

Nr C 320
Maj 2018

Tillståndet i skogsmiljön i Kalmar län

Resultat från Krondroppsnetet till och med 2016/17

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



I samarbete med: Lunds universitet



Författare Gunilla Pihl Karlsson, Sofie Hellsten, Per Erik Karlsson (IVL), Cecilia Akselsson (Lunds universitet)

Medel från: Kalmar Läns Luftvårdsförbund

Karta: Sofie Hellsten. Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

Rapportnummer C 320

ISBN 978-91-88787-63-7

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2018

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

Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

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

Förord

På uppdrag av Kalmar Läns Luftvårdsförbund genomför IVL Svenska Miljöinstitutet, i samarbete med Lunds universitet, mätningar inom Krondroppsnätet.

Kalmar län har haft mätningar inom Krondroppsnätet under 28 år. I denna rapport redovisas resultaten från 2016/17 års mätningar, tillsammans med tidigare års resultat. Även resultat från samtliga mätlokaler som någon gång varit aktiva i länet redovisas.

Vidare redovisas resultaten i förhållande till övriga svenska mätningar inom Krondroppsnätet och europeiska mätningar inom ICP Forest.

I rapporten redovisas även andra relaterade projekt, samt aktuella händelser från 2017, som är relevanta ur Krondroppsnätets synvinkel.

Innehållsförteckning

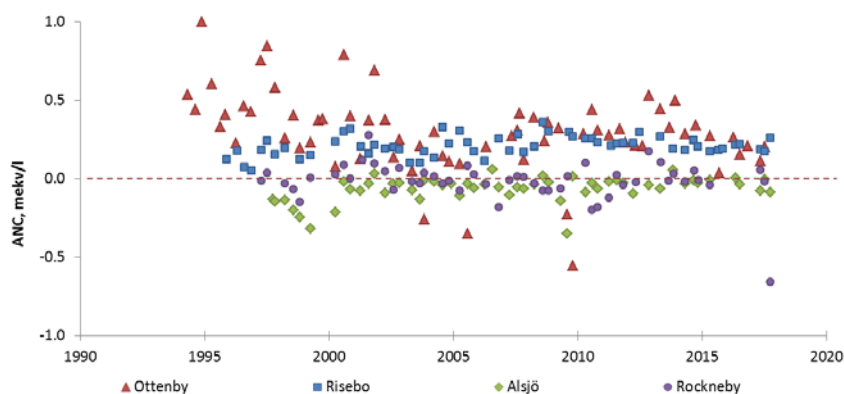
Sammanfattning.....	6
1 Krondroppsnetzets mätningar	7
2 Kvävenedfall och dess effekt på övergödning.....	9
2.1 Kvävenedfallet påverkar markvegetation och vattenkvalitet	9
2.2 Lufthalter av kvävedioxid och ammoniak.....	9
2.3 Kvävenedfall i Kalmar län	11
2.4 Kvävenedfall i Sverige och Europa.....	13
2.5 Nitrat i markvattnet i Kalmar län.....	15
2.6 Nitrat i markvattnet i Sverige och Europa	16
3 Försurning.....	18
3.1 Försurning av mark och vatten – en effekt av svavel- och kvävenedfall samt skogsbruk.....	18
3.2 Lufthalter av svaveldioxid.....	19
3.3 Svavelnedfall i Kalmar län.....	20
3.4 Svavelnedfall i Sverige och Europa.....	21
3.5 Försurning av markvattnet i Kalmar län	23
3.6 Försurning av markvattnet i Sverige och Europa	26
4 Aktuellt & notiser.....	28
4.1 Reviderat Takdirektiv	28
4.2 Nya miljömålsindikatorer	29
4.2.1 Ny indikator för totalt kvävenedfall till skog inom miljö kvalitetsmålet <i>Ingen övergödning</i> ...	29
4.2.2 Ny indikator för skogsbrukets försurningspåverkan	30
4.2.3 Markvattendata från Krondroppsnetzets i miljömålsindikatorn Försurad skogsmark	30
4.3 Utvärderingar	31
4.3.1 Fortsatt utvärdering inom PO Luft efter 2017	31
4.3.2 Förstudie 2017 - Regional utvärdering av Krondroppsnetzets	31
4.3.3 Generell översyn av svensk miljöövervakning under 2018.....	31
4.4 Aktuella möten 2017	32
4.4.1 Krondroppsnetzets, 29:e november 2017, Göteborg	32
4.4.2 Miljöövervakningsdagarna, 27-28 september 2017, Tranås	32
4.4.3 Representation från Krondroppsnetzets vid konferensen BIOGEOMON	33
4.5 Aktuell forskning/specialprojekt som berör Krondroppsnetzets	34
4.5.1 Påverkan av marknära ozon och kvävenedfall på den årliga tillväxten hos skog i södra Sverige.....	34
4.5.2 Slutavverkning – hur påverkas avrinnande vatten?.....	35
4.5.3 Mätning av torrdeposition till mätutrustningen på öppet fält - RUT-försöket	35
4.5.4 Nedfallet med nederbörden sedan 1955.....	35
4.6 Vetenskapliga artiklar 2013-2018.....	36
5 Tack.....	37
6 Referenser.....	37

Bilaga 1. Stationsvis redovisning.....	40
--	----

Sammanfattning

Nedfallet av svavel- och kväveföreningar i Kalmar län har under lång tid överskridit vad skogsmarken samt sjöar och vattendrag tål. Under första halvan av 1990-talet varierade svavelnedfallet i länet från 3 till över 14 kg svavel per hektar och år men har sedan dess minskat kraftigt. Numera ligger svavelnedfallet till skogen i länet på strax över 1 kg per hektar och år (som medelvärde för de senaste tre åren). Svavelnedfallet vid krondroppsytan Ottenby på södra Öland har minskat med 83 % på 27 år. Sedan 1996/97, då mätningar fanns vid samtliga nu aktiva mätplatser, har svavelnedfallet minskat med mellan 72-82 %, med lägst minskning vid Risebo och högst vid Alsjö. Även lufthalterna av svaveldioxid har minskat statistiskt säkerställt med 48-59 %, sedan 1999, vid Ottenby, Rockneby och Risebo.

Försurningstillståndet i skogsmarken i Kalmar län varierar kraftigt. I nuläget är det endast vid Alsjö i sydöstra Kalmar län där mätningarna genomgående visar på återhämtning genom ökande pH och ANC. Dock är pH alljämt lågt, under 5, och ANC oftast negativt, vilket indikerar att återhämtningen går mycket långsamt vid Alsjö, se figur nedan. Vid Rockneby minskar pH och ANC är ofta negativt, vilket gör att försurningstillståndet inte förbättrats under mätperioden. Vid Ottenby är försurningsläget mer svårbedömt, då ANC och pH minskar samtidigt som pH är mycket lågt, mellan 4-4,5, och ANC klart positivt. Bäst försurningstillstånd finns vid Risebo i länets norra delar, med ett pH runt 6 och positivt ANC. pH minskar dock vid Risebo, vilket är lite oroväckande. Det tar lång tid för skogsmarken att återhämta sig efter den tidigare historiska försurningsbelastningen. Hur mycket svavelnedfall skogsmarken tål i dagsläget beror på flera samverkande faktorer, såsom kvävenedfall och bortförsl av buffrande ämnen vid skogsavverkning. I takt med att svavelnedfallet minskar har dock andra faktorer, såsom skogsbruk och kvävenedfall, fått större betydelse för försurningspåverkan.



Det totala nedfallet av oorganiskt kväve till skogen i länet har beräknats till 5-8 kg kväve per hektar och år under det senaste hydrologiska året (2016/17). Kvävenedfallet minskar endast långsamt och har under lång tid överskridit de kritiska nivåer som antagits främst för att motverka förändringar av biodiversiteten för barrskog i Sverige, 5 kg kväve per hektar och år. Inte något år under mätningarnas gång har det totala kvävenedfallet varit lägre än 5 kg/ha och år. Om kvävenedfallet överstiger vad skogsekosystemet kan ta hand om finns det risk för att kväve läcker till bäckar och sjöar. Förhöjda halter av nitratkväve i markvattnet har ibland förekommit i Kalmar län, vilket visar att det vid vissa platser finns mer kväve än vad skogsekosystemet kan ta upp och därmed en potentiell risk för kväveutlakning till ytvatten. När det gäller lufthalterna av kvävedioxid har de, sedan 1999, minskat statistiskt säkerställt med 30 % vid Ottenby och Rockneby samt 40 % vid Risebo, i länets norra delar.

1 Krondroppsnetets mätningar

Krondroppsnetet omfattar över 60 provytor i skog och på öppet fält fördelade över hela landet. Här mäts lufthalter, våtdeposition, torrdeposition, krondropp och markvattenkemi. Ett stort antal ämnen och parametrar mäts, däribland svavel- och kväveföreningar, som har stor betydelse för försurnings- och övergödningsproblematiken.

Genom åren har antalet mätplatser inom Krondroppsnetet varierat, som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 ytor. Då övervakningen sker i brukad skog har ytor flyttats vid avverkning eller andra händelser. Idag bedriver Krondroppsnetet mätningar på 62 platser i Sverige och numera är mätserierna mer än 30 år på några ytor, Figur 1.

Nedfall och lufthalter mäts månadsvis, medan markvattenkemi mäts tre gånger om året för att representera förhållandena före, under respektive efter vegetationsperioden. Mätningarna bedrivs både på öppet fält och i skogen under träd-kronorna, Figur 2. Alla länets mätningar presenteras i mer detalj i Bilaga 1.



Figur 1. Samtliga ytor inom Krondroppsnetet 2016/17.

Mätningar i skogen

Under träd-kronorna i skogen mäts krondropp, som ger ett summerat mått på både våt- och torrdeposition, vilket dock för vissa ämnen måste korrigeras för samverkan med träd-kronorna. Kemin i markvattnet mäts under trädens rötter för att undersöka skogsmarkens reaktion på nedfallet. Mätningarna görs med hjälp av undertryckslysimetrar som suger vatten i mineraljorden på 50 centimeters djup.



Foto: krondroppsprovtagare



markvattenutrustning

Mätningar på öppet fält

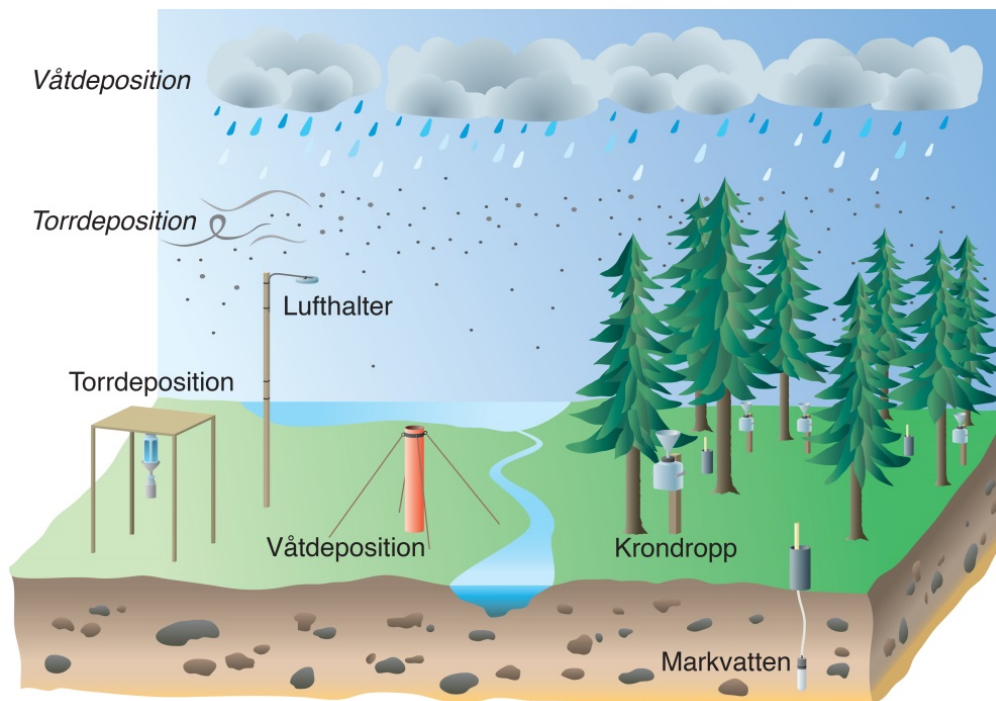
Våtdeposition av flera olika ämnen mäts med nederbördsprovtagare på öppet fält, där även torrdeposition mäts med hjälp av strängprovtagare. Likaså mäts lufthalterna av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon på öppet fält på vissa platser i landet.



Foto: öppen fältprovtagare



lufthaltsprovtagare



Figur 2. Inom Krondroppsnetet mäts lufthalter, våt- och torrdeposition samt markvattenkemi. Nedfallet mäts dels på öppet fält och dels under trädkronorna som krondropp. Vissa ämnen samverkar med trädkronorna, och därför används även strängprovtagare för att kunna bestämma torrdepositionen av dessa ämnen. (Illustration: Bo Reinerdahl)

Allt arbete inom Krondroppsnetet från provtagning till kemisk analys, validering och databearbetning utförs enligt väl utarbetade rutiner, och laboratorerna innehar ackreditering för de kemiska analyserna. Detta ger en hög kvalitet på data, och garanterar att data från olika platser och från olika år är direkt jämförbara.

Våt- respektive torrdeposition



Foto: Strängprovtagare

Det samlade nedfallet av olika ämnen till skog involverar flera olika processer. En del av nedfallet sker via nederbörden, vilket kallas våtdeposition. En annan del sker genom att gaser och partiklar "fastnar" i trädkronorna, vilket kallas torrdeposition. Det som avsatts som torrdeposition sköljs med nederbörden till skogsmarken i form av krondropp. Krondropp ger därför i teorin ett samlat mått på summan av våt- och torrdeposition. Torrdepositionen skulle därför kunna beräknas som skillnaden mellan nedfall som krondropp och nedfall via nederbörd på öppet fält.

Dock kan vissa ämnen tas upp direkt i trädkronorna, alternativt läcka ut från trädkronorna. Detta gör att krondroppsmätningarna ger ett bra mått på det samlade nedfallet endast för ämnen som inte samverkar med trädkronorna, såsom svavel, natrium och klorid. För övriga ämnen, exempelvis kväve och baskatjoner, krävs kompletterande mätningar, till exempel med strängprovtagare, för att korrekt kunna beräkna torrdepositionen.

2 Kvävenedfall och dess effekt på övergödning

2.1 Kvävenedfallet påverkar markvegetation och vattenkvalitet

Utsläpp av kväve i form av kväveoxider (NO_x), framför allt från vägtransporter och industrin, och ammoniak (NH_3), som främst kommer från jordbruket, leder till nedfall av kväve som kan bidra till både övergödning och försurning av mark och vatten. Förenklat kan man säga att den del av kvävenedfallet som tas upp av skogsekosystemen kan leda till övergödning av marken, medan det kväve som inte tas upp kan bidra till övergödning av vatten och försurning av mark och vatten. Utsläppen av NO_x i Sverige har minskat med drygt 50 % sedan 1990 och ammoniakutsläppen har minskat med ca 12 % under motsvarande tidsperiod (Naturvårdsverket, 2018). Inom Krondroppsnetet görs årliga uppföljningar av vad detta fått för effekter på nedfall och markvattenkemi i skogsekosystemen.

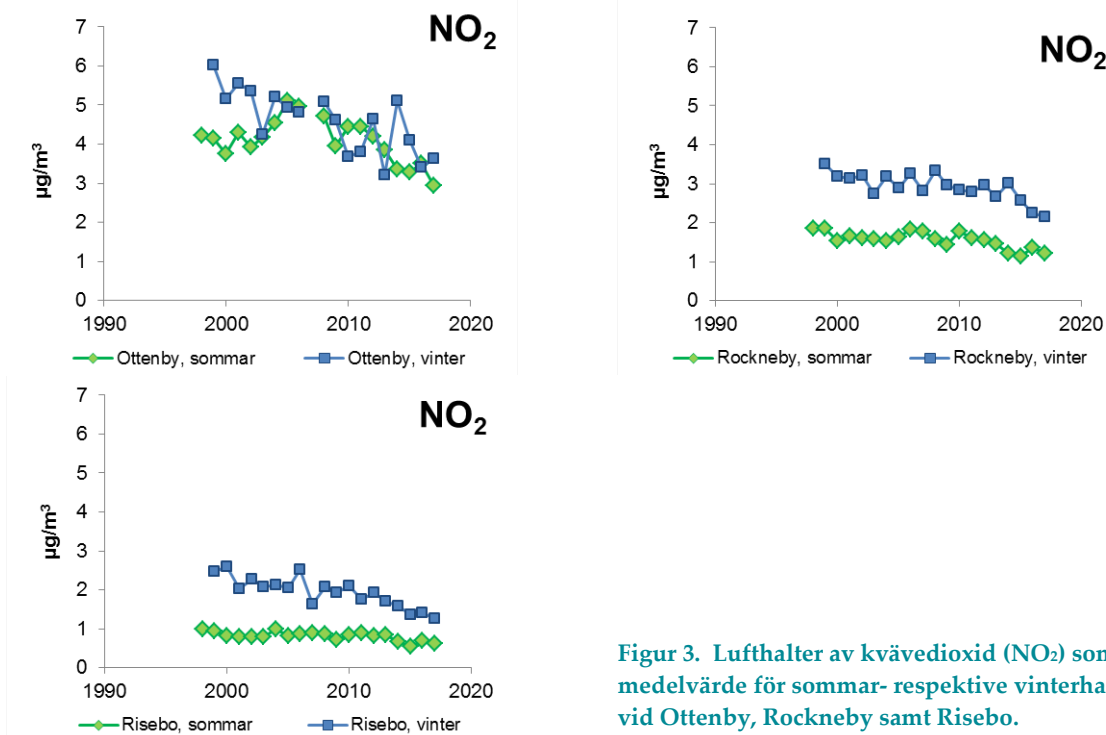
Övergödning av marken kan leda till en förändring av markvegetationen i skogsekosystemen. Kvävegynnade arter, t.ex. gräs, kan komma att öka i förekomst på bekostnad av mindre kvävegynnade arter, t.ex. blåbär. Täckningen av blåbärsris mellan perioderna 1993-2002 och 2003-2010 har minskat i norra Sverige medan ingen förändring har noterats i södra Sverige (SLU, 2011). I södra Sverige har kvävenedfallet varit på en relativt hög nivå under lång tid, och det är troligt att förändringar i markvegetation skett tidigare.

Det kväve som inte tas upp kan läcka ut i markvattnet, främst i form av nitrat, och en del av detta kan sedan transporteras vidare och bidra till förhöjda nitrathalter i grundvatten och övergödning av ytvatten. I Sveriges skogar tas oftast allt kväve upp i skogsekosystemen (Akselsson m.fl., 2010). Om nitratkvävehalterna är förhöjda är det ett tecken på att marken är mättad på kväve. Detta är vanligast förekommande i sydvästligaste Sverige, men förekommer även vid enstaka tillfällen och efter olika former av störningar i skogen, i andra delar av landet. Detta påverkar även försurning, se vidare kapitel 3.

Inom Krondroppsnetet mäts bland annat lufthalter av kvävedioxid och ammoniak, samt nedfall av kväve och markvattenkemi, som kan ses som ett mellansteg mellan mark och ytvatten. Markvattnet provtas på ett djup av 50 cm, och har alltså lämnat rotzonen och är på väg ut mot ytvattnet, även om det utsätts för olika processer på sin väg.

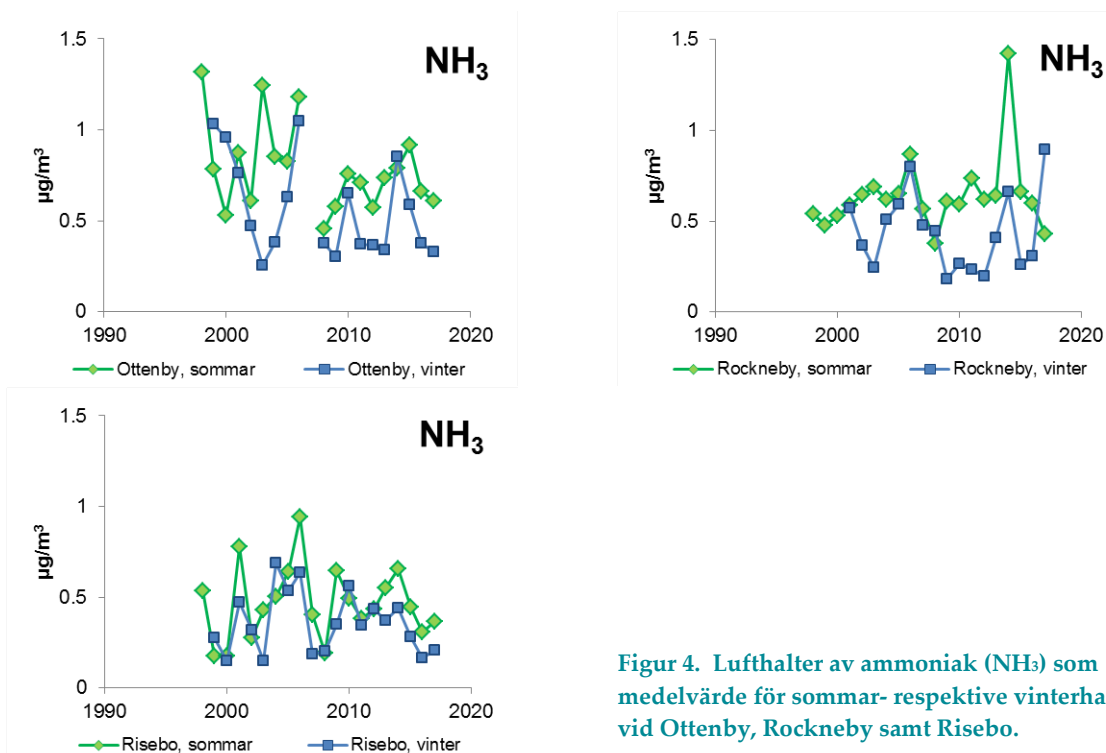
2.2 Lufthalter av kvävedioxid och ammoniak

Det finns värdefulla, långa tidsserier av lufthalter av kvävedioxid (NO_2) och ammoniak (NH_3) på månadsbasis för Kalmar län (Figur 3). Vid samtliga mätplatser i länet påbörjades mätningarna april 1998. Under perioden 1999-2017 har årsmedelhalter av NO_2 baserat på kalenderår vid Ottenby och Rockneby minskat med 30 % medan de minskat med 40 % vid Risebo under samma period. De rapporterade utsläppen av NO_x (som NO_2) från EU-28 har under perioden 1999-2015 minskat med 43 % (CEIP, 2018).



Figur 3. Lufthalter av kvävedioxid (NO_2) som medelvärde för sommar- respektive vinterhalvår vid Ottenby, Rockneby samt Risebo.

Ammoniak har en hög depositions hastighet och deponeras därför relativt nära utsläppskällan. Ammoniak förekommer därför sällan med höga halter i luften. Under mätperioden har inga statistiskt säkerställda förändringar av ammoniakhalten i luften på årsbasis skett vid någon mätplats i länet. Lufthalterna av ammoniak är förhållandevis låga vid mätplatserna. Sommartid är oftast ammoniakhalten högre jämfört med under vintertid, Figur 4. Förhöjda ammoniakhalter sommartid orsakas ofta av jordbruksverksamhet i närområdet. De rapporterade utsläppen av NH_3 från EU-28 har minskat med 13 % under 1999-2015 (CEIP, 2018).



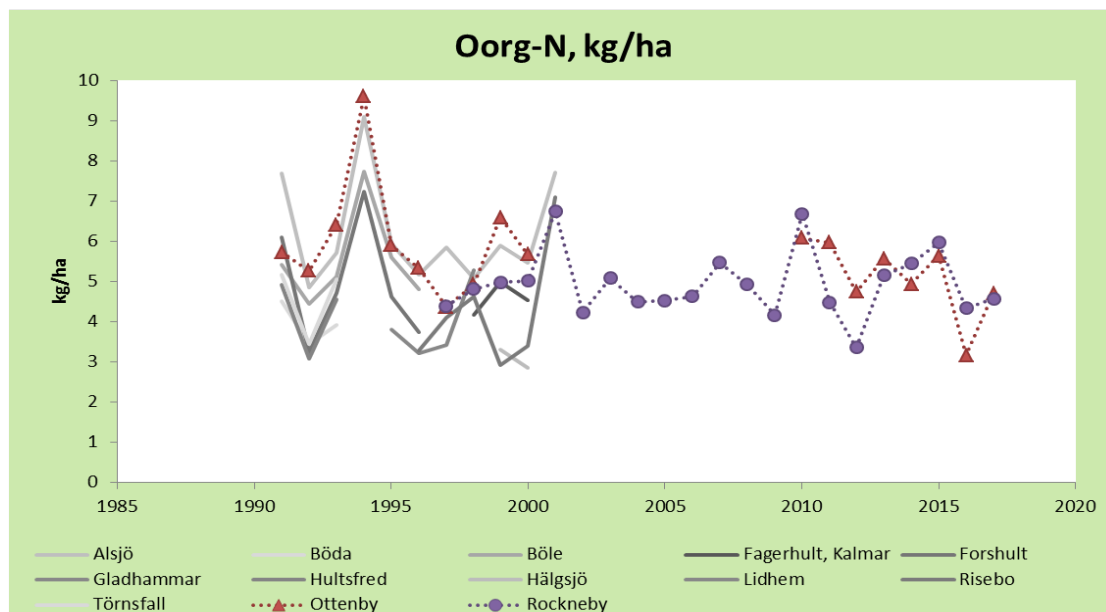
Figur 4. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärde för sommar- respektive vinterhalvår vid Ottenby, Rockneby samt Risebo.

2.3 Kvävenedfall i Kalmar län

Totaldeposition av kväve innefattar både torr- och våtdeposition. Krondroppsmätningar kan inte användas rakt av för att uppskatta nedfallet av kväve till skog på grund av att en viss andel kväve tas upp direkt till trädkronorna och därmed inte når provtagarna i marknivå. Därför redovisar vi nedfallet av oorganiskt kväve i länet som våtdeposition med nederbörden till öppet fält i Figur 5. Vid beskrivningen av nedfall på nationell nivå visar vi även totaldeposition till skog, beräknat med hjälp av mätningar med strängprovtagare som finns fördelade på 10 platser över landet (Figur 7C i kapitel 2.4).

I Kalmar län pågår mätningar på öppet fält vid två ytor, Ottenby, där mätningar startade december 1989 (med ett mätuppehåll för de hydrologiska åren 2000/01 – 2008/09) och Rockneby, där mätningarna startade i oktober 1996. Kvävenedfallet med nederbörden har vid Ottenby under mätseriens gång varierat mellan 3,2 och 9,6 kg per hektar och år, med det lägsta kvävenedfallet under 2015/16 och det högsta under 1993/94, Figur 5. För Rockneby har kvävenedfallet varierat mellan 3,4 och 6,7 kg per hektar och år, med det lägsta kvävenedfallet under 2011/12 och det högsta under 2000/01, Figur 5. Under det hydrologiska året 2016/17 uppmättes 4,6 - 4,7 kg oorganiskt kväve per hektar på öppet fält vid länets båda mätplatser. Det finns ingen statistiskt säkerställd förändring av nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält vare sig vid Ottenby eller vid Rockneby.

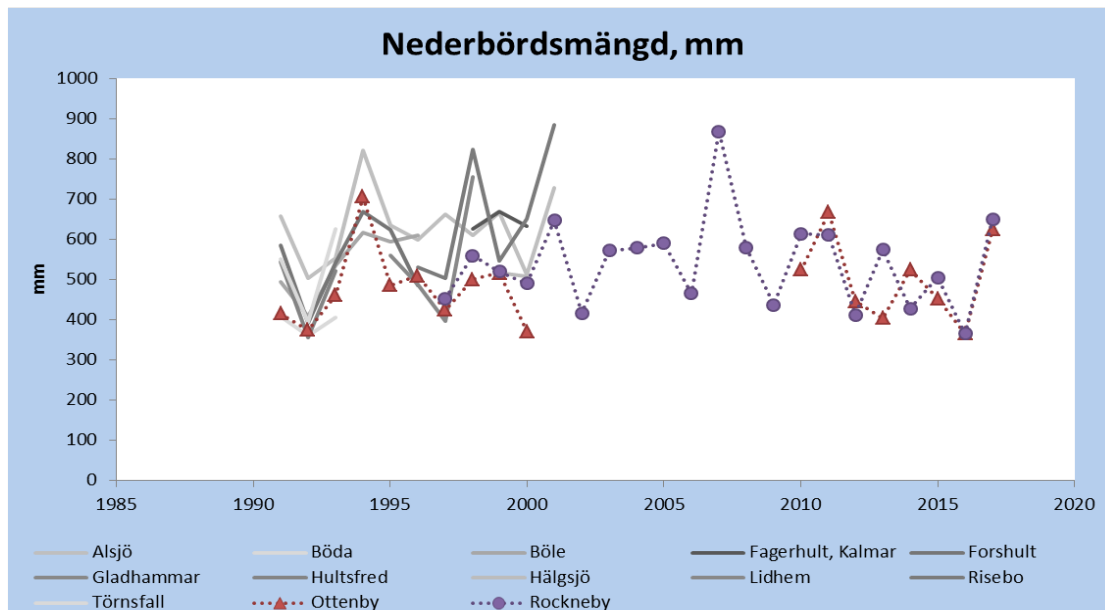
Sedan 1987/88 har det funnits mätningar på öppet fält vid sammanlagt 13 mätplatser i länet (Figur 5). Kvävenedfallet i länet har varit 9,6 kg/ha som högst (vid Ottenby 1993/94), och som lägst 2,8 kg per hektar (vid Hälgsjö, 1999/00).



Figur 5. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) med nederbörden till öppet fält vid samtliga ytor i länet. Nedfallet mäts månadsvis och summeras för hydrologiskt år. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med linjer i grått och svart.

Nedfallets variation mellan år och mätplatser beror i stor utsträckning på variation i nederbörds-mängder. År med stora nederbörds-mängder har ofta förhållandevis högt nedfall (Figur 6). Vid båda mätplatserna har nederbörden varierat mycket mellan åren, mellan 365 och 706 mm vid Ottenby och mellan 365 och 869 mm vid Rockneby. Under det hydrologiska året 2016/17 var nederbörden 624 respektive 650 mm vid Ottenby respektive Rockneby, vilket är betydligt högre

jämfört med föregående år, då nederbördsmängden var 365 mm, vid de båda mätplatserna. De tidigare mätningarna visar att nederbörden i länet, sedan mätstarten har varit 356 mm som lägst och 853 mm som högst.



Figur 6. Nederbördsmängden över öppet fält vid samtliga ytor i länet. Nederbörden mäts månadsvis och summeras för hydrologiskt år. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med linjer i grått och svart.

Nedfallet av kväve via krondropp beror på våtdeposition, torrdeposition och interncirkulation. I Kalmar län har kvävenedfallet via krondropp varit lägre jämfört med nedfallet på öppet fält. Ett lägre nedfall via krondropp visar att träden tar upp mycket kväve direkt till trädskronorna, vilket är det vanligaste i Sverige. På vissa exponerade platser i sydvästra Sverige, har dock torrdepositionen av kväve varit högre än upptaget av kväve, vilket innebär högre nedfall via krondropp än på öppet fält.

Totaldepositionen av kväve till skog har beräknats genom att kombinera mätningar med strängprovtagare samt mätningar av våtdeposition och krondropp, enligt metodik i Karlsson m.fl. (2018b). I Kalmar län beräknades totaldepositionen av oorganiskt kväve under 2016/17 till mellan 5-8 kg kväve per hektar och år, med de lägsta nedfallet i länets nordligaste del, Figur 7c. Vid Rockneby, som har en strängprovtagare, var det totala kvävenedfallet 7,2 kg/ha under 2016/17. Detta kan jämföras med nedfallet enbart i nederbörden på öppet fält vid Rockneby som var 4,6 kg kväve under samma tidsperiod. Skillnaden visar att det är viktigt att beräkna totaldepositionen för att få ett mått på det totala nedfallet av kväve till skog. Den kritiska belastningen för övergödande kväve som används för Sveriges gran- och tallskogar är satt till 5 kg per hektar och år (Moldan, 2011). Denna gräns överskreds i hela länets skogar under 2016/17, och har gjort så under lång tid. Däremot överskreds inte gränsen som är satt för lövskog, 10 kg per hektar och år under 2016/17.

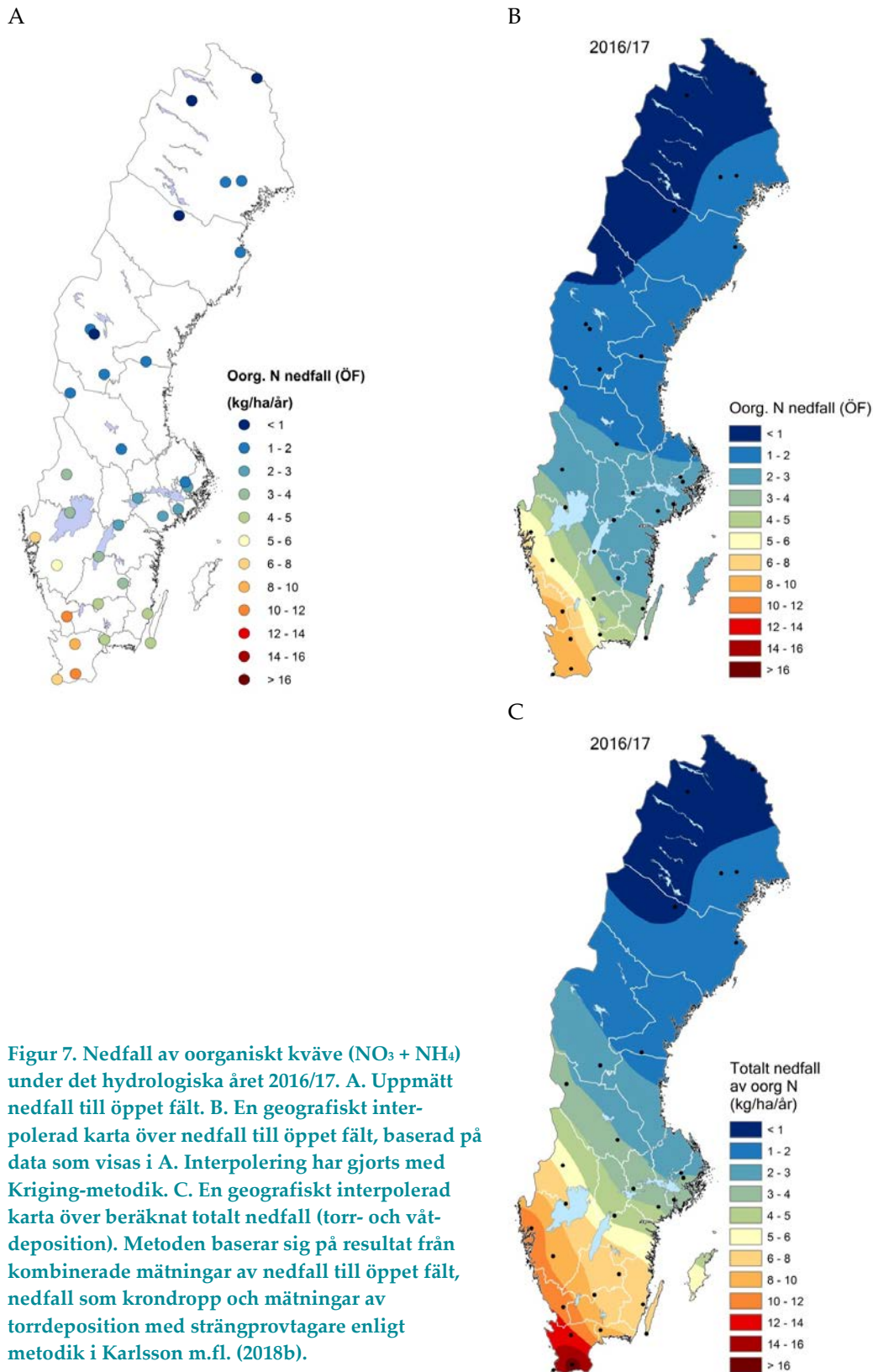
En trendanalys på beräknad totaldeposition av kväve visade att det totala kvävenedfallet till barrskog i sydöstra Sverige minskade signifikant under perioden 2001 – 2016, med i storleksordningen 37 % (<http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/>). Se mer i kapitel 4.2.1. I arbetet med trendanalysen kunde man se att det totala kvävenedfallet vid Rockneby sedan 2001 varierat mellan 6,5 kg/ha och år upp till cirka 12 kg/ha och år. Sedan länge finns alltså ett överskridande av den kritiska belastningsgränsen för kvävenedfall till länets skogar med en vegetationspåverkan som följd.

2.4 Kvävenedfall i Sverige och Europa

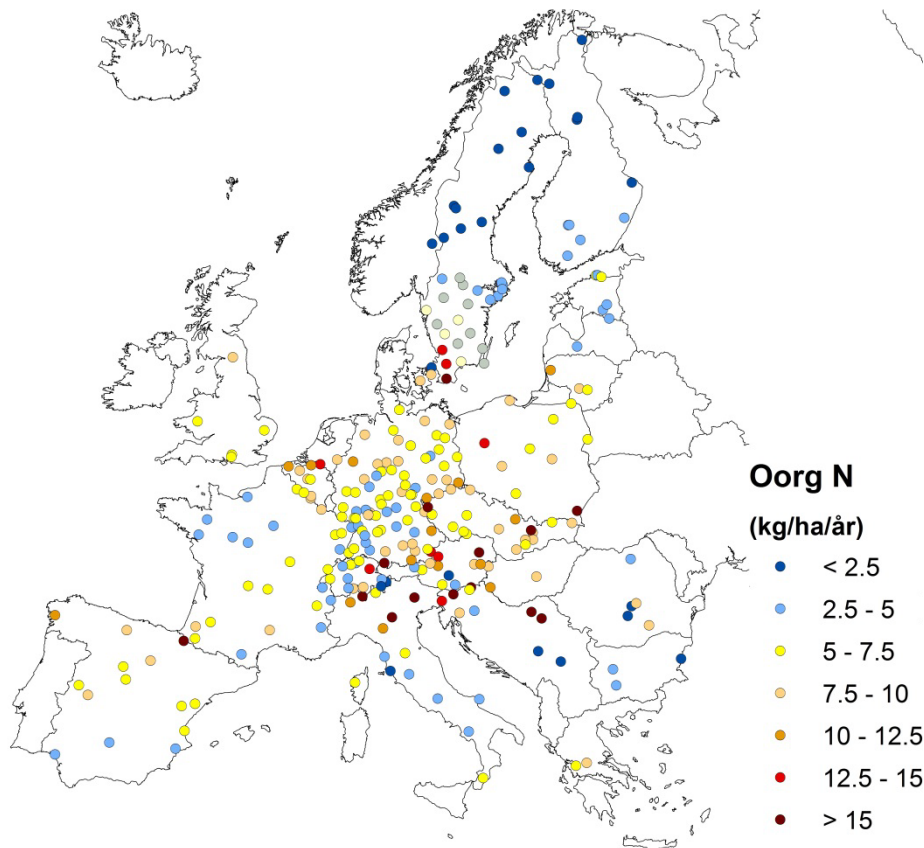
Nedfallet av kväve i Sverige är högst i sydväst och minskar mot norr. Kalmar län ligger i den del av Sverige där kvävenedfallet är och har varit högt, där uppemot 8 kg kväve deponerades per hektar med nederbörden på öppet fält under 2016/17 i de värst drabbade delarna, jämfört med norra Sverige, där nedfallet med nederbörden understeg 1 kg per hektar på flera ytor (Figur 7b).

Det totala kvävenedfallet till barrskog, där både torr- och våtdeposition inkluderas, har som tidigare nämnts beräknats med hjälp av resultat från nedfallsmätningarna på öppet fält och som krondropp tillsammans med resultat från mätningarna med strängprovtagare. Beräkningarna visar att totaldepositionen i Sverige under det hydrologiska året 2016/17 varierade mellan 0,5 och 17 kg per hektar och år (Figur 7c), vilket är betydligt högre än nedfallet på öppet fält (Figur 7a och 7b), framför allt i södra Sverige. Enligt beräkningarna av totaldeposition överskreds den kritiska belastningen för övergödande kväve, 5 kg per hektar och år, i nästan hela Götaland och större delen av Värmland under det hydrologiska året 2016/17.

I Figur 8 jämförs nedfallet av oorganiskt kväve på öppet fält i Sverige med övriga Europa (medelvärden för 2014 och 2015). Nedfallet i Skåne och Halland var ovanligt högt under 2014, vilket innebar att det var i nivå med de värst drabbade platserna i Centraleuropa, t.ex. Nederländerna, Schweiz och Österrike. Norra Sverige och hela Finland karakteriseras av ett lågt kvävenedfall, liksom delar av södra Europa samt Baltikum. Från ett europeiskt, historiskt perspektiv är skogs-ekosystemen i mellersta och norra Sverige unika, eftersom kvävenedfallet aldrig har varit särskilt högt. En rekonstruktion av gamla mätserier sedan 1955 tyder på att det årliga kvävenedfallet på öppet fält i norra Sverige aldrig har överskridit ca 4 kg kväve per hektar och år som medelvärde för norra Sverige (Ferm m.fl., manuskript). Våtdepositionen av kväve, både nitrat- och ammoniumkväve, kulminerade i mitten av 1980-talet då nedfallet som högst var cirka 9 kg kväve per hektar som medelvärde för sydöstra Sverige.



Figur 7. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) under det hydrologiska året 2016/17. A. Uppmätt nedfall till öppet fält. B. En geografiskt interpolerad karta över nedfall till öppet fält, baserad på data som visas i A. Interpolering har gjorts med Kriging-metodik. C. En geografiskt interpolerad karta över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition). Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2018b).



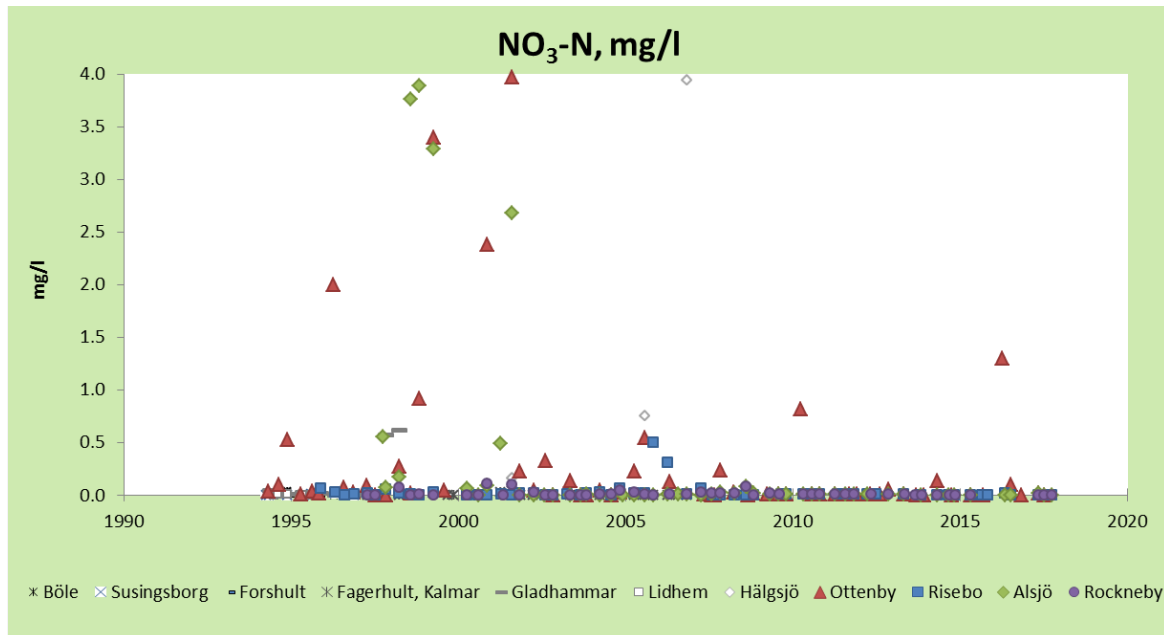
Figur 8. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) till öppet fält i Europa, medelvärden för kalenderåren 2014 och 2015. Data utanför Sverige kommer från ICP Forest, en verksamhet inom konventionen om gränsöverskridande luftföroreningar, CLRTAP. I de flesta fall ligger provtagningen på öppet fält belägen i ett skogslandskap.

2.5 Nitrat i markvattnet i Kalmar län

Förhöjda halter av nitratkväve i markvattnet kan innebära risk för utlakning till ytvatten och därigenom ge ett bidrag till övergödningen. Dessutom innebär utlakning av nitratkväve försurning, eftersom vätejoner frigörs vid nitrifieringsprocessen.

Sammantaget visar mätningarna att nitrat ibland förekommer i markvattnet i skogsekosystemen i Kalmar län i växande skog (Figur 9). Även ammoniumhalterna har vid ett par tillfällen varit förhöjda i länet, framförallt vid Ottenby, Rockneby och Risebo efter 2005, vilket troligen kan förklaras av en påverkan av stormen Gudrun och eventuellt även stormen Per, Bilaga 1. Efter stormskador kan halterna av nitrat öka till ganska höga nivåer i markvattnet, även om det kan ta något år efter det att störningen inträffade. Stormarna orsakade även förhöjda halter av nitrat vid Risebo och Hälgsjö, till följd av minskat upptag i träden på grund av stormskador. Mycket förhöjda nitrathalter har uppmätts vid Ottenby och Alsjö vid ett antal tillfällen runt 2000, vilket troligen kan förklaras av de stormar som inträffade i Sydsverige i december 1999. Vid Ottenby har dock förhöjda nitrathalter uppmätts även under perioder som ej varit stormpåverkade, vilket kan beror på de speciella markförhållanden som råder vid Ottenby. Däremot har det vid Rockneby sällan varit förhöjda halter av nitrat. Inte heller vid de tidigare aktiva ytorna Böle, Susingsborg, Forshult, Fagerhult eller Lidhem har förhöjda halter av nitrat förekommit.

Då nitrat och ammonium generellt endast förekommer sporadiskt i markvattnet i Kalmar län tyder detta på att de flesta skogarna i Kalmar län ännu inte nått kvävemättnad. Mycket tyder dock på att avsevärda mängder kväve finns upplagrat i skogsmarken i länet som vid störningar kan läcka vidare till grund- och ytvatten. Eftersom skogen utgör en stor andel av den samlade arealen i Kalmar län kan förhöjda halter av nitrat i markvattnet bidra till den totala mängden kväve som läcker ut från mark till sjöar och hav.



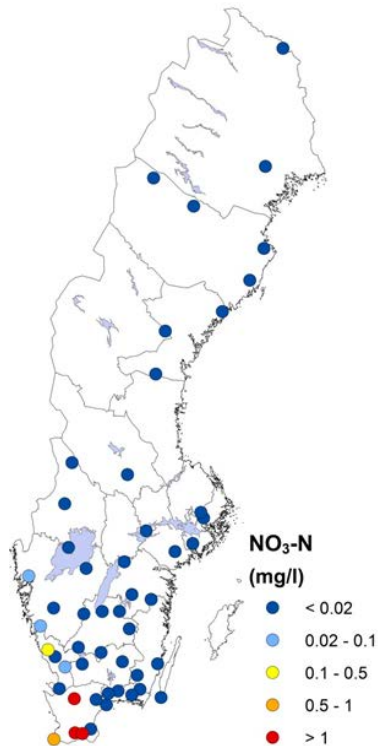
Figur 9. Nitrathalter i markvattnet vid samtliga ytor i länet. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vid vissa tillfällen saknas prov när det varit torrt i marken. Några mycket höga mätvärden från Hälgsjö (tre mätvärden med maxvärde: 32 mg/l) och Ottenby (två mätvärden med maxvärde: 14 mg/l) visas inte i figuren. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart.

2.6 Nitrat i markvattnet i Sverige och Europa

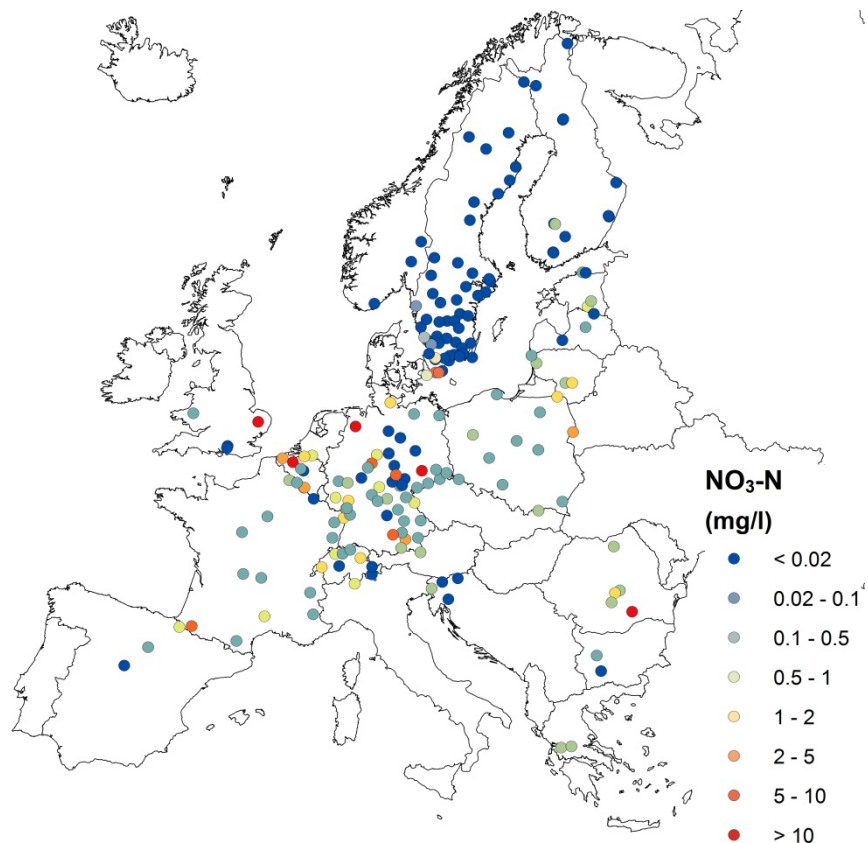
Krondroppsnetets mätningar i Sverige visar att nitratkvävehalterna var mycket låga under perioden 2015-2017, förutom på vissa mätplatser i Skåne och Halland, vilket visar att det kväve som tillförs via nedfall tas om hand av träd och övrig vegetation eller ackumuleras i skogsmarken, se Figur 10. Det är dock troligt att det finns andra platser i sydvästra Sverige där marken är mättad eller nära mättad på kväve, bland annat baserat på de förhöjda halter som uppmättes under 1980- och 1990-talen vid nu avslutade mätplatser.

I övriga Europa uppmäts ofta förhöjda halter av nitratkväve, men variationen är stor (Figur 11). Höga halter är vanligast i de centrala delarna av Europa, där nedfallet av kväve varit som störst, men där finns också mätplatser med mycket låga halter. Detta beror troligtvis på skillnader i mark- och skogsegenskaper.

Figur 10. Koncentrationen av nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnetet redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar (2015-2017). Ytor med mindre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats eller gödslats har tagits bort.



Figur 11. Koncentrationen av nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) i markvattnet (median för tre mätningar per år under 2014-2016, 50 cm djup) vid olika platser inom Krondroppsnetet, samt ICP-Forest data (median för månadsvärden under 2014-2016, 40-80 cm djup). Observera att skalan är en annan än i Figur 10.



3 Försurning

3.1 Försurning av mark och vatten – en effekt av svavel- och kvävenedfall samt skogsbruk

Utsläpp av svavel (SO_x), främst från förbränning av kol och olja samt olika industriella processer, är den största orsaken till försurningen av mark och vatten som skett i Sverige. En annan bidragande faktor är kvävenedfall (kapitel 2), som har fått större relativ betydelse på senare år eftersom svavelutsläppen minskat mycket mer än kväveutsläppen. Utsläppen av SO_x i Sverige har minskat med 84 % under tidsperioden 1990-2016 (Naturvårdsverket, 2018). En tredje bidragande faktor är skogsbruket, eftersom träd tillväxt innebär försurning, och denna försurning permanentas när biomassa skördas och buffrande ämnen förs bort från systemet. Även skogsbrukets påverkan har ökat i betydelse då uttaget av grenar och toppar (grot) i skogsbruket ökat för att möta behoven av förnybar energi. Detta har föranlett införandet av en ny indikator inom miljömålet *Bara naturlig försurning* som används från och med 2018.

Surt nedfall leder till att marken utarmas på kationerna kalcium, magnesium, kalium och natrium, genom att vätejoner byter plats med dessa på markpartiklarna. Det gör att motståndskraften i marken mot ytterligare försurning minskar. Kalcium, magnesium och kalium är även viktiga växnäringsämnen, och en utarmning av dessa kan på sikt leda till negativa effekter på träd och vegetation. Vid låga pH omvandlas aluminium till en giftig trevärd jon, som i för höga doser kan skada trädens rötter. En ytterligare effekt av lågt pH är att vissa metaller, t.ex. kadmium och bly, blir mer lösliga i marken och kan läcka ut till ytvattnet.

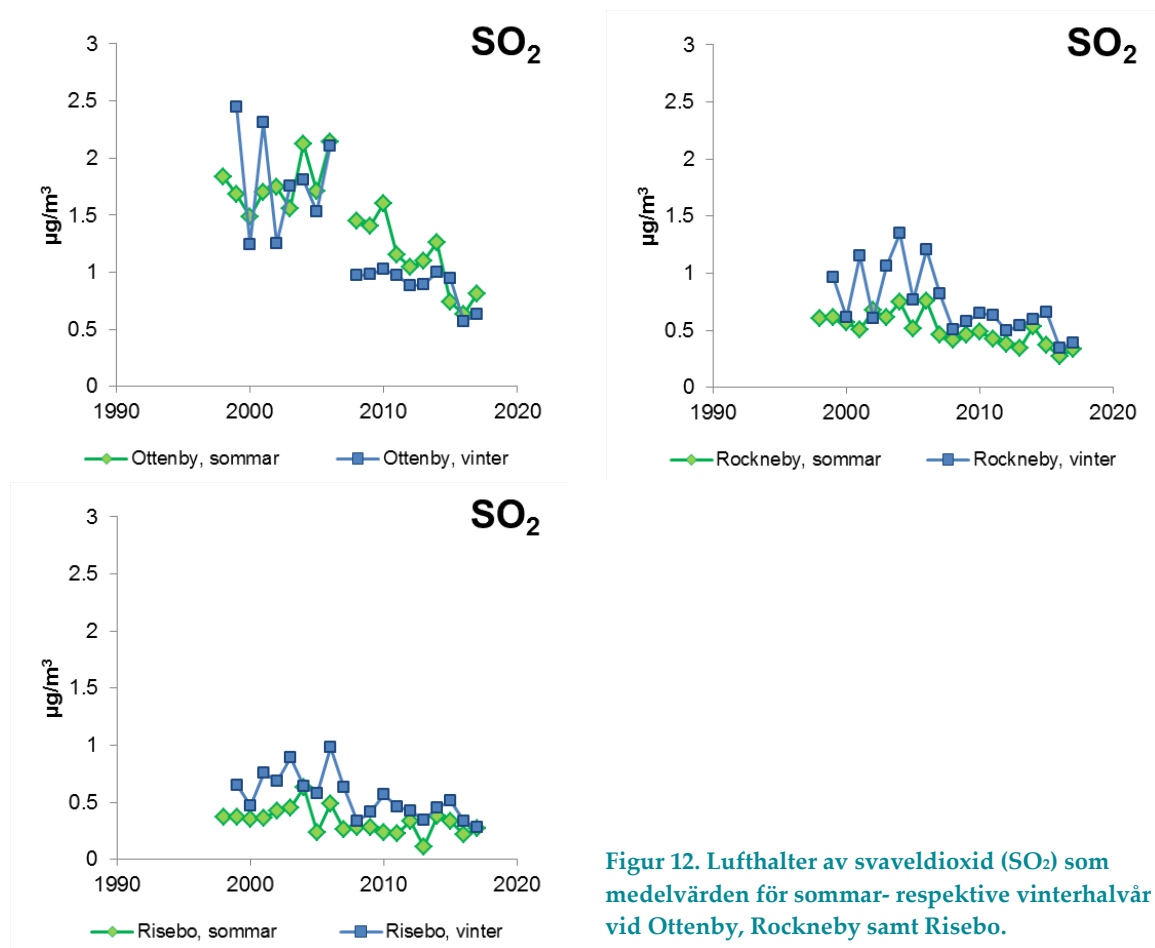
Effekterna i sjöar och vattendrag har varit mer påtagliga än effekterna i mark i Sverige. När vattnet som rinner genom skogsmarken når ytvattnet bör det ha en betydande syraneutraliserande förmåga (ANC – Acid Neutralizing Capacity), så att det bidrar till buffringkapaciteten i ytvattnet så att pH inte sjunker. Om vattnet rinner genom sur mark kan det dock ha mycket låg eller ingen buffringkapacitet. Detta leder till sänkt pH i sjöar och vattendrag liksom förhöjda halter trevärt aluminium, som kan leda till att fiskar och vattenlevande organismer skadas eller till och med dör. Populationen av lax minskar vid $\text{pH} < 5,6$ och reproduktionen av öring minskar med 50 % vid $\text{pH} 5,2$ till följd av ökade halter av den toxiska aluminiumformen (Degerman m.fl., 2015).

I Krondroppsnetet följs bland annat lufthalter och nedfall av svavel och kväve upp, samt dess effekter på markvattenkemi. Lufthalter av kväve (NO_2 och NH_3) redovisades i kapitel 2.2. och nedfall av kväve redovisades i kapitel 2.3 - 2.4, medan lufthalter och nedfall av svavel samt effekter i markvattnet redovisas nedan.

3.2 Lufthalter av svaveldioxid

I grunden har försmurningen orsakats av transporten av svavel med vindarna från utsläppskällor till svensk skogsmark. Liksom för kväveoxider finns det långa värdefulla tidsserier av lufthalter av svavel (SO₂) på månadsbasis inom länet. Vid Ottenby, Rockneby och Risebo mäts lufthalterna av SO₂ månadsvis sedan april 1998 (Figur 12).

Under perioden 1999 till 2017 har lufthalterna av SO₂ vid Ottenby, Rockneby och Risebo minskat med 59 %, 52 % respektive 48 %. Som jämförelse har de rapporterade utsläppen av oxiderat svavel från EU-28 under perioden 1999-2015 minskat med 86 % (CEIP, 2018).



Figur 12. Lufthalter av svaveldioxid (SO₂) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid Ottenby, Rockneby samt Risebo.

Lufthalterna av SO₂ under sommaren 2014 och vintern 2015 påverkades av omfattande svavelutsläpp från ett vulkanutbrott på Island (Hellsten m.fl., 2017). Dessutom sänktes halterna av svavel i fartygsbränsle 1 januari 2015 från 1 till 0,1 procent, vilket bör ha påverkat lufthalterna av svavel över hela södra Sverige. Det är svårt att direkt utvärdera de kombinerade effekterna av dessa händelser. En statistisk analys av månadsvisa data i relation till väderförhållanden och vindriktning m.m. skulle möjligen kunna reda ut i vilken mån sänkta svavelhalter i fartygsbränsle bidragit till att minska lufthalterna av SO₂ i Kalmar län.

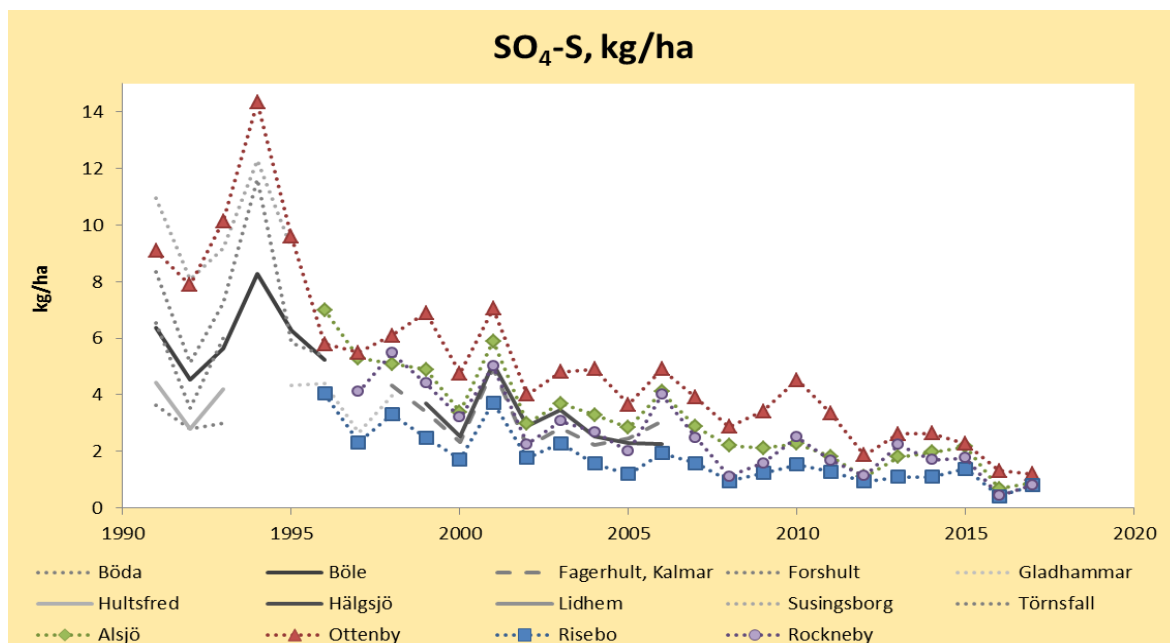
3.3 Svavelnedfall i Kalmar län

Svavelnedfallet via krondropp bedöms ge ett bra mått på det totala svavelnedfallet till skog, eftersom det inte sker något betydande upptag i trädkronorna. Svavelnedfallet till skogen i länet har minskat kraftigt och minskningen är signifikant vid samtliga nu aktiva skogsytor i länet. Under det hydrologiska året 2016/17 noterades det näst lägsta nedfallet någonsin på samtliga fyra skogsytor i länet där krondropp mäts, mellan 0,8-0,9 kg/ha vid Rockneby, Alsjö och Risebo och 1,2 kg/ha vid Ottenby på södra Öland, bara svavelnedfallet 2015/16 har varit lägre i länet, Figur 13.

Vid Ottenby finns den längsta mätserien i länet, 27 år, och där har även det högsta svavelnedfallet uppmätts, vilket till stor del kan förklaras av att mätplatsen påverkats av fartygstrafiken i Östersjön strax utanför mätplatsen. Vid Ottenby har svavelnedfallet minskat med 83 % sedan mätstarten 1990/91, se Figur 13. Sedan 1996/97, då mätningar finns vid samtliga nu aktiva mätplatser, har svavelnedfallet minskat med mellan 72-82 % med lägst minskning vid Risebo och högst vid Alsjö. Som genomsnitt för de fyra ytorna var minskningen sedan 1996/97 när det gäller svavelnedfallet 78 %, från 4,3 kg/ha 1996/97 till 0,9 kg/ha 2016/17 (Figur 13).

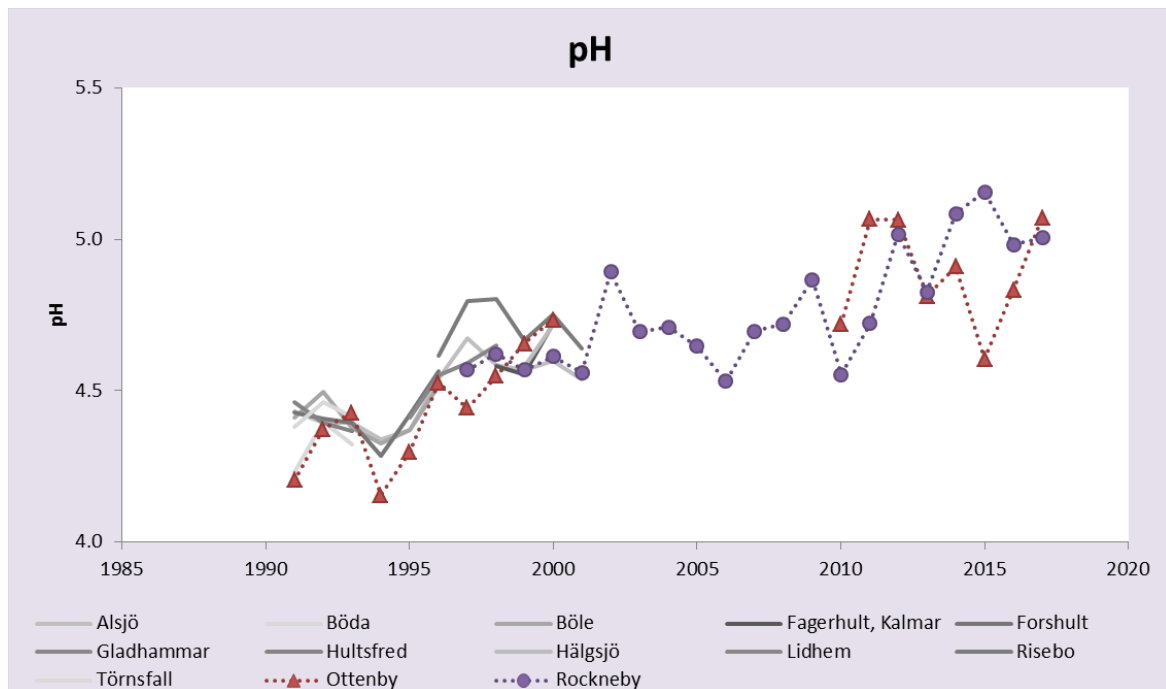
I länet har det totalt funnits 14 mätplatser där krondropp har mätts och generellt speglar dagens fyra mätplatser variationen av länets svavelnedfall mycket väl, Figur 13.

Mellan 1990/91-1994/95 låg svavelnedfallet som krondropp, i länet, mellan 3 och 14 kg S per hektar och år, Figur 13. Under mätningarnas första fem år uppmättes högst svavelnedfall 1993/94 vid Ottenby och lägst svavelnedfall 1991/92 vid Hultsfred och Böda. Under de senaste fem åren har svavelnedfallet varit betydligt lägre jämfört med mätningarnas första fem år. Under perioden 2012/13 – 2016/17 har svavelnedfallet vid länets fyra mätplatser varierat mellan 0,4 kg S/ha och 2,6 kg S/ha, med högst nedfall vid Ottenby och lägst vid Risebo i länets norra delar, Figur 13.



Figur 13. Svavelnedfall (utan havssalt) som krondropp vid samtliga mätplatser i länet. Nedfallet mäts månadsvis och summeras för hydrologiskt år. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med linjer i grått och svart.

I linje med ett minskat nedfall av svavel har pH ökat i nederbörden till öppet fält och ligger idag runt pH 5. Vid Ottenby har pH ökat med cirka en pH-enhet sedan mätstarten 1990/91 och vid Rockneby har pH ökat med ungefär en halv pH-enhet sedan 1996/97 (Figur 14).

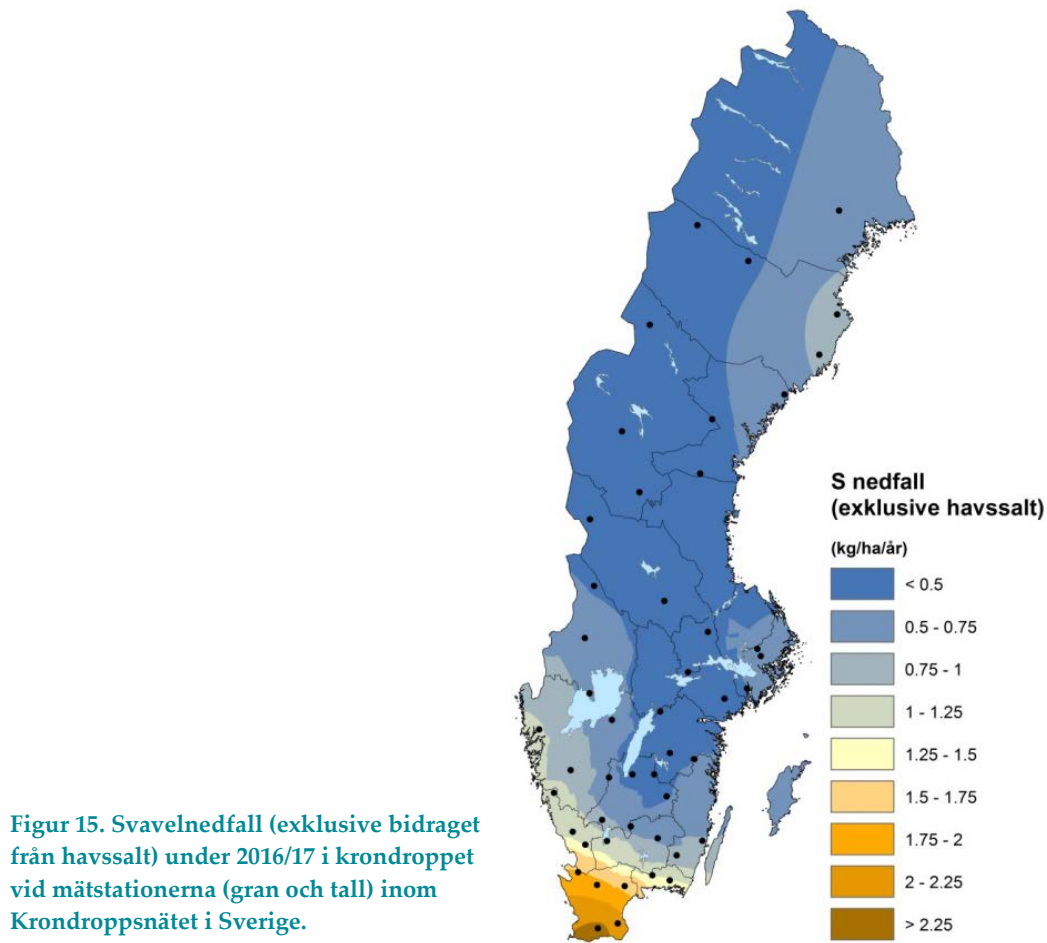


Figur 14. pH i nederbörden. Nederbörden mäts månadsvis och pH-värdet medelvärdesbildas för hydrologiskt år. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med linjer i grått och svart.

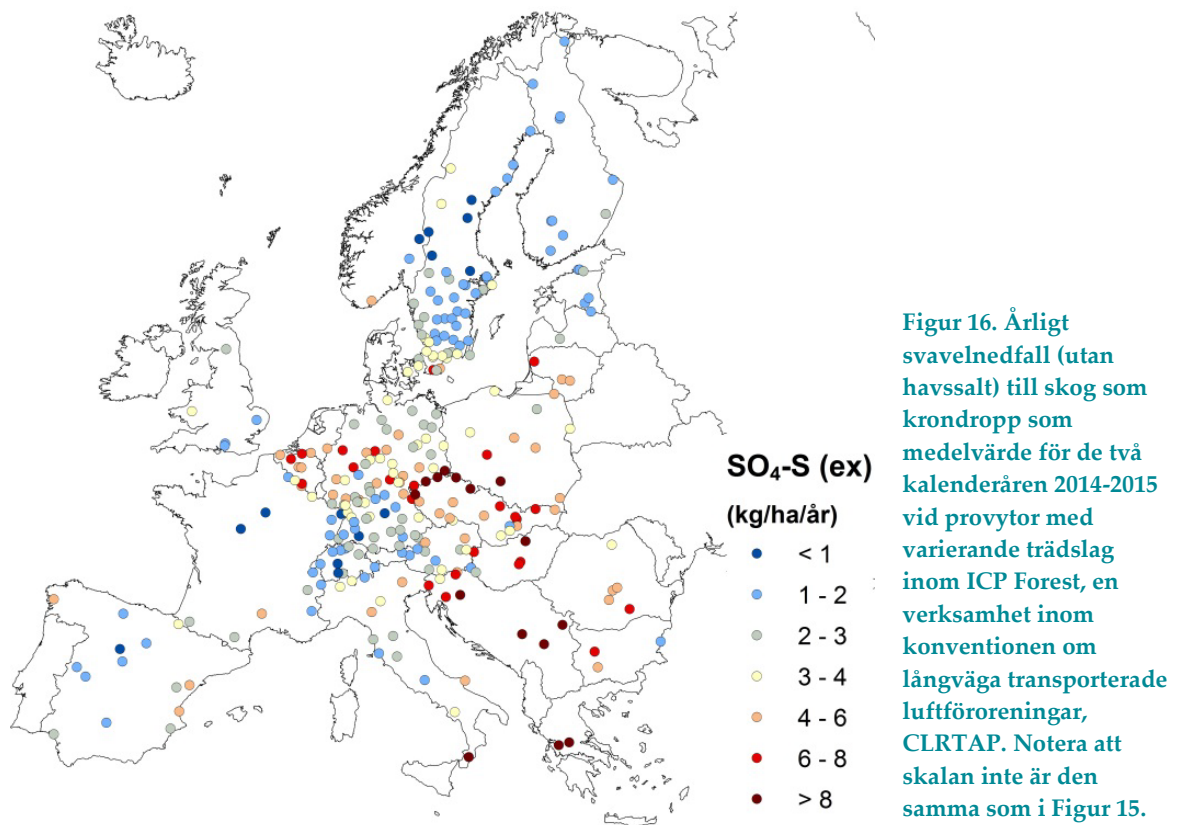
3.4 Svavelnedfall i Sverige och Europa

Precis som för kväve finns i Sverige en tydlig gradient med högst svavelnedfall i sydväst och lägst i norr (Figur 15). Nedfallet under 2016/17 var dock generellt mycket lågt i hela landet, från under 0,5 kg per hektar i norr till strax över 2 kg i söder. Nedfallet i Kalmar län (0,8 – 1,2 kg) var lägre jämfört med Skåne, men högre jämfört med övriga landet, framförallt i norra Sverige.

Nedfallet i Sverige är generellt lägre än i norra Tyskland, Belgien, Nederländerna och de östra delarna av Europa, där nedfallet fortfarande uppgår till 10 kg per hektar på vissa håll (2014-2015, Figur 16). Nedfallet i Sverige är ungefär på samma nivå som i södra Tyskland, Österrike, Schweiz, Spanien, Frankrike och Italien.



Figur 15. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) under 2016/17 i krondroppet vid mätstationerna (gran och tall) inom Krondroppsnetet i Sverige.



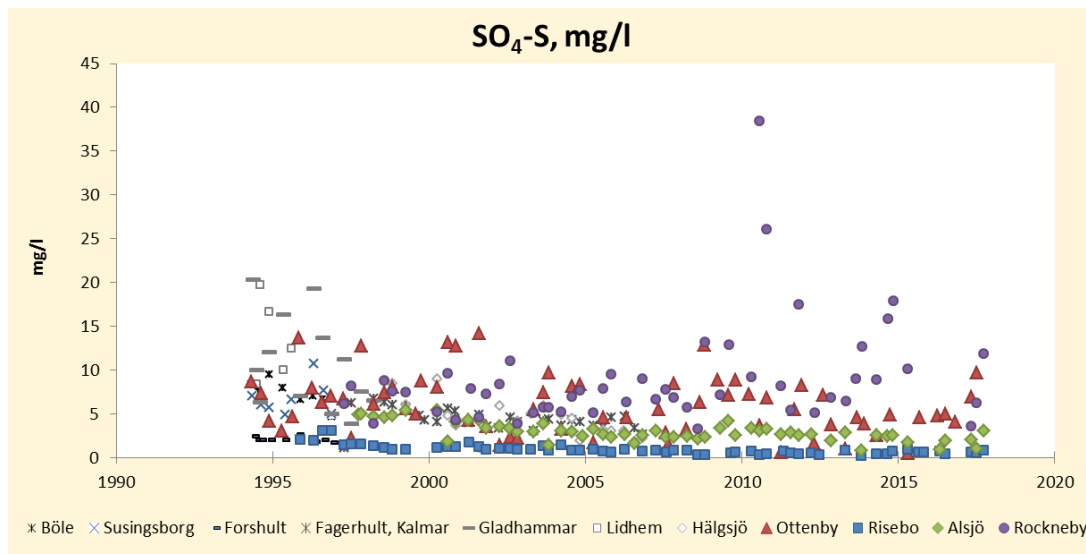
Figur 16. Årligt svavelnedfall (utan havssalt) till skog som krondropp som medelvärde för de två kalenderåren 2014-2015 vid provytor med varierande trädslag inom ICP Forest, en verksamhet inom konventionen om långväga transporterade luftföroreningar, CLRTAP. Notera att skalan inte är den samma som i Figur 15.

3.5 Försurning av markvattnet i Kalmar län

Normalt speglar tidsutvecklingen för svavelhalten i markvattnet det tidigare svavelnedfallet. Ofta finns dock skillnader i trenderna i nedfall och i markvattnet vilket till stor del beror på en fördröjning som orsakas av svaveladsorption/desorption i marken, som innebär att först försurningen, och sedan återhämtningen fördröjs.

Vid Rockneby och Ottenby syns ingen statistisk förändring av svavelhalten i markvattnet sedan mätstarten, Figur 17, trots ett minskande svavelnedfall. Vid Risebo, som generellt har låga svavelhalter i markvattnet, har en signifikant minskning av svavelhalterna i markvattnet uppmätts sedan mätstarten, Figur 17. Även vid Alsjö har svavelhalterna minskat i markvattnet till följd av ett minskat svavelnedfall. Halterna av sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$) i markvattnet varierar över länet och vid framförallt Rockneby och Ottenby ligger svavelhalten sedan lång tid tillbaka på höga nivåer, Figur 17. Orsakerna är inte helt fastlagda men det kan bero på att svavel under lång tid lagrats upp och nu kontinuerligt läcker ut till markvattnet. Det kan även bero på att vissa mineraler vittrar. Slutligen skulle det kunna bero på att nedbrytning av alger som historiskt lagrats upp på motsvarande sätt som sker vid Norrlandskusten av s.k. svartmocka, men detta behöver utredas närmare.

Även vid numera nedlagda ytor var svavelhalterna i markvattnet höga framförallt under mitten av 1990-talet, t.ex. vid Gladhammar och Lidhem där svavelhalterna i markvattnet varierade upp mot 20 mg/l, Figur 17.

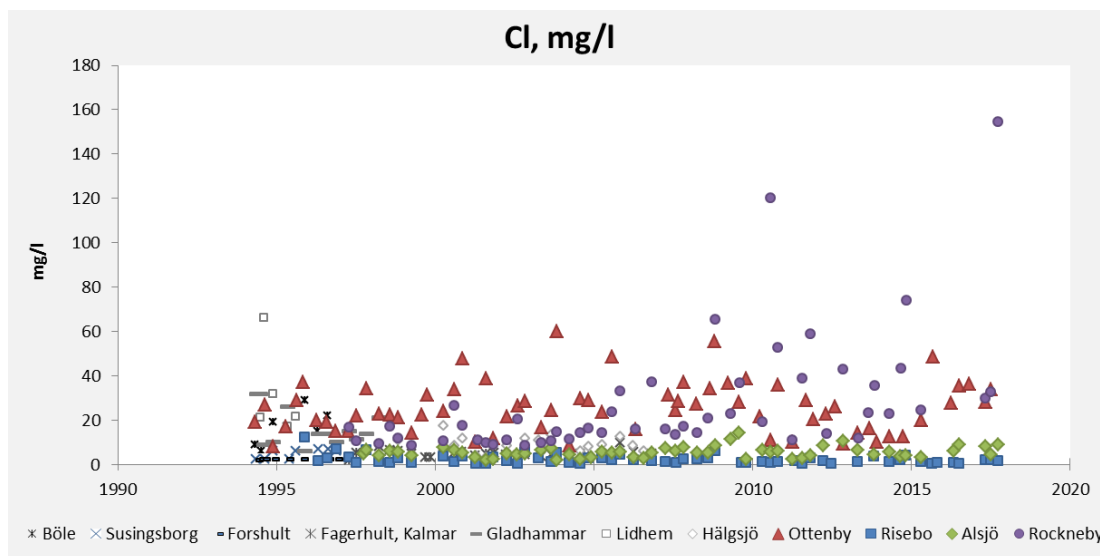


Figur 17. Svavelhalter i markvattnet vid samtliga ytor i länet. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vid vissa tillfällen saknas prov när det varit torrt i marken. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart.

Halten klorid (Cl^-) i markvattnet är viktig att titta på vid tolkning av försurningstrender, eftersom det ger en indikation på havssaltsepisoder, som kan orsaka surstötar. Det beror framför allt på att natrium (Na^+) i havssaltet byter plats med vätejoner, vilket leder till sänkt pH i markvattnet, och potentiellt även i ytvattnet om inte vattnet buffras på vägen mellan mark och vattendrag. Kloridhalter i markvattnet kan bli höga vid platser som utsatts för stormar som leder till havssaltsepisoder (Akselsson m.fl., 2013).

Kloridnedfallet i Sverige härstammar framför allt från havssalt, och uppvisar en stark gradient i södra Sverige från sydväst mot nordost. Kloridnedfallet är generellt högst på Sveriges västkust vilket oftast även ger mycket klorid i markvattnet. Kloridhalterna i markvattnet i Kalmar län visas i Figur 18. Dock är dagens kloridhalter i markvattnet vid Rockneby tillsammans med kloridhalterna vid en yta i Kronobergs län samt några mätplatser i Skåne län de allra högsta i landet. Troligen har kloridhalterna vid dessa ytor påverkat jonbytesprocesserna i marken men orsakssambanden till detta är inte helt klarlagt och bör utredas ytterligare.

Variationen i kloridhalter är mycket stor, både mellan mättillfällena och mellan olika perioder, Figur 18. Ingen signifikant trend vad gäller kloridhalten i markvattnet har påvisats vid mätstationerna Ottenby eller Alsjö, däremot har kloridhalterna vid Rockneby ökat signifikant sedan mätstarten, och i synnerhet de senaste åren. Kloridhalterna i markvattnet vid Risebo har minskat signifikant sedan mätstarten, Figur 18. Högst kloridhalter i markvattnet har uppmätts vid Rockneby följt av Ottenby och lägst kloridhalter vid Alsjö följt av Risebo.

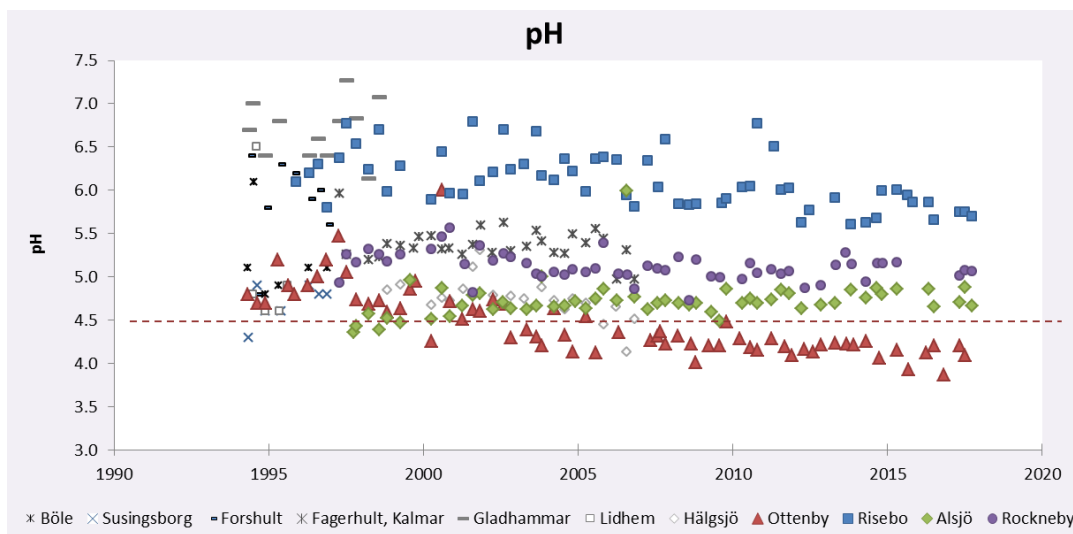


Figur 18. Klorid i markvattnet vid samtliga ytor i länet. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen saknas när det varit torrt i marken. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart.

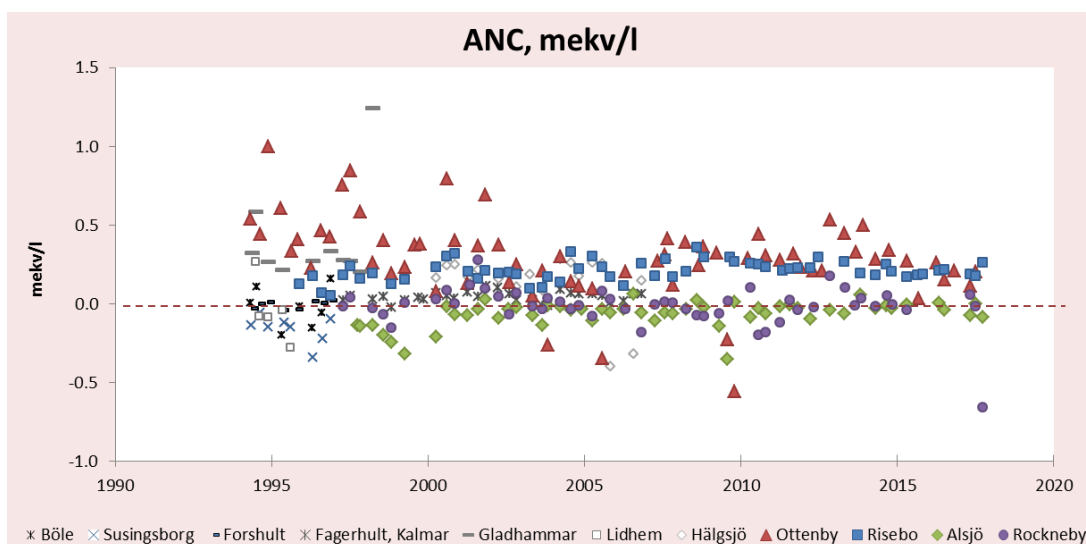
Markvattnets pH och ANC (syranutraliserande förmåga) är två mått på försurningen i markvattnet, som kan användas för att följa återhämtningsförloppet. Ett negativt ANC innebär att det inte finns någon buffringskapacitet i markvattnet. Bedömningen av vid vilket pH som markvattnet kan anses försurat beror till viss del på jordens mineralinnehåll i området, halterna av organiska ämnen m.m. Ett pH < 4,5 anses dock i de flesta fall indikera kraftig försurning. Enligt bedömningsgrunderna för försurad mark innebär pH under 4,4 hög surhet, medan pH 4,4-5,5 innebär måttlig surhet.

Hur försurningstillståndet i markvattnet i länet bedöms beror på vilken parameter som används. I nuläget är det endast vid Alsjö i sydöstra Kalmar län där försurningsindikatorerna genomgående visar på en återhämtning genom ökande pH och ANC, Figur 19, samt minskande halter av oorganiskt aluminium (Bilaga 1). Dock är pH relativt lågt alltjämt och ANC ofta negativt, vilket indikerar att återhämtningen går mycket långsamt. Vid Risebo och Rockneby minskar pH i markvattnet statistiskt säkerställt samtidigt som det inte finns någon statistiskt säkerställd förändring av vare sig ANC eller oorganiskt aluminium. Vid Risebo är dock försurningsstatusen god genom att pH är runt 6, ANC är positivt och oorganisk aluminium lågt (Figur 19 & 20, Bilaga 1). Samtidigt är det lite oroväckande att pH-värdena vid Risebo minskar signifikant. Vid Rockneby

är pH runt 5 och ANC ofta negativt samtidigt som pH minskar, vilket visar på vikten av fortsatta mätningar för att se om försurningstillståndet förbättras i framtiden, Figur 19 & 20. Vid Ottenby visar markvattnet inte på någon återhämtning från försurningen, snarare tvärtom, genom att pH och ANC minskar (Figur 19 & 20) samtidigt som halten oorganiskt aluminium i markvattnet ökar (Bilaga 1). Dock är ANC fortfarande klart positivt vilket gör tolkningen mer oklar. Ett mycket lågt och signifikant minskande pH i markvattnet skulle kunna vara ett tecken på ökad försurning. Det finns dock en interaktion med halterna av organiska ämnen i markvattnet som gör att ett visst värde för ANC sammanhänger med ett lägre pH-värde om halterna av organiska ämnen är höga, jämfört med om de är låga. Sammantaget är försurningsläget vid Ottenby därför svårbedömt. I länet har det totalt funnits 11 platser där pH i markvattnet har mätts (Figur 19). Under mitten av 1990-talet var spannet mellan mätplatserna stort vad gäller pH-värdena, från under 4,5 till över 7, Figur 19. Under senare år är det främst vid Ottenby som pH varit under 4,5, Figur 19.



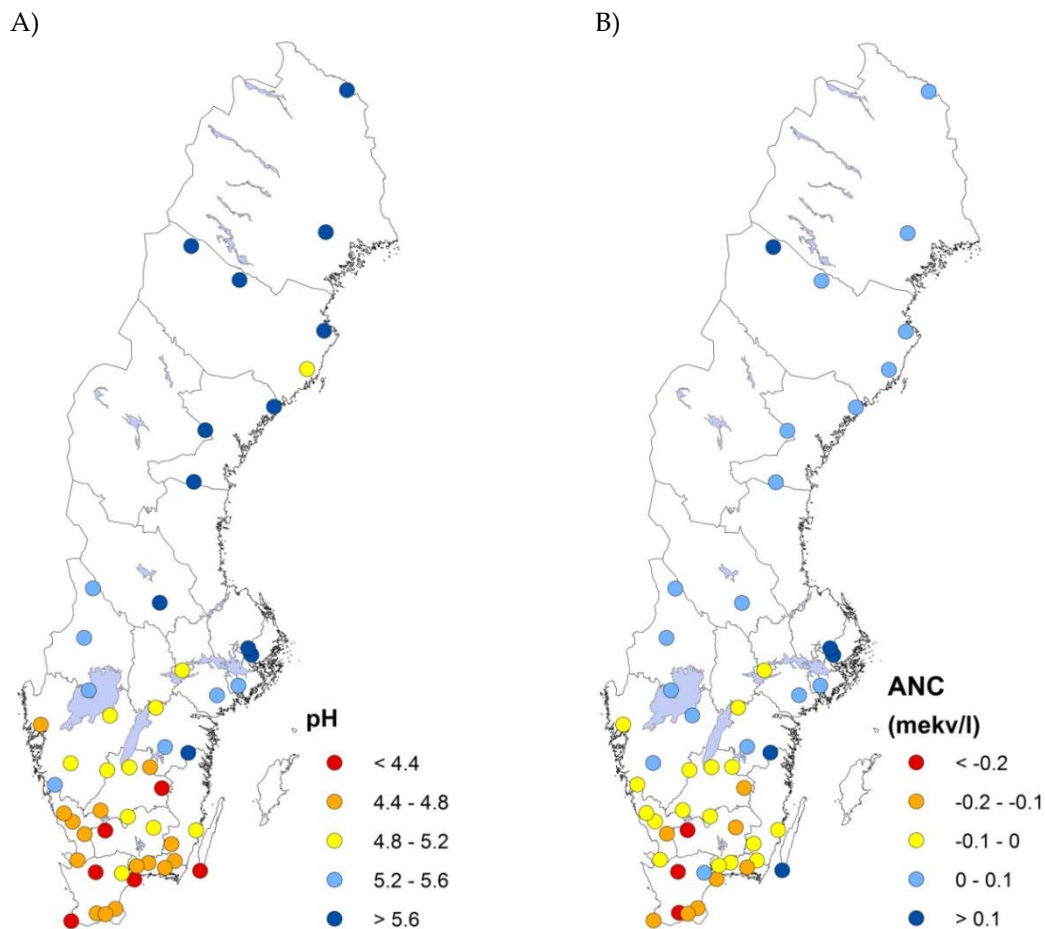
Figur 19. pH i markvattnet vid samtliga ytor i länet. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen saknas när det varit torrt i marken. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart.



Figur 20. ANC (den syraneutraliserande förmågan) i markvattnet vid samtliga ytor i länet. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vid vissa tillfällen saknas prov när det varit torrt i marken. Aktiva mätplatser visas med färgade symboler och avslutade mätplatser visas med symboler i grått och svart.

3.6 Försurning av markvattnet i Sverige och Europa

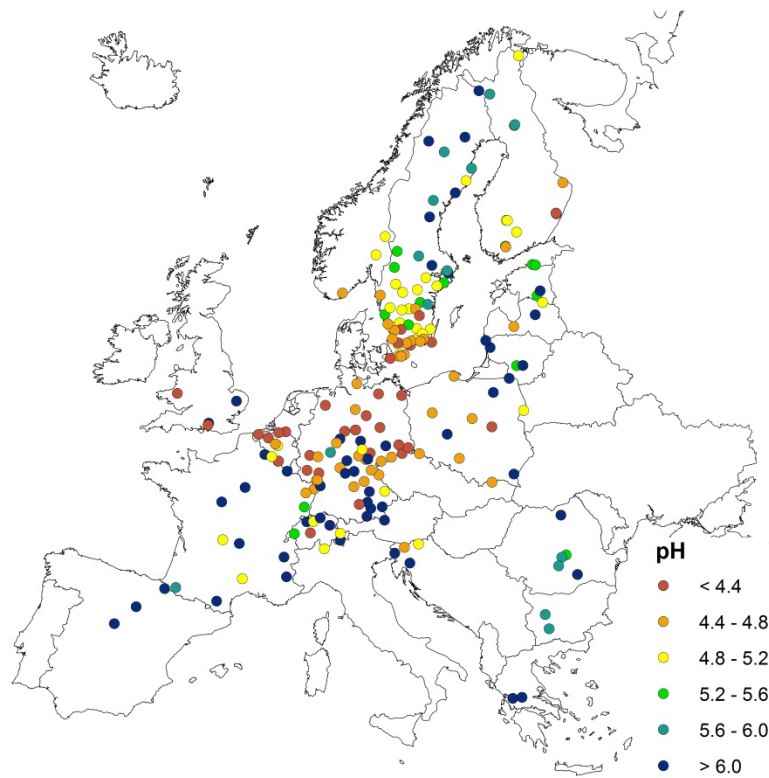
Försurningsgradienten i markvattnet i Sverige följer nedfallsgradienten från sydväst till nordöst, med pH från <4,4 till >5,6 och ANC från <-0,2 till >0,1, som medianvärde för åren 2015-2017 (Figur 21). Det finns även en hel del variation på regional nivå, vilket beror på skillnader i markegenskaper. ANC i avrinnande vattnet bör vara betydligt över 0 när det når vattendragen. I Kalmar län var den syraneutraliserande förmågan (ANC) under noll vid hälften av de nu aktiva ytorna, och markvattnets pH varierade från under 4,4 till över 5,6 under 2016/17, Figur 21.



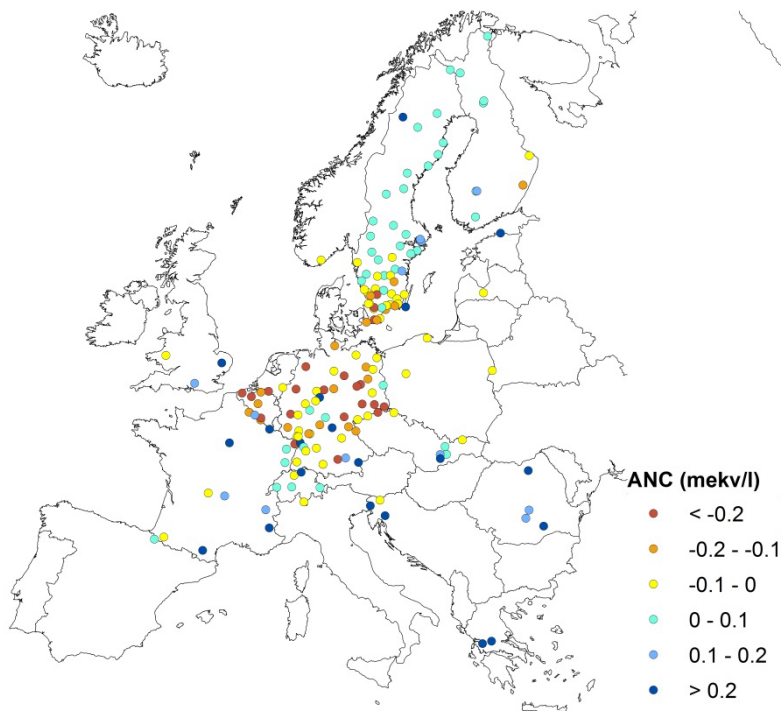
Figur 21. pH (A) och ANC (B) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnetet. Det värde som anges är medianvärdet under de senaste tre åren (2015-2017). ANC i avrinnande vattnet bör vara betydligt över 0 när det når vattendragen. Ytor med mindre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats eller gödslats har tagits bort.

Försurningsgradienten fortsätter i viss mån ner till Mellaneuropa, där mycket låga pH och ANC är vanligt, se Figurerna 22A och 22B. Dock är variationen större i Centraleuropa, med mätplatser som uppvisar mycket surt markvatten varvat med mätplatser med höga pH och ANC. Det beror till stor del på att variationen i markegenskaper är större, beroende på en mer varierande geologi än i Sverige, där moräner med granit- och gnejssammansättning dominerar stort.

A



B



Figur 22. pH (A) och ANC (B) i markvattnet (median för tre mätningar per år under 2014-2016, 50 cm djup) vid olika platser inom Krondroppsnätet, samt ICP-Forestdata (median för månadsvärden under 2014-2016, 40-80 cm djup).

4 Aktuellt & notiser

4.1 Reviderat Takdirektiv

Nya begränsningar av utsläpp

Den 31 december 2016 trädde EU:s reviderade Takdirektiv i kraft (EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2016/2284 av den 14 december 2016 om minskning av nationella utsläpp av vissa luftföroreningar mm.). I direktivet finns nya begränsningar av Sveriges utsläpp av SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃ och PM_{2,5} vilket kommer att få konsekvenser för industrier i Sverige. Nationella reduktionsåtaganden finns för år 2020 och 2030 med 2005 som basår, se Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Sveriges åtagande enligt det nya Takdirektivet för år 2020 och 2030 i procent med 2005 som basår.

Luftförorening	Minskning 2020 %	Minskning 2030 %
NO _x	36	66
SO ₂	22	22
NMVOC	25	36
NH ₃	15	17
PM _{2,5}	19	19

Ekosystemövervakning

I Takdirektivet ingår nu för första gången även krav på ekosystemövervakning. Inom ramen för EU:s Takdirektiv har vägledning utvecklat för hur effekterna av luftföroreningar ska övervakas av medlemsländerna i framtiden (Ecosystem monitoring under Article 9 and Annex V of Directive 2016/2284 (NECD)). Enligt artikel 9 ska medlemsstaterna om möjligt övervaka luftföroreningars negativa effekter på akvatiska och terrestra ekosystem. Medlemsstaterna ska se till att deras nät av övervakningsstationer är representativt för sötvattensystem, naturliga och halvnaturliga ekosystem samt skogsekosystem. En huvudindikator är nitratutlakning från marken som bör mätas årligen. Vidare finns stödindikatorer; pH, sulfat, nitrat, baskatjoner och aluminiumhalter i markvatten, vilka bör mätas varje år (i tillämpliga fall).

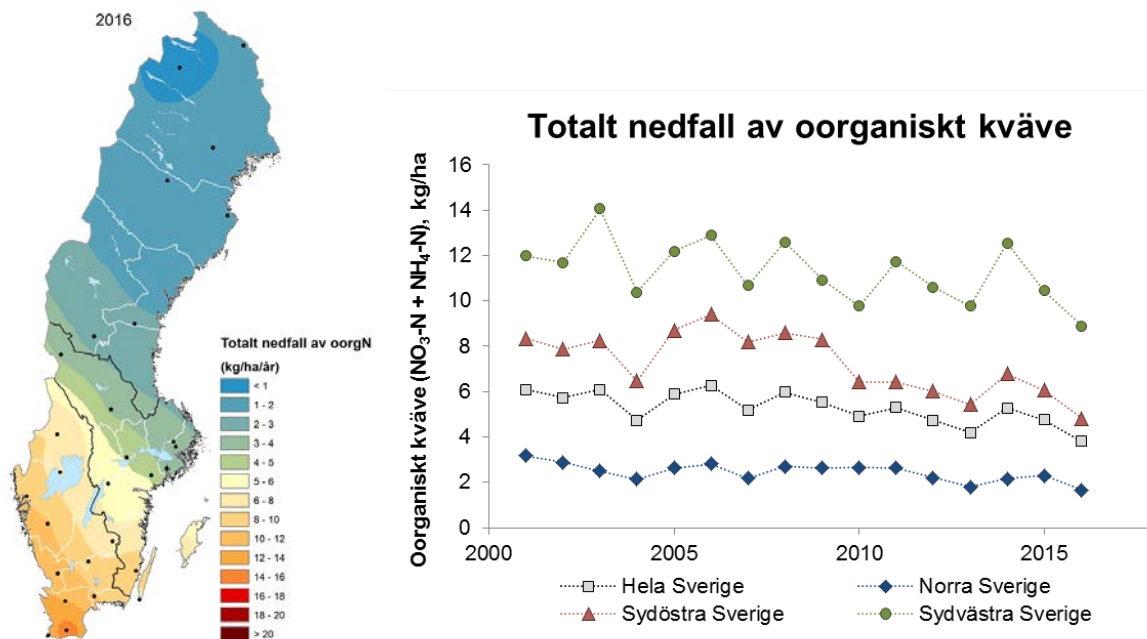
Det påpekas inom Takdirektivet att fokus ska ligga på områden med hög föroreningsbelastning och att depositionens påverkan ska kunna särskiljas från annan påverkan. Det innebär att mätprogrammets huvudfokus bör ligga i södra Sverige. Den geografiska fördelningen och avsaknaden av annan påverkan än klimat och luftdeposition på de allra flesta mätplatserna inom Krondroppsnetet uppfyller därmed väl de kriterier som Takdirektivet ställer för valet av mätstationer. Vår förhoppning är därför att Krondroppsnetets markvattenmätningar kommer att ingå. Ett nationellt kontrollprogram ska vara klart senast 31 Mars 2019.

Det är Naturvårdsverket tillsammans med Havs- och vattenmyndigheten som ska ansvara för att övervakningen av olika ekosystemeffekter utförs inom sina respektive miljöövervakningsprogram. För att säkerställa att miljöövervakningen genomförs på ett effektivt och ändamålsenligt sätt och att samordning underlättas tillsatte Naturvårdsverket i början av året en nationell expertgrupp med berörda aktörer. I början av februari 2018 hölls ett expertgruppsmöte på Naturvårdsverket där även representanter för Krondroppsnetet deltog.

4.2 Nya miljömålsindikatorer

4.2.1 Ny indikator för totalt kvävedefall till skog inom miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning*

IVL Svenska Miljöinstitutet har tillsammans med Lunds universitet haft i uppdrag för Havs- och vattenmyndigheten (HaV) att utveckla en indikator för totalt nedfall av oorganiskt kväve (oorg-N) till skog (Karlsson m.fl. 2018b). Arbetet slutfördes i början av 2018 och indikatorn presenteras under miljömålet *Ingen övergödning* på <http://sverigesmiljomal.se/>. Beräkningarna av totalt nedfall av oorg-N, inklusive torr- och våtdeposition, baseras på mätningar med strängprovtagare, krondropp och nederbörd till öppet fält inom Krondroppsnetet mellan 2001-2016. Mätningarna med strängprovtagare används för att beräkna torrdepositionen. En systematisk variation i torrdepositionen av oorg-N över landet från sydväst mot nordost användes för att beräkna torrdepositionen vid platser där endast våtdepositionen av oorg-N mättes. Totaldepositionen beräknades som summan av torr- och våtdeposition vid alla tillgängliga mätplatser och utifrån dessa värden beräknades totaldepositionen av kväve över hela landet med geografisk interpolation, Figur 23. IVL-rapporten C286 kan hämtas via IVLs hemsida: <http://www.ivl.se>



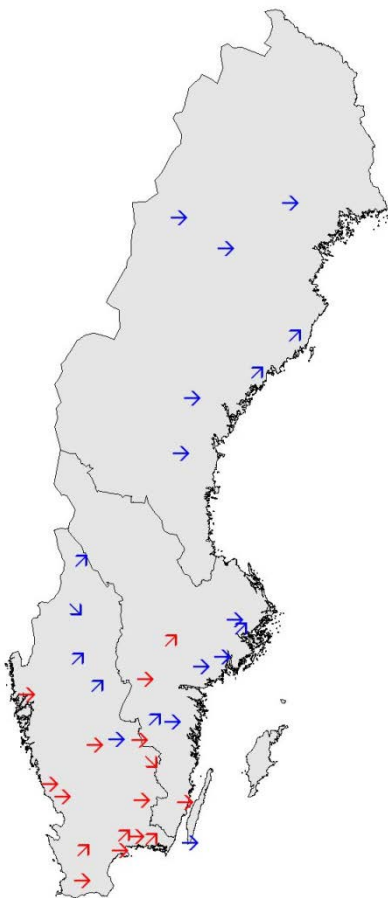
Figur 23. A. En karta över geografiskt interpolerade värden för totalt nedfall av kväve till barrskog för kalenderåret 2016. Svarta punkter indikerar mätplatser. Sverige är indelat i tre geografiska områden som används inom uppföljningen av miljökvalitetsmålen. Dessa områden används i figuren med tidsserier. B. Tidsserier för årligt nedfall av oorganiskt kväve (NO₃-N + NH₄-N) till barrskog för tre olika geografiska områden över Sverige, norra Sverige, sydöstra Sverige samt sydvästra Sverige. Beräkningarna inkluderar summan av torr- och våtdeposition och baseras på kalenderår.

4.2.2 Ny indikator för skogsbrukets försurningspåverkan

En ny indikator för skogsbrukets försurning, "Överskridande av kritiskt baskatjonuttag i gran-skog", har tagits fram (Akselsson & Belyazid, 2017), och finns sedan våren 2018 på miljömålshemsidan för första gången (<http://www.sverigesmiljomal.se/>). Indikatorn bygger på samma koncept som kritisk belastning för försurande ämnen, men i stället för att beräkna hur stort nedfallet av försurande ämnen kan vara utan att skada ekosystemet (vid en bestämd nivå av biomassa-uttag), beräknas det maximala biomassa-uttaget som kan göras (vid en bestämd nedfallsnivå) utan att ANC (syranutraliserande förmåga) i markvattnet understiger 0. Detta, tillsammans med information om areal med uttag av grenar och toppar (grot) samt areal med askåterföring, används för en länsvis bedömning av skogsbrukets försurning.

4.2.3 Markvattendata från Krondroppsnetet i miljömålsindikatorn Försurad skogsmark

Under andra halvan av 2017 och i början av 2018 har tidsutvecklingen av ANC (syranutraliserande förmåga) presenterats i indikatorn för "Försurad skogsmark" för miljömålet *Bara naturlig försurning*, tillsammans med markkemi från markinventeringen. En karta som visar signifikanta förändringar i ANC mellan 1996 och 2013, motsvarande Figur 24, har visats på miljömålshemsidan. En omfattande omarbetning av indikatorsystemet slutfördes under våren 2018, och "Försurad skogsmark" är inte längre med som en av huvudindikatorerna, och kartan presenteras därmed inte längre på miljömålshemsidan. Dock planeras den att ingå i den fördjupade utvärderingen 2019.



Figur 24. Nivåer och trender för ANC (syranutraliserande förmåga) i markvattnet under rotzonen, baserat på data från Krondroppsnetet. Röda pilar indikerar att $ANC < 0$ medan blåa pilar visar $ANC > 0$ (beräknat som medianen för perioden 1996-2017). $ANC > 0$ innebär att markvattnet har en buffrande förmåga. Pilar upp eller ner visar på en signifikant ökning respektive minskning, mellan åren 1996 och 2017 (med vissa mindre avvikelser). Horisontella pilar innebär att ingen signifikant förändring kunnat påvisas. Indelningen i tre landsdelar baseras på indelningen i försurningsregioner som ofta används vid uppföljning av miljömålet *Bara naturlig försurning*.

4.3 Utvärderingar

4.3.1 Fortsatt utvärdering inom PO Luft efter 2017

Under 2015-2017 utvärderades Naturvårdsverkets Programområde Luft (PO Luft). Efter utvärderingen avser Naturvårdsverket att under kommande programperiod (2017- 2020, med två 2-åriga avtalsperioder) genomföra ett projekt för effektivisering/samordning av verksamheterna Luft- och nederbörds-kemiska nätet (LNKN), EMEP, Krondropps nätet och MATCH-modellering. Modelleringens möjligheter och begränsningar kommer då att belysas. Under programperioden planeras även att bl.a. se över möjligheterna att samordna nationella mätningar, med annan övervakning. Naturvårdsverket har indikerat att utredningen kommer att ske med en internationell utredare med målsättningen att utredningen ska vara klar till 2020. Naturvårdsverket har även indikerat att det är viktigt att det redan under 2020 är klart med utformningen av innehållet för nästkommande programperiod, där det är tydligt vilka prioriteringar Naturvårdsverket kommer att ha inför 2021.

4.3.2 Förstudie 2017 - Regional utvärdering av Krondropps nätet

Som ett led i den fortsatta utvärderingen av PO Luft genomfördes redan 2017 en förstudie (Pihl Karlsson m.fl., 2017) av främst regionala behov när det gäller miljöövervakning av lufthalter, atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi inom Krondropps nätet efter 2020. Studien omfattade alla deltagande län inom Krondropps nätet. I förstudien ingick även en enkätundersökning, till Krondropps nätet's medlemmar, som innehöll frågor om mätmetodik och provtagning, vad data används till samt vilka frågor som är viktiga i den kommande utvärderingen 2018. Förstudien utgör en del av en kommande större gemensam nationell och regional utvärdering av bl.a. Krondropps nätet.

I förstudierapporten beskrivs nuvarande mätplatser inom Krondropps nätet i detalj. Generella kriterier med mätplatser inom Krondropps nätet tas upp och i rapporten diskuteras även Krondropps nätet's mätningars betydelse för den regionala (och nationella) miljöövervakningen inom främst miljömålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning*. Vidare diskuteras förbättringsförslag med avseende på den regionala indikatorsuppföljningen (indikatorerna; nedfall av svavel och nedfall av kväve) av ovan nämnda miljömål, där Krondropps nätet's mätningar har en avgörande roll. Förbättringen avser att avsevärt förbättra beräkningen av det länsvisa nedfallet samt förbättra beskrivningen av den geografiska variationen av svavel- och kvävenedfall i de olika länen. IVL-rapporten C261 kan hämtas via IVLs hemsida: <http://www.ivl.se>.

4.3.3 Generell översyn av svensk miljöövervakning under 2018

En kommitté ledd av Åsa Romson har fått i uppdrag av Miljö- och energidepartementet att göra en översyn av hela den svenska miljöövervakningen på lokal, regional och nationell nivå. Vidare ska man föreslå en lämplig avgränsning mellan miljöövervakning och närliggande verksamheter samt bedöma behovet av framtida miljöövervakning. Syftet är att identifiera synergier och lösningar

som kan leda till en mer kostnads- och resurseffektiv miljöövervakning. Utredaren ska bland annat:

- se över och lämna förslag på hur miljöövervakningen bör organiseras och finansieras,
- se över och lämna förslag på hur övrig och kompletterande miljöövervakning och miljöinformation bör organiseras och finansieras,
- se över strukturen för de nationella datavärdena och
- utreda förutsättningar för en finansieringsmodell som möjliggör för offentliga lokala aktörer att leverera in data som uppfyller kvalitetskraven för nationell miljöövervakning.

Uppdraget ska redovisas senast den 30 november 2018.

4.4 Aktuella möten 2017

4.4.1 Krondroppsdagen, 29:e november 2017, Göteborg

Resultat från Krondroppsnetet presenterades på Krondroppsdagen den 29 november 2017, och under dagen avhandlades även en mängd intressanta presentationer och diskussioner angående emissioner, takdirektivet, kalkning, skogsbrukets försumning, marknära ozon och åtgärdsprogram för kvävedioxid i Göteborgsregionen. Dessutom diskuterades behov och utvecklingsmöjligheter av Krondroppsnetet.

Luftvårdsförbund, länsstyrelser och myndigheter (bl.a. Naturvårdsverket, Havs- och vattenmyndigheten och Skogsstyrelsen) närvarade och bidrog med intressanta presentationer och diskussioner.

Krondroppsdagen arrangerades i Göteborg av IVL i samarbete med länsstyrelsen i Västra Götalands län.

4.4.2 Miljöövervakningsdagarna, 27-28 september 2017, Tranås

Under 2017 års miljöövervakningsdagar i Tranås, med temat "Vart är vi på väg? Nya lösningar 50 år senare", samlades över 200 deltagare för att lyssna på intressanta föreläsningar och delta i workshops och diskussioner om nuvarande och framtida miljöövervakning i Sverige.

Krondroppsnetet bidrog med två poster:

- **Krondroppsnetet - tre decennier med övervakning av luftföroreningar och dess effekter i skogsmark**
 - Denna poster omfattande en övergripande beskrivning av mätningar och resultat från Krondroppsnetet under 30 år.
- **Air quality impacts in Sweden of SO₂ emissions from the 2014-2015 eruption of Bárðarbunga volcano, Iceland**
 - Denna poster beskrev hur luftkvalitet och nedfall i Sverige påverkades av vulkanutbrottet på Island 2014-2015, baserat både på mätningar inom Krondroppsnetet och på modellberäkningar med EMEP-modellen.

4.4.3 Representation från Krondropps nätet vid konferensen BIOGEOMON

Gunilla Pihl Karlsson, Per Erik Karlsson och Cecilia Akselsson från Krondropps nätet projektledningsteam deltog tillsammans med flera kollegor från IVL och Lunds universitet vid konferensen BIOGEOMON i Litomyšl, Tjeckien 21-24 augusti, 2017. Flera postrar och föredrag innehöll data från Krondropps nätet:

Postrar:

Deposition of sulphur, inorganic nitrogen and base cations to Norway spruce forests in Sweden: The role of canopy exchange (Per Erik Karlsson)

Här beskrevs metoder för att beräkna den totala depositionen till barrskog för ämnen där det finns direkta interaktioner med trädkronorna.

Dynamic modelling of the effects of nitrogen fertilisation on forest soil organic carbon and nitrogen leaching (Klas Lucander, doktorand vid Lunds universitet)

Kvävegödsling simulerades med ForSAFE-modellen i Västra Torup i Skåne. Resultaten visade att gödslingen endast innebar en mycket liten effekt på träd tillväxten, men att utlakningen av kväve ökade markant. Detta förklaras av att marken i Västra Torup har tagit emot mycket kväve under lång tid.

Air quality impacts of SO₂ emissions from the 2014-2015 eruption of Bárðarbunga volcano, Iceland, observed in Sweden (Sofie Hellsten)

Den 31 augusti 2014 till 27 februari 2015 pågick ett vulkanutbrott på Island med utsläpp av svaveldioxid (SO₂) i samma storleksordning som de dubbla antropogena utsläppen från Europa under ett år. Vulkanutbrottet påverkade periodvis luftkvaliteten i Sverige, framför allt under september och oktober 2014, och i synnerhet i norra Sverige som normalt har en relativt ren miljö utan större föroreningskällor.

Comparing steady-state and dynamic modelling of weathering rates (Veronika Kronnäs, doktorand vid Lunds universitet)

De två Krondroppsytorna Västra Torup och Hissmossa i Skåne har använts för att modellera vittring med två olika modeller: PROFILE samt den mer dynamiska modellen ForSAFE. Modellerna gav liknande årsmedelvärden, men ForSAFE visar till skillnad från PROFILE hur vittringen varierar inom och mellan åren, till exempel beroende på temperatur och fuktighet. Detta är viktigt vid till exempel studier av effekter av klimatförändringar.

Föredrag:

Impacts of ozone exposure, nitrogen deposition, meteorological parameters and stand characteristics on annual stem growth of Norway spruce in southern Sweden (Per Erik Karlsson)

I föredraget beskrevs forskning, finansierad av Naturvårdsverket, som syftar till att beräkna hur mycket den årliga stamtillväxten hos gran i södra Sverige påverkas av exponering för marknära ozon samt det atmosfäriska nedfallet av kväve. Forskningen beskrivs i detalj nedan i Kapitel 5.5.1.

Evaluation of the incorporation of the phosphorus cycle in the dynamic forest model ForSAFE (Lin Yu, post doc på Max Planck-institutet i Jena, tidigare doktorand vid Lunds universitet)

Krondroppsytan Klintaskogen på Romeleåsen i Skåne har använts för att utveckla en fosformodul i ForSAFE-modellen, som tidigare innehöll kväve och baskatjoner men inte fosfor. Klintaskogen visar tecken på fosforbegränsning, både enligt modelleringen och enligt mätningarna av barrkemi. Resultaten presenteras mer ingående i en vetenskaplig artikel: Yu, m.fl. (2018).

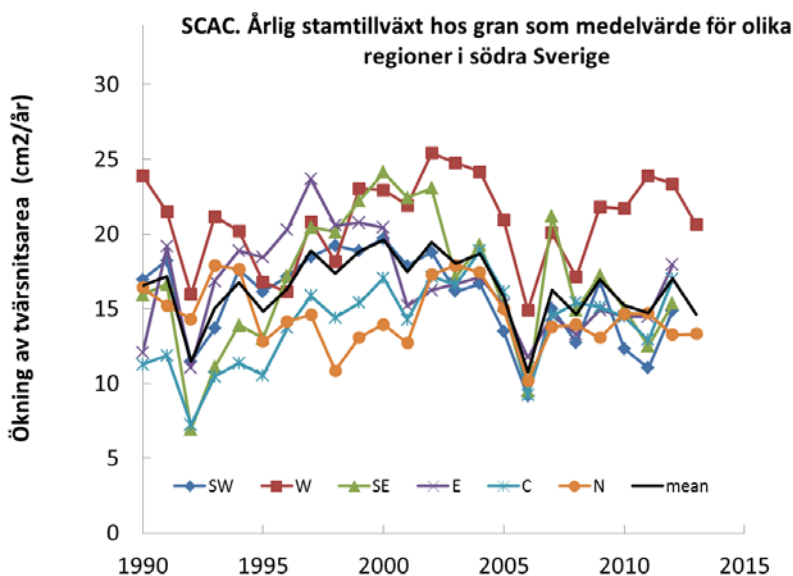
Identifying soil parameters decisive for nitrogen leaching in forests through a combined empirical and modelling approach (Jörgen Olofsson, post doc vid Lunds universitet)

De två Krondroppsytorna Västra Torup och Hissmossa modellerades med avseende på kväveutlakning, för att svara på frågan varför Hissmossa läcker nitratkväve kontinuerligt, medan Västra Torup började läcka först efter avverkning. Modelleringen gav liknande resultat som mätningarna, och en skillnad som konstaterades var att jorden i Hissmossa är grövre. En modelltest där jordegenskaperna från Hissmossa användes i Västra Torup gav modellerad utlakning även i Västra Torup, vilket talar för att skillnaden i kornstorleksfördelning kan vara förklaringen.

4.5 Aktuell forskning/specialprojekt som berör Krondroppsnetet

4.5.1 Påverkan av marknära ozon och kvävenedfall på den årliga tillväxten hos skog i södra Sverige

Naturvårdsverket finansierar ett forskningsprogram, "Swedish Clean Air and Climate Research Programme", SCAC. Ett delprogram är inriktat på att uppskatta inverkan av kvävenedfall och marknära ozon på den årliga stamtillväxten hos skogar i södra och mellersta Sverige och därtill kopplad kolinbindning till skog. Som ett led i detta har prover med borrhävar tagits på träd vid ca 25 provytor inom Krondroppsnetet. Beräknade värden för ozonexponeringen vid dessa platser tillsammans med uppgifter om årligt kvävenedfall, nederbördsmängder samt olika meteorologiska parametrar ska användas för en statistisk analys av hur dessa faktorer påverkar den årliga tillväxten för perioden 1990-2013. Som ett mått på den årliga tillväxten används ökningen av stammens tvärsnittsarea, den s.k. grundytan. I Figur 25 visas den årliga ökningen i grundytan hos granskog, uppdelat i några olika geografiska regioner. Det framgår att det finns en avsevärd samvariation mellan olika regioner när det gäller variationer i den årliga tillväxten mellan olika år. En preliminär statistisk analys tyder på att det årliga kvävenedfallet har en positiv inverkan på den årliga tillväxten, medan exponeringen för marknära ozon har en negativ inverkan. Datamaterialet kommer att analyseras vidare med avancerade statistiska metoder.



Figur 25. Den årliga tillväxten hos granskog vid olika krondroppsytor i södra och mellersta Sverige mätt som ökningen i grundytan, uppdelat i några olika geografiska regioner.

4.5.2 Slutavverkning – hur påverkas avrinnande vatten?

Med finansiellt stöd från Havs- och Vattenmyndigheten och Länsstyrelsen i Västra Götalands län samt med arbetskraft från Skogsstyrelsen, har det sedan våren 2014 etablerats två provtagningsdammar i en skogsback i ett mindre avrinningsområde som innefattar krondroppsytan Storskogen belägen mellan Alingsås och Borås. Parallella månadsvisa mätningar av kemin i mark-, grund- och bäckvatten har bedrivits under tre år, vilket utgör bakgrundsmätningar inför fortsatta mätningar när granskogen i området nu under 2018 kommer att avverkas. Mätningarna kommer att ge ett bra underlag för att kvantitativt beräkna i vilken utsträckning en slutavverkning i västra Sverige påverkar den kemiska kvaliteten i avrinnande vatten. Ett relativt tunt jordtäckte i området innebär en förväntad relativt stor påverkan vad gäller aciditet och halter av nitrat i avrinnande vatten.

4.5.3 Mätning av torrdeposition till mätutrustningen på öppet fält - RUT-försöket



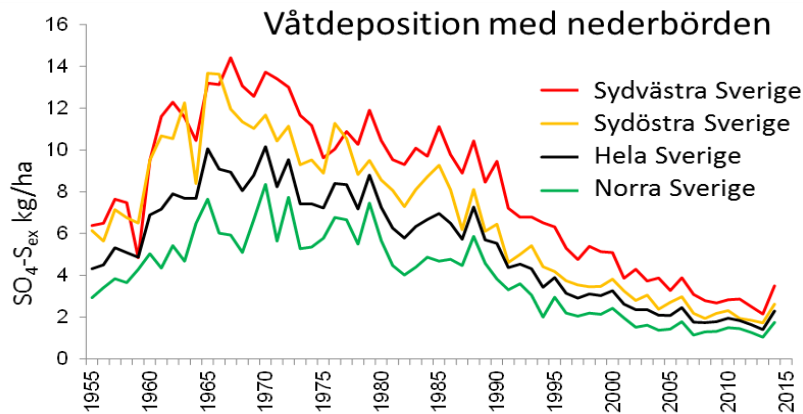
Sommaren 2017 har mätningarna vid de 10 platser som idag har en strängprovtagare utökats. En ny öppet fält provtagare (WoF-provtagare) har satts upp under taket bredvid strängprovtagaren, samtidigt som taket har utökats.

Krondroppsnetet har fått finansiering från Naturvårdsverket för att uppskatta hur stor torrdepositionsandelen är till själva nederbördsprovtagaren över öppet fält, som är ny sedan 2013. Mätningen under tak jämförs med den vanliga WoF-provtagaren för att få ett mått på torrdepositionsandelen. Projektet är planerat att pågå under tre år.

Vår förhoppning är att projektet ska bidra till att minska osäkerheterna i nederbörds-mätningarna för en mängd parametrar, och att vi därigenom kan få ett mer representativt värde på våtdepositionen.

4.5.4 Nedfallet med nederbörden sedan 1955

Baserat på en rad tidigare projekt finansierade av Naturvårdsverket, har en vetenskaplig artikel skickats in för granskning som beskriver det svenska nedfallet av svavel och kväve med nederbörden (bulkdepositionen) sedan 1955 (Ferm m.fl., manuskript). En databas har skapats med månadsvisa värden på nedfall från alla nationella och internationella nederbördsnätverk, inklusive Krondroppsnetet, verksamma i Sverige under sex decennier 1955-2014. Resultaten visade att nedfallet av sulfat exklusive havssaltbidraget ($\text{SO}_4\text{-S}_{\text{ex}}$) kulminerade i slutet av 1960-talet (Figur 26) och ammonium (NH_4^+) och nitrat (NO_3^-) kulminerade i mitten på 1980-talet. Minskningen av nedfallet kunde till stor del förklaras av minskade utsläpp från länder med störst påverkan på Sverige. Artikeln diskuterar även relationer mellan nedfallet av nitrat och ammonium.



Figur 26. Våtdepositionen av sulfatsvavel med nederbörden över Sverige. Ferm m.fl. Manuskript.

4.6 Vetenskapliga artiklar 2013-2018

Under de senaste åren har ett flertal artiklar med anknytning till Krondroppsnetet publicerats. Nedan presenteras de artiklar som publicerats de senaste sex åren (sedan 2013).

2013:

- **Akselsson m.fl. (2013)** studerade markvattenkemi vid nio ytor i södra Sverige under en 20-årsperiod, och kom fram till att återhämtningen är långsam, och att havssaltepisoder har stor inverkan på tidsförloppet.
- **Bahr m.fl. (2013)** konstaterade att kvävenedfall reducerar mängden mycorrhiza i marken, vilket skulle kunna innebära minskad kolinlagring och ökad kväveutlakning.
- **Karlsson m.fl. (2013)** kopplade ihop kraftigt förhöjd ammoniumdeposition i norra Sverige 2006 med skogsbränder i Ryssland, bland annat genom att studera trajektorier över hur luftpaketen förflyttade sig i samband med bränderna.

2014:

- **Zanchi m.fl. (2014)** använde ForSAFE-modellen i Västra Torup, Skåne, för att jämföra effekten av skogsbruk med olika intensitet på olika ekosystemtjänster i skogen. Jämförelsen visade bland annat att helträdsuttag är positivt för produktionen av skogsbränsle och minskar utlakningen av näringsämnen, men också att kolinlagringen i marken minskar. Effekten på försurning visade sig vara olika under olika delar av skogens omloppstid, enligt modellen.
- **Waldner m.fl. (2014)** analyserade data från krondropp och öppet fält vid flera hundra lokaler från Krondroppsnetet och den Europeiska luftkonventionens ICP Forest för perioden 1999-2010. Resultaten visade att långa tidsserier krävs för att göra trendberäkningar. Det var även lättare att få signifikanta trender om månadsvisa data användes istället för årsvisa.

2015:

- **Hellsten m.fl. (2015)**, visade på hög nitratkväveutlakning efter stormen Gudrun, speciellt i de värst drabbade bestånden.
- **Waldner m.fl. (2015)**, visade i en studie där data från Krondroppsnetet och ICP Forest använts att förhöjda halter av oorganiskt kväve i markvattnet tenderade att vara relaterat till sämre näringsstatus.

2016:

- Lin Yu, som disputerade i Lund 2016, har använt skogsekosystemmodellen ForSAFE i Klintakogen, Skåne, för att studera hur stormar kan påverka försurningsstatusen i skogsmark och avrinnande vatten (**Yu m.fl., 2016**). Modelleringen visade att Klintaskogen är i en återhämtningsfas från försurning. Både modellering och mätningar indikerade att stormarna Lothar 1999 och Gudrun 2005 orsakade störningar i återhämtningen, både på grund av stormfällning och högt havssaltnedfall.
- **Pleijel m.fl. (2016)**, använde en metodik som enkelt kan beskrivas genom att bl.a. nedfallet av sulfat, nitrat och ammonium justerades till att visa hur det skulle ha varit om vädret under hela den analyserade perioden varit genomsnittligt. Metodiken använde en justering utifrån ett vädertypssystem, Lamb Weather Types (LWT) och applicerades på en krondroppsyta (Hensbacka) i mellersta Bohuslän.

2018:

- **Yu m.fl., (2018)** (se ovan) har använt data från Klintaskogen för att utveckla ForSAFE-modellen genom att lägga till fosforcykeln, vilket kan förbättra modelleringsresultaten framför allt i skogsområden med hög kvävebelastning, där fosfor kan begränsa tillväxten.
- **Karlsson m.fl. (2018a)**, visade på hög nitratkväveutlakning följt av minskning av pH, och ANC i markvattnet efter att granbarkborre dödat granarna trots att de flesta träden stod kvar vid en krondroppsyta, Klippan utanför Göteborg.
- **Johnson m.fl. (2018)**, studerade förändringar av markvattenkemin under perioden 1996-2012 i 171 skogar från 10 Europeiska länder. Resultaten visade på en kraftig minskning av sulfathalten i markvattnet som kunde relateras till emissionsminskningarna i Europa under samma period.

5 Tack

Vi vill uttrycka vårt tack till samtliga provtagare inom Krondroppsnätet som utför ett mycket ovärderligt arbete i fält. Vi vill även passa på att tacka ICP Forest som tillhandahållit europeiska mätdata som vi kunnat använda som jämförelse.

6 Referenser

- Akselsson, C., Belyazid, S., 2017. Critical biomass harvesting – Applying a new concept for Swedish forest soils. *Forest Ecology and Management* 409, 67-73. DOI 10.1016/j.foreco.2017.11.020
- Akselsson, C., Belyazid, S., Hellsten, S., Klarqvist, M., Pihl-Karlsson, G., Karlsson, P.E., Lundin, L., 2010. Assessing the risk of N leaching from Swedish forest soils across a steep N deposition gradient in Sweden. *Environmental Pollution*, 158, 3588-3595.
- 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.

- CEIP, 2018. Nationella emissioner:
http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/reported_emissiondata/
- Degerman, E., Petersson, E. och Bergquist, B. 2015. Effekter av kalkning på fisk i rinnande vatten - Resultat från 30 år av elfisken i kalkade vattendrag. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2015:23. ISBN 978-91-87025-96-9.
- EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2016/2284
- Ferm, M., Granat, L., Engardt, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E., and Hansen, K. manuskript. Wet deposition of inorganic nitrogen and sulphur compounds in Sweden during six decades, 1955-2014. Submitted to Atmospheric Environment.
- Hellsten, S., Stadmark, J., Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E., Akselsson, C., 2015. Increased concentrations of nitrate in forest soil water after windthrow in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*.356, 234-242.
- Hellsten, S., Gustafsson, G., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E. & Akselsson C. 2017. Påverkan på atmosfäriskt nedfall och luftkvaliten i Sverige av SO₂-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014-2015 IVL Rapport C234.
- Johnson, J., Graf Pannatier, E., Carnicelli, S., Cecchini, G., Clarke, N., Cools, N., Hansen, K., Meesenburg, H., Nieminen, T.M., Pihl Karlsson, G., Titeux, H., Vanguelova, E., Verstraeten, A., Vesterdal, L., Waldner, P. & Jonard, M. 2018. The response of soil solution chemistry in European forests to decreasing acid deposition. *Global Change Biology*. Accepterad för publicering april 2018.
- Karlsson, P.E., Ferm, M., Tømmervik, H., Hole, L., Pihl Karlsson, G., Ruoho-Airola, T., Aas, W., Hellsten, S., Akselsson, C., Nørgaard Mikkelsen, T., Nihlgård, B., 2013. Biomass burning in eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia. *Environmental Pollution* 176: 71-79.
- Karlsson, P.E., Akselsson, C., Hellsten, S. & Pihl Karlsson, G. 2018a. A bark beetle attack caused elevated nitrate concentrations and acidification of soil water in a Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management*
- Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C. 2018b. Utveckling av en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog inom miljö kvalitetsmålet *Ingen övergödning*. IVL Rapport C 286.
- 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.
- Naturvårdsverket. 2018. Informative Inventory Report Sweden 2018 – Submitted under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Swedish Environmental Protection Agency.
- Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Karlsson, P.E., Akselsson, C. 2017. Utvärdering av Krondroppsnätet ur ett regionalt perspektiv. IVL Rapport C 261
- Pleijel, H., Grundström, M., Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E. & Chen, D. 2016. A method to assess the inter-annual weather-dependent variability in air pollution concentration and deposition in south-west Sweden based on weather typing. *Atmospheric Environment* 126, 200-210.
- SLU, 2011. Skogsdata 2011 – Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen - Tema: Fält- och bottensviktsvegetation i Sveriges skogar. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU. ISSN 0280-0543.

- Waldner, P., Marchetto, A., Thimonier, A., Schmitt, M., Rogora, M., Granke, O., Mues, V., Hansen, K., Pihl Karlsson, G., Zindra, D., Clarke, N., Verstraeten, A., Lazdins, A., Schimming, C., Iacoban, C., Lindroos, A-J., Vanguelova, E., Benham, S., Meesenburg, H., Nicolas, M., Kowalska, A., Apuhtin, V., Nappa, U., Lachmanov, Z., Kristoefel, F., Bleeker, A., Ingerslev, M., Vesterdal, L., Molina, J., Fischer, U., Seidling, W., Jonard, M., O'Dea, P., Johnson, J., Fischer, R. & Lorenz, M. 2014. Detection of temporal trends in atmospheric deposition of inorganic nitrogen and sulphate to forests in Europe. *Atmospheric Environment* 95, 363-374.
- Waldner, P., Thimonier, A., Graf Pannatier, E., Eitzvold, S., Schmitt, M., Marchetto, A., Rautio, P., Derome, K., Nieminen, T., Nevalainen, S., Lindroos, A-J., Merilä, P., Kindermann, G., Neumann, M., Cools, N., De Vos, B., Roskams, P., Verstraeten, A., Hansen, K., Pihl Karlsson, G., Dietrich, H-P., Raspe, S., Granke, O., Fischer, R., Iost, S., Lorenz, M., Sanders, T.G.M., Michel, A., Nagel, H.-D., Scheuschner, T., Simoncic, P., Von Wilpert, K., Meesenburg, H., Fleck, S., Ingerslev, M., Gundersen, P., Stupak, I., Vesterdal, L., Jonard, M., Clarke, N., Benham, S., Vanguelova, E., Potocic, N. & Minaya, M. 2015. Exceedance of critical loads and of critical limits impacts tree nutrition across Europe. *Annals of Forest Science*, Volume 72, Issue 7, pp 929-939.
- Yu, L., Belyazid, S., Akselsson, C., van der Heijden, G., Zanchi, G., 2016. Storm disturbances in a Swedish forest - A case study comparing monitoring and modelling. *Ecological Modelling* 320, 102-113.
- Yu, L., Zanchi, G., Akselsson, C., Wallander, H., Belyazid, H., 2018. Modeling the forest phosphorous nutrition in a southwestern Swedish forest site. *Ecological Modelling* 369, 88-100.
- 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.

Webbplatser:

<http://krondroppsnetet.ivl.se/>

<https://www.ivl.se/>

<http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/>

<http://www.naturvardsverket.se/Kalendarium/Dokumentation-fran-seminarier/Miljoovervakningsdagarna-27-28-september/>

<http://www.scac.se/>

http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/reported_emissiondata/

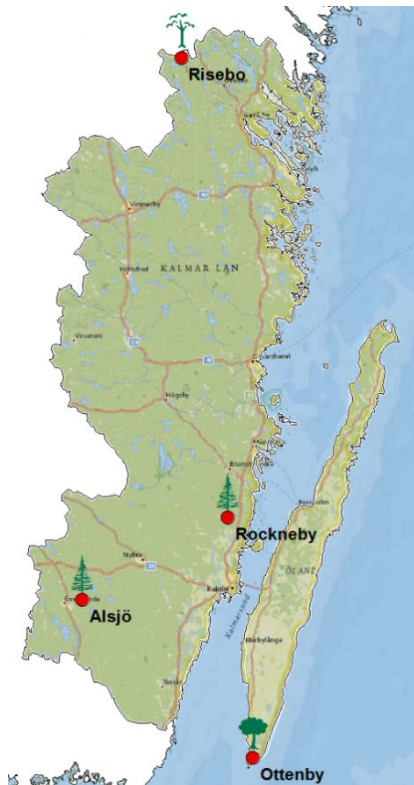
Bilaga 1. Stationsvis redovisning

Här presenteras resultaten från årets mätningar vid de fyra mätplatserna i Kalmar län (Tabell B1) tillsammans med resultaten från tidigare års mätningar. För deposition redovisas data som medelvärde för hydrologiskt år. För markvatten visas data för alla tre markvattenprovtagningarna som genomförs årligen och som avses representera förhållandena före, under samt efter vegetationsperioden. Lufthaltsdata redovisas halvårsvis. Data från Krondroppsnetet är fritt tillgängliga från Krondroppsnetets webbplats: <http://www.krondroppsnetet.ivl.se/>. På webbplatsen finns även kontaktuppgifter.

Undersökningarna är ett resultat av ett lagarbete där provtagning utförts av Gösta Karlsson, Magnus Hellström, Erik Björn och Martin Lundgren. På IVL har P. Andersson skött kontakter med provtagare medan främst L. Björnberg, C. Hållinder-Ehrencrona, J Ekström, P. Andersson, S. Honkala och V. Andersson har analyserat proverna. Databasen har skötts av G. Malm. Datagranskning, databehandling och rapportering av resultaten har utförts av C. Akselsson, P. E. Karlsson, S. Hellsten samt G. Pihl Karlsson.

Tabell B1. Aktiva mätplatser i Kalmar län 2016/17.

Mätplats	Dominerande trädslag	Öppet fält	Strängprov	Kron-dropp	Mark-vatten	Lufthalter		
						SO ₂	NO ₂	NH ₃
Ottenby (H 01)	Ek	X		X	X	X	X	X
Rockneby (H 03)	Gran	X	X	X	X	X	X	X
Risebo (H 21)	Tall			X	X	X	X	X
Alsjö (H 22)	Gran			X	X			



Mätplatser som ingår i denna rapportering för Kalmar län.
Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

Nedan presenteras kort de olika mätplatserna:

Ottenby (H 01):

Gammal, 147-årig ekskog i norra delen av Ottenby lund. Mätningarna på öppet fält och i krondropp startades 1990. Mätningarna på öppet fält avslutades i december 2000, men återupptogs i juni 2009. Markvattenmätningarna startades 1994 och lufthaltsmätningarna 1998. Skogsytan är inhägnad och inte utsatt för samma betestryck som omgivande ekskog. Ytan röjs dock från sly kontinuerligt.

Rockneby (H 03):

Yta nordväst om Kalmar med en över 100 år gammal granskog. Nedfalls- samt markvattenmätningarna i Rockneby startade 1997 och lufthaltsmätningarna 1998. Mätningarna vid Rockneby ersatte ytan Böle. Öppet fältytan flyttades hösten 2000 samt under 2009. Skogsytan påverkades eventuellt av närliggande avverkningar 2003 med hyggeskant ca 50 m norr om skogsytans kant.

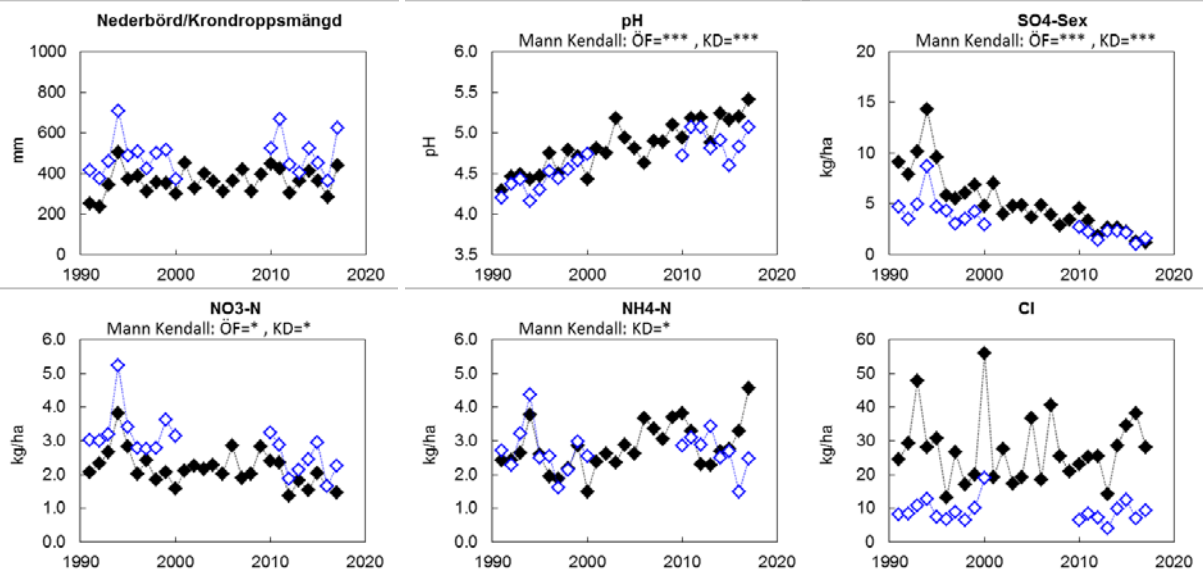
Risebo (H 21):

Yta med 80-årig tallskog i länets nordligaste del. Ytan klarade sig bra under stormen Gudrun 2005, med endast något toppbrott. Depositions- och markvattenmätningarna startade 1995 och lufthaltsmätningarna 1998.

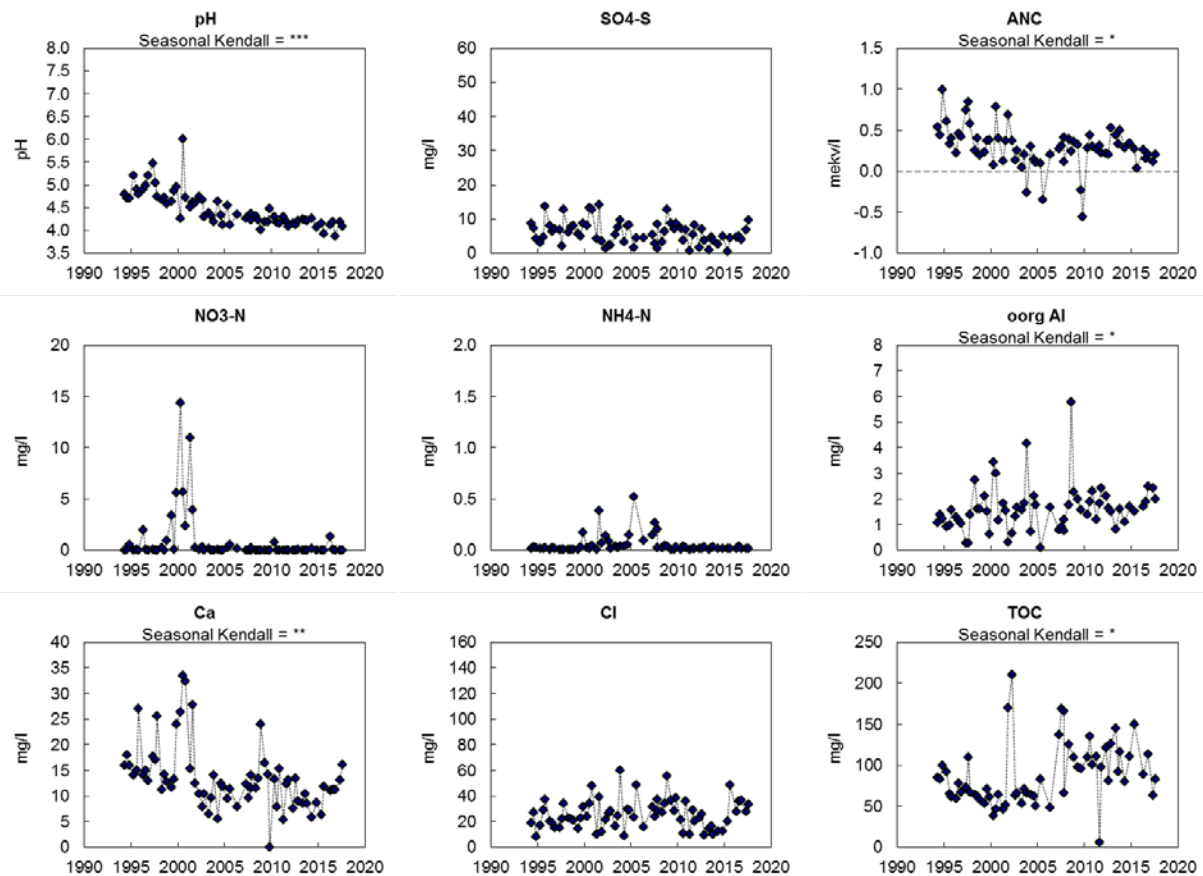
Alsjö (H 22):

Yta med 79-årig granskog, belägen en halvmil öster om Emmaboda. Under stormen Gudrun 2005 föll enstaka träd i eller i närheten av ytan. På grund av barkborreangrepp togs träden bort på en yta som tangerar provytan (1000-2000 kvm) under 2006-2007. Ytan är även under senare år påverkad av vildsvin. Markvattenmätningarna startade 1997. Krondroppsmätningarna startade 1995.

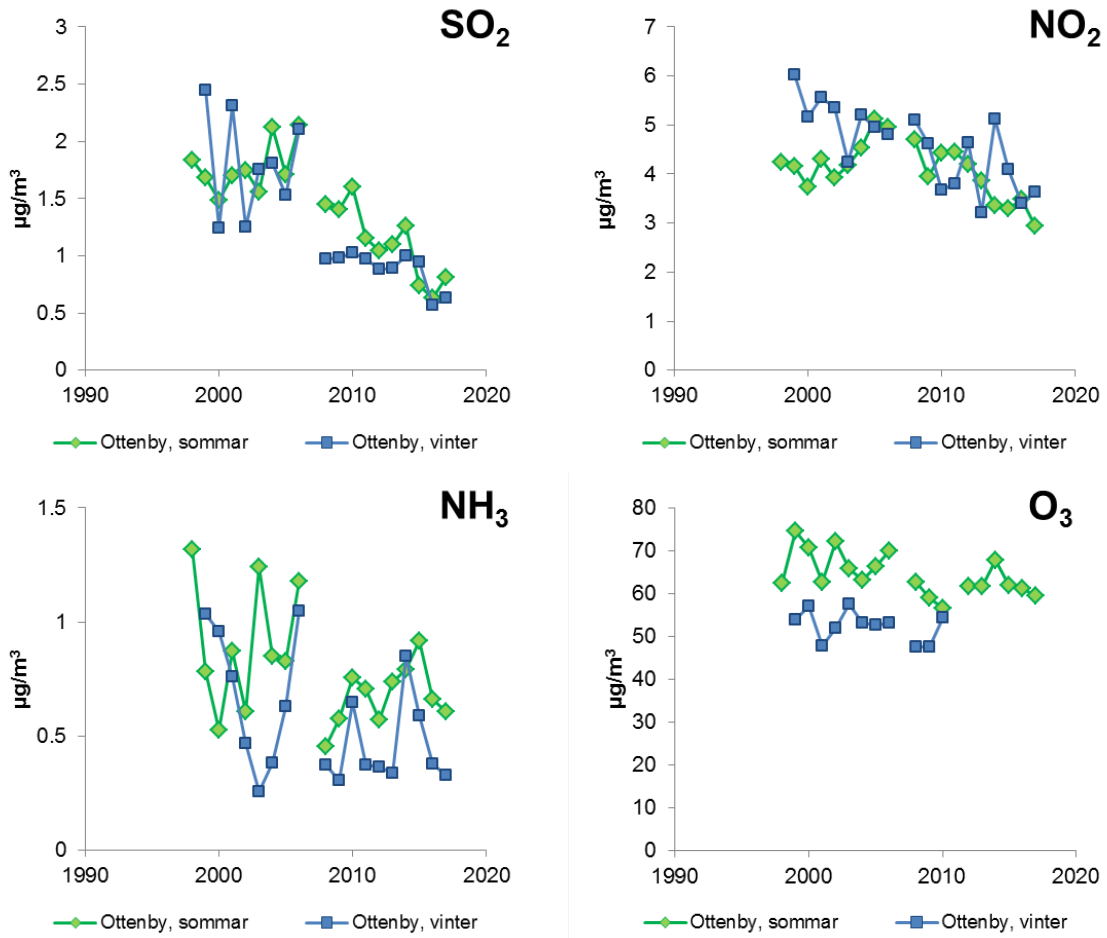
Ottenby (H 01):



- ◆ - Krondropp (KD) **Figur B4.1.** Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Ottenby, H 01. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO₄-S ex); nitratkväve (NO₃-N); ammoniumkväve (NH₄-N) och klorid (Cl). Trendanalys har genomförts med Mann-Kendall-analys. Signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

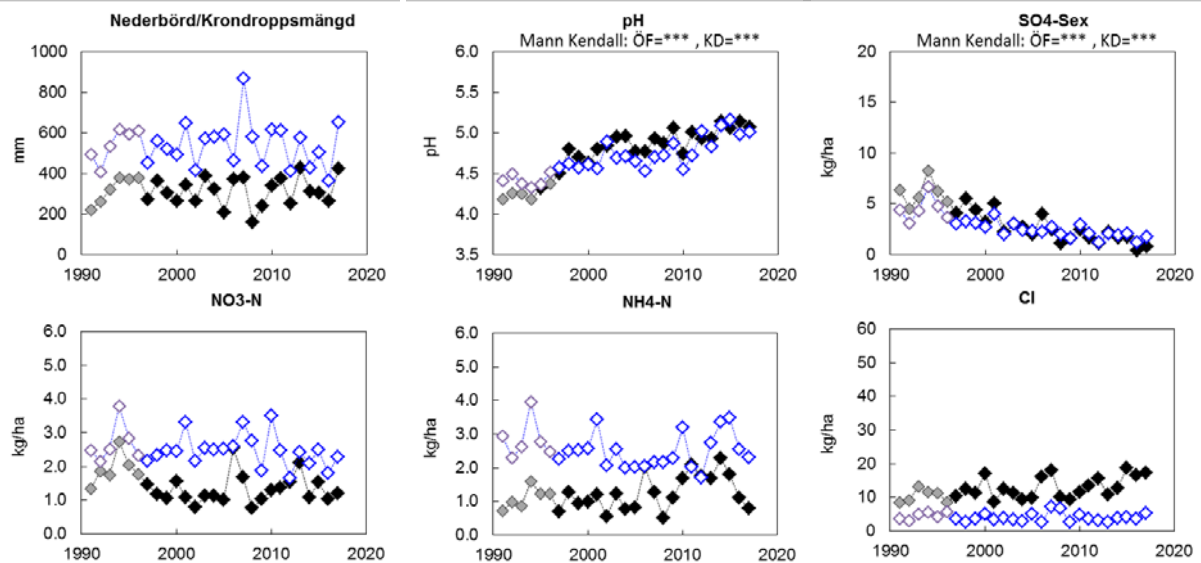


Figur B4.2. Markvattenkemi vid Ottenby, H 01: pH, sulfatsvavel (SO₄-S), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca²⁺), klorid (Cl) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



Figur B4.3. Lufthalter vid Ottenby (H 01). Värden anges för svaveldioxid (SO₂), kvävedioxid (NO₂), ammoniak (NH₃) och ozon (O₃).

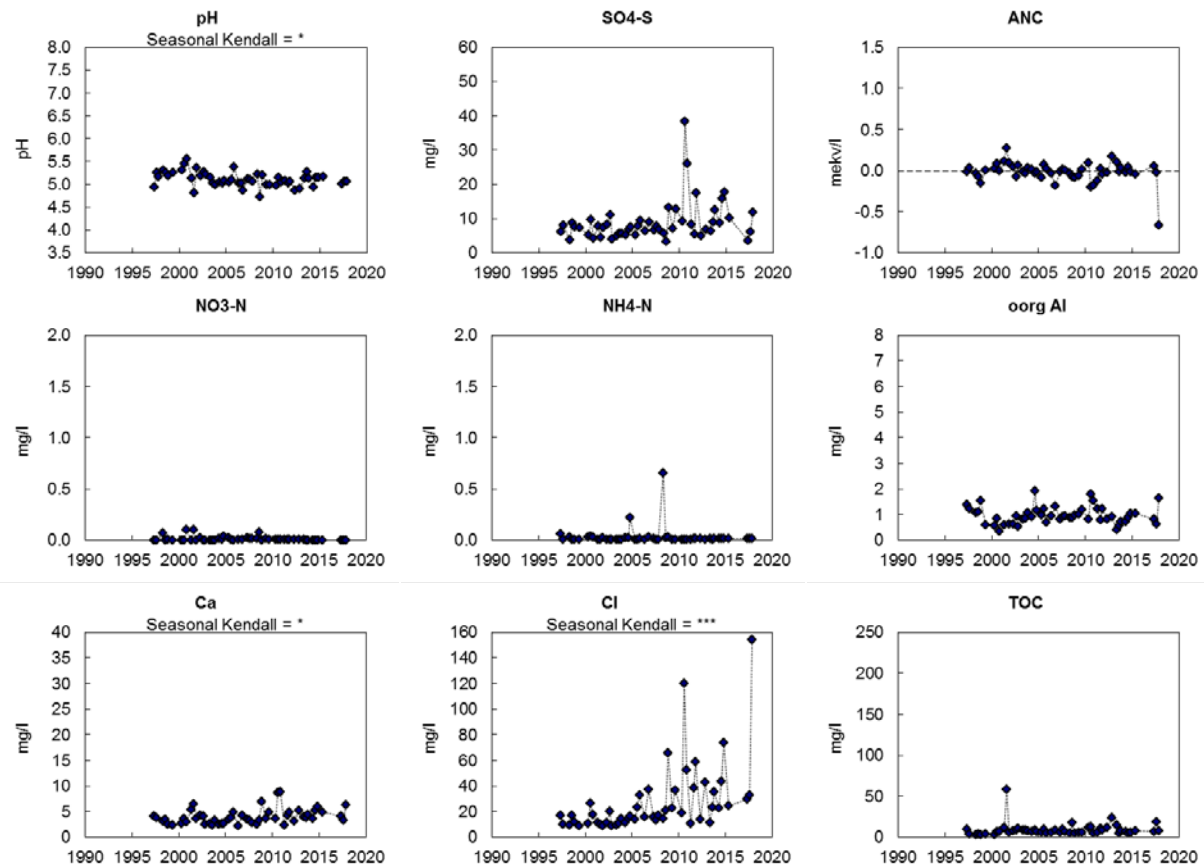
Rockneby (H 03):



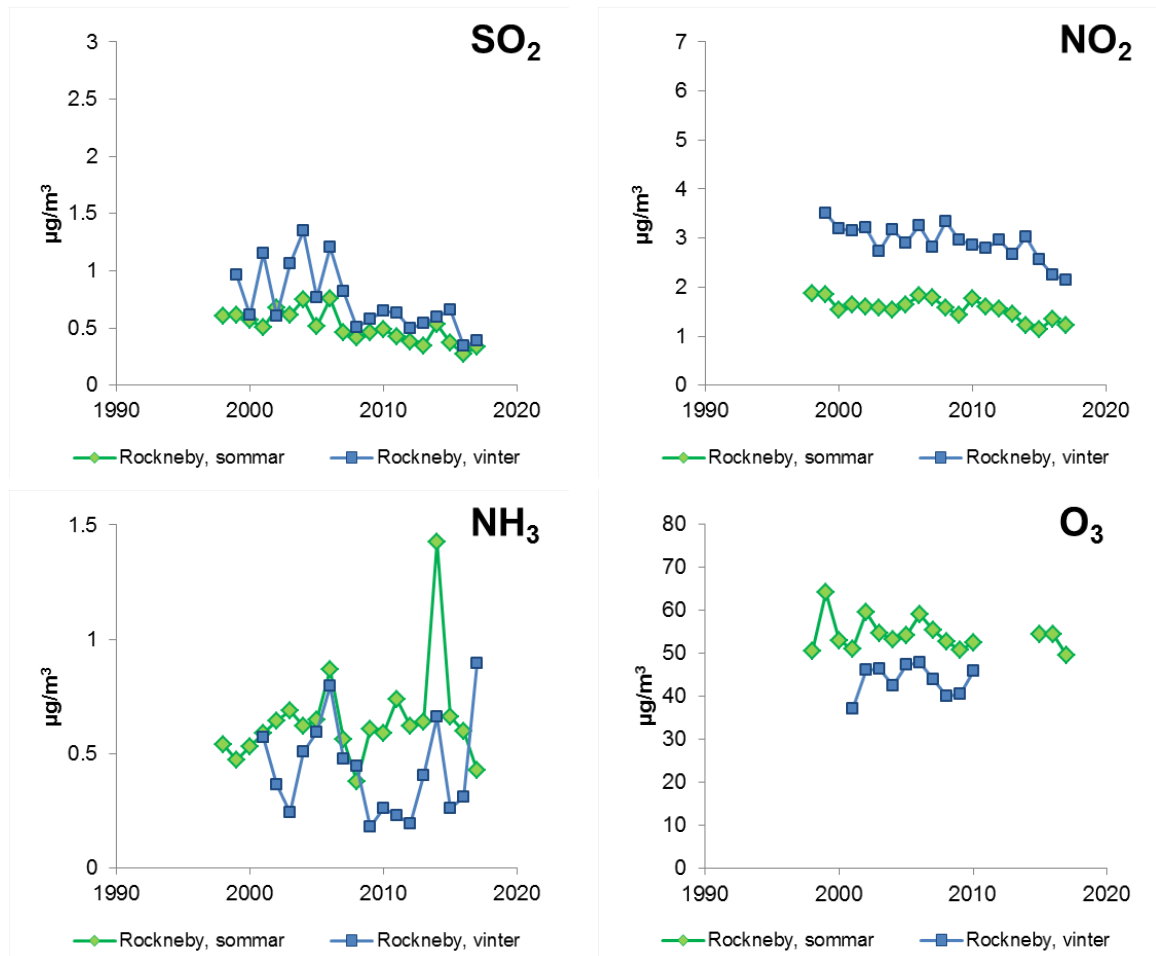
- ◆ - Kronddropp (KD)
- ◆ - Öppet fält (ÖF)

Figur B4.4. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Rockneby, H 03. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt

krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag ($\text{SO}_4\text{-S ex}$); nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$); ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) och klorid (Cl). Från och med oktober 1996 flyttades krondrops- och öppet-fältmätningarna vid Böle till Rockneby och mätningarna från Böle anges med en grå (KD) respektive lila (ÖF) symbol. Trendanalys har genomförts med Mann-Kendall-analys. Signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

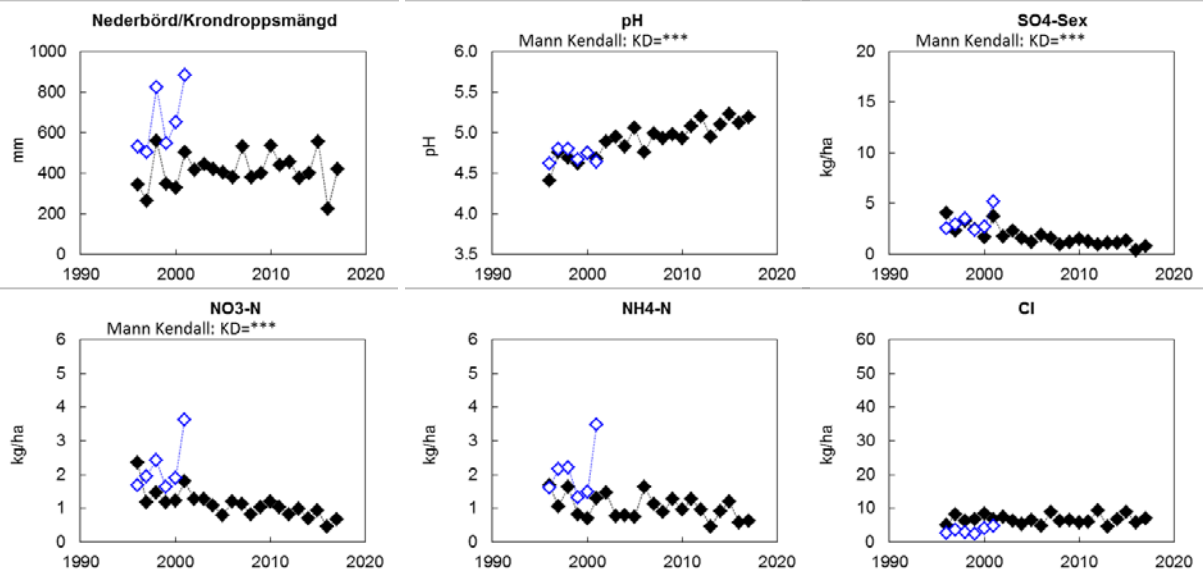


Figur B4.5. Markvattenkemi vid Rockneby, H 03: pH, sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



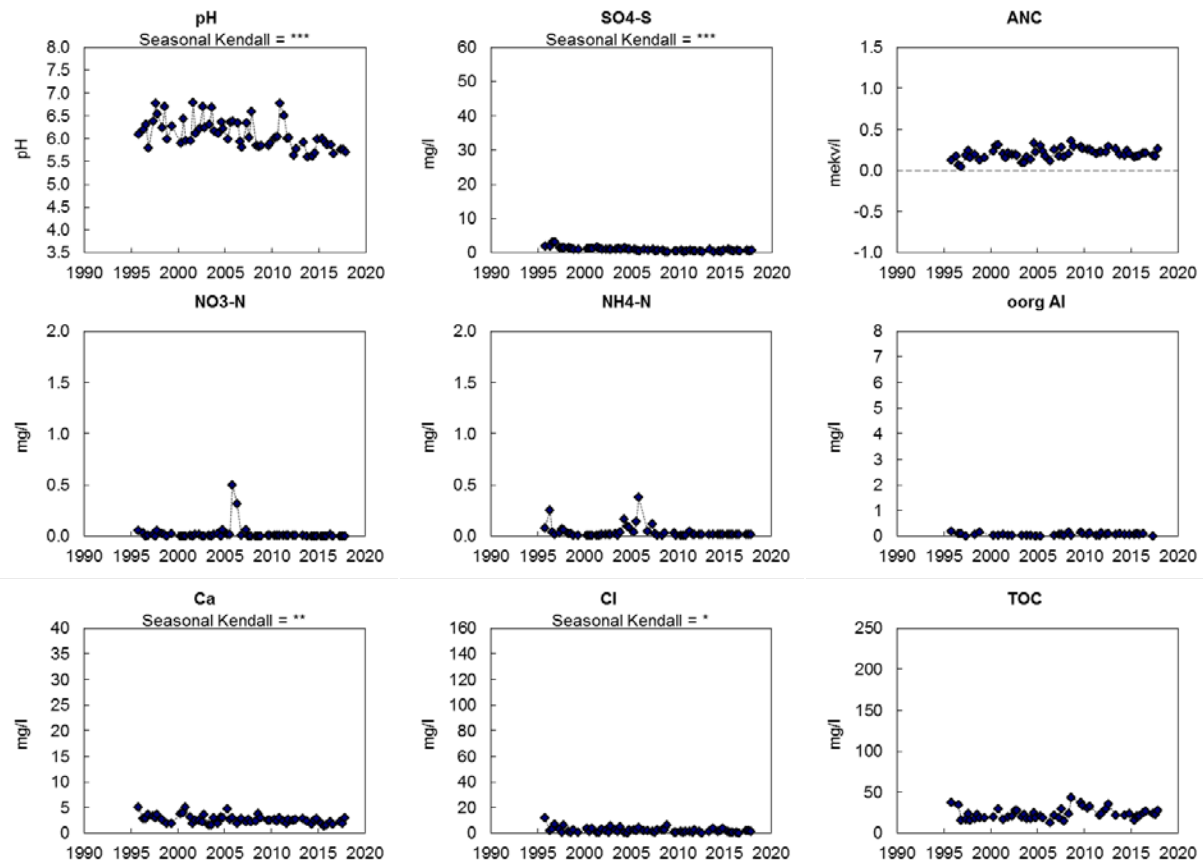
Figur B4.6. Lufthalter vid Rockneby (H 03). Värden anges för svaveldioxid (SO₂), kvävedioxid (NO₂), ammoniak (NH₃) och ozon (O₃).

Risebo (H 21):

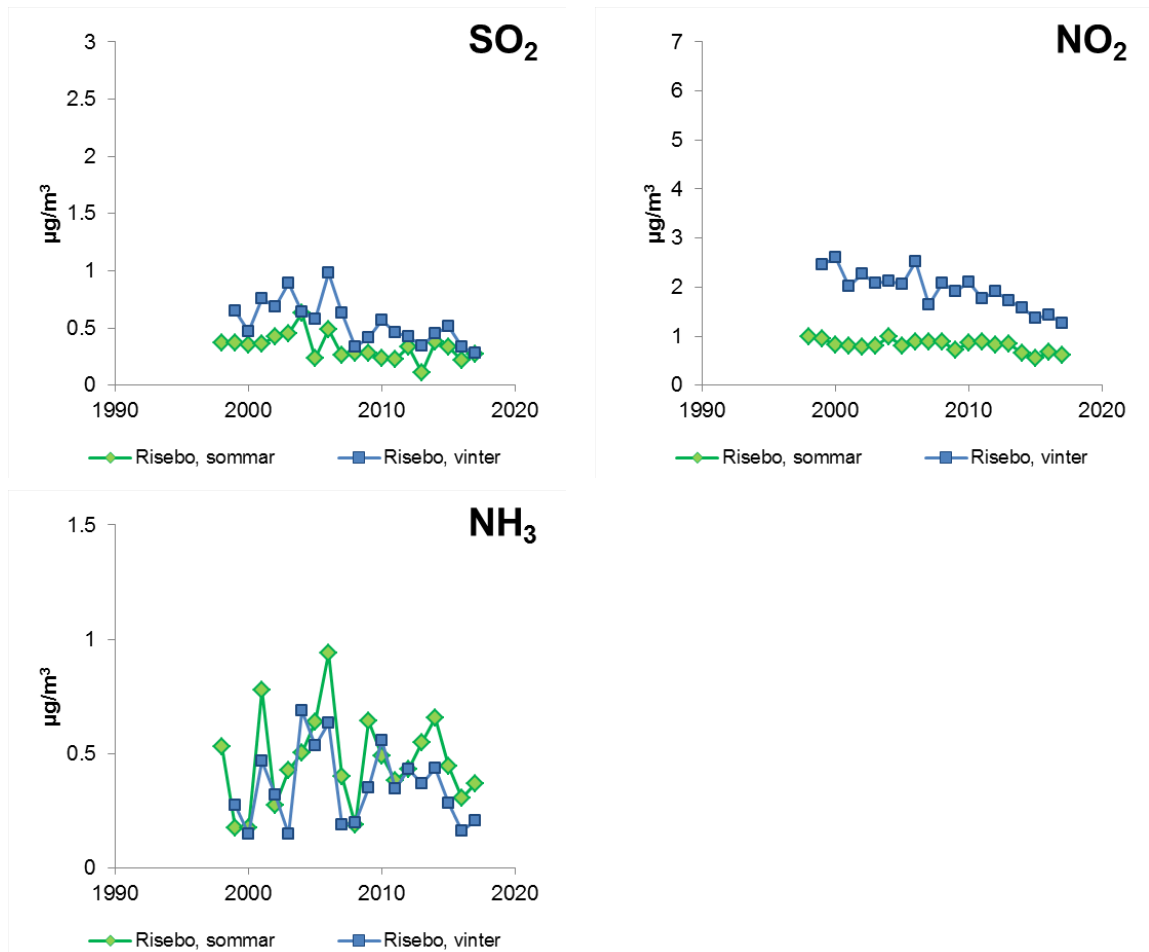


- ◆ - Krondropp (KD) - ◇ - Öppet fält (ÖF)

Figur B4.7. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Risebo, H 21. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag ($\text{SO}_4\text{-S ex}$); nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$); ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) och klorid (Cl). Trendanalys har genomförts med Mann-Kendall-analys. Signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

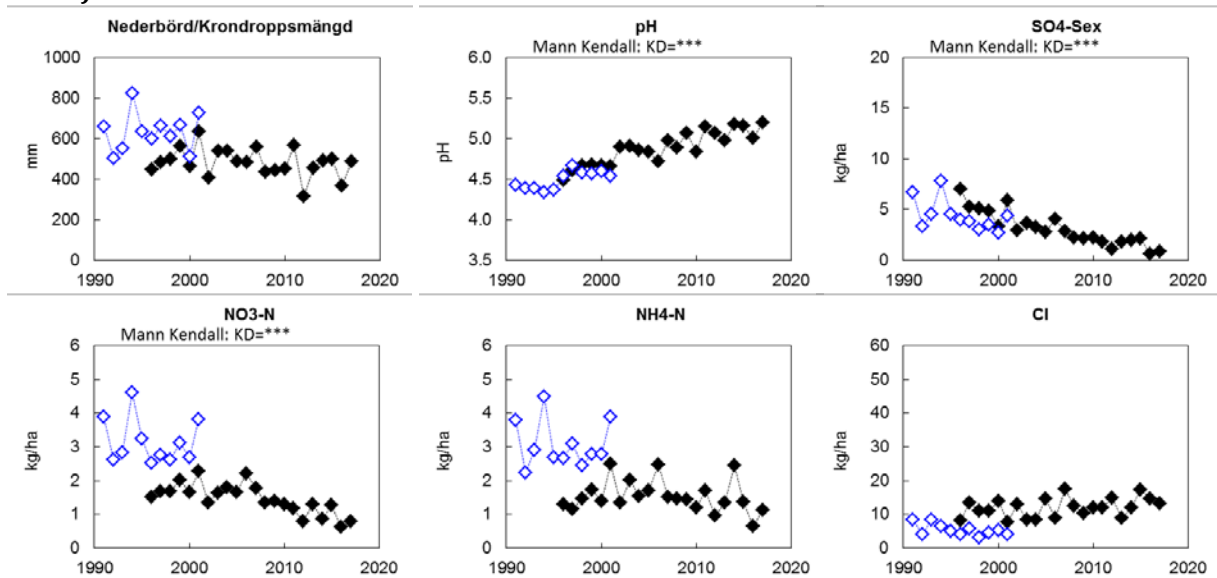


Figur B4.8. Markvattenkemi vid Risebo, H 21: pH, sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.

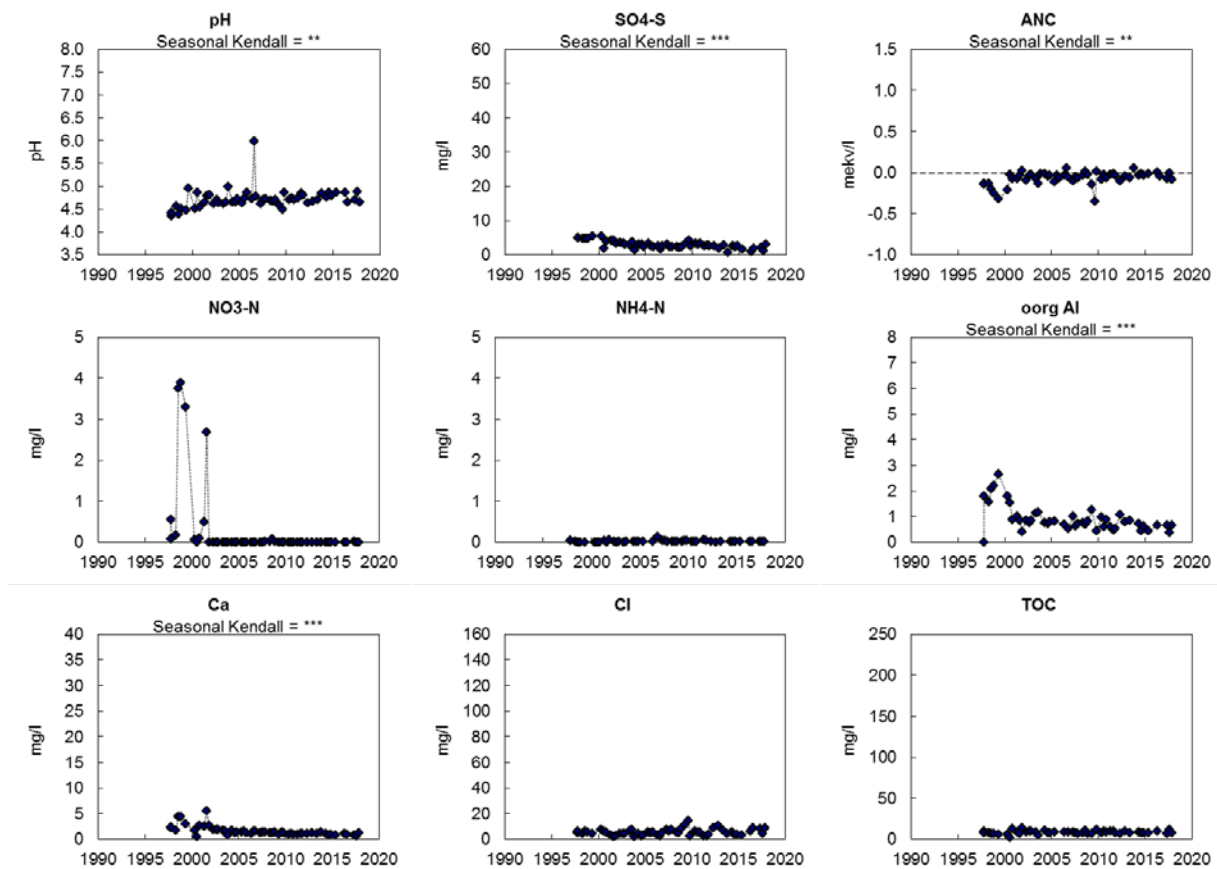


Figur B4.9. Lufthalter vid Risebo (H 21). Värden anges för svaveldioxid (SO₂), kvävedioxid (NO₂) och ammoniak (NH₃).

Alsjö (H 22):

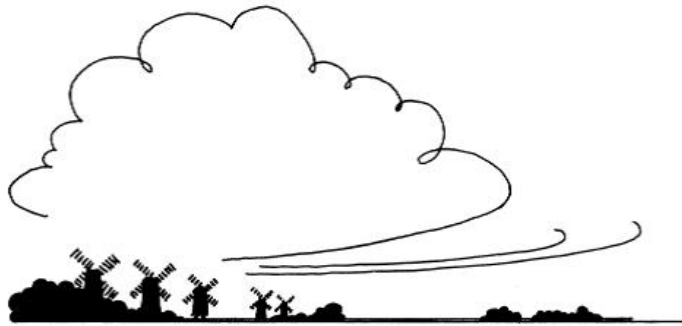


- ◆ - Krondropp (KD) **Figur B4.10.** Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp och över öppet fält vid Alsjö, H 22. I figuren visas uppmätt nederbörd över öppet fält samt krondroppsmängder, uttryckt som mm. pH samt deposition sedan mätningarna påbörjades redovisas för ett urval av ämnen: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag ($\text{SO}_4\text{-S ex}$); nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$); ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) och klorid (Cl). Trendanalys har genomförts med Mann-Kendall-analys. Signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.



Figur B4.11. Markvattnenkemi vid Alsjö, H 22: pH, sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$), markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), oorganiskt aluminium (oorg Al), kalciumhalt (Ca^{2+}), klorid (Cl) och totalt organiskt kol (TOC). Saknade värden innebär oftast att marken varit för torr. Trendanalys har genomförts med Seasonal-Kendall och signifikansnivåer anges, ovanför respektive diagram, i de fall där signifikanta trender påvisats.





KALMAR LÄNS LUFTVÅRDSFÖRBUND



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