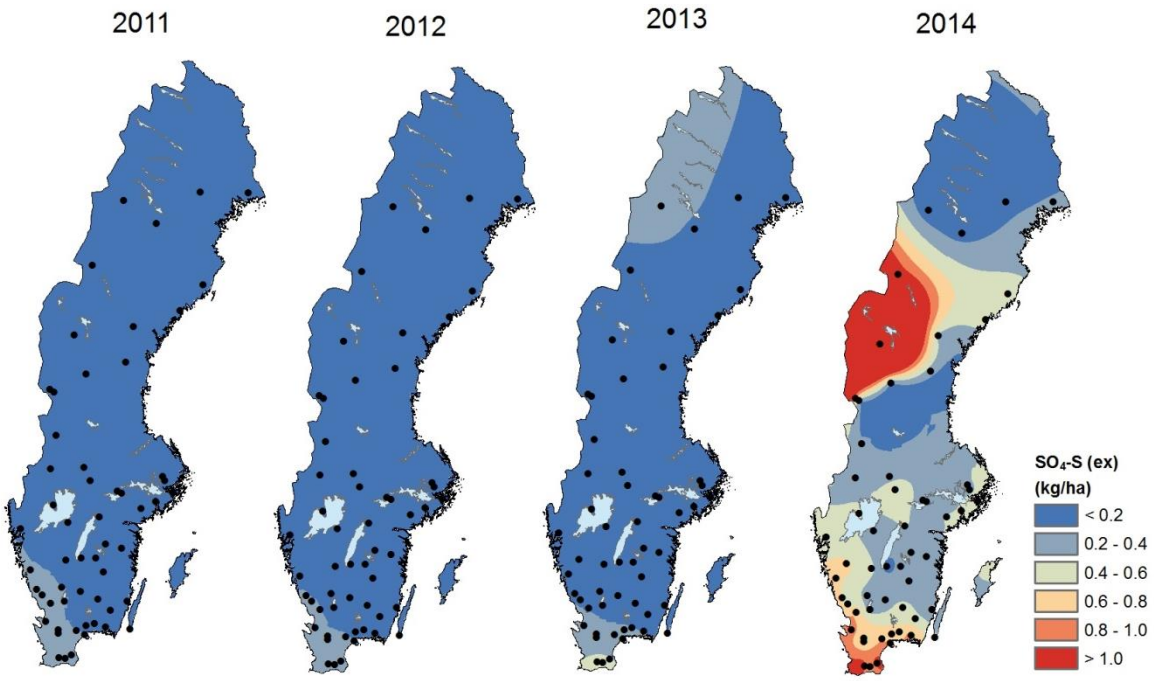
Under sensommaren och hösten 2014 samt början av 2015 inträffade ett mycket stort vulkanutbrott på Island, med utsläpp av svaveldioxid i samma storleksordning som de samlade antropogena utsläppen från Europa under ett helt år. Högst svavelutsläpp från vulkanen inträffade under september till november 2014. Vulkanutbrottet påverkade periodvis luftkvaliteten i Sverige, främst under september 2014, och i synnerhet i norra Sverige, som normalt är en ren miljö utan större föroreningskällor. Tack vare den omfattande geografiska täckningen av mätplatser inom Krondroppsnätet kunde påverkan från svavelutsläppen från vulkanen på Island bekräftas på ett relativt tidigt stadium och göras känt för massmedia och allmänhet.

Samtliga mätplatser inom Krondroppsnätet uppvisade förhöjda lufthalter av SO_2 i september 2014 jämfört med tidigare år, Figur 27. Den uppmätta genomsnittliga SO_2-halten för september 2014 över Sverige var nästan åtta gånger så hög jämfört med motsvarande treårsmedelvärde för september under 2011-2013. Spridningsmodellering med EMEP-modellen visade att över 90 % av uppmätt SO_2 under september 2014 hade sitt ursprung i SO_2-emissioner från vulkanutbrottet.



Figur 27. SO_2-halter i Sverige under september 2011, 2012, 2013 och 2014. Kartorna är ett resultat av en geografisk interpolering (Kriging), baserat på mätpunkter inom Krondroppsnätet.

Även svavelnedfallet över Sverige påverkades av vulkanutbrottet på Island. Såväl våtdepositionen som totaldepositionen som krondropp till granskog ökade allra mest i norra Sverige. Den största förhöjningen av det totala svavelnedfallet inträffade för flertalet mätstationer under oktober månad, Figur 28. Detta kan förklaras av ett högt svavelutsläpp från vulkanen under oktober månad men även av den låga nederbördsmängden under september, varför en stor mängd torrdepositionen av svavel från september främst samlades in tillsammans med oktoberprovet. Det uppmätta genomsnittliga totala svavelnedfallet i oktober 2014 över Sverige, var cirka tjugotvå gånger så hög jämfört med motsvarande treårsmedelvärde för oktober under 2011-2013. Spridningsberäkning med EMEP-modellen visade att våtdepositionsandelen från vulkanen var mer än 80 % i vissa delar av norra Sverige. Under september månad var vulkanens bidrag till våtdepositionen av svavel i Sverige ännu högre och i stort sett hela Sverige hade då ett nedfall där mer än 60 % härrörde från vulkanen.



Figur 28. Totalt svavelnedfall via krondropp i Sverige under oktober 2011, 2012, 2013 och 2014. Kartorna är ett resultat av en geografisk interpolering (Kriging), baserat på mätpunkter inom Krondroppsnätet.

Även om det antropogena svavelnedfallet och lufthalten av SO_2 minskat dramatiskt i Sverige under de senaste 30 åren, belyser den här studien vikten av att upprätthålla luftkvalitetsmätningar. Krondroppsnätets mätningar bekräftar inte bara återhämtning, utan är också ett användbart verktyg för att spåra effekterna av specifika föroreningshändelser såsom vulkaniska utsläpp av SO_2.

I Rapporten *"Påverkan på atmosfäriskt nedfall och luftkvaliten i Sverige av SO_2-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014-2015"* (Hellsten m.fl., 2017) redovisas en mer 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 Krondroppsnätet.

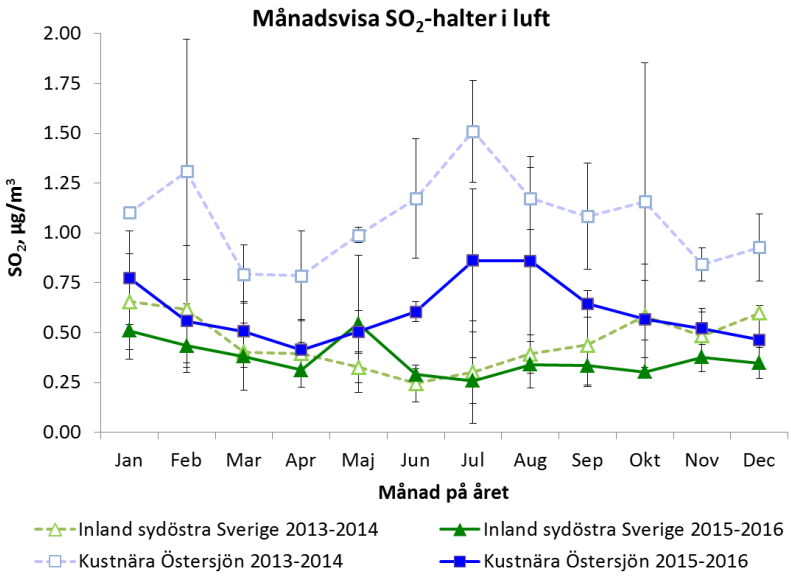
5.2 Har sänkt svavelinnehåll i fartygsbränsle fortsatt gett bättre luftkvalitet?

Den 1 januari 2015 skärptes gränsvärdena för hur mycket svavel som fartygsbränsle får innehålla, från tidigare 1 procent till 0,1 procent svavel. Resultaten från förra årets rapportering inom Krondroppsnätet (Pihl Karlsson m. fl., 2016) visade att svaveldioxidhalterna (SO_2) vid kustnära platser under 2015 var cirka 30 % lägre jämfört med motsvarande medelvärde för de tre närmast föregående åren, medan en motsvarande minskning inte kunde uppmätas vid platser i inlandet. Vi fortsätter här dessa analyser efter ännu ett år med mätningar efter det att halten svavel i fartygsbränsle sänktes.

För analysen har mätningar av lufthalter (SO_2) inom Krondroppsnätet och Luft- och Nederbördskemiska nätet (LNKN)[1] använts, se kartan till vänster. I den kustnära kategorin ingår mätplatsen Ottenby som ligger på Ölands södra udde samt mätplatsen Hoburgen på Gotlands södra udde. I inlandskategorin ingår fyra mätplatser, Rockneby och Risebo i Kalmar län, Sännen i Blekinge län och Fagerhult i östra delen av Jönköpings län. Mätplatserna Ottenby, Rockneby, Risebo och Fagerhult ingår i Krondroppsnätet medan Hoburgen och Sännen ingår i LNKN. Mätningarna har finansierats av Naturvårdsverket (Ottenby, Hoburgen samt Sännen), Kalmar läns luftvårdsförbund (Rockneby och Risebo) samt Jönköpings läns luftvårdsförbund (Fagerhult).

För analyser av eventuella skillnader av medelkoncentrationer, mellan år och mellan månader, för de kustnära platserna och platserna i inlandet har variansanalys (ANOVA) använts, Tabell 1. Detta är en statistisk metod som används för att undersöka skillnader i medelvärde mellan två eller fler grupper. Analysen har utförts med hjälp av statistikprogrammet STATGRAPHICS Plus for Windows.

Resultaten från 2016 visar fortsatt på lägre SO_2-halter vid kustnära platser som ett medelvärde för 2015-2016 jämfört med motsvarande mätningar för perioden 2013-2014, Figur 29. Halterna av svaveldioxid vid de två kustnära platserna i Östersjön som medelvärde för perioden 2015/2016 (jan-dec) var 43 % lägre jämfört med motsvarande medelvärde för perioden 2013/2014. Minskningen mellan åren är statistiskt signifikant säkerställd vid de kustnära platserna. Även vid mätplatserna i inlandet, i sydöstra Sverige, fanns en statistiskt signifikant minskning mellan medelvärdet för perioderna 2015-2016 och 2013-2014, dock var minskningen betydligt lägre 19 %.



Figur 29. Månadsvisa medelvärden dels för kalenderåren 2015-2016 (fyllda symboler), dels för 2013-2014 (ofyllda symboler). Blå symboler visar medelvärdet för de kustnära platserna och gröna symboler gäller platserna i inlandet. Standardavvikelserna visas med vertikala staplar.

[1] Mätningarna inom Luft- och Nederbördskemiska nätet genomförs av IVL inom ramen för den nationella miljöövervakningen, finansierad av NV.

Den statistiska analysen på månadsbasis visade på statistiskt signifikant minskning vid kustnära platser, under 2015-2016 jämfört med 2013-2014, för samtliga månader, förutom maj, där ingen statistiskt signifikant förändring erhölls, Tabell 1. Vid inlandsplatserna var svaveldioxidhalterna signifikant lägre under 2015-2016 jämfört med 2013-2014 under 5 månader och signifikant högre under 1 månad (juni), under resterande 6 månader erhölls ingen signifikant förändring. Att även lufthalterna av svavel i södra Sveriges inland påverkas av minskade svavelutsläpp från fartygstrafiken är vad som kan förväntas.

Tabell 1. Statistisk analys, med envägs ANOVA, av skillnader i medelkoncentrationer av svaveldioxid vid två kustnära platser (Ottenby och Hoburgen) samt fyra platser belägna i inlandet (Sännen, Rockneby, Risebo samt Fagerhult) mellan tidsperioderna 2013-2014 samt 2015-2016. Samma bokstäver (a, b, c, d) i kolumnerna för olika månader indikerar att platserna och åren inte är signifikant skilda åt.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec	Hela året
Kust 2013-2014	c	b	b	b	-	c	c	c	c	b	c	c	d
Kust 2015-2016	ab	a	a	a	-	a	a	a	ab	a	b	b	b
Inland 2013-2014	b	a	a	a	-	b	b	b	b	a	b	a	c
Inland 2015-2016	a	a	a	a	-	a	a	a	a	a	a	a	a
p-värde <:	0.01	0.001	0.001	0.001	ns	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

5.3 Krondroppsnätet som bas för ekosystemforskning

Under 2016 slutförde Giuliana Zanchi och Lin Yu, som baserat delar av forskningen på data från Krondroppsnätet, sina avhandlingar vid Lunds universitet. Båda använde och vidareutvecklade ekosystemmodellen ForSAFE, som används för att simulera effekter av nedfall, klimat och skogsbruk på kväve och försurningsindikatorer i mark, kolinlagring i mark och träd, samt trädtillväxt.

Två platser inom Krondroppsnätet, Västra Torup och Klintaskogen i Skåne, användes vid modelleringen. Dessa två mätplatser ingår i de ca 40 platser inom Krondroppsnätet som kartlades noggrant omkring 2010, inom ramen för ett projekt finansierat av FORMAS. I kartläggningen ingick diameter- och höjdmätning av träden samt analyser av jordprover från olika marklager i gropar. Markdata behövs som ingångsdata till ForSAFE-modellen, och trädmätningarna användes för att beräkna tillväxt, för utvärdering av resultaten.

Giuliana Zanchis avhandling: "Modelling the effects of management intensification on multiple forest services: a Swedish case study"

Lin Yus avhandling: "Storm disturbances in a Swedish forest - A case study comparing monitoring and modelling".

5.3.1 Effekter av skogsbruk på ekosystemtjänster i skogen

I Västra Torup kördes ForSAFE-modellen för olika skogsbruksscenarier, t.ex. stamuttag och uttag av både stammar och grot (grenar och toppar) (Zanchi m.fl., 2014). Scenarierna jämfördes med

avseende på virkesproduktion, kolinlagring samt aciditet och kväve i markvattnet. På så sätt kunde en integrerad analys av scenarierna göras utifrån flera olika miljö- och produktionseffekter.

Modelleringen visade att kolinlagringen i marken minskade vid grot-uttag, samtidigt som halterna av kväve och löst organiskt kol i markvattnet minskade. Markvattnets surhet, angiven som syraneutraliserande förmåga (ANC), påverkades i olika riktning beroende på tidsskala. Under första halvan av omloppstiden ledde grot-uttagen till försurning av markvattnet, till följd av den ökade baskatjonbortförseln. På längre sikt var dock ANC högre i scenariot med grot-uttag, vilket kan förklaras av större kvävebortförsel och därmed minskad nitrifikation och minskad försurning. Det visar att kvävet har stor betydelse för försurningsutvecklingen i denna region. En annan lärdom från modelleringen var att den historiska markanvändningen påverkar mycket, och att kunskap om den är viktig för att modelleringen ska fungera bra.

5.3.2 Effekter av stormskador på mark- och markvattenkemi

I Klintaskogen på Romeleåsen användes ForSAFE-modellen för att studera stormeffekter på återhämtning från försurning (Yu m.fl., 2016). De stormar som drabbade Klintaskogen mest var Lothar 1999 och Gudrun 2005. Båda stormarna orsakade stormfällning som ledde till förhöjda nitrathalter i markvattnet. Stormen Lothar ledde även till en havssaltsepisod, med förhöjda halter av klor, natrium och magnesium samt sänkt pH i markvattnet som följd.

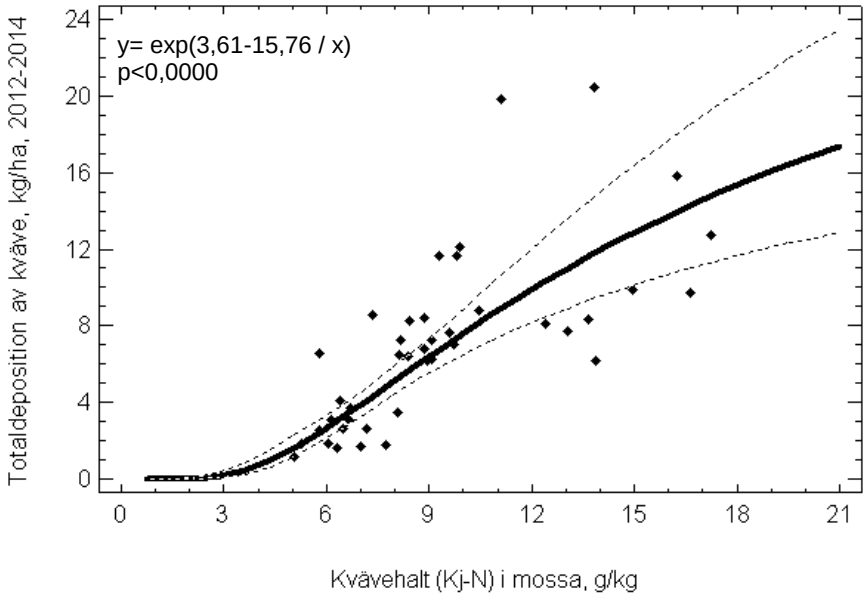
Modelleringen indikerade att återhämtning pågår, och att den kommer att fortsätta i framtiden. Både mätningar och modellering visade dock att stormarna kan innebära en störning av återhämtningen. Havssaltsepisoder kan leda till en tillfällig surstöt i markvattnet, då natrium byter ut vätejoner på markpartiklarna. På lång sikt innebär dock episoderna att basmättnaden ökar, eftersom natrium och magnesium tillförs. Modelleringen indikerade även att stormfällningar kan leda till minskad mängd baskatjoner i marken, då utlakningen av baskatjoner ökar vid stormfällningar.

5.4 Halt i mossa – nedfall, metaller, svavel och kväve – NV-rapport

En studie, på uppdrag av Naturvårdsverket, har genomförts om möjligheten att finna samband mellan halter i mossa och nedfall av metaller, svavel och kväve (Pihl Karlsson m. fl., 2017). I studien analyserades bl.a. svavel- och kvävehalt i mossa, insamlad inom den nationella mossundersökningen 2015 och användes tillsammans med nedfallsdata från bl.a. Krondroppsnätet.

Resultaten visade att det fanns statistiskt säkerställda samband mellan halter i mossa och det atmosfäriska nedfallet av motsvarande ämnen vid eller i närheten av platsen där mossan samlats in för vissa av metallerna samt för svavel och kväve. Resultaten visade att spridningen kring regressionslinjerna för svavel dock var betydande och en förutsägelse av nedfallet utifrån halt i mossa i dessa fall bör därför användas med försiktighet samt även åtföljas av ett osäkerhetsintervall. Vad gäller relationerna mellan kvävenedfall och motsvarande halt i mossa fanns ett relativt linjärt samband, Figur 30. Sambandet var starkt och spridningen relativt låg,

varför detta samband bör kunna användas vidare för nedfallsuppskattningar baserat på halter av kväve i mossa.



Figur 30. Kvävehalt (Kj-N) i mossa i g/kg torrvikt och totaldepositionen av kväve i kg/ha som ett medelvärde för perioden 2012-2014. Streckade linjer visar 95 % konfidensintervall. Figur från Pihl Karlsson m. fl., 2017.

5.5 Miljöövervakningsdagarna, Kiruna

Den 20-22 september 2016 anordnades Miljöövervakningsdagarna i Kiruna, där Krondroppsnätets projektledningsteam medverkade. Cecilia höll en presentation ”Extrema händelser – allt viktigare i miljömålsarbetet” i sessionen ”Miljöövervakning under utveckling”. Cecilia fokuserade på miljömålen *Bara naturlig försurning* och *Ingen övergödning*, och visade exempel på hur fyra olika typer av ”extrema” händelser har påverkat resultaten från mätningarna inom Krondroppsnätet och har påverkat utvärderingen av miljömålen.

Ytan i Klippan i Västra Götalands län visades som exempel på hur kvävehalterna kan öka kraftigt samtidigt som pH minskar efter barkborreangrepp. Timrilt i Hallands län visade på liknande effekter efter stormskador. Slutsatserna som drogs var att stormskador och insektsangrepp kan ge stora effekter på kväveutlakningen från skog, vilket kan påverka miljömålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning*. Havssaltsepisoder i början av1990-talet i Hjärtsjömåla i Blekinge visades som exempel på hur sådana episoder kan leda till surstötar, vilket påverkar miljömålet *Bara naturlig försurning*.

Resultat från Krondroppsnätet i norra Sverige visade hur vulkanutbrottet på Island hösten/vintern 2014/15 påverkade svavelnedfallet i norra Sverige. Detta visar att både naturliga och antropogena utsläpp behöver följas för att kunna bedöma nedfallstrenderna för svavel och kväve i uppföljningen av miljömålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning*.

Alla dessa exempel visar att långa tidsserier, som de som har byggts upp inom Krondroppsnätet, är nödvändiga för att kunna utvärdera miljömålen på ett bra sätt.

Under miljöövervakningsdagarna presenterades även en poster där Krondroppsnätets verksamhet visades, se nästa sida. Intresset för postern var stort och det blev givande diskussioner.

I samband med Kirunaresan besöktes även krondroppsytan i **Palovaara** (i Karesuando socken, Kiruna kommun) och öppet fält-ytan vid **Nikkaloukta** (vid gränsen mellan Gällivare och Kiruna kommun). Vi vill tacka Folke Söderfalk och Åke Jönsson, för visning av mätplatserna och givande diskussioner kring mätningarna på dessa platser, se foto nedan.

Folke Söderfalk, provtagare i Palovaara (t.v.) tillsammans med Per Erik Karlsson. Foto: Sofie Hellsten

Åke Jönsson, provtagare i Nikkaluokta (t.v.) tillsammans med Per Erik Karlsson. Foto: Sofie Hellsten

Projektledningsteamet ute i verkligheten ☺ *Foto: Åke Jönsson*

Krondroppsnätet

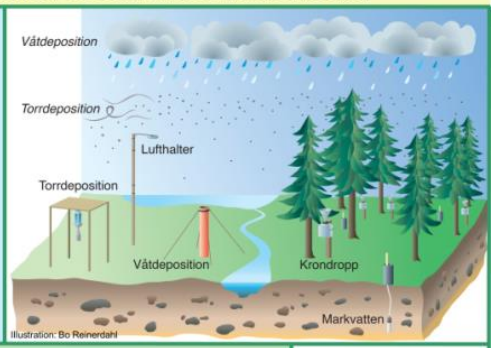
- tre decennier med övervakning av luftföroreningar och dess effekter i skogsmark

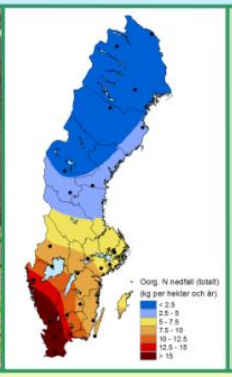
www.krondroppsnatet.ivl.se

Gunilla Pihl Karlsson, Per Erik Karlsson och Sofie Hellsten (IVL Svenska Miljöinstitutet) och Cecilia Akselsson (Lunds Universitet)

Krondroppsnätets mätningar 2016

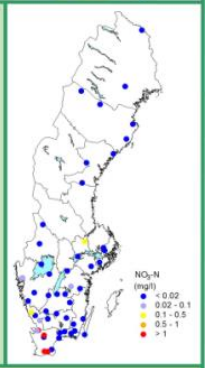
- 64 provytor
- Mätningar av lufthalter, våt- och torrdeposition samt markvattenkemi.
- Nedfallet mäts dels på öppet fält och dels under trädkronorna som krondropp.
- Markvattnet mäts på 50 cm djup.





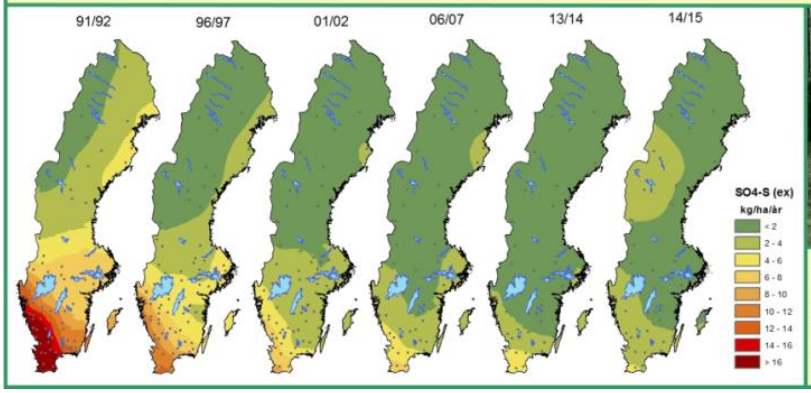
Kvävenedfallet är högt och det förekommer nitrat i markvattnet

- Det totala kvävenedfallet av nitrat plus ammonium har beräknats uppgå till drygt 20 kg N/ha och år i sydvästra Sverige, och till mindre än 2 kg N/ha och år i nordligaste Sverige (karta till vänster).
- Torrdepositionen av kväve beräknas med provtagare där teflonsträngar används som surrogat för barren.
- Nitrat förekommer frekvent i markvattnet på 50 cm djup i sydvästra Sverige (karta till höger).

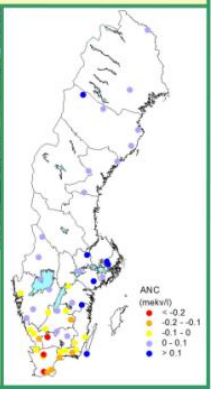


Svavelnedfallet har minskat kraftigt men markvattnets buffrande förmåga är ännu inte återställd

- Svavelnedfallet till den svenska skogen har under de senaste drygt 20 åren minskat med mer än 80 procent (karta nedan till vänster).
- Vulkanutbrottet på Island i augusti 2014 till februari 2015 bidrog till ett högre svavelnedfall under denna perioden, framförallt i norra Sverige.
- Trots det minskade sura nedfallet saknar markvattnet vid många platser i södra Sverige ännu en buffrande förmåga och den syraneutraliserande förmågan (ANC) i markvattnet är fortfarande negativ (karta nedan till höger).



Krondroppsnätet drivs av IVL Svenska Miljöinstitutet i samarbete med Lunds universitet och finansieras främst av länsstyrelser och luftvårdsförbund men även av Naturvårdsverket och enskilda företag.



5.6 Publikationer/rapporter under 2016

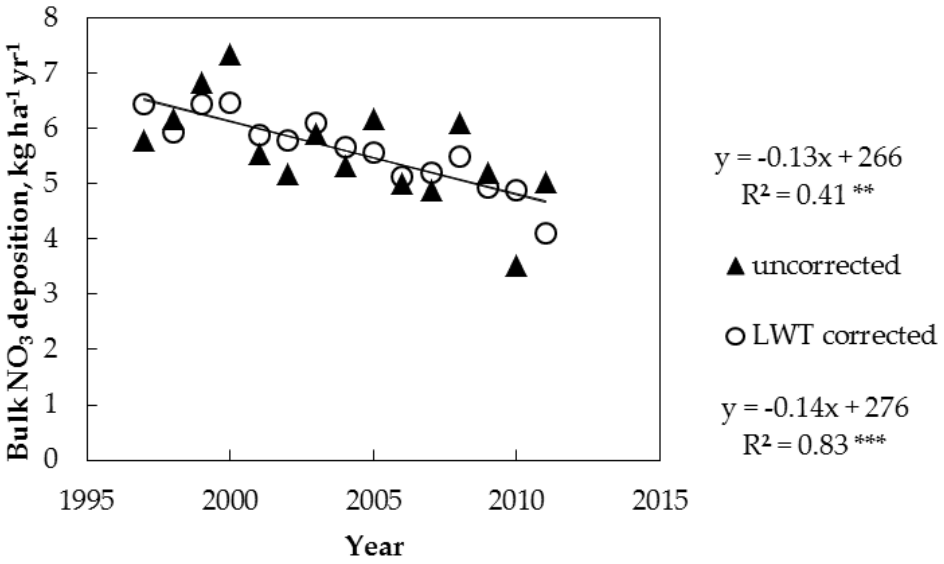
5.6.1 Vetenskaplig artikel om Lamb Weather Types

Utsläppen av flera luftföroreningar minskar enligt tillgänglig utsläppsstatistik för Europas länder. I vissa fall, som för svavel, är förändringen stor och har yttrat sig i en tydlig minskning av nedfallet. För oxiderat, och ännu tydligare för reducerat kväve, är utsläppsreduktionerna mindre. Det finns indikationer på att nedfallet av oxiderat kväve har minskat, men i vissa fall är denna minskning inte statistiskt signifikant eller otydlig. Att det är svårt att påvisa en nedåtgående trend beror i stor utsträckning på att det finns en betydande mellanårsvariation i nedfallet som överlagrar och skymmer en eventuell övergripande trend. Som diskuterats ovan i kapitel 4.2.1 beror mellanårsvariationen i kvävenedfall i stor utsträckning på mellanårsvariationer i nederbördsmängder. Det vore därför av värde att teoretiskt kunna analysera hur variationen i nedfall med tiden hade sett ut, om den storskaliga värdersituationen hade varit konstant mellan åren.

I artikeln Pleijel m. fl. 2016 har vi använt det vädertypssystem som kallas Lamb Weather Types (LWT). LWT är 26 till antalet men kan konsolideras till 10, vilket är det vi använt i studier av luftföroreningar. Det finns då LWT som beskriver det regionala cirkulationsmönstret i form av åtta riktade (NE, E, SE, S, SW, W, NW, N) och två cirkulerande vädertyper (högtrycks- och lågtrycksväder) baserat på det mönster för lufttryck som finns över den aktuella regionen. Varje LWT på en viss plats karaktäriseras av ett visst vädermönster vad gäller temperatur, fuktighet, vind (riktning och styrka) nederbörd, lufttryck mm. Styrkan i denna analys är att det just är reella mönster eller kombinationer av vädervariabler som beskrivs. Vädertyperna varierar geografiskt och man kan inte ta fram en LWT för t ex hela Sverige eftersom klimat och väder varierar betydligt över landet.

Pleijel m. fl. (2016) tillämpade denna metodik på trender för luftföroreningar i sydvästra Sverige. Här ingick såväl lokala luftföroreningar i Göteborg (NO_2, PM_{10} och CO), som den regionala föroreningen marknära ozon (Göteborg och Råö) samt nedfallet av sulfat, nitrat och ammonium vid en krondroppsyta (Hensbacka) i mellersta Bohuslän. I samtliga fall kunde mellanårsvariationen för de olika föroreningarna förklaras till en betydande del (52-90 %) av den kombination av vädertyper som rådde ett visst år. Förenklat kan metodiken med justeringar utifrån LWT uttryckas som att den visar hur nedfallet skulle ha varit om vädret under hela den analyserade perioden varit genomsnittligt.

I Figur 31 visas trenden för nedfall av nitrat med nederbörden till öppet fält vid Hensbacka, dels utan och dels med justering för de årliga anomalierna med hjälp av LWT. Det är tydligt att de LWT-justerade värdena, som ligger närmare trendlinjen, resulterar i en betydligt högre korrelation och även högre signifikans hos trenden.



Figur 31. Trenden i nederbörd till öppet fält av nitrat vid Hensbacka baserat på observerade data och på LWT-justerade data. Figur från Pleijel m. fl., (2016).

5.6.2 Nytt nationellt miljöövervakningsprogram 2017

Övervakningen inom Programområde Luft i den nationella miljöövervakningen syftar dels till att uppfylla de krav som ställs på Naturvårdsverket genom olika direktiv, dels till att uppfylla åtaganden som gjorts inom ramen för internationella överenskommelser. Programområdet ger, med mätningar och beräkningsmodeller, även underlag till uppföljning av miljömålen *Frisk luft*, *Bara naturlig försurning*, *Ingen övergödning*, *Giftfri miljö*, *Skyddande ozonskikt* och *Begränsad klimatpåverkan* nationellt, regionalt och lokalt. Resultaten utgör också en väsentlig del av underlaget för internationell rapportering och officiell statistik avseende miljötillståndet. De viktigaste målgrupperna för Programområde Luft är EU, andra internationella organ, Naturvårdsverket och andra centrala myndigheter, län, kommuner, forskare samt allmänheten.

Syftet med delprogrammet; Krondroppsnätet-NV är att utföra långsiktiga mätningar av det totala nedfallet av försurande och övergödande ämnen till den svenska skogen på representativa mätplatser i landet. Resultaten ska användas till beräkningar av det totala nedfallet till skog av försurande, alkaliserande och eutrofierande ämnen. Resultaten är viktiga för främst nationella bedömningar av nedfall till skog. Dessa bedömningar utgör underlag för uppföljning av bl.a. miljökvalitetsmålet *Bara naturlig försurning*, beräkningar av överskridande av kritisk belastning samt internationell rapportering (EU).

Ett avtal är nu klart som gäller under 2017 och 2018 med möjlig förlängning under ytterligare två år. För Krondroppsnätet-NV innebär det i stort sett samma omfattning som de senaste föregående åren.

6 Vad är på gång 2017?

6.1 Vad händer efter 2020? - förstudie

Vilka regionala behov finns när det gäller miljöövervakning av lufthalter, atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi inom Krondroppsnätet efter 2020? Detta kommer att belysas i en förstudie som genomförs under våren/försommaren 2017 på uppdrag av Länsstyrelsen i Jämtlands län tillsammans med övriga berörda Länsstyrelser.

Frågeställningar som kommer att diskuteras/belysas i förstudien är bl.a.:

- Beskrivning av mätmätplatserna utifrån ett antal viktiga och representativa parametrar, exempelvis: lufthalter, nedfall, markförhållanden, berggrund, trädslag, ålder på skog, ekosystem, miljötillstånd.
- Vad kan eventuellt hota/förvärra/förändra mätplatsens förutsättningar?
- Vilka mätplatser är representativa för ett storregionalt område/vanligt förekommande naturtyp som kan belysa nationella skillnader och vilka mätplatser belyser regionala särdrag?
- Statistisk analys av tidsserierna och eventuell samvariation mellan mätplatser.

Vidare görs en enkätundersökning där diskussion om vilka frågor som är viktiga att följa upp i respektive län, länens olika behov av data och hur data används idag, exempelvis i regionala miljömålsbedömningar, som stöd för utvärdering av annan typ av miljöövervakning, i kalkningsuppföljning, som recipientkontroll, som uppföljning av utsläpp av luftföroreningar eller effekter av olika skogsbruksåtgärder. Rapporten kommer att utgöra ett första underlag inför nästa regionala miljöövervakningsprogram.

6.2 RUT-försök

Under sommaren kommer ett nytt försök, ”Rör Under Tak” (RUT), finansierat av Naturvårdsverket, att starta. Syftet är att kartlägga hur stor andel torrdeposition som fastnar på den nya provtagaren för nederbörd över öppet fält. Insamlare för bulkdeposition på öppet fält ska ge ett representativt värde på våtdepositionen. Dock fastnar även en viss mängd torrdeposition på mätutrustningen. Torrdepositionen som finns med i bulkinsamlaren på öppet fält leder till en överskattning av våtdepositionen. Att kompensera för torrdepositionen till insamlarna för bulkdeposition är viktigt ur flera synvinklar. Dels är det generellt viktigt med en korrekt uppskattning av våtdepositionen. Dels är det särskilt viktigt att korrekt kunna bestämma våtdepositionen av natrium, eftersom skillnaden i nedfall av natrium mellan krondropp och våtdeposition används för att kunna beräkna totaldepositionen av ämnen som annars ingår i trädens interncirkulation, såsom kväve och baskatjoner. Mätningarna ska pågå månadsvis under tre år med start under 2017. Mätningarna planeras att ske på de platser där strängprovtagare finns för att kunna få en korrekt bedömning av torrdepositionen.

7 Referenser

Hellsten, S., Gustafsson, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E. and Akselsson, C. 2017: Påverkan på nedfallet och luftkvaliten i Sverige av SO_2-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014-2015. IVL Rapport C 234.

Karlsson, P.E., Ferm, M., Hultberg, H., Hellsten, S., Akselsson, C. & Pihl Karlsson, G.P. 2011. Totaldeposition av kväve till skog. IVL Rapport B1952.

Moldan, F. 2011. Swedish NFC Report. I "Modelling Critical Thresholds and Temporal changes of Geochemistry and Vegetation Diversity (Posch m. fl red.). CCE Status Report 2011. ISBN 978-90-6960-254-7.

Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E. 2016. Tillståndet i skogsmiljön i .... Under 2016 presenterades resultaten inom Krondroppsnätet i 13 rapporter för olika län och landsdelar. IVL Rapport C 154-166.

Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E. och Wängberg, I. G., 2017. Samband mellan halter i mossa och deposition av metaller, kväve och svavel. IVL Rapport C 231.

Pleijel, H., Grundström, M., Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E. & Chen, D. 2016. A method to assess the inter-annual weather-dependent variability in air pollution concentration and deposition in south-west Sweden based on weather typing. Atmospheric Environment 126, 200-210.

Yu, L., Belyazid, S., Akselsson, C., van der Heijden, G., Zanchi, G., 2016. Storm disturbances in a Swedish forest - A case study comparing monitoring and modelling. Ecological Modelling 320, 102-113.

Zanchi, G., Belyazid, S., Akselsson, C., Yu, L., 2014. Modelling the effects of management intensification on multiple forest services: a Swedish case study. Ecological Modelling 284, 48-59.

Websidor:

www.EMEP.int

www.smhi.se.

Bilaga 1. Stationsvis redovisning

Här presenteras årets mätningar vid de olika lokalerna tillsammans med tidigare års mätningar. För deposition redovisas data som medelvärde för hydrologiskt år. För markvattendata visas alla tre markvattenprovtagningarna som genomförs årligen och som avses representera förhållandena före, under samt efter vegetationsperioden. Lufthaltsdata redovisas halvårsvis.

Undersökningarna i de olika länen är ett resultat av ett lagarbete där provtagning utförs av lokala provtagare, se respektive län nedan. På IVL har P. Andersson skött kontakter med provtagare medan främst L. Björnberg, C. Hållinder-Ehrencrona, P. Andersson, S. Honkala och V. Andersson har analyserat proverna. Databasen sköts av G. Malm. Datagranskning, databehandling och rapportering av resultaten utförs av C. Akselsson, P. E. Karlsson, S. Hellsten samt G. Pihl Karlsson.

B1. Stockholms län

I Stockholms län finns tre aktiva lokaler inom Krondroppsnätet (Tabell B1.1).

Tabell B1.1. Aktiva ytor i Stockholms län 2015/16. Provtagare: Henrik Larsson och Katrine Andersson

Lokal	Dominerande trädslag	Öppet fält	Kron-dropp	Mark-vatten	Lufthalter			
					SO_2,	NO_2,	NH_3,	O_3
Bergby (A 01)	Tall	X	X	X	X	X	X	X
Farstanäs (A 35)	Gran	X	X	X	X	X	X	X
Arlanda (A 92)	Gran	X	X	X				

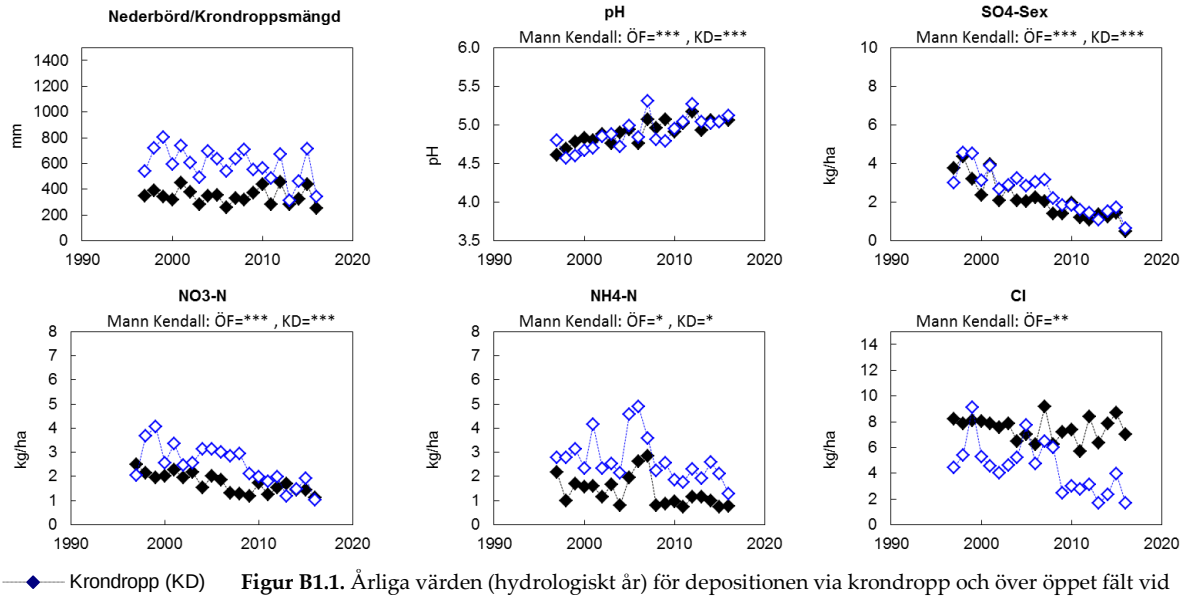
Nedan presenteras kort de olika mätplatserna i länet:

Bergby (A 01): Provyta med tallskog med inslag av gran, planterad 1930, Vallentuna kommun. Marktypen, är en sandig-moig morän och jordmån av övergångstyp. Mätningar av deposition och markvatten i skogsytan samt deposition i en närliggande yta på öppet fält startade i oktober 1996.

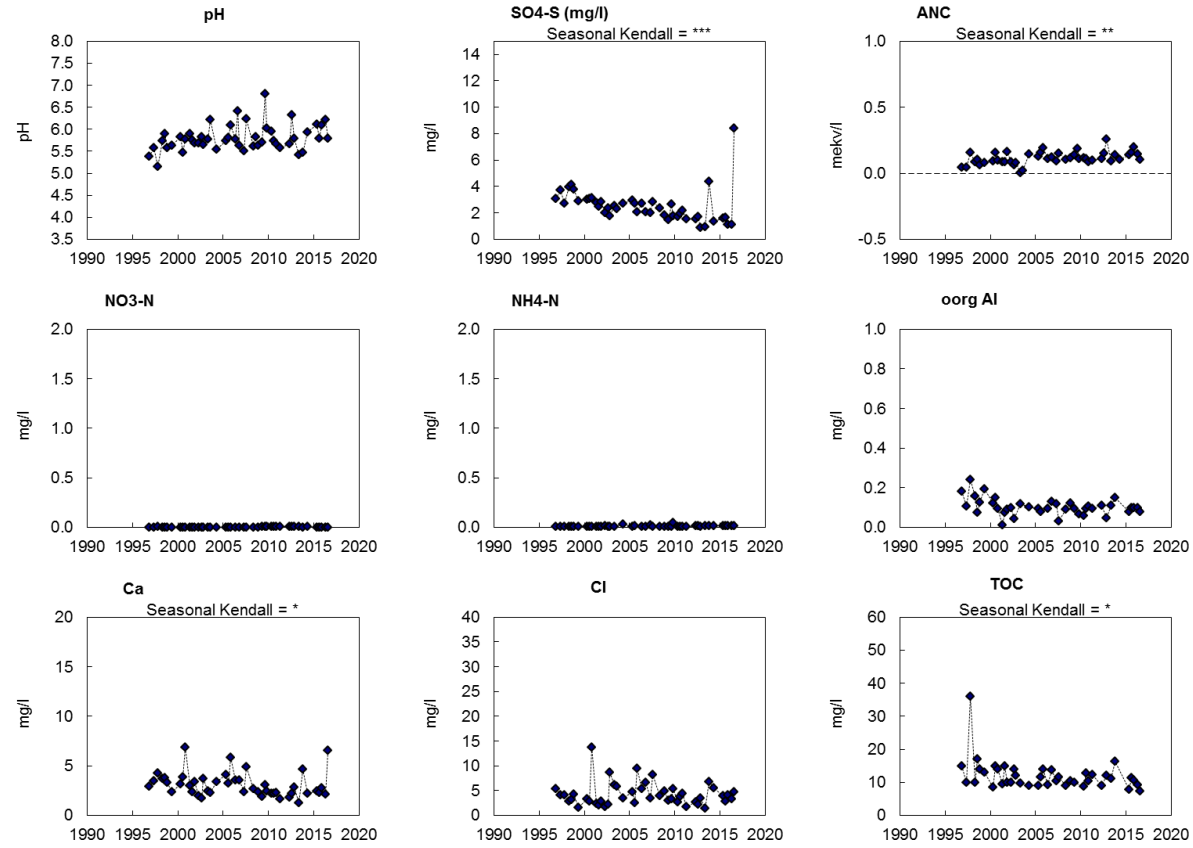
Farstanäs (A 35): Granskog i Södertälje kommun, planterad ca 1900. Provytan ligger i sluttning mot norr, jordarten är svallsand och jordmånen brunjord av övergångstyp. Jämfört med övriga granytor i länet har beståndet hög bonitet. Mätning av deposition och markvatten startade 1992.

Arlanda (A 92): Skog med ett blandbestånd av tall och gran, planterad ca 1935. Provytan är belägen på plan mark i Sigtuna kommun nordost om Arlanda flygplats. Mätningarna ingår i Swedavias omgivningskontroll. Mätningarna av deposition (krondropp och över öppet fält) och markvattenkemi startade 1994.

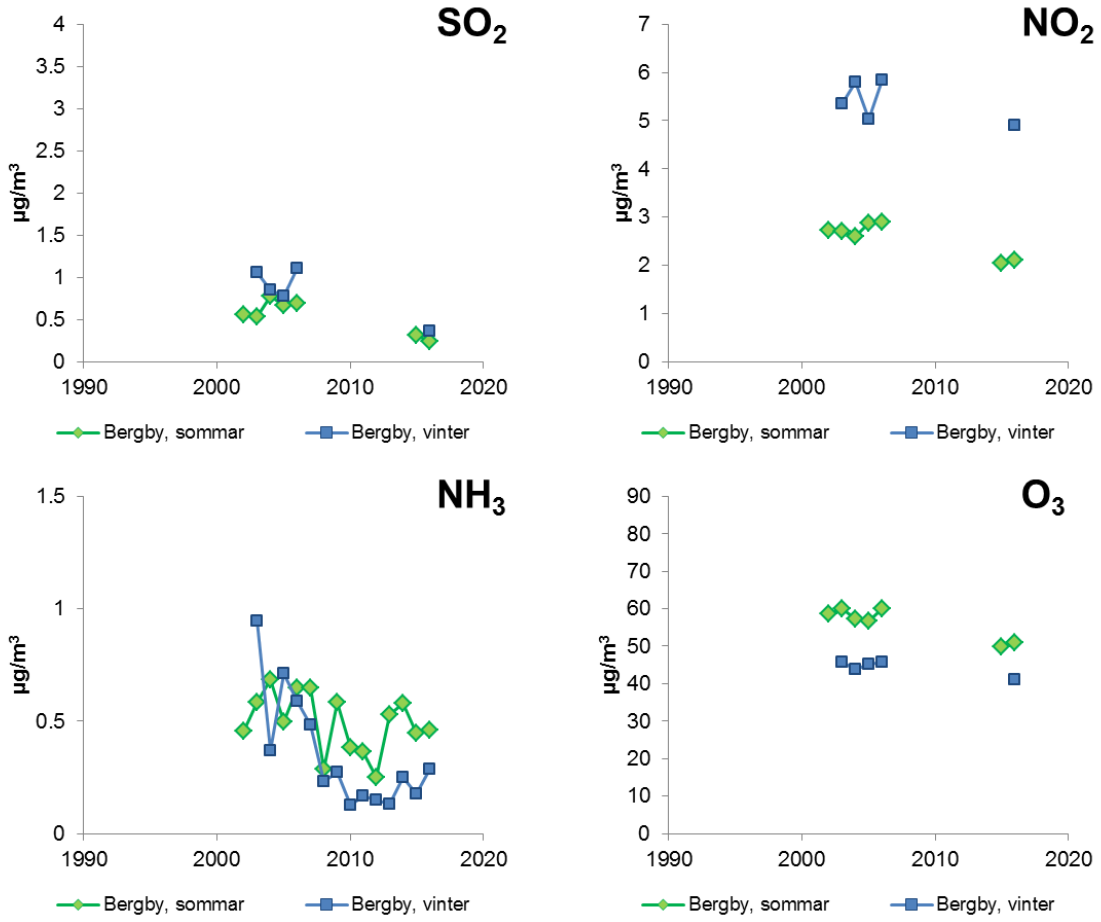
Bergby (A 01):



Figur B1.1. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Bergby, A 01**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO_4-S ex), nitratkväve (NO_3-N); ammoniumkväve (NH_4-N); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

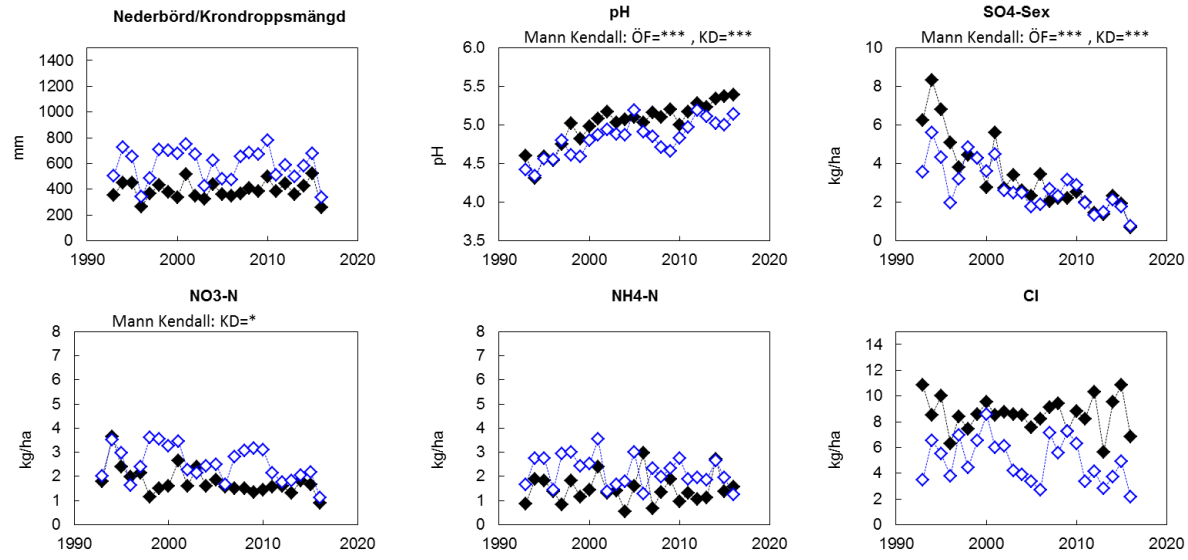


Figur B1.2. Markvattenkemi vid **Bergby, A 01**: pH, sulfatsvavel (SO_4-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO_3-N), ammoniumkväve (NH_4-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl^-) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

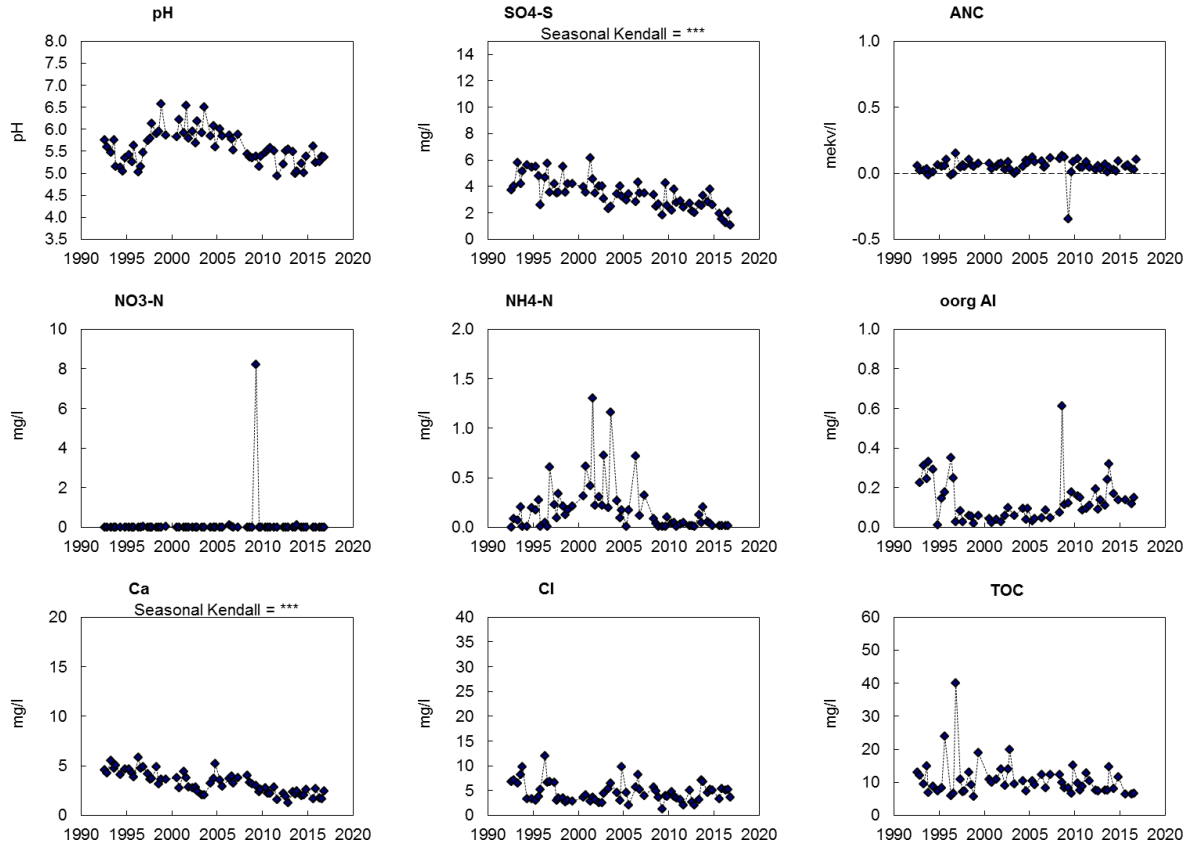


Figur B1.3. Lufthalter vid **Bergby (A 01).** Värden anges för svaveldioxid (SO_2), kvävedioxid (NO_2), ammoniak (NH_3) och ozon (O_3).

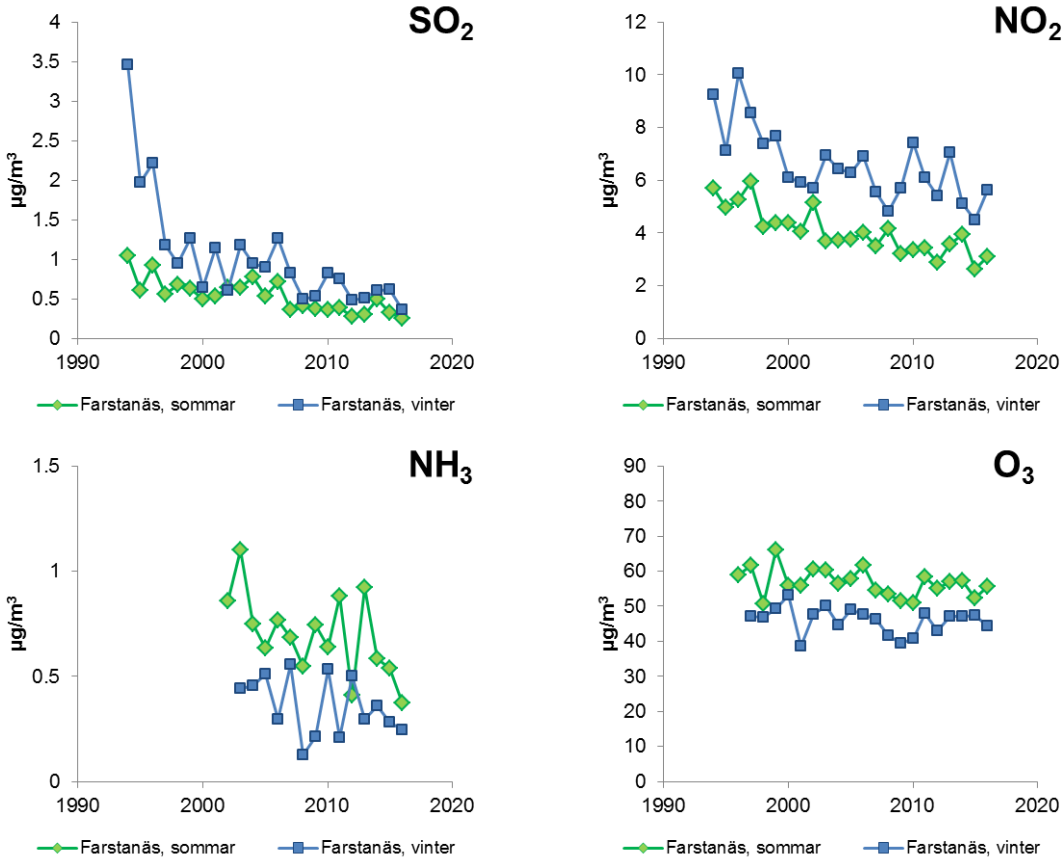
Farstanäs (A 35):



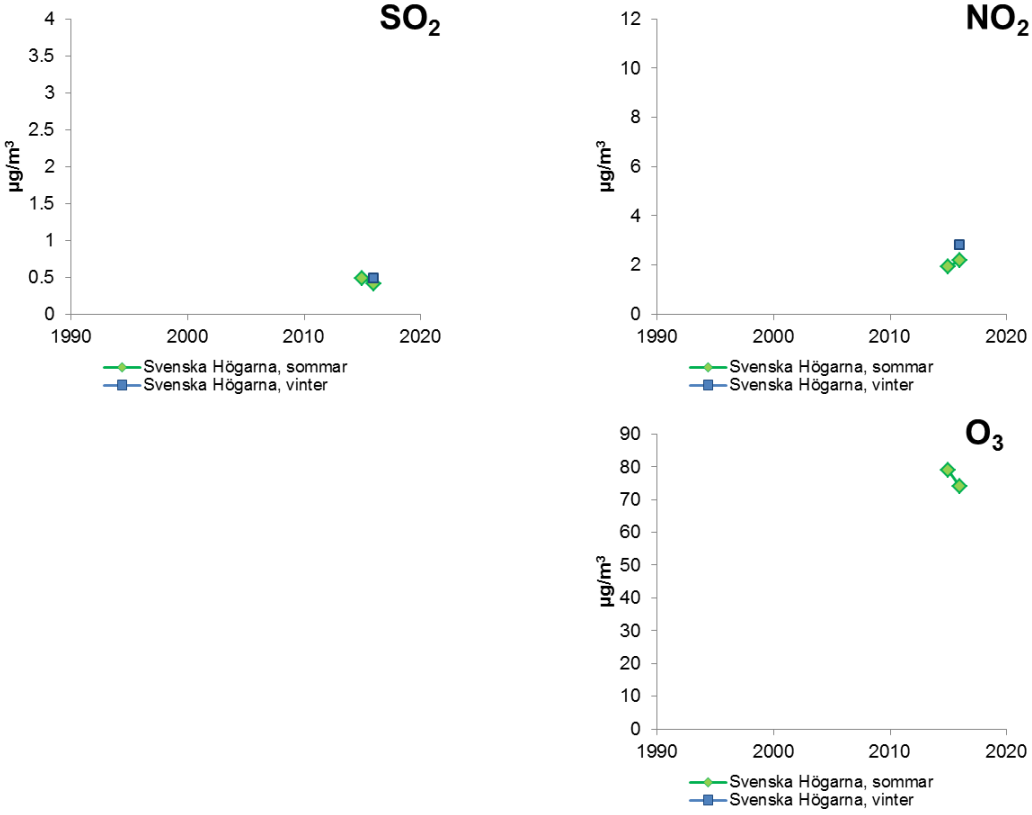
Figur B1.4. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Farstanäs, A 35**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO_4-S ex), nitratkväve (NO_3-N); ammoniumkväve (NH_4-N); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



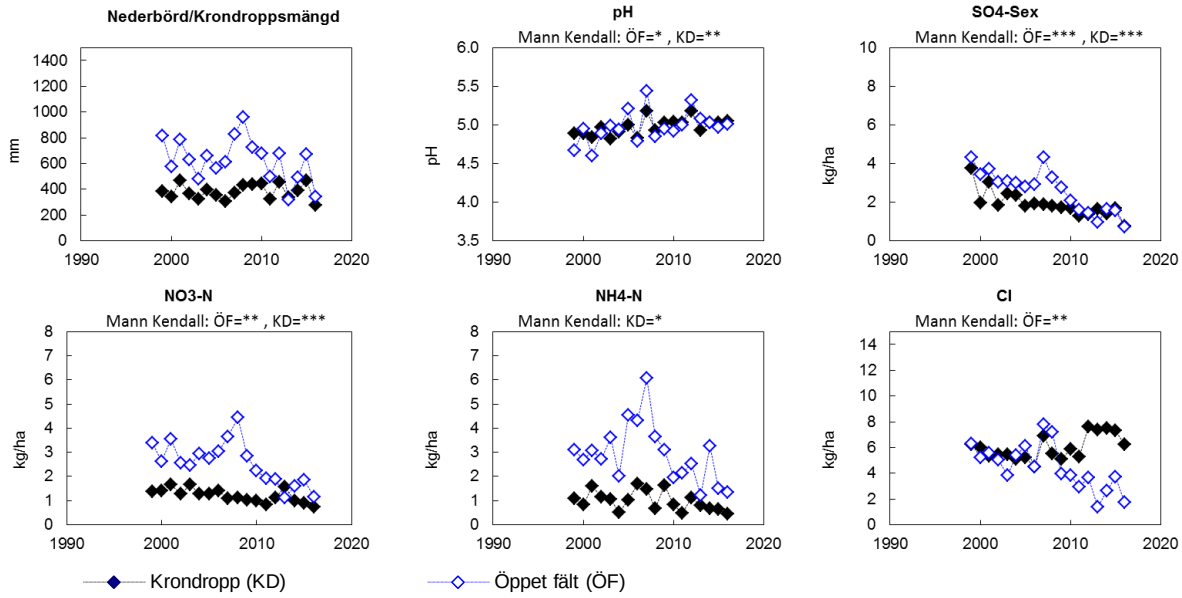
Figur B1.5. Markvattenkemi vid **Farstanäs, A 35**: pH, sulfatsvavel (SO_4-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO_3-N), ammoniumkväve (NH_4-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl^-) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



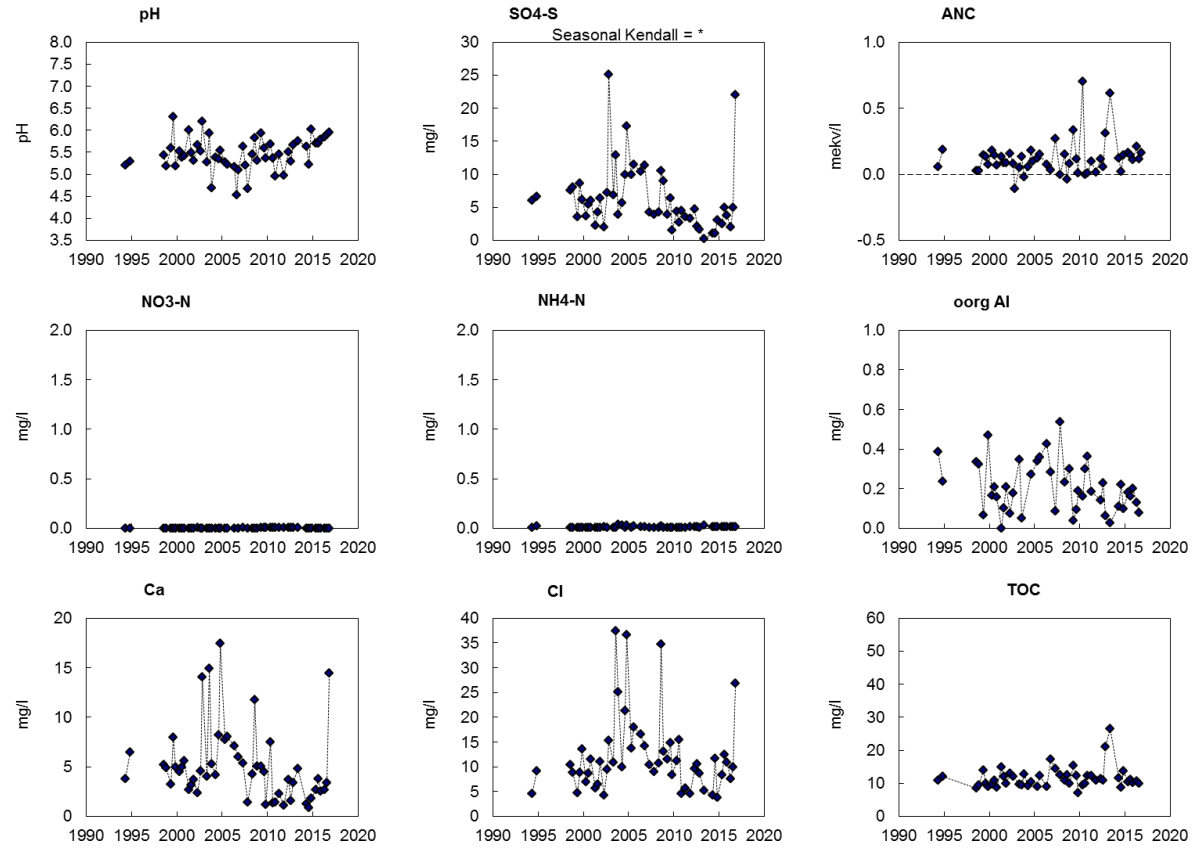
Figur B1.6. Lufthalter vid **Farstanäs (A 35).** Värden anges för svaveldioxid (SO_2), kvävedioxid (NO_2), ammoniak (NH_3) och ozon (O_3). Som jämförelse visas nedan halvårsmedel för SO_2,NO_2 och O_3 vid Svenska Högarna.



Arlanda (A 92):



Figur B1.7. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Arlanda, A 92**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO_4-S ex), nitratkväve (NO_3-N); ammoniumkväve (NH_4-N); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



Figur B1.8. Markvattenkemi vid **Arlanda, A 92**: pH, sulfatsvavel (SO_4-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO_3-N), ammoniumkväve (NH_4-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl^-) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

B2. Södermanlands län

I Södermanlands län fanns under 2015/16 en aktiv lokal inom Krondroppsnätet (Tabell B2.1).

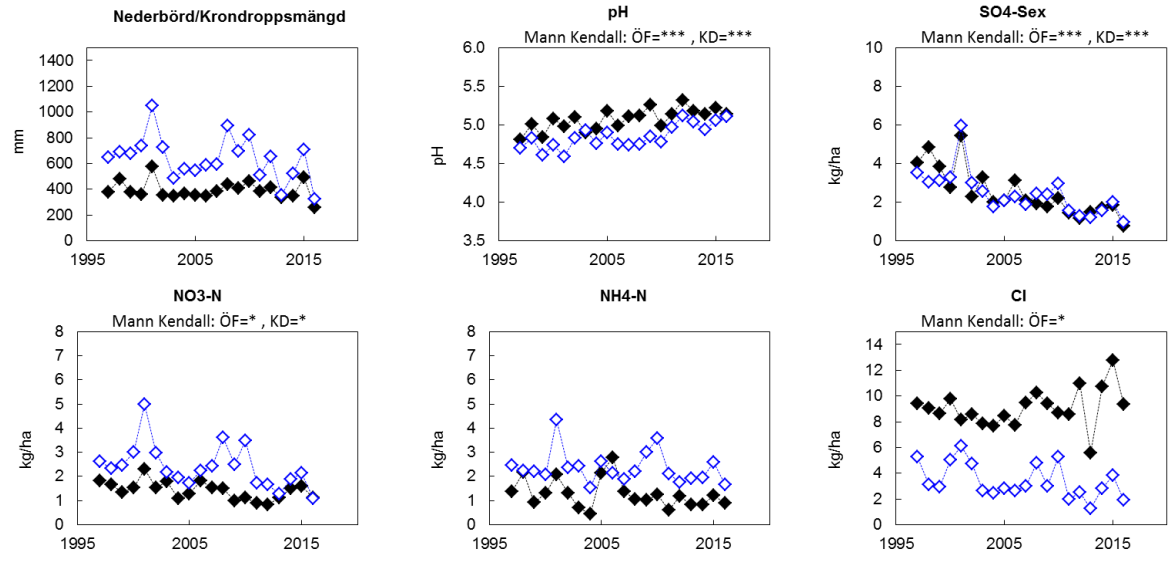
Tabell B2.1. Aktiva ytor i Södermanlands län 2015/16. Provtagare: Birgitta Andersson.

Lokal	Dominerande trädslag	Öppet fält	Sträng-prov	Kron-dropp	Mark-vatten
Edeby (D 11)	Gran	X	X	X	X

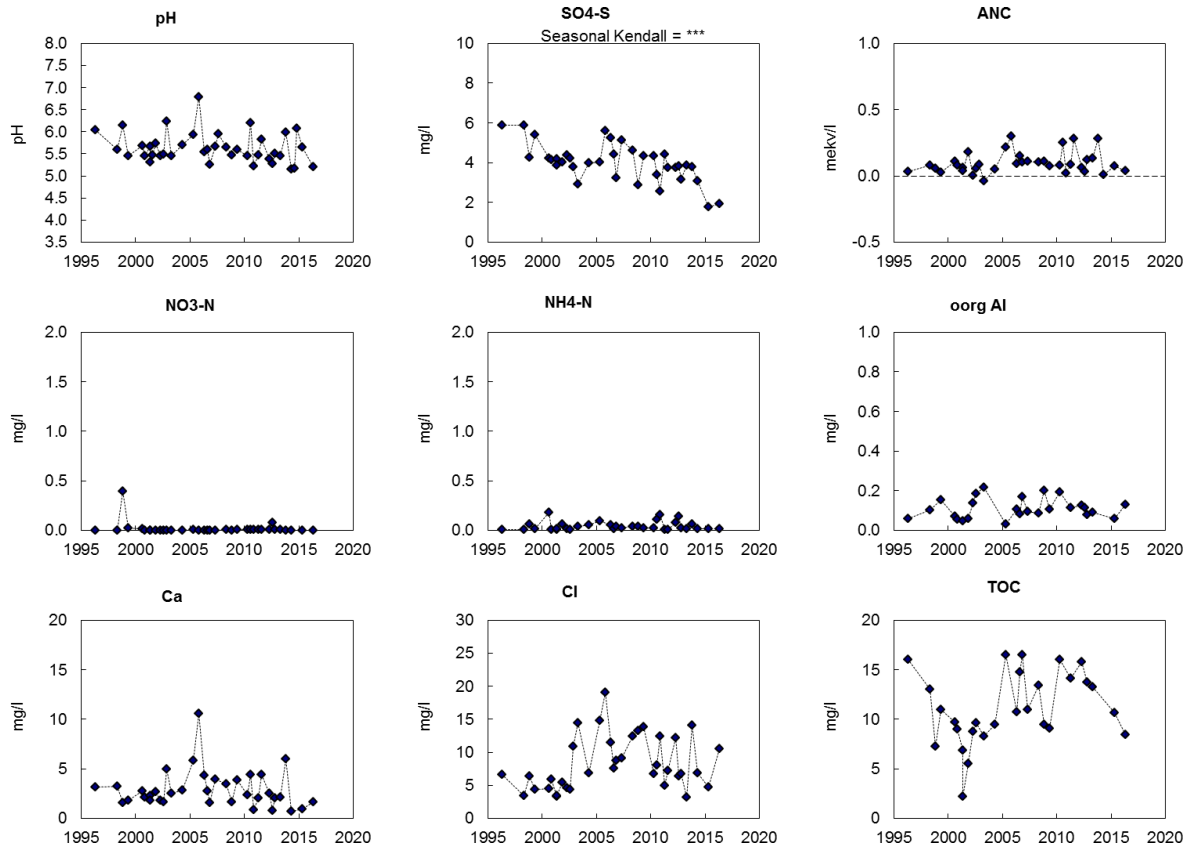
Nedan presenteras kort mätplatsen i länet:

Edeby (D 11): Granyta med 86-årig skog. Lokalen ligger i nedre delen av en sluttning i en svacka mellan höjder och kalspolade hällar. Jordmånen är av övergångstyp utbildad på mjälig lera. Mätning av deposition och markvatten startade 1996. Under våren 2014 genomfördes gallringar i området runt provytan.

Edeby (D 11):



Figur B2.1. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Edeby, D 11**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO_4-S ex), nitratkväve (NO_3-N); ammoniumkväve (NH_4-N); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



Figur B2.2. Markvattenkemi vid **Edeby, D 11**: pH, sulfatsvavel (SO_4-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO_3-N), ammoniumkväve (NH_4-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl^-) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

B3. Värmlands län

I Värmlands län finns tre aktiva lokaler inom Krondroppsnätet (Tabell B3.1).

Tabell B3.1. Aktiva ytor i Värmlands län 2015/16. Provtagare: Urban Nyqvist, Lennarth Larsson och Petter Tillberg.

Lokal	Dominerande trädslag	Öppet fält	Sträng-prov	Kron-dropp	Mark-vatten	Lufthalter SO_2,	NO_2,	NH_3,	O_3
Södra Averstad (S 05)	Gran	X		X	X	X	X	X	X
Blåbärskullen (S 22)	Gran	X	X	X	X	X	X	X	X
Transtrandsberget (S 23)	Gran			X	X				

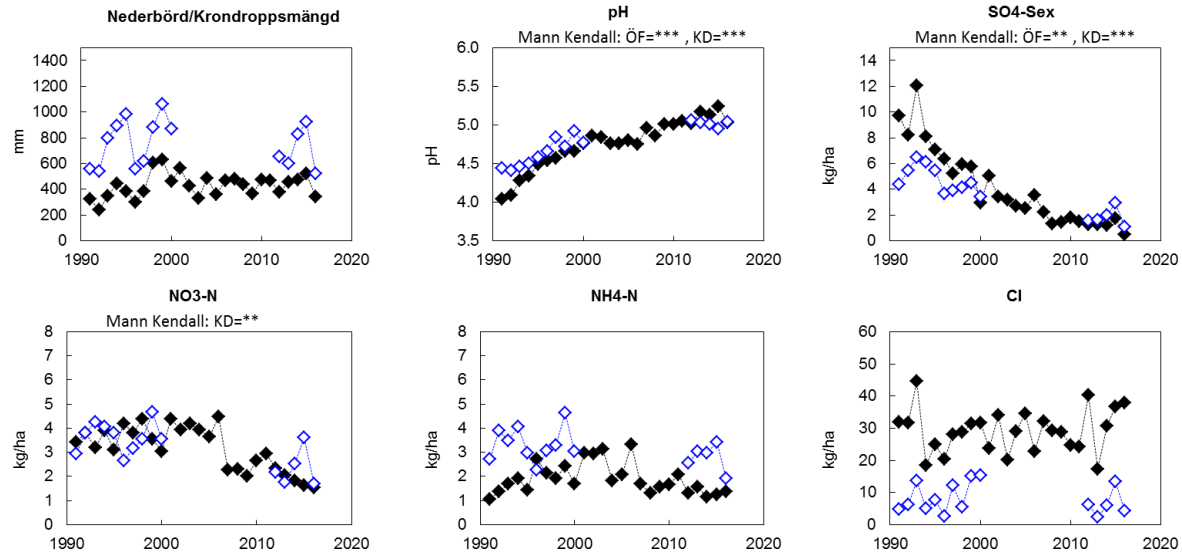
Nedan presenteras kort de olika mätplatserna i länet:

Södra Averstad (S 05):
Granskog planterad 1931 i ett flackt och kustnära område på Värmlandsnäs, exponerat för intransport av luftföroreningar över Vänern. Marken består av sandigt-moigt sediment med en jordmån klassad som övergång mellan brunjord och podsol. Mätning av deposition och markvatten startade 1990 och ytan har därmed länets längsta tidsserier. Mätningar på öppet fält avslutades i december 2000 och lufthaltsmätningarna avslutades i december 2006, men båda mätningar startades igen under 2011.

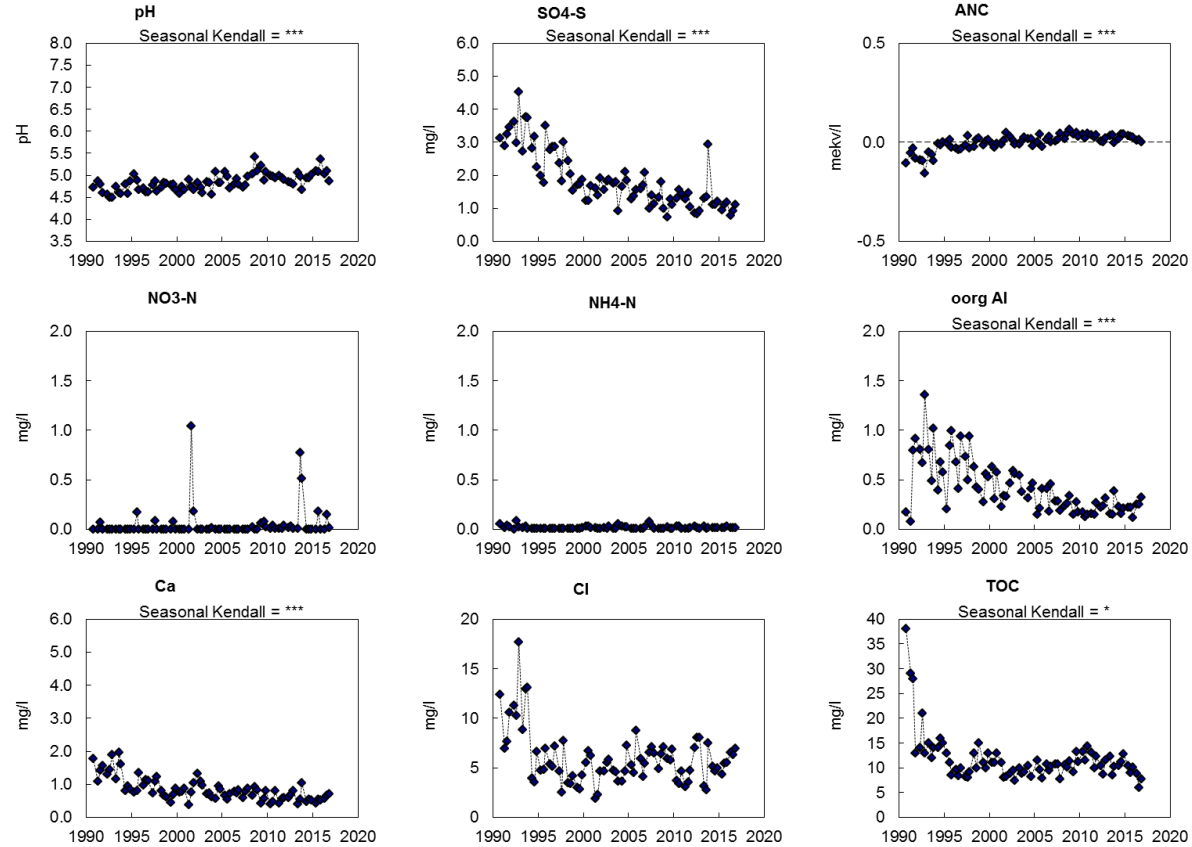
Blåbärskullen (S 22):
Granskog i västra delarna av mellersta Värmland, planterad 1951. Marken är en sandig-moig morän med viss kulturpåverkan. Markvattenkemi- samt depositionsmätningar i krondropp och över öppet fält startade hösten 1996. Lufthaltsmätningarna startade hösten 2000. Mätningar med strängprovtagare under tak återupptogs vid Blåbärskullen i juli 2013.

Transtrandsberget (S 23):
Yta med granskog planterad 1952 på sandig-moig morän och jordmånen järnpodsol i länets nordligaste del. Ytan ligger i en sluttning mot öster och kan därigenom förväntas vara mindre utsatt för dominerande vindriktningar än lokaler i sydvästsluttningar. Nedfalls-mätningar i krondropp och över öppet fält startade 1996.

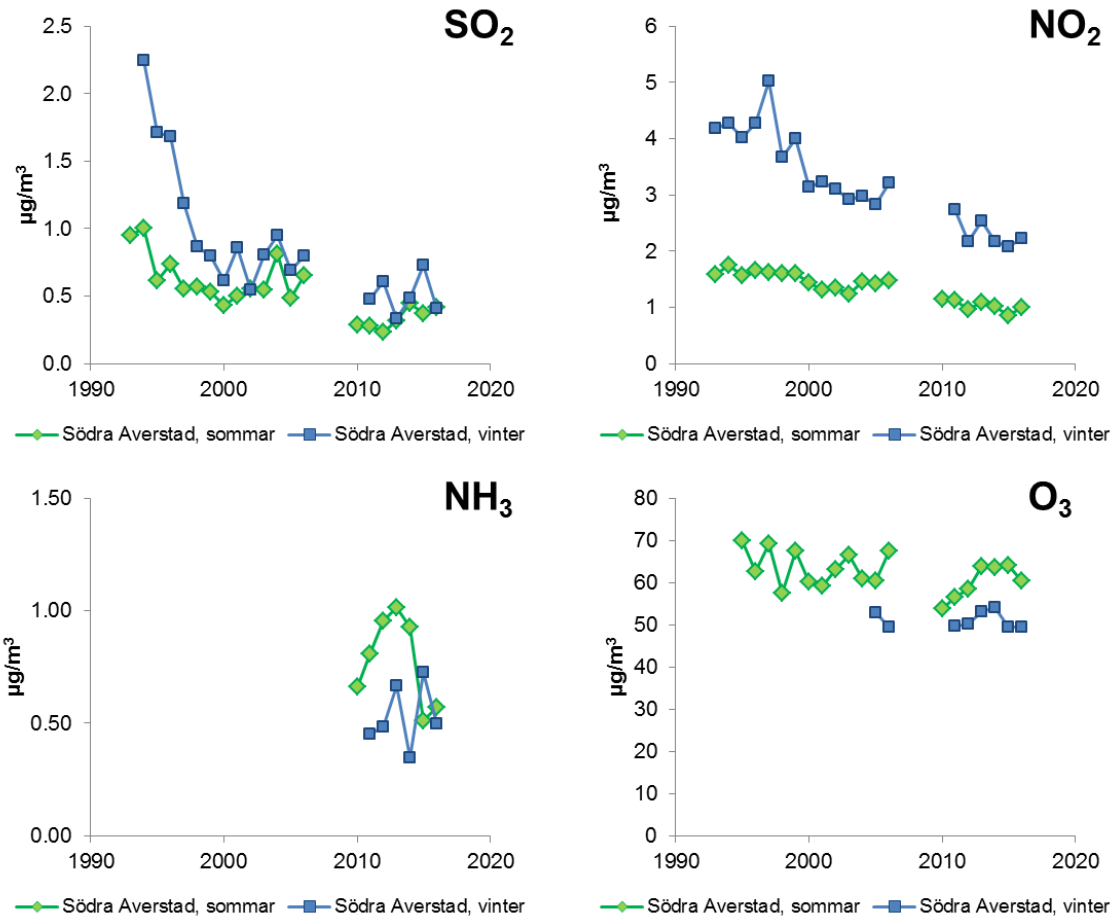
Södra Averstad (S 05):



Figur B3.1. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Södra Averstad, S 05**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO_4-S ex), nitratkväve (NO_3-N); ammoniumkväve (NH_4-N); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

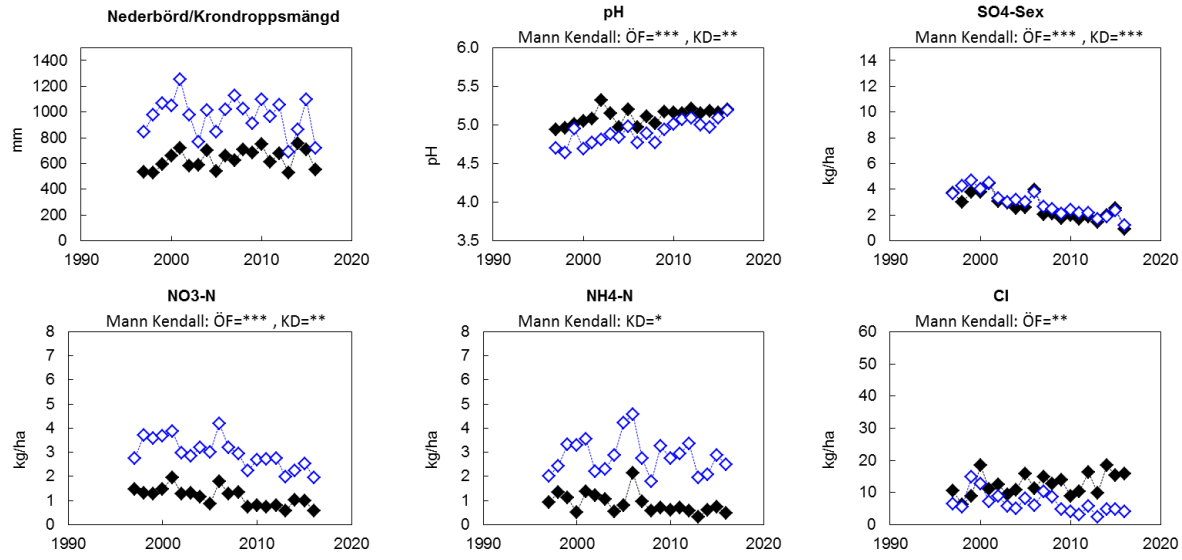


Figur B3.2. Markvattenkemi vid **Södra Averstad, S 05**: pH, sulfatsvavel (SO_4-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO_3-N), ammoniumkväve (NH_4-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl^-) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

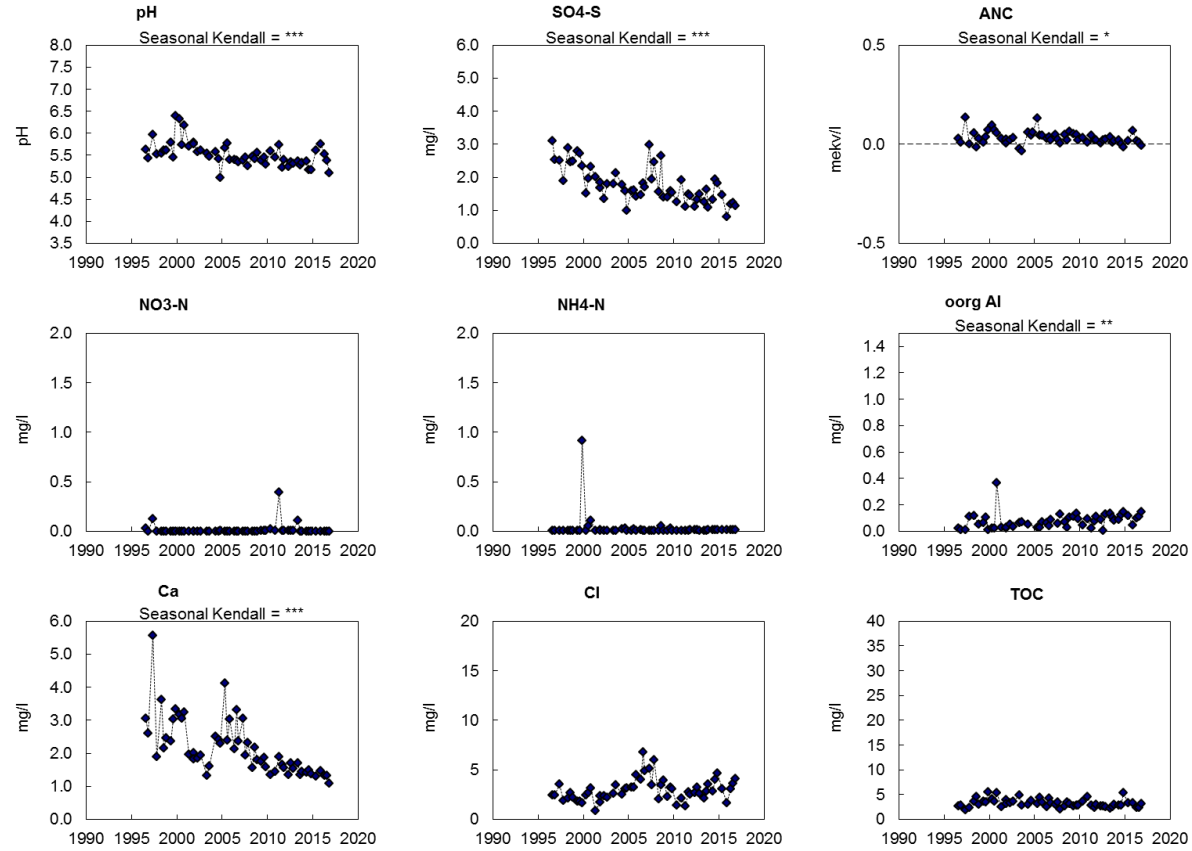


Figur B3.3. Lufthalter vid **Södra Averstad (S 05).** Värden anges för svaveldioxid (SO_2), kvävedioxid (NO_2), ammoniak (NH_3) och ozon (O_3).

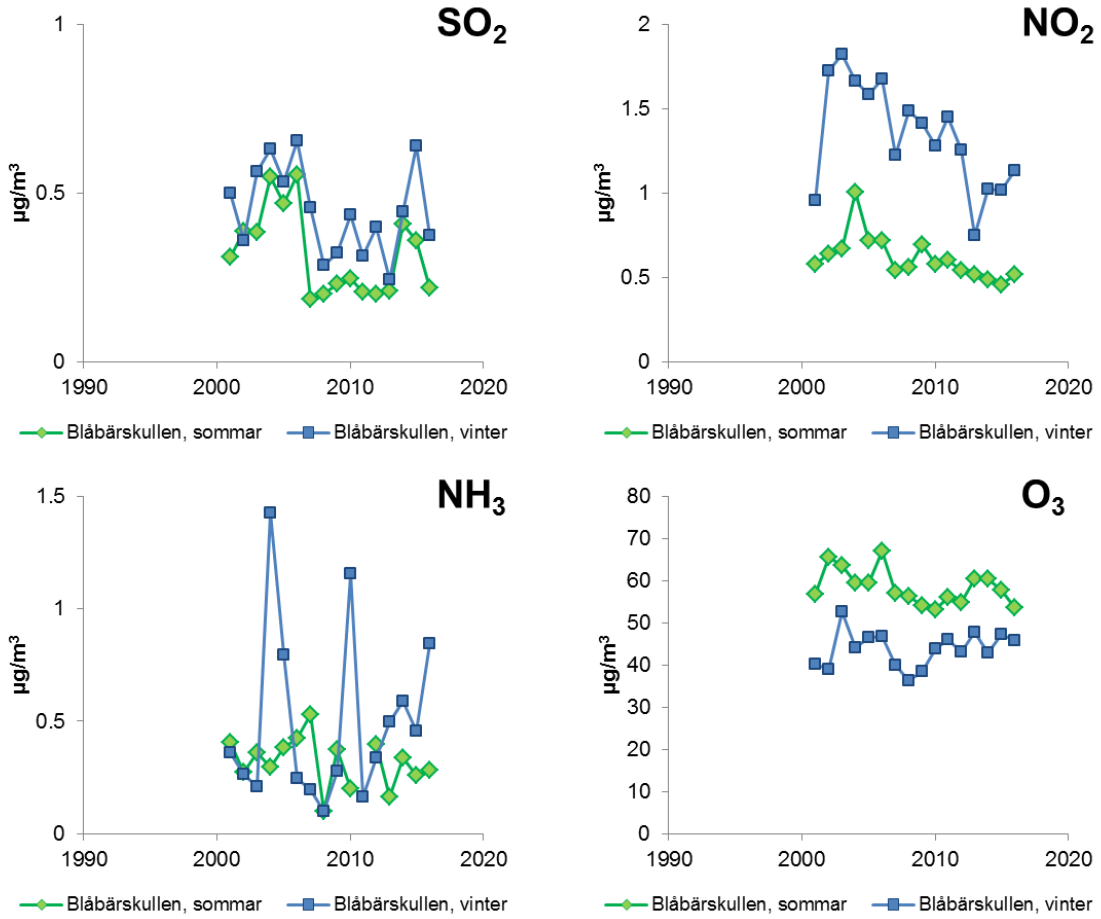
Blåbärskullen (S 22):



Figur B3.4. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Blåbärskullen, S 22**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO_4-S ex), nitratkväve (NO_3-N); ammoniumkväve (NH_4-N); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

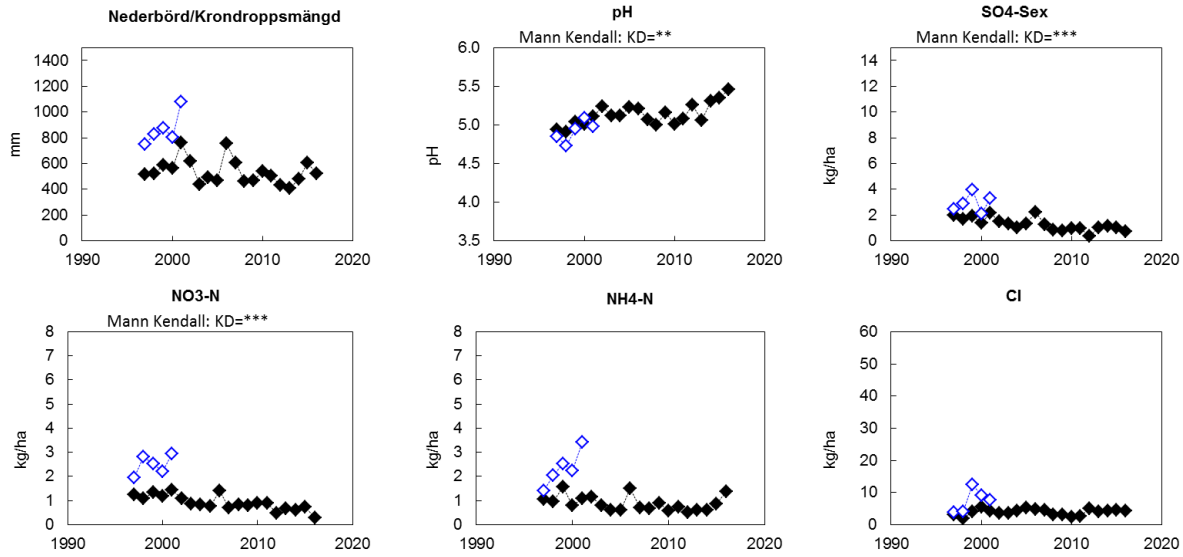


Figur B3.5. Markvattenkemi vid **Blåbärskullen, S 22**: pH, sulfatsvavel (SO_4-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO_3-N), ammoniumkväve (NH_4-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl^-) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

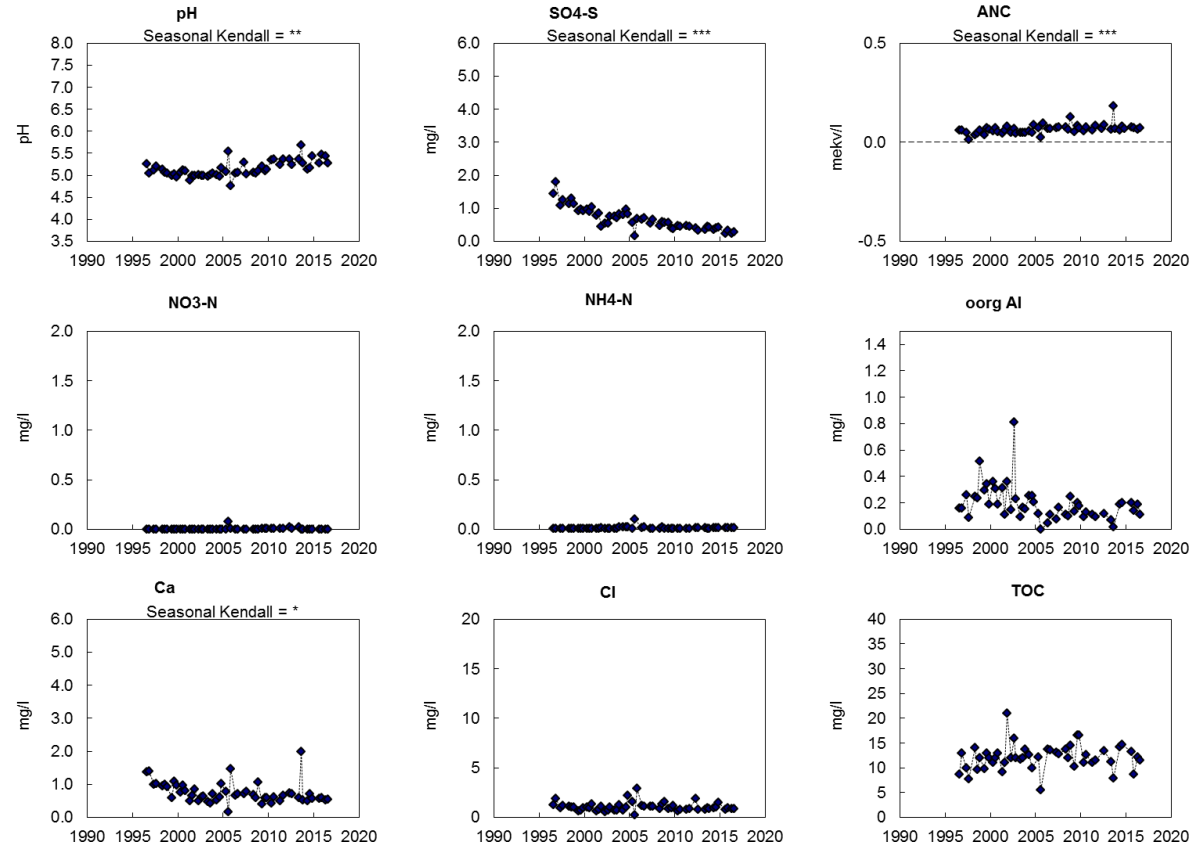


Figur B3.6. Lufthalter vid **Blåbärskullen (S 22).** Värden anges för svaveldioxid (SO_2), kvävedioxid (NO_2), ammoniak (NH_3) och ozon (O_3).

Transtrandsberget (S 23):



Figur B3.7. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Transtrandsberget, S 23**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO_4-S ex), nitratkväve (NO_3-N); ammoniumkväve (NH_4-N); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



Figur B3.8. Markvattenkemi vid **Transtrandsberget, S 23**: pH, sulfatsvavel (SO_4-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO_3-N), ammoniumkväve (NH_4-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl^-) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall signifikanta trender påvisats.

B4. Västmanlands län

I Västmanlands län fanns under 2015/16 tre aktiva lokaler inom Krondroppsnätet (Tabell B4.1).

Tabell B4.1. Aktiva ytor i Västmanlands län 2015/16. Provtagare: Kjell Eklund och Lars Gullberg.

Lokal	Domin. trädslag	Öppet fält	Kron-dropp	Mark-vatten	Lufthalter SO_2, NO_2, NH_3
Kvisterhult (U 04)	Gran	X	X	X	
Hyttskogen (U 06)	Gran		X	X	X
Hjälmarsberg (U 09)	-				X X X

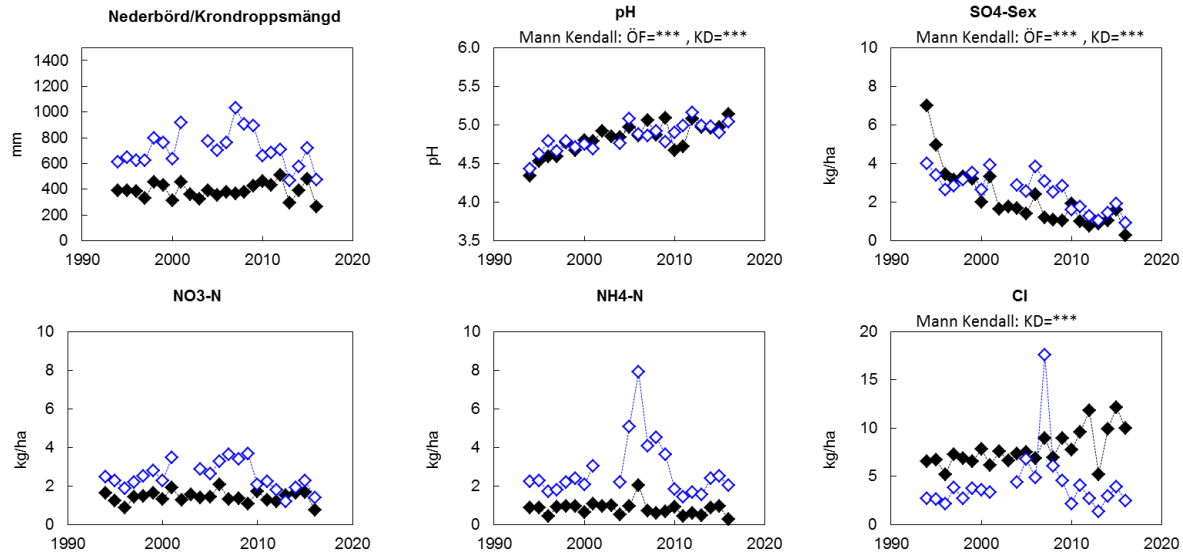
Nedan presenteras kort de olika mätplatserna i länet:

Kvisterhult (U 04):
Yta med granskog, planterad 1920, med inslag av tall på finkornig moränmark, där mätningarna startade 1993. Jordmånen är järnpodsol. Skogen runt om provytan är i relativt stor utsträckning påverkad av olika stormar.

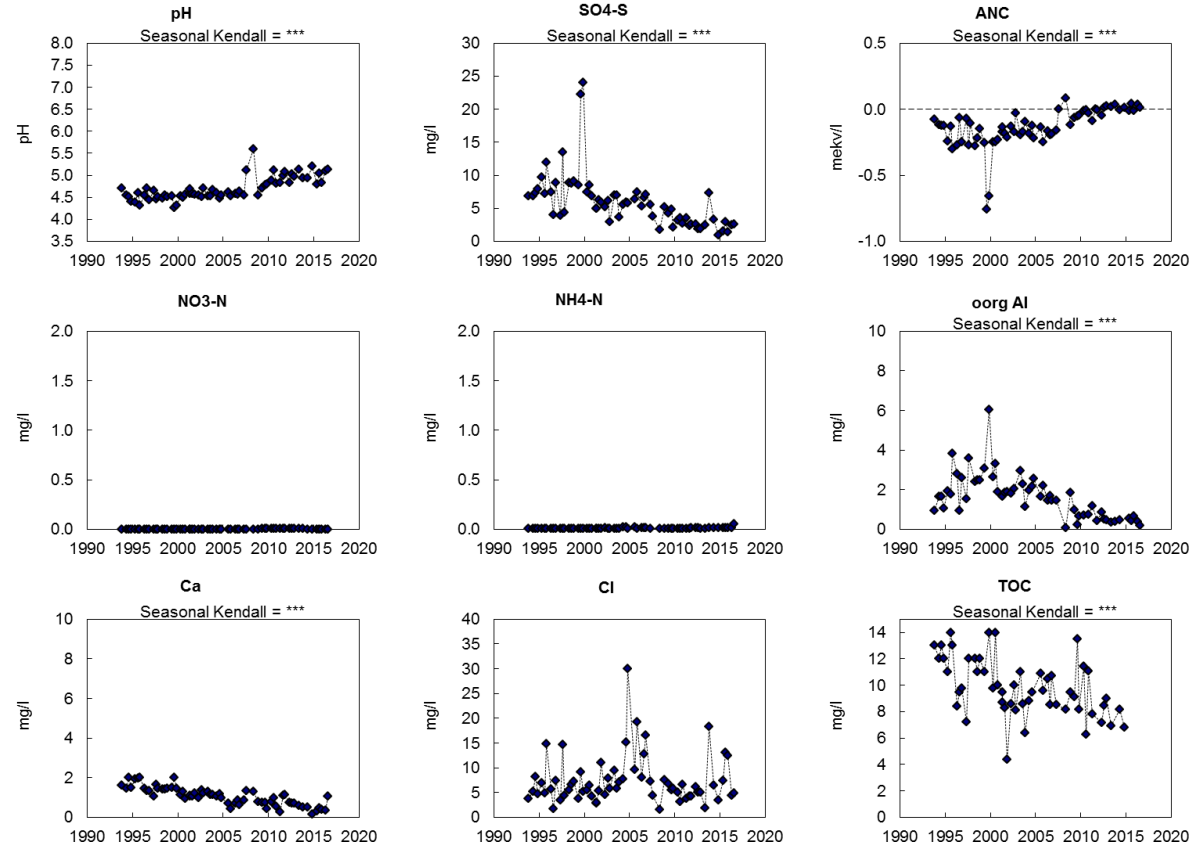
Hjälmarsberg (U 09):
Lokal för lufthaltsmätningar som flyttades från Kvisterhult i januari 2012. Mätstationen ligger nära Kvisterhult.

Hyttskogen (U 06):
Granskog planterad 1957, med visst inslag av tall och björk, strax nordväst om Sala. Ytan är belägen i ett moränområde. Denna marktyp är länets vanligaste skogsmarkstyp. Krondropps- och markvattenmätningarna startade 2001. Lufthaltsmätningar som sker ca 500 meter från krondroppsytan startade 2003.

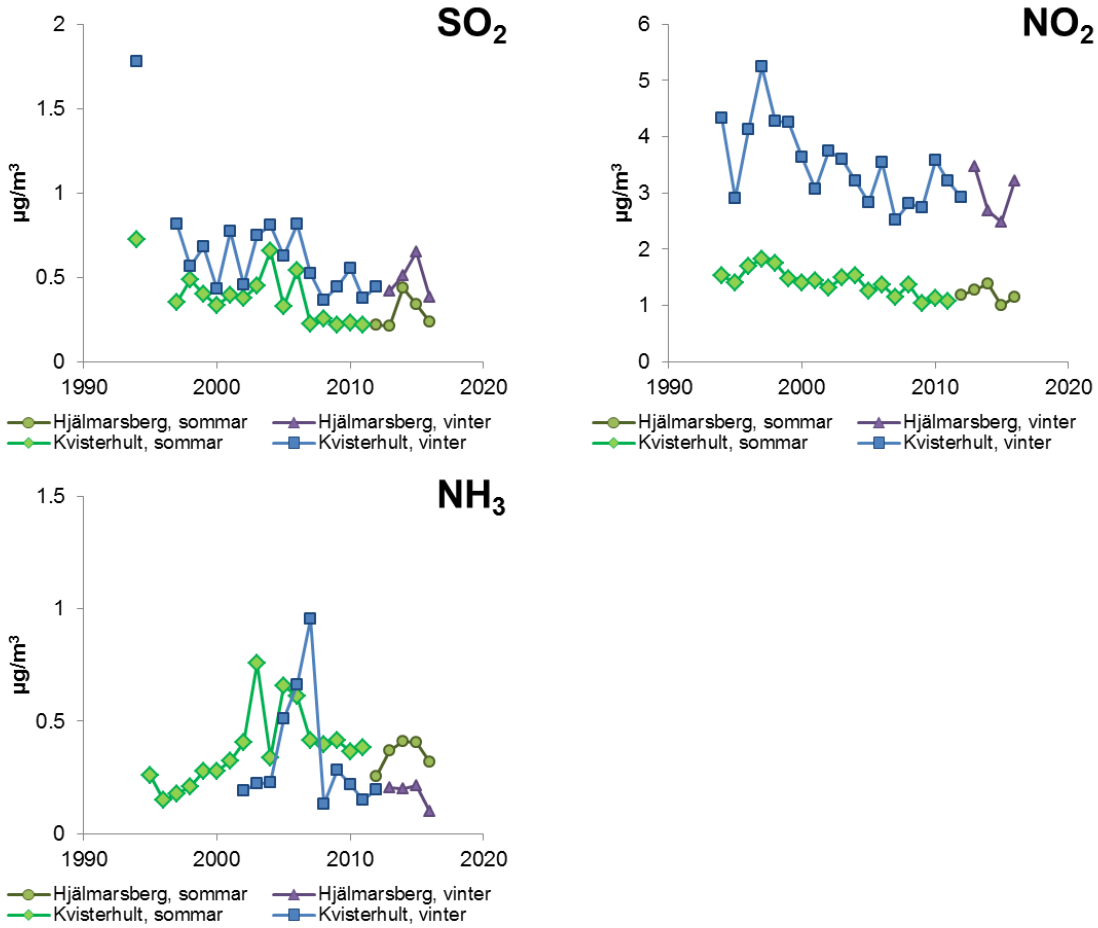
Kvisterhult (U 04):



Figur B4.1. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Kvisterhult, U 04**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO_4-S ex), nitratkväve (NO_3-N); ammoniumkväve (NH_4-N); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

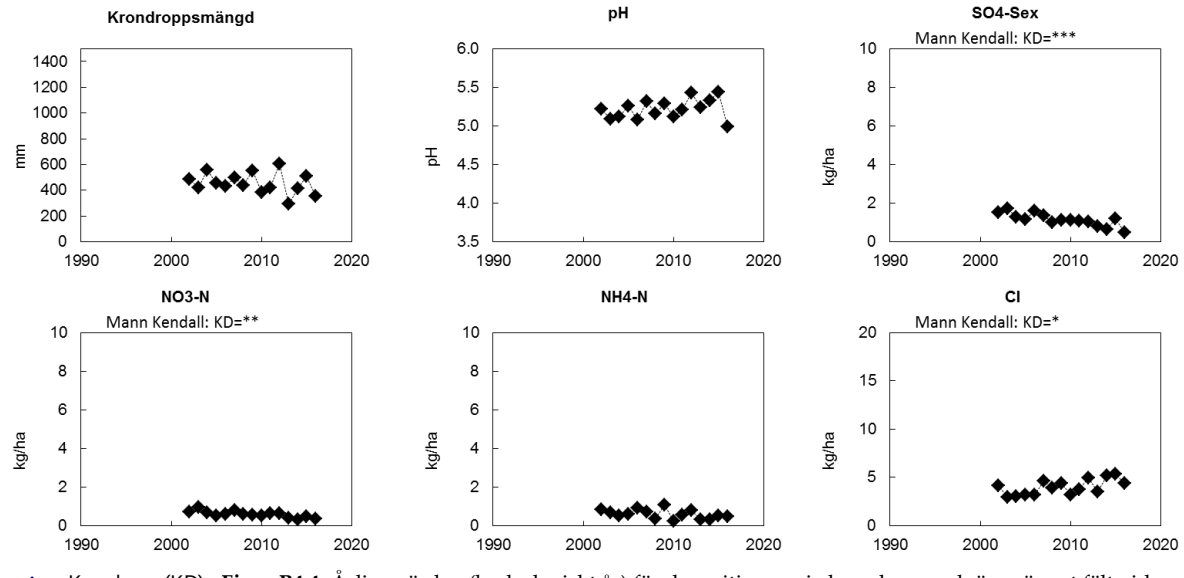


Figur B4.2. Markvattenkemi vid **Kvisterhult, U 04**: pH, sulfatsvavel (SO_4-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO_3-N), ammoniumkväve (NH_4-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl^-) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall signifikanta trender påvisats.

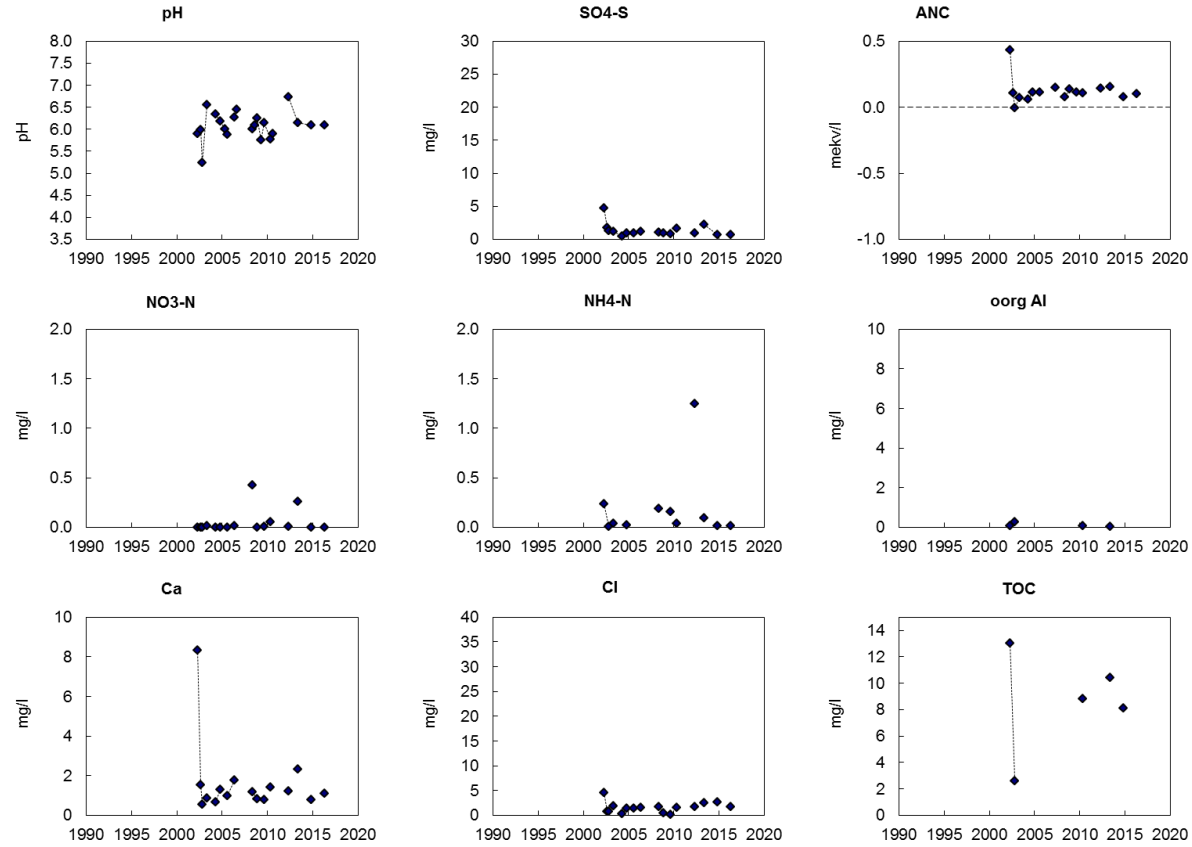


Figur B4.3. Lufthalter vid **Kvisterhult (U 04).** Värden anges för svaveldioxid (SO_2), kvävedioxid (NO_2) och ammoniak (NH_3).

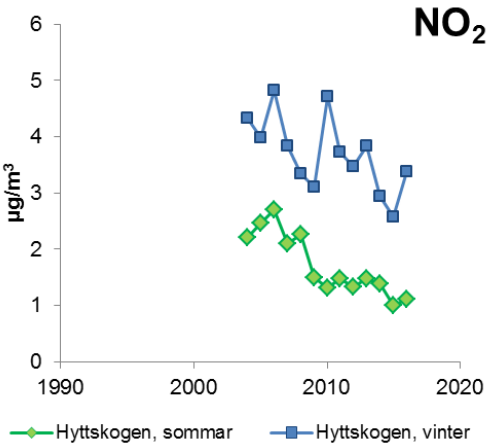
Hyttskogen (U 06):



Figur B4.4. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Hyttskogen, U 06**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO_4-S ex), nitratkväve (NO_3-N); ammoniumkväve (NH_4-N); kloridjoner (Cl). Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall-analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



Figur B4.5. Markvattenkemi vid **Hyttskogen, U 06**: pH, sulfatsvavel (SO_4-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO_3-N), ammoniumkväve (NH_4-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl^-) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall signifikanta trender påvisats**.**



Figur B4.6. Lufthalter vid **Hyttskogen (U 06).** Värden anges för kvävedioxid (NO_2).

IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se