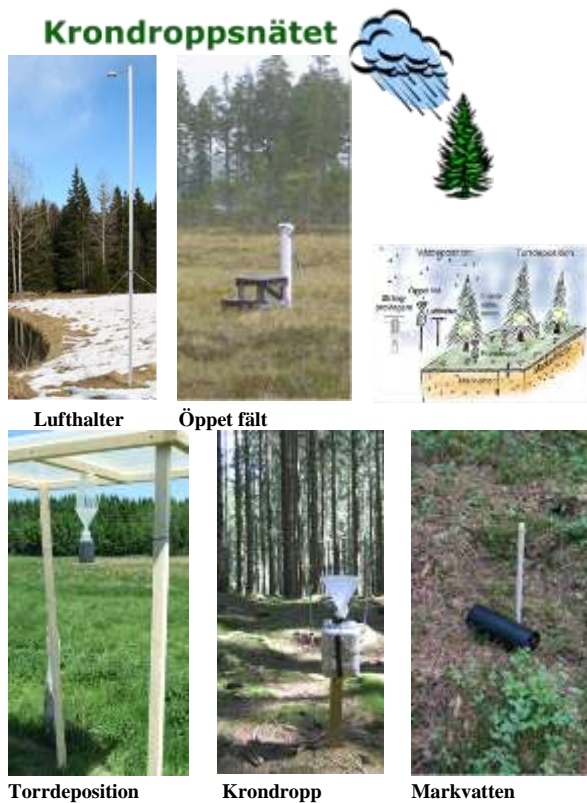


För Östergötlands läns Luftvårdsförbund

Tillståndet i skogsmiljön i Östergötlands län

**Resultat från Krondroppsnätet t.o.m.
september 2013**



Gunilla Pihl Karlsson, Cecilia Akselsson¹⁾,
Sofie Hellsten & Per Erik Karlsson

B 2179

Juni 2014

¹⁾ Lunds universitet

Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB	Rapportsammanfattning
Adress Box 53021 400 14 Göteborg	Projekttitel Tillståndet i skogsmiljön i Östergötlands län - Resultat från Krondropps nätet t.o.m. september 2013
Telefonnr 031-725 62 00	Anslagsgivare för projektet Östergötlands läns Luftvårdsförbund
Rapportförfattare Gunilla Pihl Karlsson, Cecilia Akselsson, Sofie Hellsten & Per Erik Karlsson	
Rapporttitel och undertitel Tillståndet i skogsmiljön i Östergötlands län - Resultat från Krondropps nätet t.o.m. september 2013	
<p>Sammanfattning: I denna rapport redovisas resultaten från mätningar inom Krondropps nätet i Östergötlands län från perioden oktober 2012 till september 2013 och relateras till tidigare års mätningar. Vidare redovisas andra aktiviteter med anknytning till Krondropps nätet.</p> <p>Mätningar inom länet visar att såväl lufthalter som atmosfäriskt nedfall av svavel under de senaste drygt 20 åren har minskat i takt med Sveriges och Europas rapporterade utsläppsminskningar. Det kan utifrån mätningarna, antas att en minskning av svavelhalterna i fartygsbränsle runt 2006-2007 resulterade i ett minskat svavelnedfall.</p> <p>Provtagning och analys av markvattnet tyder på små, men bestående försurningsproblem för skogsmarken. Markvattnets pH är fortfarande något försurat, men samtidigt syns tecken på återhämtning från försurningen. Trots att svavelnedfallet har minskat kraftigt i länet har det sura nedfallet tömt marken på buffringkapacitet, och det tar lång tid innan den försurade marken återhämtar sig.</p> <p>Även utsläppen av oxiderat och reducerat kväve uppges ha minskat avsevärt under de senaste 20 åren. Lufthalterna av NO₂ minskar mycket riktigt i länet, medan halterna av ammoniak i stort inte visar på någon förändring. Nedfallet av kväve med nederbörden har varit förhållandevis lågt de senaste åren, men den kritiska belastningen för kvävenedfall, 5 kg N/ha/år, har sannolikt överskridits under lång tid i Östergötlands län. Kvävenedfallet kan på sikt leda till en upplagring av kväve i skogsmarken. I slutändan kan detta medföra att nitrat läcker ut till grundvatten och rinnande ytvatten. Markvattenmätningarna i länet visar att förhöjda halter av nitrat sällan förekommer i länet vid ytorna med växande skog. Förhöjda nitrathalter i markvattnet är vanligare i angränsande län vilket medför att det troligen kan förekomma även inom Östergötlands läns gränser. Där det förekommer innebär det negativa effekter både för övergödning och för försurning.</p> <p>Aspekter kring skogsbrukets försurande inverkan, kvävegödsling av skogsmark, fördjupad utvärdering av miljömålet samt EU:s luftvårdspolitik diskuteras också i rapporten.</p>	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Deposition, svavel, kväve, skogsytor, försurning, övergödning, krondropp, markvatten, lufthalter, Östergötlands län	
Bibliografiska uppgifter: IVL Rapport B 2179	
Rapporten beställs via: Webbplats: www.ivl.se , e-post: publikationsservice@ivl.se , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	4
2.	Mätningar inom Krondroppsnetet	6
3.	Miljö tillståndet i skogslandskapet i Östergötlands län – en översikt	7
	3.1. Försurningen av skogsmarken	8
	3.2. Kvävestatusen i skogslandskapet.....	14
	3.3. Nedfallsmätningar av fosfor 2012/13	19
4.	Rapporter och artiklar 2013	20
5.	Möten och konferenser 2013.....	23
6.	Specialprojekt på krondroppsytor.....	24
7.	Pågående policyrelaterat arbete med koppling till Krondroppsnetet	28
8.	Krondroppsnetets webbplats	35
9.	Referenser.....	35
	Bilaga 1. Stationsvis redovisning.....	37
	Bilaga 2. Årets data i tabellform - deposition, lufthalter, markvatten.....	50

Rapporten godkänd

2014-06-16



Karin Sjöberg
Enhetschef

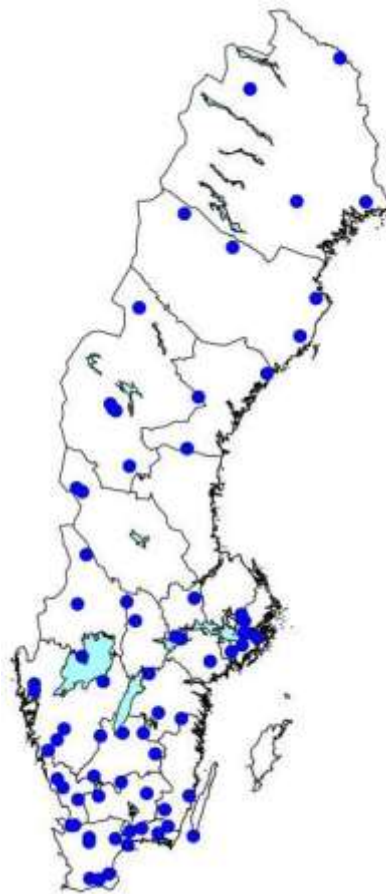
1. Inledning

Inom ramen för Krondroppsnetet bedriver IVL sedan 1985 länsbaserade undersökningar med regional upplösning av luftföroreningar och dess effekter med avseende bland annat på försurning, övergödning och marknära ozon. Målsättningen med nuvarande samarbetsprogram, ”Program 2011”(2011-2014), är att utifrån depositions-, markvatten- samt lufthaltsmätningar ge kunskap om belastning av luftföroreningar och dess effekter på vegetation, mark och vatten.

Under 2012/13 bedrev Krondroppsnetet mätningar av nedfall till skog (krondropp), nedfall på närliggande yta på öppet fält, torrdeposition med strängprovtagare, markvattenkemi samt lufthalter på totalt 71 ytor, fördelade relativt jämnt över hela Sverige, Figur 1. Krondropp och markvattenkemi mättes på de flesta av ytorna, medan övriga mätningar genomfördes på ett urval av ytor.

Resultaten från mätningarna analyseras i relation till effekter främst på tillstånd i mark, markvatten, ytvatten, vegetation samt på den brukade skogens långsiktiga näringstillstånd och hälsa. Resultaten används bland annat i arbetet med de svenska miljö kvalitetsmålen, framför allt med underlag till ”Bara Naturlig Försurning”, ”Ingen Övergödning” och *Frisk Luft*. Förutom ovan nämnda miljömål berör aktiviteterna inom Krondroppsnetet även miljömålen: *Levande sjöar och vattendrag*, *Grundvatten av god kvalitet*, *Levande skogar* samt *Storslagen fjällmiljö*. Resultat från Krondroppsnetet används i stor utsträckning inom den länsvisa och den regionala miljöövervakningen. Vidare 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 samt för att ytterligare fördjupa underlaget för miljömålsuppföljningen.

En av styrkorna med Krondroppsnetet är att mätningar har bedrivits under långa tidsperioder och med god geografisk täckning över Sverige, vilket möjliggör detaljerade studier av variationen i tid och rum. Krondroppsnetet har en stark koppling till den regionala och nationella miljöövervakningen, men är även starkt förankrad i forskningen. Genom att mätningarna inom Krondroppsnetet är nationellt samordnade, och bedrivs med samma metoder överallt, kan mätningarna användas för att beskriva tidsutvecklingen vad gäller olika miljöindikatorer såväl regionalt som nationellt. Krondroppsnetets verksamhet



Figur 1. Krondroppsnetet under 2012/13. Samordnade mätningar av luftföroreningar i 71 skogliga observationsytor.

spänner över stora tidsrymder, och har bland de längsta mätserierna i hela Europa, vilket möjliggör studier av långsiktiga trender. Data från Krondropps nätet bidrar till modellutveckling, 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.

Krondropps nätet har en länsvis förankring och drivs främst med regional finansiering från luftvårdsförbund, länsstyrelser och kommuner, men även från enskilda företag. Även Naturvårdsverket bidrar med viss finansiering, främst vad gäller mätningar av nederbörd och torrdeposition över öppet fält.



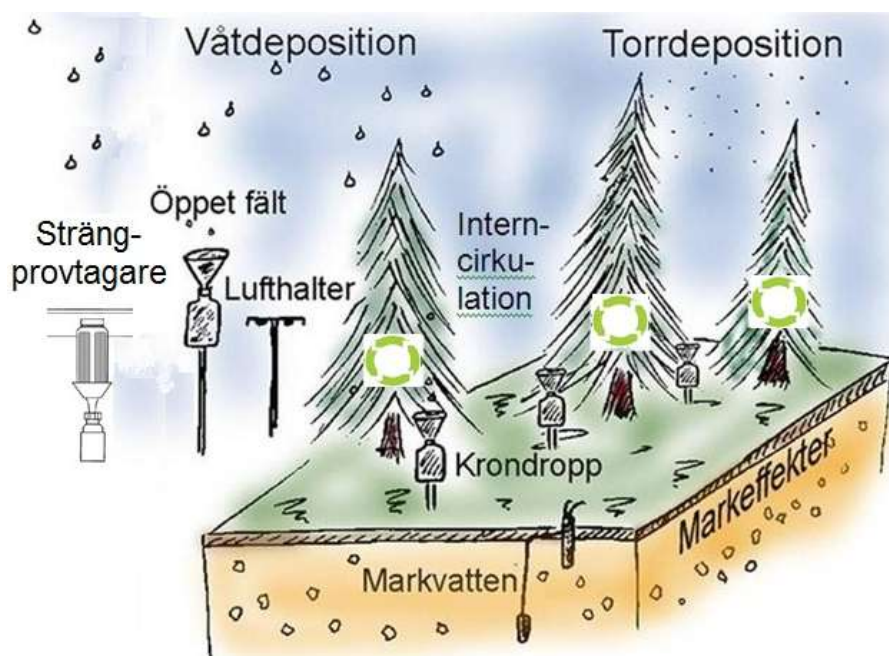
Mätplatser inom Krondropps nätet i Östergötlands län, Höka (tallskog) och Solltorp (granskog). I den här rapporten redovisas dessutom mätresultat från två ytor i angränsande län, Risebo, en tallyta i Kalmar län, samt Bordsjö, en granyta i Jönköpings län.

I Östergötlands län finns två aktiva lokaler inom Krondropps nätet, se kartan ovan. I den här rapporten diskuteras dessutom mätresultat från Risebo, en tallyta i norra Kalmar län samt från Bordsjö, en granyta i Jönköpings län, nära gränsen till Östergötland. Östergötlands län ligger i ett område med lågt nedfall av luftföroreningar för att vara i södra Sverige.

I denna rapport redovisas resultaten från mätningar från perioden januari 2012 till september 2013, vilka relateras till tidigare års mätningar. Först ges en allmän beskrivning av mätningarna inom Krondropps nätet. Därefter presenteras mätningarna utifrån de perspektiv på skogsmiljön som är mest relevant för Östergötlands län. Resultaten relateras främst till miljömålen *Bara Naturlig Försurning* och *Ingen Övergödning*. Vidare redovisas publikationer, möten och konferenser under 2013, samt aktiviteter med koppling till Krondropps nätet som är på gång under 2014 och framåt. I Bilaga 1 redovisas det senaste årets mätdata från de aktiva lokalerna inom länet i detalj, tillsammans med aktuell information om mätplatserna. I Bilaga 2 redovisas data i tabellform.

2. Mätningar inom Krondroppsnätet

De metoder som används för att mäta lufthalter, deposition samt markvatten illustreras i Figur 2.



Figur 2. Principskiss för mätningarna som bedrivs inom Krondroppsnätet. Lufthalter mäts 3 meter över marken. Nedfallet till skogstorna består av våt- och torrdeposition. Vissa ämnen interncirkuleras i trädkronorna, vilket innebär att det som uppmäts i krondroppet är våt- och torrdeposition \pm intern-cirkulation. Strängprovtagare under tak möjliggör en indirekt mätning av torrdepositionen. Markvattnet mäts på 50 cm djup.

Deposition av luftföroreningar mäts inom Krondroppsnätet på månadsbasis, dels på öppet fält, dels i skogen under krontaket (krondropp) och dels med hjälp av strängprovtagare under tak. Mätningarna på **öppet fält**, som bedrivs vid 32 lokaler i landet under 2012/13, speglar huvudsakligen våtdeposition, det vill säga föroreningarna som följer med nederbörden.

Krondroppsmätningarna, som bedrivs vid 59 lokaler (2012/13), speglar utöver våtdepositionen även torrdepositionen, det vill säga luftföroreningar som transporteras med vinden och fastnar i trädkronorna. **Strängprovtagare** används vid 10 lokaler i landet och används för att uppskatta torrdepositionen av vissa ämnen. **Lufthaltsmätningar** av svavel-dioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon bedrivs vid 21 lokaler (2012/13) med hjälp av diffusionsprovtagare som kvantitativt absorberar den gas som ska mätas.

Markvattenmätningar bedrivs vid 62 lokaler med undertryckslysimetrar som suger vatten från 50 cm djup via ett fint, keramiskt filter. Markvattenprovtagning utförs tre gånger per år för att representera förhållandena före, under samt efter vegetationsperioden.

3. Miljötilståndet i skogslandskapet i Östergötlands län – en översikt

Krondroppsnetet bedriver mätningar av deposition, markvatten samt lufthalter för att ge kunskap om belastningen av luftföroreningar och deras effekter på vegetation, mark och vatten. I Östergötlands län finns två aktiva lokaler inom Krondroppsnetet, Solltorp i granskog och Höka i tallskog. I den här rapporten redovisas dessutom mätresultat från två ytor i angränsande län, Risebo, en tallyta i Kalmar län, samt Bordsjö, en granyta i Jönköpings län. Båda dessa ytor ligger nära Östergötlands länsgräns.

Av Östergötlands läns areal utgörs 60 % av produktiv skogsmark (622 000 ha). Skogarna utgörs av ca 81 % barrskogar (36 % tallbestånd och 29 % granbestånd) och 9 % lövskogar. Skogarna i Östergötland finns framför allt i de södra och norra delarna i länet. Skogsmarken, vattendrag och sjöar i länet påverkas fortfarande i hög grad av atmosfäriskt nedfall, i huvudsak beroende på långväga transporterade luftföroreningar. Försurningen av mark och vatten beror av flera samverkande faktorer; nedfall av svavel, läckage av kväve från skogsmarken samt skogsbrukets försurande påverkan genom bortförsl av buffrande näringsämnen. Svavelnedfallet till länets skogar har sedan 1997 minskat med 60-80%, i takt med minskningen av Europas svavelutsläpp.

Skogsbrukets relativa betydelse för försurningen har ökat och står nu för 50-80 % av skogsmarkens försurning, beroende på om enbart stam eller även grenar och toppar (grot) tas ut. Försurningen vid uttag av grot kan dock motverkas genom näringskompensation i form av askåterföring. Markvattnet vid de två krondroppsytorna i länet är något försurat, och bara en av ytorna visar tecken på återhämtning från försurning i form av ökat ANC och minskande halter av oorganiskt aluminium i markvattnet. Ytor i angränsande län visar på både bättre (icke försurat) och sämre (försurat) markvattnet. Östergötlands län ligger i ett område där försurningen av markvattnet är liten, men trots detta förväntas försurningsproblemen i Östergötlands län fortgå lång tid framöver, vilket beror på att återhämtningen går mycket långsamt.

I Östergötlands län mäts lufthalter vid en station, Höka. Lufthalterna av svaveldioxid (SO_2) och kvävedioxid (NO_2) i bakgrundsmiljön vid Höka är lägre än vid mätplatserna i sydvästra Sverige. Under det senaste hydrologiska året uppmättes de lägsta halterna av både SO_2 och NO_2 sedan mätstarten 1999. Lufthalterna vid övriga stationer i södra Sverige har visat samma sak. Denna minskning verkar sammanfalla med införandet av begränsningar av svavel i fartygsbränsle år 2007. Länets lufthalter av NO_2 minskar också, om än inte lika tydligt. Lufthalterna av ammoniak (NH_3) minskar däremot inte.

Kvävenedfallet har inte minskat i samma utsträckning som svavelnedfallet, men under de senaste fyra åren har kvävenedfallet över öppet fält i länet varit lägre än 5 kg N/ha, vilket är den kritiska belastningen för kvävenedfall till barrskog. Förhöjda halter av nitrat förekommer relativt sällan i markvattnet vid de två mätplatserna i länet, däremot är det något vanligare i ytorna i angränsande län. Det är troligt att förhöjda nitrathalter i växande skog förekommer inom Östergötlands gränser också. Där det förekommer innebär det negativa effekter både för övergödning och för försurning.

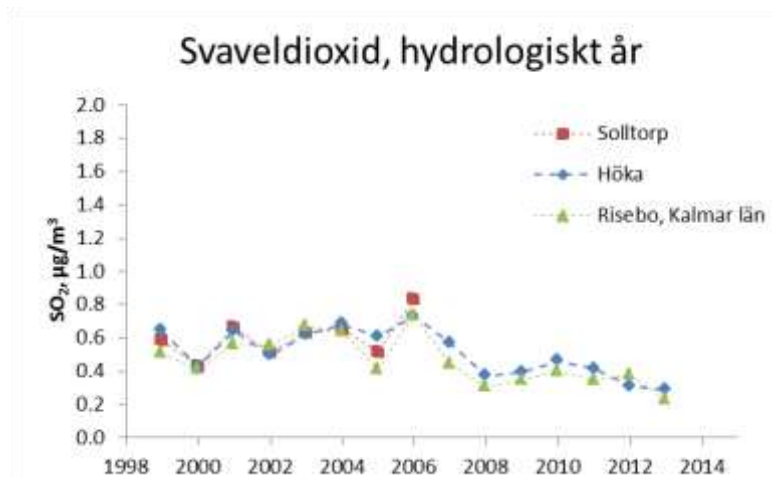
3.1. Försurningen av skogsmarken

Den senaste regionala miljömålsutvärderingen i länet som Länsstyrelsen gjort visar att Östergötland är nära att nå målet *Bara naturlig försurning* till 2020, och sammanfattas enligt följande: ”Målet är nära att nås med de idag planerade styrmedel som beslutas före 2020. Utvecklingen i miljön är positiv.”

Nedan beskrivs emissioner, lufthalter och nedfall av svavel i Östergötlands län från Krondropps nätets mätningar, relaterat till svavelemissionerna, följt av tre avsnitt om ”Försurningseffekter i markvatten”, ”Andra bedömningar försurning – mark och sjöar”. Resultaten presenteras även stationsvis i diagram (Bilaga 1) och tabeller (Bilaga 2).

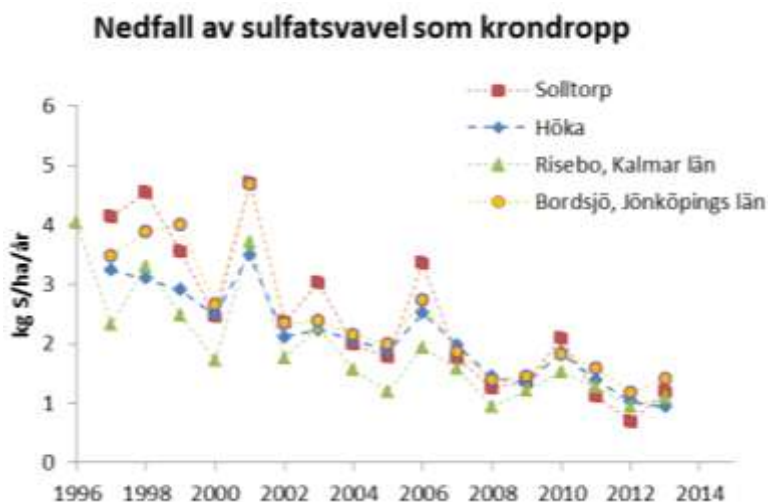
Emissioner, lufthalter och nedfall av svavel

Lufthaltsmätningarna vid Höka visar att de lägsta halterna av SO₂ uppmättes under föregående hydrologiska år (0,3 µg/m³) sedan mätningarna påbörjades år 1999. Även vid den närliggande mätstationen Risebo i Kalmar län uppmättes de lägsta halterna sedan mätstarten (0,2 µg/m³). Lufthalterna av SO₂ minskar signifikant både vid Höka och vid Risebo, med i genomsnitt 5 % respektive 4 % årligen. Under de senaste sex åren har lufthalterna av SO₂ varit under 0,4 µg/m³ vid Höka. Runt år 2007 skedde en minskning av svavelhalterna i fartygsbränsle från 1,5 % till 1,0 %. Detta kan ha bidragit till den lite kraftigare minskning av lufthalterna av SO₂ som indikeras för tiden kring detta år (Figur 3).



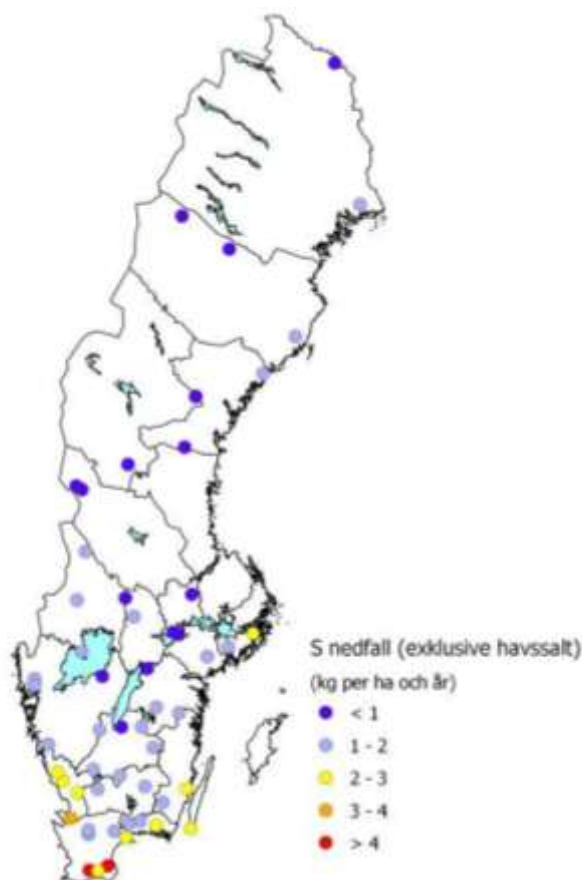
Figur 3. Årliga medelhalter av svaveldioxid i luft vid två platser inom Östergötlands län. Numera mäts lufthalter enbart vid Höka. Dessutom visas lufthalterna vid Risebo (Kalmar län). Lufthalterna mäts månadsvis med diffusiva provtagare placerade 3 m över mark och medelvärde beräknas för hydrologiska år (okt-sept).

Svavelnedfallet vid Solltorp har minskat med 70 – 80 % sedan 1997, se Figur 4. Vid de övriga ytor är minskningen 60 – 70 %. De rapporterade, samlade svavelutsläppen från Europa har minskat med mer än 80 % sedan 1990, (EMEP, 2011, gäller utsläppen från EU-27, internationell fartygsstrafik ej inkluderat). Motsvarande minskning sedan 1999 är ca 60 %. I stort sett har svavelnedfallet till skogen i Östergötlands län minskat i samma utsträckning som minskningen av de samlade svavelutsläppen från Europa. Svavelnedfallet till länets skogar låg under det hydrologiska året 2012/13 mellan 1-2 kg S/ha.



Figur 4. Årliga värden för nedfall av sulfatsvavel till två platser i Östergötlands län, samt två ytor i angränsande län, uppmätt som krondropp. Solltorp och Bordsjö är granytor medan Höka och Risebo är tall- ytor. Nedfallet i krondropp mättes månadsvis och summerades för hydrologiskt år (okt-sept).

Svavelnedfall i krondropp 2012/13 visas för landet som helhet i Figur 5. Gradienten i försurningsproblematiken från sydväst mot nordost framträder tydligt. Även kvävenedfall kan verka försurande, men till skillnad från svavel uppkommer den försurande effekten först om/när ekosystemet inte kan hålla kvar allt kväve. När kväve finns i överskott sker nitrifikation, varvid vätejoner som försurar frigörs. Kvävestatusen i skogarna i Östergötlands län diskuteras vidare i nästa kapitel.



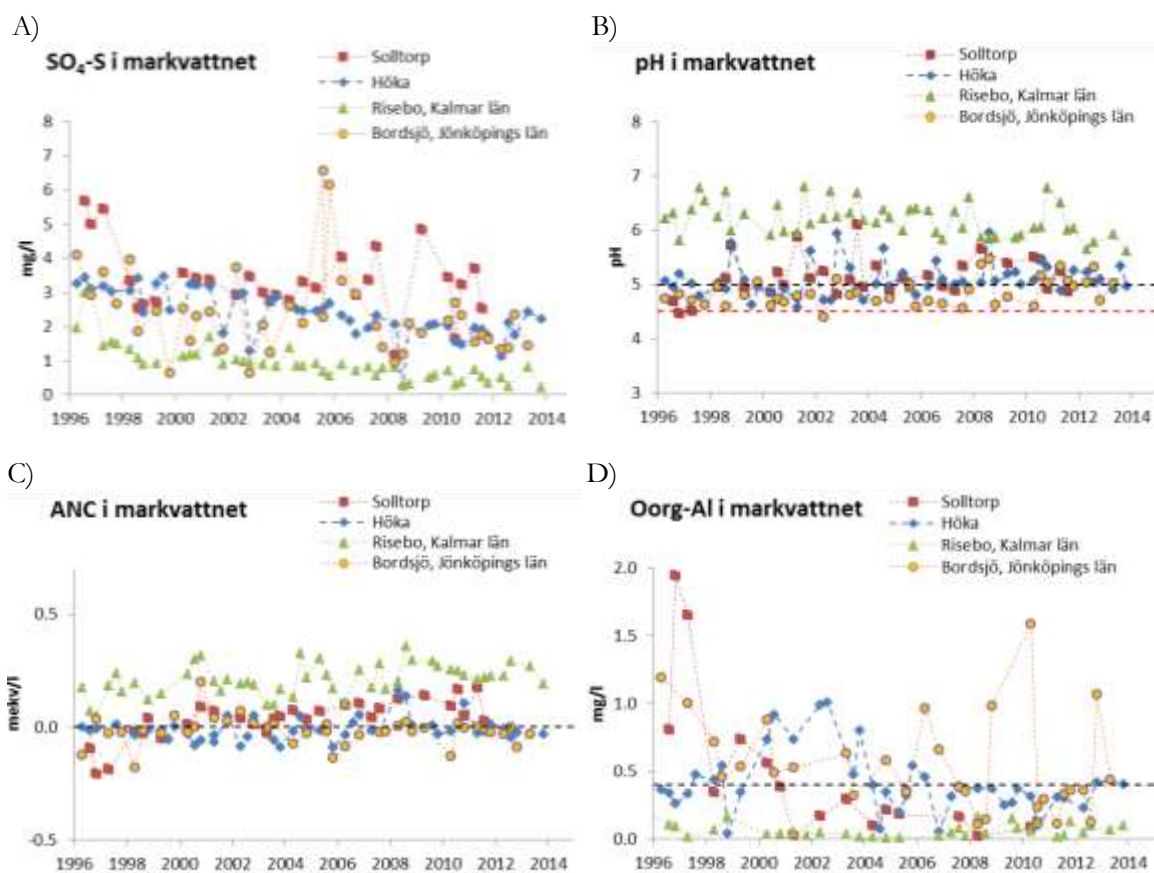
Figur 5. Nedfall av sulfatsvavel (exklusive bidraget från havssalt) som krondropp under det hydrologiska året 2012/2013 vid olika platser inom Krondroppsnätet.

Försurningseffekter i markvatten

Markvattnet är det vatten som rör sig i marklagren under rotzonen, men ovanför grundvattnet. Det utgör en länk mellan skogsmarken och rinnande ytvatten. Markvattenmätningar genomförs på två platser i länet. Dessutom redovisas här markvattenmätningar från ytterligare två lokaler i angränsande län.

Det minskade svavelnedfallet syns i markvattenmätningarna som minskade svavelhalter vid Höka, se Figur 6A. Även vid Risebo och Bordsjö i angränsande län har svavelhalterna i markvattnet minskat signifikant. Solltorp saknar markvattendata för de två senaste åren eftersom provolyman har varit för låg. Vid Solltorp har svavelhalterna i markvattnet varit förhållandevis höga, trots att svavelnedfallet har minskat kraftigt vid ytan. Det är oklart vad detta kan bero på. En möjlig förklaring kan vara att svavel från atmosfäriskt nedfall lagrats upp i skogsmarken under lång tid och nu kontinuerligt läcker ut till markvattnet. Det kan också bero på vittring från vissa mineraler. Slutligen finns en möjlighet att svavlet kommer från historiskt upplagrade alger som nu bryts ner, motsvarande förekomsten av s.k. ”svartmocka” längs Norrlands kuster. Detta behöver utredas närmare.

Försurning av markvattnet kan beskrivas utifrån olika parametrar, som alla ger lite olika aspekter på försurningen, såsom pH, syraneutraliserande förmåga (ANC) och halter av det toxiska ämnet oorganiska aluminium (oorg-Al), Figur 6B-D. Bedömningen av försurnings-tillståndet i markvattnet i länet tyder på att Solltorp uppvisar en bättre försurningsstatus än Höka, med högre ANC-värden och lägre halter av oorganiskt aluminium i markvattnet. Dock är det svårt att dra slutsatser om försurningsstatusen vid Solltorp de senaste åren, eftersom ytan varit så torr att det inte finns några markvattendata sedan 2011. Mätningarna visar att försurningen av markvattnet i Östergötlands län är liten. Detta beror dels på att länet har förhållandevis låg nederbörd, men också på att stora delar av länet har kalkhaltiga jordar. Risebo i Kalmar län uppvisar en ännu bättre försurningsstatus, med ett förhållandevis högt pH, ANC-värden över 0 samt låga halter av oorganiskt aluminium i markvattnet. Samtidigt är det oroväckande att pH värdena vid Risebo minskar, se Figur 6B. Ingen av ytorna visar någon signifikant ökning av pH, vilket indikerar att återhämtningen från försurningen går mycket långsamt. Sämst försurningsstatus har Bordsjö i Jönköpings län, vilket troligtvis hänger samman med ett högre nedfall i de sydvästra delarna av Sverige.

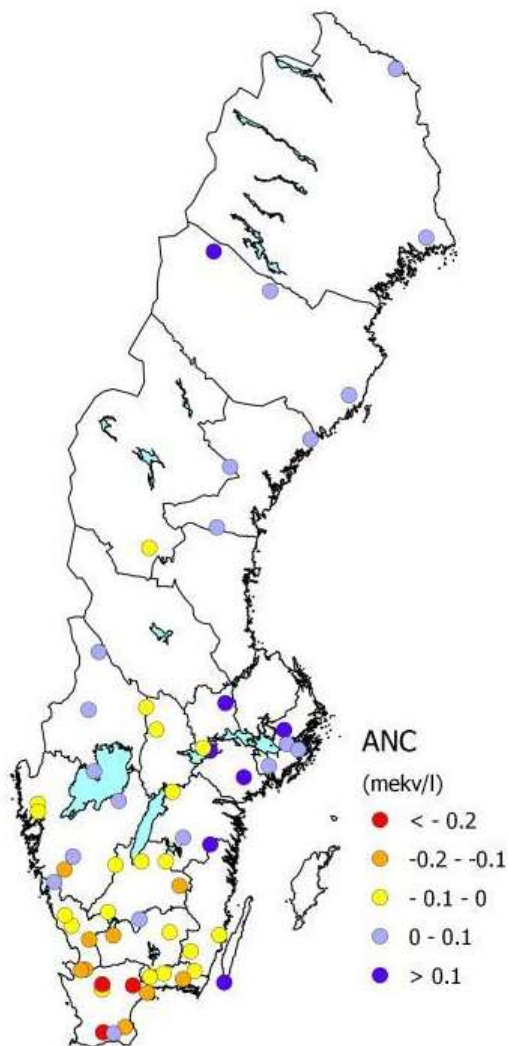


Figur 6. Halterna av A) sulfatsvavel (SO₄-S), B) pH, C) syraneutraliserande förmåga (ANC) och D) oorganiskt aluminium (oorg-Al) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser i Östergötlands län, samt vid två lokaler i angränsande län, uppmätt inom Krondroppsnetet. Följande förändringar är statistiskt säkerställda: SO₄-S har minskat signifikant vid Höka, samt vid Risebo och Bordsjö i angränsande län; pH har minskat signifikant vid Risebo i Kalmar län; ANC har ökat signifikant vid Solltorp och Risebo (Kalmar län); oorg-Al har minskat signifikant vid Solltorp. På grund av liten provvolym de senaste åren finns inga markvattendata från Solltorp sedan 2011.

Bedömningen av vid vilket pH som markvattnet kan anses försurat beror till viss del på vilken berggrund som föreligger i området, halterna av organiska ämnen m.m. Ett pH i området 4.5 – 5.0 kan indikera risk för försurning, och ett pH <4.5 anses i de flesta fall indikera kraftig försurning. Mätningarna visar att markvattnet i Östergötlands län har ett pH runt 5, vilket indikerar att försurningen av markvattnet i länet är liten.

Även när det gäller ANC uppvisar markvattnet vid Risebo i Kalmar län en betydligt bättre försurningsstatus än de övriga ytorna, se Figur 6C. Värdet för ANC ska vara över noll om markvattnet inte ska anses försurat. Vid Risebo har ANC-värdet aldrig varit under 0. Även Solltorp har uppvisat positiva värden på ANC större delen av mätperioden. ANC har ökat signifikant både vid Risebo och vid Solltorp. Höka samt Bordsjö i Jönköpings län har ANC-värden runt 0.

I Figur 7 visas den syraneutraliserande kapaciteten (ANC) hos markvattnet på 50 cm djup vid olika platser i landet inom Krondroppsnetet. Det finns en gradient vad gäller markförsurningen redovisat på detta sätt från sydväst mot nordost, med det framgår också att det inom denna gradient finns betydande lokala variationer. Orsakerna till denna lokala variation är föremål för forskning, se kapitel 6. I denna framställning framgår en lokal i Östergötlands län som försurad (Höka). Länet ligger generellt i en region där försurningsstatusen börjar övergå till tillfredsställande status.



Figur 7. Den syraneutraliserande kapaciteten (ANC) hos markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnetet. Det värde som anges är medianvärdet under de senaste tre åren. Ett värde på $ANC < 0$ diskuteras som en indikator för försurning av skogsmarken.

Oorganiskt aluminium frigörs vid sura förhållanden, och kan vara skadligt både för växter och för djur. Det används ofta som en indikator på markvattnets försurningsstatus. En kritisk gräns som föreslagits är 0,4 mg/l (Gustafsson m.fl., 2001). Mätningarna inom Krondroppsnetet visar att halterna under de senaste åren legat under denna gräns vid både Höka och Solltorp i Östergötlands län. Vid Solltorp minskade halterna med statistisk säkerhet fram till 2011 (därefter saknas mätvärden), vilket indikerar återhämtning från försurning. Risebo i Kalmar län har lägsta halter oorganiskt aluminium i markvattnet, och Bordsjö i Jönköpings län har högst, se Figur 6D.

Markvattenmätningarna i Östergötlands län visar att trots att svavelnedfallet minskat kraftigt har marken ännu inte helt återhämtat sig från försurningen. Återhämtningen går långsamt, och mark och vatten i Östergötlands län lider fortfarande av de stora utsläpp som en gång varit.

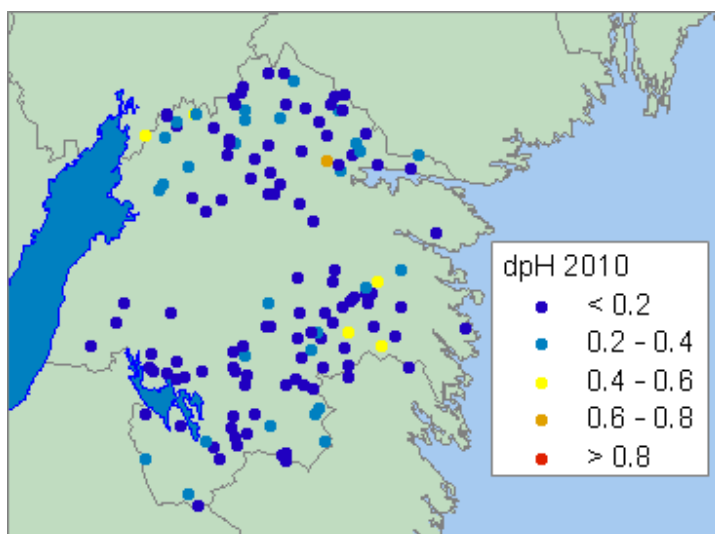
Andra bedömningar försurning – mark och sjöar

Data från markinventeringen används för uppföljning av indikatorn ”Försurad skogsmark”. Uppföljningen görs nationellt och uppdelat i tre landsdelar. I den del som Östergötland tillhör, mellersta och östra Sverige, är andelen mark med hög eller mycket hög surhetsgrad enligt bedömningsgrunderna för skogslandskapet 30 %. Trots att det sura nedfallet minskat kraftigt är försurningstillståndet i skogsmarken relativt oförändrat.

Kritisk belastning för skogsmark har traditionellt beräknats med PROFILE-modellen och kvoten mellan koncentrationen av baskatjoner och oorganiskt aluminium har använts som kemiskt kriterium. De senaste nationella beräkningarna (från 2014) visar på att den kritiska belastningen överskrids på 11 % av skogsmarken i Sverige. I denna rapport har vi dock valt att inte presentera resultat på länsnivå de senaste åren. I modellberäkningen finns inte det historiska nedfallet med, och när nedfallet minskat kraftigt kan resultatet bli missvisande. Vi förespråkar därför en övergång till dynamisk modellering med ForSAFE-modellen. Det finns ett framtaget förslag på metodik för detta.

Indikatorn ”Försurade sjöar” följs upp genom en bedömning av andel antropogent försurade sjöar, på länsnivå, där antropogent försurade sjöar definieras som sjöar vars pH-värde minskat med 0,4 enheter sedan förindustriell tid.

Den senaste skattningen av andelen sjöar som anses försurande genom mänsklig påverkan beräknas till knappt 4 % av länets sjöar (antropogent försurade och okalkade). Ytterligare cirka 2 % av länets sjöar skulle varit försurade om de inte hade kalkats. (Fölster & Valinia, 2012). Förekomsten av antropogent försurade sjöar inom länet visas i Figur 8. För hela Sverige beräknas andelen försurade sjöar till 10 %. Östergötland är ett av de län som har minst kalkningsbehov i landet och idag sprids årligen ca 300 ton kalk i länet.



Figur 8. pH-förändring sedan förindustriell tid (dpH) i sjöar 2010, baserat på MAGIC-biblioteket. En sjö räknas som antropogent försurad om pH som årsmedian har sjunkit med minst 0,4 enheter sedan förindustriell tid (dpH > 0,4), vilket markeras med gula, orange och röda symbolerna på kartan. Analysen inkluderar kalkade, försurade sjöar baserat på beräknad vattenkemi om man inte hade kalkat.

3.2. Kvävestatusen i skogslandskapet

Den senaste regionala miljömålsutvärderingen av Länsstyrelsen i länet visar att det inte är möjligt att nå målet *Ingen övergödning* till 2020, och sammanfattas enligt följande: ”Målet är inte möjligt att nå till 2020 med i dag beslutade eller planerade styrmedel. Det går inte att se en tydlig riktning för utvecklingen i miljön. Östergötland är hårt drabbat av övergödning. Många åtgärder sker, men för att uppnå målet måste tempot och insatserna öka.”

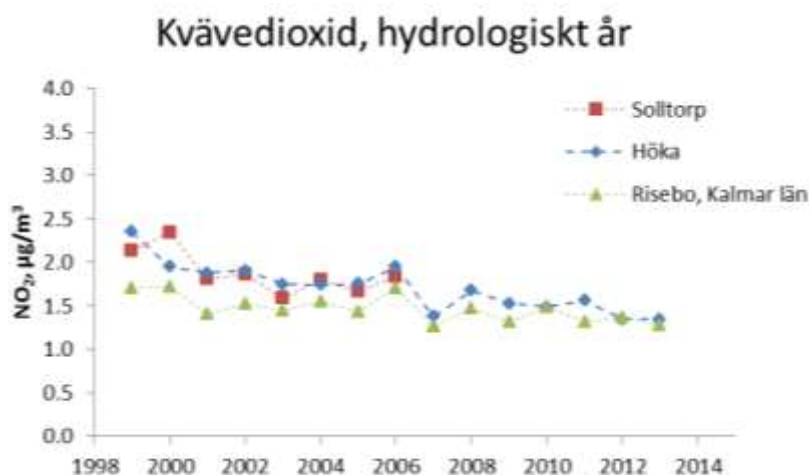
Kväve är tillsammans med fosfor orsaken till övergödning av hav och sjöar. (Läs mer om fosfordnedfall i Kapitel 3.3). Runt 1950 började nedfallet av kväve till skogen i Sverige öka kraftigt för att nå sin kulmen under 1980-talet (Hansen m.fl., 2013).

Nedan beskrivs lufthalter och nedfall av kväve i Östergötlands län från Krondropps nätets mätningar, relaterat till kväveemissionerna, följt av ett avsnitt om ”Kväveeffekter i markvatten”. Resultaten presenteras även stationsvis i diagram (Bilaga 1) och tabeller (Bilaga 2).

Emissioner, lufthalter och nedfall av kväve

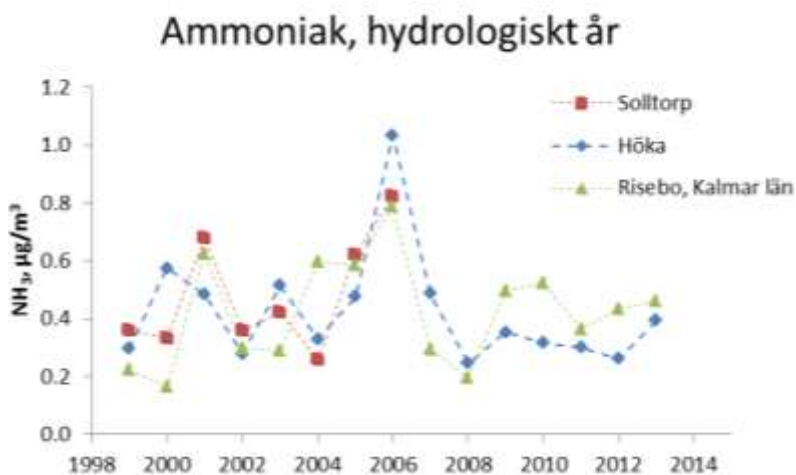
De rapporterade kväveoxidutsläppen i Europa har under de senaste 20 åren minskat med 47 % och ammoniak med 25 % (EMEP, 2011, gäller utsläppen från EU27, internationell fartygstrafik ej inkluderat). Det har varit svårt att påvisa att kvävenedfallet över Sverige har minskat under de senaste 20 åren (Hansen m.fl., 2013).

Lufthalten av NO₂ vid Höka under det hydrologiska året 2012/13 var den lägsta sedan mätningarna påbörjades år 1999 (1,3 µg/m³), se Figur 9. Även vid Risebo i Kalmar län uppmättes förhållandevis låga halter på samma nivå som vid Höka. Lufthalterna av NO₂ minskar signifikant med i genomsnitt 3 % årligen vid Höka.



Figur 9. Årliga medelhalter av kvävedioxid i luft vid två platser inom Östergötlands län. Numera mäts lufthalter enbart vid Höka. Dessutom visas lufthalterna vid Risebo (Kalmar län). Lufthalterna mäts månadsvis med diffusiva provtagare placerade 3 m över mark och medelvärde beräknas för hydrologiska år (okt-sept).

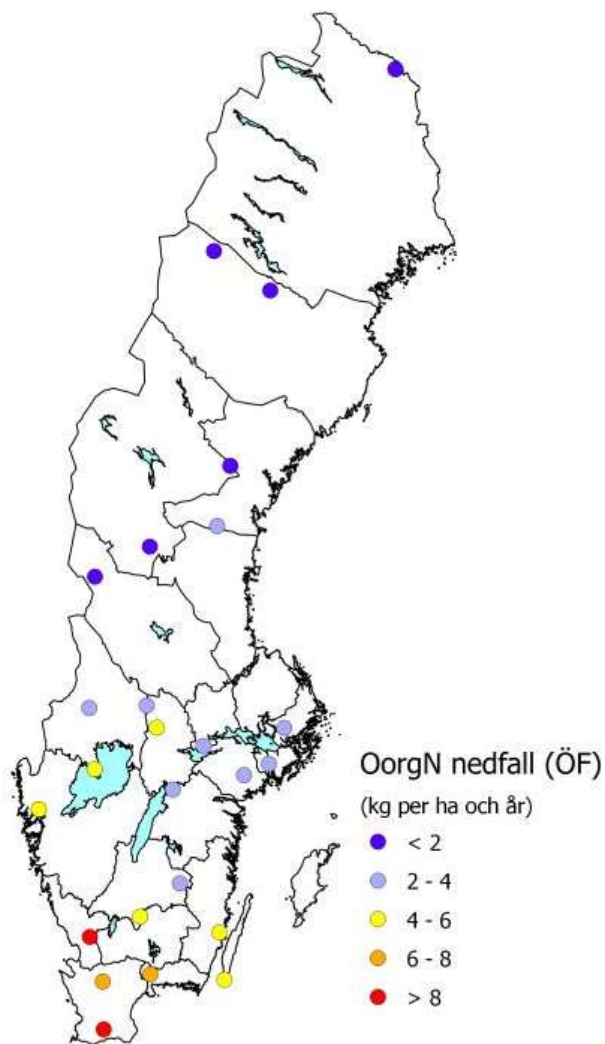
Lufthalterna av ammoniak (NH_3) är i allmänhet mycket låga inom länet. Under det senaste hydrologiska året var NH_3 -halten 0,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vid Höka och 0,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vid Risebo i Kalmar län, Figur 10. Under 2006 var halterna förhöjda vid samtliga tre mätstationer. Orsaken till detta är oklar, men kan bero på bidrag från skogsbränder. Inga signifikanta förändringar för lufthalterna av ammoniak har noterats, varken vid Höka eller vid Risebo.



Figur 10. Årliga medelhalter av ammoniak i luft vid två platser inom Östergötlands län. Numera mäts lufthalter enbart vid Höka. Dessutom visas lufthalterna vid Risebo (Kalmar län). Lufthalterna mäts månadsvis med diffusiva provtagare placerade 3 m över mark och medelvärde beräknas för hydrologiska år (okt-sept).

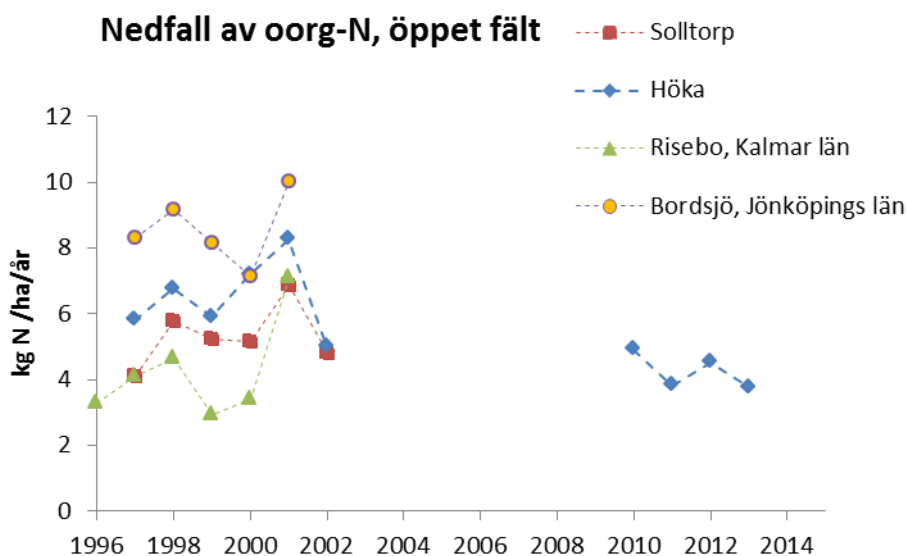
Nedfallet av kväve till skogen är svårt att mäta på grund av att kvävet kan tas upp direkt till trädskronorna. Krondroppsmätningar för kväve kan därför inte användas rakt av, på samma sätt som för svavel, utan man får istället använda mätningar av våtdeposition på öppet fält och därefter lägga till ett uppskattat bidrag från torrdepositionen. Torrdepositionen beräknas med hjälp av krondroppsmätningarna. Tidigare analyser har visat att i området runt Östergötlands län bidrar torrdepositionen med ca 15 % till det samlade nedfallet av oorganiskt kväve (Karlsson m.fl., 2011).

Nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält vid olika platser inom Krondroppsnätet under det hydrologiska året 2012/13 visas i Figur 11. Det högsta kvävenedfallet i landet förekommer i sydväst i Skåne, Blekinge och Halland. Något lägre kvävenedfall finner man i ett stråk från sydost till nordväst, från Kalmar län till södra Värmland.



Figur 11. Nedfallet av oorganiskt kväve (oorgN) med nederbörden till öppet fält vid olika platser inom Krondropps nätet under det hydrologiska året 2012/13.

I länet finns ingen lång tidsserie vad gäller kvävenedfall med nederbörden till öppet fält. Nedfallet mäts enbart vid Höka, och där har mätningarna pågått sedan 2010, Figur 12. Mätningar vid Höka gjordes även 1997-2002. Under det hydrologiska året 2012/13 uppmättes det lägsta kvävenedfallet av oorganiskt kväve (nitratkväve + ammoniumkväve) vid Höka sedan mätningarna påbörjades (3,8 kg/ha). Detta stämmer bra överens med resultaten från många andra lokaler över öppet fält i södra Sverige som precis som Höka uppmätt ett lågt kvävenedfall det senaste året. Detta hänger samman med att nederbörden var ovanligt låg.



Figur 12. Årliga värden för nedfall av oorganiskt kväve (nitratkväve + ammonium-kväve) med nederbörden till öppet fält på två platser i Östergötlands län, samt till två platser i angränsande län. Numera finns öppet fältmätningar i länet endast vid Höka. Nedfallet i nederbörden mättes månadsvis och summerades för hydrologiskt år (okt-sept).

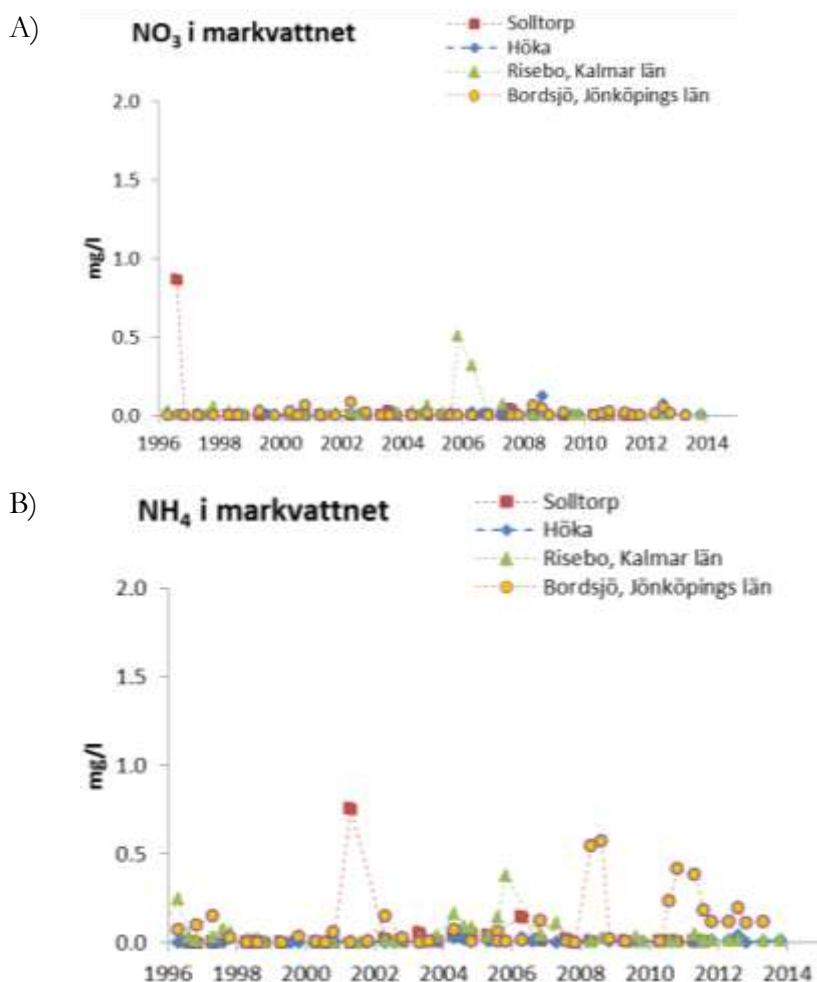
Det samlade nedfallet av $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ med nederbörden som medelvärde för de senaste tre åren uppgick till 4.0 kg N/ha vid Höka. Detta låga kvävenedfall hänger samman med låga nederbördsmängder under de senaste åren. Genom att lägga till ett uppskattat värde på torrdepositionen (15 %) blir det beräknade totala nedfallet av oorganiskt kväve 4,6 kg N/ha. Detta är glädjande nog lägre än den gräns på 5 kg N/ha/år som fastställts för den kritiska belastningen för kvävenedfall till skydd för förändringar hos växtligheten (Moldan m.fl., 2011). Det är lovande att kvävenedfallet vid Höka är lågt, men tidigare mätningar visar på överskridande av gränsen. Kvävenedfallet i länet har således överskridits under lång tid i Östergötlands län, och växtligheten är därför sannolikt sedan länge påverkad.

Kväveeffekter i markvattnet

Tillväxten i Sveriges skogar anses generellt vara kvävebegränsad, och skogsekosystemen har en mycket stor förmåga att lagra upp kväve. Förhöjda halter av nitrat uppträder därför tämligen sällan i markvattnet i växande skog. Om kväve lagrats upp i skogsmarken kan dock olika störningar såsom avverkning, vindfällen eller skadeinsekter, ge upphov till förhöjda halter av nitrat och ammonium i markvattnet.

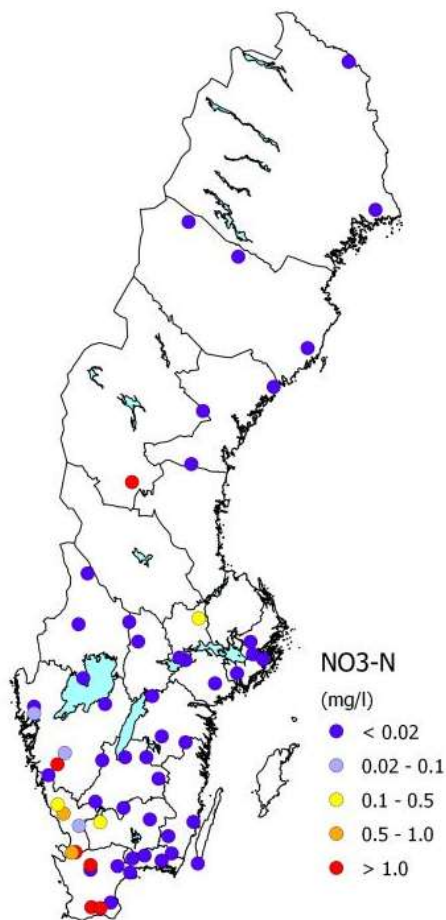
Förhöjda halter av nitrat och ammonium i markvattnet förekommer sällan i länet, se Figur 13A och 13B. Vid de två mätplatserna i angränsande län (Risebo och Bordsjö) förekommer förhöjda halter tidvis, framför allt av ammonium vid Bordsjö. Det är därför troligt att förhöjda nitrat- och ammoniumhalter i växande skog förekommer även inom Östergötlands läns gränser. Där det förekommer innebär det negativa effekter både för övergödning och för försurning. Eftersom skogen utgör en stor andel av den samlade

arealen i Östergötlands län (60 % produktiv skogsmark), kan förhöjda halter nitrat i markvattnet innebära att den totala mängden kväve som läcker ut från mark till sjöar ökar i framtiden.



Figur 13. Halterna i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser i Östergötlands län, samt på två platser i angränsande län av A) nitratkväve (NO₃-N) i markvattnet, samt B) halterna av ammoniumkväve (NH₄-N) i markvattnet. Inga förändringar är statistiskt säkerställda.

I Figur 14 redovisas mätningar av nitrat i markvattnet vid olika lokaler runt om i landet inom Krondroppsnätet, som medianvärdet från de senaste tre årens mätningar. I denna karta redovisas även resultaten från platser som varit utsatta för någon form av störning. Vid provytan Klippan, en röd markering strax öster om Göteborg, dog träden på grund av ett barkborreangrepp 2008 och nitrat började läcka ut i markvattnet. Krondroppsytan vid Sör-Digertjärn i södra Jämtlands län kvävegödslades 2012. Uttryckt som medianvärdet för de senaste tre åren är nitratförekomsten i markvattnet inom Östergötlands län ännu låg.



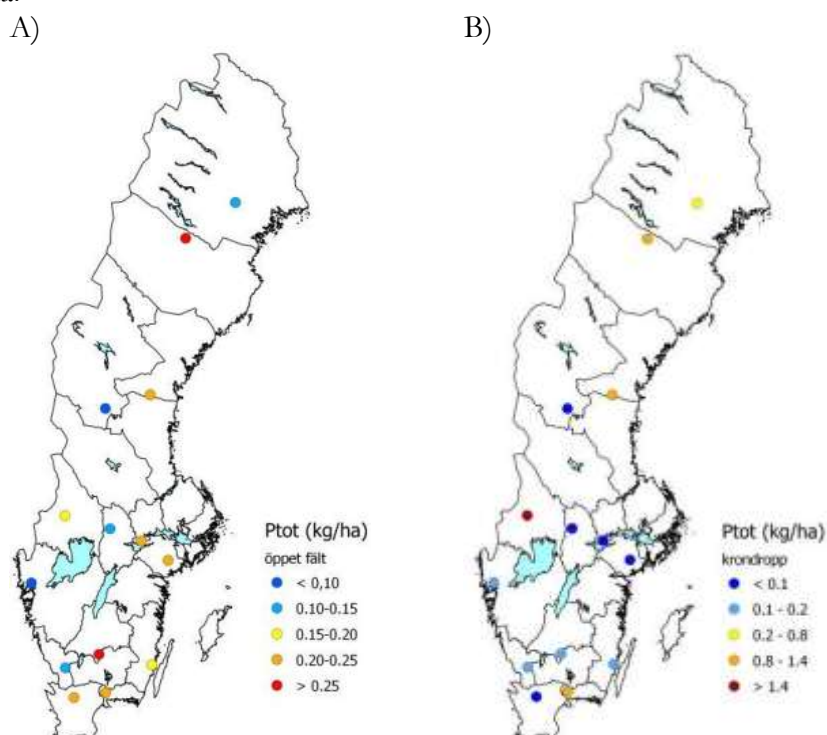
Figur 14. Koncentrationen av nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) vid olika platser inom Krondropps nätet redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar.

3.3. Nedfallsmätningar av fosfor 2012/13

Sedan 2011 mäts nedfallet av fosfor inom Krondropps nätet. Mätningarna startade mot bakgrund av det bristande underlaget vad gäller fosfordnedfall, och ett ökat fokus på fosfor som en potentiellt begränsande faktor för tillväxt. Det ämne som vanligtvis begränsar skogstillväxten på våra breddgrader är kväve, men i kväverika områden med små mängder fosfor mineral i marken kan fosfor bli det begränsande ämnet. Vid stora uttag av näringsrika grenar och toppar (grot) ökar risken för fosforbrist. Vid fosforbrist blir tillväxten lägre vilket i sin tur kan innebära en ökad risk för kväveutlakning, eftersom träden inte längre kan ta upp lika mycket kväve, vilket i sin tur kan påverka både övergödning och försurning. I sjö- och havsekosystem är i stället ett överskott av fosfor, främst från jordbruket, ett stort problem.

För det hydrologiska året 2012/13 mättes fosfordnedfallet vid 14 ytor, och resultaten visade att fosfordnedfallet varierade inom landet, se Figur 15. Baserat på mätningarna från 2011/12 drogs slutsatsen att det är vanligare med högre nedfall av fosfor i södra Sverige, framförallt över öppet fält (Pihl Karlsson m.fl. 2013). Resultaten från 2012/13 visar inte detta lika tydligt. Nedfallet över öppet fält var i nivå med föregående års mätningar, 0,18 kg/ha som

genomsnitt jämfört med 0,20 kg/ha under det hydrologiska året 2011/12 för de 14 lokalerna.



Figur 15. Årligt nedfall av totalfosfor för hydrologiska året 2012/2013 vid olika platser i Sverige, mätt som A) nedfall med nederbörden till öppet fält, samt B) via krondropp.

Det förefaller inte finnas några lika tydliga geografiska gradienter för fosfordnedfall som för svavel och kväve. Värdena vad gäller krondroppsmätningarna av fosfor var generellt sett högre i norra jämfört med övriga Sverige under 2012/13, se Figur 15 B. Nedfallet via krondropp var i nivå med föregående års mätningar, 0,46 kg/ha som genomsnitt jämfört med 0,45 kg/ha föregående år, för de 13 lokaler som fanns representerade under båda dessa år.

Våtdepositionen av fosfor beskrivs på ett bra sätt med mätningarna, men fortsatt arbete krävs för att kunna tolka resultaten från krondropp – hur mycket som är torrdeposition och hur mycket som är interncirkulation.

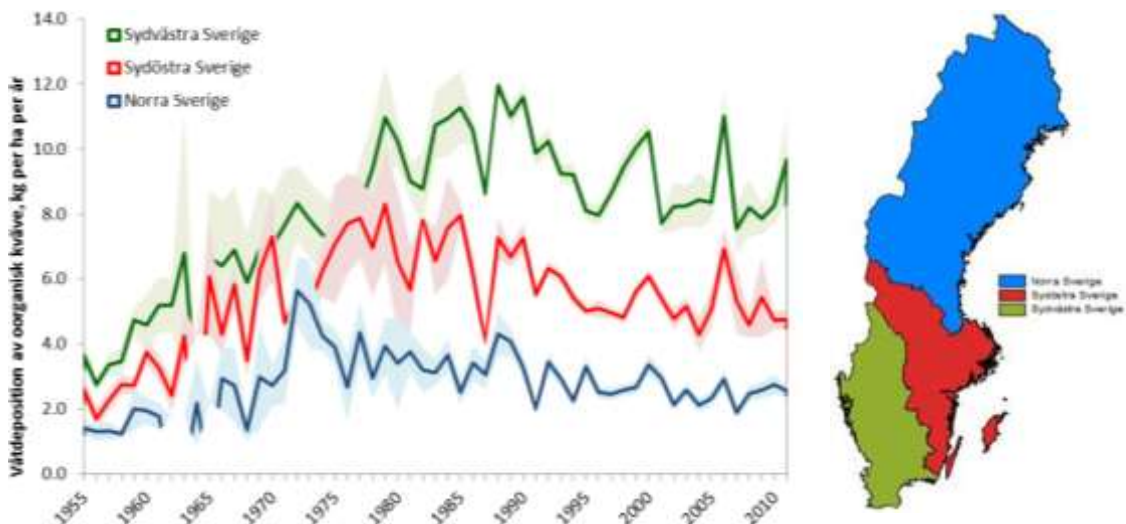
4. Rapporter och artiklar 2013

Kvävetrendrapport

Kvävenedfallet till öppet fält i sydvästra Sverige är i dagsläget runt 10-15 kg N/ha/år och avtar till ca 1-2 kg N/ha/år längst i norr. I sydligaste Skåne kan kvävenedfallet nå över 20 kg N/ha/år. På senare år har mycket diskussioner pågått kring huruvida det finns några tidstrender för kvävenedfall eller inte. Detta föranledde två projekt om trender i kvävenedfall finansierade av Naturvårdsverket (Pihl Karlsson m.fl., 2012, Hansen m.fl., 2013).

Rapporten som blev klar i november 2013 blev även en temarapporten från Krondropps nätet för 2013 (Hansen, m.fl. 2013). I temarapporten redovisades alla månadsdata som hittills producerats inom Krondropps nätet vad gäller atmosfäriskt nedfall av kväve med nederbörden till öppet fält. Dessutom användes en del data från Krondropps nätet avseende kvävenedfall som krondropp. Dessa data användes tillsammans med data från Meteorologiska Institutionen Stockholms Universitet (MISU), Luft och nederbördskemiska nätet och EMEP. I rapporten analyserades trender i kvävedepositionen med nederbörden i Sverige sedan mitten av 1950-talet och framåt. Detta ställdes bl.a. i relation till rapporterade utsläpp av kväve från olika källor i Europa. Dessutom jämfördes med modellerade värden för kvävenedfall från SMHI:s MATCH-modell. I rapporten delades Sverige in i tre områden, Figur 16. Det är samma områden som används i den fördjupade utvärderingen av miljömålet *Bara naturlig försurning*.

Temarapportens övergripande slutsatser visar att kvävenedfallet med nederbörden har ökat sedan mitten av 1950-talet för att kulminera runt 1980-1990.



Figur 16. Nedfallet av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) med våtdepositionen (kg/ha/år) i tre regioner (se karta) för åren 1955-2011. Utöver våtdepositionen finns ett litet inslag av torrdeposition från provtagningsutrustningen i provet. Linjerna visar årsvisa medelvärden från de lokaler som det finns mätdata från det aktuella året. Det färgade området kring linjerna visar medelfelet i data (Standard Error). Det är olika antal stationer olika år. Man ser att variationen i data minskade efter det att Krondropps nätet startade 1985 främst på grund av att antalet mätstationer ökade. Efter 2003 har antalet mätplatser återigen minskat. Källa: IVL, 2013; Hansen m.fl., 2013.

Analys av de senaste 20 årens månadsvisa data visar på olika mönster vid olika platser, men en sammanvägning visar att kvävenedfallet med nederbörden generellt inte minskat i sydvästra samt norra Sverige på ett statistiskt säkerställt sätt. Dock har kvävenedfallet med nederbörden minskat på ett statistiskt säkerställt sätt i sydöstra Sverige. Resultaten stämmer relativt väl överens med en tidigare studie, där årsdata från Krondropps nätet och Luft- och Nederbördskemiska nätet användes (Pihl Karlsson m.fl., 2012). I analysen med årsdata

erhölls inte någon statistiskt säkerställd förändring av kvävenedfallet med nederbörden under de senaste 20 åren i något område.

Det finns olika förklaringar till att kvävenedfallet inte minskar som förväntat då utsläppen i Europa (EU-27) minskat. Utsläppsinventeringar är behäftade med stora osäkerheter, samtidigt som alla utsläpp från hela EU-27 ej når Sverige. Utsläppen från vissa länder har större betydelse för nedfallet över Sverige än andras. Emissionerna från internationell sjöfart är inte heller med i emissionsberäkningen från EU-27. Vidare har det skett betydande förändringar av atmosfärens kemiska sammansättning vilket kan medföra att norra Europa i större utsträckning påverkas av det kväve som släpps ut i kontinentala och södra Europa.

Förslag till nytt program

Ett förslag till nytt program för en ny mätperiod 2015-2020 har tagits fram. Programförslaget skickades på remiss till alla deltagare i början på december 2013. Inför den nu föreslagna programperioden 2015-2020 får alla medverkande luftvårdsförbund och länsstyrelser tillsammans med Naturvårdsverket möjlighet att ge synpunkter och kommentarer. Dessa synpunkter kommer att utgöra underlag för den slutliga utformningen av Program 2015. Programförslaget innebär en optimering utifrån aktuella frågeställningar och rådande ekonomiska ramar. I sin helhet anses antalet mätplatser inom programmet vara något i underkant. Därför har en besparing skett på bekostnad av antal analysparametrar i stället för antal mätplatser. En ambition inför Program 2015 är att ytterligare samordna och samredovisa resultaten mellan olika mätplatser, oavsett länstillhörighet.

Totaldeposition av baskatjoner till skog

Arbete med att uppskatta totaldepositionen av olika baskatjoner pågår då krondroppsmätningar, på grund av en intern cirkulation av dessa ämnen, inte ger ett fullständigt mått på totaldepositionen. Under 2013 publicerades en rapport där det totala nedfallet av baskatjoner uppskattas med en nyligen utvecklade metod baserad på torrdepositionen till strängar av teflon placerade under tak, samt på nettokrondroppet av natrium. De antaganden som ligger till grund för metoden är att depositionen av natrium inte påverkas av interaktioner (upptag och/eller läckage) med träd Kronorna samt att den relativa fördelningen av torrdepositionen av olika ämnen är densamma till teflontrådarna som till träd Kronorna. Med hjälp av strängprovtagare samt nedfallsmätningar på öppet fält och i krondropp beräknas den partikelbundna torrdepositionen av baskatjoner för 12 platser i landet under en period av 8 år.

Per Erik Karlsson, Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pibl Karlsson, Karin Hansen. 2013a. Totaldeposition av baskatjoner till skog. IVL B2058.

Tre nya vetenskapliga publikationer:

Under 2013 publicerades tre vetenskapliga publikationer där data från Krondroppsnätet ingick.

- Akselsson, C., Hultberg, H., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., 2013. Acidification trends in south Swedish forest soils 1986-2008 – slow recovery and high sensitivity to sea-salt episodes. *Science of the Total Environment* 444, 271-287.
- Bahr, A., Ellström, M., Akselsson, C., Ekblad, A., Mikusinska, A., Wallander, H., 2013. Growth of ectomycorrhizal fungal mycelium along a Norway spruce forest nitrogen deposition gradient and its effect on nitrogen leakage. *Soil Biology and Biochemistry* 59, 38-48.
- Karlsson, P.E., Ferm, M., Tømmervik, H., Hole, L.R., Pihl Karlsson, G., Ruoho-Airola, T., Aas, W., Hellsten, S., Akselsson, C., Nørgaard Mikkelsen, T., Nihlgård, B. 2013b. Biomass burning in eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia. *Environmental Pollution* 176, 71–79.

Publiceringen av ovan nämnda artiklar finansierades av Naturvårdsverkets miljömålsarbete, forskningsprogrammet CLEO, forskningsprogrammet LUCI, FORMAS samt av Nordiska Ministerrådet.

5. Möten och konferenser 2013

Havs- och vattenforum, HaV. Den 16 april medverkade Cecilia Akselsson vid Havs- och vattenforum i Göteborg, arrangerat av HaV. Hon ledde tillsammans med Christer Ågren, Luftförorenings- och klimatsekretariatet, en workshop om försurningspåverkan från luftutsläpp och skogsbruk, och presenterade då bland annat resultat från Krondroppsnätets nedfalls- och markvattenkemimätningar.

Krondroppsdagarna 2013. Den 24-25 april 2013 genomfördes Krondroppsdagarna 2013. Senast Krondroppsdagarna genomfördes var 2009, varför det återigen var viktigt att samlas och diskutera verksamheten. Syftet med dessa dagar var att presentera resultat, ge en överblick över verksamheten samt få synpunkter på och diskutera hur Krondroppsnätet ska utvecklas i framtiden. 30 personer deltog i mötet och många intressanta frågeställningar diskuterades, allt ifrån situationen i norra Sverige och fjällen, meteorologiska mätningar, RUS, modellering och nya indikatorer i miljömålsuppföljningen baserade på markvatten till kopplingen skogsbruk-markvatten-ytvatten. Utöver föredragen om resultat från Krondroppsnätet hölls även föredrag av representanter från Naturvårdsverket, Skogsstyrelsen, Havs- och vattenmyndigheten, Luftförorenings- och klimatsekretariatet samt Göteborgs universitet.



IUFRO-konferens om effekter på vegetation av klimatförändring och luftföroreningar. Den 1-6 september anordnade IUFRO, "International Union of Forest Research Organizations", konferensen "Vegetation Response to Climate Change and Air Pollution – Unifying Evidence and Research from Northern and Southern Hemisphere" i Ilhéus i Brasilien. Cecilia Akselsson höll ett föredrag, "Can increased weathering rates due to future warming compensate for base cation losses at whole-tree harvesting?". I presentationen ingick resultat från Krondropps nätets nedfalls- och markvattenkemimätningar.

Seminarium på KSLA om skogsbruk i ett förändrat klimat. Den 16 oktober 2013 arrangerades ett seminarium på KSLA i Stockholm, "Skogsbruk i ett förändrat klimat – Hur påverkas mångfald och miljö?". Arrangörer var forskningsprogrammen BECC, Mistra-SWECIA och CLEO tillsammans med KSLA. Data från Krondropps nätet ingick i tre presentationer, av Cecilia Akselsson, Håkan Wallander och Salim Belyazid, Lunds universitet.

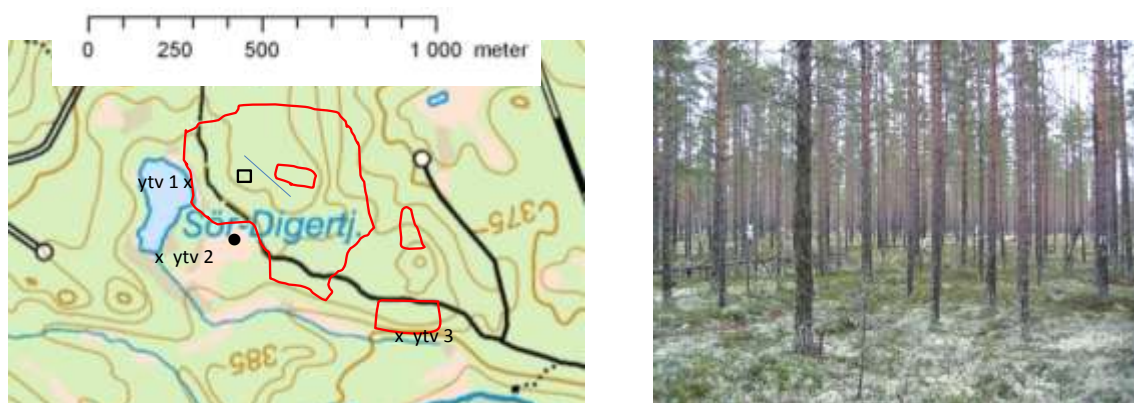
Seminarium vid ICOS workshop. Forskningsprogrammet ICOS (Integrated Carbon Observation Systems) arrangerade en workshop med temat "The role of the boreal ecosystems for the regional carbon cycle" i Ultuna 21-22 oktober 2013. Per Erik Karlsson presenterade där metodiken för att bestämma torrdepositionen till skog med hjälp av s.k. "strängprovtagare".

6. Specialprojekt på krondroppsytor

Kvävegödsling av en krondroppsytta i Jämtland

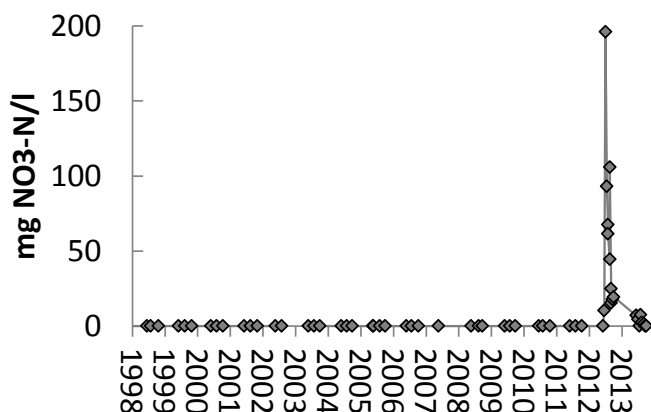
Ökad kvävegödsling är ett sätt att öka tillväxten i den svenska skogen. Skogsstyrelsen ser för närvarande över sina allmänna råd vad gäller kvävegödsel på skogsmark. I norra Sverige är det tillåtet att kvävegödsla skogsmarken 2 alternativt 3 gånger med 150 kg N per

skogsgeneration. Kvävegödsling av skogsmark är i nuläget inte tillåtet i sydvästra Sverige och tillåtet i mycket begränsad omfattning i sydöstra Sverige (Skogsstyrelsen, 2007) till stor del beroende på att det atmosfäriska nedfallet av kväve till skogen i dessa områden är så pass hög att det finns en risk för överskott av kväve, vilket kan leda till kväveutlakning (Zetterberg m.fl., 2006). Det förs diskussioner om att minska något på restriktionerna bland annat vad gäller gödsling av tallskog i sydöstra Sverige. Resultat från mätningar av markvatten vid krondroppsytorna kan bidra med viktig information vad gäller risker för kväveläckage, t.ex. i samband med störningar som stormar eller insektsangrepp, eller vid olika typer av skogsbruksåtgärder, t.ex. skogsgödsling eller gallring.



Figur 17. Karta över området vid Sör-Digertjärn som gödslades 2012, markerat med en röd linje. En svart fyrkant i figuren markerar krondroppsytan. En tunn blå linje öster om KD-ytan markerar den uppskattade vattendelaren vad gäller avrinningen mot sjön. Tre platser för provtagning av ytvatten, ytv 1, ytv 2, samt ytv 3, är markerade. Till höger, ett fotografi av krondroppsytan, taget mot nordost.

En provyta inom Krondropps nätet med tallskog i Jämtlands län, Sör-Digertjärn, gödslades i juni 2012 med 150 kg N/ha (Figur 17). Genom finansiering från C.F. Lundströms Stiftelse, samt från Länsstyrelsen i Jämtlands län och från Havs- och vattenmyndigheten, intensifierades pågående mätningar av markvattenkemi. Dessutom startades nya mätningar av ytvattenkemi i en närbelägen tjärn och även i dess utlopp (Figur 17), för att kunna följa upp gödslingseffekterna på mark- och ytvatten. Tidigare mätningar av markvattenkemi vid provytan sedan 1997 har inte visat några förhöjda halter av nitrat eller ammonium. Mätningar under 2012 och 2013 visade att skogsgödslingen vid Sör-Digertjärn redan efter tre veckor resulterade i mycket höga halter av både nitrat- och ammoniumkväve i markvattnet. Även under 2013 har halterna av nitratkväve i markvattnet varit klart förhöjda, medan halterna av ammoniumkväve återgått till samma låga nivå som före gödslingen. I Figur 18 visas nitralthalterna i markvattnet.



Figur 18. Halterna av nitrat i markvatten från 50 cm djup vid krondroppsytan Sör-Digertjärn.

Det finns ännu inga tecken på ökade halter av kväve i ytvattnet i Sör-Digertjärn eller nedströms i den avrinnande bäcken som ett resultat av gödningen. Tolkningen av dessa resultat försvåras dock av att det saknas jämförbara mätningar i ytvattnet från tidigare år. Eftersom den gödslade ytan ligger på en moränås är det möjligt att huvuddelen av kväveöverskottet gick ner i grundvattnet. Tyvärr genomfördes inga grundvattenmätningar.

Det är angeläget att följa halterna av nitrat- och ammoniumkväve i ytvatten under ytterligare några år samt i samband med en framtida avverkning. Då först kan en samlad bedömning göras av effekterna av skogsgödningen på ett lågproduktivt tallbestånd i norra Sverige.

Dynamisk modellering på krondroppsytor

Under 2010 initierades FORMAS-projektet "Kväveomsättning i skogsmark – vilka faktorer påverkar kväveutlakningen och hur kan vi förbättra de dynamiska modellerna?", som finansierade en omfattande provtagning av de då aktiva krondroppsytor, bland annat med avseende på trädegenskaper som höjd och diameter och markegenskaper i olika markskikt. Många av ytorna ingår i Skogsstyrelsens nät av skogliga observationsytor, vilket innebär att det finns tidigare mätningar, bland annat av tr addediameter och trädhöjd, som i sin tur gör att tillväxtberäkningar kan göras.

De kartlagda krondroppsytor utgör underlag för dynamisk ekosystemmodellering med ForSAFE-modellen i ett flertal projekt vid Lunds universitet. ForSAFE behöver indata i form av tidsserier för klimat, nedfall och skogsbruk, samt totalkemi i marken, kornstorleksfördelning och densitet, och kan då modellera vittring, nedbrytning, träd tillväxt samt halter av kol, kväve och baskatjoner i fast mark och i markvatten. Krondroppsnätets ytor är optimala som underlag för ForSAFE-modellering, eftersom indata är av bra kvalitet, och eftersom det även finns bra tidsserier på markvattenkemi och träd tillväxt för utvärdering av modellresultaten.

Modellering på krondroppsytor kan tjäna olika syften. Det kan bidra till ökad processförståelse och modellutveckling, vilket till exempel utnyttjas i ovan nämnda FORMAS-projekt, där modellresultat från en nyligen avverkad krondropsyta vid Västra Torup i

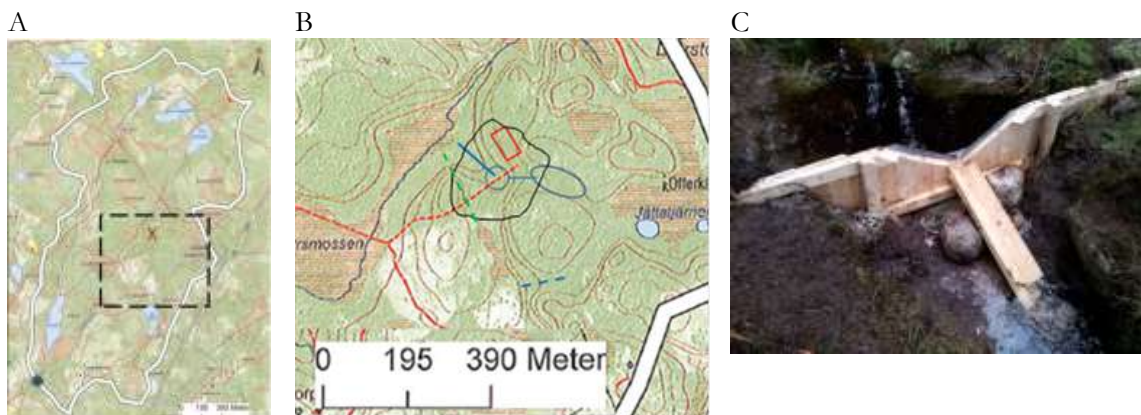
Skåne (Zanchi m.fl., 2014), kommer att jämföras med modellresultat från den närliggande nystartade ytan Hissmossa. Båda är granskogar, men markvattenkemin skiljer sig mycket åt. I Västra Torup var nitratkvävehalterna mycket låga ända tills skogen avverkades, medan halterna i Hissmossa har varit förhöjda vid samtliga tillfällen sedan mätstarten i slutet av 2010. Modelleringen i Västra Torup fångar in ökningen i kvävehalt i markvattnet efter avverkning. Modelleringen i Hissmossa kommer att visa om modellen kan prediktera de förhöjda kvävehalterna i markvattnet som uppmäts där, och studien kommer att vara en bra grund för ökad förståelse av kväveprocesser i marken.

Modellering vid krondroppsytorna kan även utnyttjas för framtidssimuleringar av markvattenkemi och tillväxt vid olika klimat-, skogsbruks- och depositionsscenarioer. Arbete med detta pågår inom CLEO-programmet (se sid 31).

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.

Från markvatten till bäckvatten

Mellan markvatten och de mindre vattendragen finns en bäcknära zon som har en betydande inverkan på vattenkemin. Fördelen med att övervaka markvattenkemi i skogsmarken ligger i att få en tidig varning om förändringar av skogsmarken innan de har blivit så genomgripande att de syns ända ut i vattendragen. Nackdelen ligger i svårigheten att bedöma konsekvenserna i ytvattnet av förändringarna i markvattnet. Krondropps nätet har som en målsättning att förbättra kunskaperna vad gäller samband mellan mark- och bäckvatten, genom att etablera nya krondroppsytor i väl definierade avrinningsområden och att få till stånd provtagning och analys av bäckvattnet som kommer ut från dessa områden. En första etablering av en ny krondroppsyta, Storskogen, inom ett lämpligt avrinningsområde (Sågebäcken) finns nu i Västra Götalands län (Figur 19) mellan Alingsås och Borås. Provtagning av avrinningen ut från området har genomförts av Länsstyrelsen i Västra Götalands län sedan slutet av 1990-talet. Bäckvattnet är fortfarande kraftigt försurat och transporten av oorganiskt aluminium ut från området är hög (Länsstyrelsen VG län: 2012:02).



Figur 19. A, Avrinningsområdet Sägebäcken. Avrinningsområdet avgränsas av den breda vita linjen. ● Befintliga ytvattenmätningar i Sägebäcken som avvattnar hela avrinningsområdet (finansierat av Länsstyrelsen i Västra Götaland). B, En uppförstoring (från figur A) av ett mindre delavrinningsområde i anslutning till krondroppsytan. En svart oregelbunden linje indikerar avgränsningen för delavrinningsområdet. En tjockare blå linje visar bäcken där provtagningen av bäckvatten sker. En tjock röd rektangel visar krondroppsytan. Blå cirklar indikerar sankmarker. C, Ett foto av den nyanlagda dammen (2014-04-10).

Med finansiellt stöd från HaV-myndigheten etablerades under våren 2014 en damm för provtagning av bäckvattnet i bäcken nedanför, väster om krondroppsytan (Figur 19 B & C). Dessutom kommer två grundvattenrör att placeras ut i sluttningen mellan krondroppsytan och provtagningsbäcken. Provtagning av bäck och grundvatten kommer att ske månadsvis året runt. Tillsammans med nedfallsmätningar på öppet fält samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare finns möjlighet till beräkningar av totalbudgetar för olika ämnen för avrinningsområdet Sägebäcken om mätningar med öppet fält och strängprovtagare startas. Mätningarna i mark-, grund- och bäckvatten kommer bl.a. att kunna användas som underlag för att utveckla modellen ForSAFE till att kunna beskriva markkemiska förändringar vid lateralt vattenflöde från mark till bäckvatten. Inom Krondroppsnetet finns målsättningen att starta liknande provtagningar även i andra län där det finns möjlighet att etablera nya krondroppsytor i lämpliga avrinningsområden.

7. Pågående policyrelaterat arbete med koppling till Krondroppsnetet

Fördjupad utvärdering och förslag på nya indikatorer

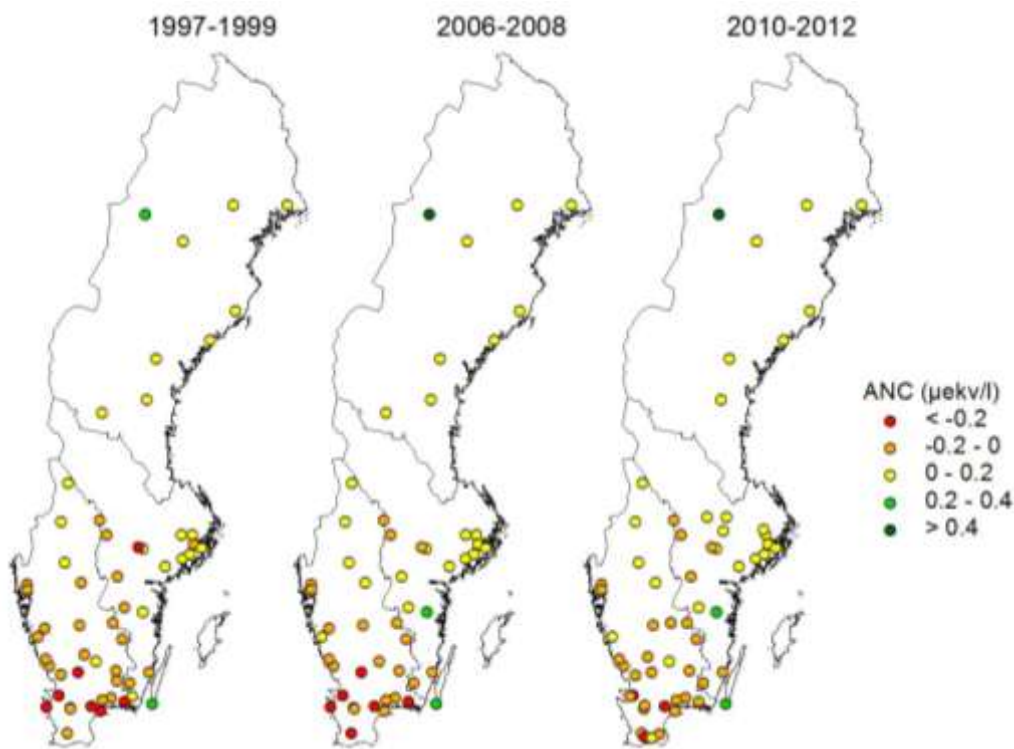
Under 2014 pågår arbete med fördjupade utvärderingar av de 16 miljö kvalitetsmålen. Utvärderingarna ska vara klara 1 september 2015. Data från krondroppsytorna används i flera sammanhang i arbetet med att ta fram underlag för miljö kvalitetsmålet *Bara naturlig försurning*.

Förslag på att inkludera ANC i markvatten i indikatorn "Försurad skogsmark"

Markkemi från Markinventeringen har hittills använts för att utvärdera indikatorn *Försurad*

skogsmark. Krondropps nätets projektledningsteam förespråkar att indikatorformuleringen ändras så att även markvattenkemi, från Krondropps nätet, ingår tillsammans med markkemi från Markinventeringen. Markvattenkemin skulle med sina goda förutsättningar för trendanalys på ett bra sätt komplettera Markinventeringen, som i sin tur ger en bra geografisk täckning. Ett färdigt förslag på hur markvattenkemin skulle kunna användas har tagits fram och testats under 2012-2013. Indikatorformuleringen lyder: "Andel krondroppsytor med ANC<0 i markvattnet".

ANC (syraneutraliserande förmåga) i markvattnet för tre olika tidsperioder (medianvärde) visas i Figur 20. Andel krondroppsytor med ANC<0 tenderar att minska något från första perioden till sista. I den sydvästra regionen minskade andelen från 83 % till 77 %. I den centrala/sydöstra delen var motsvarande minskning från 47 % till 30 %. I den norra delen har ingen provyta haft ANC<0 under någon av tidsperioderna. ANC i markvatten kommer att tas upp i den fördjupade utvärderingen, men det är ännu inte klart om det kommer att ingå i indikatorn *Försurad skogsmark*.



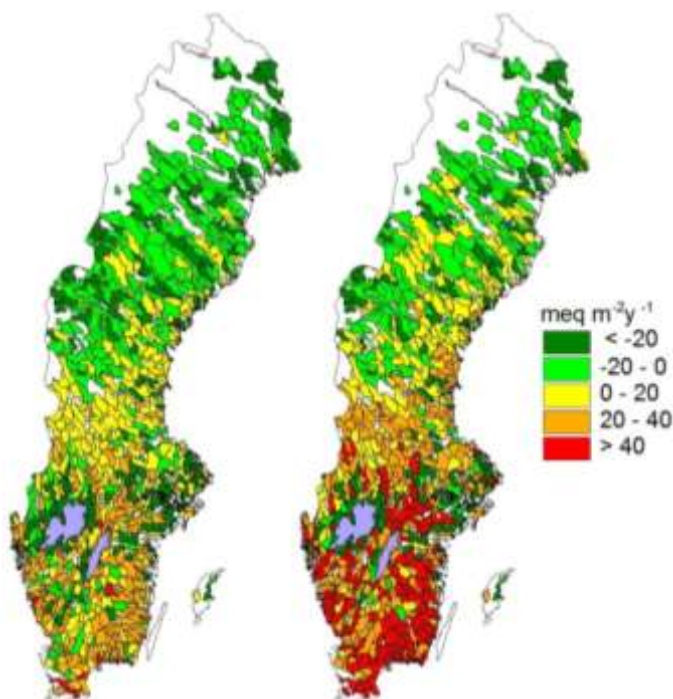
Figur 20. ANC i markvatten på 50 cm djup på krondroppsytor, medianvärde för varje yta från tre olika treårsperioder. Gränserna för de tre försurningsregionerna är utmärkta på kartan.

Förslag på ny indikator för skogsbrukets försurningspåverkan

Svavelnedfallet har minskat kraftigt under de senaste decennierna, och därmed har försurningspåverkan på skogsmark från luftföroreningar minskat. Försurningspåverkan från skogsbruket har däremot ökat, då efterfrågan på förnybar energi ökat frekvensen av helträdsuttag, det vill säga uttag av grenar och toppar (grot) utöver stamuttaget. Detta har gjort

att försurningspåverkan från luftföroreningar och skogsbruk nu troligen är i samma storleksordning, och skogsbrukets betydelse kan förväntas öka i framtiden. För miljö-kvalitetsmålet *Bara naturlig försurning* finns indikatorer på nedfall av försurande ämnen, men ingen indikator som hanterar skogsbrukets försurning. Mot bakgrund av skogsbrukets ökade roll är det motiverat att tillföra en sådan indikator, och ett förslag på indikatorformulering, "Överskridande av kritiskt basketjonuttag i granskog", har tagits fram.

Kritiskt basketjonuttag bygger på samma princip som kritisk belastning, som använts under många år i arbetet med att begränsa emissionerna av svavel och kväve. Skillnaden är att i stället för att beräkna det högsta nedfall som kan tillåtas utan att en kritisk gräns överskrids, då basketjonuttag och övriga parametrar hålls konstanta, beräknas det högsta basketjonuttag som kan tillåtas utan att en kritisk gräns överskrids, då nedfall och övriga parametrar hålls konstanta. Arbeta pågår för närvarande med att finslipa metodiken för att utvärdera indikatorn. Några frågor som diskuteras är vilket nedfall som ska användas, vilken kritisk gräns som ska sättas samt hur askåterföringen ska vägas in. I Figur 21 visas överskridande av kritiskt basketjonuttag i granskog, med antagandet att enbart det kväve som läcker från systemet som nitratkväve försurar, med ANC=0 som kritisk gräns, och utan att hänsyn tagits till askåterföring. Gul, orange samt röd färg indikerar överskridanden.



Figur 21. Överskridande av kritiskt basketjonuttag i granskog vid stamuttag (a) och uttag av stam och grot (b).

Utvärdering av förändring i markkemi på krondroppsytor

Under åren 1995-1998 provtogs Skogsstyrelsens skogliga observationsytor med avseende på markkemi. Prover togs från humuslagret, 0-5 cm samt 5-10 cm i mineraljorden. Under 2010-2011 upprepades provtagningen av markkemi på de av observationsytorna som då fortfarande var aktiva krondroppsytor. Provtagningen och analyserna finansierades av

FORMAS, med bidrag från Naturvårdsverket. Syftet med provtagningen var att ta fram ett underlag för studier av återhämtning i mark på väl undersökta ytor, där det även finns tidsserier för markvattenkemi.

Inför den fördjupade utvärderingen av *Bara naturlig försurning* kommer återhämtning från försurning studeras på de 46 ytorna genom att jämföra data från de två tidpunkterna, till exempel för pH och basmättnad, i de tre lager där mätningar gjorts. Det översta mineraljordskiktet är av särskilt intresse då det används i bedömningsgrunden för markförsurning. Resultaten kommer även att jämföras med tidsserierna för markvattenkemi på samma platser. Detta kan bidra till kunskapen om interaktionen mellan mark och markvatten vid återhämtning från försurning, och kan vara till hjälp vid tolkning av resultat från tidsserieanalys av markkemi från Markinventeringen och markvattenkemi från Krondroppsnätet.

Förslag till reviderad luftvårdspolitik inom EU

Det finns ett nytt förslag till revidering av ett EU-direktiv som är ute på remiss i Sverige. Det gäller Europaparlamentets och rådets direktiv om minskning av nationella utsläpp av vissa luftföroreningar och om ändring av direktiv 2003/35/EG. Om förslaget går igenom kan mätningarna i Krondroppsnätet i flera fall användas för uppföljningen av direktivet framöver.

Syftet med direktivet är bland annat att fastställa gränser för medlemsstaternas utsläpp till luften av försurande och övergödande föroreningar, ozonbildande ämnen, primära partiklar och utgångsämnena för bildning av sekundära partiklar och andra luftföroreningar. Direktivet inför krav på att nationella luftvårdsprogram utarbetas, antas och genomförs samt krav på att utsläpp av föroreningar och **deras effekter övervakas** och rapporteras.

Enligt artikel 8 ska medlemsstaterna om möjligt **övervaka luftföroreningars negativa effekter** på akvatiska och **terrestra ekosystem**, i enlighet med bestämmelserna i bilaga V till direktivförslaget.

Ur BILAGA V framgår: ”Övervakning av föroreningars effekter i miljön

21. Medlemsstaterna ska se till att deras nät av övervakningsstationer är representativt för sötvattensystem, naturliga och halvnaturliga ekosystem samt **skogsekosystem**.

22. Medlemsstaterna ska se till att övervakningen baseras på följande obligatoriska indikatorer vid alla stationer i det nät som avses i punkt 1:

(f) **För terrestra ekosystem: bedömning av markens surhetsgrad, förlust av näringsämnen i mark, kvävestatus och kvävebalans samt förlust av biologisk mångfald:**

i) huvudindikatorn markens surhetsgrad: utbytbara fraktioner av baskatjoner (basmättnad) och utbytbart aluminium i mark vart tionde år

samt stödindikatorerna pH, sulfat, nitrat, baskatjoner, aluminiumhalter i marklösningen varje år (i tillämpliga fall).

ii) huvudindikatorn nitratutlakning i marken (NO_3 , leach) varje år.

iii) huvudindikatorn kol-kväveknot (C/N) och stödindikatorn totalkväve i marken (N_{tot}) vart tionde år.

iv) huvudindikatorn näringsämnesbalans i blad och barr (N/P , N/K , N/Mg) vart fjärde år.”

Beträffande de förslag som ges i Bilaga V, vad gäller övervakning av föroreningars effekter i miljön, har Krondropps nätets projektledningsteam följande synpunkter:

- Det är bra att det i förslaget inkluderas övervakningsstationer representativa för skogsekosystem. I Sverige är en överväldigande del av skogsarealen brukad skog och det finns konflikter mellan ett intensifierat uttag av biomassa från skogen i samband med avverkningen och den pågående återhämtningen av skogsmarken från försurningspåverkan.
- Det är bra att mätningar av markkemi kombineras med kemiska mätningar i marklösningen, för att följa upp effekter av minskat atmosfäriskt nedfall till följd av minskade emissioner i Europa. Markvattenmätningar har fördelen att de ger en första indikation på risken för påverkan på ytvatten.
- De parametrar som föreslås som stödindikatorer för att beskriva en försurningspåverkan i markvatten, pH, sulfat, nitrat, baskatjoner och aluminiumhalter, är adekvata.
- Vad gäller huvudindikatorn nitratutlakning i marken (NO_3 , leach) antar vi att man här syftar på halterna av NO_3 i marklösningen. Detta är i så fall en adekvat parameter för att indikera kvävestatus och kvävebalans för skogsmarken.
- Implementeringen av förslaget underlättas av att det sedan 1985 finns ett för Sverige geografiskt heltäckande, väl fungerande övervakningssystem med långa tidsserier (Krondropps nätet) som tre gånger årligen mäter ovan nämnda kemiska egenskaper i marklösningen i representativa skogsekosystem med olika trädslag i brukad skog.
- Det finns sedan 1995 ett övervakningssystem med skogliga observationsytor som drivits av Skogsstyrelsen, där provtagning av blad/barrkemi har bedrivits med regelbundna intervall, med 2-4 års mellanrum. Detta övervakningssystem är nu under avveckling, men skulle kunna tas i bruk igen för att möjliggöra övervakning av den föreslagna huvudindikatorn näringsämnesbalans i blad och barr (N/P, N/K, N/Mg). Dessa mätningar genomförs i många fall på samma ytor som övervakas inom Krondropps nätet.

Analys av synergier och konflikter mellan miljömål i CLEO-programmet

CLEO-programmet (CLimate change and the Environmental Objectives) är ett forskningsprogram finansierat av Naturvårdsverket, som löper 2010-2015. Fyra miljökvalitetsmål hanteras i CLEO, *Bara naturlig försurning*, *Ingen övergödning*, *Giftfri miljö* och *Frisk luft*.

Krondropps nätets ytor används på olika sätt i ett av CLEO:s delprogram, om synergier och konflikter kopplat till ett intensifierat skogsbruk.

Dynamisk modellering på krondroppsytor

Som beskrivits ovan används krondroppsytorna tillsammans med kompletterande mätningar för modellering med den dynamiska ekosystemmodellen ForSAFE. Syftena med ForSAFE-modelleringen i CLEO är dels att utvärdera effekten av klimatförändring och förändrat skogsbruk på försurning och kväveutlakning, dels att identifiera synergier och

konflikter vid olika klimat- och skogsbruksscenarioer, kopplat till försurning, kväveutlakning och kolinbindning.

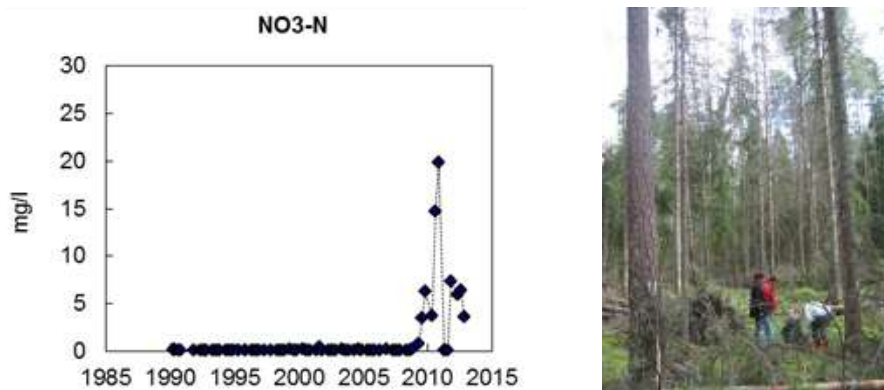
Detaljerade massbalansberäkningar

Inom CLEO har massbalansberäkningar för baskatjoner och kväve gjorts i nationell skala, med 2000 sammanslagna delavrinningsområden (SMED-områden; www.smed.se) som bas. Detta ska kompletteras med beräkningar på krondroppsytor, där mycket mer detaljerade data finns att tillgå. Olika scenarier för biomassaavgång och nedfall kommer att testas, och osäkerhetsanalyser av vittringsuppskattningar kommer att göras i samarbete med FORMAS-programmet QWARTS, om vittring kopplat till uthålligt skogsbruk. Resultatet av osäkerhetsanalysen kommer att vägas in vid tolkningen av resultaten. Massbalansberäkningarna i SMED-områdena, de mer detaljerade beräkningarna i krondroppsytorna och den dynamiska modelleringen på krondroppsytorna kommer tillsammans att ge ett mer robust underlag till bedömningen av försurning och övergödning i olika delar av landet och vid olika scenarier. Vilket kommer att utgöra viktig input till analysen av synergier och konflikter mellan miljömål vid olika skogsbruksscenarioer.

Extrema händelser

Ett förändrat klimat kan komma att leda till flera extrema situationer i skogen som kan påverka försurning och kväveutlakning. Ett intensifierat skogsbruk kan också påverka försurning och kväveutlakning, till exempel om gödsling ökar i omfattning.

Det stora antalet provtytor inom Krondroppsnetet innebär att relativt ovanliga händelser, t.ex. stormfällan och angrepp av granbarkborre (Figur 22) samt skogsgödsling, ändå inträffar med en viss regelbunden frekvens. Data från sådana extrema händelser inom Krondroppsnetet kommer att användas som underlag för att testa hur väl modellen ForSAFE kan användas för att beskriva påverkan på markvattnet från dylika händelser vad gäller försurning och kväveutlakning.



Figur 22. Halter av nitrat i markvattnet på 50 cm djup vid krondroppsytan Klippan, belägen i Västra Götalands län, strax öster om Göteborg. År 2008 rapporterades första gången att granarna på provytan var angripna av granbarkborre. Träden stod dock i stor utsträckning kvar uppräta. Längst till höger visas ett foto från ytan taget 2010-08-26.

Utvärdering av miljöövervakning på Skogsstyrelsens observationsytor

Under 2014 pågår en utvärdering av miljöövervakningen som pågått under 30 år vid Skogsstyrelsens observationsytor (obsytenätet). Miljöövervakningen startade 1984, men dagens nät av observationsytor etablerades mellan 1995 och 1998 och samordnades delvis med regionala mätningar av deposition och markvattenkemi inom Krondropps nätet. Huvudsyftet med programmet var att dokumentera utbredningen av skogsskador och förklara orsakssambanden. På senare år har resurserna till miljöövervakningen minskat kraftigt, mycket på grund av att finansieringen från EU upphörde 2006. Ytor har fallit bort sedan mätningarna startade, på grund av storm- och insektsskador samt avverkning. Allt fler ytor kommer upp i en ålder som gör att slutavverkning blir aktuellt. För att kunna fortsätta mätningarna på ett bra sätt hade därför en revidering av ytsystemet behövts. På grund av bristande resurser har Skogsstyrelsen beslutat att i stället lägga ner obsytenätet.

Mot bakgrund av detta har Skogsstyrelsen tillsatt en utvärdering för att få en bra dokumentation av den genomförda verksamheten, för att insamlade data ska kunna utnyttjas på bästa sätt och för att ha som grund för diskussioner om framtida skoglig miljöövervakning i brukad skog. Utvärderingen utförs av Lunds universitet i samarbete med IVL och kommer att slutrapporteras i december 2014. Ett öppet seminarium planeras till hösten 2014.

Analys av ozonets inverkan på träd tillväxt

Under 2013 startade ett nytt forskningsprogram, finansierat av Naturvårdsverket, "Frisk Luft och Klimat" (SCAC, Swedish Clean Air and Climate Research Program). SCAC ska producera underlag till stöd för Naturvårdsverkets internationella och nationella förhandlingsarbete om klimat och luftkvalitet. En del av programmet handlar om kortlivade klimatgaser, s.k. "short lived climate forcers" (SLCF).

Ozon räknas som en SLCF, dels därför att den är en växthusgas i sig, dels därför att ozon nära marken verkar begränsande för växtlighetens tillväxt och därmed begränsande för det upptag av koldioxid som sker till växtligheten, främst vad gäller skogen. I dagsläget tar den globala terrestra växtligheten upp ca 25 % av de antropogena utsläppen av CO₂. Ozonets negativa inverkan på unga träd under experimentella förhållanden är relativt väl känd. Däremot har det varit svårare att påvisa ozonets inverkan på vuxna träd i bestånd.

Ett sätt att studera ozonets inverkan på tillväxten hos träd är att korrelera den årliga stamtillväxten med ozonexponeringen för samma år. Svårigheten ligger i att många andra faktorer som styr tillväxten varierar samtidigt. Det krävs därför att även alla andra faktorer som påverkar tillväxten kvantifieras och att alla data analyseras med en avancerad statistisk modell, ett s.k. epidemiologiskt angreppssätt (Karlsson m.fl., 2006). Detta gör det särskilt lämpligt att använda Krondropps nätets försöksytor i denna typ av studier. Med finansiering från SCAC kommer den historiska, årliga träd tillväxten att mätas vid ca 20-30 krondroppsytor genom att borrhärd tas från trädstammarna, s.k. dendrokronologi. Förutom faktorer som ozonexponering, atmosfäriskt nedfall, meteorologi inklusive nederbörds mängder, markförhållanden, beståndskaraktärer m.m., kommer årlig markfuktighet att modelleras.

Alla dessa data kommer att sammanställas i en databas som sedan med hjälp av statistisk expertis kommer att analyseras.

Med hjälp av denna statistiska analys kommer ozonets negativa inverkan på träd tillväxten förhoppningsvis att påvisas tillsammans med inverkan från alla övriga faktorer.

8. Krondroppsnetets webbplats

Krondroppsnetets webbplats (www.ivl.krondroppsnetet.se) kommer att kompletteras med en engelsk version där den viktigaste informationen, samt nedladdning av data kommer att finnas med. Den engelska versionen planeras finnas tillgänglig under hösten 2014.

9. Referenser

- Akselsson, C., Hultberg, H., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S. 2013. Acidification trends in south Swedish forest soils 1986-2008 – slow recovery and high sensitivity to sea-salt episodes. *Science of the Total Environment* 444, 271-287.
- Bahr, A., Ellström, M., Akselsson, C., Ekblad, A., Mikusinska, A., Wallander, H. 2013. Growth of ectomycorrhizal fungal mycelium along a Norway spruce forest nitrogen deposition gradient and its effect on nitrogen leakage. *Soil Biology and Biochemistry* 59, 38-48.
- EMEP, 2011: Klein, H., Gauss, M., Nyíri, Á., Steensen, B.M. (2011). Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O₃) and PM. Norwegian Meteorological Institute, Data Note 2011, ISSN 1890-0003.
- Fölster, J. and Valinia, S. 2012. Försurningsläget i Sveriges ytvatten 2010. Komplettering till rapport 2011:24. Underlag till utvärdering av miljömålet ”Bara naturlig försurning. Rapport 2012:5, Institutionen för vatten och miljö, SLU.
- Gustafsson, J-P., Karlton, E., Lundström, U., Westling, O. 2001. Urvalskriterier för bedömning av markförsurning. Temaserie Markförsurning och motåtgärder. Skogsstyrelsen, Rapport 11D.
- Hansen, K., Pihl Karlsson, G., Ferm, M., Karlsson, P.E., Bennet1, C., Granat, L., Kronnäs, V., von Brömssen, C., Engardt, M., Akselsson, C., Simpson, D., Hellsten, S. & Svensson, A. 2013. Trender i kvävenedfall över Sverige 1955-2011. IVL Rapport B 2119.
- IVL, 2013. Opublicerat.
- Karlsson, P.E., Örlander, G., Langvall, O., Uddling, J., Hjorth, U., Wiklander, K., Areskoug, B., Grennfelt, P. 2006. Negative impact of ozone on the stem basal area increment of mature Norway spruce in south Sweden. *Forest Ecology and Management* 232, 146-151.

- Karlsson, P. E., Ferm, M., Hultberg, H., Hellsten, S., Akselsson, C. & Pihl Karlsson, G. 2011. Totaldeposition av kväve till skog, IVL Rapport B 1952.
- Karlsson, P.E., Ferm, M., Hultberg, H., Hellsten, S., Akselsson, C., Pihl Karlsson, G. & Hansen, K. 2013a. Totaldeposition av baskatjoner till skog. IVL B2058.
- Karlsson, P.E., Ferm, M., Tømmervik, H., Hole, L.R., Pihl Karlsson, G., Ruoho-Airola, T., Aas, W., Hellsten, S., Akselsson, C., Nørgaard Mikkelsen, T., Nihlgård, B. 2013b. Biomass burning in eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia. *Environmental Pollution* 176, 71–79.
- Länsstyrelsen VG län: 2012:02. Regional övervakning av avrinningen från brukad skogsmark i Västra Götalands, Hallands och Jönköpings län. Utvärdering av perioden 1996-2009.
- 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., Hellsten, S., Karlsson, P.E. Akselsson, C., & Ferm, M. 2012. Kvävedepositionen till Sverige - Jämförelse av depositionsdata från Krondropps nätet, Luft- och nederbördskemiska nätet samt EMEP. IVL Rapport B 2030.
- Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E., Akselsson, C., Kronnäs. V. & Hellsten, S. 2013. Krondropps nätetns övervakning av luftföroreningar i Sverige – mätningar och modellering. IVL Rapport B 2095.
- Skogsstyrelsen, 2007. Kvävegödsling av skogsmark. Skogsstyrelsen Meddelande 2 • 2007.
- 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.
- Zetterberg, T., Hellsten, S., Belyazid, S., Karlsson, P.E. och Akselsson, C. 2006. Regionala förutsättningar och miljörisker till följd av skogsmarksgödsling vid olika scenarier för skogsskötsel och kvävedeposition – modellerade effekter på kväveupplagring, biomassa, markkemi. IVL Rapport B 1691.

Bilaga 1. Stationsvis redovisning

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



Östergötlands län i östra

Götaland ligger i ett område med förhållandevis lågt nedfall av luftföroreningar för att vara i södra Sverige. I länet finns två aktiva lokaler inom Krondroppsnetet (Tabell B1:1). Båda lokalerna har varit aktiva i 17 år. Vid båda stationerna mäts depositionen via krondropp samt markvattenkemi och vid Höka mäts dessutom halter i luft. Mätningar av depositionen över öppet fält startade i juli 2009 vid Höka. Utöver mätningarna i Östergötlands län redovisas här även mätningarna från ytterligare en tallyta, Risebo, i Kalmar län, samt en granyta, Bordsjö, i Jönköpings län där mätningar har pågått sedan 1995 (Risebo) och 1996 (Bordsjö). Båda dessa ytor ligger nära gränsen till Östergötlands län.

Tabell B1:1. Aktiva ytor i Östergötlands län 2012/13, samt Risebo (i Kalmar län) och Bordsjö (i Jönköpings län).

Lokal	Domin. trädslag	Öppet fält	Krondropp	Markvatten	SO ₂	Lufthalter NO ₂	NH ₃	O ₃
Solltorp (E 21)	Gran		X	X				*
Höka (E 22)	Tall	X	X	X	X	X	X	*
Risebo (H21), Kalmar län	Tall		X	X	X	X	X	
Bordsjö (F22), Jönköpings län	Gran		X	X				

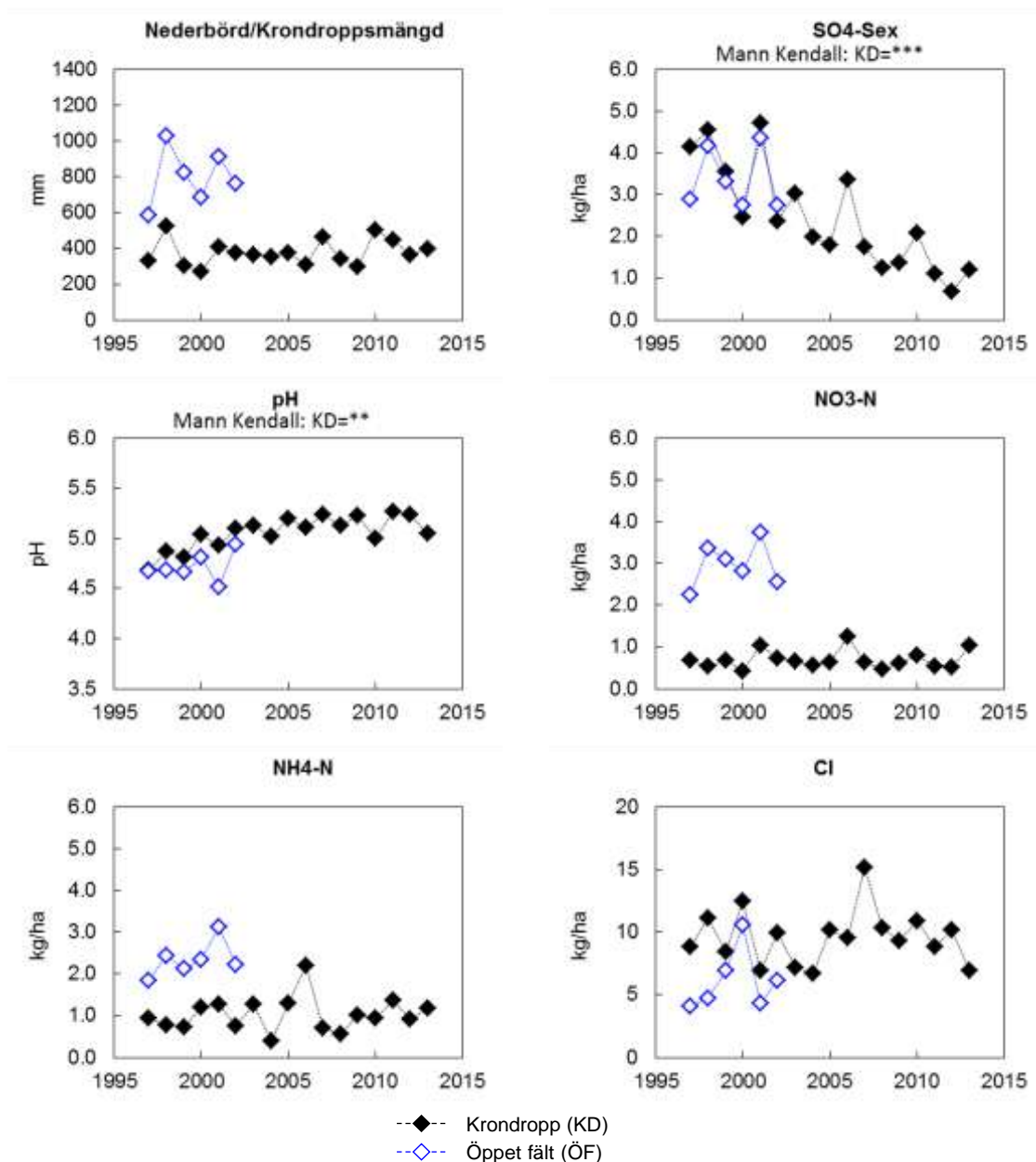
* ingår i Ozonmättnätet i södra Sverige

Vid undersökningarna i Östergötlands län har provtagning utförts av Milena Stefanovic, Skogsstyrelsen. På IVL har K. Koos och P. Andersson skött kontakter med provtagare medan främst L. Björnberg, P. Bengtsson, P. Andersson, S. Kuikka, S. Honkala och V. Andersson har analyserat proverna. Granskning av data har huvudsakligen utförts av P. E. Karlsson, S. Hellsten och G. Pihl Karlsson. Databasen sköts av G. Malm. Databehandling och rapportering av resultaten har utförts av C. Akselsson, S. Hellsten, P. E. Karlsson samt G. Pihl Karlsson.

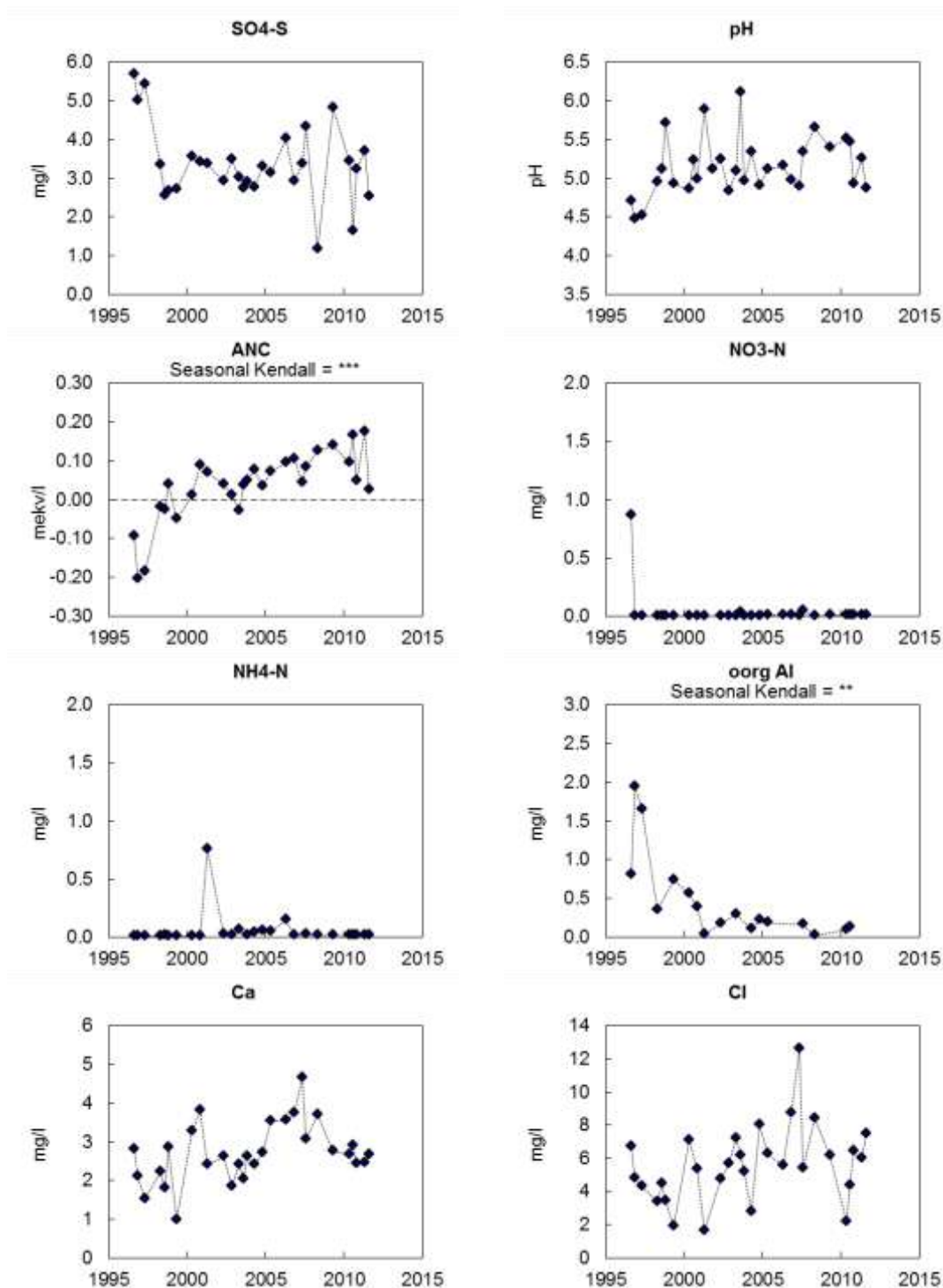
Solltorp (E 21) Provytan ligger i en 78-årig granskog som gallrades i början av 1990-talet. Ståndortsindex är G32 och beståndet utgör en första generationens skog på en före detta betesmark. Markvegetationen består främst av husmossa, kammossa, skogskovall, harsyra, vitsippa (lite blåsippa). Marken sluttar svagt åt öster och lokalen ligger väl skyddad inne i beståndet. Mätning av deposition och markvatten startade i oktober 1996. Nederbördskemiska mätningar på öppet fält pågick mellan oktober 1996 och september 2002. Lufthaltsmätningar pågick mellan 1998 och 2006.



Foto från Krondroppsytan i Solltorp.



Figur B1:1. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp vid Solltorp, E 21. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. Deposition redovisas sedan mätningarna påbörjades för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO₄-S ex), pH; nitratkväve (NO₃-N); ammoniumkväve (NH₄-N) och kloridjoner (Cl-). KD, krondropp. Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann- Kendall metodik och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

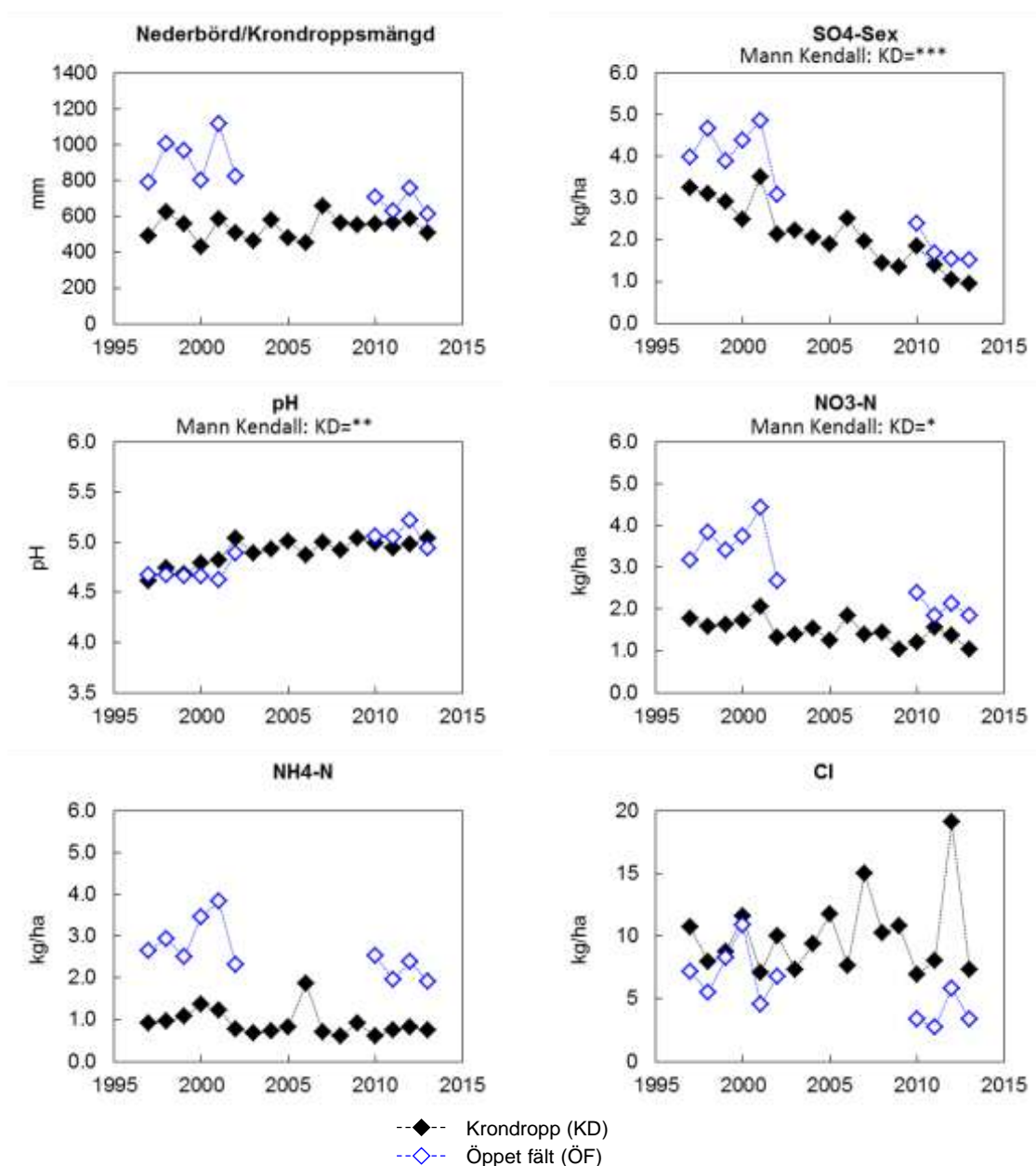


Figur B1:2. Markvattenkemi vid **Solltorp, E 21**. Sulfatsvavel (SO₄-S); pH; markvattnets syra-neutraliserande förmåga (ANC); nitratkväve (NO₃-N); ammoniumkväve (NH₄-N); oorganiskt aluminium (oorg Al); kalciumhalt (Ca²⁺) och kloridhalt (Cl). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med hjälp av Seasonal-Kendall metodik och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

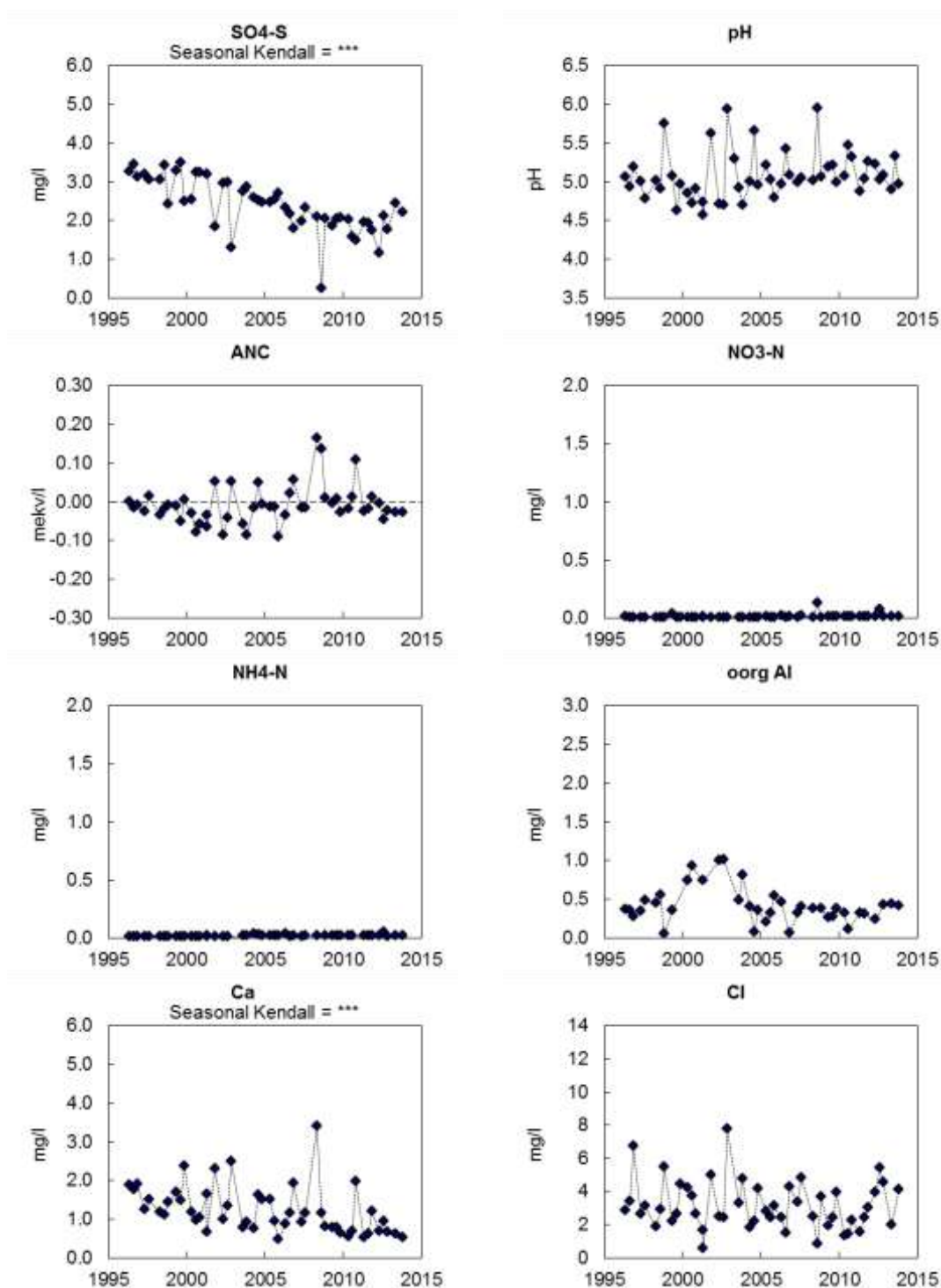
Höka (E 22): En 78-årig tallyta, i länets nordvästligaste hörn. Ståndortsindex är T24 på typisk tallmark med fältskikt av blåbärsris. Mätning av deposition över öppet fält- och i skogsytan samt markvatten startade 1996 och lufthaltsmätningarna startade i februari 1998. I september 2002 avslutades mätningarna över öppet fält och i slutet av juli 2009 startade de igen.



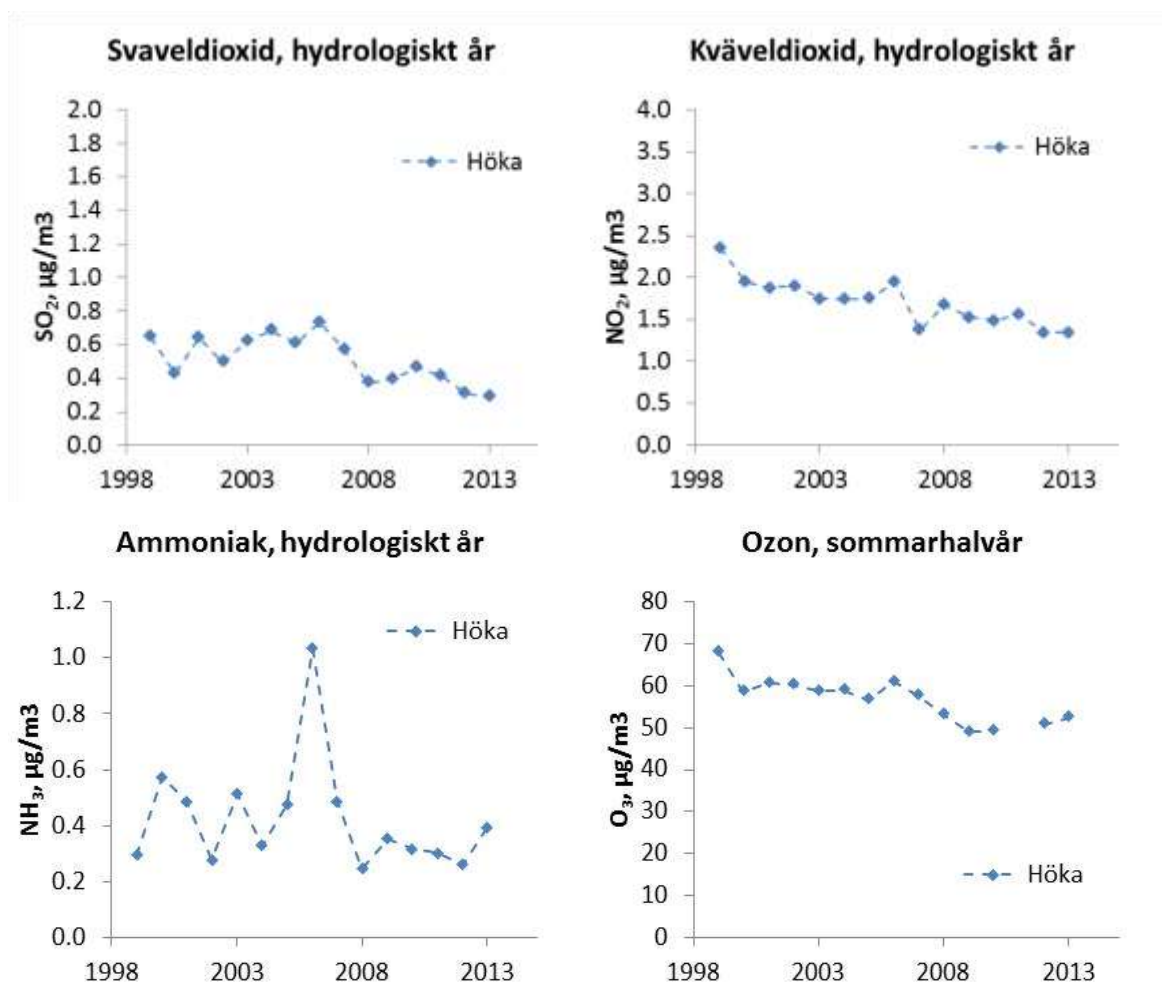
Foto från krondroppsytan vid Höka.



Figur B1:3. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Höka, E 22. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. Deposition redovisas sedan mätningarna påbörjades för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO₄-S ex); pH; nitratkväve (NO₃-N); ammoniumkväve (NH₄-N) och kloridjoner (Cl). ÖF, öppet fält; KD, krondropp. Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall metodik och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

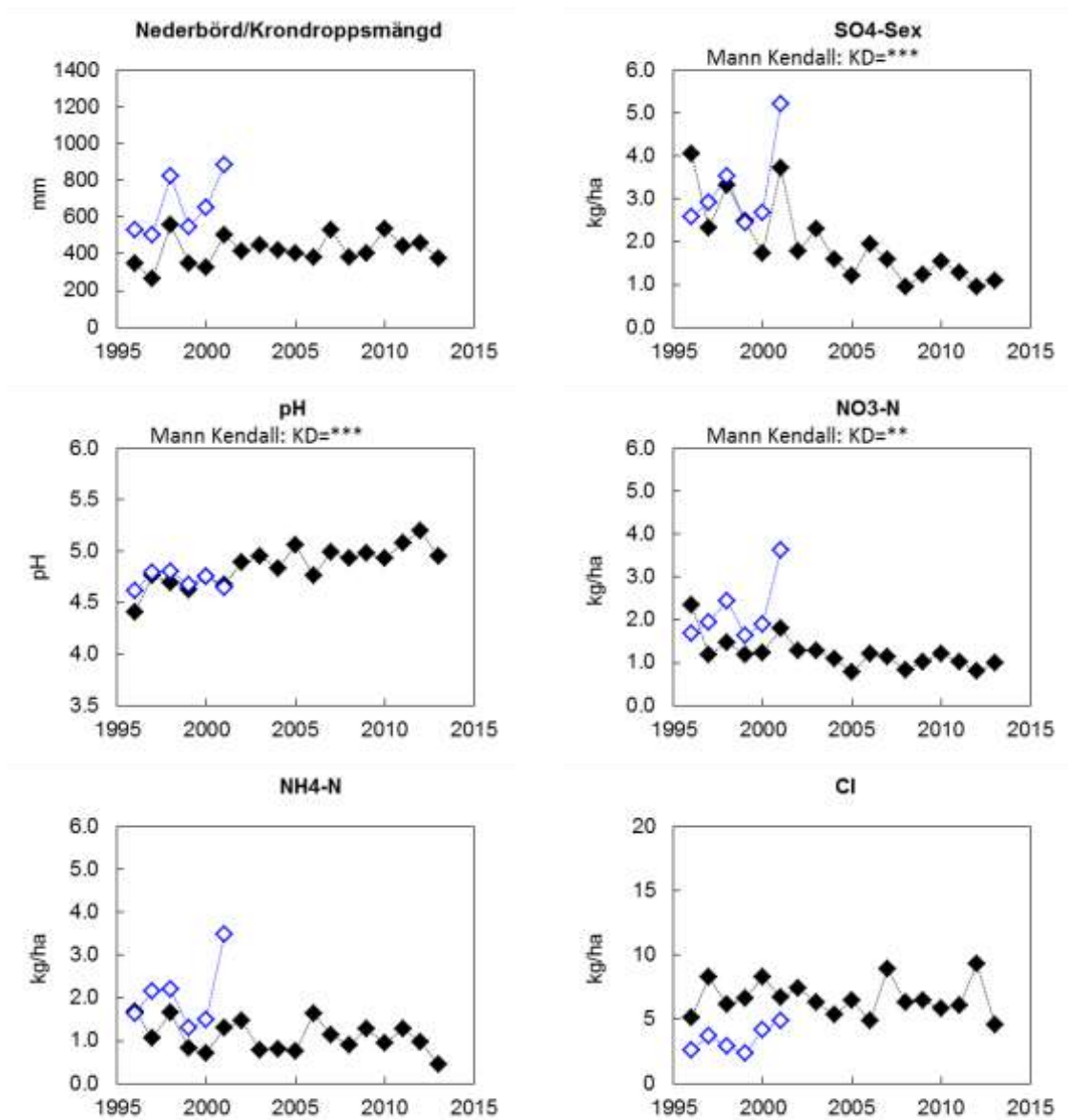


Figur B1:4. Markvattenkemi vid Höka, E 22. Sulfatsvavel (SO4-S); pH; markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC); nitratkväve (NO3-N) samt ammoniumkväve (NH4-N), oorganiskt aluminium (oorg Al); kalciumhalt (Ca²⁺) samt klorid (Cl). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med hjälp av Seasonal- Kendall metodik och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



Figur B1:5. Lufthalter vid Höka (E 22). Medelvärden för svaveldioxid (SO₂), kvävedioxid (NO₂), ammoniak (NH₃) och ozon (O₃). Nedgången av svaveldioxid- och kvävedioxidhalter som medelvärde över hydrologiska år vid Höka är statistiskt säkerställda genom Mann-Kendall analys. Det finns även en signifikant nedåtgående trend i ozonhalten som sommarhalvårsmedelvärde säkerställd genom Mann-Kendall analys.

KALMAR LÄN - Risebo (H 21): Yta med 76-årig tallskog och ståndortsindex T26 i länets nordligaste del. Ytan klarade sig bra under stormen Gudrun 2005, med endast något toppbrott. Depositionsmätningarna startade i oktober 1995. Nederbördskemiska mätningar på öppet fält avslutades i december 2001. För närvarande mäts krondropp, markvattenkemi och lufthalter vid Risebo.



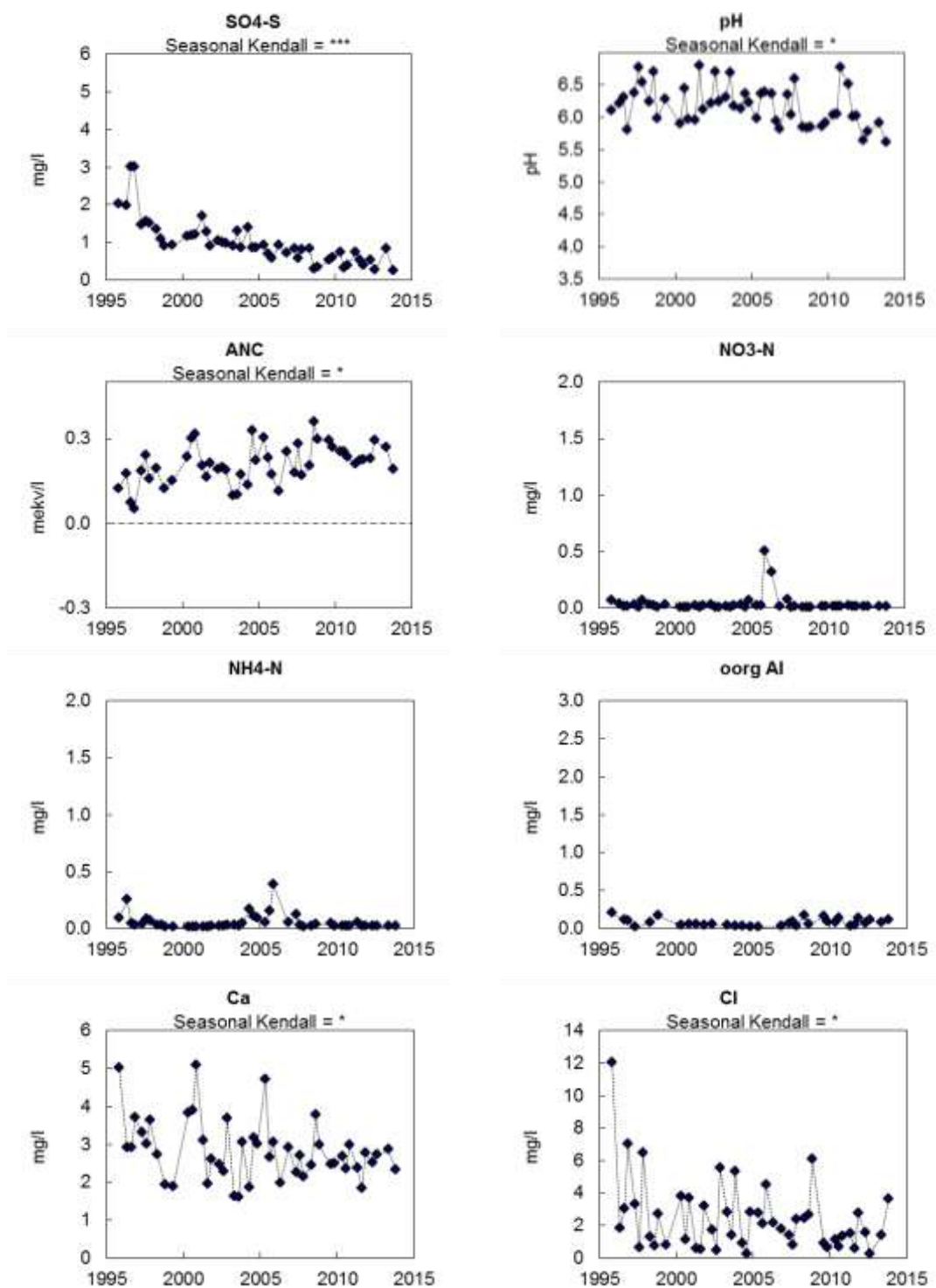
--◆-- Krondropp (KD)

--◇-- Öppet fält (ÖF)

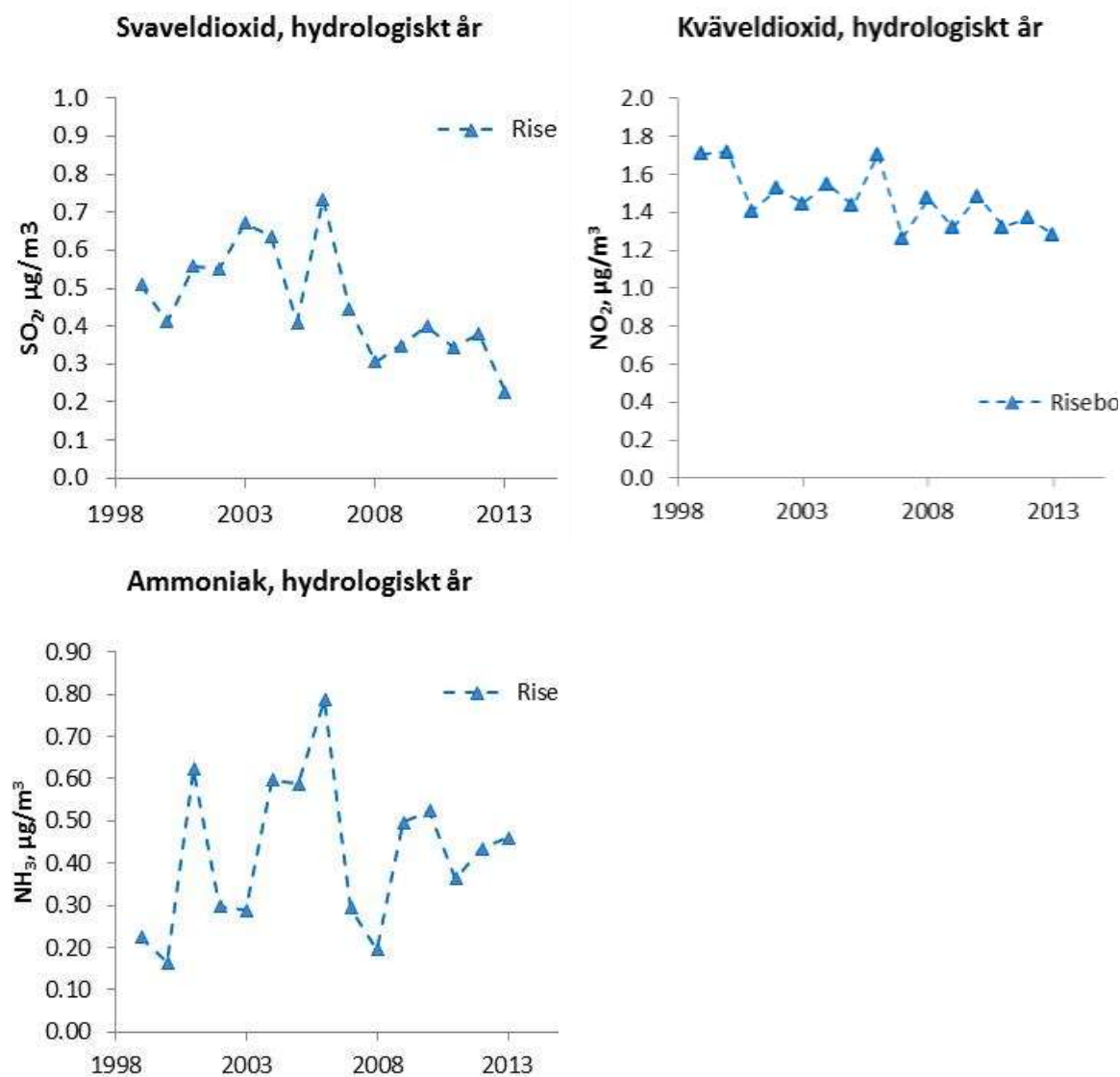
Figur B1:6. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via

krondropp och över öppet fält vid **Risebo, H 21**. I figuren visas

uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. Deposition redovisas sedan mätningarna påbörjades för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO₄-S ex); pH; nitratkväve (NO₃-N); ammoniumkväve (NH₄-N) och kloridjoner (Cl). ÖF, öppet fält; KD, krondropp. Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall metodik och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

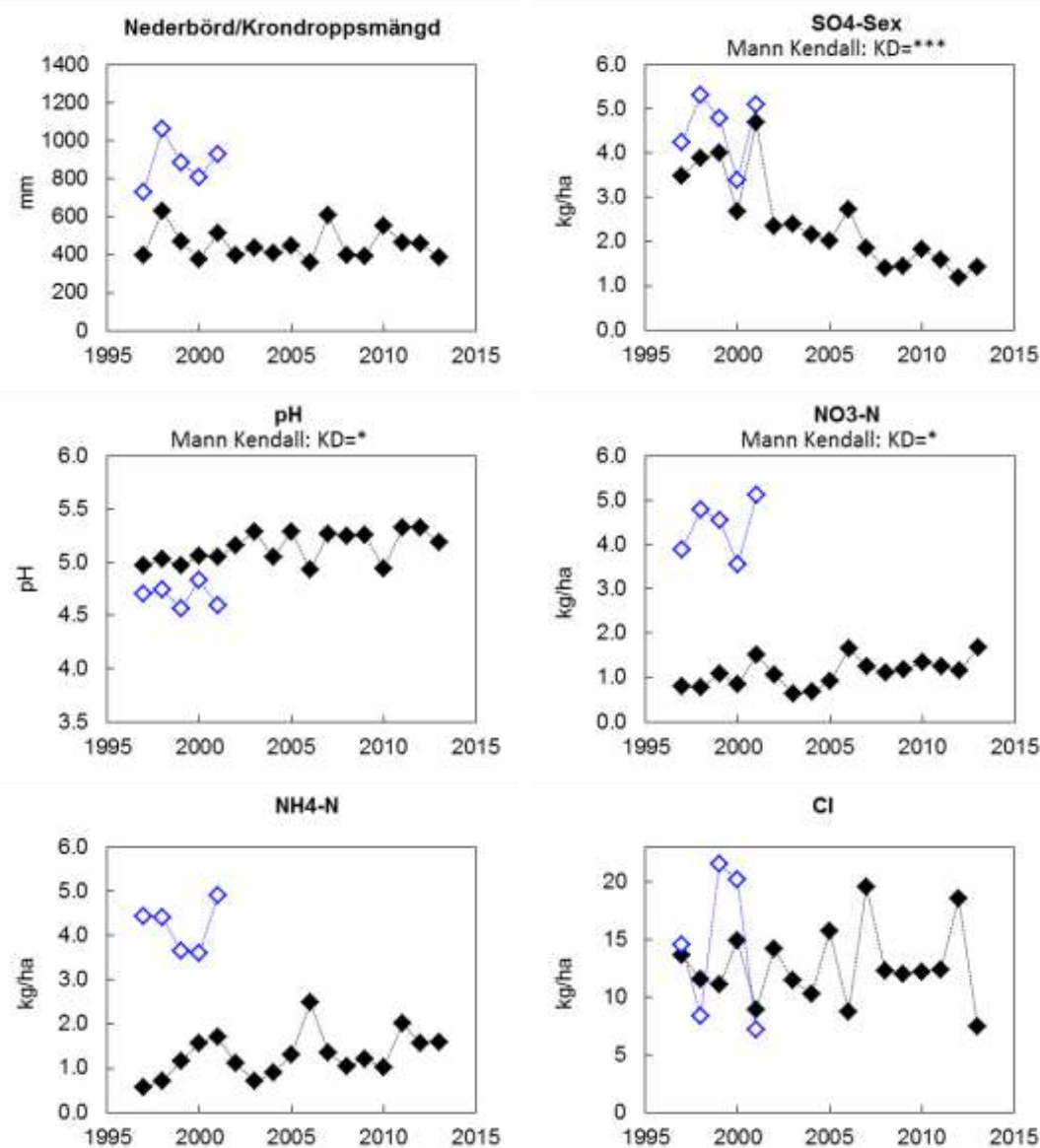


Figur B1:7. Markvattenkemi vid **Risebo, H 21**. Sulfatsvavel (SO₄-S); pH; markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC); nitratkväve (NO₃-N) samt ammoniumkväve (NH₄-N), oorganiskt aluminium (oorg Al); kalciumhalt (Ca²⁺) samt klorid (Cl). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med hjälp av Seasonal- Kendall metodik och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



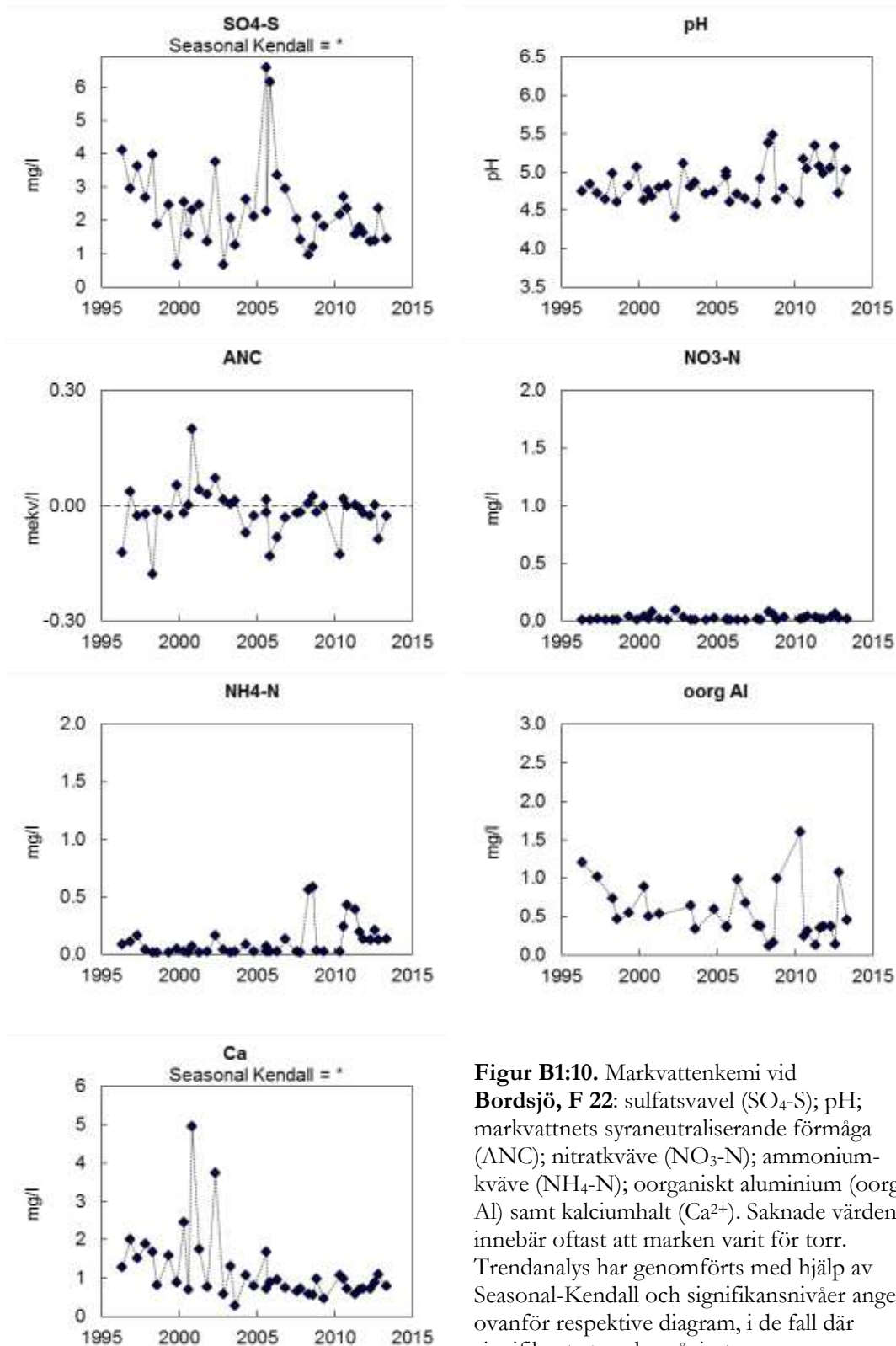
Figur B1:8. Lufthalter vid **Risebo (H 21)**. Medelvärden som hydrologiskt år för svaveldioxid (SO₂), kvävedioxid (NO₂) och ammoniak (NH₃). Det finns en signifikant nedåtgående trend i halten SO₂ samt NO₂ som årsmedelvärde (hydrologiskt år) vid Risebo bekräftat med Mann-Kendall analys.

JÖNKÖPINGS LÄN - Bordsjö (F 22): Yta öster om Aneby. Skogen utgörs av 61-årig, ganska tät, granskog (G28) utan fältskikt, på gammal betesmark. Beståndet är delvis skadat av vilt och röta. Ytan skadades måttligt i samband med stormen Gudrun i januari 2005 då 10-12 granar fälldes i ytan eller in i ytan. Mätningar av nedfall och markvatten startade i januari 1996. Numera mäts nedfallet i skogsytan (krondropp) samt markvattenkemi.



- ◆— Krondropp (KD)
- ◇— Öppet fält (ÖF)

Figur B1:9. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Bordsjö, F 22**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. Deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO₄-S ex); pH; nitratkväve (NO₃-N); ammoniumkväve (NH₄-N) och kloridjoner (Cl). ÖF, öppet fält; KD, krondropp. Trendanalys har genomförts med hjälp av Mann-Kendall analys och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



Figur B1:10. Markvattenkemi vid **Bordsjö, F 22:** sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$); pH; markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC); nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$); ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$); oorganiskt aluminium (oorg Al) samt kalciumhalt (Ca^{2+}). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med hjälp av Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

Bilaga 2. Årets data i tabellform - deposition, lufthalter, markvatten.

Tabell B2:1. Medelvärde under hydrologiskt år samt kalenderår från mätningar över öppet fält i Östergötlands län. Nederbörd (Nedb) anges i mm/år, övriga parametrar i kg/hektar och år.

Lokal	Period	Nedb	H ⁺		SO ₄ -S	SO ₄ -S _{ex}	Cl ⁻	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mn ²⁺
			mm	kg/ha										
Höka	12/13	615	0,07	1,7	1,5	3,4	1,8	1,9	1,0	0,3	2,3	1,2	0,09	
Höka	2012	818	0,06	1,8	1,6	3,3	2,3	2,4	1,2	0,4	2,1	1,1	0,12	

Tabell B2:2. Öppet-fältdata från Östergötlands län där organiskt kväve analyserats, hydrologisk årsdeposition samt kalenderårsdeposition. Nederbörd (Nedb) anges i mm/år, övriga parametrar i kg/hektar och år. (oorgN = NO₃-N + NH₄-N) och (orgN = Kj-N - NH₄-N).

Lokal	Period	Nedb	oorg N		org N
			mm	kg/ha	
Höka	12/13	615	3,8	0,3	
Höka	2012	818	4,6		

Tabell B2:3. Krondroppsdata från Östergötlands län, komplett hydrologisk årsdeposition samt kalenderårsdeposition. Nederbörd (Nedb) anges i mm/år, övriga parametrar i kg/hektar och år

Lokal	Period	Nedb	H ⁺		SO ₄ -S	SO ₄ -S _{ex}	Cl ⁻	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mn ²⁺
			mm	kg/ha										
Solltorp	12/13	396	0,04	1,5	1,2	6,9	1,0	1,2	2,8	1,2	2,7	10,5	1,04	
Höka	12/13	510	0,05	1,3	0,9	7,3	1,0	0,8	2,5	1,3	3,4	9,1	0,53	
Solltorp	2012	437	0,03	1,4	1,0	8,7	0,7	1,0	2,8	1,2	3,4	12,8	0,97	
Höka	2012	654	0,06	1,5	1,0	11,8	1,2	0,8	3,3	1,8	5,5	12,9	0,78	

Tabell B2:4. Krondroppsdata från Östergötlands län för ytor där organiskt kväve analyserats, hydrologisk årsdeposition samt kalenderårsdeposition. Nederbörd (Nedb) anges i mm/år, övriga parametrar i kg/hektar och år. (oorgN = NO₃-N + NH₄-N) och (orgN = Kj-N - NH₄-N).

Lokal	Period	Nedb	oorg N		org N
			mm	kg/ha	
Solltorp	12/13	396	2,2	1,9	
Höka	12/13	510	1,8	1,5	
Solltorp	2012	437	1,8	2,1	
Höka	2012	654	1,9	2,1	

Tabell B2:5. Markvattendata från Östergötlands län. Mätningar efter vegetationssäsongen 2012 samt före, under och efter vegetationssäsongen 2013. Median beräknad för de senaste tre åren. n = antalet mätvärden som använts i medianvärdet.

Lokal	Datum	pH	Alk	ANC	SO ₄ -S	Cl	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mn ²⁺	Fe ^{2+/3+}	ooAl	tAl	TOC	BC/ooAl	
			mekv/l →		mg/l →														
Solltorp (E 21 A)	2012-11-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2013-04-29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2013-08-28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2013-11-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	median	5,1		0,100	3,1	6,73	<0,01	<0,02	2,57	1,08	5,22	1,55	0,06	0,03	-	0,699	-	-	-
<i>n=</i>	2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	-	1	-	-	-	
Höka (E 22 A)	2012-11-07	5,1	-	-0,025	1,76	4,50	<0,010	<0,010	0,66	0,52	3,00	0,25	<0,030	0,003	0,420	0,470	2,6	2,8	
	2013-04-29	4,9	-	-0,030	2,43	1,96	<0,010	<0,020	0,61	0,38	2,52	0,24	0,030	0,008	0,435	0,470	2,9	2,3	
	2013-08-28	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2013-11-06	5,0	-	-0,030	2,20	4,07	<0,003	<0,030	0,51	0,40	3,63	0,24	<0,030	<0,010	0,406	0,460	3,2	2,3	
	median	5,0		-0,026	1,93	3,46	<0,01	<0,025	0,64	0,4	2,5	0,24	<0,03	0,008	0,358	0,46	3,2	2,6	
<i>n=</i>	9		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	6	7	7	7	6	

Under 2013 var det mycket torrt vilket gjorde det svårt att få upp markvatten. All markvattenutrustning har inspekterats och renoverats då det fanns behov för det under tidig vår 2014.

