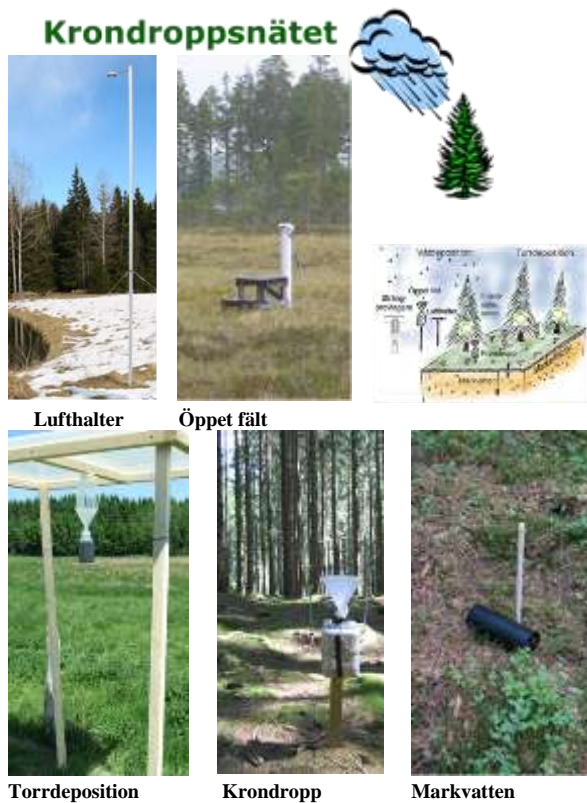


För Västmanlands läns luftvårdsförbund

# Tillståndet i skogsmiljön i Västmanlands län

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



Gunilla Pihl Karlsson, Cecilia Akselsson<sup>1)</sup>,  
Sofie Hellsten & Per Erik Karlsson

B 2167

Juni 2014

<sup>1)</sup> Lunds universitet

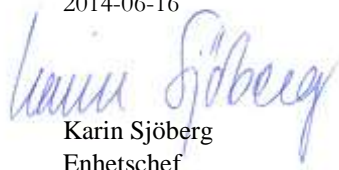


<b>Organisation</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB	<b>Rapportsammanfattning</b>
<b>Adress</b> Box 53021 400 14 Göteborg	<b>Projekttitel</b> Krondropps nätet 2013
<b>Telefonnr</b> 031-725 62 00	<b>Anslagsgivare för projektet</b> Västmanlands läns luftvårdsförbund
<b>Rapportförfattare</b> Gunilla Pihl Karlsson, Cecilia Akselsson, Sofie Hellsten & Per Erik Karlsson	
<b>Rapporttitel och undertitel</b> Tillståndet i skogsmiljön i Västmanlands län - Resultat från Krondropps nätet t.o.m. september 2013	
<p><b>Sammanfattning:</b> I denna rapport redovisas resultaten från mätningar inom Krondropps nätet i Västmanlands län från perioden oktober 2012 till september 2013, vilka relateras till tidigare års mätningar. Vidare redovisas andra aktiviteter med anknytning till Krondropps nätet.</p> <p>Mätningar inom länet visar att atmosfäriskt nedfall av svavel har sedan 1997 minskat med ca 70 %, vilket är ungefär i takt med Europas rapporterade utsläppsminskningar. Under 2012/13 var svavelnedfallet exklusive havssalt strax under 1 kg S/ha. Mätningarna i markvattnet vid Kvisterhult i södra delen av länet visar på en påbörjad återhämtning från försurning. Dock visar mätningarna fortsatt ett relativt lågt ANC, lågt pH och relativt höga svavelhalter samt toxiskt oorganiskt aluminium, vilket tyder på ett fortsatt försurningsproblem för skogsmarken i länet. Det kommer dock att ta tid innan återhämtningen från försurning är fullständig. Vid länets norra lokal är försurningsstatusen bättre och även där sker en fortlöpande förbättring. Skogsbrukets försurande inverkan på skogsmarken är sannolikt betydande i länet och preliminära beräkningar visar att det sker ett överskridande av en kritisk gräns för uttag av s.k. baskatjoner med avverkningen från skogen, även om grenar och toppar inte tas ut.</p> <p>Kvävenedfallet med nederbörden var under 2012/13 det lägsta som hittills uppmäts, strax under 3 kg N/ha/år. Detta gör att även det totala kvävenedfallet inkl. torrdepositionen, ligger under det värde som används för kritiskt belastning i Sverige, 5 kg N/ha/år. Dock har den kritiska belastningen för kvävenedfall under lång tid tidigare överskridits i länet vilket leder till att vegetationen sannolikt redan sedan länge påverkats. Även om kvävenedfallet till skogsmarken varit betydande genom åren, har det sannolikt ännu inte resulterat i något betydande läckage av nitrat till markvattnet eller avrinningen. Förhöjda nitrathalter i markvattnet kan dock ske vid störningar, såsom avverkning, stormskador, insektsangrepp etc.</p> <p>Aspekter kring skogsbrukets försurande inverkan, kvävegödslin av skogsmark, fördjupad utvärdering av miljömålet samt EU:s luftvårdspolitik diskuteras även i rapporten.</p>	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren</b> Deposition, svavel, kväve, skogsytor, försurning, övergödning, krondropp, markvatten, Västmanlands län	
<b>Bibliografiska uppgifter:</b> IVL Rapport B 2167	
<b>Rapporten beställs via:</b> Webbplats: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , e-post: <a href="mailto:publikationsservice@ivl.se">publikationsservice@ivl.se</a> , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

## Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	4
2.	Mätningar inom Krondropps nätet .....	6
3.	Miljö tillståndet i skogslandskapet i Västmanlands län – en översikt .....	7
3.1.	Försurningen i skogslandskapet .....	8
3.2.	Kvävestatusen i skogslandskapet .....	13
3.3.	Nedfallsmätningar av fosfor 2012/13.....	17
4.	Rapporter och artiklar 2013 .....	19
5.	Möten och konferenser 2013.....	21
6.	Specialprojekt på krondroppsytor.....	23
7.	Pågående policyrelaterat arbete med koppling till Krondropps nätet .....	26
8.	Krondropps nätet webbplats .....	33
9.	Referenser.....	33
Bilaga 1.	Stationsvis redovisning i Västmanlands län .....	35
Bilaga 2.	Årets data i tabellform - deposition, lufthalter, markvatten.....	47

Rapporten godkänd  
2014-06-16



Karin Sjöberg  
Enhetschef

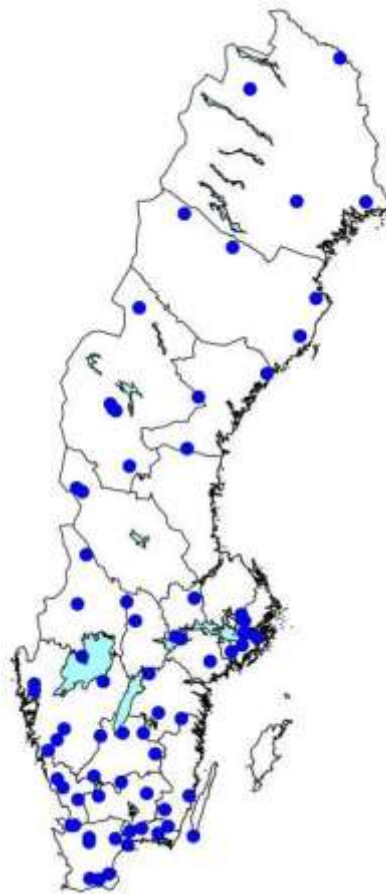
## 1. Inledning

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.

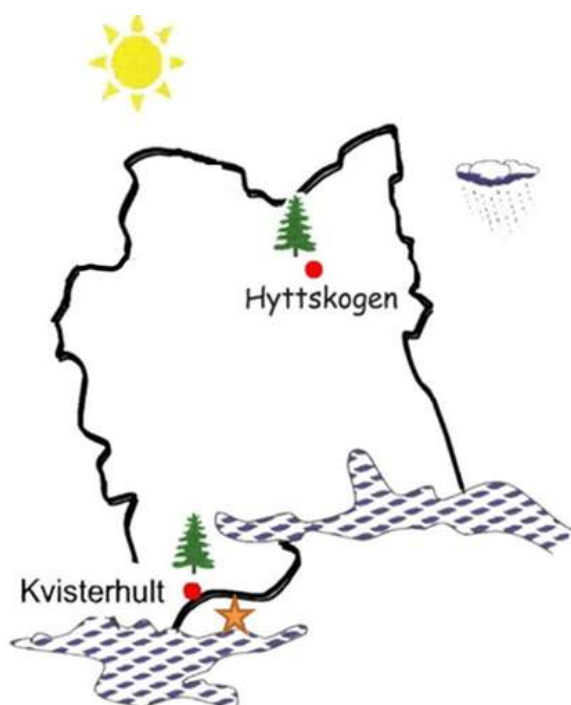
En av styrkorna med Krondroppsnetet är att mätningar har bedrivits under långa tidsperioder och med god geografisk täckning över Sverige, vilket möjliggör detaljerade studier av variationen i tid och rum. Krondroppsnetet har en stark koppling till den regionala och nationella miljöövervakningen, men 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 Krondroppsnetet 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.

Krondroppsnetet 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.



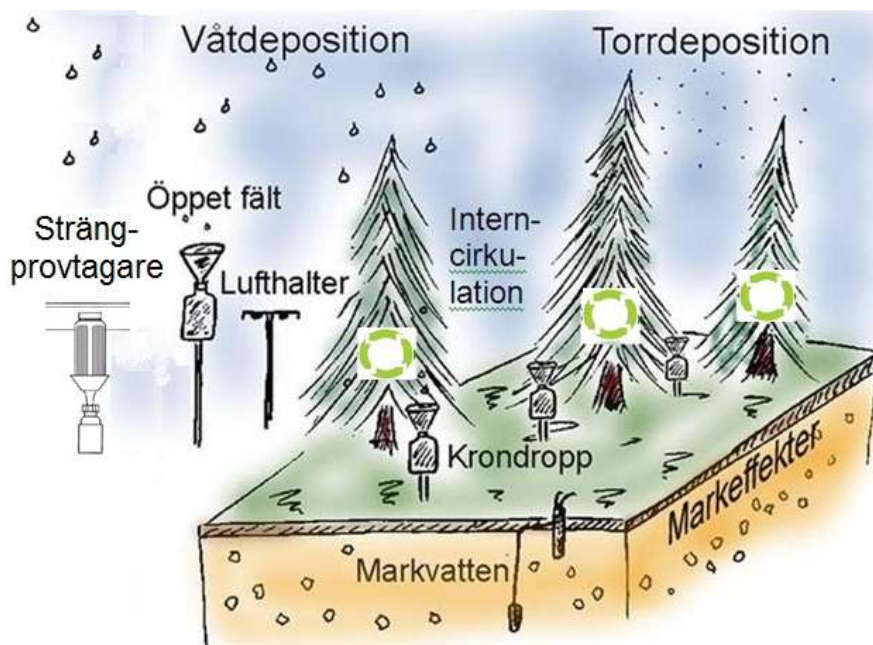
I Västmanlands län fanns under 2012/13 två aktiva lokaler inom Krondroppsnetet, Figur 2. Det genomfördes även lufthaltsmätningar vid Hjälmarsberg strax sydväst om Kvisterhult. Dessutom visas en närliggande lokal, Knutsta, en tallyta i nordvästra Södermanlands län, markerat med en stjärna på kartan.

**Figur 2.** Mätplatser inom Krondroppsnetet i Västmanlands län, Hyttskogen (granskog) och Kvisterhult (granskog). Dessutom visas med en stjärna en närliggande lokal Knutsta, en tallyta i nordvästra Södermanlands län.

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 Krondroppsnetet. Därefter presenteras mätningarna utifrån de perspektiv på skogsmiljön som är mest relevant för Västmanlands 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 Krondroppsnetet 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 3.



**Figur 3.** 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 bedrevs vid 32 lokaler i landet under 2012/13, speglar huvudsakligen våtdeposition, det vill säga föroreningarna som följer med nederbörden.

**Krondroppsmätningarna**, som bedrevs 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 bedrevs vid 21 lokaler (2012/13) med hjälp av diffusionsprovtagare som kvantitativt absorberar den gas som ska mätas.

**Markvattenmätningar** bedrevs 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 Västmanlands län – en översikt

Lite mer än hälften av Västmanlands län utgörs av produktiv skogsmark. Skogen i länet är relativt ung och domineras av barrträd. I huvudsak består Västmanlands län av bra och välskötta produktionsskogar. Den bästa skogstillväxten finns i länets centrala områden. Skogslandskapen i Västmanlands län har, i ett historiskt perspektiv, utsatts för ett betydande nedfall av luftföroreningar, främst vad gäller försurande ämnen. Skogsmark, vattendrag och sjöar i länet påverkas fortfarande i hög grad av atmosfäriskt nedfall, i huvudsak beroende på långväga transporterade luftföroreningar.

I Västmanlands län bedöms att inget av de tre miljö kvalitetsmålen ”*Bara Naturlig Försurning*”, ”*Frisk Luft*” och ”*Ingen Övergödning*” är möjligt att nå till år 2020 med idag beslutade eller planerade styrmedel. Dock bedöms miljö kvalitetsmålet ”*Frisk Luft*” vara nära att nås.

Svavelnedfallet till länets skogar har sedan 1997 minskat med 70 %, vilket är ungefär i takt med minskningen av Europas svavelutsläpp. Under 2012/13 var svavelnedfallet exklusive havssalt strax under 1 kg S/ha. Försurningen orsakas av försurande nedfall, framför allt svavel, men även kväve, samt skogsbruk. Svavelnedfall har en direkt försurande effekt medan kvävenedfall försurar först när skogsekosystemets förmåga att ta upp kväve överskrids, och det börjar läcka. Skogsbruket försurar genom bortförsl av buffringskapacitet vid skörd. I Västmanlands län har skogsbrukets relativa betydelse för försurningen ökat och står nu för 50-70 % av skogsmarkens försurningsbidrag, beroende på om grenar och toppar (grot) tas ut vid avverkning av granskog. Mätningarna i markvattnet vid Kvisterhult i södra Västmanlands län tyder på ett fortsatt försurningsproblem för skogsmarken i länet, men återhämtningen fortsätter. Dock kommer det ta tid innan återhämtningen från försurning är fullständig. Vid länets norra lokal är försurningsstatusen bättre och även där sker en fortlöpande förbättring. Framtida mätningar får utvisa om förbättringen fortskrider.

Kvävenedfallet till Sverige visar inga större tecken på att minska och inte heller i Västmanlands län visar mätningarna på en minskning. Däremot är variationen mellan åren relativt stor. Under det senaste året 2012/13 beräknades dock det totala oorganiska kvävenedfallet, inklusive torrdepositionen, till skogen i Västmanlands län till cirka 3-3,5 kg/ha beroende på skogstyp och geografiskt läge. Nedfallet under 2012/13 var under den kritiska belastningsgränsen för kvävenedfall till barrskog, 5 kg/ha och år. Dock har den kritiska belastningen för kvävenedfall under lång tid tidigare överskridits i länet, vilket leder till att vegetationen sannolikt redan sedan länge påverkats. Även om nedfallet av kväve till skogsmarken i Västmanlands län har varit betydande, har det sannolikt ännu inte resulterat i något betydande läckage av nitrat till markvatten eller avrinningen. Generellt är det framför allt i hyggesfasen som kväveutlakningen är förhöjd, men i de sydvästra delarna av Sverige finns åtskilliga exempel från Krondropps nätet på skogsytor med förhöjda halter kväve i markvattnet, vilket är en första indikation på att det finns mer kväve än vad skogen kan ta upp, och därmed innebär en uppenbar risk för utlakning.



### 3.1. Försurningen i skogslandskapet

Som tidigare nämnts bedöms inte miljökvalitetsmålet ”Bara Naturlig Försurning” vara möjligt att nå till år 2020 med idag beslutade eller planerade styrmedel. I den senaste uppföljningen skriver Länsstyrelsen: ”Tillståndet i sjöar och vattendrag förändras i positiv riktning. Utvecklingen i skogsmark visar tendenser till förbättring men är osäkrare. Fler åtgärder behövs inom sjöfart och skogsbruk.”

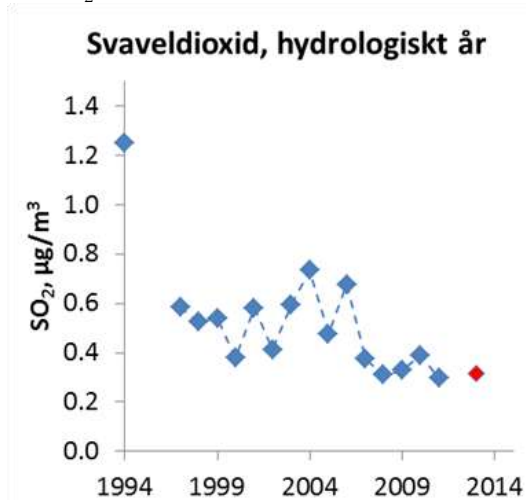
Västmanlands län har, i och med avståndet till kontinentala Europa, mindre problem vad gäller atmosfäriskt nedfall, jämfört med de sydligaste delarna av Sverige. Nedfall av svavel- och kväveföreningar är den största orsaken till försurning. Den kritiska belastningen av försurande ämnen överskrider i delar av länet. Det kommer att ta lång tid för mark och vatten att återhämta sig. Skogsbruket bidrar ytterligare till försurningen genom att buffrande ämnen förs bort från skogsekosystemen vid avverkning. Ett ökat uttag av biomassa från skogen leder till ökad försurning. I Västmanlands län har skogsbrukets bidrag beräknats till mellan 50 och 70 % i granskog beroende på om enbart stam eller även grenar och toppar (grot) och stubbar tas ut.

Nedan beskrivs emissioner, lufthalter och nedfall av svavel i Västmanlands 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

De rapporterade, samlade svavelutsläppen från Europa har minskat med mer än 80 % sedan 1990, (EMEP, 2011, gäller utsläppen från EU27, internationell fartygstrafik ej inkluderat). Motsvarande minskning sedan 1999 är ca 60 %.

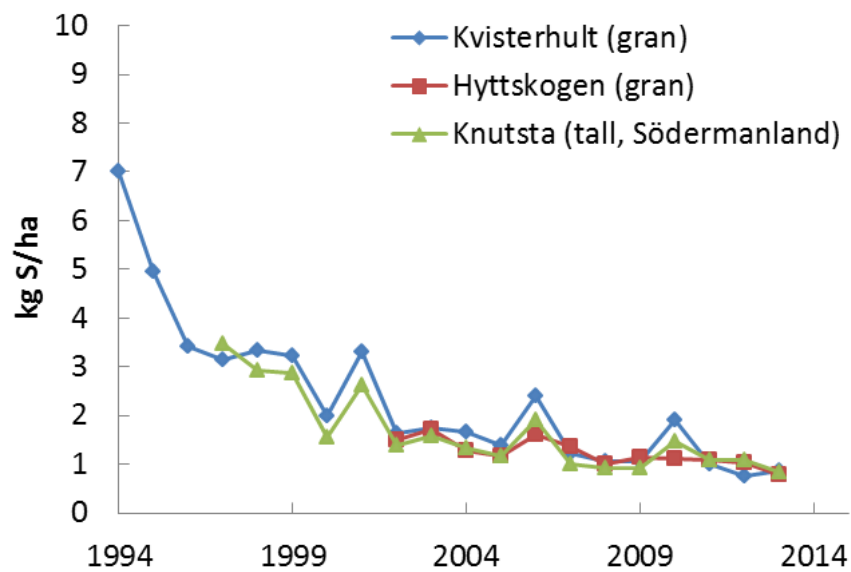
I Figur 4 visas att svavelhalterna i luften minskat sedan 1994 vid Kvisterhult. Minskningen av svavelhalten är statistisk säkerställd. Under det hydrologiska året 2012/13 var svaveldioxidhalten låg, 0,32  $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ . Runt år 2007 skedde en minskning av svavelhalterna i fartygsbränsle från 1.5 % till 1.0 %. Detta kan ha bidragit till den minskning av lufthalterna av  $\text{SO}_2$  vid Kvisterhult som indikeras för tiden kring detta år.



**Figur 4.** Svaveldioxidhalter i luften i Kvisterhult (blå symbol) / Hjälmarsberg (röd symbol) i södra delen av Västmanlands län.

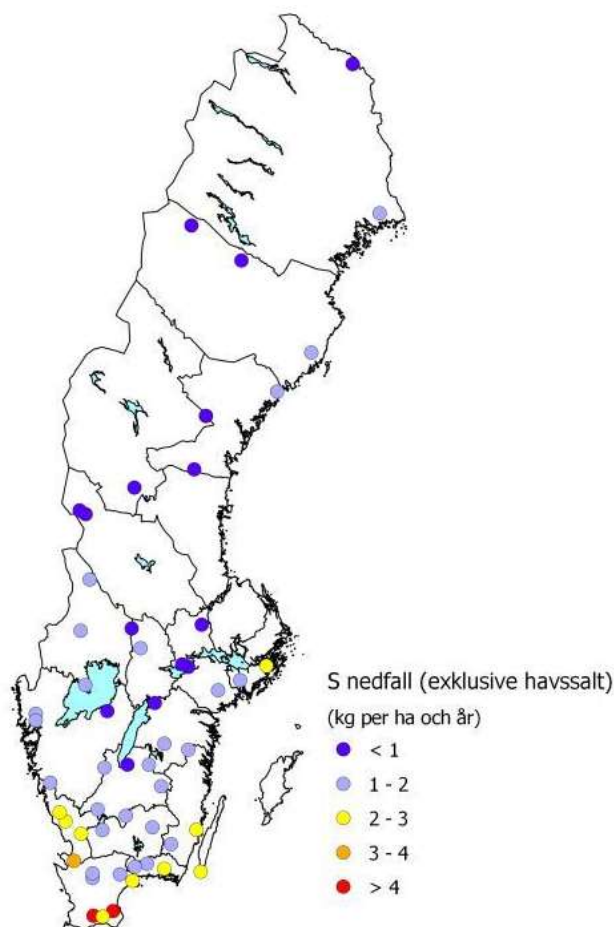
Svavelnedfallet vid granskogen Kvisterhult och tallskogen i Knutsta har sedan 1997 minskat med cirka 70 % vid båda lokalerna. Vid granskogen Hyttskogen har svavelnedfallet sedan 2002 minskat med cirka 35 % (Figur 5). Mätningarna i krondroppet visar att minskningen i svavelnedfall har varit kraftig i hela Västmanlands län, liksom i övriga delar av södra Sverige.

Under det hydrologiska året 2012/13 var svavelnedfallet, exklusive havssaltsbidrag, vid Kvisterhult, Hyttskogen samt Knutsta i Södermanlands län strax under 1 kg per hektar. Tall- och lövskogar tar generellt emot något mindre svavelnedfall jämfört med granskog.



**Figur 5.** Svavelnedfall i granskogarna i Kvisterhult och Hyttskogen samt i tallskogen i Knutsta i Södermanlands län.

Svavelnedfall i krondropp 2012/13 visas för landet som helhet i Figur 6. Gradienten i försurningsproblematiken från sydväst mot nordost framträder tydligt.



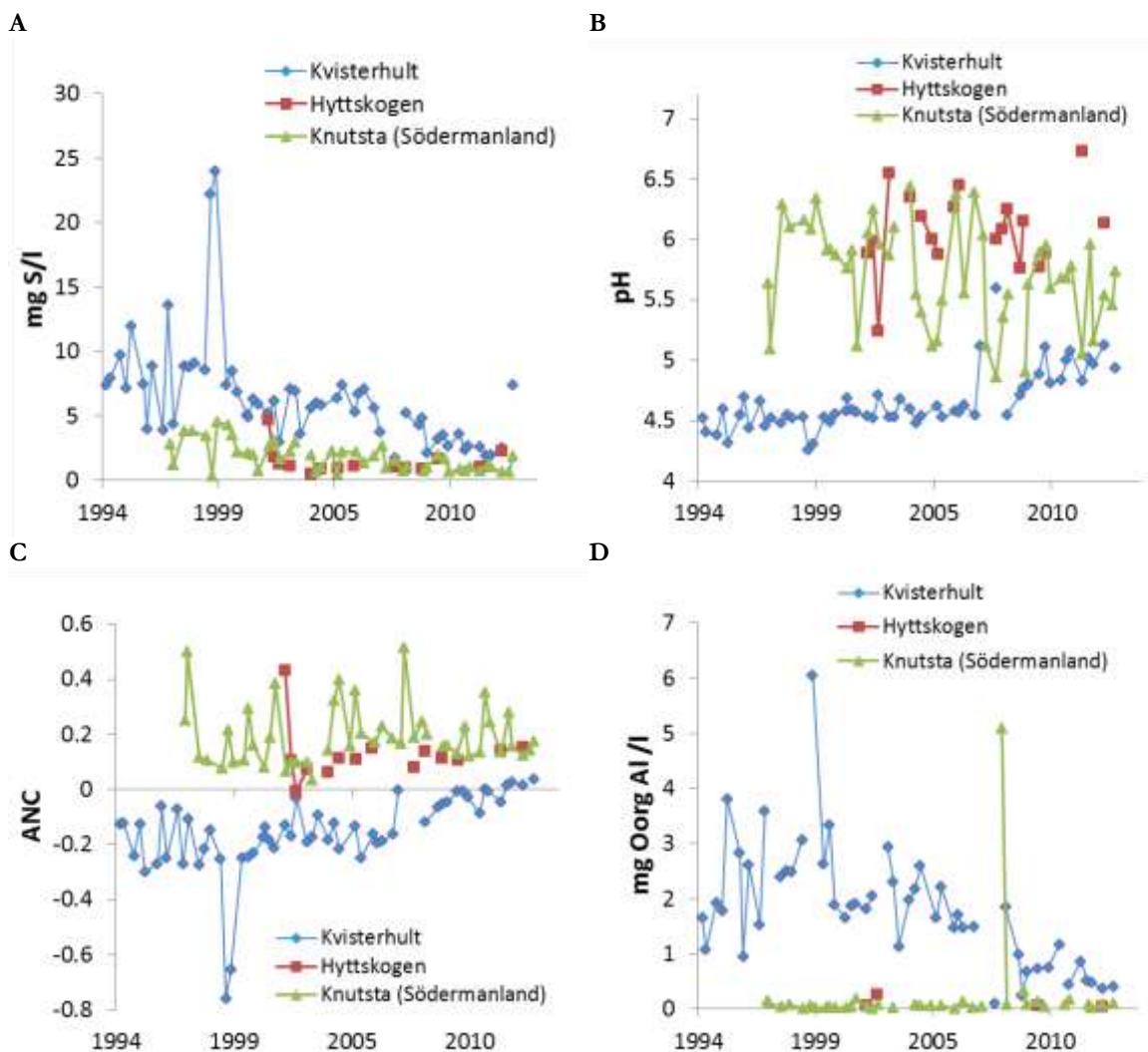
**Figur 6.** Nedfall av sulfatsvavel (exklusive bidraget från havssalt) som krondropp under det hydrologiska året 2012/2013 vid olika platser inom Krondroppsnetet.

### 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. Försurning av markvattnet kan beskrivas utifrån olika parametrar, som ger lite olika aspekter, såsom pH, syraneutraliserande förmåga (ANC) och halter av det toxiska ämnet oorganiska aluminium (oorg-Al). Bedömningen av vid vilket pH som markvattnet kan anses försurat beror till viss del på berggrunden i området, halterna av organiska ämnen m.m. Ett pH < 4,5 anses dock i de flesta fall indikera kraftig försurning, medan pH i området 4,5 – 5,0 kan indikera risk för försurning. En annan bedömningsgrund som diskuteras är att värdet för ANC skall vara över noll om markvattnet inte skall anses försurat.

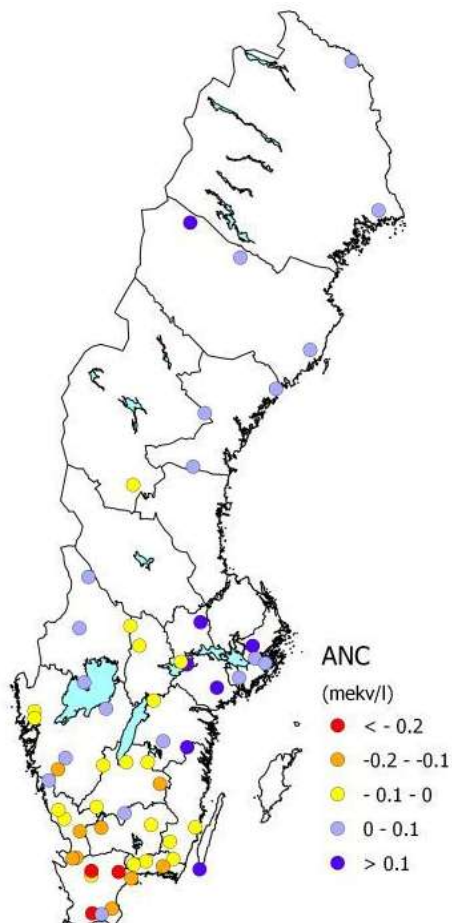
Halterna av sulfatsvavel ( $\text{SO}_4\text{-S}$ ) i markvattnet ligger sedan lång tid tillbaka på relativt höga nivåer vid Kvisterhult i södra Västmanlands län. Vid granytan Hyttskogen i norra delen av länet har svavelhalterna generellt varit lägre (Figur 7A). Vid sista mätningen under 2013 i Kvisterhult var svavelhalterna betydligt högre än vad som uppmätts de närmast föregående åren. Om detta beror på det torra vädret under perioden får kommande mätningar utvisa. Generellt har svavelhalterna vid tallytan Knutsta i Södermanlands län varit lägre än vid Kvisterhult och mer i nivå med Hyttskogen i norra Västmanland (Figur 7A). Svavelhalterna har minskat signifikant vid Kvisterhult och Knutsta i Södermanlands län sedan mätstarten

1993 resp. 1997. Vid Hyttskogen har ingen minskning av svavelhalterna i markvattnet uppmätts sedan mätstarten 2001. Detta trots att svavelnedfallet vid dessa platser har minskat under samma period. Vid Kvisterhult ser man tydliga tecken på en påbörjad återhämtning från försurningen genom att svavelhalterna och halten oorganiskt aluminium minskat och att pH och ANC ökat (Figur 7). Dock bör ANC och pH öka lite mer och svavelhalterna samt halten oorganiskt aluminium minska lite till innan man kan säga att markvattnet är återhämtat. Troligen dröjer detta en relativt lång tid. Vid Hyttskogen syns ännu inga statistiskt signifikanta förändringar i markvattnet, sedan mätstarten 2001, Figur 7. Dock är markvattnet ur försurningssynpunkt betydligt mindre påverkat vid Hyttskogen i norra delen av länet jämfört med Kvisterhult i södra delen av länet.



**Figur 7.** Halterna av sulfatsvavel (A,  $\text{SO}_4\text{-S}$ ), pH (B), syraneutraliserande förmåga (C, ANC) och halten oorganiskt aluminium (D, oorg-Al) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser i Västmanlands samt Södermanlands län, uppmätt inom Krondropps nätet. Följande förändringar är statistiskt säkerställda:  $\text{SO}_4\text{-S}$  har minskat signifikant vid Kvisterhult och Knutsta (Södermanland); pH och ANC har ökat signifikant vid Kvisterhult och oorg-Al har minskat signifikant vid Kvisterhult.

I Figur 8 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.



**Figur 8.** 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.

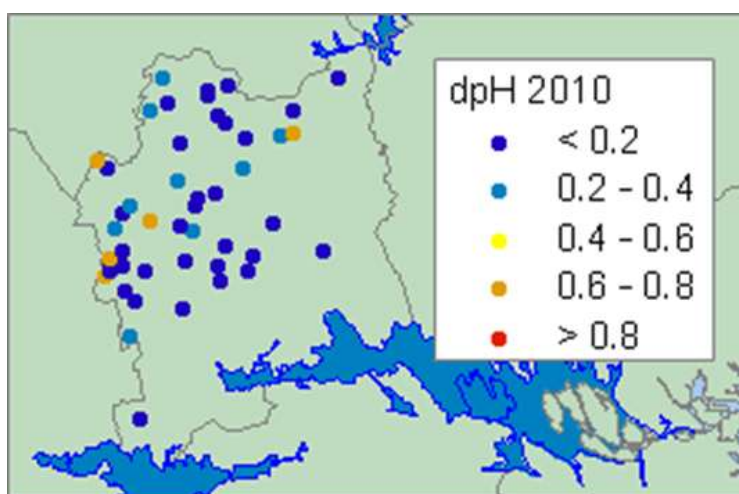
### Andra bedömningar försurning – mark och sjöar

Data från markinventeringen används för uppföljning av indikatorn ”Försurad skogsmark”. Uppföljningen görs nationellt och uppdelat i tre landsdelar. I den del som Västmanland 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. 7 % av länets sjöar är antropogent försurade och okalkade och ytterligare cirka 4 % av länets sjöar skulle varit försurade om de inte hade kalkats, Figur 9, (Fölster & Valinia, 2012). Samtliga sjöar som var antropogent försurade låg i länets nordvästliga del. Det har skett en betydande återhämtning från försurning hos länets sjöar, men återhämtningen kan t.o.m. riskera att avstanna då den är starkt beroende av storleken på det kvarvarande sura nedfall som fortfarande sker till skogen, samt även av hur stort uttag av biomassa som sker från skogen.



**Figur 9.** 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, där vattenkemin i frånvaro av kalkning beräknats. Källa: Fölster & Valinia, (2012).

### 3.2. Kvävestatusen i skogslandskapet

Som tidigare nämnts visar den senaste regionala miljömålsutvärderingen i länet att det inte heller är möjligt att nå målet ”Ingen övergödning” till 2020 med idag beslutade eller planerade styrmedel. I sin senaste bedömning skriver Länsstyrelsen: ”Utvecklingsriktningen för tillståndet i miljön är positiv, men varken minskningen av utsläppen av övergödande ämnen eller återhämtningen sker i tillräckligt snabb takt.”

Kvävedepositionen i större delen av Svealand är något högre än vad som anses utgöra gränsen för kritisk belastning (5 kg N per ha och år). Ungefär hälften av vattenförekomsterna (större sjöar och vattendrag) i Västmanlands län anses ha problem med övergödning.

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

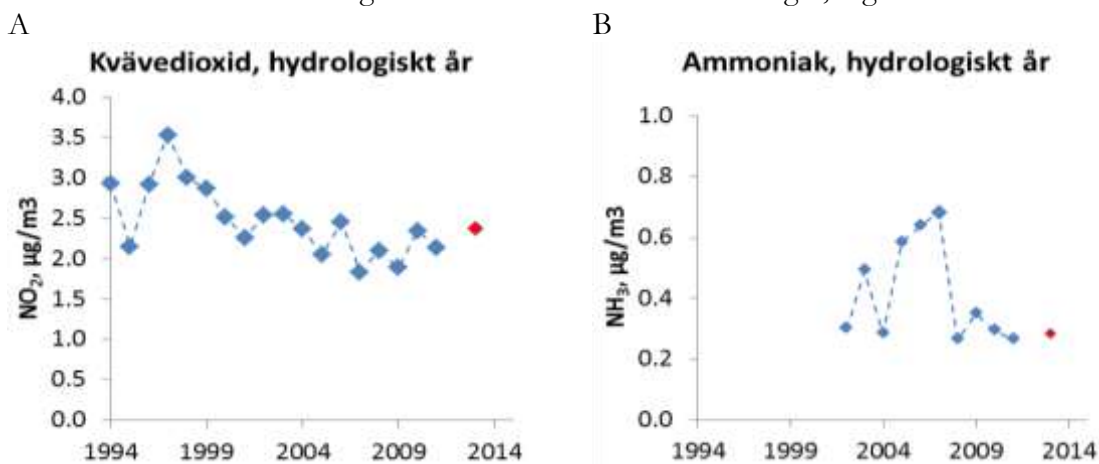
Nedan beskrivs emissioner, lufthalter och nedfall av kväve i Västmanland från Krondroppsnätets mätningar, relaterat till kväveemissionerna, följt av ett avsnitt om

”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 perioden 1990-2010 minskat med 47 % och ammoniak med 25 % (EMEP, 2011, gäller utsläppen från EU27, internationell fartygstrafik ej inkluderat). Kvävenedfallet med nederbörden har inte minskat över Sverige under perioden 1990-2009 förutom i den sydöstra delen av Sverige (Hansen m.fl., 2013).

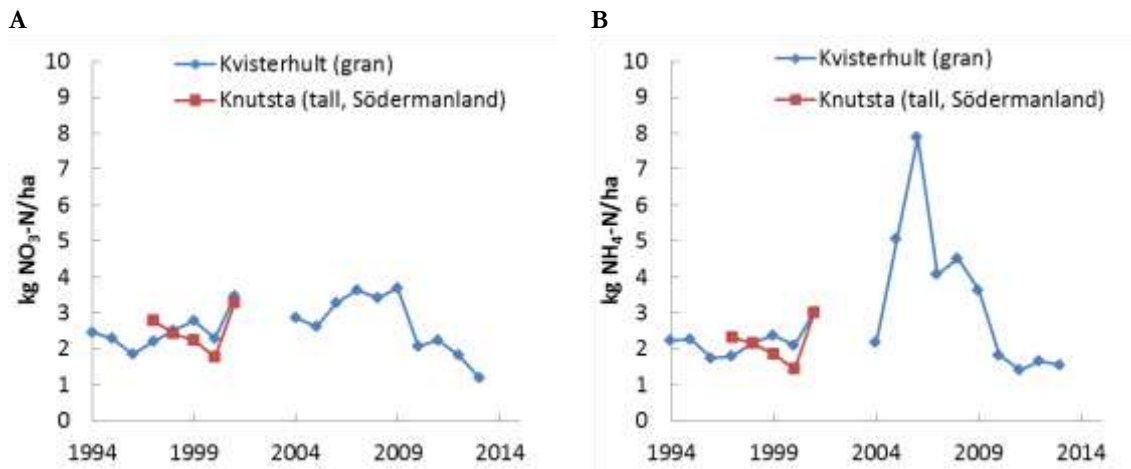
Emissionsminskningarna av kväve återfinns dock i lufthalterna som uppmätts vid Kvisterhult, där det finns en statistiskt säkerställd minskning sedan 1994 för NO<sub>2</sub>, Figur 10A. För ammoniak finns inga statistiskt säkerställda förändringar, Figur 10B.



**Figur 10.** Lufthalter för kvävedioxid, NO<sub>2</sub> (A) och ammoniak, NH<sub>3</sub> (B) i Kvisterhult (blå markeringar) / Hjälmarsberg (röd markering).

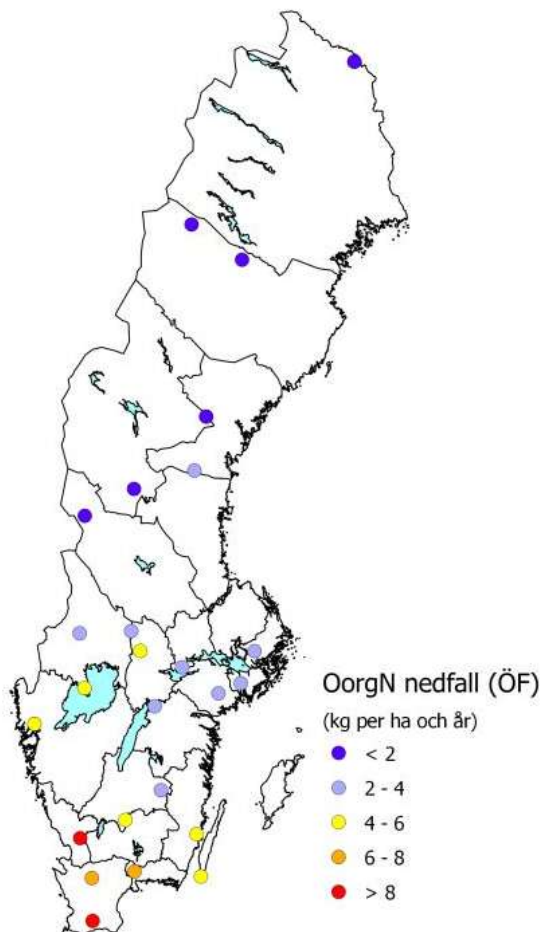
Nedfallet av kväve till skogen är svårt att mäta på grund av att kvävet kan tas upp direkt till trädskronorna. Krondroppsmätningar för kväve kan därför inte användas rakt av, på samma sätt som för svavel, utan man får istället använda mätningar av våtdeposition på öppet fält och därefter lägga till ett uppskattat bidrag från torrdepositionen. Torrdepositionen beräknas med hjälp av krondroppsmätningarna.

Kvävenedfall på öppet fält mäts i Kvisterhult i länets södra del sedan 1994 med ett uppehåll mellan 2002-2003 (Figur 11). Depositionen varierar mellan åren och under det senaste hydrologiska året var depositionen av oorganiskt kväve med nederbörden den lägsta som uppmätts vid Kvisterhult, 2,8 kg N/ha. Tidigare analyser har visat att i området runt Västmanlands län bidrar torrdepositionen med ca 15 % till det samlade nedfallet av oorganiskt kväve (Karlsson m.fl., 2011). Det beräknade totala nedfallet av oorganiskt kväve blir därför 3.2 kg N/ha för Kvisterhult under 2012/13. Detta innebär att den kritiska belastningsgränsen, 5 kg per hektar och år, som har satts med skydd av markvegetation i åtanke (Moldan, 2011), ej riskerar att överskridas i granskogar i södra delarna av Västmanlands län 2012/13, om torrdepositionen medräknas. Den kritiska belastningen för kvävenedfall har tidigare överskridits under lång tid i Västmanlands län, och vegetationen är därmed sannolikt redan sedan länge påverkad.



**Figur 11.** Årliga värden för nedfall av nitratkväve (A) och ammoniumkväve (B) med nederbörden till öppet fält till Kvisterhult i Västmanlands län samt Knutsta i Södermanlands län. Nedfallet är summerat som hydrologiskt år (okt-sept).

Nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält vid olika platser inom Krondroppsnetet under det hydrologiska året 2012/13 visas i Figur 12.



**Figur 12.** Nedfallet av oorganiskt kväve (oorgN) med nederbörden till öppet fält vid olika platser inom Krondroppsnetet under det hydrologiska året 2012/13.



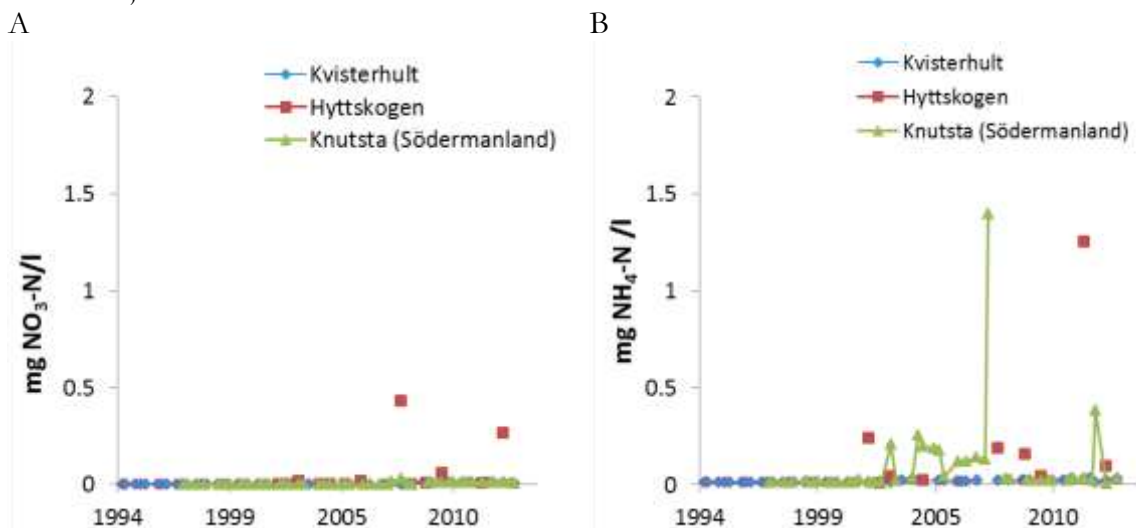
Det högsta kvävenedfallet i landet förekommer i sydväst i Skåne, Blekinge och Halland. Något lägre kvävenedfall finner man i ett stråk från sydost till nordväst, från Kalmar län till Örebro län och södra Värmland.

### Kväveeffekter i markvattnet

Tillväxten i skogar i Sverige 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.

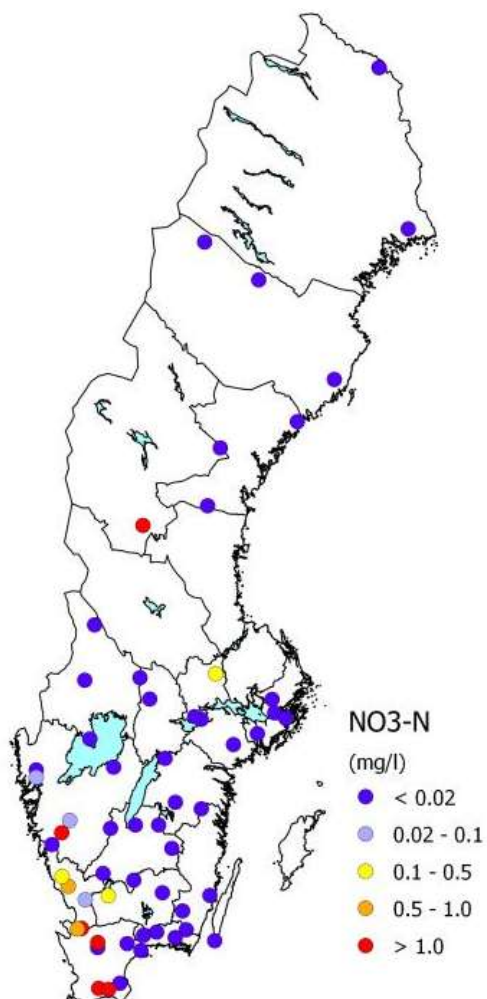
Markvattenmätningarna i Västmanlands län visar att varken vid Kvisterhult eller vid Knutsta i Södermanlands län, strax över gränsen från Västmanland, syns några förhöjda nitratkvävehalter i markvattnet. Endast vid Hyttskogen syns det, vid vissa mätningar, tecken på en något förhöjd nitrathalt i markvattnet (Figur 13A). Vid Hyttskogen finns även tidpunkter då ammoniumhalterna varit förhöjda, Figur 13B. Om detta bara är något tillfälligt eller om det fortsätter får påföljande mätningar utvisa. Även vid Knutsta i Södermanland finns det förhöjda ammoniumhalter i markvattnet vid vissa tillfällen. Vid Kvisterhult syns inga tecken på förhöjda ammoniumhalter i markvattnet (Figur 13B), vilket indikerar att kvävetillgången i dagsläget inte överskrider behovet i skogsekosystemet där. I sydvästra Sverige, framförallt i Skåne och i Halland, är det relativt vanligt att nitrathalten i markvattnet är kraftigt förhöjd, vilket betyder att kvävetillgången i marken överskrider skogsekosystemens behov av kväve.

Eftersom skogen utgör en stor andel av den samlade arealen i Västmanlands län, 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 Västmanlands län samt Södermanlands län av nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N) (A) samt halterna av ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N) (B). Inga förändringar är statistiskt säkerställda.

I Figur 14 redovisas mätningar av nitrat i markvattnet vid olika lokaler runt om i landet inom Krondroppsnetet, 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.



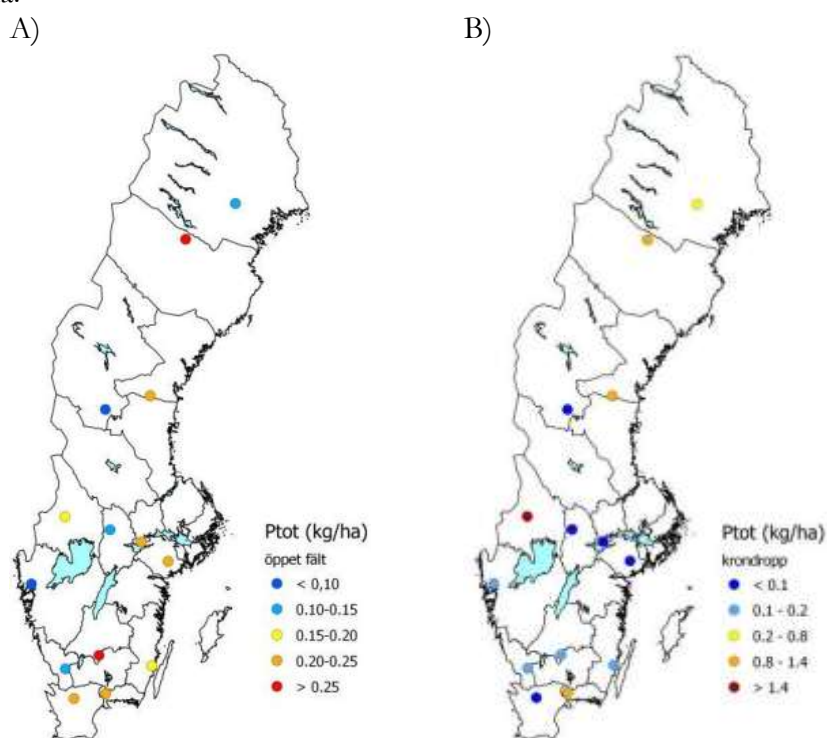
**Figur 14.** Koncentrationen av nitrat (NO<sub>3</sub>-N) i markvattnet vid olika platser inom Krondroppsnetet redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar.

### 3.3. Nedfallsmätningar av fosfor 2012/13

Sedan 2011 mäts nedfallet av fosfor inom Krondroppsnetet. 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.

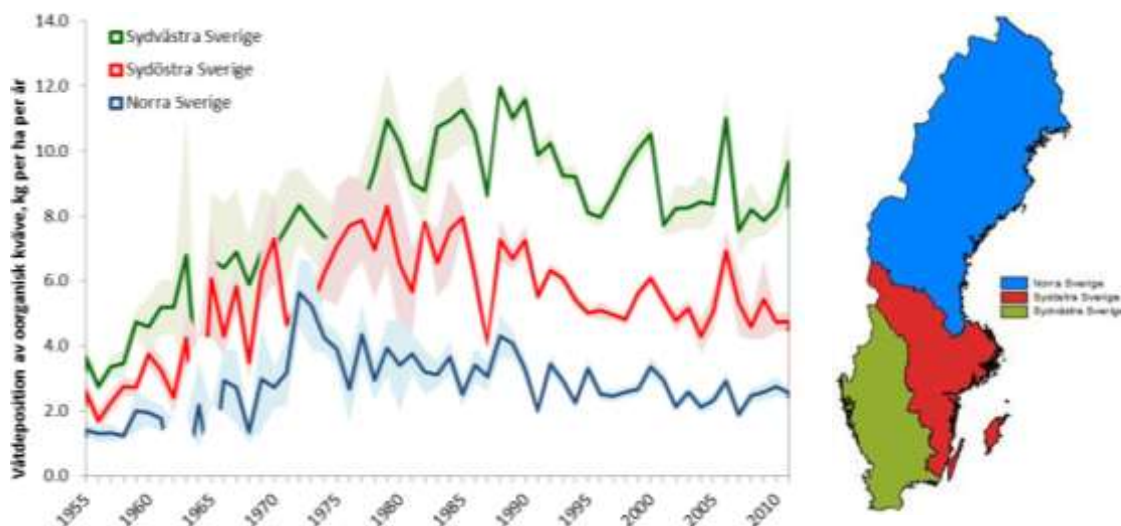
## 4. Rapporter och artiklar 2013

### 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 Krondroppsnetet för 2013 (Hansen, m.fl. 2013). I temarapporten redovisades alla månadsdata som hittills producerats inom Krondroppsnetet vad gäller atmosfäriskt nedfall av kväve med nederbörden till öppet fält. Dessutom användes en del data från Krondroppsnetet 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 Krondroppsnetet 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 erhöles 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 länsstillhörighet.

## Totaldeposition av baskatjoner till skog

Arbete med att uppskatta totaldepositionen av olika baskatjoner pågår då krondropps mätningar, på grund av en interncirkulation 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 utvecklad 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 trädkronorna samt att den relativa fördelningen av torrdepositionen av olika ämnen är densamma till teflontrådarna som till trädkronorna. 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 Pihl Karlsson, Karin Hansen. 2013a. Totaldeposition av baskatjoner till skog. IVL B2058.*

## Tre nya vetenskapliga publikationer:

Under 2013 publicerades tre vetenskapliga publikationer där data från Krondropps nätet 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 klimatsektariatet, en workshop om försurningspåverkan från luftutsläpp och skogsbruk, och presenterade då bland annat resultat från Krondropps nätet nedfalls- och markvattenkemimätningar.

**Krondropps dagarna 2013.** Den 24-25 april 2013 genomfördes Krondropps dagarna 2013. Senast Krondropps dagarna 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 Krondropps nätet 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 Krondropps nätet hölls även föredrag av representanter från Naturvårdsverket, Skogsstyrelsen, Havs- och vattenmyndigheten, Luftförorenings- och klimatsektariatet 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 Krondroppsnätets nedfalls- och markvattenkemimätningar.

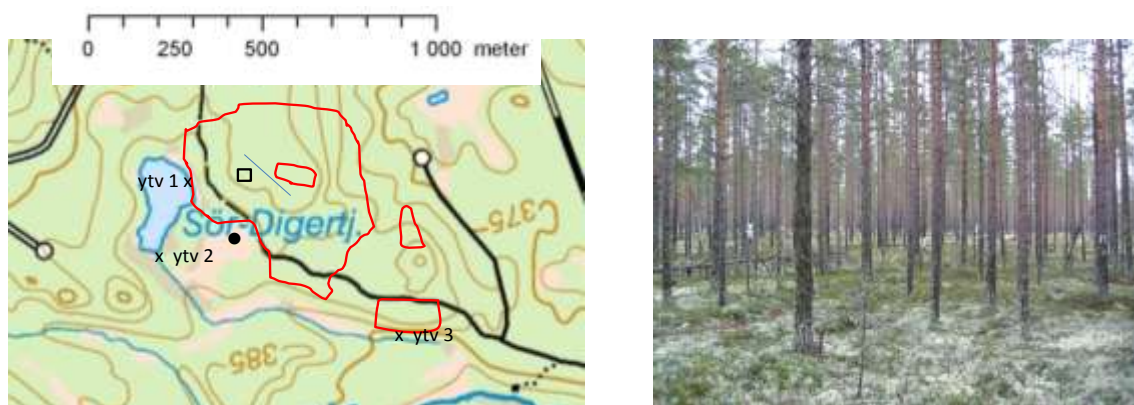
***Seminarium på KSLA om skogsbruk i ett förändrat klimat.*** Den 16 oktober 2013 arrangerades ett seminarium på KSLA i Stockholm, "Skogsbruk i ett förändrat klimat – Hur påverkas mångfald och miljö?". Arrangörer var forskningsprogrammen BECC, Mistra-SWECIA och CLEO tillsammans med KSLA. Data från Krondroppsnätet 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

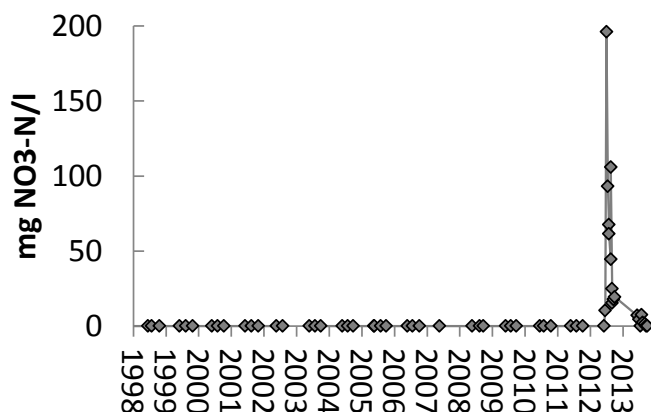
Ökad kvävegödsling är ett sätt att öka tillväxten i den svenska skogen. Skogsstyrelsen ser för närvarande över sina allmänna råd vad gäller kvävegödsel på skogsmark. I norra Sverige är det tillåtet att kvävegödsla skogsmarken 2 alternativt 3 gånger med 150 kg N per skogsgeneration. Kvävegödsling av skogsmark 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 Krondroppsnetet 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 krondroppsytorna, 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 krondroppsytorna 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. Krondroppsnetets 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 krondroppsytta vid Västra Torup i

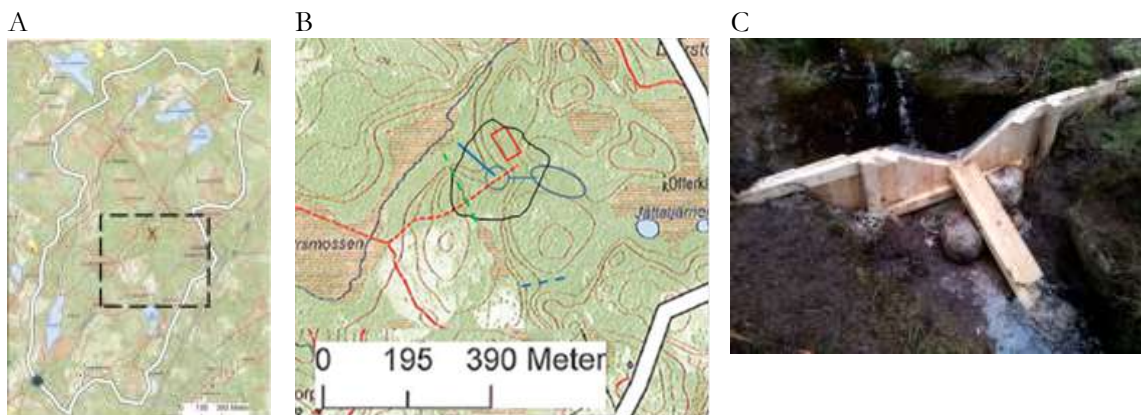
Skåne (Zanchi m.fl., 2014), kommer att jämföras med modellresultat från den närliggande nystartade ytan Hissmossa. Båda är granskogar, men markvattenkemin skiljer sig mycket åt. I Västra Torup var nitratkvävehalterna mycket låga ända tills skogen avverkades, medan halterna i Hissmossa har varit förhöjda 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 depositionsscenarier. 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 slutningen 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

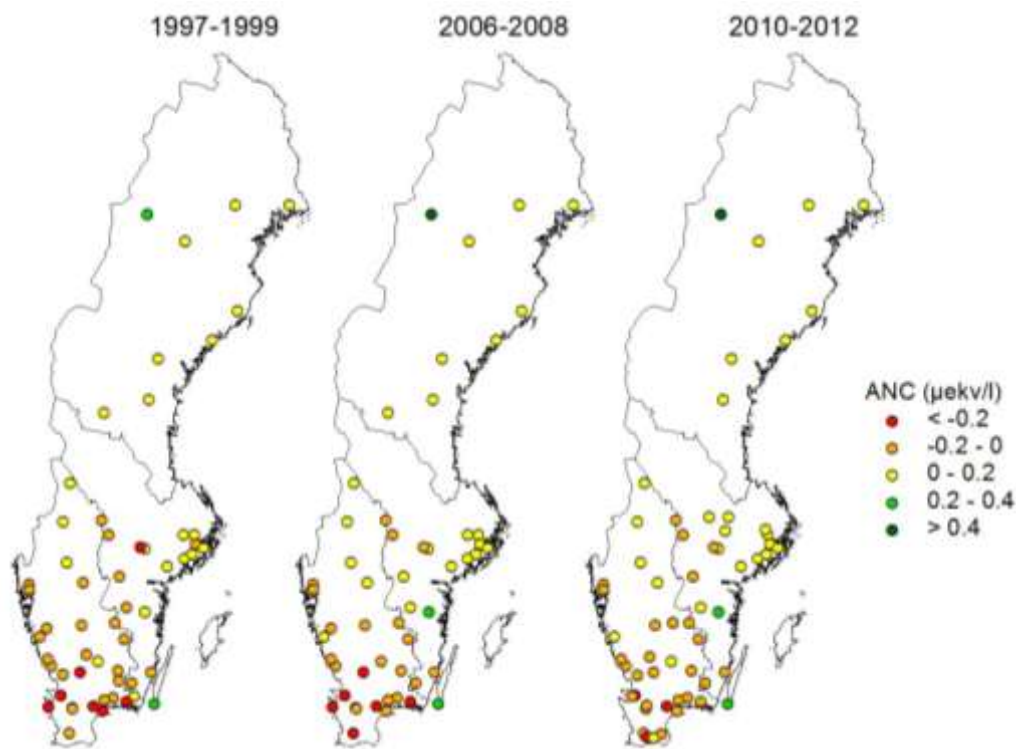
Under 2014 pågår arbete med fördjupade utvärderingar av de 16 miljö kvalitetsmålen. Utvärderingarna ska vara klara 1 september 2015. Data från krondroppsytorna används i flera sammanhang i arbetet med att ta fram underlag för miljö kvalitetsmålet *Bara naturlig försurning*.

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

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

*skogsmark*. Krondroppsnetets projektledningsteam förespråkar att indikatorformuleringen ändras så att även markvattenkemi, från Krondroppsnetet, 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*.



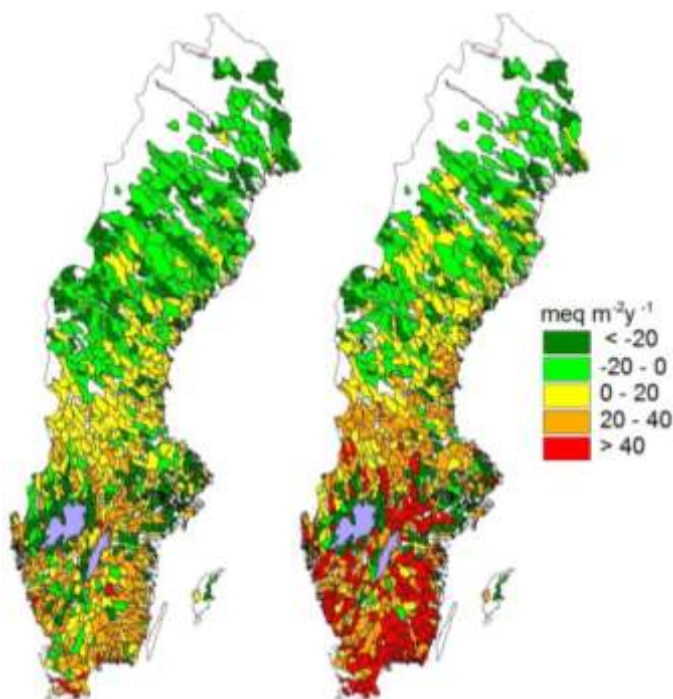
**Figur 20.** ANC i markvatten på 50 cm djup på krondroppsytor, medianvärde för varje yta från tre olika treårsperioder. Gränserna för de tre försurningsregionerna är utmärkta på kartan.

#### **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 heltträdsuttag, 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 Krondropps nätet.

## 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 Krondropps nätet 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 utbytbar 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 ( $\text{NO}_3$ , leach) varje år.

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

iv) huvudindikatorn näringsämnesbalans i blad och barr ( $\text{N/P}$ ,  $\text{N/K}$ ,  $\text{N/Mg}$ ) 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 ( $\text{NO}_3$ , leach) antar vi att man här syftar på halterna av  $\text{NO}_3$  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.

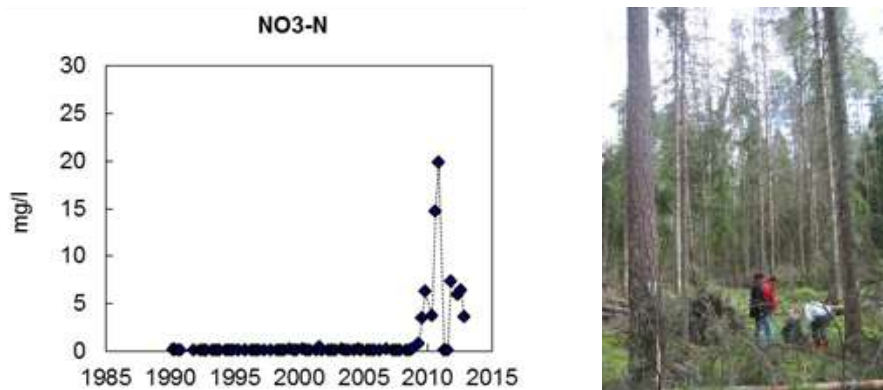
#### *Detaljerade massbalansberäkningar*

Inom CLEO har massbalansberäkningar för baskatjoner och kväve gjorts i nationell skala, med 2000 sammanslagna delavrinningsområden (SMED-områden; [www.smed.se](http://www.smed.se)) som bas. Detta ska kompletteras med beräkningar på krondroppsytor, där mycket mer detaljerade data finns att tillgå. Olika scenarier för biomassa-uttag 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 CO<sub>2</sub>. 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 nätet 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 trädutväxten förhoppningsvis att påvisas tillsammans med inverkan från alla övriga faktorer.

## 8. Krondroppsnetets webbplats

Krondroppsnetets webbplats ([www.ivl.krondroppsnetet.se](http://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, O<sub>3</sub>) and PM. Norwegian Meteorological Institute, Data Note 2011, ISSN 1890-0003.
- Fölster, J. and S. Valinia (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.
- Hansen, K., Pihl Karlsson, G., Ferm, M., Karlsson, P.E., Bennet<sup>1</sup>, C., Granat, L., Kronnäs, V., von Brömssen, C., Engardt, M., Akselsson, C., Simpson, D., Hellsten, S. & Svensson, A. 2013. Trender i kvävedeposition över Sverige 1955-2011. IVL Rapport B 2119.
- IVL, 2013. Opublicerat.
- Karlsson, P.E., Örländer, 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 i Västmanlands län

Nedan presenteras årets mätningar vid länets tre lokaler tillsammans med tidigare års mätningar. Förutom länets mätplatser visas även data från en tallyta, Knutsta, som ligger i nordvästra delen av Södermanlands län (markerad med en stjärna i kartan nedan). För deposition redovisas data som årssumma för hydrologiskt år. För markvattendata visas mätningar för de senaste tre åren. Lufthaltsmätningar visas som hydrologiskt år samt för NH<sub>3</sub> som sommarhalvårsmedelvärde. De tre markvattenprovtagningarna som genomförs varje kalenderår avses representera förhållandena före, under samt efter vegetationsperioden.



I Västmanlands län fanns under 2012/13 tre aktiva lokaler inom Krondroppsnetet (Tabell B1:1). Vid Hyttskogen genomförs nedfalls-mätningar på öppet fält och i skogen som krondropp samt mätningar av markvattenkemi. Vid Hjälmarsberg, strax bredvid Kvisterhult, genomförs lufthaltsmätningar sedan 2012 då de flyttades från Kvisterhult. Vid Hyttskogen genomförs nedfallsmätningar i skogen som krondropp samt mätningar av markvattenkemi. Mätningarna vid Kvisterhult påbörjades 1993. Dessutom visas med en stjärna en närliggande lokal Knutsta, en tallyta i nordvästra Södermanlands län.

Tabell B1:1. Aktiva ytor i Västmanlands län.

Lokal	Dominerande trädslag	Öppet fält	Krondropp	Markvatten	Lufthalter			
					SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>
Kvisterhult (U 04)	Gran	X	X	X				
Hyttskogen (U 06)	Gran		X	X		X		*
Hjälmarsberg (U 09)					X	X	X	*

\*Ingår i Ozonmättnätet i södra Sverige från och med 2009.

Undersökningarna i Västmanland län är resultat av ett lagarbete där provtagning utförts av Kjell Eklund och Lars Gullberg. På IVL har K. Koos och Paula 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.

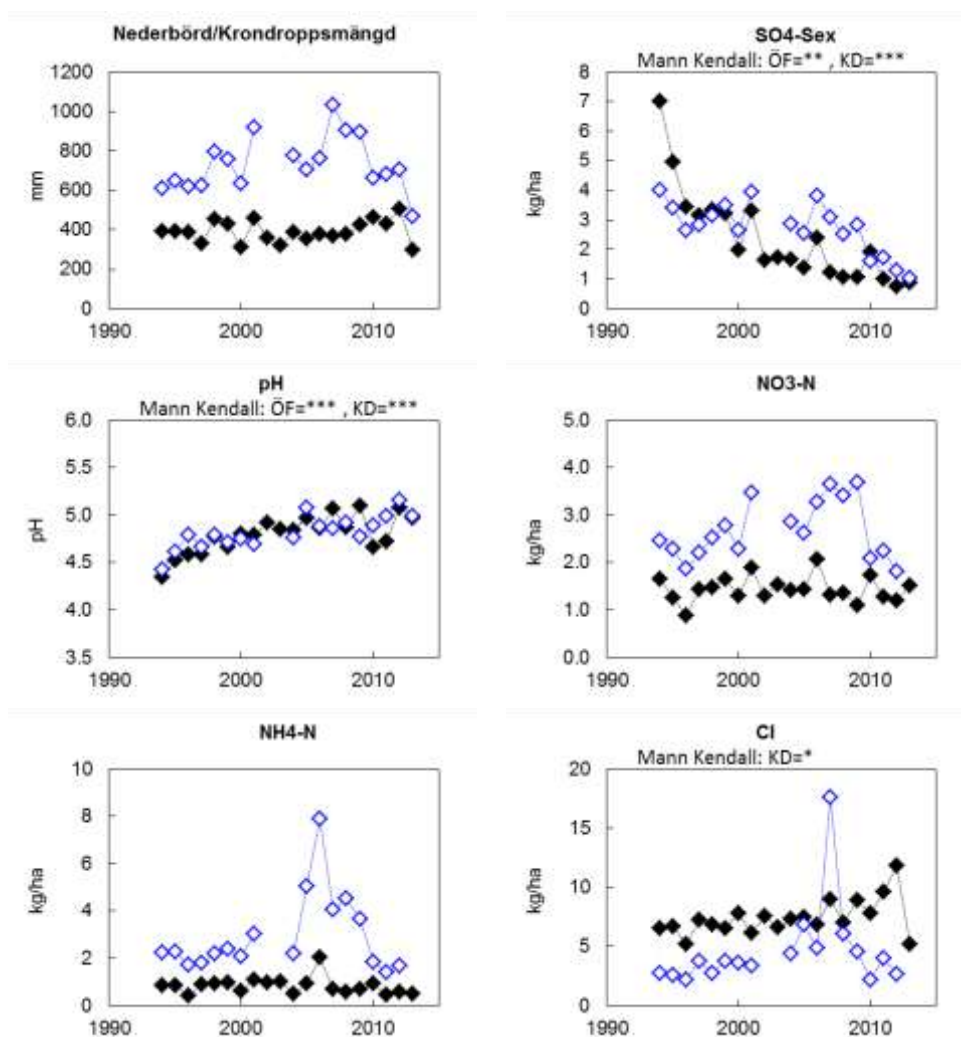
**Kvisterhult (U 04):** Yta med 91-årig granskog med inslag av tall och med ståndortsindex G28 på finkornig moränmark, där mätningarna startade 1993. Jordmånen är järnpodsol. Vid Kvisterhult finns det knappt något fåltlager, men det förekommer bl.a. ekorrhävar, skogsstjärna, hundäxing och vårfryle. Utanför ytan förekommer fläckvis täckande blåbärsris.



Foto från krondroppsmätningarna vid Kvisterhult.

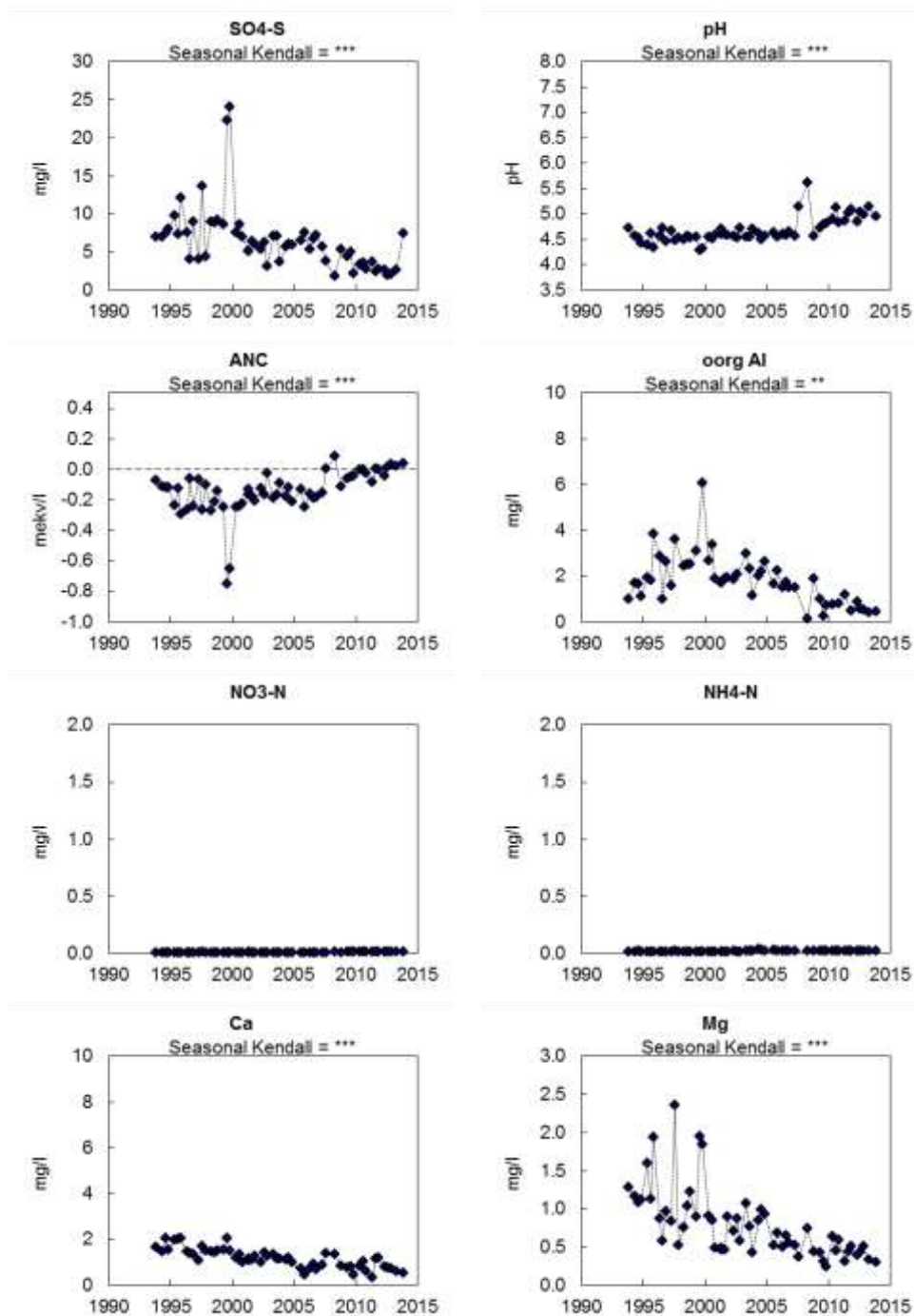


Foto från mätningarna över öppet fält vid Kvisterhult.



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

**Figur B1:2.** Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen i krondropp och över öppet fält vid **Kvisterhult, U 04**. 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 (SO<sub>4</sub>-S ex); pH; nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N); ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N) och kloridjoner (Cl<sup>-</sup>). 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.

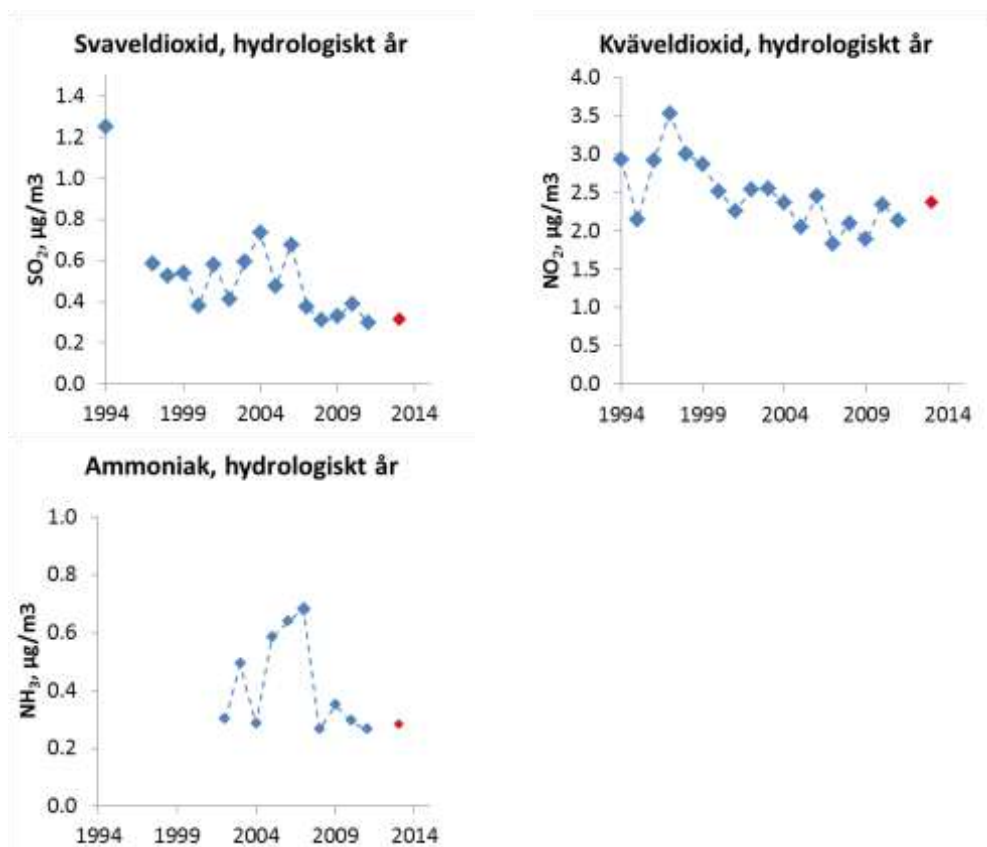


**Figur B1.3.** Markvattenkemi vid **Kvisterhult, U 04**: sulfatsvavel ( $\text{SO}_4\text{-S}$ ); pH; markvattnets syra-neutraliserande förmåga (ANC); oorganiskt aluminium (oorg Al); nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ); ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ); kalciumhalt ( $\text{Ca}^{2+}$ ) och magnesiumhalt ( $\text{Mg}^{2+}$ ). 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.

**Hjälmarsberg (U 09):** Lokal för lufthaltsmätningar som flyttades från Kvisterhult i januari 2012. Mätstationen, som används även inom Ozonmättnätet i södra Sverige, ligger nära Kvisterhult.



Foto från lufthaltsmätningarna vid Hjälmarsberg.



**Figur B1:4.** Lufthalter vid **Hjälmarsberg (U 09)** (röd markering) och **Kvisterhult (U 04)** (blå markering). Värden anges för svaveldioxid (SO<sub>2</sub>), kvävedioxid (NO<sub>2</sub>) och ammoniak (NH<sub>3</sub>). Vid Hjälmarsberg/Kvisterhult mäts även ozon som redovisas inom Ozonmättnätet i södra Sverige.



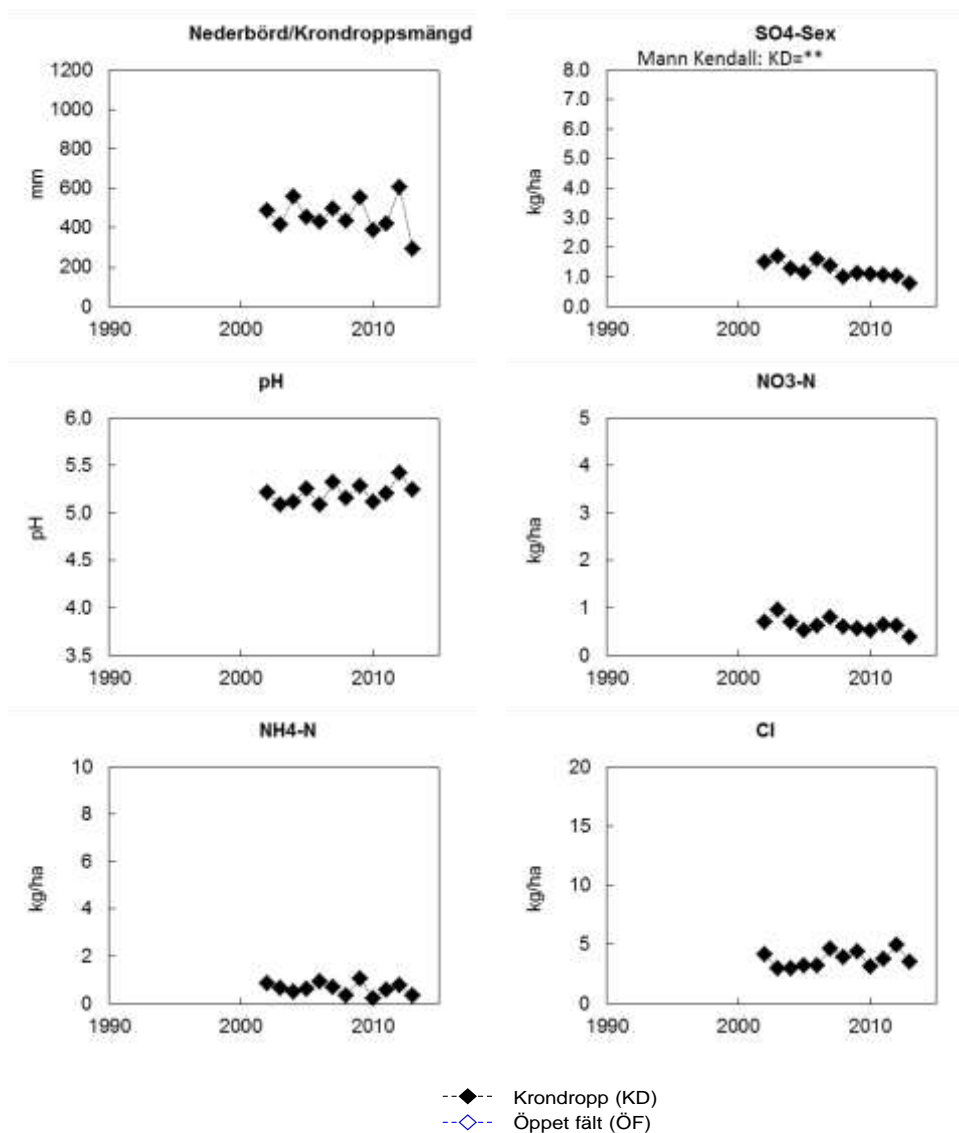
**Hyttskogen (U 06):** 55-årig granskog med visst inslag av tall och björk strax nordväst om Sala. Ståndortsindex är G22. Markvegetationen domineras av mossa (husmossa, väggmossa och kammossa). Jordmånen är järnpodsol och ytan är belägen i ett moränområde. Denna marktyp är länets vanligaste skogsmarkstyp. Krondropps- och markvattenmätningar startade i oktober 2001. Mätningar av lufthalter startade i juni 2003 och utförs 0,5 km norr om Hyttskogen.



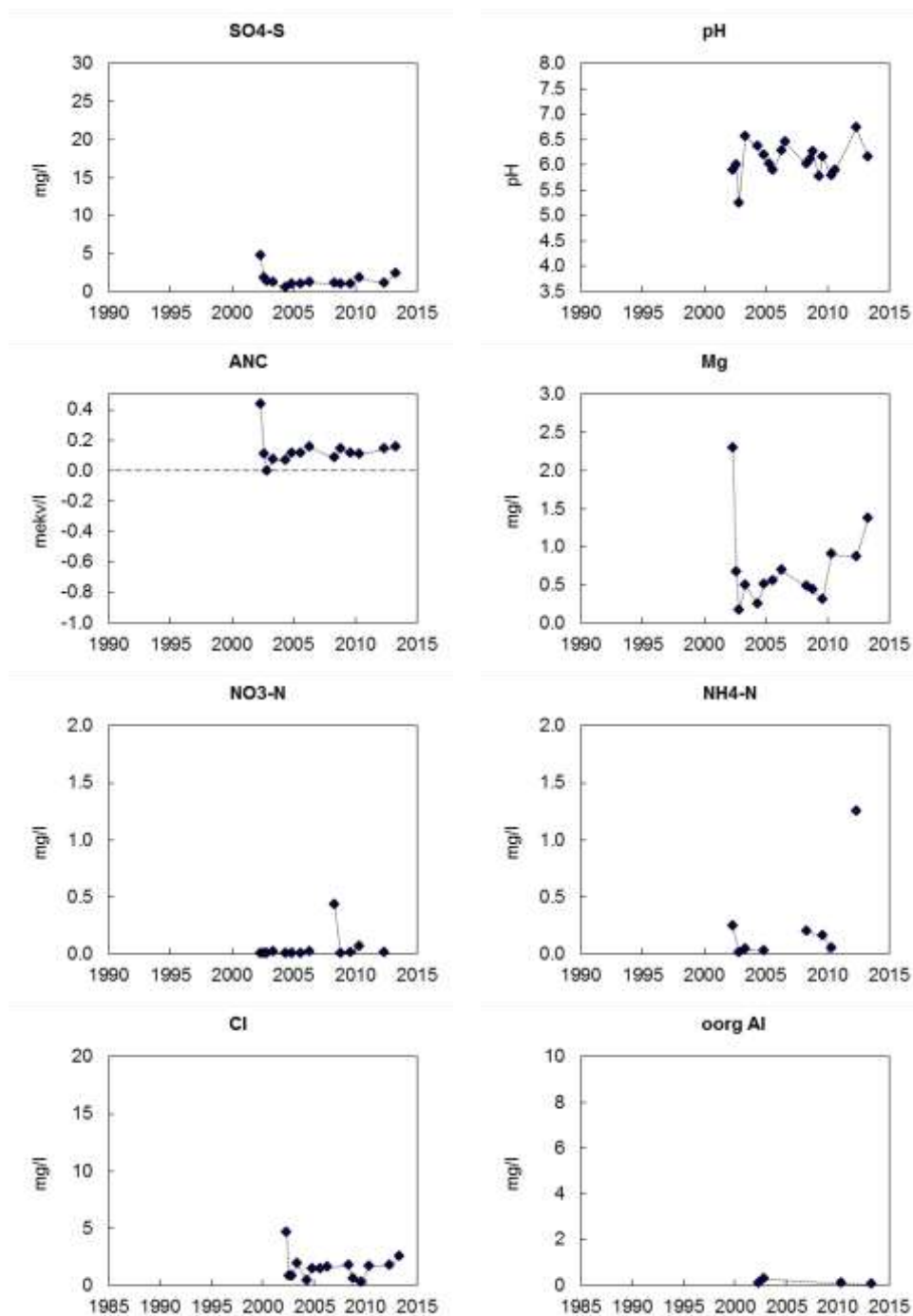
Foto från krondroppsytan vid Hyttskogen.



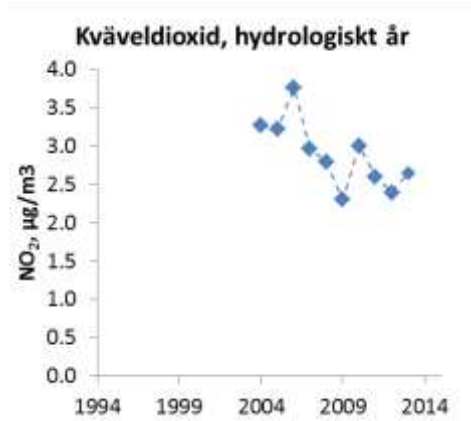
Foto från lufthaltsmätningarna vid Hyttskogen.



**Figur B1:5.** Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen i krondropp och över öppet fält vid Hyttskogen, U 06. 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 (SO<sub>4</sub>-S ex); pH; nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N); ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-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 B1:6.** Markvattenkemi vid Hyttskogen, U 06: sulfatsvavel ( $\text{SO}_4\text{-S}$ ); pH; markvattnets syra-neutraliserande förmåga (ANC); magnesiumhalt ( $\text{Mg}^{2+}$ ); nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ); ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ); klorid (Cl) och oorganiskt aluminium (oorg Al). 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.

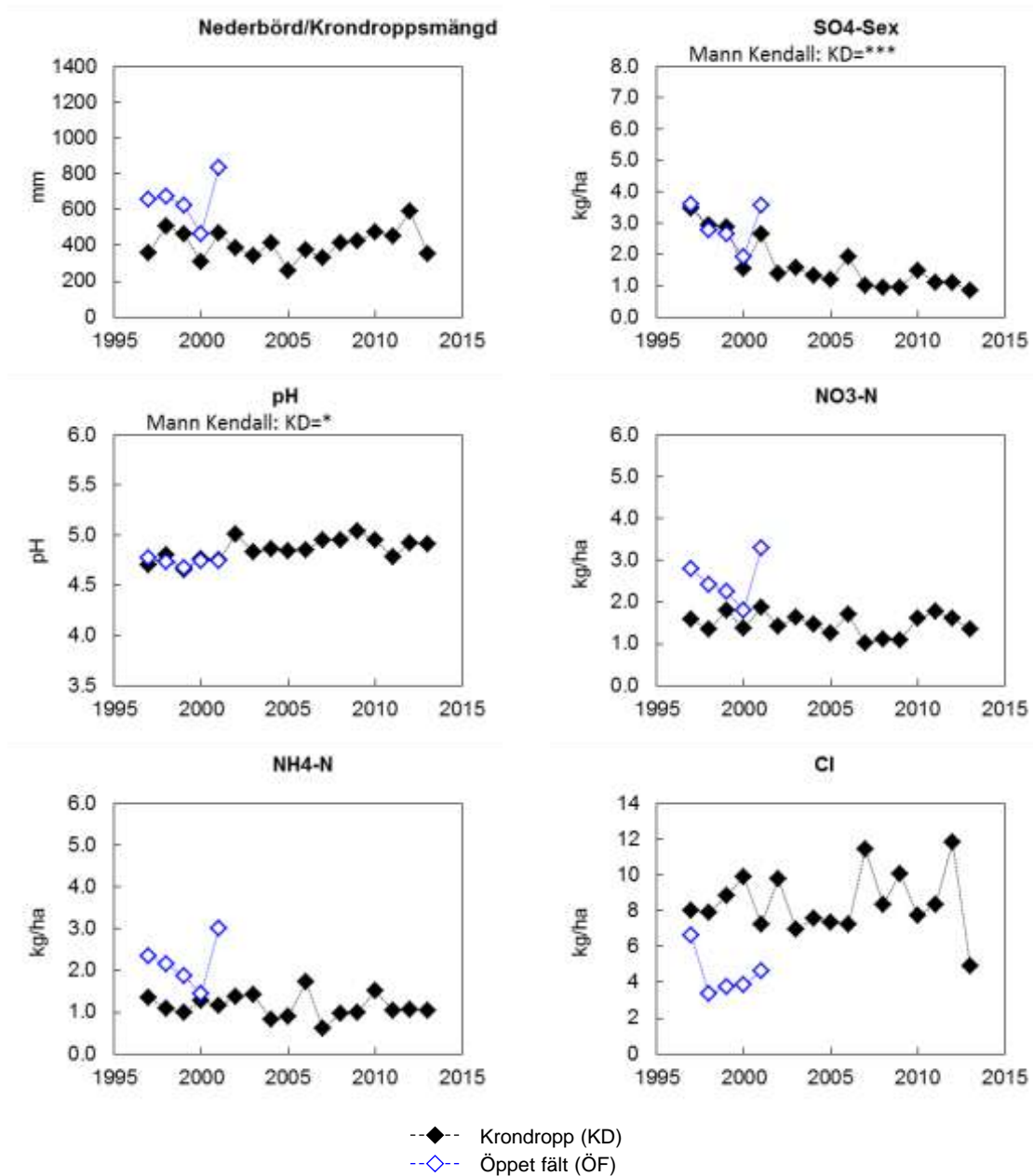


**Figur B1:7.** Lufthalter vid **Hyttskogen (U 06)**. Värden anges för kvävedioxid (NO<sub>2</sub>). Vid Hyttskogen mäts även ozon som redovisas inom Ozonmättnätet i södra Sverige.

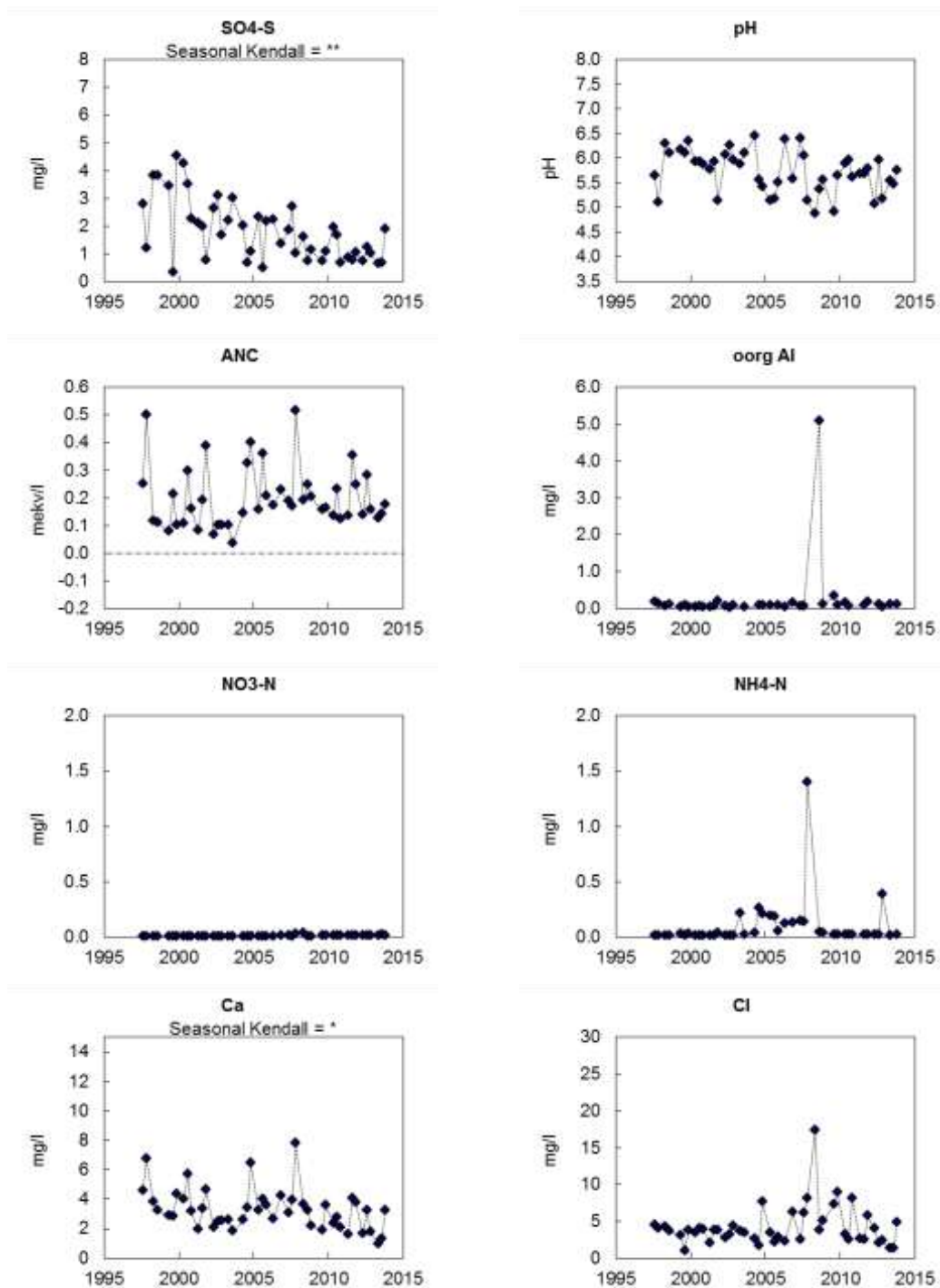
**SÖDERMANLANDS LÄN, Knutsta, Öja socken (D 14):** 80-årig tallskogsyta med viss inblandning av gran. Lokalen ligger på slutningen av en rullstensås och har ett fältskikt av blåbär. Markfuktigheten är frisk, jordmånen är järnpodsol och jordarten isälvs-sand. Från och med december 2001 mäts enbart deposition via krondropp samt markvattenkemi i skogsytan.



Foto från krondroppsytan i Knutsta.



**Figur B1:8.** Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Knutsta, D 14**, i Södermanlands län. 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 (SO<sub>4</sub>-S ex); pH; nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N); ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-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. Observera att olika skalor mot lokalerna i Västmanlands län kan förekomma.



**Figur B1:9.** Markvattenkemi vid **Knutsta, D 14**, i Södermanlands län. Sulfatsvavel (SO<sub>4</sub>-S); pH; markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC); oorganiskt aluminium (oorg Al); nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N); ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N); kalciumhalt (Ca<sup>2+</sup>) och 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. Observera att olika skalor mot lokalerna i Västmanlands län kan förekomma.

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

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

Lokal	Period	Nedb	kg/ha →										
			H <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> -S	SO <sub>4</sub> -S <sub>ex</sub>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mn <sup>2+</sup>
Kvisterhult	12/13	467	0,05	1,1	1,0	1,4	1,2	1,6	1,0	0,4	1,4	1,3	0,11
Kvisterhult	2012	772	0,06	1,4	1,3	1,9	1,9	1,7	1,3	0,4	1,7	1,3	0,15

**Tabell B2:2.** Öppet-fältdata från Västmanlands län där organiskt kväve analyserats, hydrologisk årsdeposition samt kalenderårsdeposition. Nederbörd (Nedb) anges i mm/år, övriga parametrar i kg/hektar och år. (oorgN = NO<sub>3</sub>-N + NH<sub>4</sub>-N) och (orgN = Kj-N - NH<sub>4</sub>-N).

Lokal	Period	Nedb	oorg N	
			mm	kg/ha →
Kvisterhult	12/13	467	2,8	0,7
Kvisterhult	2012	772	3,6	0,6

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

Lokal	Period	Nedb	kg/ha →										
			H <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> -S	SO <sub>4</sub> -S <sub>ex</sub>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mn <sup>2+</sup>
Kvisterhult	12/13	296	0,03	1,1	0,9	5,2	1,5	0,5	2,3	1,0	2,4	8,2	0,69
Hyttskogen	12/13	294	0,02	1,0	0,8	3,5	0,4	0,3					
Kvisterhult	2012	506	0,04	1,2	0,9	6,9	1,3	0,6	2,3	0,9	3,4	9,5	0,64
Hyttskogen	2012	522	0,02	1,0	0,8	3,9	0,4	0,7					

**Tabell B2:4.** Krondroppsdata från Västmanlands 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 = NO<sub>3</sub>-N + NH<sub>4</sub>-N) och (orgN = Kj-N - NH<sub>4</sub>-N).

Lokal	Period	Nedb	oorg N	
			mm	kg/ha →
Kvisterhult	12/13	296	2,0	1,6
Hyttskogen	12/13	294	0,7	
Kvisterhult	2012	506	2,0	1,9
Hyttskogen	2012	522	1,2	



**Tabell B2:5.** Lufthalter årsmedelvärden samt sommarhalvårsmedelvärden i Västmanlands län, diffusionsprovtagning,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ozonmätningarna ingår i "Ozonmättnätet i södra Sverige".

<b>Lokal</b>	<b>Period</b>	<b>SO<sub>2</sub></b> ug/m <sup>3</sup>	<b>NO<sub>2</sub></b> ug/m <sup>3</sup>	<b>NH<sub>3</sub></b> ug/m <sup>3</sup>	<b>O<sub>3</sub></b> ug/m <sup>3</sup>
Hyttskogen (U 06 A)					
<b>Mv hydr. år</b>	<b>1210-1309</b>	-	<b>2,7</b>	-	-
<b>Mv kal. år</b>	<b>1201-1212</b>	-	<b>2,6</b>	-	-
<b>Mv sommar</b>	<b>1304-1309</b>	-	-	-	<b>57</b>
Hjälmarsberg (U 09 A)					
<b>Mv hydr. år</b>	<b>1210-1309</b>	<b>0,3</b>	<b>2,4</b>	-	-
<b>Mv kal. år</b>	<b>1201-1212</b>	<b>0,3</b>	<b>2,3</b>	-	-
<b>Mv sommar</b>	<b>1304-1309</b>	-	-	<b>0,4</b>	<b>64</b>

**Tabell B2:6.** Markvattendata från Västmanlands län. Mätningar efter vegetationssäsongen 2012 samt före, under samt efter vegetationssäsongen 2013. Median beräknad för de senaste tre åren. n = antalet mätvärden som använts i medianvärdet.

Lokal	Datum	pH	Alk	ANC	SO <sub>4</sub> -S	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+/3+</sup>	ooAl	tAl	TOC	BC/ooAl
			mekv/l →	mg/l →														
Kvisterhult (U 04 A)	2012-10-29	5,0	-	0,027	1,93	5,02	<0,010	<0,030	0,70	0,50	4,78	0,21	0,045	0,027	0,476	0,969	9,0	2,5
	2013-04-29	5,1	-	0,016	2,53	1,97	<0,010	<0,030	0,59	0,33	3,88	0,21	0,032	0,024	0,370	0,690	6,9	2,4
	2013-08-26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2013-11-06	4,9	-	0,037	7,38	18,27	0,010	<0,030	0,51	0,29	22,07	0,13	0,068	0,013	0,410	0,720	-	1,8
	<b>median</b>	<b>5,0</b>		<b>0,006</b>	<b>2,56</b>	<b>4,66</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>&lt;0,03</b>	<b>0,71</b>	<b>0,4</b>	<b>4,57</b>	<b>0,21</b>	<b>0,044</b>	<b>0,021</b>	<b>0,476</b>	<b>0,918</b>	<b>7,8</b>	<b>2,1</b>
<i>n</i> =	8		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	5	7
Hyttskogen (U 06 A)	2012-10-29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2013-04-29	6,1	0,076	0,154	2,27	2,49	0,262	0,094	2,31	1,36	3,17	0,77	0,039	0,051	0,040	0,240	10,4	90
	2013-08-26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2013-11-14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>median</b>	<b>6,4</b>		<b>0,148</b>	<b>1,63</b>	<b>2,08</b>	<b>0,134</b>	<b>0,672</b>	<b>1,76</b>	<b>1,11</b>	<b>2,67</b>	<b>0,91</b>	<b>0,027</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,14</b>	<b>10,4</b>	<b>90</b>
<i>n</i> =	2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	

