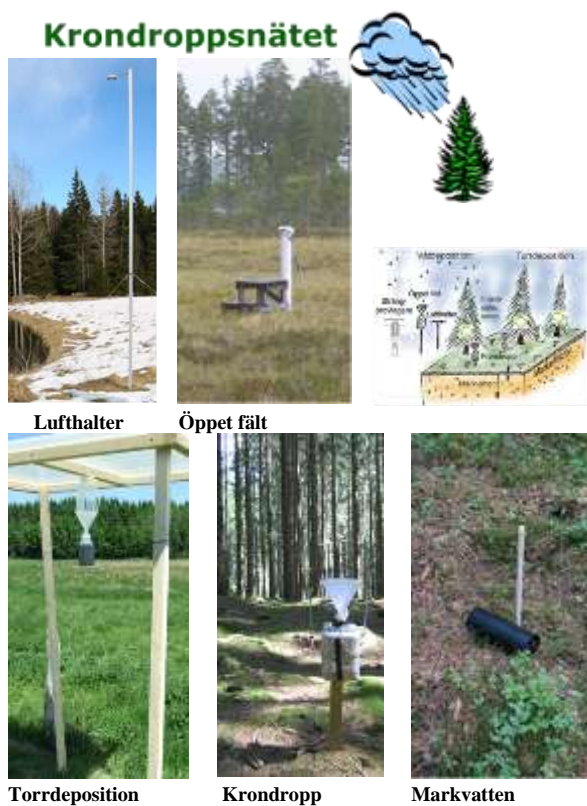


För Värmlands läns Luftvårdsförbund

Tillståndet i skogsmiljön i Värmlands län

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



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

B 2170

Juni 2014

¹⁾ Lunds universitet

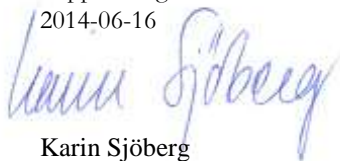
Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB	Rapportsammanfattning
Adress Box 53021 400 14 Göteborg	Projekttitel Krondropps nätet 2013
Telefonnr 031-725 62 00	Anslagsgivare för projektet Värmlands läns Luftvårdsförbund
Rapportförfattare Gunilla Pihl Karlsson, Cecilia Akselsson, Sofie Hellsten & Per Erik Karlsson	
Rapporttitel och undertitel Tillståndet i skogsmiljön i Värmlands län - Resultat från Krondropps nätet t.o.m. september 2013	
Sammanfattning: I denna rapport redovisas resultaten från mätningar inom Krondropps nätet i Värmlands län under perioden från oktober 2012 till september 2013 och relateras till tidigare års mätningar. Vidare redovisas andra aktiviteter med anknytning till Krondropps nätet. Andelen försurade sjöar (större än 1 ha och inkluderande försurade kalkade sjöar) beräknades år 2010 till 36 % för Värmlands län, vilket kan jämföras med ett medelvärde för landet som helhet på 10 %. 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. Lufthalterna av SO ₂ i länet, liksom nedfallet av svavel till skogen, har minskat i takt med minskade utsläpp i Sverige och i Europa. Generellt pågår i länets granskogar en återhämtning från försurning i markvattnet. Vid vissa platser, särskilt på senare år, går utvecklingen dock åt fel håll, där vissa indikatorer för försurning försämras. I länets östra delar kan det finnas försurningsproblem även i tallskog. Vid Blåbärskullen i mellersta Värmland har kvävenedfallet med nederbörden minskat signifikant. Detta är en av få lokaler i Sverige som visar på en minskning av kvävenedfallet. Det totala kvävenedfallet till granskogen ligger runt 5-6 kg N/ ha/ år, vilket i viss utsträckning överskrider kritiskt belastningen för skogsmarken i Sverige, 5 kg N/ha/år. Dock uppträder relativt sällan förhöjda nitrathalter i markvattnet i växande skog inom länet. Aspekter kring skogsbrukets försurande inverkan, kvävegödsling av skogsmark, fördjupad utvärdering av miljömålet samt EU:s luftvårdspolitik diskuteras också i rapporten.	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Deposition, svavel, kväve, skogsytor, försurning, övergödning, krondropp, markvatten, lufthalter, Värmlands län	
Bibliografiska uppgifter: IVL Rapport B 2170	
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 Värmlands län – en översikt.....	7
3.1.	Försurningen av skogsmarken	7
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.....	52

Rapporten godkänd

2014-06-16



Karin Sjöberg
Enhetschef

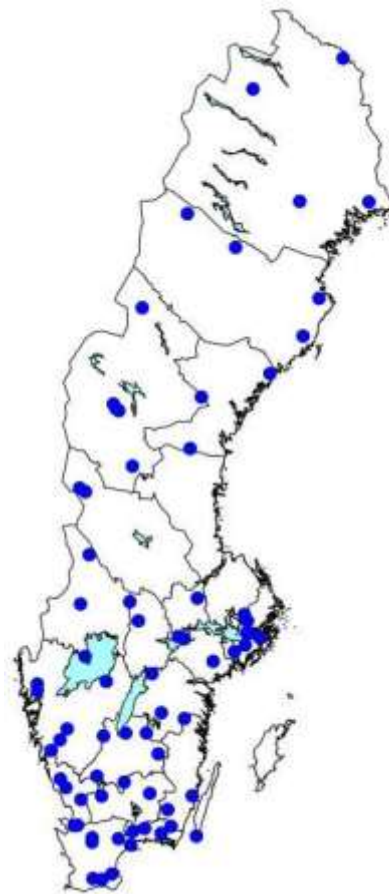
1. Inledning

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.



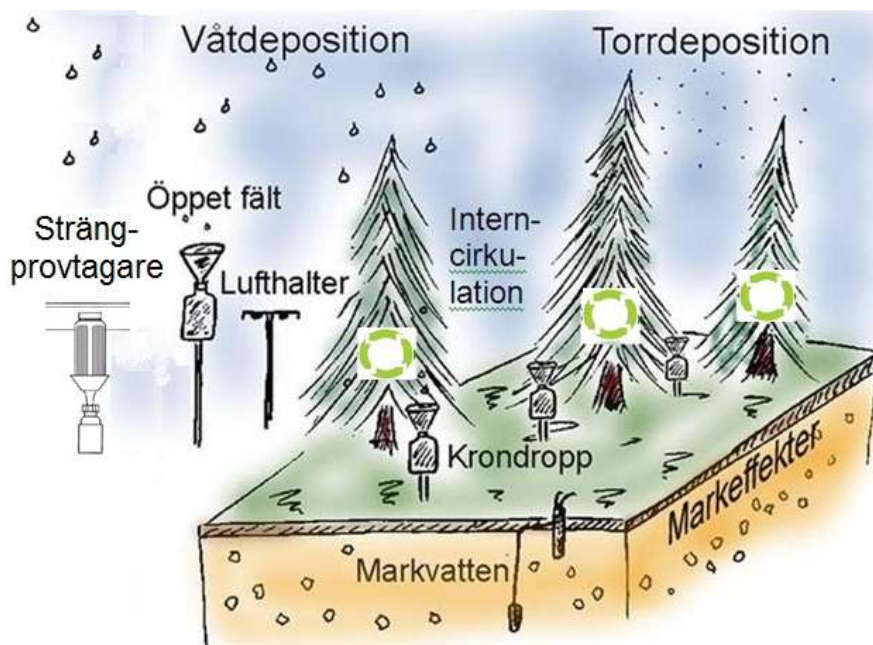
Figur 2. Mätplatser inom Krondroppsnetet i Värmlands län, Södra Averstad (granskog), Blåbärskullen (granskog) och Transtrandsberget (granskog). Dessutom visas den närliggande lokalen Öringen (tallskog) i norra Örebro län, markerat med en stjärna i kartan till vänster.

Värmlands län ligger utmed en ganska skarp luftföroreningsgradient, där de sydligaste delarna har tagit emot nedfall av samma storleksordning som i delar av Götaland, medan nedfallet i de nordliga delarna varit mer jämförbart med nedfallet i norra halvan av Sverige. Den sydligaste ytan, Södra Averstad, är extra exponerad på grund av läget vid Vänern, Figur 2.

I denna rapport redovisas resultaten från mätningar under perioden januari 2012 till september 2013 och 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 Värmlands 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 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 Värmlands län – en översikt

Skogsmark, vattendrag och sjöar i Värmlands län påverkas fortfarande av atmosfäriskt nedfall. Andelen försurade sjöar (större än 1 ha och inkluderande försurade kalkade sjöar) beräknades år 2010 till 36 % för Värmlands län, vilket kan jämföras med ett medelvärde för landet som helhet på 10 %. Försurningspåverkan kommer sannolikt inte att försvinna inom en översiktlig framtid och det finns risk för att sjöar kan återförsuras. Det finns även övergödningssproblematik i de södra delarna av Värmlands län. Det mesta av övergödningen orsakas av jordbruk och enskilda avlopp, men även det atmosfäriska nedfallet kan spela roll.

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. Lufthalterna av SO₂ i länet, liksom nedfallet av svavel till skogen, har minskat i takt med minskade utsläpp i Sverige och i Europa. Generellt pågår i länets granskogar en återhämtning från försurning i markvattnet. Vid vissa platser, särskilt på senare år, går utvecklingen dock åt fel håll, där vissa indikatorer för försurning försämras. I länets östra delar kan det finnas försurningsproblem även i tallskog.

Vid Blåbärskullen i mellersta Värmland har kvävenedfallet med nederbörden minskat signifikant. Detta är en av få lokaler i Sverige som visar på en minskning av kvävenedfallet. Det totala kvävenedfallet till granskogen ligger runt 5-6 kg N/ ha/ år, vilket i viss utsträckning överskrider kritiskt belastningen för skogsmarken i Sverige, 5 kg N/ha/år. Dock uppträder relativt sällan förhöjda nitrathalter i markvattnet i växande skog inom länet.

3.1. Försurningen av skogsmarken

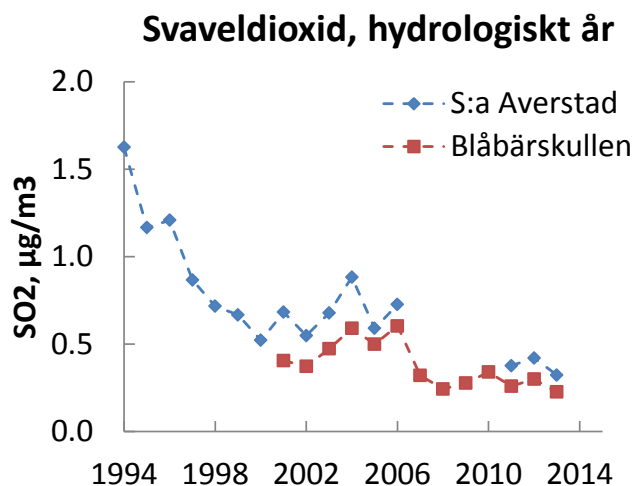
Den regionala miljömålsutvärderingen i länet visar att det inte är möjligt att nå målet *Bara naturlig försurning* till 2020, och sammanfattas enligt följande: ”I väntan på att naturens buffringskapacitet har återuppbyggt är det av största vikt att de åtgärder som görs idag fortsätter för att upprätthålla en acceptabel levnadsmiljö för växter och djur”. Berggrundens svaga buffringsförmåga, i kombination med kvarvarande atmosfäriska nedfall av svavel och kväve samt skogsbrukets försurande inverkan, medför att försurningspåverkan inte kommer att försvinna inom en översiktlig framtid och det finns risk för att vissa sjöar t.o.m. kan återförsuras (Kronnäs & Moldan, 2007).

Nedan beskrivs emissioner, lufthalter och nedfall av svavel i Värmlands län från Krondroppsnätets mätningar, relaterat till svavelemissionerna, följt av två avsnitt om ”Försurningseffekter i markvattnet” respektive ”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 Södra Averstad representerar en av de längsta mätserierna som finns inom Krondroppsnetet (Figur 4). Lufthalterna av SO₂ vid Södra Averstad låg under början av 1990-talet nästan i nivå med motsvarande halter vid de mest förorenade platserna i Skåne (Vavihill) och på västkusten (Råö) (Sjöberg m fl., 2013). Lufthaltsmätningarna av SO₂ började något senare vid Blåbärskullen och halterna ligger något lägre jämfört med Södra Averstad (Figur 4).

De rapporterade, samlade svavelutsläppen från Europa har minskat med mer än 80 % sedan 1990 (EMEP, 2011, gäller utsläppen från EU27, internationell fartygstrafik ej inkluderat). Lufthalterna av SO₂ vid de två nu aktiva mätplatserna Södra Averstad och Blåbärskullen har minskat i takt med minskningen av svavelutsläppen från Europa, med runt -5 % årligen. Nedgången är statistiskt säkerställd vid båda mätplatserna.

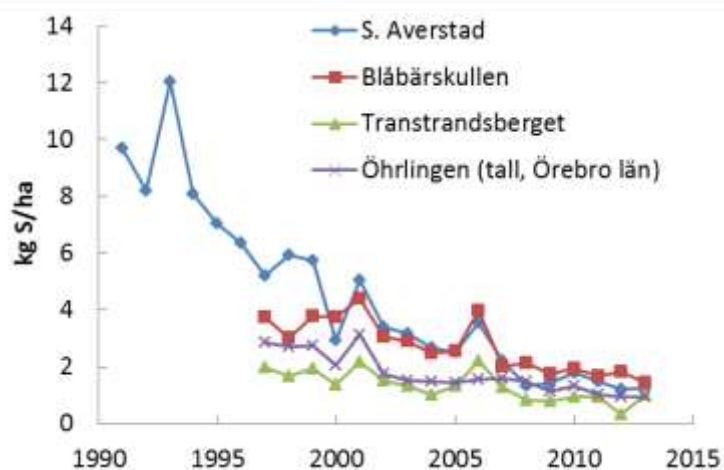


Figur 4. Årliga medelhalter av svaveldioxid (SO₂) i luft vid två platser inom Värmlands län med aktiva mätningar. Lufthalterna mäts månadsvis med diffusiva provtagare placerade 3 m över mark och medelvärde har beräknats för hydrologiska år (okt-sept). Nedgången av lufthalterna är statistiskt säkerställd både vid Södra Averstad och vid Blåbärskullen.

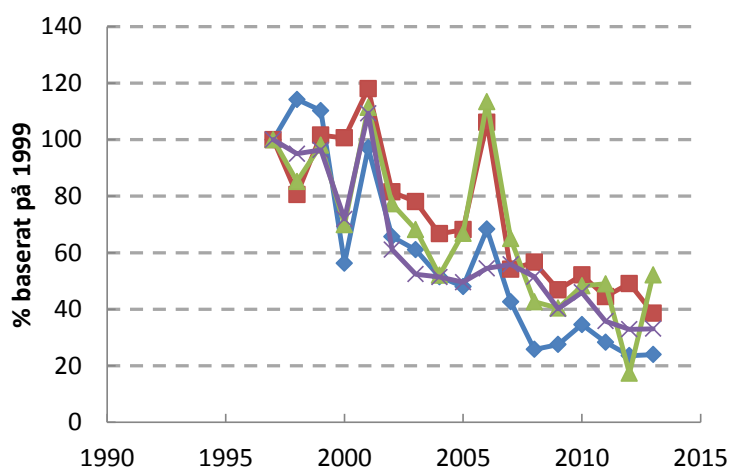
Atmosfäriskt nedfall mäts inom länet vid tre platser med granskog, i en nord-sydlig gradient, med Södra Averstad på Värmlandsnäs längst i söder, Blåbärsskogen i länets centrala del strax väster om Sunne samt Transtrandsberget i den norra delen. För att få en uppfattning om det atmosfäriska nedfallet till tallskog och dess effekter på markvattnet används i denna rapport mätningarna vid Örlingen, beläget i Örebro län strax norr om Hällefors endast någon kilometer från gränsen till Värmland.

Svavelnedfallet till granskogen vid Södra Averstad har sedan 1991 minskat med 87 % (Figur 5). Mätserierna är kortare för de två övriga mätplatserna med gran i länet, samt den närliggande tallskogen vid Örlingen i Örebro län, men svavelnedfallet har vid dessa platser sedan 1997 minskat i storleksordningen 50 % - 80 % (Figur 5). I stort sett har svavelnedfallet till skogen i Värmlands län minskat i samma utsträckning som minskningen av de samlade svavelutsläppen i Europa.

A



B



Figur 5. Årliga värden för nedfall av sulfatsvavel till tre platser med granskog i Värmlands län, samt en närliggande mätplats med tallskog i Örebro län (Örlingen) uppmätt som krondropp, i absoluta tal (A) och som procent utgående från året 1997 (B). Nedfallet i krondropp har mätts månadsvis och summerats för hydrologiskt år (okt-sept).

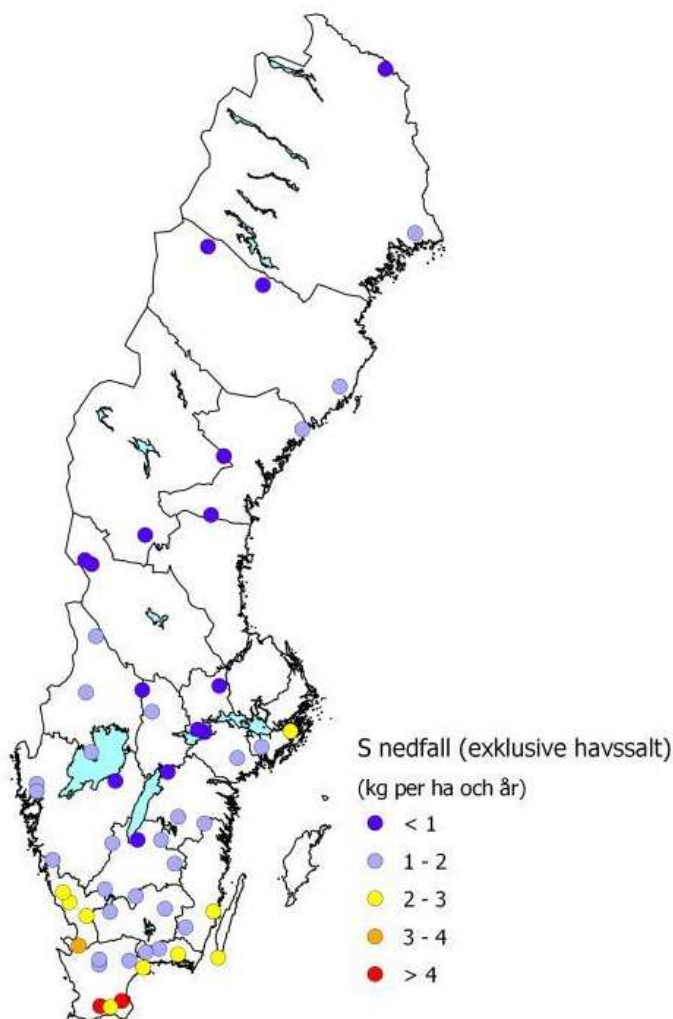
Nedgången i svavel-nedfallet är statistiskt säkerställd vid alla mätplatser.

Det finns en nord-sydlig gradient i försurningsbelastningen i Värmlands län, med högst svavelnedfall vid Södra Averstad och Blåbärskullen och lägst vid Transtrandsberget i den norra delen av länet (Figur 5). Nedfallet till tallskogen strax över gränsen till Örebro län ligger i nivå med nedfallet till granskogen. Svavelnedfallet till länets skogar ligger under de tre senaste hydrologiska åren mellan 0,8 och 1,7 kg S/ha.

Året 2006 var svavelnedfallet vid länets två nordligaste mätplatser Blåbärsskogen och Transtrandsberget på samma nivå som 1997 (Figur 5B). 2006 var ett speciellt år så till vida att stora biomassabränder rasade i Ryssland och angränsande länder (Stohl m.fl., 2007). Ett

högtrycksbetonat väder över Ryssland gjorde att den förorenade luften vid ett flertal tillfällen spreds över norra Europa, vilket bl.a. resulterade i höga lufthalter och nedfall av ammonium över mellersta och norra Skandinavien (Karlsson m.fl., 2013b). Det förhöjda svavelnedfallet över Värmland 2006 skulle kunna ha ett samband med dessa bränder.

Svavelnedfall i krondropp 2012/13 för landet som helhet visas i Figur 6. Gradienten i försurningsproblematiken från sydväst mot nordost framträder tydligt. Prognoser för framtiden tyder på att svavelnedfallet över Sverige kommer att minska ytterligare.



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 alla ger lite olika aspekter på försurningen, såsom pH, syranutraliserande förmåga (ANC) och halter av det toxiska ämnet oorganiskt aluminium (oorg-Al). Bedömningen av vid vilket pH som markvattnet

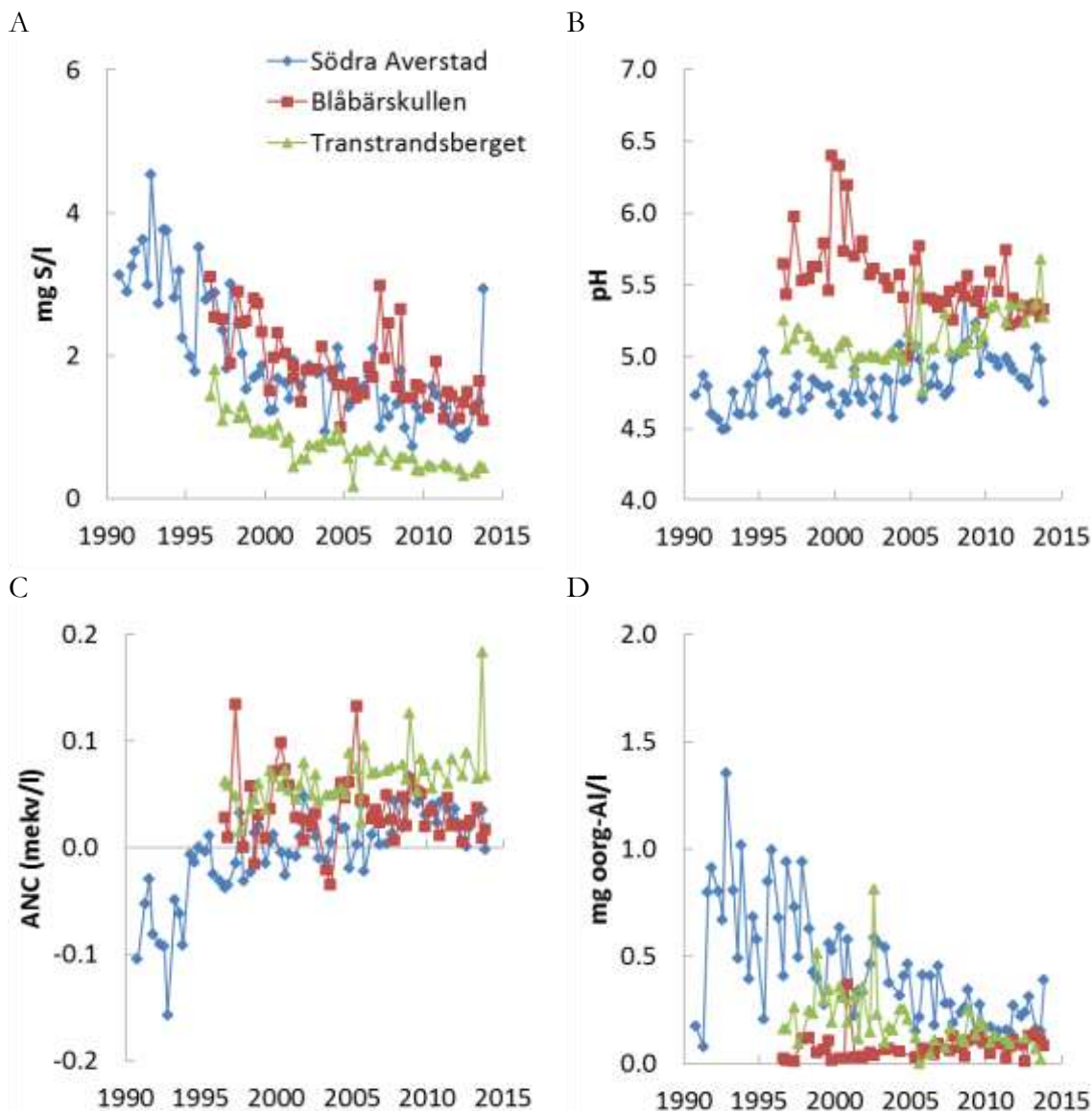
kan anses försurat beror till viss del på vilken berggrund som föreligger i området, halterna av organiska ämnen m.m. Ett pH < 4,5 anses dock i de flesta fall indikera kraftig försurning, medan pH i området 4,5 – 5,0 kan indikera risk för försurning. En annan bedömningsgrund som diskuteras är att värdet för ANC skall vara över noll om markvattnet inte skall anses försurat.

Halterna av sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$) i markvattnet har minskat i ungefär samma utsträckning vid länets alla mätplatser, med ca 60 % sedan mitten av 1990-talet, d.v.s. i samma storleksordning som minskningen av svavelnedfallet.

Bedömningar av försurningstillståndet i markvattnet beror på vilken parameter som används. Vid Södra Averstad visade samtliga indikatorer på ett allvarligt försurningsproblem under 1990-talet med ett pH mellan 4,5 och 5,0, en tydligt negativ syraneutraliserande förmåga (ANC) samt höga halter av oorganiskt aluminium (Figur 7). Sedan 1990-talet har samtliga av dessa försurningsindikatorer förbättrats, men pH har fortfarande ett relativt lågt värde. Dessutom visar värdena sedan några år tillbaka återigen på en försämring, med minskande pH, minskande ANC och ökande halter av oorganiskt aluminium.

Vid Blåbärskullen har indikatorerna för försurning hela tiden visat på relativt bra värden, med pH över 5, ett positivt värde på ANC samt låga halter av oorganiskt aluminium. Ett orosmoment är dock att pH minskar och halterna av oorganiskt aluminium ökar över tid på ett statistiskt säkerställt sätt. Vid Transtrandsberget har försurningsindikatorerna genomgående visat bra värden, förutom möjligen något förhöjda värden av oorganiskt aluminium, och dessa indikatorer visar en utveckling mot fortsatt gynnsamma värden.

Markvattnet vid tallskogen vid Örlingen, strax över gränsen i Örebro län, uppvisar relativt dåliga värden vad gäller indikatorerna för försurning av markvattnet (data visas ej i detalj). Trots en kraftig minskning av svavelnedfallet minskar inte koncentrationerna av sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$) i markvattnet utan ligger sedan 1996 kvar på värden runt 1,5 – 2,0 mg S/l. pH ligger på värden strax under 5, ANC ligger på svagt negativa värden och halterna av oorganiskt aluminium varierar i de flesta fall mellan 0,1 och 0,8 mg/l utan någon minskande trend. Om mätningarna vid Örlingen även skulle kunna representera tallskogen i de östra delarna av Värmlands län skulle de indikera en relativt dålig försurningsstatus i markvattnet i denna typ av skog.

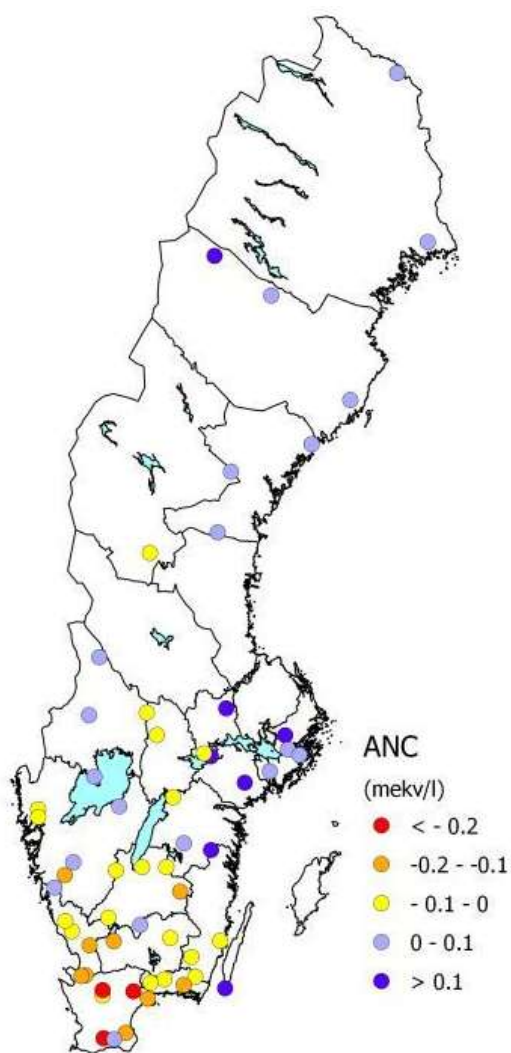


Figur 7. Halterna av sulfatsvavel (A, SO₄-S), pH (B), syraneutraliserande förmåga (C, ANC) och halten oorganiskt aluminium (D, oorg-Al) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser i Värmlands län, uppmätt inom Krondroppsnetet. Följande förändringar är statistiskt säkerställda: halterna av SO₄-S har minskat signifikant vid alla mätplatser; pH har ökat signifikant vid Södra Averstad och Transtrandsberget men minskat signifikant vid Blåbärskullen; ANC har ökat signifikant vid Södra Averstad och Transtrandsberget; halterna av oorg-Al har minskat signifikant vid Södra Averstad och Transtrandsberget men ökat signifikant vid Blåbärskullen.

I Figur 8 visas den syraneutraliserande förmågan (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. Det framgår av Figur 8 att det är en region i övergången

mellan Götaland och Svealand där försurningsstatus övergår från dålig till tillfredsställande status från söder mot norr.

I denna framställning (Figur 8) framstår alla Värmlands läns provytor med granskog med en positiv syraneutraliserande förmåga i markvattnet även om den inte är stor. Provytan Örlingen, med tallskog i Örebro län just över gränsen från Värmland, representeras av den nordligaste gulmarkerade provytan i Örebro län i Figur 8. Den gula färgen indikerar att den syraneutraliserande förmågan i markvattnet vid denna tallskog inte är tillfredsställande.



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

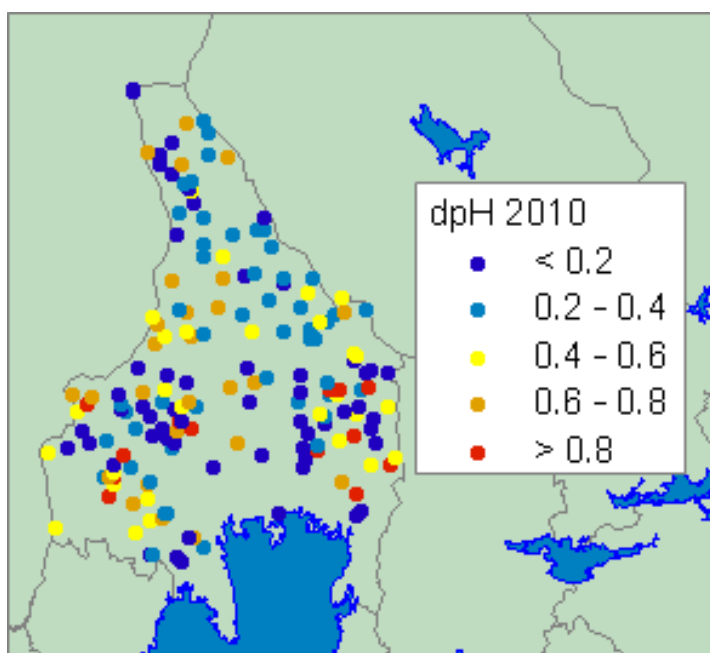
Data från markinventeringen används för uppföljning av indikatorn ”Försurad skogsmark”. Uppföljningen görs nationellt och uppdelat i tre landsdelar. I den del som Värmland tillhör, sydvästra Sverige, är andelen mark med hög eller mycket hög surhetsgrad enligt

bedömningsgrunderna för skogslandskapet 50 %. 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 36 % för Värmlands län (Fölster & Valinia, 2012). Förekomsten av antropogent försurade sjöar inom länet visas i Figur 9. För hela Sverige beräknas andelen försurade sjöar till 10 %.



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 symboler på kartan. Bedömningen omfattar sjöar större än 1 ha och inkluderar försurade, kalkade sjöar.

Källa: Fölster & Valinia, 2012.

3.2. Kvävestatusen i skogslandskapet

Den senaste regionala miljömålsutvärderingen i länet visar att det inte är möjligt att nå målet *Ingen övergödning* till 2020. Bl.a. nämner man ”Påverkan av luftburet kväve från svenska och internationella källor kvarstår och kräver beslut på nationell och europeisk nivå”.

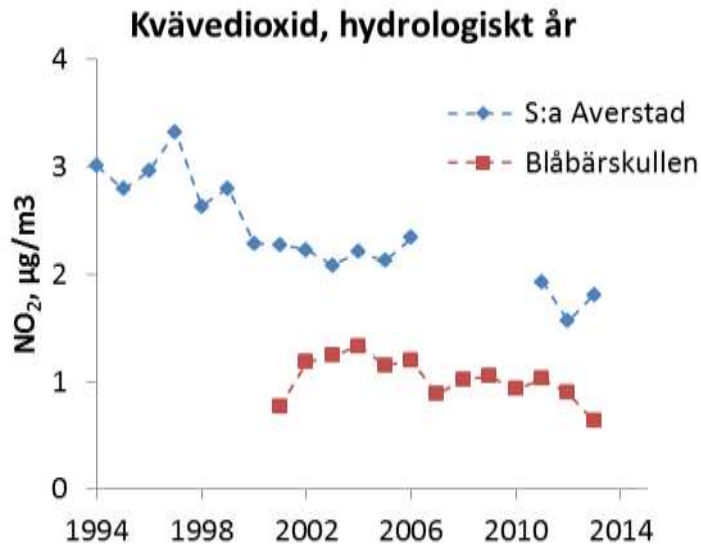
Kväve är, tillsammans med fosfor, orsaken till övergödning av hav och sjöar. Runt 1950 började nedfallet av kväve till skogen i Sverige öka kraftigt för att nå sin kulmen under 1980-talet (Hansen m.fl., 2013).

Nedan beskrivs lufthalter och nedfall av kväve i Värmland från Krondroppsnetets mätningar, relaterat till kväveemissionerna, följt av ett avsnitt om ”Kväveeffekter i markvattnet”. 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 ammoniakutsläppen med 28 % (EMEP, 2011, gäller utsläppen från EU27, internationell fartygstrafik ej inkluderat). Det är svårt att generellt påvisa att kvävenedfallet över Sverige har minskat under de senaste 20 åren. För den sydvästra delen av Sverige, inkluderat Värmlands län, finns det inte någon statistiskt säkerställd minskning av kvävenedfallet under de senaste tjugo åren (Hansen m.fl., 2013).

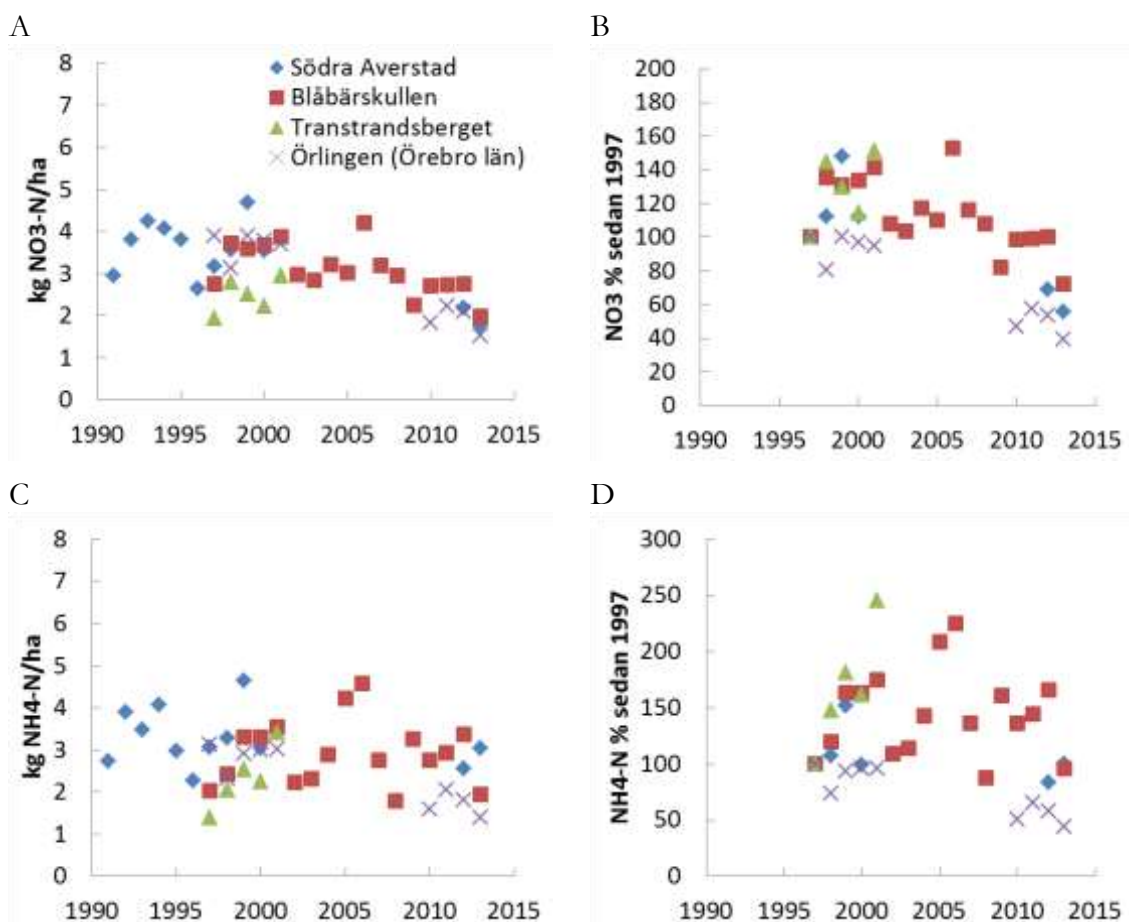
Lufthalterna av kvävedioxid (NO_2) vid Södra Averstad har minskat signifikant sedan 1994 (Figur 10). Historiskt sett har halterna av NO_2 vid Södra Averstad legat på runt halva den nivå som uppmätts vid kraftigt belastade mätplatser, såsom i Skåne och på västkusten (Sjöberg m.fl., 2013). Vid Blåbärskullen har lufthalterna av NO_2 mätts sedan 2001 och där finns ingen statistiskt säkerställd nedgång. Lufthalterna av ammoniak (NH_3) mäts vid Blåbärskullen, där de i allmänhet är mycket låga, genomgående under $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 10. Årliga medelhalter av kvävedioxid i luft vid två platser inom Värmlands län. Lufthalterna mäts månadsvis med diffusiva provtagare placerade 3 m över mark och medelvärde har beräknats för hydrologiska år (okt-sept). Lufthalterna av NO_2 minskar signifikant vid Södra Averstad men inte vid Blåbärskullen.

Nedfallet av kväve till skogen är svårt att mäta på grund av att kvävet kan tas upp direkt till trädkronorna. Krondropps-mätningar 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 krondropps-mätningarna.

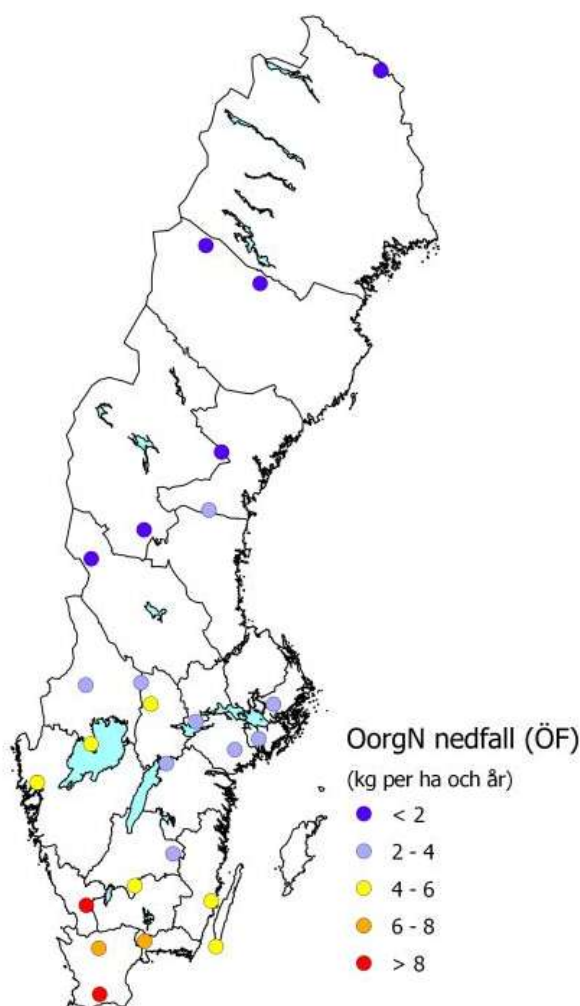
Den längsta, obrutna tidsserien vad gäller kvävenedfall med nederbörden till öppet fält finns för Blåbärskullen 1997-2013 (Figur 11). Transtrandsberget har den kortaste tidsserien då mätningarna över öppet fält avslutades 2001. Minskningen av nedfallet av nitrat vid Blåbärskullen är statistiskt säkerställd men inte vad gäller ammonium. Vid Södra Averstad startade mätningar av kvävenedfall med nederbörden till öppet fält redan 1991 men avslutades 2000 för att sedan tas upp igen 2012. Denna dataserie lämpar sig ännu inte för statistisk analys av trender, men det är ganska tydligt att nedfallet av nitrat 2012/2013 ligger lägre jämfört med den tidigare tidsserien under 1990-talet. Samma sak gäller mätningarna av nedfall med nederbörden vid Örlingen, där mätningar bedrivits i två perioder, 1997-2001 samt 2010-2013. Vid Örlingen syns en nedgång av nitratnedfallet, men även av nedfallet av ammonium.



Figur 11. Årliga värden för nedfall av nitratkväve (A,B) och ammoniumkväve (C,D) med nederbörden till öppet fält vid tre platser i Värmlands län, samt en plats strax över gränsen till Örebro län (Örlingen). Nedfallet i nederbörden har mätts månadsvis och summerats för hydrologiskt år (okt-sept). I figurerna B och D visas en procentuell förändring av nedfallet utgående från året 1997. Nedgången i kvävenedfallet är statistiskt säkerställd för följande mätplatser: Nitrat: Blåbärskullen, (Örlingen mycket nära statistisk signifikans). Ammonium: Örlingen.

Det årliga samlade nedfallet av $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ med nederbörden som medelvärde för de senaste tre åren uppgick till 4,8 kg N/ha för Södra Averstad och 5,2 kg N/ha för Blåbärskullen. Tidigare analyser har visat att i området runt Värmlands 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 5,6 kg N/ha för Södra Averstad och 6,1 kg N/ha för Blåbärskullen. Den kritiska belastningen för kvävenedfall, till skydd för förändringar hos växtligheten, har inom Europa fastställts till mellan 5 och 10 kg N/ha/år. Sverige har antagit den lägre gränsen 5 kg N/ha/år (Moldan m.fl., 2011). Den kritiska belastningen för kvävenedfall har således överskridits i Värmlands län, dock med knapp marginal.

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

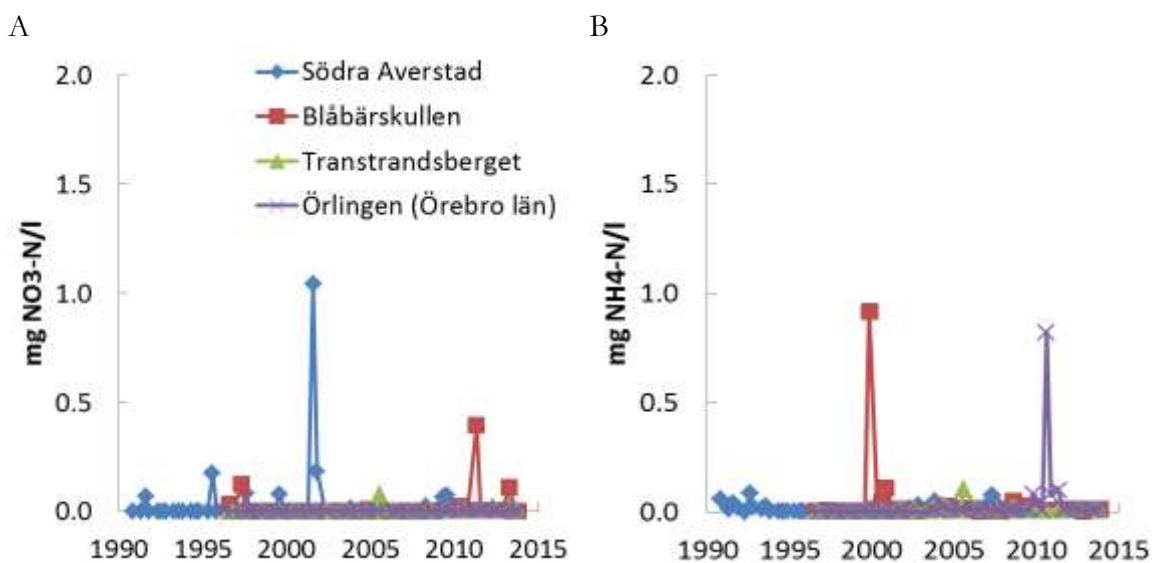


Figur 12. Nedfallet av oorganiskt kväve (oorgN) med nederbörden till öppet fält vid olika platser inom Krondroppsnetet under det hydrologiska året 2012/13.

Kväveeffekter i markvatten

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.

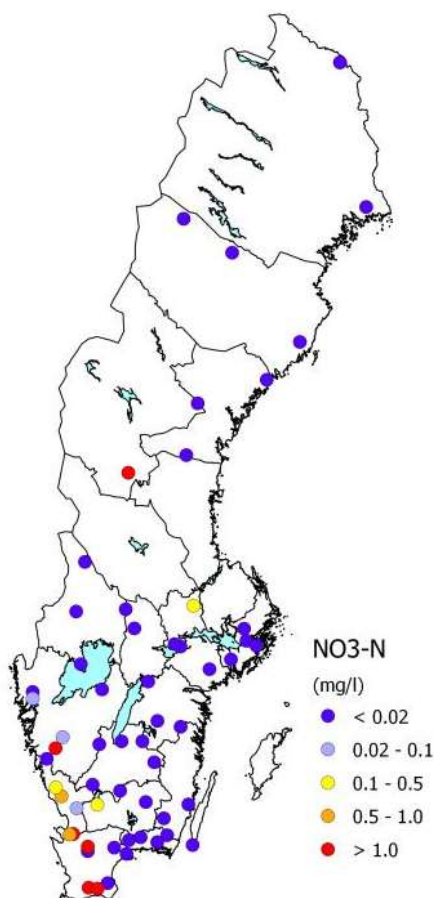
Förhöjda halter av nitrat och ammonium i markvattnet förekommer vid enstaka tillfällen vid Södra Averstad, Blåbärskullen och Örlingen, men inte vid Transtrandsberget, Figur 13. Det är svårt att utreda vad just dessa enstaka förhöjda halter beror på, men det kan ha samband med tillfälliga störningar, t ex stormar.



Figur 13. Halterna i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser i Värmlands län av nitratkväve (NO₃-N) (A) samt ammoniumkväve (NH₄-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.

Uttryckt som medianvärdet för de senaste tre åren är nitratförekomsten i markvattnet inom Värmlands län ännu låg.

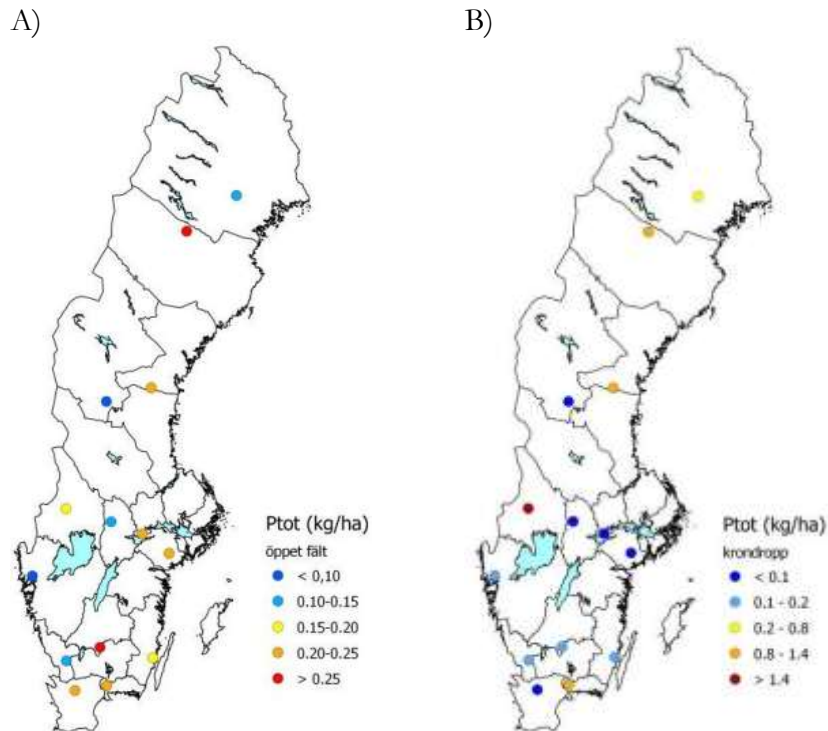


Figur 14. Koncentrationen av nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) i markvattnet vid olika platser inom Krondroppsnetet redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar.

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.

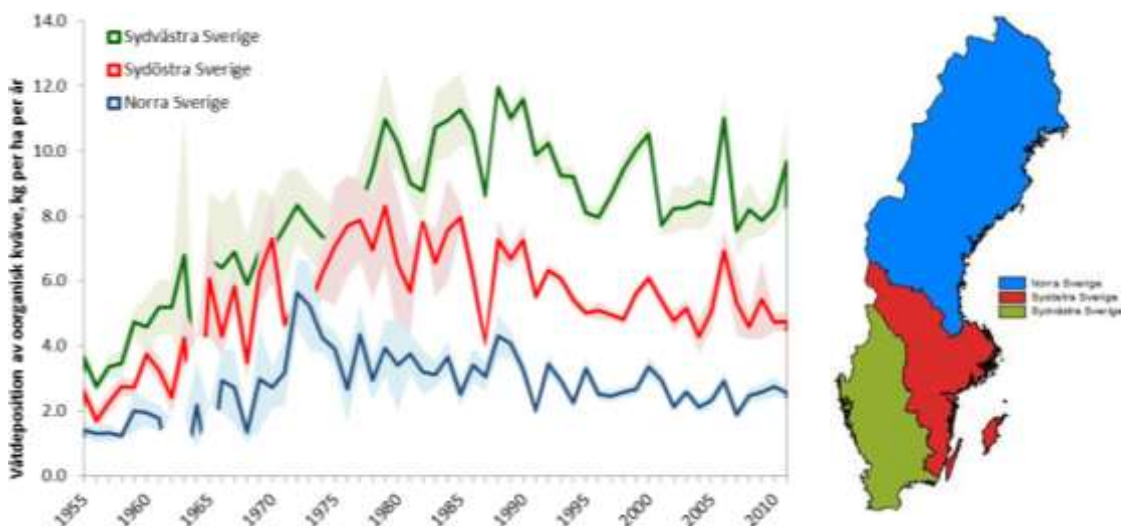
4. Rapporter och artiklar 2013

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 Krondroppsnetet 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 krondroppsamtningar, 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 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 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 Krondroppsnetet 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 LUCCI, 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 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 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.

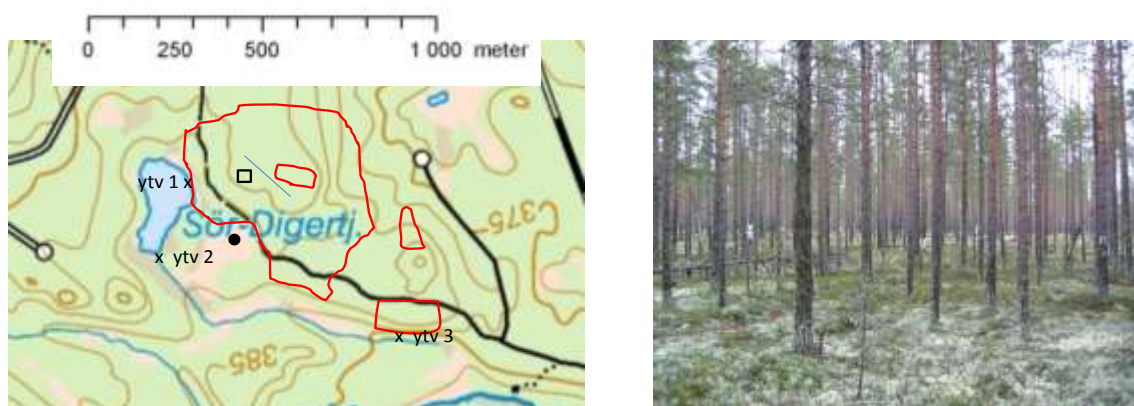
Seminarium vid ICOS workshop. Forskningsprogrammet ICOS (Integrated Carbon Observation Systems) arrangerade en workshop med temat "The role of the boreal ecosystems for the regional carbon cycle" i Ultuna 21-22 oktober 2013. Per Erik Karlsson presenterade där metodiken för att bestämma torrdepositionen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

6. Specialprojekt på krondroppsytor

Kvävegödsling av en krondroppsytta i Jämtland

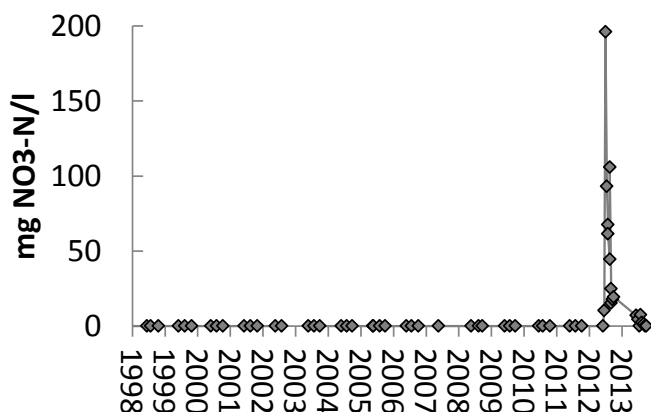
Ökad kvävegödsling är ett sätt att öka tillväxten i den svenska skogen. Skogsstyrelsen ser för närvarande över sina allmänna råd vad gäller kvävegödsel på skogsmark. I norra Sverige är det tillåtet att kvävegödsla skogsmarken 2 alternativt 3 gånger med 150 kg N per

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 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 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

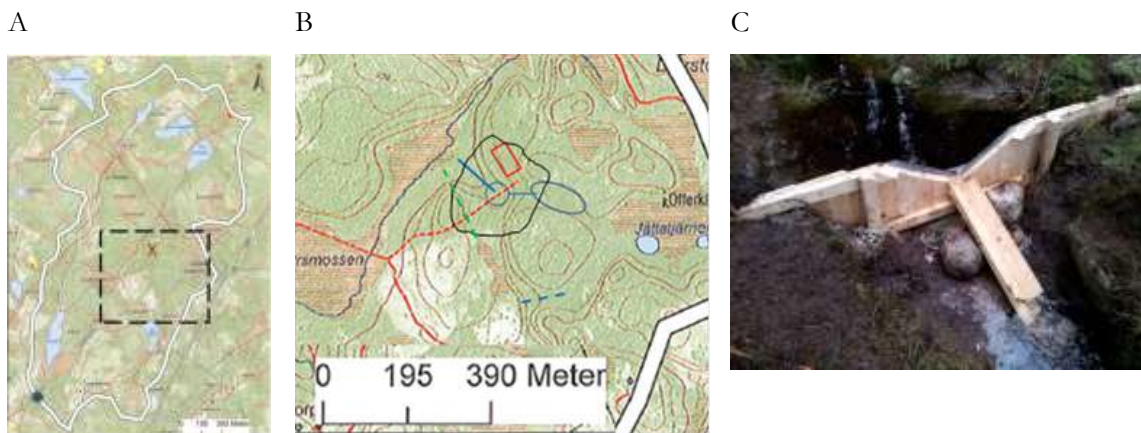
Skåne (Zanchi m.fl., 2014), kommer att jämföras med modellresultat från den närliggande nystartade ytan Hissmossa. Båda är granskogar, men markvattenkemin skiljer sig mycket åt. I Västra Torup var nitratkvävehalterna mycket låga ända tills skogen avverkades, medan halterna i Hissmossa har varit förhöjda 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 Sågebäcken. Avrinningsområdet avgränsas av den breda vita linjen. ● Befintliga ytvattenmätningar i Sågebäcken 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 Sågebäcken 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

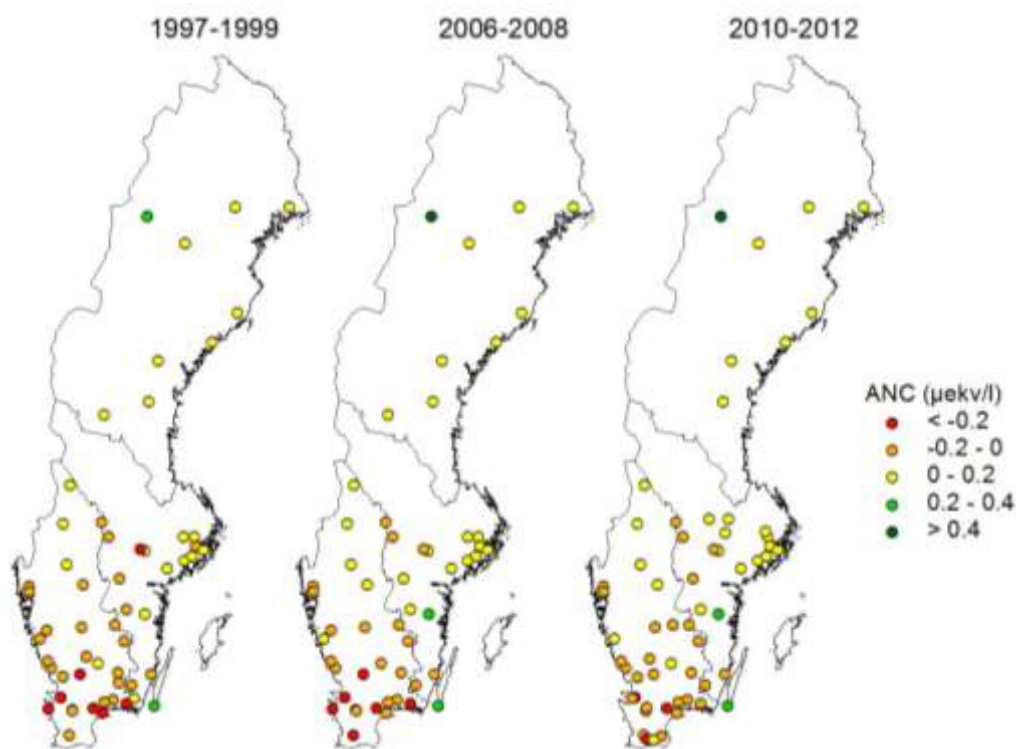
Under 2014 pågår arbete med fördjupade utvärderingar av de 16 miljö kvalitetsmålen. Utvärderingarna ska vara klara 1 september 2015. Data från krondroppsytorna används i flera sammanhang i arbetet med att ta fram underlag för miljö kvalitetsmålet *Bara naturlig försurning*.

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*.



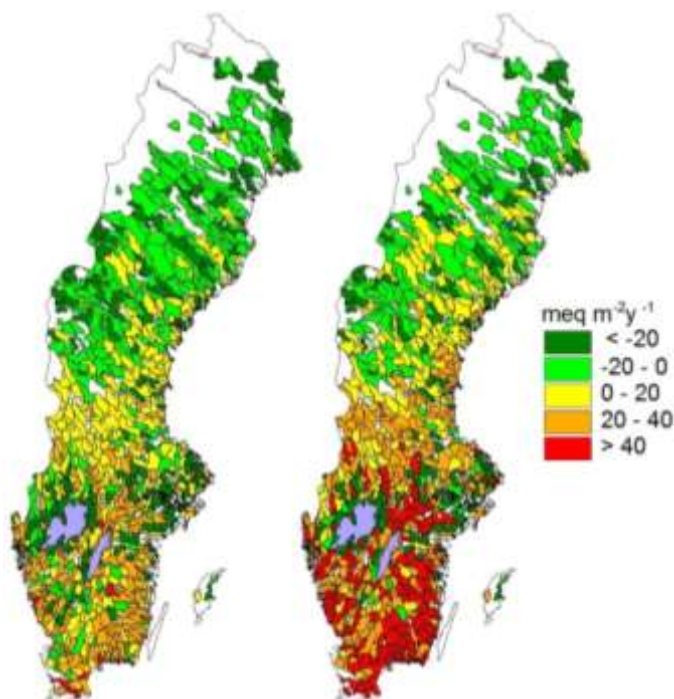
Figur 20. ANC i markvatten på 50 cm djup på krondroppsytor, medianvärde för varje yta från tre olika treårsperioder. Gränserna för de tre försurningsregionerna är utmärkta på kartan.

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 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 baskatjonuttag i granskog", har tagits fram.

Kritiskt baskatjonuttag 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 baskatjonuttag och övriga parametrar hålls konstanta, beräknas det högsta baskatjonuttag som kan tillåtas utan att en kritisk gräns överskrids, då nedfall och övriga parametrar hålls konstanta. Arbetet 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 baskatjonuttag 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 baskatjonuttag 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 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 (NO₃, 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.

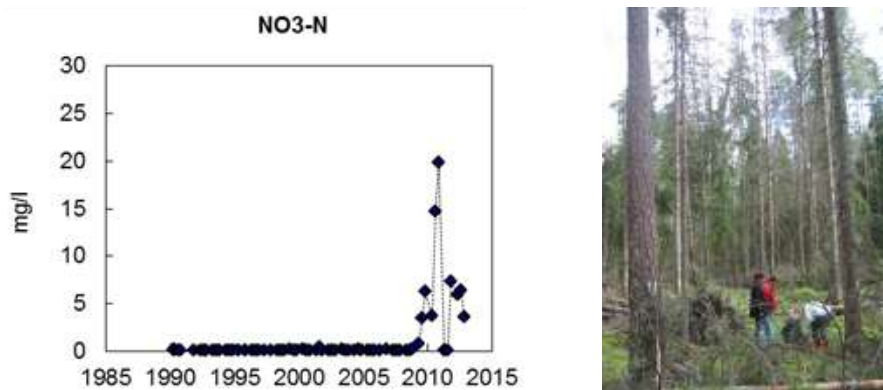
Detaljerade massbalansberäkningar

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 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 Krondroppsnetet. 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 Krondroppsnetets 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 borrhår 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. 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 S. Valinia 2012. Förurningsläget i Sveriges ytvatten 2010. Komplettering till rapport 2011:24. Underlag till utvärdering av miljömålet ”Bara naturlig förurning. Rapport 2012:5, Institutionen för vatten och miljö, SLU.
- Hansen, K., Pihl Karlsson, G., Ferm, M., Karlsson, P.E., Bennet, 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., 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 B1952.
- 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.
- Kronnäs, V, Moldan, F. 2007. Försurande sjöar i Värmlands län. Länsstyrelsen i Värmland Rapport nr 2007:11. ISSN: 0284-6845.
- 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 nederbörds kemiska 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.
- Sjöberg, K., Pihl Karlsson, G., Svensson, A., Wängberg, I., Brorström-Lundén, E., Hansson, K., Potter, A., Rehngren, E., Sjöblom, A., Areskoug, H., Kreuger, J., Södergren, H., Andersson, C., Holmin Fridell, S., Andersson, S. 2013. Nationell miljöövervakning – luft. IVL Rapport B 2109.
- Skogsstyrelsen, 2007. Kvävegödsling av skogsmark. Skogsstyrelsen. Meddelande 2 • 2007.
- Stohl, A., Berg, T., Burkhardt, J.F., Fjæraa, A.M., Forster, C., Herber, A., Hov, Ø., Lunder, C. 2007. Arctic smoke - record high air pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in Eastern Europe. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7, 511–534.
- 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 medelvärde 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.

I Värmlands län finns tre aktiva lokaler inom Krondroppsnetet (Tabell B1:1). Samtliga ytor är granytor. I Södra Averstad finns en drygt 20-årig tidsserie för krondropp och markvatten. I Blåbärskullen har nedfallsmätningar över öppet fält och i skogen samt mätningar av markvattenkemi och lufthaltsmätningar genomförts sedan 17 år tillbaka. Även i Transtrandberget finns en 17-årig tidsserie med krondropp och

markvattenkemi. Mätningar med strängprovtagare startades i juli 2013. Resultat från dessa mätningar presenteras i nästa års rapport. Utöver mätningarna i Värmland redovisas här även mätningarna från en tallyta i norra Örebro län nära gränsen till Värmland, Örlingen, där mätningar pågått sedan 1996, markerat med en stjärna i kartan ovan.

Värmlands län ligger utmed en ganska skarp luftföroreningsgradient, där de sydligaste delarna tar emot nedfall av samma storleksordning som i delar av Götaland, medan nedfallet i de nordliga delarna är mer jämförbart med nedfallet i norra halvan av Sverige. Den sydligaste ytan, Södra Averstad, är extra exponerad på grund av läget vid Väneren.

Tabell B1:1. Aktiva ytor i Värmlands län 2012/13.

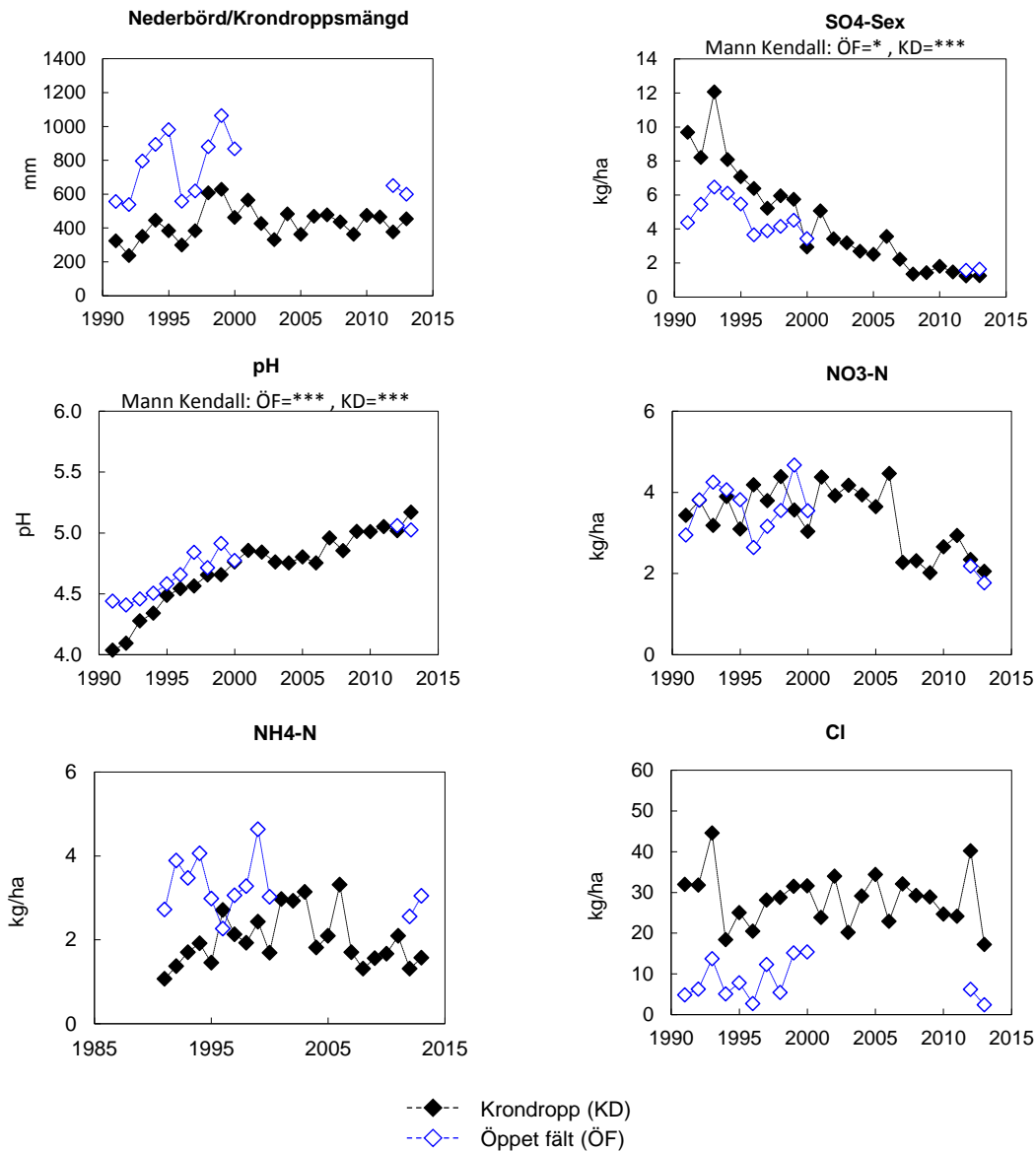
Lokal	Dominerande trädslag	Öppet fält	Kron-dropp	Mark-vatten	Lufthalter			
					SO ₂	NO ₂	NH ₃	O ₃
Södra Averstad (S 05)	Gran	X	X	X	X	X	X	X
Blåbärskullen (S 22)	Gran	X	X	X	X	X	X	X
Transtrandsberget (S 23)	Gran		X	X				

Undersökningarna i Värmlands län är resultat av ett lagarbete där provtagning utförts av Per Larsson, Urban Nyqvist, Länsstyrelsen och Lennarth Larsson, Säffle kommun. 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.

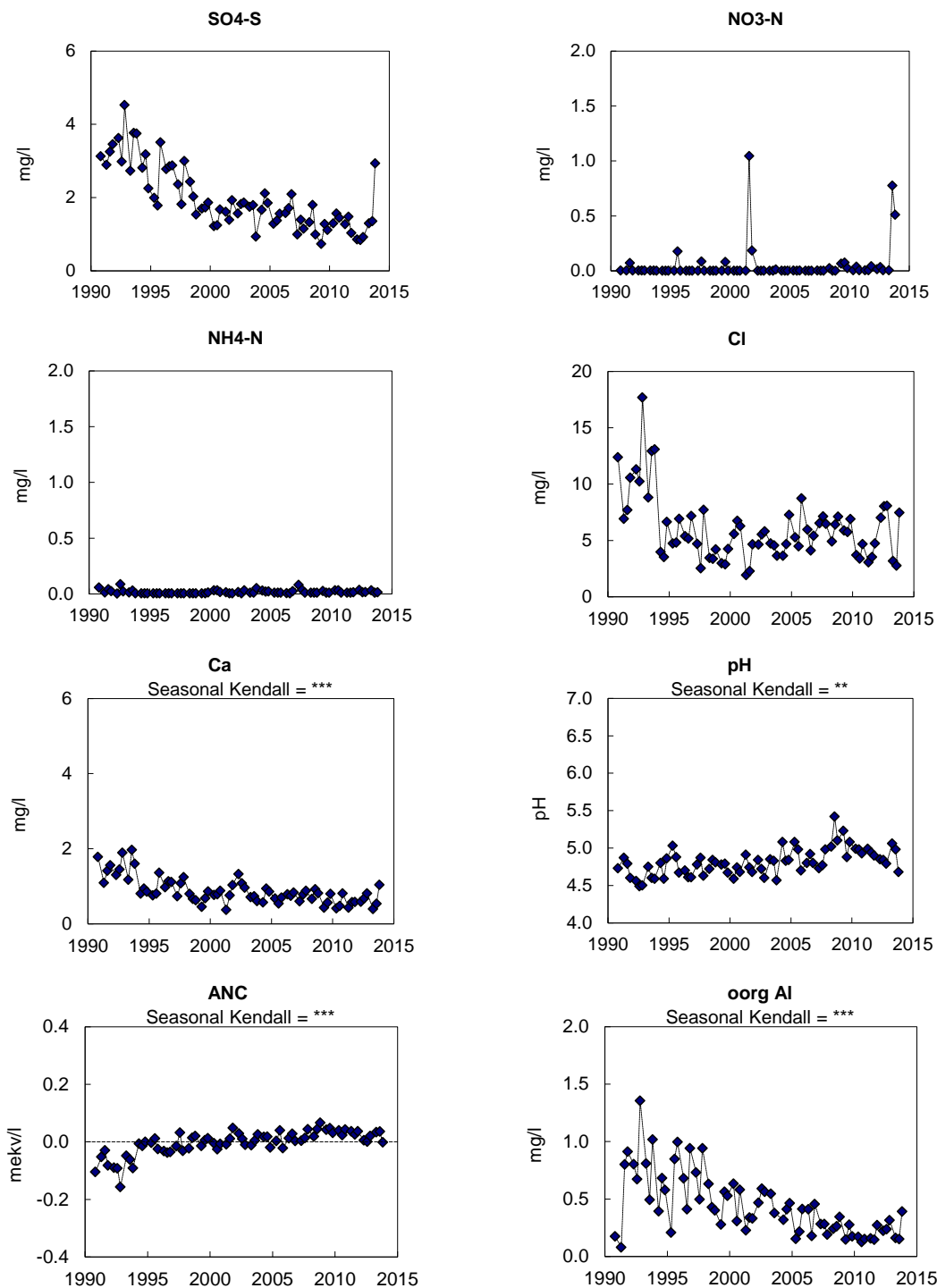
Södra Averstad (S 05): Granskog planterad 1931 i ett flackt och kustnära område på Värmlandsnäs, exponerat för intransport av luftföroreningar över Vänern. Marken består av ett sandigt-moigt sediment med en jordmån klassad som övergång mellan brunjord och podsol. Mätning av deposition och markvatten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



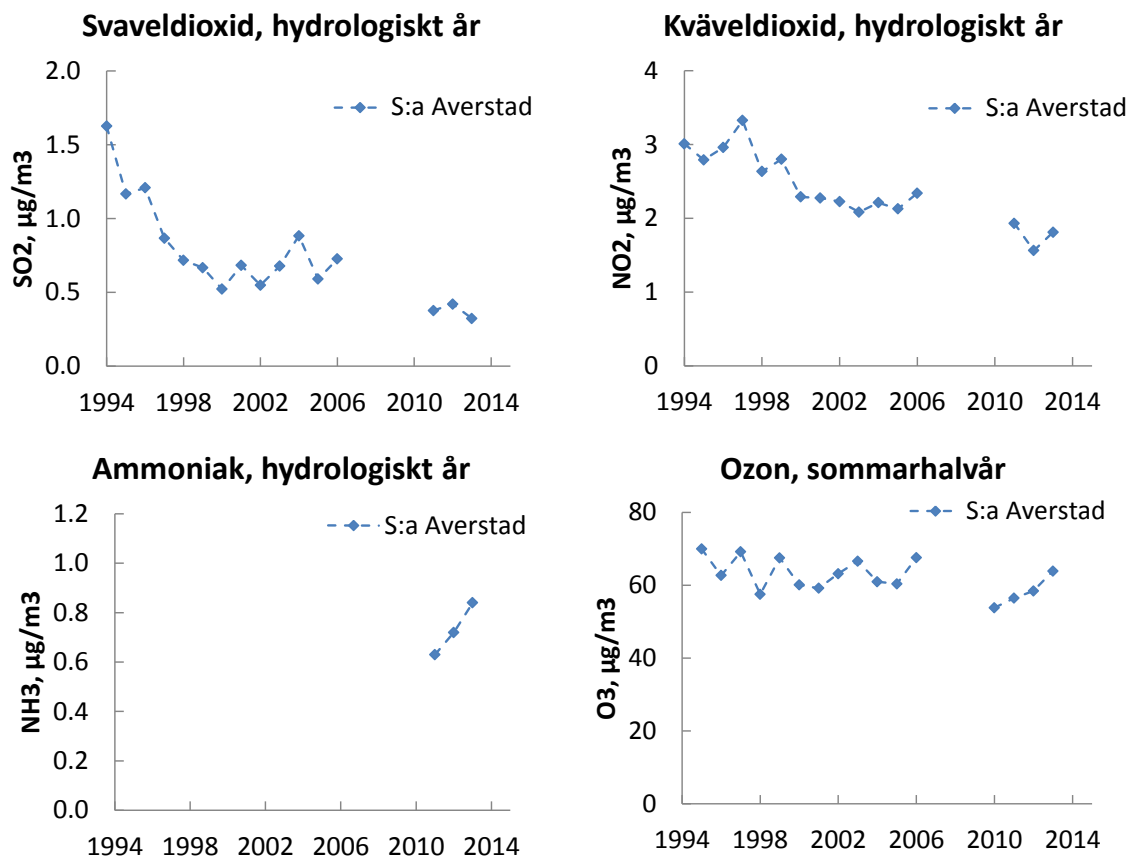
Foto från krondroppsytan vid Södra Averstad



Figur B1:1. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Södra Averstad, S 05**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. 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 B1.2. Markvattenkemi vid **Södra Averstad, S 05**: sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), kloridhalt (Cl), kalciumhalt (Ca^{2+}), pH, markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC) 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 B1:3. Lufthalter vid **Södra Averstad (S 05)**. Värden anges för svaveldioxid (SO₂), kvävedioxid (NO₂), ammoniak (NH₃) och ozon (O₃). Minskande lufthalter vid Södra Averstad är statistiskt säkerställda för SO₂ och NO₂. Lufthalter för ozon anges som medelhalt för sommarhalvåret.

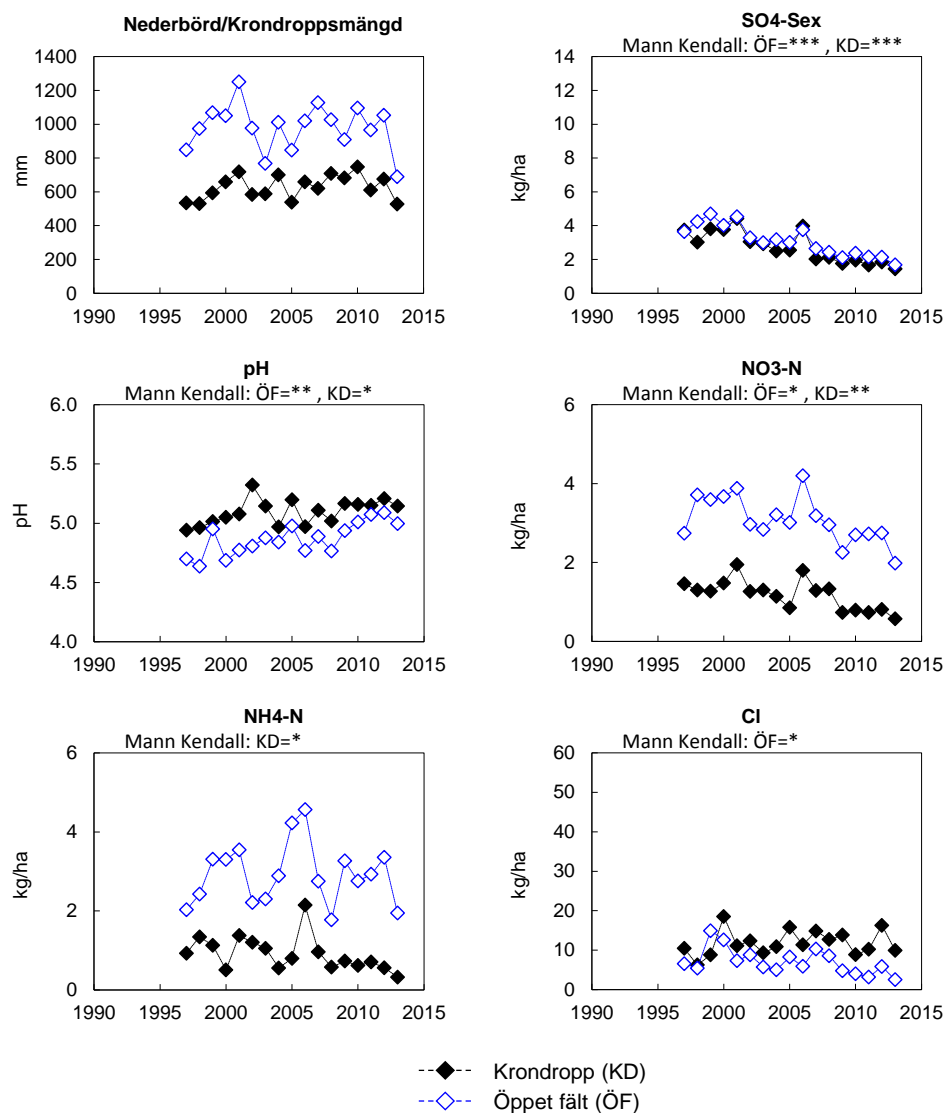
Blåbärskullen (S 22): Granskog i västra delarna av mellersta Värmland, planterad 1951. Marken är en sandig-moig morän med viss kulturpåverkan. Ståndortsindex är G32. Markvattenkemimätningar samt depositions-mätningar i krondropp och över öppet fält startade hösten 1996. Mätningarna över öppet fält ingår sedan 2001 i Naturvårdsverkets nationella miljöövervakning. Lufthaltsmätningarna startade hösten 2000.



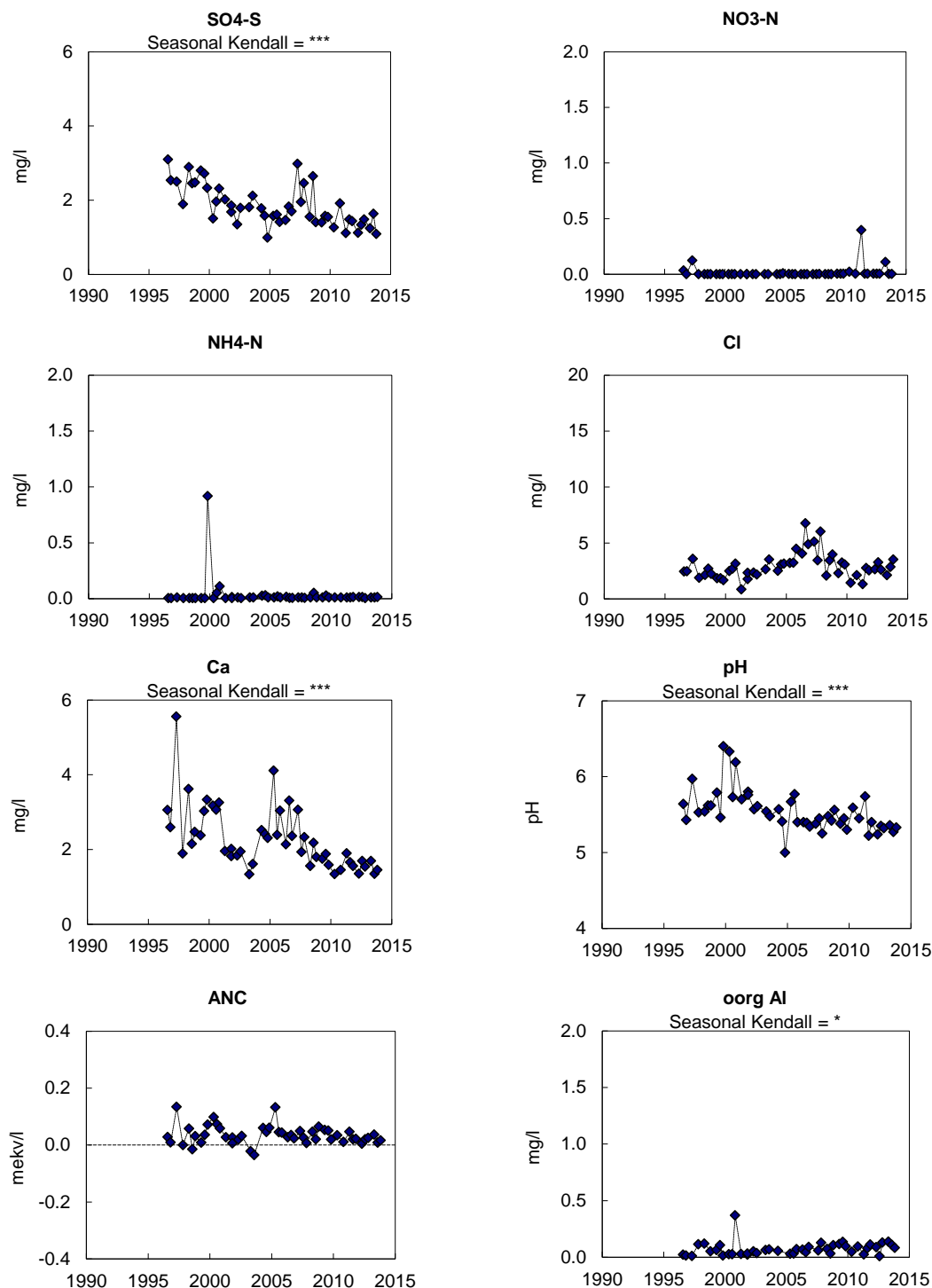
Foto från krondroppsytan vid Blåbärskullen



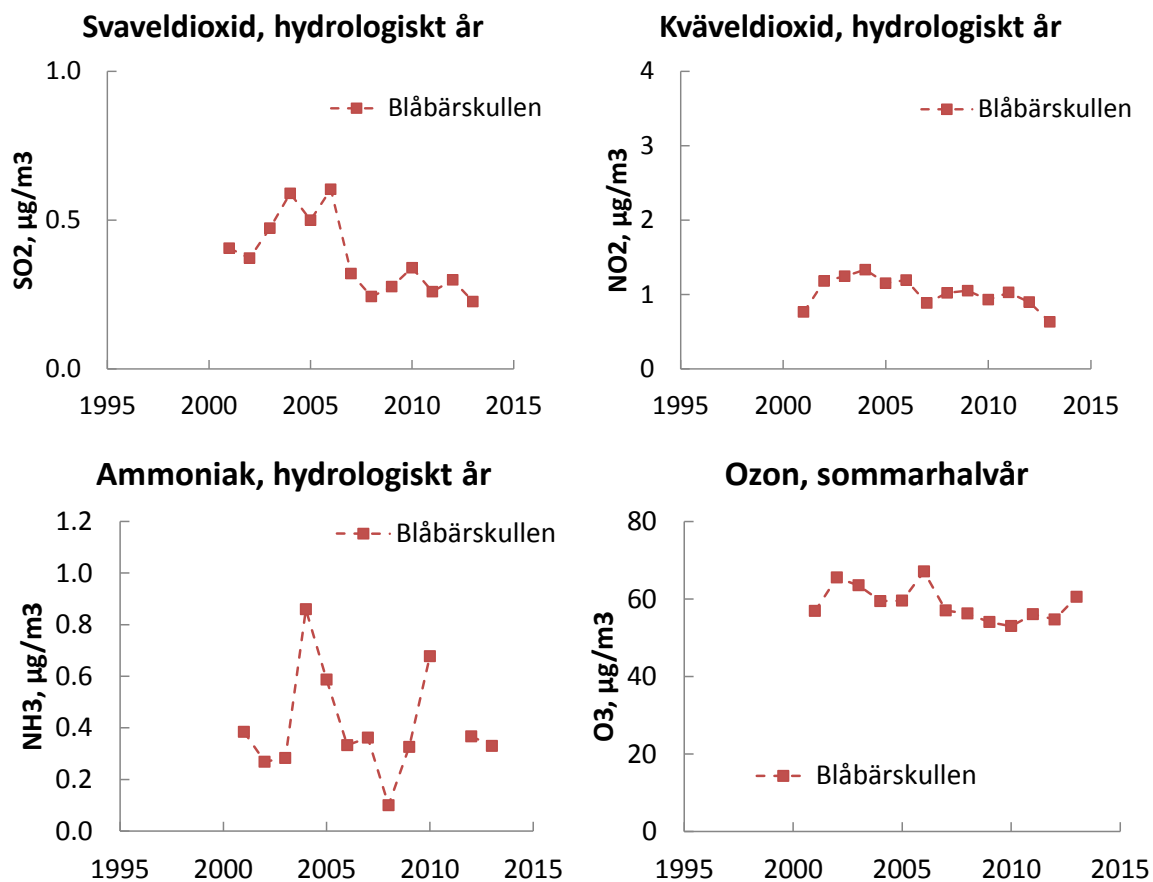
Foto från mätningarna över öppet fält vid Blåbärskullen



Figur B1:4. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Blåbärskullen, S 22**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. 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 B1:5. Markvattenkemi vid **Blåbärskullen, S 22**: sulfatsvavel (SO₄-S), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N), kloridhalt (Cl), kalciumhalt (Ca²⁺), pH, markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC) 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.



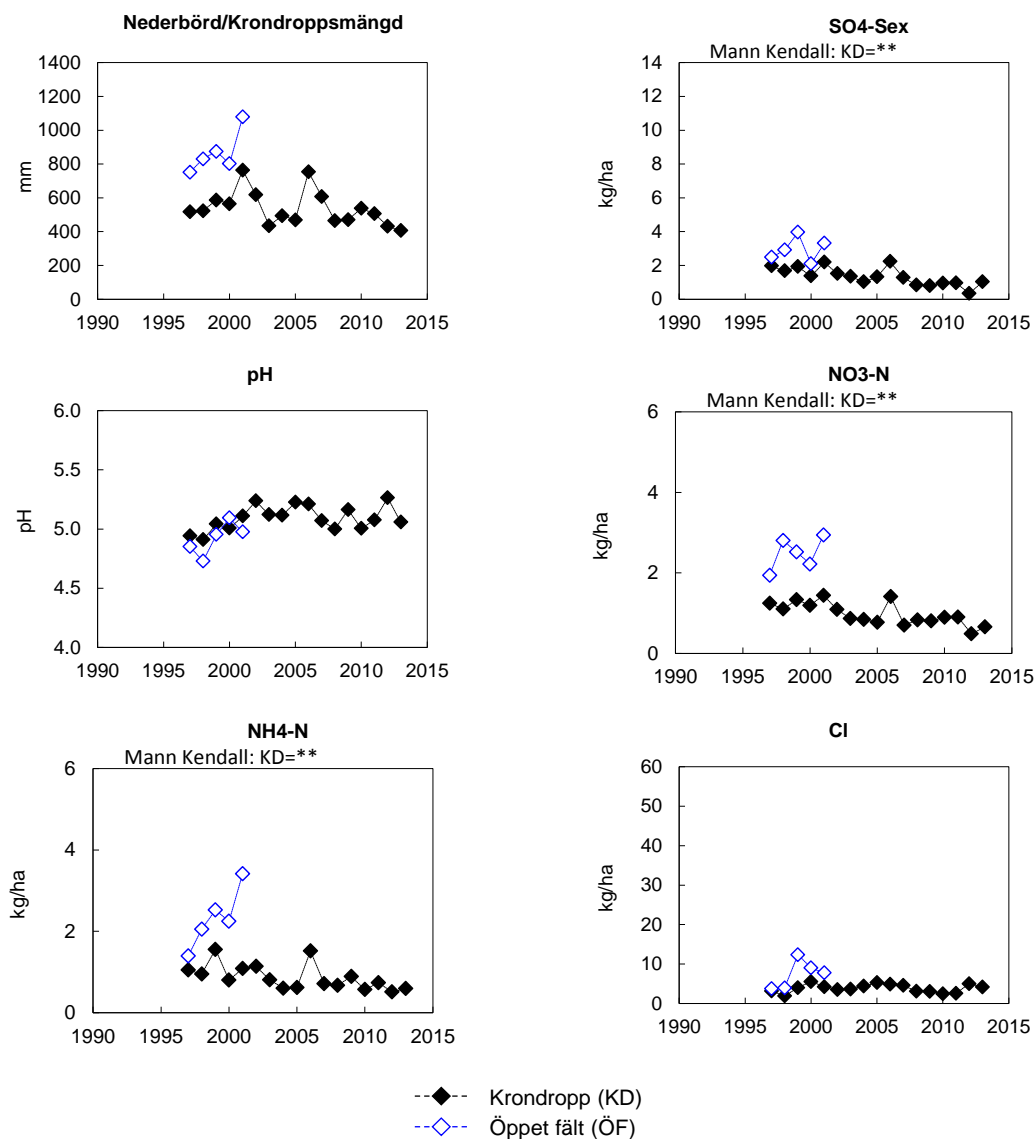
Figur B1:6. Lufthalter vid **Blåbärskullen (S 22)**. Värden anges för svaveldioxid (SO₂), kvävedioxid (NO₂), ammoniak (NH₃) och ozon (O₃). Minskande lufthalter vid Blåbärskullen är statistiskt säkerställda endast för SO₂. Lufthalter för ozon anges som medelhalt för sommarhalvåret.

Transtrandsberget (S 23): Yta med granskog planterad 1952 på sandig-moig morän och jordmånen järnpodsol i länets nordligaste del. Ytan ligger i en sluttning mot öster och kan därigenom förväntas vara mindre utsatt för dominerande vindriktningar än lokaler i sydvästsluttningar. Nedfallsmätningar i krondropp och över öppet fält startade 1996. Nederbördskemiska mätningar över öppet fält avslutades dock i december 2001.

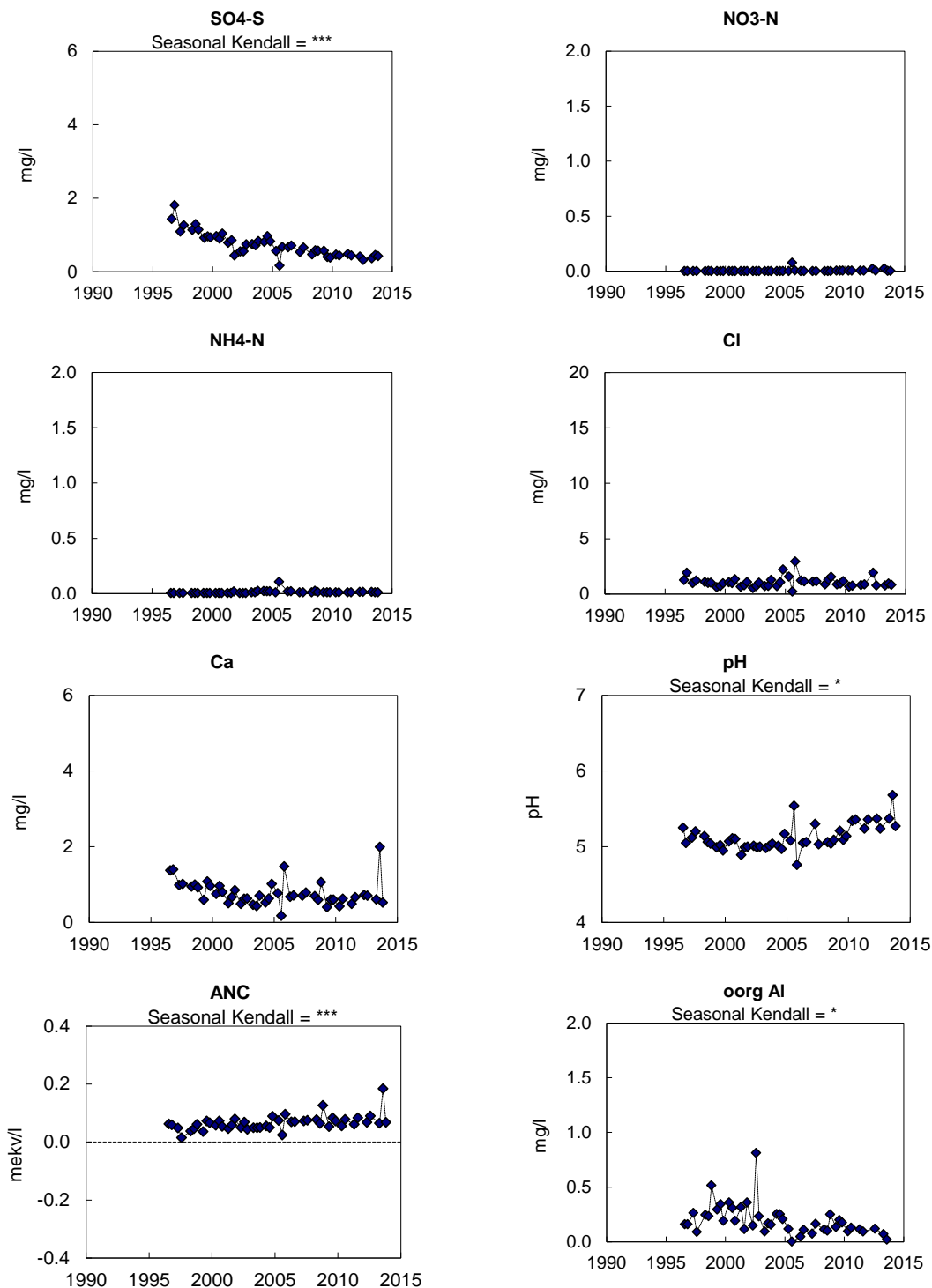


krondroppsytan vid Transtrandsberget

Foto från



Figur B1:7. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Transtrandsberget, S 23**. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. 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 B1:8. Markvattenkemi vid **Transtrandsberget, S 23**: sulfatsvavel (SO₄-S), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N), kloridhalt (Cl), kalciumhalt (Ca²⁺), pH, markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC) 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.

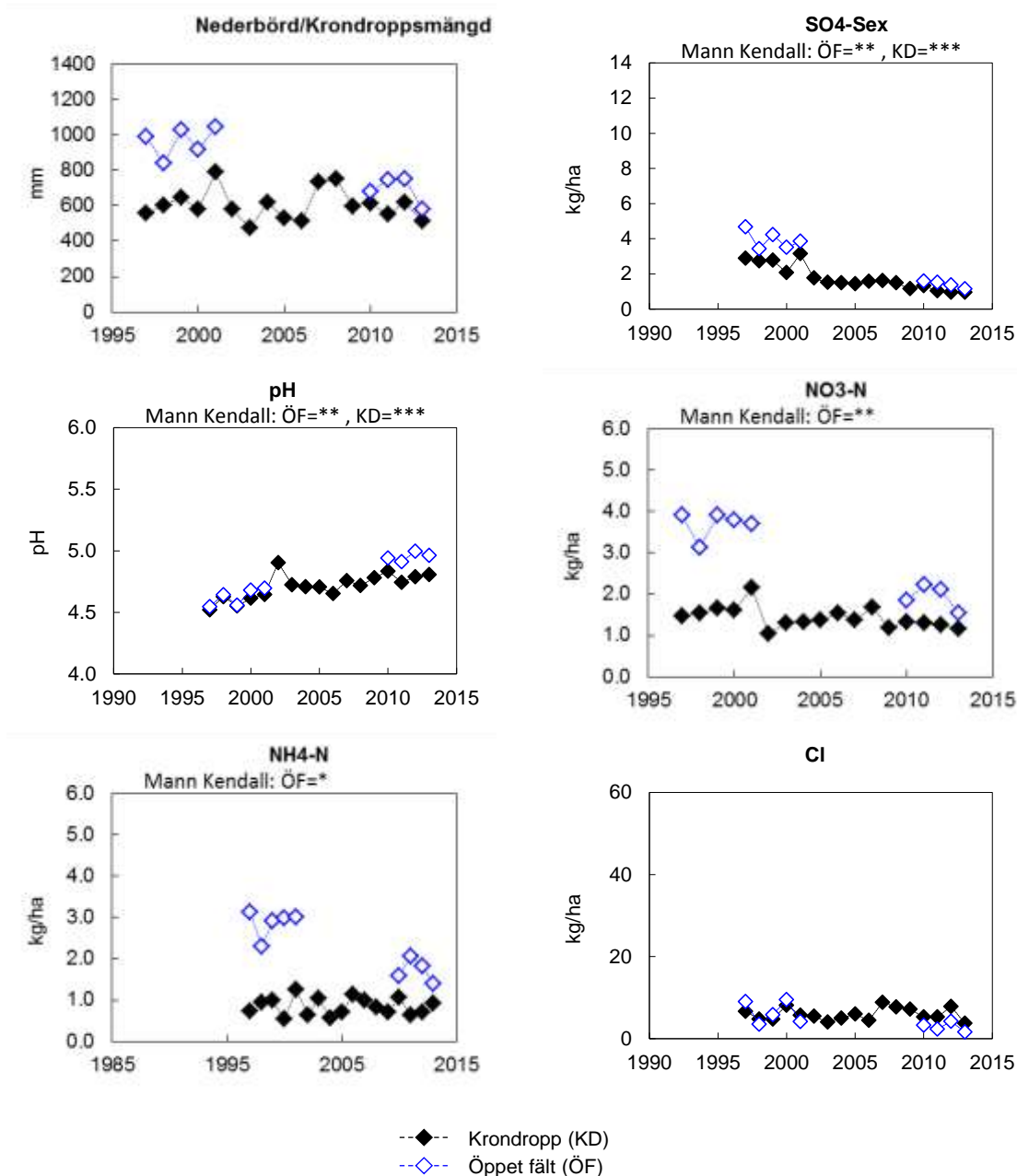
ÖREBRO LÄN - Örlingen (T 03): Flack yta med 67-årig tallskog i det nordvästra hörnet av Örebro län. Jordarten är finkornig sedimentmark med ringa stenighet. Jordmånen är järnpodsol och boniteten T25. Mätningarna startade i januari 1996. I december 2001 avslutades mätningarna av deposition över öppet fält, men i juli 2009 påbörjades de igen. Tallbeståndet är relativt litet, i väster är det ca 30 m till en kraftledningsgata. Fältskiktet domineras av blåbär och lingon. Öppet-fält mätningen ligger på en mosse invid en sjö. Det är cirka 2 km mellan öppet-fält mätningarna och krondroppsytan



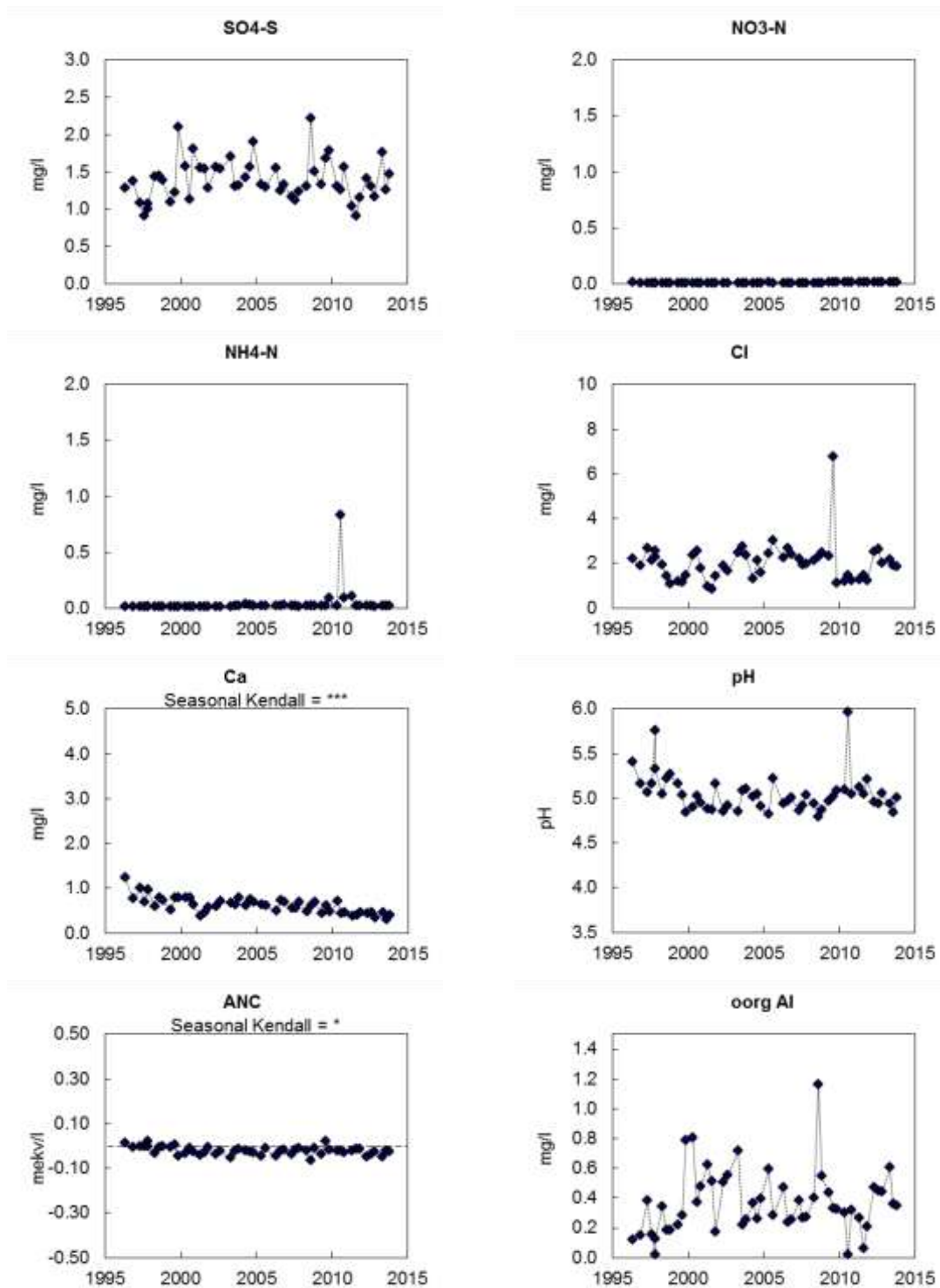
Foto från krondroppsytan vid Örlingen



Foto från mätningarna över öppet fält vid Örlingen



Figur B1:9. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid **Örlingen, T 03**. 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), klorid (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 **Örlingen, T 03**: sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), kloridhalt (Cl), kalciumhalt (Ca^{2+}), pH, markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC) 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.

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

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

Lokal	Period	Nedb	kg/ha →										
			H ⁺	SO ₄ -S	SO ₄ -S _{ex}	Cl	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mn ²⁺
Södra Averstad	12/13	600	0,06	1,7	1,6	2,4	1,8	3,0	0,7	0,3	1,6	1,1	0,09
Blåbärs- kullen	12/13	689	0,07	1,8	1,7	2,5	2,0	1,9	0,9	0,3	1,8	0,6	0,10
Södra Averstad	2012	803	0,07	1,8	1,7	3,1	2,2	2,5	0,6	0,2	2,1	0,5	0,12
Blåbärs- kullen	2012	991	0,08	2,0	1,8	3,4	2,3	2,8	0,7	0,3	2,5	0,9	0,15

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

Lokal	Period	Nedb	oorg N	
			kg/ha	→
Södra Averstad	12/13	600	4,8	1,3
Blåbärs- kullen	12/13	689	3,9	0,5
Södra Averstad	2012	803	4,7	0,4
Blåbärs- kullen	2012	991	5,1	1,2

Tabell B2:3. Krondroppsdata från Värmlands 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 ⁺	SO ₄ -S	SO ₄ -S _{ex}	Cl	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mn ²⁺
Södra Averstad	12/13	453	0,03	2,0	1,2	17,2	2,1	1,6	4,0	2,1	10,2	13,4	0,38
Blåbärs- kullen	12/13	527	0,04	1,9	1,4	9,9	0,6	0,3	3,7	1,5	4,5	13,9	1,55
Transtrands- berget	12/13	407	0,04	1,2	1,0	4,2	0,7	0,6	2,5	0,9	3,4	4,0	0,37
Södra Averstad	2012	542	0,04	2,5	1,3	25,2	2,1	1,3	4,4	2,4	15,8	14,5	0,45
Blåbärs- kullen	2012	705	0,04	1,9	1,4	10,5	0,7	0,5	3,6	1,3	5,6	13,2	1,28
Transtrands- berget	2012	477	0,03	0,8	0,5	6,0	0,7	0,6	0,7	0,3	3,5	3,7	0,23

Tabell B2:4. Krondroppsdata från Värmlands län för ytor där organiskt kväve analyserats, komplett 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	
			mm	kg/ha →
Södra Averstad	12/13	453	3,6	2,7
Blåbärs-kullen	12/13	527	0,9	1,8
Transtrands-berget	12/13	407	1,2	0,9
Södra Averstad	2012	542	3,4	3,2
Blåbärs-kullen	2012	705	1,3	2,2
Transtrands-berget	2012	477	1,3	0,9

Tabell B2:5. Lufthalter medelvärden i Värmlands län, diffusionsprovtagning, µg/m³.

Lokal	Period	SO ₂ µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	NH ₃ µg/m ³	O ₃ µg/m ³
Södra Averstad (S 05 A)					
Mv hydr. år	1210-1309	0,3	1,8	-	-
Mv kal. år	1201-1212	0,3	1,8	-	-
Mv sommar	1304-1309	-	-	1,0	64
Blåbärskullen (S 22 A)					
Mv hydr. år	1210-1309	0,2	0,6	-	-
Mv kal. år	1201-1212	0,3	0,8	-	-
Mv sommar	1304-1309	-	-	<0,3	61

Tabell B2:6. Markvattendata från Värmlands 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 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 →														
Södra Averstad (S 05 A)	2012-10-29	4,8	-	0,020	0,92	8,06	<0,010	0,016	0,81	0,40	5,23	0,16	0,123	0,551	0,315	0,875	11,6	3,5
	2013-04-29	5,1	-	0,034	1,30	3,16	<0,010	0,031	0,39	0,27	3,65	0,14	0,152	1,045	0,160	0,880	12,4	4,1
	2013-08-28	5,0	-	0,035	1,35	2,75	0,775	<0,030	0,53	0,39	4,39	0,14	<0,030	0,110	0,150	0,660	8,5	5,9
	2013-11-04	4,7	-	-0,002	2,93	7,47	0,510	<0,030	1,04	0,78	7,03	0,26	0,050	0,045	0,390	0,900	10,2	4,5
	median	4,9		0,026	1,27	4,73	0,014	<0,03	0,58	0,39	4,39	0,16	0,115	0,486	0,222	0,83	10,5	4,3
<i>n=</i>	9		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Blåbärskullen (S 22 A)	2012-10-29	5,3	-	0,025	1,48	2,60	<0,010	<0,030	1,54	0,18	2,26	<0,10	<0,030	0,002	0,128	0,214	2,6	9,9
	2013-04-29	5,4	-	0,037	1,24	2,11	0,109	<0,030	1,70	0,20	1,82	<0,10	<0,030	0,002	0,137	0,220	2,2	10
	2013-08-26	5,3	-	0,009	1,63	2,85	<0,010	<0,030	1,35	0,16	2,51	<0,10	<0,030	<0,010	0,107	0,180	2,6	11
	2013-11-04	5,3	-	0,017	1,09	3,52	<0,010	<0,030	1,45	0,19	2,11	0,17	0,035	<0,010	0,083	0,150	3,0	16
	median	5,3		0,020	1,33	2,64	<0,01	<0,03	1,56	0,18	2,08	<0,1	<0,03	0,003	0,087	0,171	2,6	13
<i>n=</i>	9		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Transtrandsberget (S 23 A)	2012-10-29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2013-04-29	5,4	-	0,065	0,37	0,77	0,024	<0,030	0,60	0,31	1,16	0,20	0,045	0,240	0,070	0,660	11,1	13
	2013-08-27	5,7	0,089	0,184	0,45	0,94	<0,010	<0,030	1,99	0,62	1,90	0,22	0,058	0,340	0,020	0,290	7,9	109
	2013-10-01	5,3	-	0,068	0,42	0,83	<0,010	<0,030	0,53	0,27	1,49	0,16	0,065	0,340	-	0,930	-	-
	median	5,4		0,068	0,42	0,83	<0,01	<0,03	0,66	0,35	1,49	0,16	0,056	0,284	0,094	0,852	11,1	9,6
<i>n=</i>	7		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	6	5	5	

