Nr C 402
Juni 2019

Försurning och övergödning i norra Sverige

Resultat från Krondroppsnätet till och med 2017/18

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

ivl SVENSKA MILJÖINSTITUTET

I samarbete med: Lunds universitet

LUNDS UNIVERSITET

Författare Gunilla Pihl Karlsson (IVL), Per Erik Karlsson (IVL), Cecilia Akselsson (Lunds universitet), Sofie Hellsten (IVL)
Medel från: Länsstyrelserna i Dalarnas, Jämtlands, Norrbottens, Västerbottens och Västernorrlands län samt Boliden Mineral AB
Fotograf framsida: Louise Karlsson
Rapportnummer C 402
ISBN 978-91-7883-054-1
Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2019
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 Länsstyrelserna i Dalarnas, Jämtlands, Norrbottens, Västerbottens och Västernorrlands län samt Boliden Mineral AB genomför IVL Svenska Miljöinstitutet, i samarbete med Lunds universitet, mätningar av lufthalter, atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi i norra Sverige inom Krondroppsnätet.

I norra Sverige har de ordinarie mätningarna inom Krondroppsnätet pågått under 29 år. I Jämtlands län startade mätningarna 1990, i Norrbotten, Västerbotten och Västernorrland 1991 och i Dalarna 1994. Mätningarna på hög höjd i Jämtland startade 1994 och i Dalarna 1997. För Holmsvattnet i Västerbottens län, där mätningarna startade 1986, som en uppföljning av Rönnskärsverkens påverkan, visas endast mätningar från och med det hydrologiska året 1991/92. I denna rapport redovisas framförallt resultaten från mätningar under det hydrologiska året 2017/18. Ett hydrologiskt år omfattar mätningar från och med oktober till och med september påföljande år. Samtliga tidigare mätningar, inklusive avslutade mätlokaler, visas i föregående års Krondroppsnätsrapport.

Mätningarna från 2017/18 ger tillsammans med tidigare års mätningar en bra bild över försurningsläget och kvävesituationen i norra Sverige. Vidare redovisas resultaten i förhållande till övriga mätningar inom Krondroppsnätet. I rapporten redovisas även andra relaterade projekt samt aktuella händelser från 2018, som är relevanta ur Krondroppsnätets synvinkel. I Bilaga 1 visas information om de olika länens mätningar och mätplatser.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 7

1 Krondroppsnätets mätningar – var, när och hur? 9

2 Kväve och övergödning 13

2.1 Utsläppen av kväve minskar – men minskar lufthalterna? 14
2.2 Minskar nedfallet av kväve? 19
2.3 Tar skogen upp allt kväve? 25
2.4 Regional miljömålsuppföljning - hur används mätningarna av kväve i nedfall och markvatten bäst? 27

3 Försurning – fortfarande ett problem? 29

3.1 Minskar lufthalterna av svaveldioxid ytterligare? 30
3.2 Fortsätter svavelnedfallet att minska? 31
3.3 Hur går återhämtningen från försurningen? 36
3.4 Regional miljömålsuppföljning - hur används de försurningsrelaterade mätningarna bäst? 42

4 Lufthalter av marknära ozon 45

5 Aktuellt & notiser 49

5.1 Sommarens torka 50
5.2 Sommarens bränder 52
5.3 Fördjupad utvärdering 2019 54
5.4 Aktuell forskning/specialprojekt som berör Krondroppsnätet 55

5.4.1 Hur stor är depositionen av fosfor till Östersjön? 55
5.4.2 Högt nedfall av svavel och kväve på hög höjd i norra Sverige 55

5.5 Vetenskapliga artiklar 2018 56
5.6 På gång – aktuella projekt och utvärderingar 56

5.6.1 Delar av Naturvårdsverkets verksamhet inom programområde Luft utvärderas igen 56
5.6.2 Specialrapport - länsvis total deposition av kväve och svavel 56
5.6.3 Andelen torrdeposition till provtagningsutrustning för nederbörd undersöks 57
5.6.4 Kväveutlakning till ytvatten efter avverkning? 57

6 Tack 57

7 Referenser 58

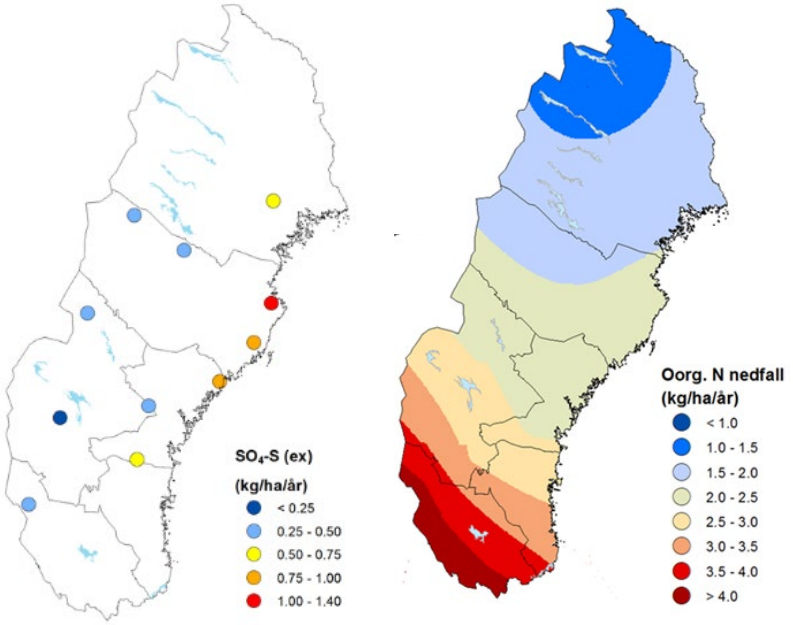
Bilaga 1. Mätplatserna i norra Sverige 61

Sammanfattning

Mätningar av lufthalter, nedfall och markvattenkemi har bedrivits i norra Sverige inom Krondroppsnätet sedan 1990. Under det hydrologiska året 2017/18 gjordes mätningar på femton platser.

Svavelnedfallet och sulfat i markvattnet minskar i takt med minskade utsläpp

Kraftigt minskade svavelutsläpp i såväl Sverige som i övriga Europa har nedfört att nedfallet av svavel i norra Sverige minskat under de senaste drygt 20 åren med 53 - 87 %. Halterna av svavel i markvattnet på 50 cm djup har minskat i samma utsträckning. Den syraneutraliserande förmågan i markvattnet, ANC, har under den senaste tioårsperioden med några undantag varit svagt positiv vid mätplatserna i norra Sverige. pH har generellt varit högt, över 5,5. Vid granskogen i Bäcksjö i Västerbottens län har pH i markvattnet dock varit lågt, samtidigt som halterna av toxiskt oorganiskt aluminium varit höga. Halterna av oorganiskt aluminium har dock minskat på senare tid vid Bäcksjö. En tallskog i Jämtlands län, Sör-Digertjärnen, kvävegödslades år 2012. Gödslingen fick en avsevärt negativ inverkan på försurningstillståndet i markvattnet. ANC och halterna av oorganiskt aluminium har återgått till de nivåer som rådde före gödslingstillfället. pH ligger dock sex år senare kvar på mycket låga värden, de senaste tre åren under 4,7. Detta beror sannolikt på att gödslingen medförde att det bildades mycket höga halter av löst organiskt kol i markvattnet.



Nedfall av svavel (till vänster) och oorganiskt kväve (till höger) till skog i norra Sverige under det hydrologiska året 2017/18.

Den kritiska belastningen för övergödande kväve överskrids vissa år

Årsmedelhalter av kvävedioxid (NO_2) i luften har minskat vid två av fem mätplatser i norra Sverige. Minskningen är något lägre jämfört med minskningen av de rapporterade utsläppen av NO_x från Europa. Kväveoxider kan dock transporteras mycket långt över hela norra halvklotet, till exempel från utsläppskällor i Asien och Nordamerika. Det har periodvis under vintertid uppmätts relativt höga lufthalter av NH_3, främst vid mätplatser i inlandet i Norrbottens och Västerbottens län. Orsakerna till detta är ännu inte kända. Det totala nedfallet av oorganiskt kväve (NO_3 + NH_4) beräknades under det hydrologiska året 2017/18 till mellan 3 och 5 kg kväve per hektar i Dalarnas län, samt mellan 1 och 2 kg per hektar i Norrbottens län. Den kritiska belastningen för övergödande kväve som används för Sveriges gran- och tallskogar, 5 kg per hektar och år, överskreds sannolikt inte i någon skog i norra Sverige 2017/18. Beräkningarna visar dock att den kritiska belastningsgränsen överskridits under vissa tidigare år i Dalarnas län och i de södra delarna av Jämtlands län. En trendanalys har visat att det totala kvävenedfallet till barrskog i norra Sverige minskade signifikant under perioden 2001–2017, med i storleksordningen 36 %. Nitrat förekommer sällan i markvattnet i ostörda skogsekosystem i norra Sverige.

Det fanns en antydan till förhöjda lufthalter av NH_3 under sommarmånaderna 2018 vid flera platser i norra Sverige, jämfört med ett medelvärde för motsvarande månader 2008 - 2017. Detta skulle kunna knytas till de omfattande skogsbränderna under sommaren 2018.

1 Krondroppsnätets mätningar – var, när och hur?

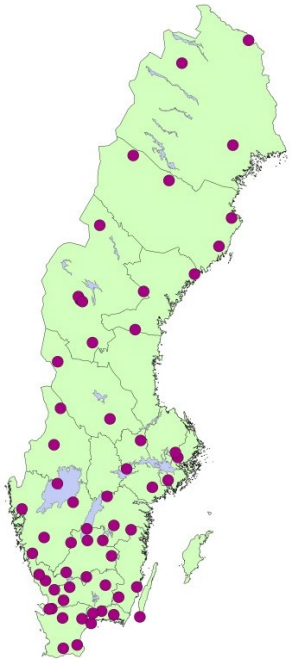
Fotograf: Gunilla Pihl Karlsson

Inom Krondroppsnätet genomfördes under det hydrologiska året 2017/18 mätningar vid 59 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 analyseras, däribland svavel- och kväveföreningar, som har stor betydelse för försurnings- och övergödningsproblematiken.

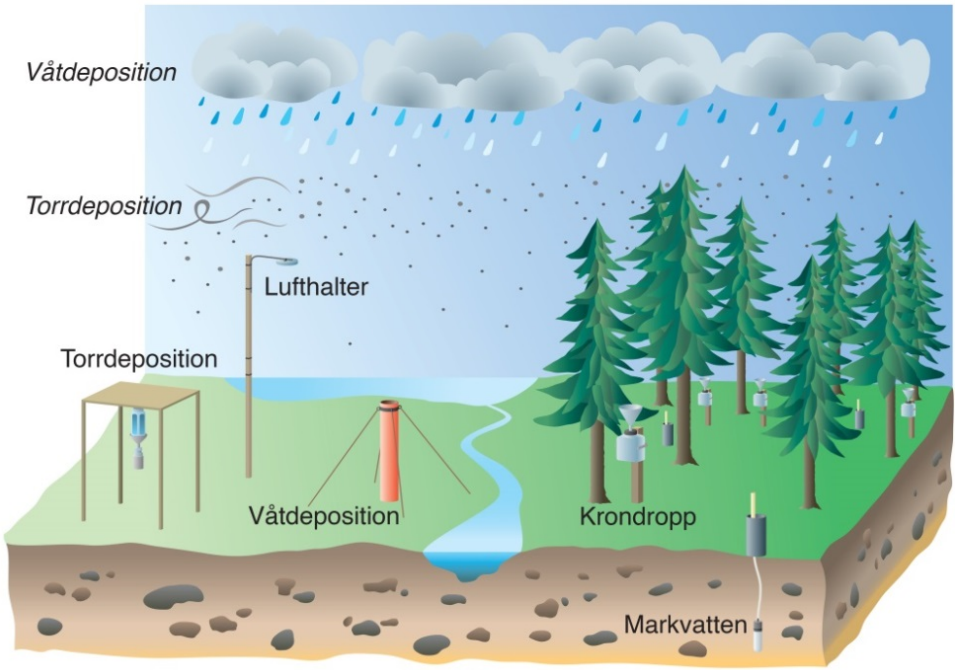
Genom åren har antalet mätplatser inom Krondroppsnätet varierat. Som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 ytor. Då övervakningen sker i brukad skog har ytor flyttats vid avverkning samt efter kraftiga störningar, till exempel vid omfattande stormskador. Idag bedrivs mätningar på 59 platser i Sverige, Figur 1, och numera finns mätserier med mer än 30 års data för några ytor.

Mätningarna bedrivs både på öppet fält och i skogen under trädkronorna, Figur 2. Nedfall och lufthalter mäts månadsvis, medan markvattenkemi mäts tre gånger om året för att representera förhållandena före, under respektive efter vegetationsperioden.

Allt arbete inom Krondroppsnätet, från provtagning till kemisk analys, validering och databearbetning utförs enligt väl utarbetade rutiner, och laboratorierna 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.



Figur 1. Samtliga ytor inom Krondroppsnätet 2017/18.



Figur 2. Inom Krondroppsnätet 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)

Mätningar i skogen

Under trädkronorna i skogen mäts krondropp, som ger ett summerat mått på både våt- och torrdeposition, vilket dock för vissa ämnen måste korrigeras för samverkan med trädkronorna. Kemin i markvattnet mäts under trädens rötter för att undersöka effekter av nedfall på skogsmarken. Provtagningen 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 tre meters höjd över marknivå vid vissa platser i landet.

Foto: öppen fältprovtagare

lufthaltsprovtagare

Våt- respektive torrdeposition

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 med strängprovtagare, för att korrekt kunna beräkna torrdepositionen.

Foto: strängprovtagare

Data från Krondroppsnätet är fritt tillgängliga från Krondroppsnätets webbplats: http://www.krondroppsnatet.ivl.se/. På webbplatsen finns även samtliga kontaktuppgifter.

2 Kväve och övergödning

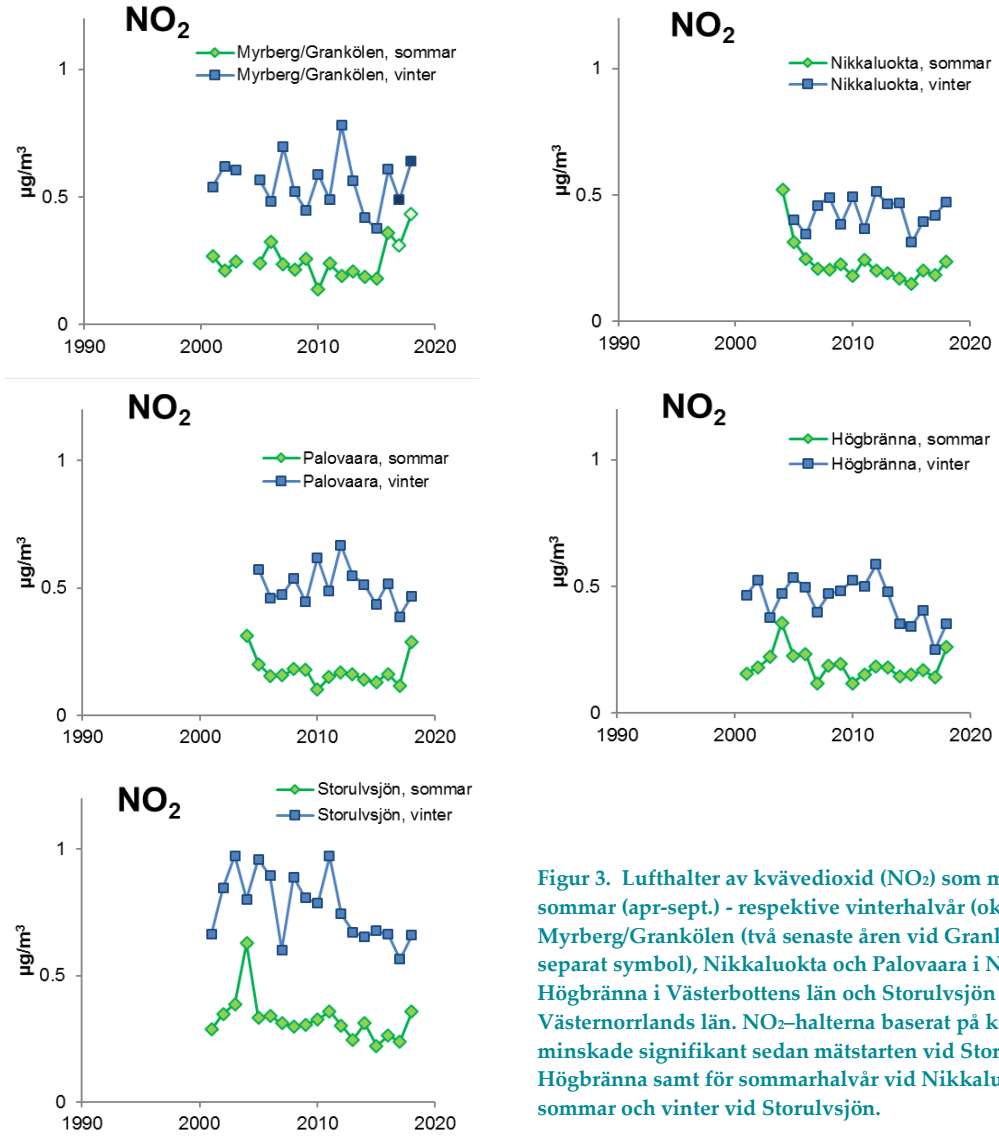
Fotograf: Sofie Hellsten

Kvävenedfallet kan påverka både markvegetation och vattenkvalitet. Utsläpp av kväveoxider (NO_x), främst från transporter och industri tillsammans med utsläpp av ammoniak (NH_3), främst från jordbruket, leder till kvävenedfall som kan bidra till både övergödning och försurning av mark och vatten. Övergödning av marken kan leda till en förändrad markvegetation. Det kväve som inte tas upp av skogsekosystemen, och som uppmäts som förhöjda halter av främst nitratkväve i markvattnet, kan transporteras vidare och bidra till förhöjda nitrathalter i grundvattnet och därmed försämrad dricksvattenkvalitet, samt övergödning av ytvatten. Växtligheten i norra Sverige har en speciell roll i ett europeiskt perspektiv. Den har sannolikt aldrig varit utsatt för ett kvävenedfall som överskridit ca 5 kg N/ha/år och kvävenedfallet är även i nuläget lågt.

2.1 Utsläppen av kväve minskar – men minskar lufthalterna?

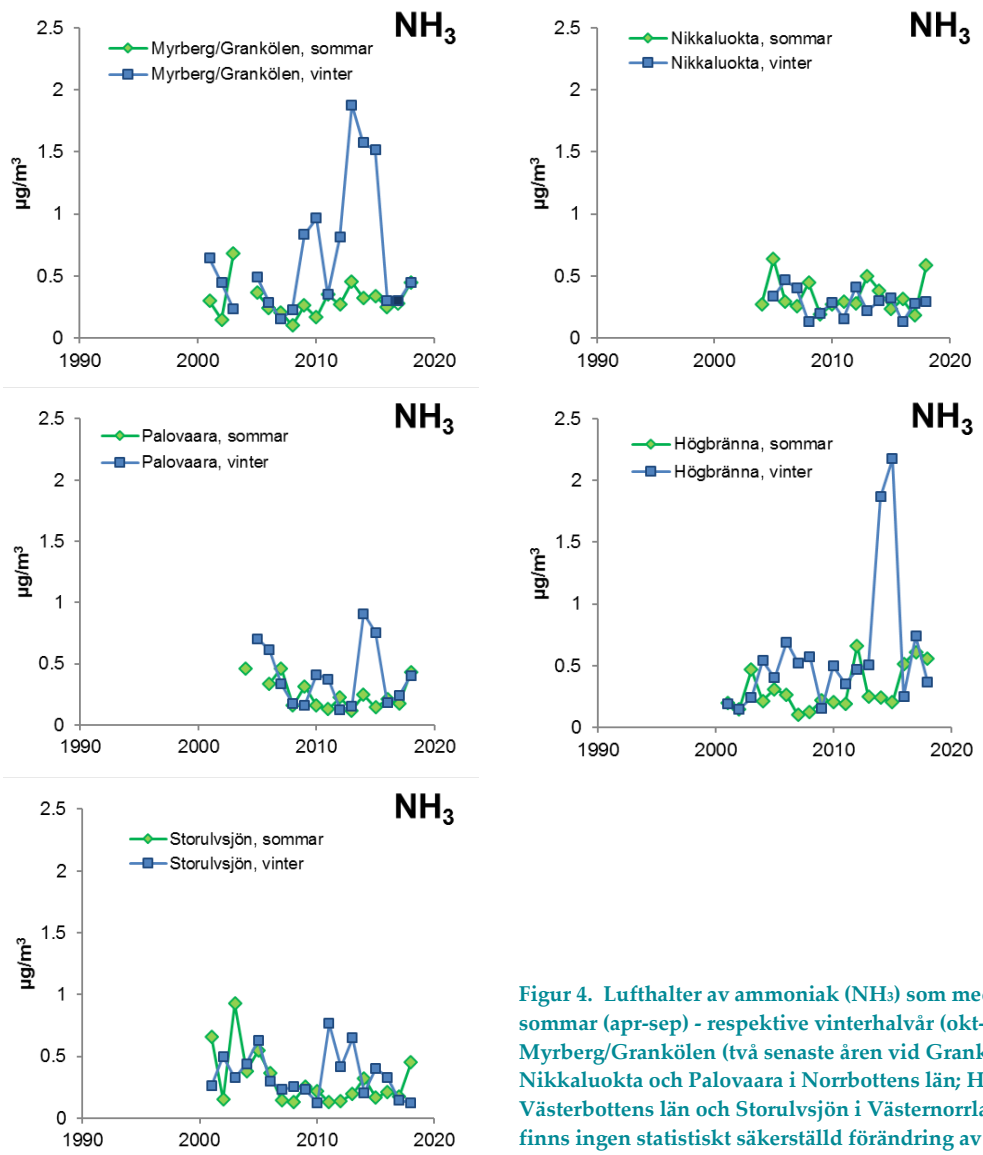
Lufthalterna av olika kväveformer kan ge en första indikation på om kvävebelastningen förändras. I norra Sverige finns relativt långa tidsserier av lufthalter av kvävedioxid (NO_2) och ammoniak (NH_3) på månadsbasis. Vid Storulvsjön, Högbränna och Myrberg/Grankölen påbörjades luftmätningarna redan 2001, medan de vid Nikkaluokta och Palovaara påbörjades 2004.

Lufthalterna av NO_2 visas för respektive sommar- och vinterhalvår i Figur 3. Halterna är generellt låga i norra jämfört med södra Sverige (jämför Figur 5). Vid samtliga mätplatser är NO_2-halterna högst vintertid och högst vinterhalter har uppmätts vid Storulvsjön i Västernorrland. Under perioden 2001–2018 har årsmedelhalterna av NO_2 baserat på kalenderår minskat på ett statistiskt säkerställt sätt vid Storulvsjön och Högbränna, med respektive 28 och 29 %. Vid övriga platser finns inga säkerställda förändringar. De rapporterade utsläppen av NO_x från EU-28 har under perioden 2001–2016 minskat med 43 % och från Sverige under motsvarande period med 38 % (CEIP, 2019). Lufthalterna av NO_2 vid Storulvsjön och Högbränna minskar således i något långsammare takt än minskningen av rapporterade utsläpp av NO_x från Europa. Vad gäller halvår har halterna av NO_2 minskat signifikant vid Nikkaluokta sommarhalvår samt vid Storulvsjön både sommar och vinter.



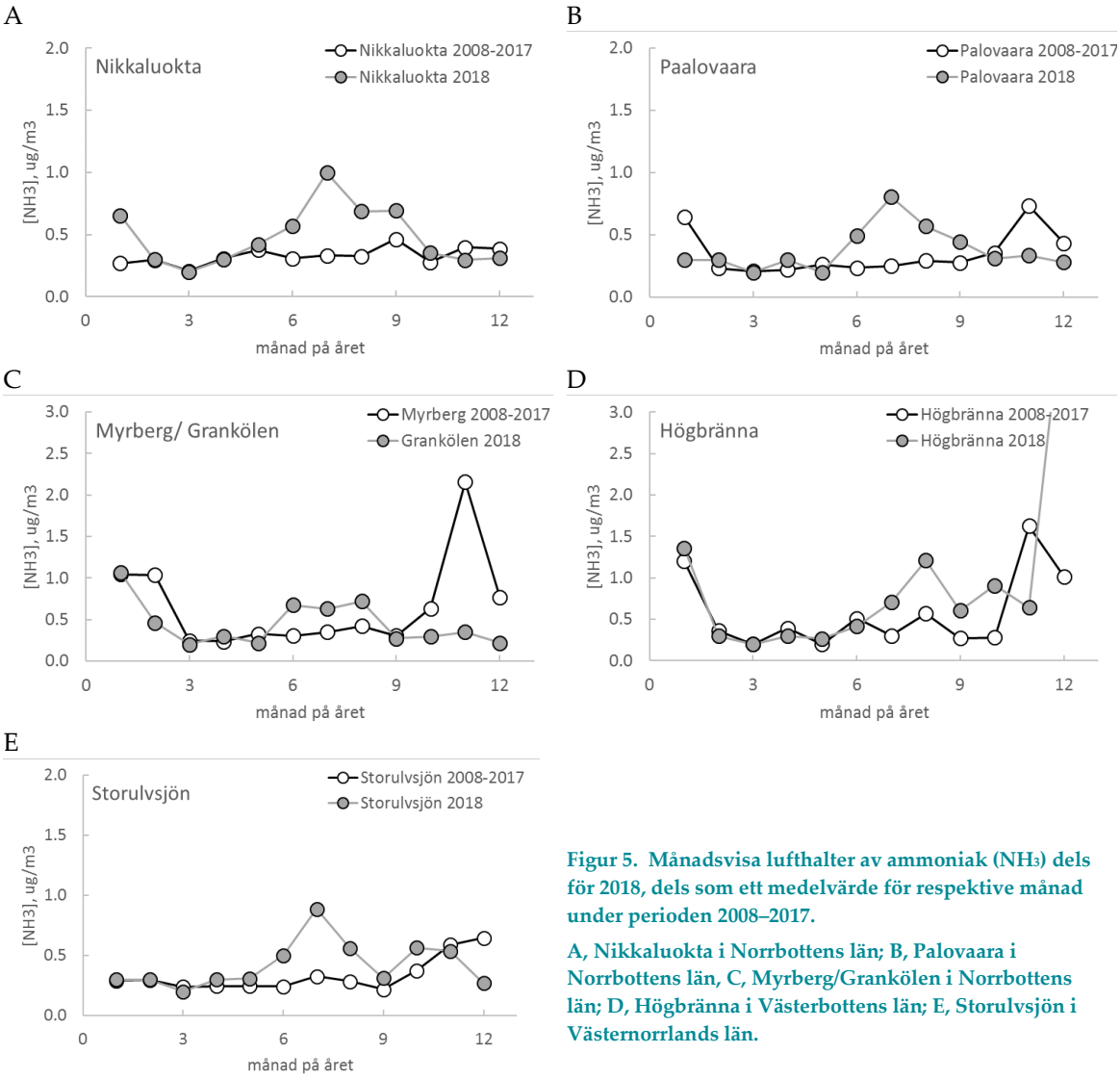
Figur 3. Lufthalter av kvävedioxid (NO_2) som medelvärde för sommar (apr-sept.) - respektive vinterhalvår (okt-mars) vid: Myrberg/Grankölen (två senaste åren vid Grankölen, visas med separat symbol), Nikkaluokta och Palovaara i Norrbottens län; Högbränna i Västerbottens län och Storulvsjön i Västernorrlands län. NO_2–halterna baserat på kalenderår minskade signifikant sedan mätstarten vid Storulvsjön och Högbränna samt för sommarhalvår vid Nikkaluokta och både sommar och vinter vid Storulvsjön.

Ammoniak (NH_3) deponeras ofta relativt nära utsläppskällan på grund av att den har en hög depositionshastighet. NH_3 förekommer därför sällan med höga halter i luften. I norra Sverige förekommer vintertid förhöjda halter av NH_3, speciellt vid Högbränna och Myrberg, Figur 4. Vi har ännu inte hittat någon förklaring till de relativt höga lufthalterna av ammoniak under vintern i norra Sverige. Vid ofullständig förbränning kan det bildas NH_3, så det finns ett möjligt samband med vedeldning vintertid. Sommartid är ammoniakhalterna generellt låga i norra Sverige. Den finns ingen statistiskt säkerställd förändring av NH_3, varken på årsbasis (kalenderår) eller för halvår. De rapporterade utsläppen av NH_3 från EU-28 har minskat med 12 % under 2001–2016 och från Sverige under motsvarande period med 11 % (CEIP, 2019).



Figur 4. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärde för sommar (apr-sep) - respektive vinterhalvår (okt-mar) vid: Myrberg/Grankölen (två senaste åren vid Grankölen), Nikkaluokta och Palovaara i Norrbottens län; Högbränna i Västerbottens län och Storulvsjön i Västernorrlands län. Den finns ingen statistiskt säkerställd förändring av NH_3 på årsbasis (kalenderår) eller för halvår.

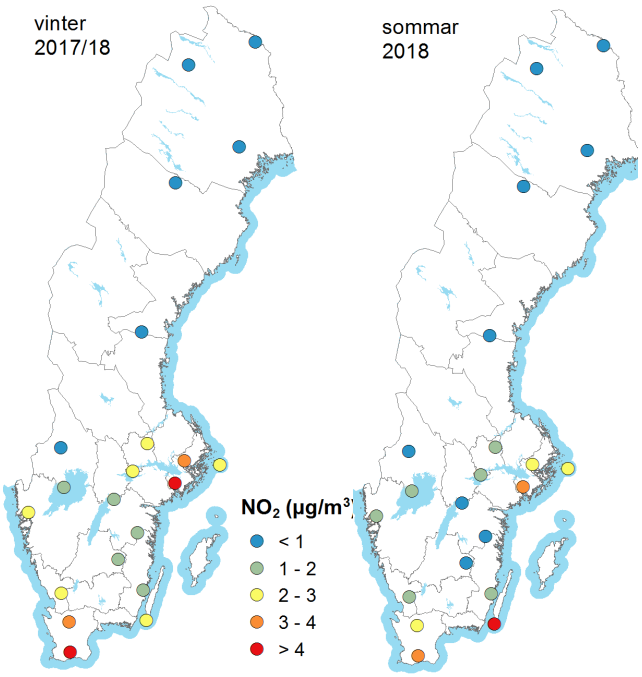
Under maj-augusti 2018 rasade skogsbränder i stora delar av landet, se kapitel 5.2 för en utförligare beskrivning. Vid ofullständig förbränning av biomassa kan det bildas NH_3 (Karlsson m.fl., 2013) som dock har en hög tendens till att snabbt deponeras och därför normalt inte transporteras särskilt långt. En ingående analys av månadsvisa lufthalter av NH_3 för fem mätplatser i norra Sverige (Figur 5) visar dock att vid flera platser var halterna högre under juni, juli och augusti 2018, jämfört med medelhalten för dessa månader för de föregående tio åren. Vädersituationen var speciell under sommaren 2018, så det är inte säkerställt att de höga halterna av NH_3 i norra Sverige under sommaren berodde enbart på skogsbränderna. För att avgöra detta krävs mer ingående analyser.



Figur 5. Månadsvisa lufthalter av ammoniak (NH_3) dels för 2018, dels som ett medelvärde för respektive månad under perioden 2008–2017.

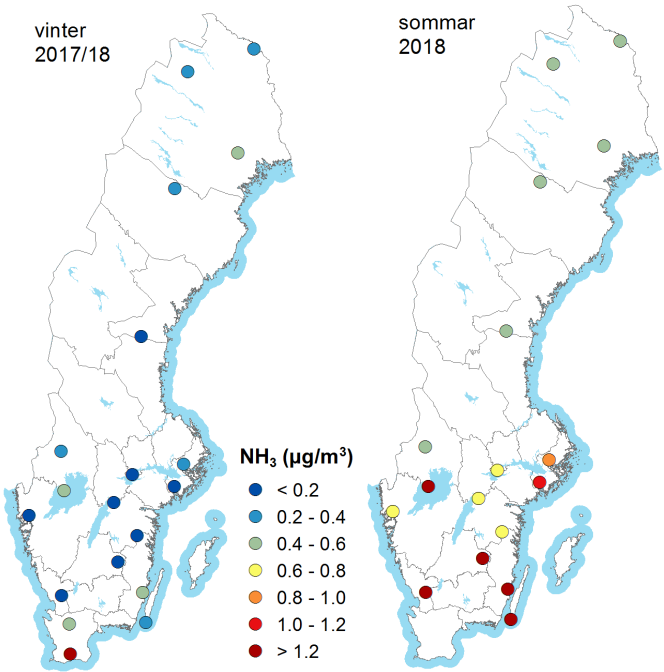
A, Nikkaluokta i Norrbottens län; B, Palovaara i Norrbottens län, C, Myrberg/Grankölen i Norrbottens län; D, Högbränna i Västerbottens län; E, Storulvsjön i Västernorrlands län.

I Figur 6 visas kvävedioxidhalterna under vintern 2017/18 och sommaren 2018 vid alla mätplatser inom Krondroppsnätet. Under vintern uppmättes högst halter av NO_2 i Skåne- och Stockholmsregionen följt av Halland och Ölands södra udde och lägst halter uppmättes i norra halvan av Sverige. När det gäller lufthalter av kväveoxider sommartid var mönstret över landet likartat, men uppmätta halter är generellt lägre under sommaren.



Figur 6. Lufthalter av kvävedioxid (NO_2) som medelvärden för sommar (apr-sep) - respektive vinterhalvår (okt-mar) vid mätstationerna inom Krondroppsnätet i Sverige.

I Figur 7 visas lufthalterna av ammoniak under vintern 2017/18 och sommaren 2018 vid alla mätplatser inom Krondroppsnätet. Högst halter uppmättes sommaren 2018 i södra Götaland och östra Svealand. Under vintern uppmättes högst ammoniakhalter vid Stenshult på Romeleåsen i Skåne. Under vintern förekommer under vissa månader höga halter av ammoniak i norra Sverige, vilket gör att medelhalterna vintertid blir i samma storleksordning eller högre än vid många platser i södra Sverige.



Figur 7. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärden för sommar (apr-mar) - respektive vinterhalvår (okt-mar) vid mätstationerna inom Krondroppsnätet i Sverige.

2.2 Minskar nedfallet av kväve?

Nedfallet av oorganiskt kväve (NO_3-N + NH_4-N) med nederbörden i norra Sverige, vilket huvudsakligen motsvarar våtdepositionen, visas i Figur 8. I norra Sverige finns dessutom vid två platser, Storulvsjön och Myrberg/Grankölen, all den mätutrustning som krävs för att uppskatta det total nedfallet av kväve (våt- + torrdeposition) till barrskog, vilket inkluderar nedfall med nederbörden till öppet fält, krondropp samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare. Totalt i Sverige finns tio mätplatser med den utrustningen som krävs för att beräkna det totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog. Utifrån resultaten från dessa tio mätplatser går det att beräkna andelen torrdeposition av den totala kvävedepositionen. Andelen torrdeposition uppvisar ett geografiskt mönster över Sverige som gör det möjligt att beräkna det totala kvävenedfallet vid alla platser som har mätningar av kvävenedfall på öppet fält (Karlsson m.fl., 2018a). Från dessa beräkningar kan man i sin tur med hjälp av geografisk interpolation beräkna det totala kvävenedfallet till barrskog yttäckande för alla delar av Sverige. Resultaten från dessa beräkningar visas i Figur 9, dels för hela Sverige (Figur 9A) dels med ett särskilt fokus på norra Sverige (Figur 9B). Den geografiska interpolationen är en förenklad metod som ej tar hänsyn till höjd över havet eller avstånd till kust.

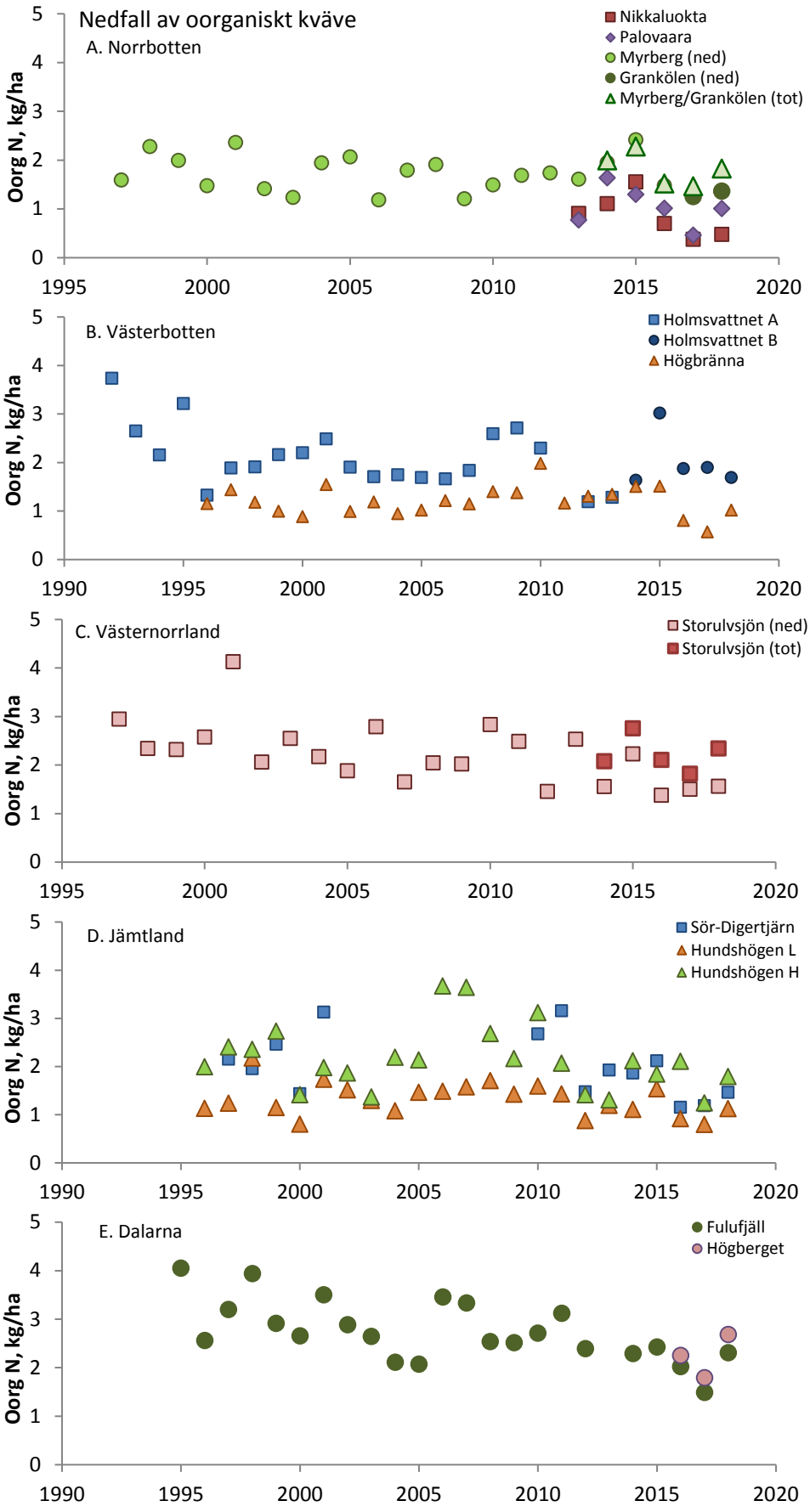
I de fall som det finns en statistiskt säkerställd minskning av nedfallet av de olika kväveformerna, utvärderad med Mann-Kendall metodik, anges storleken på denna minskning under hela mätperioden (Tabell 1). Minskningen kan relateras till minskningen av de samlade utsläppen av kväveoxider och ammoniak från EU-28, respektive Sverige. Under perioden 1996–2016 minskade utsläppen från EU-28 med 49 % för kväveoxider och 17 % för ammoniak (CEIP, 2019). Motsvarande värden för minskningen av utsläppen från Sverige är 48 % för kväveoxider och 15 % för ammoniak.

I ***Norrbottens län*** finns en lång tidsserie 1997 - 2018 för nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden vid Myrberg/Grankölen (Figur 8A). Därtill finns under senare år även resultat från Nikkaluokta och Palovaara för perioden 2013 - 2017. Under det hydrologiska året 2017/18 uppmättes kvävenedfallet med nederbörden vid dessa platser till mellan 0,5 och 1,4 kg kväve per hektar. Det totala kvävenedfallet vid Grankölen beräknades för detta år till 1,8 kg kväve per hektar. Skillnaden mot våtdepositionen är relativt liten eftersom torrdepositionen av kväve är låg i norra Sverige (Karlsson m.fl., 2018a). Det uppmätta nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden har inte förändrats signifikant över tid vid Myrberg/Grankölen sedan 1997. Analyserar man nedfallet för de två kväveformerna var för sig, har nedfallet av NO_3-N minskat signifikant med 40 % sedan 1997, medan det inte finns någon säkerställd förändring vad gäller nedfallet av NH_4-N.

Utifrån den geografiska interpolationen (Figur 9B) beräknades det totala kvävenedfallet till barrskog i Norrbottens län under 2017/18 till mellan 1 och 2 kg kväve per hektar.

I ***Västerbottens län*** finns två långa tidsserier för nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden vid Högbränna, 1996 - 2018, och vid Holmsvattnet, 1992 - 2018 (Figur 8B). Mätningarna vid Holmsvattnet flyttades dock en kortare sträcka 2013. Däremot finns ingen mätplats med de mätningar som krävs för att beräkna det totala kvävenedfallet till barrskog. Men som beskrivits ovan, går det att uppskatta det totala kvävenedfallet vid de två platser där det mäts nedfall med nederbörden. Dessutom finns den geografiska interpoleringen av det totala kvävenedfallet över hela Sverige (Figur 9B), och baserat på den beräknades det totala kvävenedfallet till barrskog i Västerbottens län under 2017/18 till mellan 1,5 och 2,5 kg kväve per hektar.

Under det hydrologiska året 2017/18 uppmättes nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden vid Högbränna och Holmsvattnet till respektive 1,0 och 1,7 kg kväve per hektar. Nedfallet av oorganiskt kväve har inte förändrats över tid sedan 1992 vid Holmsvattnet respektive sedan 1996 vid Högbränna. Analyserar man nedfallet för de två kväveformerna var för sig, har nedfallet med nederbörden av NO_3-N minskat signifikant med 32 % sedan 1992 vid Holmsvattnet men inte vid Högbränna, medan det inte finns någon säkerställd förändring vad gäller nedfallet av NH_4-N vid någon plats.



Figur 8. Årligt nedfall av oorganiskt kväve vid mätplatserna i norra Sverige, baserat på hydrologiskt år. Dels visas kvävenedfallet med nederbörden på öppet fält ("ned") för alla tillgängliga mätår och vid Myrberg/Grankölen samt Storulvsjön visas även det totala oorganiska kvävenedfallet (torr- och våtdeposition, "tot") för de hydrologiska åren 2013/14–2017/18.

I ***Västernorrlands län*** finns en lång tidsserie för nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden vid Storulvsjön, 1997 - 2018 (Figur 8C). Vid Storulvsjön finns även de mätningar som krävs för att beräkna det totala kvävenedfallet till barrskog. Dessutom finns den geografiska interpoleringen av det totala kvävenedfallet till barrskog över hela Sverige (Figur 9B), som för Västernorrlands län beräknades till mellan 2,0 och 3,0 kg kväve per hektar under 2017/18.

Under det hydrologiska året 2017/18 uppmättes kvävenedfallet med nederbörden vid Storulvsjön till 1,6 kg kväve per hektar. Det totala kvävenedfallet vid Storulvsjön beräknades för detta år till 2,3 kg kväve per hektar. Skillnaden mot den uppmätta våtdepositionen är relativt stor, +44 %, beroende på att Storulvsjön ligger långt söderut jämfört med andra platser i norra Sverige och eftersom torrdepositionen av kväve ökar ju längre söderut man kommer i landet (Karlsson m.fl., 2018a). Det uppmätta nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden vid Storulvsjön har minskat signifikant med 39 % sedan 1997. Analyserar man nedfallet för de två kväveformerna var för sig, har nedfallet av NO_3-N minskat signifikant med 42 %, medan nedfallet av NH_4-N har minskat med 38 %.

I ***Jämtlands län*** finns en lång tidsserie för nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden vid Sör-Digertjärn 1996 - 2018 (Figur 8D). Det är dock ett uppehåll i mätserien mellan 2001 och 2009. Dessutom finns ytterligare två långa tidsserier där nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden har mätts på hög höjd vid Hundshögen, 1996 - 2018, där mätningar finns för alla år. Mätningarna vid Hundshögen bedrivs på två höjder; vid trädgränsen 670 m.ö.h och högt upp på kalfjället 1250 m.ö.h. I Jämtland finns inte de mätningar som krävs för att beräkna det totala kvävenedfallet till barrskog. Dock finns den geografiska interpoleringen av det totala kvävenedfallet till barrskog över hela Sverige (Figur 9B), som beräknades till mellan 2,0 och 4,0 kg kväve per hektar i Jämtlands län under 2017/18. Den geografiska interpolationen inkluderar dock inte mätplatserna på hög höjd vid Hundshögen.

Under det hydrologiska året 2017/18 uppmättes kvävenedfallet med nederbörden vid Sör-Digertjärn till 1,5 kg kväve per hektar. Vid Hundshögen uppmättes kvävenedfallet med nederbörden till 1,1 kg kväve per hektar vid den lägre höjden och 1,8 kg kväve per hektar vid den högre höjden. En sammanställning av alla mätningar på hög höjd i norra Sverige har visat att exponeringen för luftföroreningar generellt ökar med höjden över havet (Karlsson m.fl., 2019).

Det uppmätta nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden vid Sör-Digertjärn har inte förändrats på ett statistiskt säkerställt sätt sedan 1997. Nedfallet av NO_3-N vid Sör-Digertjärn har dock minskat med 44 % sedan 1997 men inte NH_4-N. Vad gäller mätningarna av kvävenedfall med nederbörden vid Hundshögen finns inga statistiskt säkerställda förändringar över tid, varken för någon höjd eller för någon kväveform.

I ***Dalarnas län*** finns en lång tidsserie för nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden vid Fulufjäll i länets nordvästra del, 1995 - 2018 (Figur 8E). Dessutom finns en kortare tidsserie från Högberget i länets centrala del, 2016 - 2018. I Dalarna finns inte de mätningar som krävs för att beräkna det totala kvävenedfallet till barrskog. Dock finns den geografiska interpoleringen av det totala kvävenedfallet till barrskog över hela Sverige (Figur 9B), som i Dalarnas län under 2017/18 beräknades till mellan 3,0 och 5,0 kg kväve per hektar. Den geografiska interpolationen tar inte hänsyn till t.ex. höjd över havet. Mätningar vid Fulufjäll har klart visat att exponeringen för luftföroreningar ökar med ökad höjd över havet (Karlsson m.fl., 2019).

Under det hydrologiska året 2017/18 uppmättes kvävenedfallet med nederbörden vid Fulufjäll till 2,3 kg kväve per hektar. Vid Högberget uppmättes kvävenedfallet med nederbörden till 2,7 kg kväve per hektar.

Det uppmätta nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden vid Fulufjäll har minskat på ett statistiskt säkerställt sätt sedan 1995 med 36 %. Även nedfallet med nederbörden för de olika kväveformerna har minskat signifikant vid Fulufjäll, med 47 % för NO_3-N och med 27 % för NH_4-N. Vad gäller mätningarna av kvävenedfall med nederbörden vid Högberget är tidsserien ännu för kort för statistiska bedömningar.

Minskningen av nedfallet med nederbörden av kväveoxider och ammonium kan jämföras med minskningen av de rapporterade utsläppen av kväveoxider och ammoniak från Sverige, såväl som från övriga Europa.

Detta redovisas i Tabell 1 för alla platser med långa tidsserier i norra Sverige. De mätperioder som redovisas i Tabell 1 sträcker sig över minst 20 år och utsläppen av kväveoxider har under perioden fram till 2016 minskat i storleksordning 48 - 55 % vad gäller EU-28 och 46 - 54 % vad gäller Sverige. Nedfallet med nederbörden av NO_3-N har under dessa perioder minskat med mellan 32 och 47 %. Med tanke på de osäkerheter som finns vad gäller beräkningar av utsläpp av luftföroreningar från olika länder får detta anses vara en relativ god överensstämmelse. Möjligen har nedfallet minskat i något mindre utsträckning jämfört med minskningen av de rapporterade utsläppen av kväveoxider. Den största skillnaden föreligger dock för Holmsvattnet där även lokala utsläpp spelar en roll.

Tabell 1. Beräknade minskningar av nedfallet med nederbörden av NO_3-N och NH_4-N vid olika mätplatser och mätperioder i norra Sverige jämfört med rapporterade minskningar av utsläppen av kväveoxider respektive ammoniak från Europa (EU-28) respektive Sverige för perioder fram till 2016. "-" indikerar att det inte finns någon statistiskt säkerställd förändring över tid.

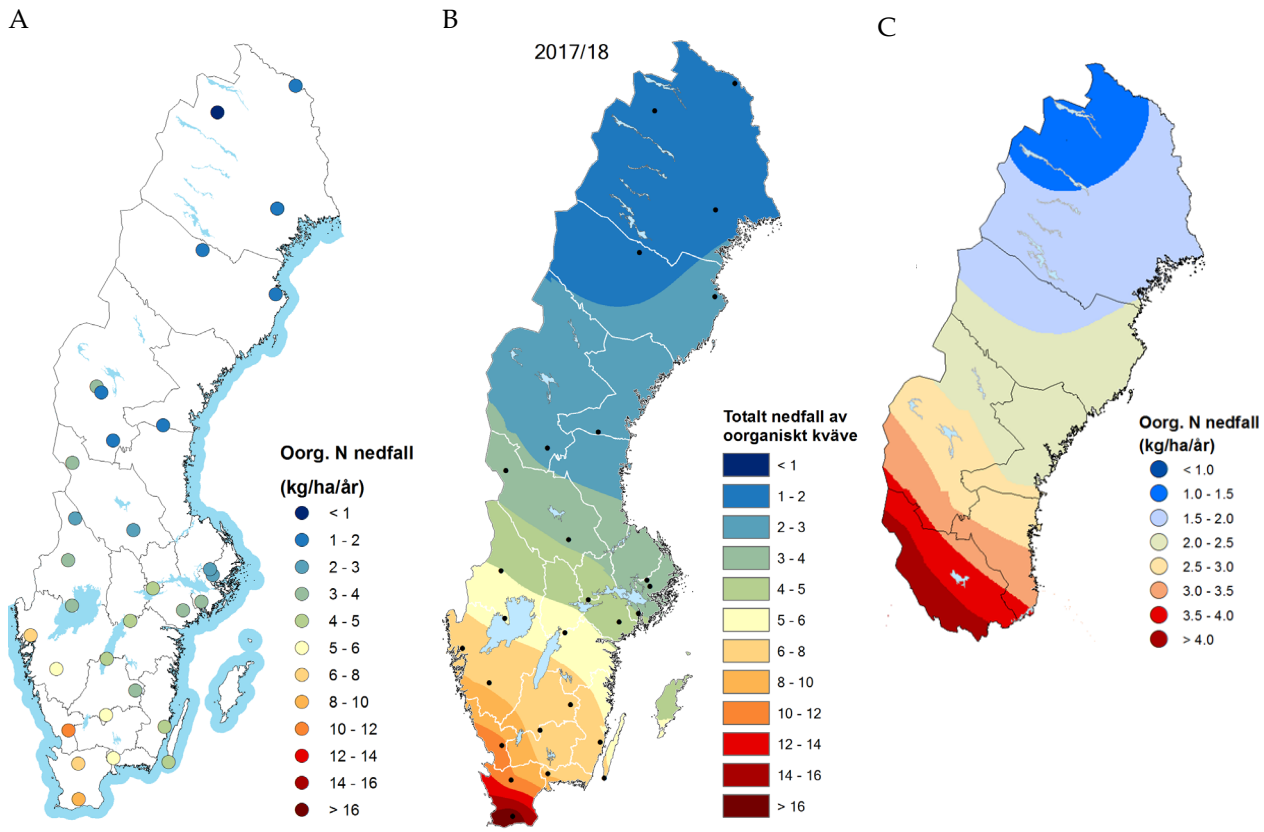
			Minskning av nedfall, %		Minskning av utsläpp, %, EU-28/ Sverige fram till 2016	
Mätplats	Län	Mätperiod	NO_3-N	NH_4-N	NO_x	NH_3
Myrberg/ Grankölen	Norrbotten	1997–2018	40	-	48/46	17/15
Högbränna	Västerbotten	1996–2018	-	-	49/48	17/15
Holmsvattnet	Västerbotten	1992–2018*	32	-	55/54	20/15
Storulvsjön	Västernorrland	1997–2018	42	38	48/46	17/15
Sör-Digertjärn	Jämtland	1996–2018**	44	-	49/48	17/15
Fulufjäll	Dalarna	1995–2018	47	27	51/50	17/15

* mätdata saknas för 2011, mätningarna flyttades en kortare sträcka 2013
** upphåll i mätserien 2001–2009

Utsläppen av ammoniak har minskat i mycket mindre utsträckning både vad gäller Europa och Sverige. Den statistiska analysen visar på en säkerställd minskning av nedfallet av NH_4-N vid endast två av totalt sex mätplatser i norra Sverige. Vid de två platserna är dock minskningen av nedfallet större än minskningen av de rapporterade utsläppen, men osäkerheterna är stora.

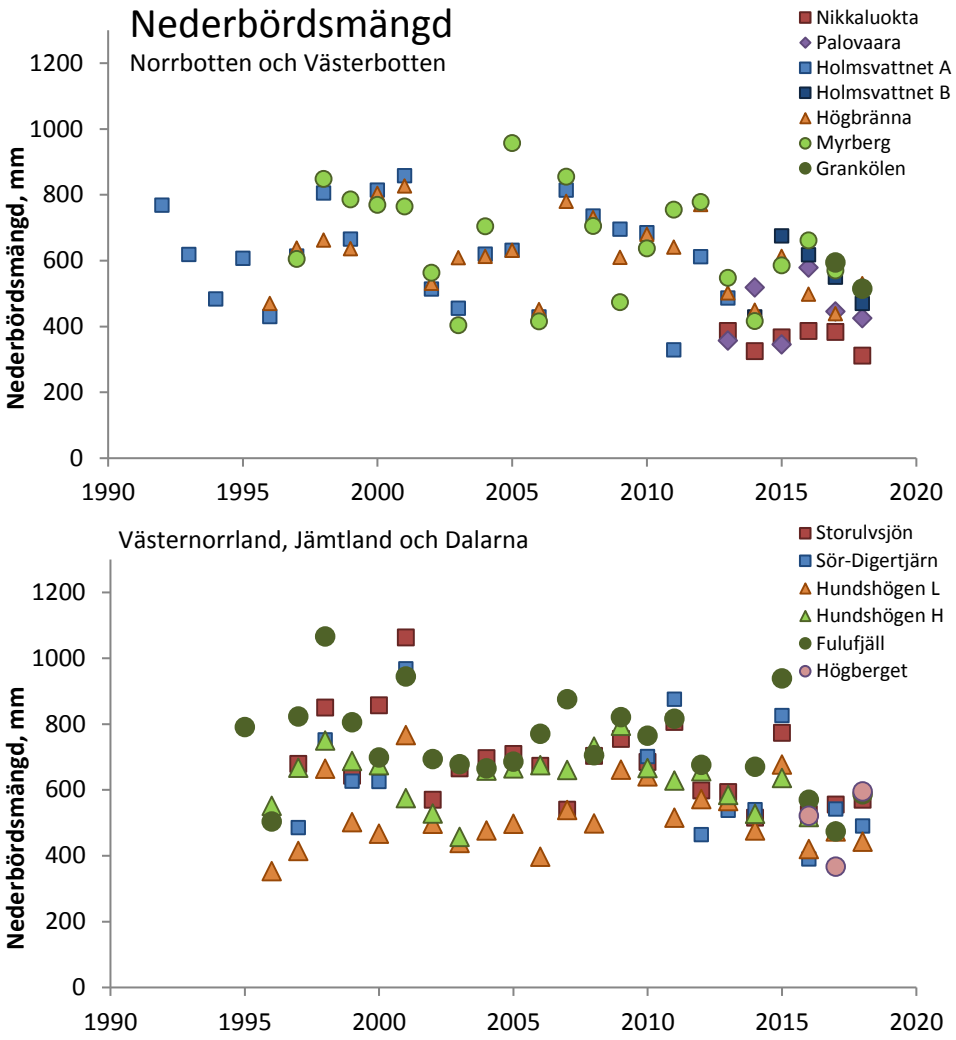
Den övergripande slutsatsen blir att nedfallet med nederbörden av NO_3-N i norra Sverige har minskat i ungefär samma utsträckning som minskningen av de rapporterade utsläppen av kväveoxider från Europa och från Sverige. Vad gäller reducerat kväve, NH_4-N, är utsläppsminskningarna mindre och det blir därför svårare att jämföra med minskningen av nedfallet. Dessa analyser inkluderar endast nedfallet med nederbörden, den så kallade våtdepositionen. Den andra komponenten av nedfall, torrdepositionen, har inte så stor betydelse i norra Sverige (Karlsson m.fl., 2018a).

I Figur 9A visas en karta över uppmätt nedfall av oorganiskt kväve via nederbörden på öppet fält. I Figur 9B visas en karta över det beräknade totala nedfallet av kväve till barrskog under 2017/18 för hela landet. Totaldepositionen av oorganiskt kväve till barrskog i Sverige under det hydrologiska året 2017/18 varierade mellan 1 kg per hektar och år i norr och 20 kg per hektar och år i sydväst, vilket är betydligt högre än motsvarande nedfall med nederbörden på öppet fält vid samma platser (Figur 9A). Betydelsen av torrdepositionen av kväve är tydlig i södra Sverige, medan den är av mindre betydelse i norra Sverige. Totaldepositionen överskred den kritiska belastningen för övergödande kväve på 5 kg per hektar och år (Moldan m.fl.2011) i hela Götaland och södra halvan av Värmland under det hydrologiska året 2017/18.



Figur 9. Nedfall av oorganiskt kväve (NO_3 + NH_4) under det hydrologiska året 2017/18. A. Uppmätt nedfall till öppet fält. B. 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. (2018a). Interpolering har gjorts med Kriging-metodik. C. Samma som Figur B, men med en särskild uppförstoring och annan skala för norra Sverige.

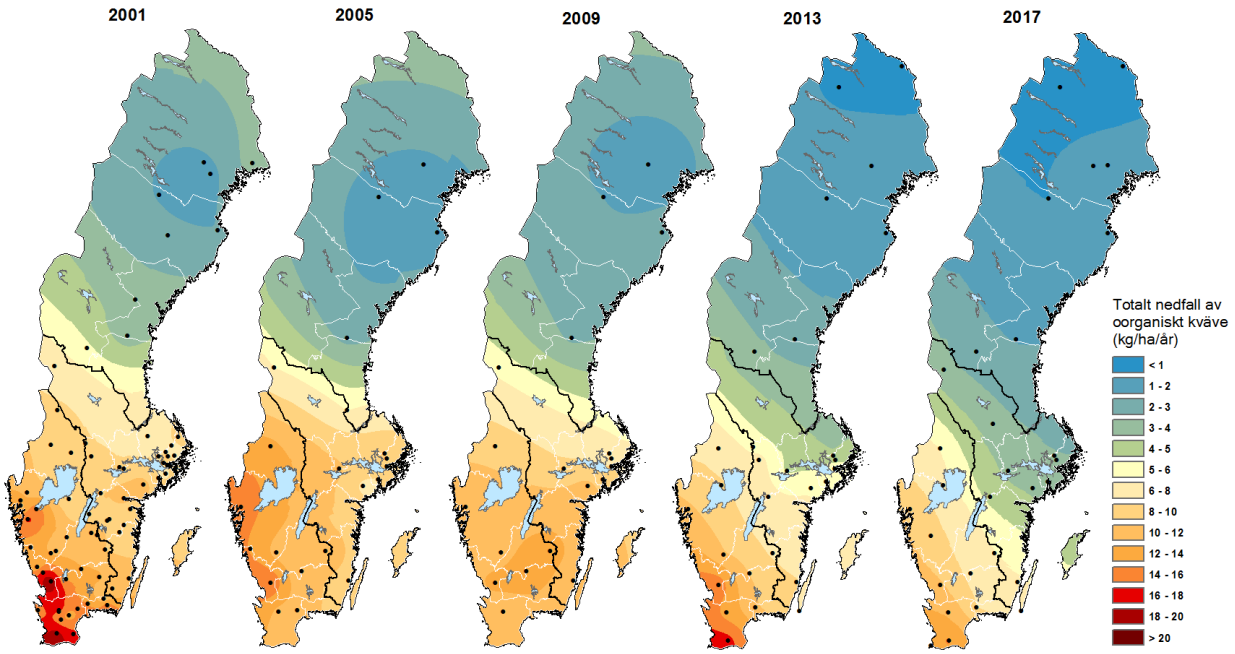
Nedfallet av kväve varierar mellan olika år och mätplatser, till viss del beroende på variation i nederbördsmängder. Nederbördsmängderna har varierat mycket i norra Sverige, Figur 10, som medianvärde för de tre senaste åren i Västerbotten/Norrbotten mellan 383 mm vid Nikkaluokta och 570 mm vid Grankölen/Myrberg och i Västernorrland/Jämtland/Dalarna mellan 443 mm vid Hundshögen, den lägre mäthöjden, och 570 mm vid Fulufjäll.



Figur 10. Uppmätta nederbördsmängder vid mätplatser i norra Sverige. Mätningarna vid Holmsvattnet har flyttats en kortare sträcka, vilket indikeras med olika symboler för Holmsvattnet A och B.

Totaldepositionen av kväve finns beräknad för alla kalenderår sedan 2001 (Karlsson m.fl., 2018a samt http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/). I Figur 11 visas kartor över totaldepositionen av kväve för perioden 2001–2017 med fyra års intervall. En trendanalys visade att det beräknade totala kvävenedfallet till barrskog i regionen norra Sverige minskade signifikant under perioden 2001–2017, med 36 % (http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/).

Det beräknade totala kvävenedfallet har sedan 2001 (kalenderår) varierat mellan 1,9 och 4,7 kg per hektar vid Storulvsjön i Västernorrlands län och mellan 0,5 och 2,2 kg per hektar vid Myrberg/Grankölen. Under åren 2008–2013 mättes inte torrdepositionen med strängprovtagare vid någon plats i landet utan torrdepositionen har för denna period interpolerats för att producera de kartor som visas i Figur 11. En trendanalys baserat på resultaten från mätningarna och beräkningarna av det totala kvävenedfallet till barrskog som gjorts vid Storulvsjön respektive Myrberg/ Grankölen för kalenderåren 2001–2007 och 2014–2018 visar på en statistiskt säkerställd minskning vid Storulvsjön med 37 %, men inte vid Myrberg/Grankölen.



Figur 11. Geografiskt interpolerade kartor över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) av oorganiskt kväve (NO_3 + NH_4) under kalenderåren 2001, 2005, 2009, 2013 samt 2017. 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. (2018a). Under perioden 2008–2013 bedrevs inga mätningar med strängprovtagare, så torrdepositionen har för denna period interpolerats över tid. Den geografiska interpoleringen har gjorts med Kriging-metodik.

2.3 Tar skogen upp allt kväve?

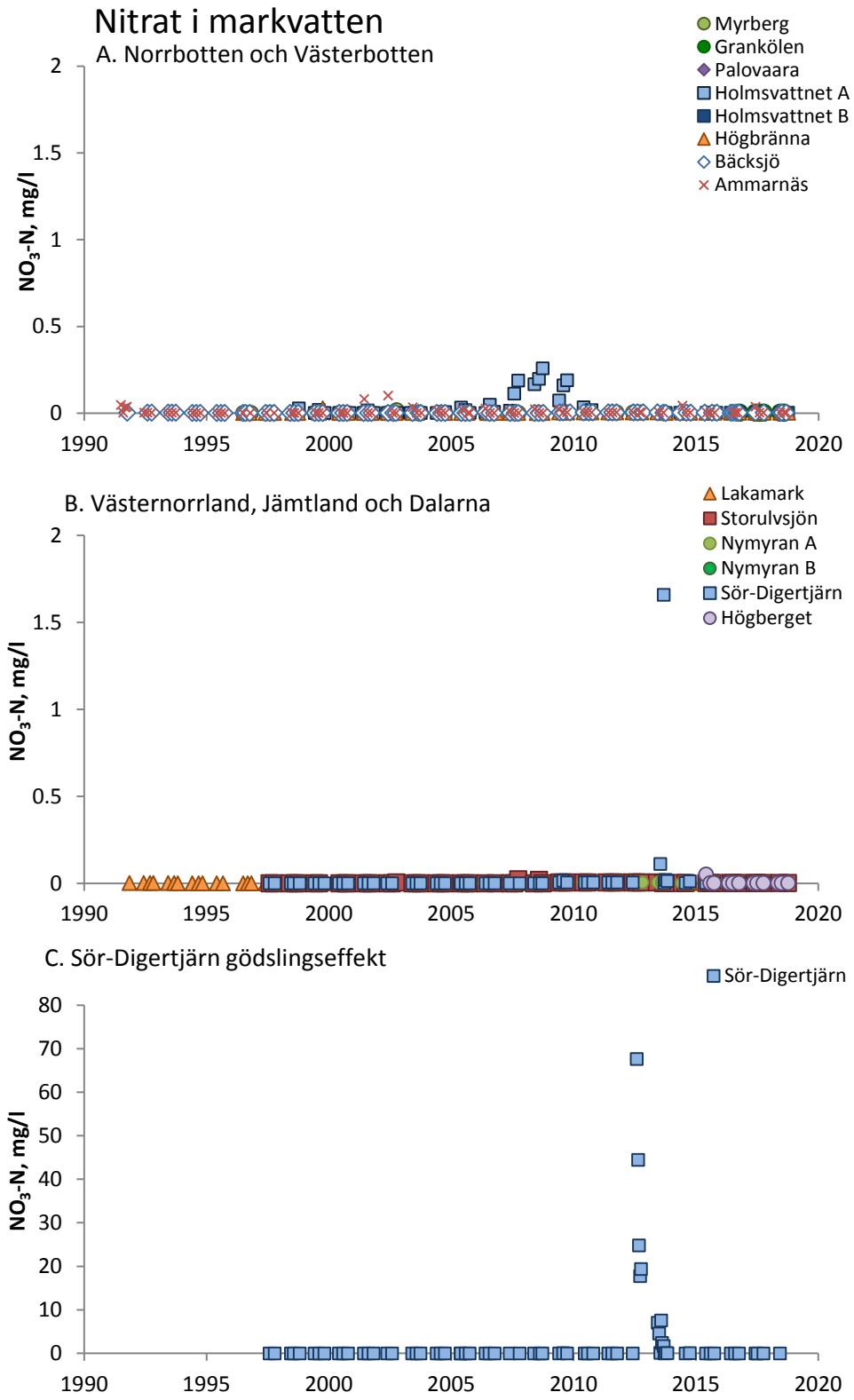
I Sveriges skogar tas vanligtvis det mesta av oorganiskt kväve upp av träd, övrig vegetation och mikroorganismer, med mycket låg utlakning från rotzonen som följd (Tamm, 1991). I sydvästligaste Sverige, framför allt i Skåne och Halland, har dock kraftigt förhöjda halter av nitratkväve uppmätts i markvattnet på ett flertal mätplatser genom åren (Akselsson m.fl., 2010). Även i andra delar av landet finns exempel på förhöjda halter inom Krondroppsnätet, men då oftast efter störningar som avverkning, storm eller insektsangrepp (Hellsten m.fl., 2015; Karlsson m.fl., 2018b).

Vid mätplatserna i norra Sverige har halterna av nitratkväve i markvattnet varit mycket låga på flertalet ytor, Figur 12. Vid samtliga nu aktiva mätplatser, undantaget tallytan Sör-Digertjärnen i Jämtland som gödslats med kväve, var halten nitratkväve mycket låg 2017/18, och har varit så under hela mätperioderna. Vid den tidigare, nu avverkade krondroppsytan Holmsvattnet A, förekom något förhöjda halter av nitrat i markvattnet under åren 2007 - 2010. Ökningen av nitrat hörde sannolikt samman med avverkningar 2002, en storm i november 2006 och den påföljande uppröjningen av vindfällen, vilket gav störningar i skogsmarken.

Tallytan vid Sör-Digertjärn i Jämtland gödslades med 150 kg N/ha i juni 2012 vilket medförde en dramatisk ökning av halterna av nitrat och ammonium i markvattnet på 50 cm djup inom tre veckor efter gödslingen (Figur 12). Halterna av nitrat var nere på normala låga nivåer först drygt ett år senare, på hösten 2013. Halterna av ammonium var nere på normala nivåer igen redan våren 2013. Därefter uppmättes inga förhöjda ammoniumhalter.

Sammantaget visar mätningarna att nitrat sällan förekommer i markvattnet i skogsekosystemen i norra Sverige i ostörd, växande skog. Efter stormskador eller andra störningar kan halterna av nitrat generellt öka till ganska höga nivåer i markvattnet. Detta har visats för ett flertal platser i södra Sverige, men inte påvisats i norra Sverige eftersom det inte funnits lämpliga tillfällen att fortsätta med markvattenmätningar efter

avverkning. Det är därför till stor del en öppen fråga i vilken omfattning som nitrat kan läcka ut till markvattnet efter avverkning i norra Sverige.

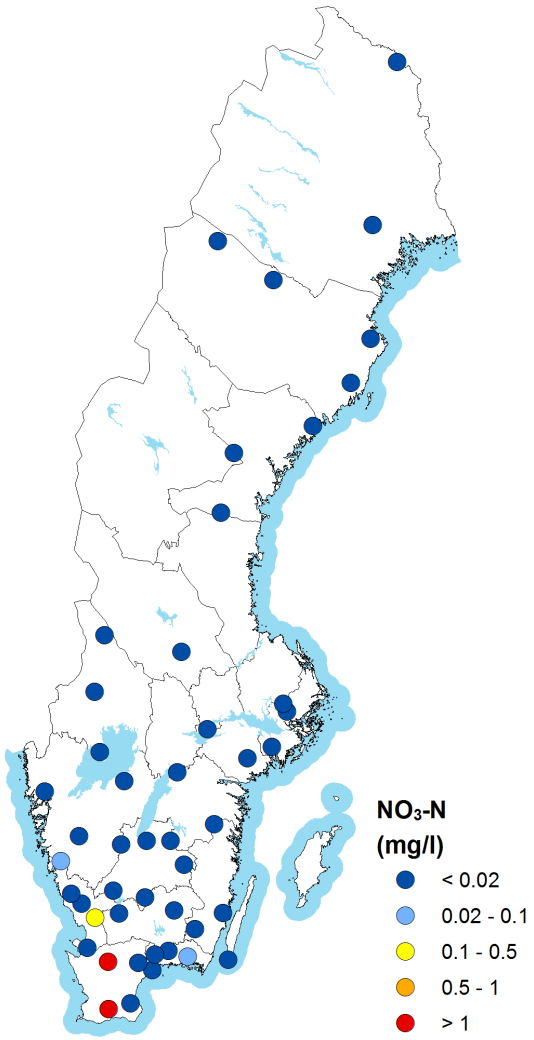


Figur 12. Nitrathalter i markvattnet vid länets ytor. A, ytor i Norrbottens och Västerbottens län; B, ytor i Västernorrlands, Jämtlands och Dalarnas län. C. En expansion av skalan på y-axeln för att visa omfattningen på gödslingseffekten vid Sör-Digertjärn i Jämtlands län.

Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.

En sammanställning av data från samtliga nu aktiva krondroppsytor i Sverige visar att nitratkvävehalterna (angivet som median för åren 2016–2018) generellt har varit låga i hela Sverige under denna tidsperiod, med

undantag av två mätplatser i Skåne, Stenshult och Hissmossa, där medianen översteg 1 mg per liter, vilket innebär en kraftig förhöjning, Figur 13.



Figur 13. Koncentrationen av nitratkväve (NO_3-N) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnätet, redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar (2016–2018). Ytor med mindre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats eller gödslats, har tagits bort.

2.4 Regional miljömålsuppföljning - hur används mätningarna av kväve i nedfall och markvatten bäst?

Regional miljömålsuppföljning utgör ett instrument för att utvärdera om den samlade miljöbelastningen från lokala utsläpp av föroreningar tillsammans med långdistanstransporterade föroreningar ligger inom ramen för vad som kan anses som acceptabelt.

Ett minskat kvävenedfall är viktigt för flera olika miljökvalitetsmål: *Ingen övergödning*, *Bara naturlig försurning*, *Levande sjöar och vattendrag*, *Grundvatten av god kvalitet*, *Myllrande våtmarker*, *Levande skogar* och *Storskalig fjällmiljö*. Kväveutsläppen har dock visat sig vara svårare att minska än till exempel svavelutsläppen (Pihl Karlsson m.fl., 2011). Det är därför viktigt att följa upp hur kvävenedfallet utvecklas, vilket ledde till att en ny indikator utvecklades och infördes under 2018, *Nedfall av kväve till barrskog*. Indikatorn gäller för miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning*, men kan även användas vid utvärdering av övriga ovan nämnda miljökvalitetsmål.

Inom Krondroppsnätet beräknas från och med 2018 totalt nedfall av oorganiskt kväve till barrskog, vilket beskrivits ovan. Beräkningar har gjorts även bakåt i tiden, så att tidsserier finns från 2001. Resultaten från dessa beräkningar används för utvärdering av indikatorn *Nedfall av kväve till barrskog*. Nedfall av kväve har ingått i tidigare indikatorer för andra miljömål, men har då baserats på nedfall med nederbörden på öppet fält. Det totala nedfallet är avsevärt högre än nedfallet på öppet fält, upp till dubbelt så högt vid vissa platser, och totalt kvävenedfall ger därmed en mer rättvisande bild av tillståndet vad gäller kvävebelastning av skog. Vid Storulvsjön i Västernorrland har det totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog minskat statistiskt säkerställt med 37 % under mätperioden som omfattar kalenderåren 2001–2007 och 2014–2018 medan det inte finns en motsvarande minskning vid Myrberg/Grankölen i Norrbottens län.

Eftersom kväve i svenska skogar vanligtvis tas upp effektivt av markorganismer och vegetation är utlakningen av oorganiskt kväve från skogsmark till ytvatten i nuläget liten jämfört med bidraget från jordbruksmark. Fortsatt låg utlakning från skogsmark är en förutsättning för att miljökvalitetsmålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning* ska uppnås. Förhöjda nitratkvävehalter i markvatten är det första tecknet på att det finns mer kväve än vad skogsekosystemet kan ta upp, vilket medför en risk för utlakning till ytvatten. Det finns ingen miljömålsindikator som direkt följer upp nitratkvävehalter i markvatten, men det är ändå en viktig pusselbit vid utvärdering av främst miljökvalitetsmålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning*, och nitrathalter i markvatten följs därför upp i fördjupade utvärderingar (Naturvårdsverket, 2015: Havs- och vattenmyndigheten, 2019) och ofta även i regionala miljömålsuppföljningar. Mätningar från Krondroppsnätet utgör underlagsmaterialet vid dessa utvärderingar.

När tillförseln av kväve är större än den kritiska belastningen kan markvegetationen i ekosystemen påverkas. För fjällvegetation är den kritiska belastningen satt till tre kilo kväve per hektar och år. Den geografiska interpoleringen indikerar att denna kritiska nivå kan ha överskridits under 2017/18 i Dalarnas och södra Jämtlands fjällvärld (Figur 9 och 11). När det dessutom är visat att luftföroreningsbelastningen ökar med ökad höjd över havet (Karlsson m.fl., 2019) är det möjligt att den kritiska nivån för kvävenedfall överskrids i en större del av fjällvärlden än vad som indikeras i Figur 9 och 11.

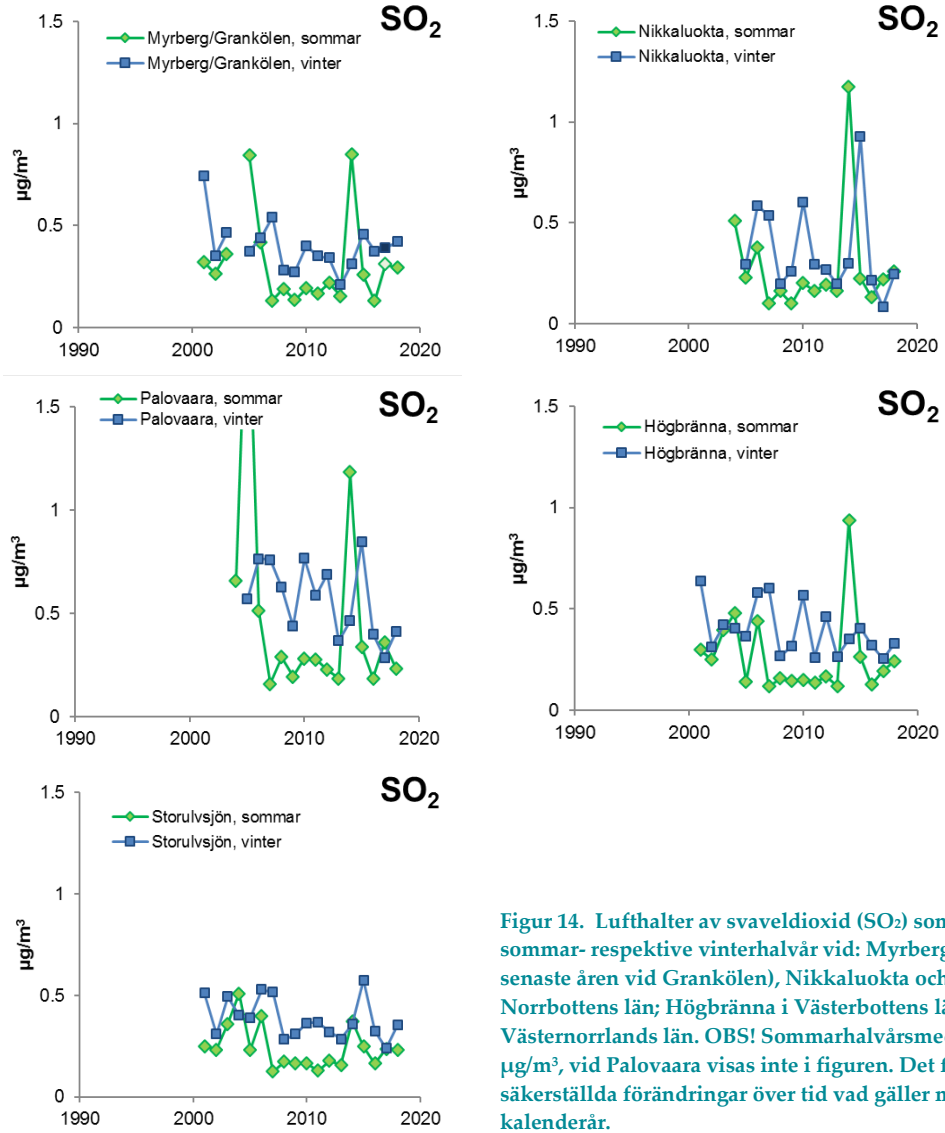
3 Försurning – fortfarande ett problem?

Fotograf: Cecilia Akselsson

Försurning av mark och vatten orsakas av både svavel- och kvävenedfall, men även skogsbruket bidrar eftersom trädtillväxt innebär försurning, som permanentas när biomassa skördas och förs bort från skogen. Utsläpp av svavel (SOx) från industrin och förbränning av kol och olja är den största orsaken till försurning av mark och vatten i Sverige. Vid låga pH omvandlas aluminium till en giftig trevärd jon, som kan skada fiskar och andra vattenlevande organismer samt även skada trädens rötter. En ytterligare effekt av lågt pH är att vissa metaller, till exempel kadmium och bly, blir mer lättrörliga i marken och kan läcka ut till ytvattnet.

3.1 Minskar lufthalterna av svaveldioxid ytterligare?

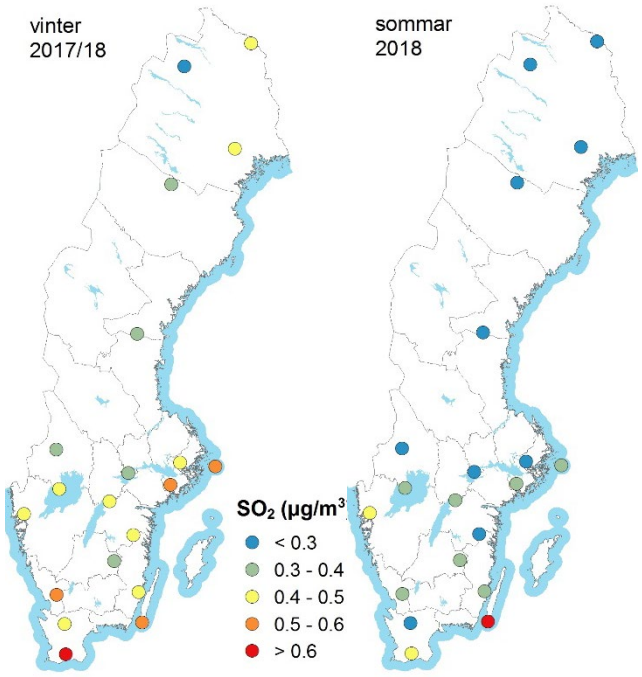
Det finns relativt långa tidsserier vad gäller lufthalter av svavel på månadsbasis vid fem platser i norra Sverige, Figur 14. Vid Myrberg/Grankölen i Norrbottens län, Högbränna i Västerbottens län och Storulvsjön i Västernorrlands län finns mätningar under 18 år, 2001 - 2018 (dock saknas värden för Myrberg 2004). Vid de nordliga platserna Palovaara och Nikkaluokta i Norrbottens län finns mätningar under 15 år, 2003 - 2018. Mätningar vid dessa platser ger värdefull information om hur lufthalterna förändras i bakgrundsmiljön, långt från de stora utsläppskällorna. Historiskt sett har halterna av SO_2 varit högre på vintern jämfört med sommaren, men på senare tid har detta varierat, Figur 14.



Figur 14. Lufthalter av svaveldioxid (SO_2) som medelvärde för sommar- respektive vinterhalvår vid: Myrberg/Grankölen (två senaste åren vid Grankölen), Nikkaluokta och Palovaara i Norrbottens län; Högbränna i Västerbottens län och Storulvsjön i Västernorrlands län. OBS! Sommarhalvårsmedelvärdet för 2005: 2,2 µg/m³, vid Palovaara visas inte i figuren. Det finns inga statistiskt säkerställda förändringar över tid vad gäller medelhalter för kalenderår.

Det finns inga signifikanta förändringar över tid av halterna av SO_2 på helårsbasis vid någon mätplats i norra Sverige. Detta beror till stor del på att det förekom höga halter av SO_2 i norra Sverige under perioden september 2014 till februari 2015, med ursprung från ett vulkanutbrott på Island (Hellsten m.fl., 2017). Under kalenderårsperioden 2000–2016 har utsläppen av SO_x, mätt som SO_2, från EU-28 minskat med 79 % och från Sverige med 61 % (CEIP, 2019). Även med hänsyn taget till utsläppen av svavel från vulkanen på Island är det svårt att se att lufthalterna i norra Sverige skulle ha minskat i samma utsträckning som minskningen av rapporterade utsläpp av svaveloxider från Europa respektive Sverige.

I Figur 15 visas svaveldioxidhalterna under vintern 2017/18 och sommaren 2018 vid övriga mätplatser inom Krondroppsnätet. Under vintern 2017/18 uppmättes högst SO_2-halter vid de kustnära mätplatserna i södra och mellersta Sverige. Även i norra Sverige var halterna av SO_2 relativt höga under vintern 2017/18, i nivå med halterna som uppmättes vid många platser i södra Sverige. Detta kan eventuellt bero på de samlade utsläppen från småskalig vedeldning. Under sommaren 2018 var halterna generellt lägre, allra högst halter uppmättes vid Ottenby på södra Öland, troligen orsakat av fartygstrafiken i området.

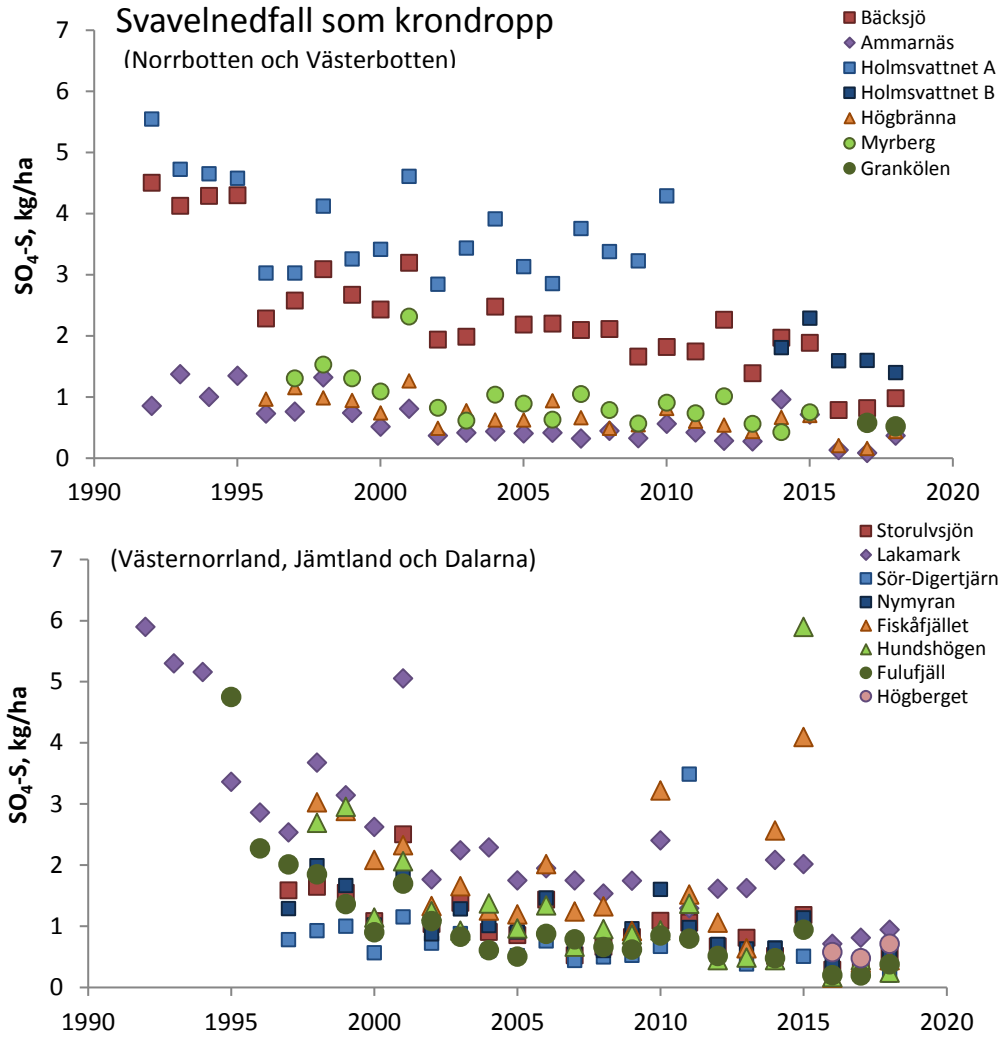


Figur 15. Lufthalter av svaveldioxid (SO_2) som medelvärden för sommar (apr-sept.) - respektive vinterhalvår (okt-mars) vid mätstationerna inom Krondroppsnätet i Sverige

3.2 Fortsätter svavelnedfallet att minska?

Svavelnedfallet via krondropp ger ett bra mått på det totala svavelnedfallet till skog. Svavelnedfallet till skogen har minskat kraftigt och minskningen är statistiskt säkerställd för samtliga nu aktiva skogsytor i norra Sverige. För de mätperioder som sträcker sig över minst 20 år har svavelnedfallet minskat med mellan 53 och 87 %. Detta kan jämföras med att utsläppen av oxiderat svavel från EU-28 under motsvarande period har minskat med mellan 85 och 97 % och från Sverige med 66–79 % (CEIP, 2019). I tabell 2 nedan görs en detaljerad jämförelse av minskningen av svavelnedfall, halter av sulfat i markvattnet och de minskade utsläppen av oxiderat svavel från EU-28 och Sverige för respektive mätplats.

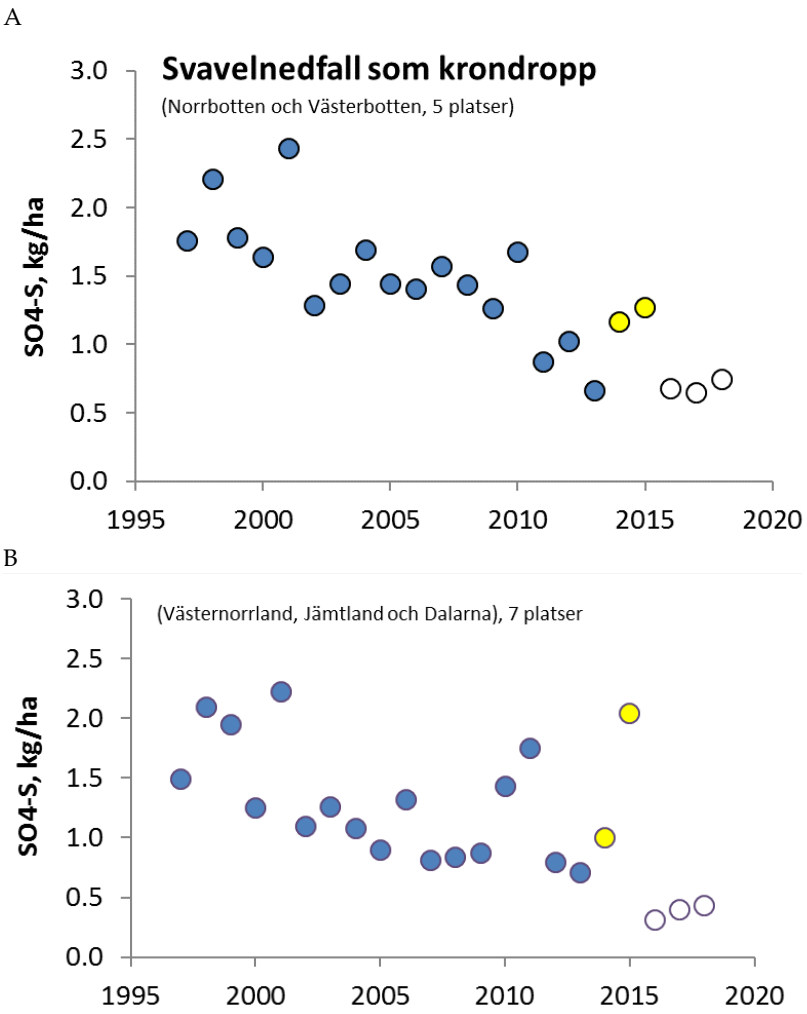
Vad gäller området Norrbotten/Västerbotten har svavelnedfallet varit som störst vid de kustnära mätplatserna Holmsvattnet och Bäcksjö (Figur 16). Detta gäller även under senare år. Vad gäller området Västernorrland/Jämtland/Dalarna så har även där svavelnedfallet genomgående varit som högst vid den kustnära mätplatsen Lakamark. Svavelnedfallet har dock även enstaka år varit högt på hög höjd i Jämtland, i synnerhet under åren 2014/15 då svavelnedfallet påverkades av vulkanutbrott på Island.



Figur 16. Årligt nedfall av svavel till aktiva provytor i Norrbottens och Västerbottens län (A) och i Västernorrlands, Jämtlands och Dalarnas län (B), mätt som krondropp. Bidraget från havssalt har exkluderats. Beräkningarna gäller hydrologiskt år, oktober–september. Alla provytor utgörs av granskog, förutom Sör-Digertjärn och Högberget som är tallskog. Mätningarna vid Hundshögen och Fiskåfjället sker på hög höjd vid trädgränsen.

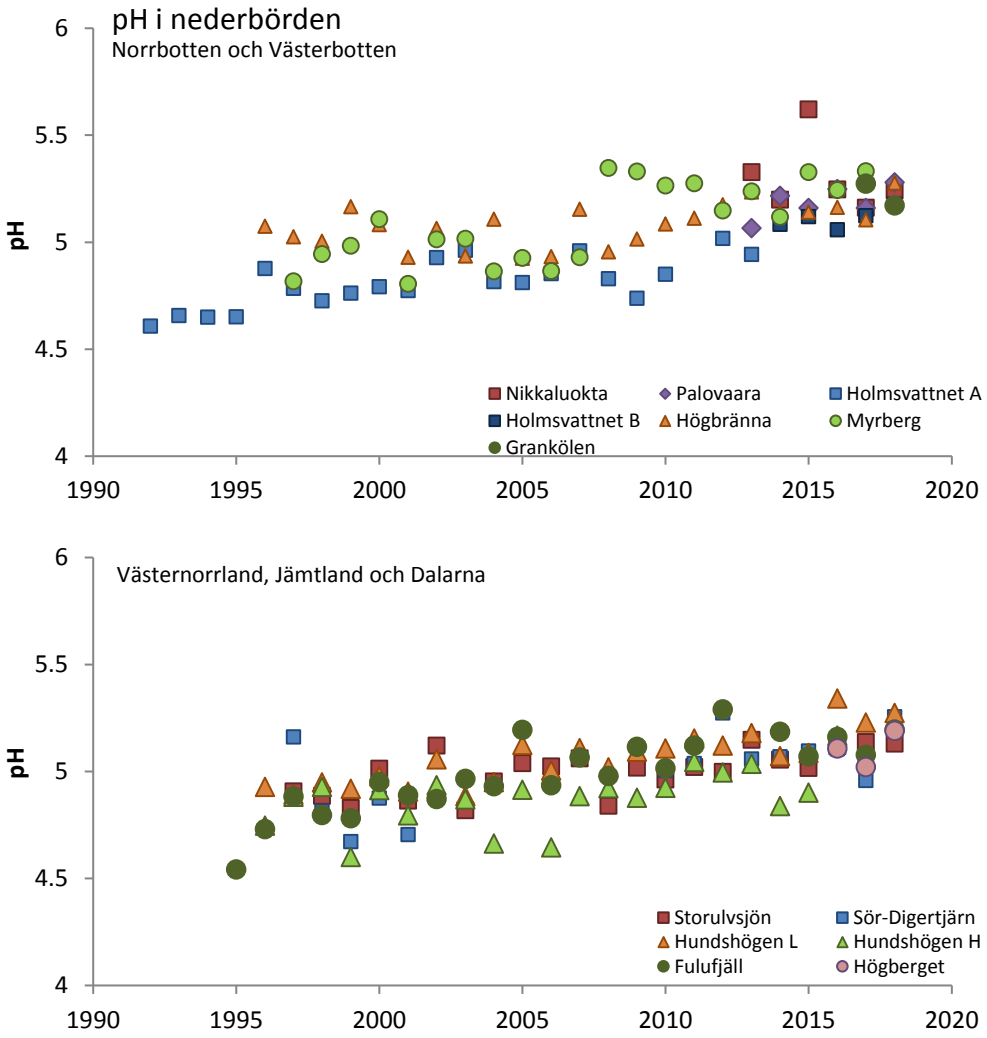
Den 1 januari 2015 sänktes gränsen för högsta tillåtna svavelhalt i fartygsbränsle, från 1,0 till 0,1 % svavel. Dessförinnan sänktes gränsen från 1,5 till 1,0 % till år 2010. Svavelutsläppen från fartygstrafiken påverkar sannolikt svavelnedfallet i hela Sverige. För att få en indikation på om svavelnedfallet till skogarna i norra Sverige minskat som ett resultat av dessa begränsningar har årliga data för nedfall av svavel som krondropp analyserats för fem platser i Norrbottens och Västerbottens län (Myrberg/Grankölen, Högbränna, Ammarnäs, Holmsvattnet och Bäcksjö) och sju platser i Västernorrlands/Jämtlands/Dalarnas län (Lakamark, Storulvsjön, Sör-Digertjärn, Myrberg, Hundshögen, Fiskåfjället och Fulufjäll) med kontinuerliga mätserier under perioden 1996/97–2017/18, Figur 17. Medelvärdet för de platserna under perioden 1996/97–2012/13 har markerats med blå symboler. Dessa år representerar perioden före den senaste sänkningen av svavelhalten i fartygsbränslet. Medelvärdet för de hydrologiska åren 2013/14 och 2014/15 har markerats med gult då svavelnedfallet under dessa år var påverkade av ett vulkanutbrott på Island som pågick mellan den 31 augusti 2014 till 27 februari 2015 (Hellsten m.fl., 2017). Medelvärdet för åren 2015/16–2017/18 har markerats med vitt och representerar perioden efter den senaste sänkningen av svavelhalten i fartygsbränsle.

Det årliga svavelnedfallet varierar en del mellan åren men förefaller följa ett mer eller mindre linjärt förlopp under 2000-talet fram till och med 2013, Figur 17. Mätvärdena för åren 2015/16–2017/18 följer i stort sett samma trend, jämfört med trenden för perioden 1996/97–2012/13. Det är dock givetvis osäkert hur minskningen av svavelnedfallet hade fortsatt utan sänkningar av svavelinnehållet i fartygsbränsle. Det krävs därför mer omfattande analyser för att avgöra i vad mån svavelnedfallet över norra Sverige påverkats av minskningen av svavel i fartygsbränsle.



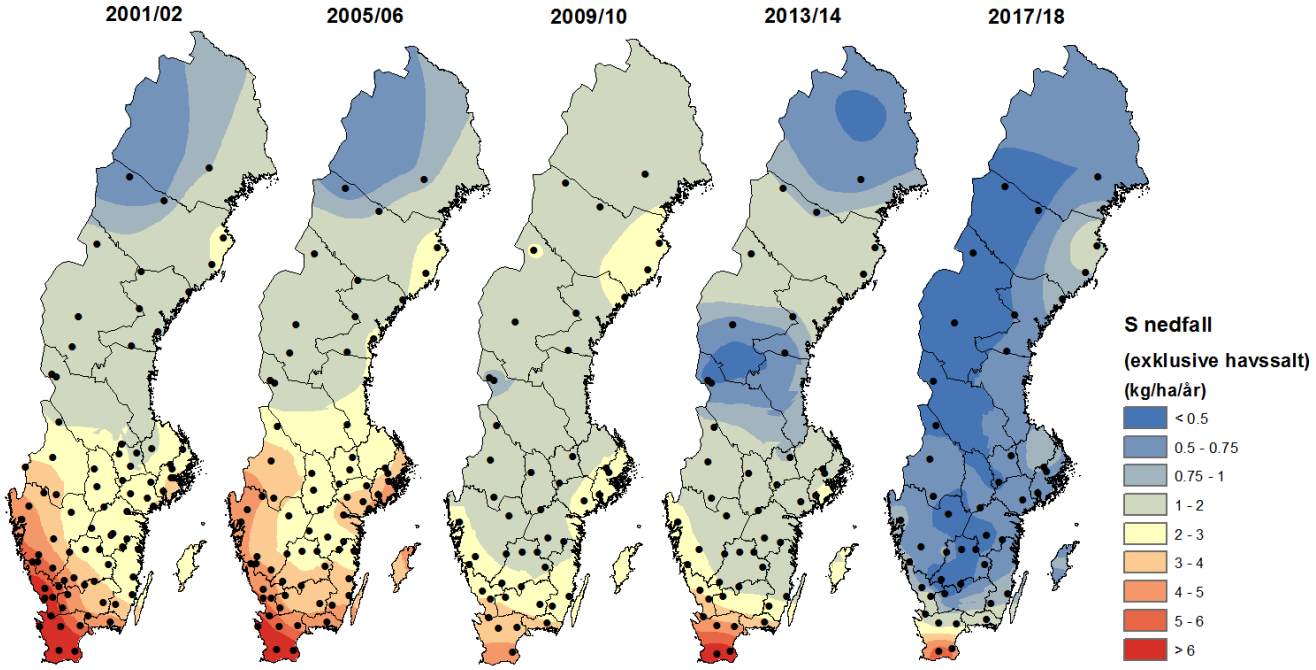
Figur 17. Årliga värden för nedfall av svavel (SO_4-Sex) mätt som krondropp som medelvärden för olika platser i norra Sverige.
A, Fem platser i Norrbottens och Västerbottens län (Myrberg/ Grankölen, Högbränna, Ammarnäs, Holmsvattnet och Bäcksjö) under 1996/97–2017/18. Mätningarna vid Holmsvattnet flyttades en kortare bit 2013 och mätningarna vid Myrberg/Gramkölen flyttades 2014.
B, Sju platser i Västernorrlands, Jämtlands och Dalarnas län (Lakamark, Storulvsjön, Sör-Digertjärn, Myrberg, Hundshögen, Fiskåfjället och Fulufjäll) under 1996/97–2017/18.
Blå symboler utgör mätningar före sänkningen av svavelhalten i fartygsbränsle. Gula symboler visar mätningar som är påverkade av vulkanutbrottet på Island (31 augusti 2014 – 27 februari 2015). Vita symboler visar mätningar efter den senaste sänkningen av svavelhalten i fartygsbränslet

Främst som en följd av ett minskat svavelinnehåll har nederbördens pH ökat signifikant under de senaste drygt 20 åren vid alla mätplatser i norra Sverige med längre tidsserier, från värden mellan 4,7 och 5,1 i slutet av 1990-talet till värden mellan 5,1 och 5,3 under de senaste tre åren (Figur 18). Försurningsbelastningen via nederbörden har därför minskat i norra Sverige.
Vid Nikkaluokta och Palovaara är mätserierna ännu för korta för att medge en statistisk analys.

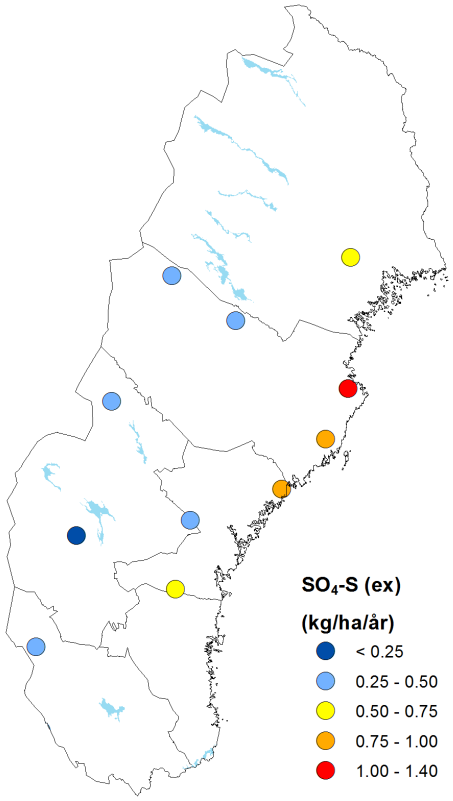


Figur 18. pH i nederbörden vid platser i A, Norrbottens och Västerbottens län; B, Västernorrlands, Jämtlands och Dalarnas län. Nederbörden mäts månadsvis och pH-värdet medelvärdes-bildas för hydrologiskt år, oktober–september. Mätningarna vid Holmsvattnet flyttades en kortare sträcka 2013, vilket indikeras med olika symboler för Holmsvattnet A och B.

Nedfallet av svavel till granskog i Sverige visas i Figur 19 för ett antal olika år sedan 2001/02. Det framgår att den högsta belastningen av svavelnedfallet har varit i sydvästra Sverige. Skillnaderna har dock minskat med åren och under 2017/18 hade till exempel norra Halland en svavelbelastning jämförbar med vissa områden längs Norrlandskusten. I kartan ser man även de förhöjda svavelhalterna i mellersta Norrland på grund av vulkanutbrottet på Island under 2013/14. Svavelnedfallet i norra Sverige var 2017/18 liksom tidigare år som högst vid Norrlandskusten (Figur 20).



Figur 19. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) med fyra års mellanrum under perioden 2001/02–2017/18 i krondroppet vid mätstationerna (grandominerade) inom Krondroppsnätet i Sverige. Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

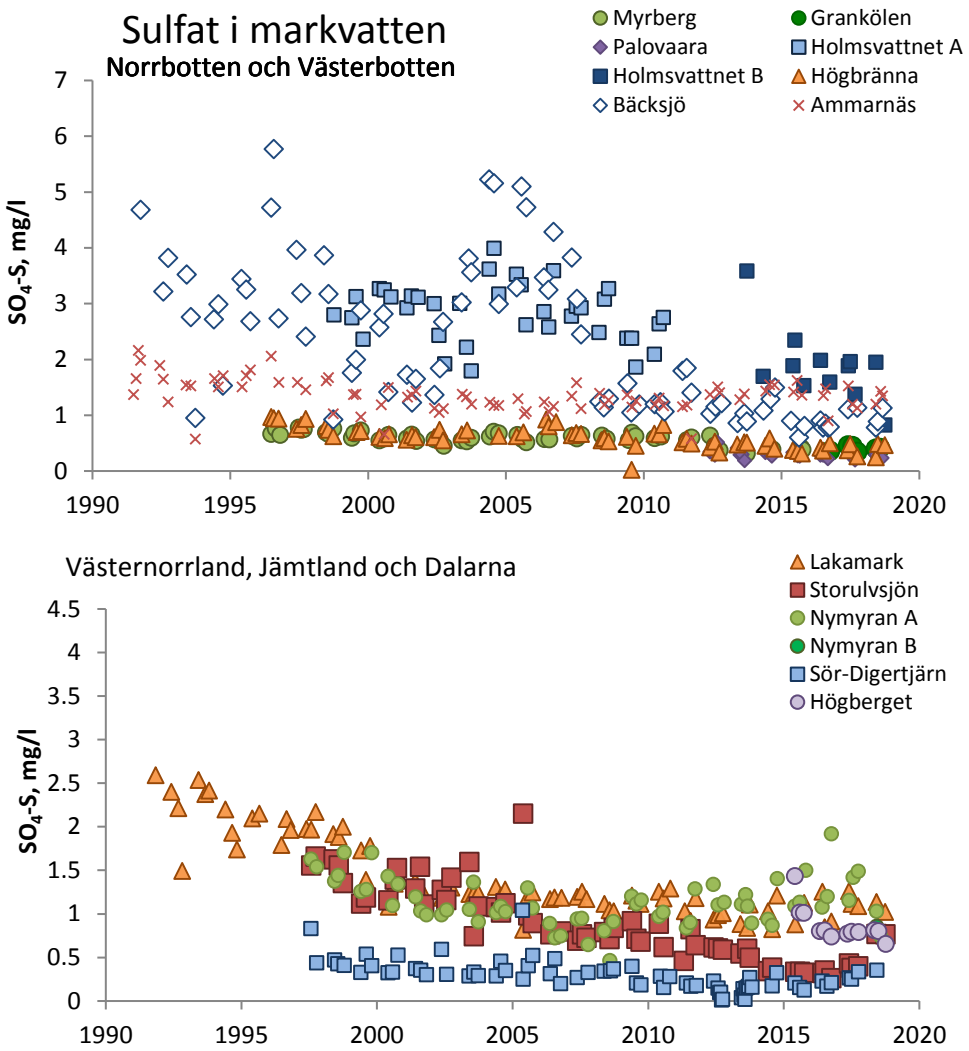


Figur 20. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) under 2017/18 i krondroppet vid mätstationerna inom Krondroppsnätet i norra Sverige.

3.3 Hur går återhämtningen från försurningen?

Markvattnets försurningsstatus beror till stor del på nuvarande och historiskt nedfall av svavel på platsen i kombination med markens buffringsförmåga. På vissa platser, och under vissa perioder, kan dock även annat ha stor påverkan: överskott av kväve som inte tas upp av vegetationen, havssaltsnedfall som leder till jonbyte samt olika former av störningar i marken som kan öka halten löst organiskt kol i marken (Akselsson m.fl., 2013). På längre sikt påverkar även skogsbruket markvattnets försurningsstatus (Akselsson m.fl., 2018). Norra Sverige tillhör den del av Sverige som har tagit emot minst nedfall av svavel och kväve, och är därmed i mindre utsträckning drabbad av försurning. I Jämtlands län utgör dock försurning fortfarande ett betydande problem, framförallt i fjällmiljö med tunna jordtäcken, svårvittrad berggrund och liten växtlighet (Länsstyrelsen i Jämtlands län, 2018).

Det minskade svavelnedfallet har åtföljts av signifikant minskande svavelhalter i markvattnet vid många platser (Figur 21). Minskningens storlek beror, förutom på nedfallets förändring, på markens egenskaper. Under perioder med högt svavelnedfall adsorberas svavel i jorden, vilket gör att försurningseffekten minskar. Under återhämtningen frigörs dock detta svavel, vilket försenar återhämtningen. Olika jordar har olika kapacitet att binda svavel, och tidsutvecklingen för svavelhalten i markvattnet kan ge en bra indikation på vilket återhämtningsförlopp som kan förväntas. Halterna av sulfatsavel i markvattnet har minskat på ett statistiskt säkerställt sätt vid alla mätplatser i norra Sverige, förutom vid Ammarnäs i Västerbottens län och Nymyran i Jämtlands län. Mätningarna vid Högberget, Grankölen och Holmsvattnet B har pågått för kort tid för att medge en statistik analys.



Figur 21. Svavelhalter i markvattnet vid mätplatser i norra Sverige. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.

Förändringarna vad gäller halterna av sulfat i markvattnet respektive storleken på nedfallet av svavel mätt som krondropp vid respektive mätplatser och under respektive mätperiod kan jämföras med minskningen av rapporterade utsläpp till och med 2016 av svaveloxider från Europa (EU-28) och Sverige under respektive mätperiod (Tabell 2). De mätperioder som analyseras sträcker sig över minst 20 år. Utsläppen av svaveloxider har under dessa perioder minskat med mellan 85 och 97 % vad gäller EU-28 och 66 - 79 % vad gäller Sverige. Nedfallet av SO_4-S som krondropp har under dessa perioder minskat med mellan 53 och 87 %. Det lägsta värdet vad gäller minskningen är för tallskogen i Sör-Digertjärn och tallskog anses generellt inte lika effektivt på att ”fånga upp” svavelföroreningar jämfört med gran. Vad gäller gran är det lägsta värdet för minskningen 60 %. Koncentrationerna av SO_4 i markvattnet har under mätperioderna minskat med mellan 53 och 86 %, det vill säga i samma storleksordning som minskningen av svavelnedfallet. Överensstämmelsen vid respektive mätplats är dock inte lika god.

Med tanke på de osäkerheter som finns vad gäller beräkningar av utsläpp av luftföroreningar från olika länder får det anses vara en relativt god överensstämmelse mellan minskningen av svavelutsläppen, minskningen av svavelnedfallet och minskningen av svavelhalter i markvattnet. Möjligen minskar nedfallet och halterna i markvattnet något långsammare än minskningen av utsläppen. Detta kan bero på förändringar i den ”effektivitet” varmed svavlet transporteras i luften från utsläppskällorna på kontinenten till norra Sverige samt på att svavel finns adsorberat till markpartiklar och frisläpps relativt långsamt.

Den övergripande slutsatsen blir att nedfallet av svavel och halterna av svavel i markvattnet i norra Sverige har minskat i ungefär samma utsträckning som minskningen av de rapporterade utsläppen av svaveloxider från Europa och från Sverige.

Tabell 2. Beräknade minskningar av svavelnedfallet som krondropp vid olika mätplatser och mätperioder i norra Sverige jämförs med rapporterade minskningar av utsläppen av svaveloxider från Europa (EU-28) respektive Sverige för perioder fram till 2016.

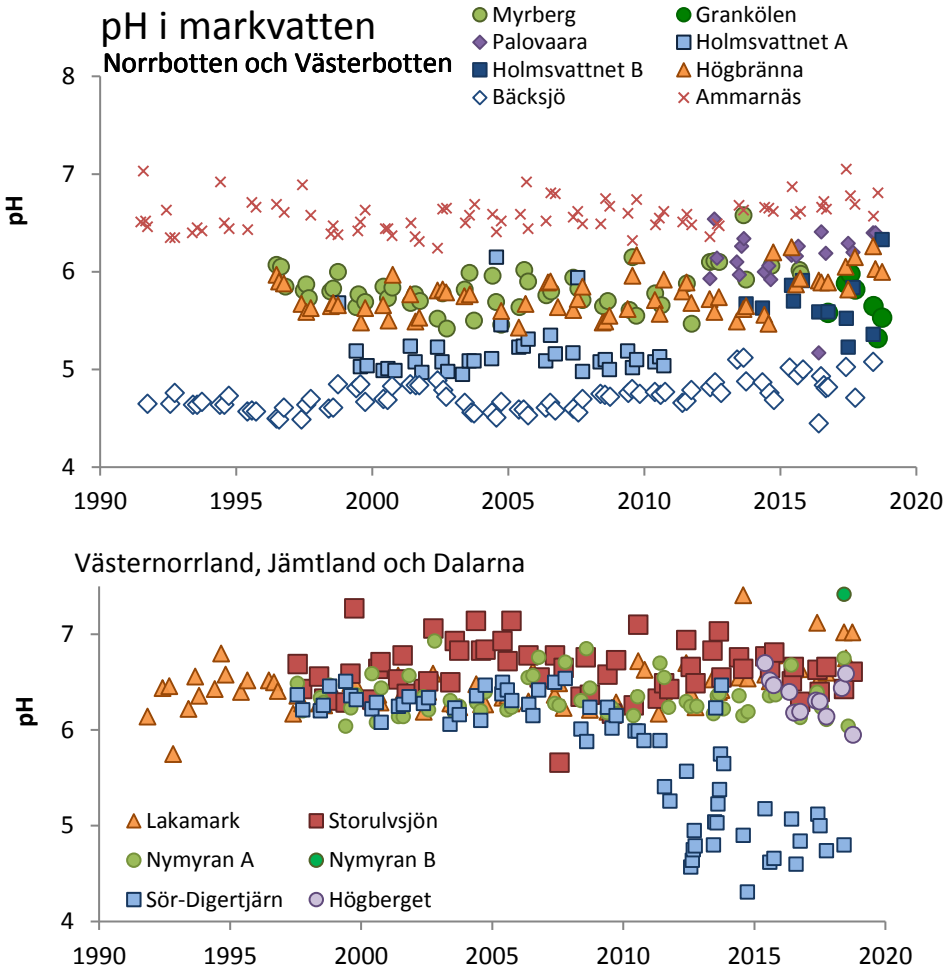
Mätplats	Län	Mätperiod	Träd-slag	Minskning av svavel-nedfall, %	Minskning av halten sulfat i markvatten, %	Minskning av utsläpp av oxiderat svavel, %, EU-28/ Sverige fram till 2016
Myrberg/ Grankölen	Norrbotten	1997–2018	gran	60	Kort mätperiod	85/ 66
Högbränna	Västerbotten	1996–2018	gran	67	53	97/ 69
Ammarnäs	Västerbotten	1992–2018	gran	76	Ej signifikant	94 /79
Holmsvattnet	Västerbotten	1992–2018*	gran	61	Kort mätperiod	94/ 79
Bäcksjö	Västerbotten	1992–2018	gran	73	81	94/ 79
Storulvsjön	Västernorrland	1997–2018	gran	69	86	85/ 66
Lakamark	Västernorrland	1992–2018	gran	75	64	94/ 79
Sör-Digertjärn	Jämtland	1996–2018**	tall	53	61	97/ 69
Nymyran	Jämtland	1997–2018***	gran	69	Ej signifikant	85/ 66
Fulufjäll	Dalarna	1995–2018	gran	87	Mäts ej	89/ 70

* mätdata saknas för 2011–2013, mätningarna flyttades en kortare sträcka 2013
** uppehåll i mätserien 2001–2009
*** mätningarna flyttades under 2018

Markvattnets pH, ANC (syraneutraliserande förmåga) samt halten av oorganiskt aluminium (oorg-Al) är tre 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. Enligt bedömningsgrunderna för försurad mark innebär pH under 4,4 hög surhet, medan pH 4,4 - 5,5 innebär måttlig surhet. Ett pH <4,5 i markvattnet anses dock i de flesta fall indikera kraftig försurning. Halterna av oorg-Al ökar vid lågt pH och är toxiskt för många vattenlevande organismer.

I Figur 22 visas pH i markvattnet för de nu aktiva mätplatserna i norra Sverige. pH har varit över 5,0 vid de allra flesta mätplatser och mättillfällen i norra Sverige. Undantag utgör granskogen vid Bäcksjö i

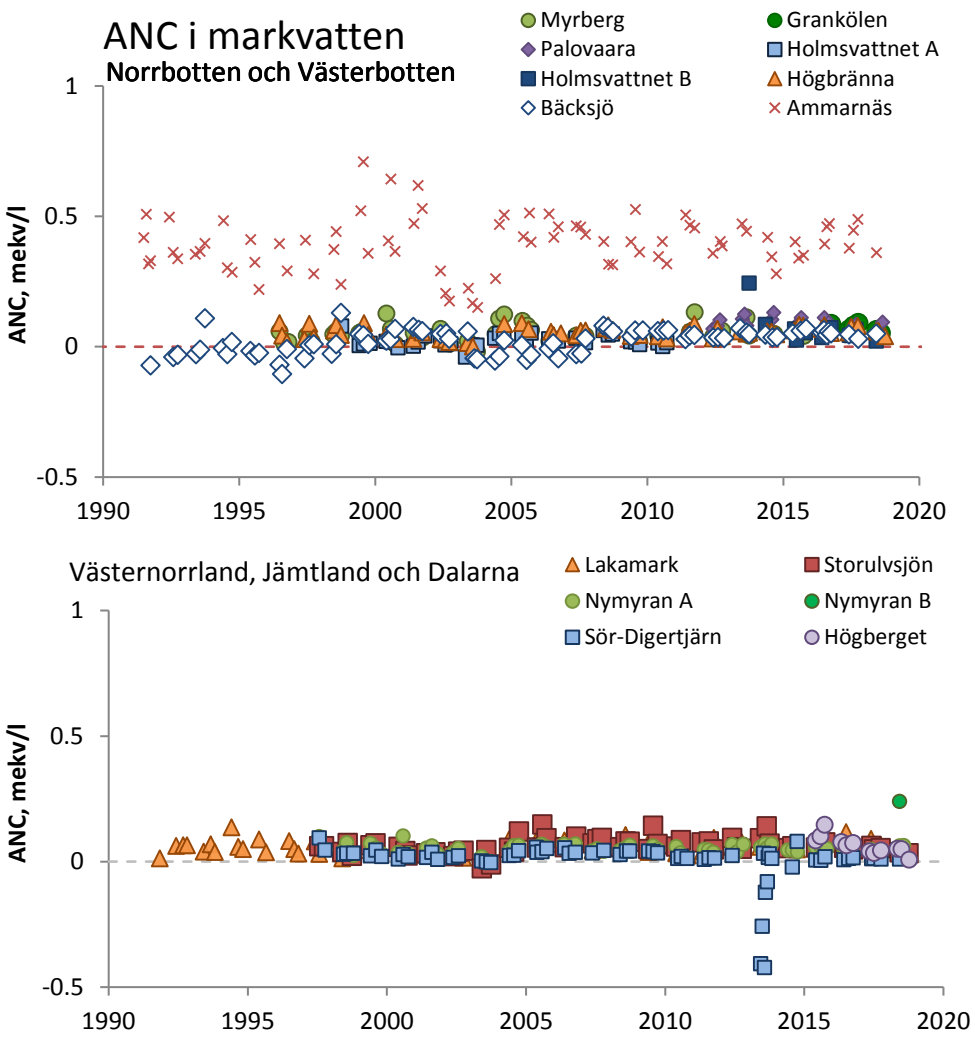
Västerbottens län samt den kvävegödslade tallskogen vid Sör-Digertjärn i Jämtlands län. pH har stundtals varit runt 5,0 vid granskogen i den ursprungliga krondroppsytan vid Holmsvattnet i Västerbottens län, medan pH vid den nya ytan ligger högre.



Figur 22. pH i markvattnet vid mätplatser i Norrbotten och Västerbotten (A) samt i Västernorrland, Jämtland och Dalarna (B).

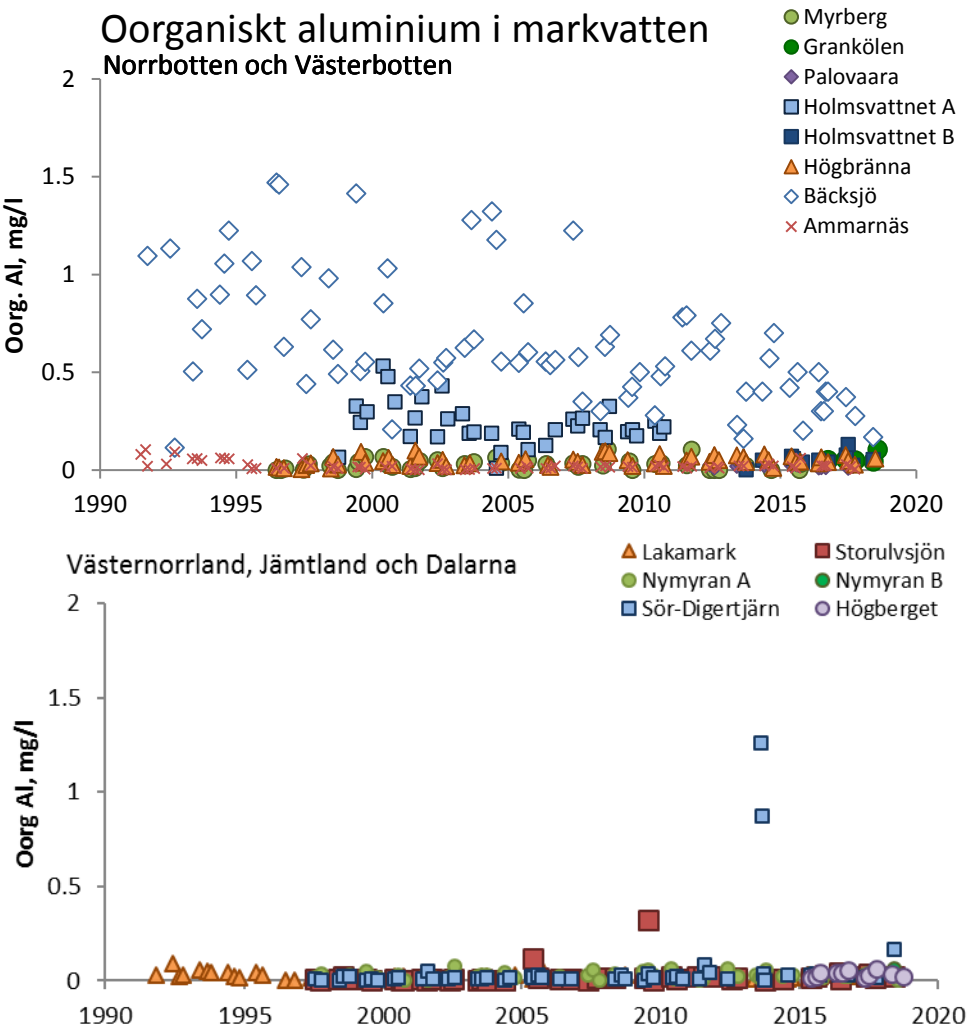
Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Tallskogen vid Sör-Digertjärn gödslades med 150 kg kväve under juni 2012.

I Figur 23 visas ANC i markvattnet för de aktiva mätplatserna i norra Sverige. ANC har haft positiva värden vid de allra flesta mätplatser och mättillfällen i norra Sverige. Undantagen från detta hänger ihop med höga uppmätta halter av sulfat och klorid. Vid Bäcksjö beräknades negativa värden för ANC under den period när halterna av sulfat var höga. Dessutom resulterade kvävegödslingen vid Sör-Digertjärn i Jämtland i mycket negativa värden för ANC under några år, Figur 23.



Figur 23. ANC (den syraneutraliserande förmågan) i markvattnet vid ytor i norra Sverige. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Tallskogen vid Sör-Digertjärn gödslades med 150 kg kväve under juni 2012.

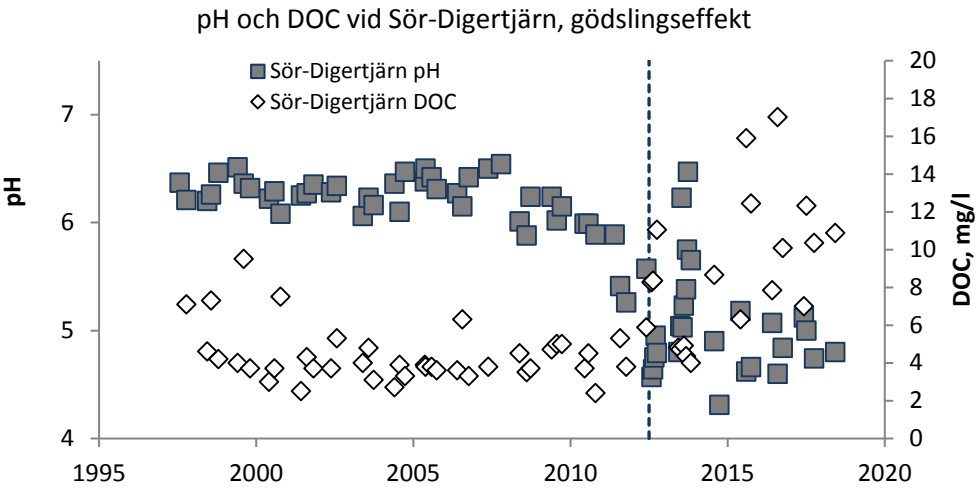
Halterna av oorg-Al i markvattnet visas i Figur 24. Halterna av oorg-Al är genomgående låga i markvattnet i norra Sverige, med två undantag. Vid granskogen i Bäcksjö, strax nordväst om Umeå, har halterna av oorg-Al varit höga, vilket hänger samman med det låga pH-värdet i markvattnet som konstaterats vid denna plats. Halterna av oorg-Al vid Bäcksjö har dock minskat signifikant i takt med att pH har ökat. Det andra undantaget är den gamla krondroppsytan vid Holmsvattnet där pH också har varit lågt och halterna av oorg-Al därför är höga. Vid den nya krondroppsytan i Holmsvattnet är dock pH högt och oorg-Al därför lågt.



Figur 24. Oorganiskt aluminium i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Tallskogen vid Sör-Digertjärn gödslades med 150 kg kväve under juni 2012.

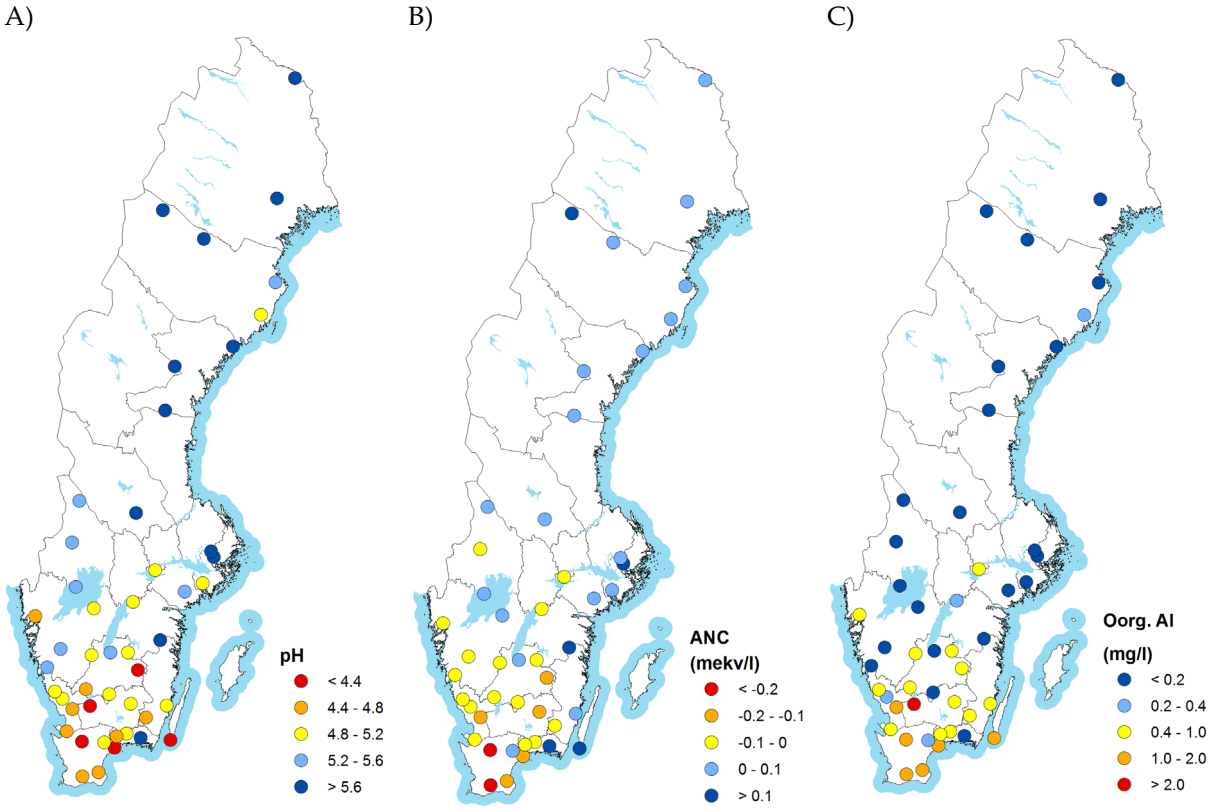
Som beskrivs ovan har pH i markvattnet i tallskogen vid Sör-Digertjärn minskat kraftigt efter 2012, en effekt som således har bestått under sex år efter kvävegödslingen. ANC och halterna av oorganiskt aluminium förändrades också kraftigt efter gödslingen men dessa effekter återgick efter några år. pH i vatten beror förutom depositionen av försurande ämnen och den buffrande förmågan från ämnen som räknas in i ANC, även på halterna av organiska ämnen (DOC) lösta i vattnet. Detta beskrivs väl i rapporten Warfvinge & Bertills (2000). Om den syraneutraliserande förmågan (ANC) hålls konstant så minskar pH kraftigt med ökande halter av DOC i vattnet. Den största effekten av DOC på pH fås i det höga koncentrations-området för DOC, medan lägre halter av DOC har mindre effekt på pH. I Figur 25 visas pH och koncentra-tionerna av DOC i markvattnet vid Sör-Digertjärn i samma figur. Tidpunkten för kvävegödslingen anges med en vertikal streckad linje. pH och halterna av DOC har en negativ korrelation och de ökande halterna av DOC efter gödslingen skulle därför åtminstone till en del kunna förklara den långvariga sänkningen av pH som uppstått.

Enligt Skogsstyrelsens allmänna råd är det under vissa förutsättningar tillåtet att gödsla skog i norra Sverige med 150 kg kväve vid tre tillfällen under en omloppstid. Tallskogen vid Sör-Digertjärn hade en produktivitet som egentligen var i underkant för att medge kvävegödsling. De kraftiga effekterna av kvävegödslingen på markvattnet vid Sör-Digertjärn visar att det kan finnas anledning till att följa upp vilka effekter framtida kvävegödsling av skog kan komma att få på vattenkvaliteten hos mark-, grund- och ytvatten i norra Sverige.



Figur 25. pH och DOC i markvattnet i tallskogen vid Sör-Digertjärn i Jämtlands län. Ett tillfälle med gödsling med 150 kg kväve per hektar i juni 2012 indikeras med vertikal streckad linje. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.

Markvattnets försurningsstatus i norra Sverige, jämfört med resten av landet, angivet som median för åren 2016–2018, visar att norra Sverige tillhör de län där markvattnet är minst försurningspåverkat, på grund av ett relativt lågt svavelnedfall i denna del av landet, Figur 26. De flesta av mätplatserna i Götaland uppvisar negativt ANC, i Svealand är ANC vanligtvis omkring 0, och i Norrland är det positivt. Även halten oorganiskt aluminium uppvisar en liknande gradient.



Figur 26. pH (A), ANC (B) och koncentrationen av oorganiskt aluminium (C) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnätet. Det värde som anges är medianvärdet under de senaste tre åren (2016–2018). ANC i avrinnande vatten 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.

3.4 Regional miljömålsuppföljning - hur används de försurningsrelaterade mätningarna bäst?

Den sammanlagda effekten av svavelnedfall, kvävenedfall och skogsbruk är avgörande för hur återhämtningen från försurningen går, och alla dessa tre påverkansfaktorer är därmed viktiga vid uppföljningen av miljökvalitetsmålet *Bara naturlig försurning* (Naturvårdsverket, 2019a). Krondroppsnätet är centralt för utvärdering av svavel- och kvävenedfall. För indikatorn *Nedfall av svavel*, som enligt definitionen avser summan av vått och torrt nedfall till granskog, utgör Krondroppsnätets 36 mätningar i granskog i Sverige, varav 11 i norra Sverige, ett robust underlag. För närvarande används dock endast mätningar från öppet fält från Krondroppsnätet och andra miljöövervakningsnät (LNKN, IM) i den årliga nationella uppföljningen samt i de fördjupade utvärderingarna (Naturvårdsverket, 2019a, 2019b), vilket innebär en underskattning av nedfallet, framför allt för äldre data då torrdepositionen var ännu högre än idag. I regionala miljömåls-uppföljningar används dock svaveldeposition via krondropp.

Kvävenedfall utgör inte en indikator för *Bara naturlig försurning* i nuläget, men är viktig för uppföljning av miljökvalitetsmålet. Eftersom kvävenedfall ingår som indikator för *Ingen övergödning* kan utvärderingen av denna indikator, som baseras på mätningar och beräkningar av totaldeposition inom Krondroppsnätet, användas även inom försurningsmålet (se ovan).

Återhämtning från försurning återspeglas i försurningsutvecklingen i mark och vatten. Från och med 2018 finns ingen indikator för försurad mark, den enda indikatorn för återhämtning är *Försurade sjöar*. Försurad skogsmark är ändå viktig att följa upp, dels för att följa utvecklingen i marken i sig, dels för att återhämtning i marken är viktig för återhämtningen av sjöar och vattendrag. Därför följs tillståndet både i fasta marken och i markvatten upp i fördjupade utvärderingar (Naturvårdsverket 2015, 2019a) och regionala miljömåls-uppföljningar.

Markkemi följs upp inom Markinventeringen, nationellt samt uppdelat på Norrland, sydvästra och mellersta/östra Sverige. Enligt den fördjupade utvärderingen från 2015 (Naturvårdsverket, 2015), ökade andelen skogsmark med hög eller mycket hög surhetsgrad från mitten av 1990-talet till 2005 i norra Sverige. Dessförinnan (från mitten av 1980-talet till mitten av 1990-talet) hade andelen istället minskat. Sedan mitten på 1990-talet har nivån inte förändrats nämnvärt till 2011. Tolkningen av denna utveckling försvåras dock av att metodiken var annorlunda i början av tidsserien. I den senaste fördjupade utvärderingen (Naturvårds-verket, 2019a) har utvecklingen i mark presenterats på ett annat sätt. I stället för att slå ihop olika försurnings-kriterier för att ta fram andel försurad skogsmark i olika klasser, har två separata bedömningar av andel försurad skogsmark gjorts, en baserad på pH i markens C-horisont och en baserat på basmättnad i B-horisonten. Andel försurad skogsmark baserat på pH i C-horisonten har i norra Sverige legat ungefär på samma nivå med en naturlig mellanårsvariation (1993–2014). Andel försurad skogsmark baserat på basmättnad i B-horisonten visar inte heller på någon statistisk förändring, dock finns tendenser till ökad andel försurad skogsmark sedan 1997. Uttag av biomassa från skogen anges som en potentiell förklaring till att det inte skett någon signifikant förbättring av surhetstillståndet i B-horisonten enligt detta kriterium, trots kraftigt minskat surt nedfall.

I de fördjupade utvärderingarna från 2015 och 2019, samt i regionala utvärderingar, används även markvattenkemi från Krondroppsnätet i bedömningen av återhämtning från försurning. Markvatten från 50 centimeters djup antas motsvara vatten som lämnat rotzonen, och kan därmed ses som en viktig länk mellan fast mark och ytvatten. En annan fördel med markvattenkemin är att mätningarna görs på exakt samma platser, tre gånger per år, vilket ju inte är möjligt vid markprovtagning. Detta innebär att, även om det är stor variation på korta avstånd i marken, så är tidsserierna för markvattenkemi robusta. I den fördjupade utvärderingen 2019 visas att den syraneutraliserande förmågan, ANC, i markvattnet ligger på positiva värden vid alla de sju platserna som analyserats för norra Sverige. Vid två platser ökar ANC under perioden 1996–2017 medan det vid övriga platser inte finns någon statistisk förändring.

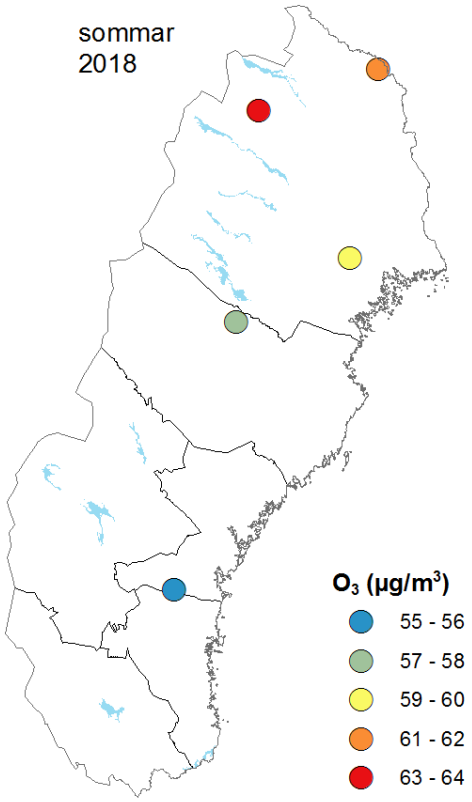
I de fördjupade utvärderingarna 2015 och 2019 studerades nivåer och trender för ANC i markvatten på alla Krondroppsnätets mätplatser. ANC (median för tidsperioden) var i de flesta fall under 0 i sydvästra Sverige. I mellersta/östra Sverige var det vanligare med ANC över 0 och i norra Sverige var ANC som angivits ovan positivt på samtliga mätplatser. Detta stämmer överens med nedfallsgradienten, med minskande nedfall från sydväst till norr. I den fördjupade utvärderingen från 2015 analyserades trenderna för ANC för perioden 1996–2013. I den sydvästra delen av Sverige visade drygt 40 % av platserna på en signifikant återhämtning medan resten inte visade på någon signifikant förändring. I den senaste fördjupade utvärderingen utvärderades en längre period, 1996–2017, och denna analys visade på återhämtning på en tredjedel av platserna i sydvästra Sverige (Naturvårdsverket, 2019a). Även i mellersta/östra Sverige och Norrland skedde återhämtning på ungefär en tredjedel av platserna.

4 Lufthalter av marknära ozon

Fotograf: Gunilla Pihl Karlsson

Ozonhalter i luften 3 m över marknivå mäts inom Krondroppsnätet med så kallade diffusiva provtagare månadsvis vid ett antal platser i norra Sverige. Mätningarna ger en medelhalt för ozon under den period som provtagaren exponerats. Vid Myrberg/Grankölen, Högbränna och Storulvsjön finns månadsvisa mätningar sedan 2001, vid Nikkaluokta finns mätningar sedan 2004. Mätningarna fyller en viktig funktion eftersom marknära ozon endast mäts vid tre platser i norra Sverige inom den nationella miljöövervakningen.

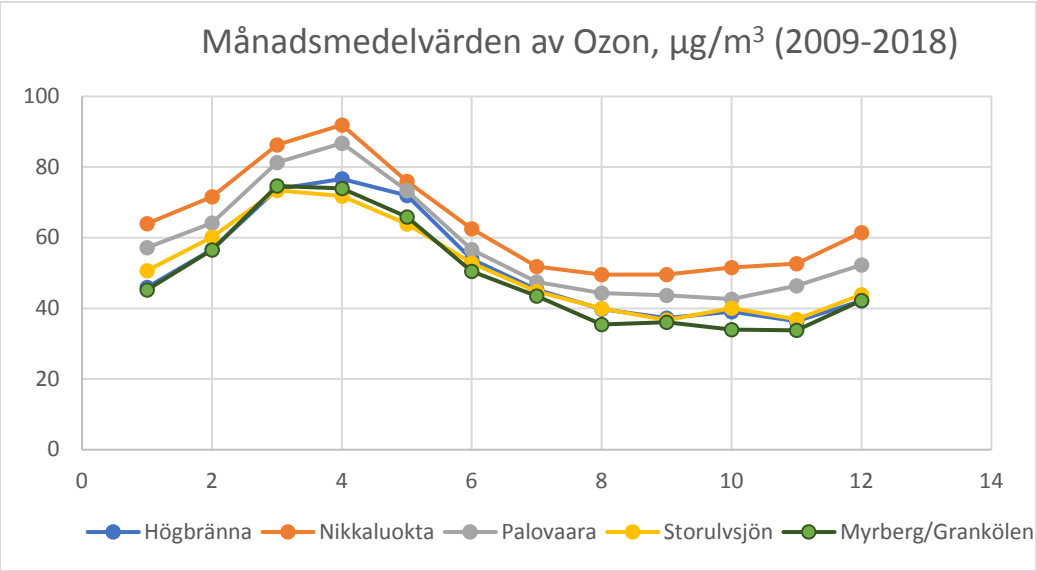
I Figur 27 visas medelhalter för sommarhalvår för det senaste mätåret 2018. Ozonhalterna är generellt högre på sommaren än på vintern. Det finns egentligen inga tröskelvärden för ozonets påverkan på människors hälsa, men WHO rekommenderar som ett målvärde att ozonhalter under en sammanhängande period av åtta timmar inte ska överskrida 100 µg/m³ (50 ppb). Som medelhalt under sommarhalvåret överskreds inte denna nivå vid någon plats i norra Sverige under det senaste mätåret. Ozonhalterna varierar dock över dygnet, med högre halter på dagen och lägre på natten. Detta medför att med en medelhalt under ett sommarhalvår på 63–64 µg/m³ vid Nikkaluokta i Norrbottens län, så skulle det kunna finnas tillfällen då målvärdet överskridits under en 8-timmars period.



Figur 27. Lufthalter av marknära ozon (O_3) under sommarhalvåret 2018 i norra Sverige.

Ozonhalterna som medelhalt för kalenderår har minskat vid Högbränna med 9 % sedan 2001, medan de har ökat vid Storulvsjön med 6 % under samma period. Ozonhalterna vid Högbränna som medelvärde under sommarhalvåret har minskat sedan 2001 med 10 %. I övrigt finns inga säkerställda förändringar varken för kalenderår, vinter- eller sommarhalvår. De årliga maximala månadsmedelhalterna har inte förändrats vid någon mätplats.

I Figur 28 visas hur månadsmedelhalterna fördelar sig över året, redovisat som medelvärden för mätperioden 2009–2018. Det är tydligt att de högsta ozonhalterna i norra Sverige förekommer under månaderna mars och april. I synnerhet vid Nikkaluokta och Palovaara är halterna höga dessa månader. De högsta uppmätta månadsmedelhalterna för ozon i norra Sverige finns vid Nikkaluokta där det uppmättes 99,6 µg/m³ i april 2006 och 98,9 µg/m³ i april 2011, vilket således tangerar det målvärde som finns uppsatt av WHO för att skydda människors hälsa.



Figur 28. Månadsmedelhalter av ozon vid fem mätplatser i norra Sverige. Värden anger medelvärden för månad på året under perioden 2009 - 2018. Standardavvikelsen varierar för olika månader och platser mellan 5 och 9 µg/m³.

Orsakerna till att ozonhalterna är relativt höga i norra Sverige på våren är ännu inte helt utredda. Ozonbildande ämnen kan transporteras runt hela norra halvklotet. Resultaten av minskade utsläpp av ozonbildande ämnen från Sverige och övriga Europa, men ökande utsläpp från till exempel Sydostasien är komplicerade. Mycket tyder på att de högsta ozonhalterna visar en minskande trend, medan de lägsta ozonhalterna uppvisar en ökande trend. Dessutom finns en risk för ökande utsläpp av ozonbildande ämnen vid nordliga latituder till exempel om fartygstrafiken ökar genom Nordostpassagen.

5 Aktuellt & notiser

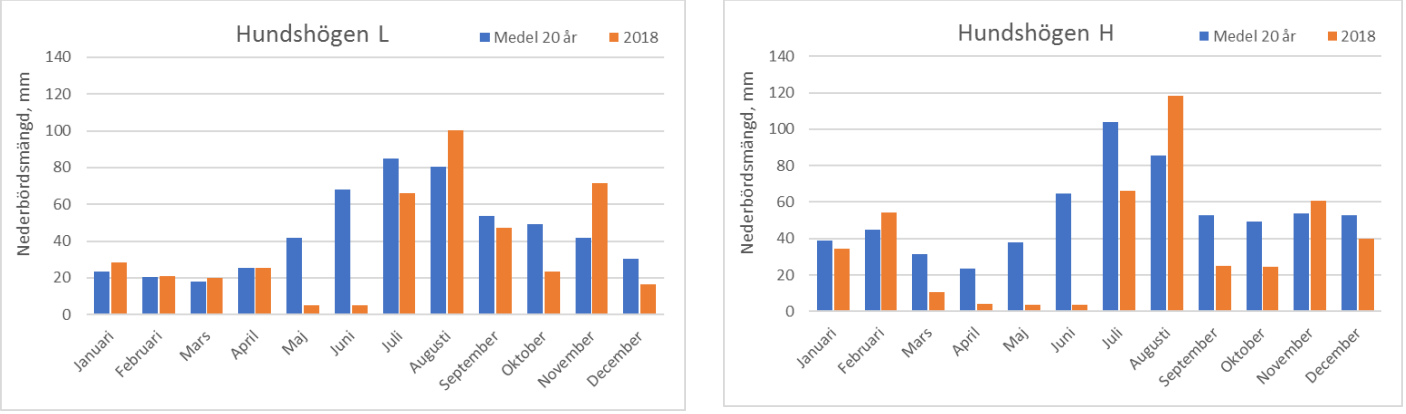
Fotograf: Louise Karlsson

5.1 Sommarens torka

Enligt SMHI fick hela Sverige en varm och solig sommar 2018. Det var en av de tio soligaste somrarna som registrerats och förutom i delar av norra Norrland var den i allmänhet torr. I det följande beskrivs vädret under sommaren 2018, baserat på utdrag från SMHI.

Maj 2018 blev rekordvarm och rekordsolig i stora delar av landet. Över norra Norrland passerade dock periodvis områden med moln och nederbörd. Juni bjöd på varierat väder med rekordvärme i söder men relativt svalt väder i norr. Nederbördsmängderna i juni var låga, utom i norra Norrland. Under juli steg temperaturerna i hela landet och det blev på många håll en av de varmaste julimånaderna som registrerats. Stora delar av juli dominerades av långvarig torka i större delen av Sverige. I mitten av månaden utbröt svåra skogsbränder i mellersta Sverige. I slutet av månaden förekom åska och lokalt kraftiga regnskurar. Inledningen av augusti var också mycket varm. Ostadigt väder kom dock att prägla månaden efter den 10 augusti och innebar regn på de flesta håll.

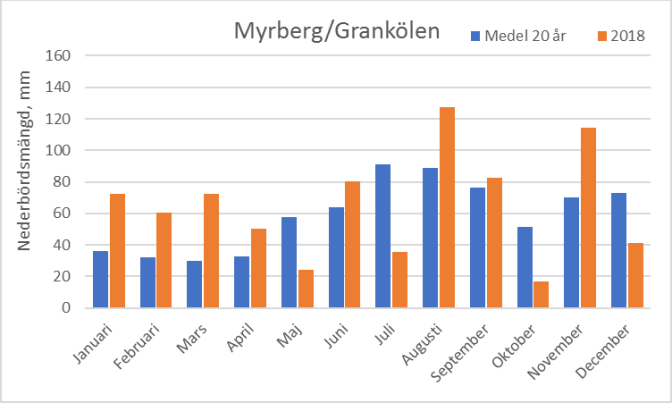
På hög höjd i Jämtlands län var det lägst nederbördsmängd under maj och juni 2018 jämfört med medelvärdet för de senaste 20 åren, se Figur 29. Även i mars och april var det mycket lägre nederbördsmängd än normalt vid den högst belägna mätplatsen.

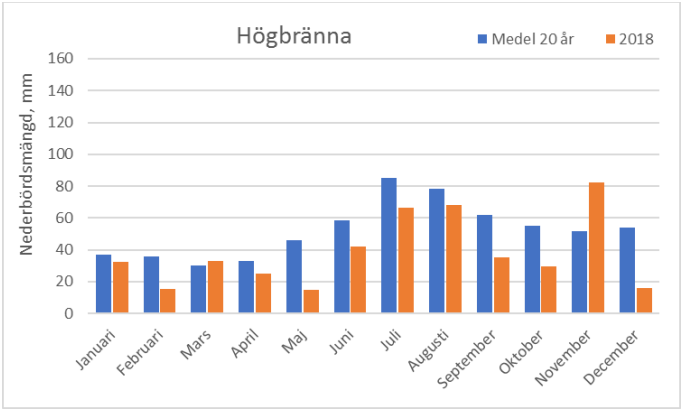


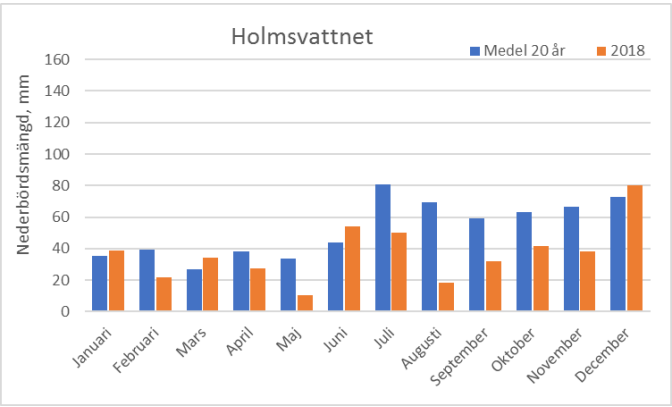
Figur 29. Nederbördsmängden under januari – december 2018 jämfört med månadsvis medelvärde för perioden 1998–2017 vid två mätplatser på olika höjd (L=670 m.ö.h och H=1250 m.ö.h.) vid Hundshögen i Jämtlands län.

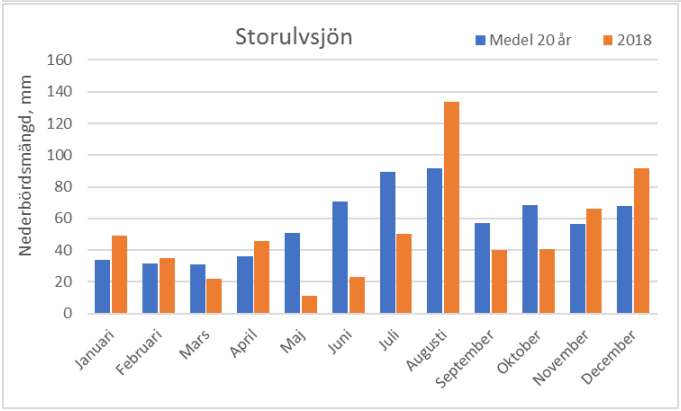
På övriga mätplatser i norra Sverige var det lägst nederbördsmängd under maj 2018 jämfört med medelvärdet för de senaste 20 åren, se Figur 30. Även i juli var det lägre nederbördsmängd än normalt vid mätstationerna. Endast mätplatser som har mätningar under perioden 1998 - 2017 är med i denna analys.

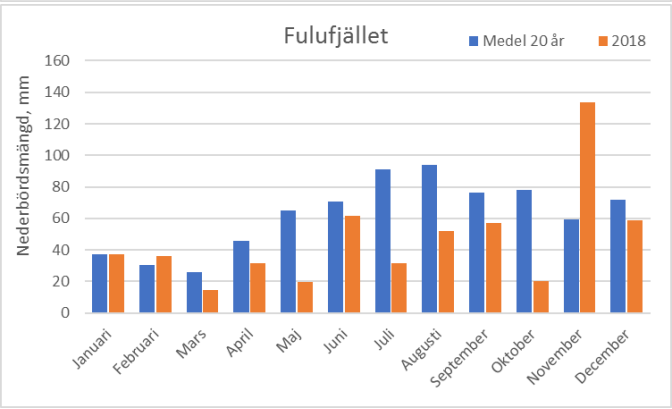
Torka kan även öka risken för insektsangrepp och skogsskador (Seidl m.fl., 2017), vilket har en direkt påverkan på markvattenkemin (Karlsson m.fl., 2018b). Den direkta effekten av temperaturökningen på de olika processerna har också stor betydelse. Effekter av förändringar i dessa processer på näringsomsättningen kan enklast påvisas med markvattenkemiska mätningar, och dessa är därmed viktiga för att följa upp både återhämtning från försurning och kväveutlakning från skogsmark i ett förändrat klimat.





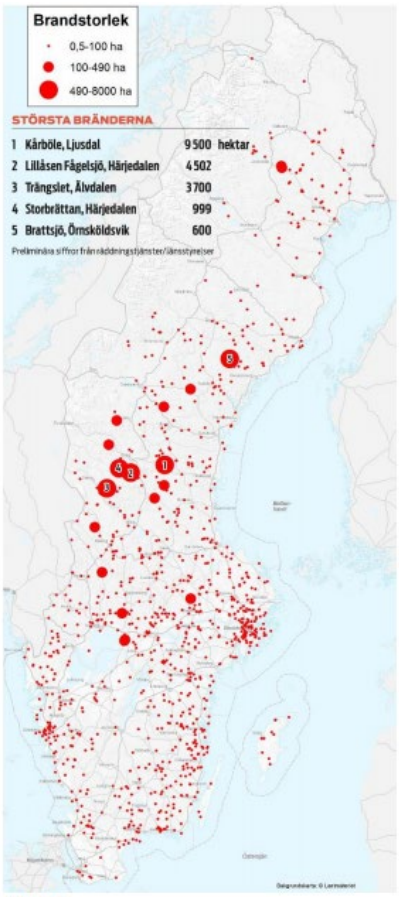






Figur 30. Nederbördsmängden under januari – december 2018 jämfört med månadsvis medelvärde för perioden 1998–2017 (20 år) vid Myrberg/Grankölen i Norrbottens län, Högbränna och Holmsvattnet i Västerbottens län, Storulvsjön i Västernorrlands län och Fulufjället i Dalarnas län.

5.2 Sommarens bränder



Källa: MSB.

Under sommaren 2018 brann cirka 25 000 hektar skog totalt i Sverige. Bränderna var många och utspridda i hela landet (se karta, till vänster, som beskriver brändernas utbredning i början av sommaren 2018). Bränderna och dess förlopp har beskrivits i en rapport från statens offentliga utredningar (SOU, 2019). Skogsbränderna startade redan i maj. I Västmanlands län fanns i början av juni elva skogs- och markbränder i länet av varierande storlek. Samtidigt pågick även några större bränder i Värmland. Under helgen 14–15 juli bröt flera bränder ut som efterhand tillsammans täckte drygt 18 000 hektar. Värst drabbade var Gävleborgs, Jämtlands och Dalarnas län. Från slutet av maj till mitten av juli hade en uttorkning av de djupare marklagren pågått nästan oavbrutet, särskilt i Götaland och Svealand. I slutet av juli förbättrades situationen i Gävleborgs, Dalarnas och Jämtlands län. Bränderna fortsatte in i augusti men var inte på samma höga nivå som under juli. Data över brändernas slutliga utbredning kommer att finnas tillgänglig via MSB under försommaren 2019.

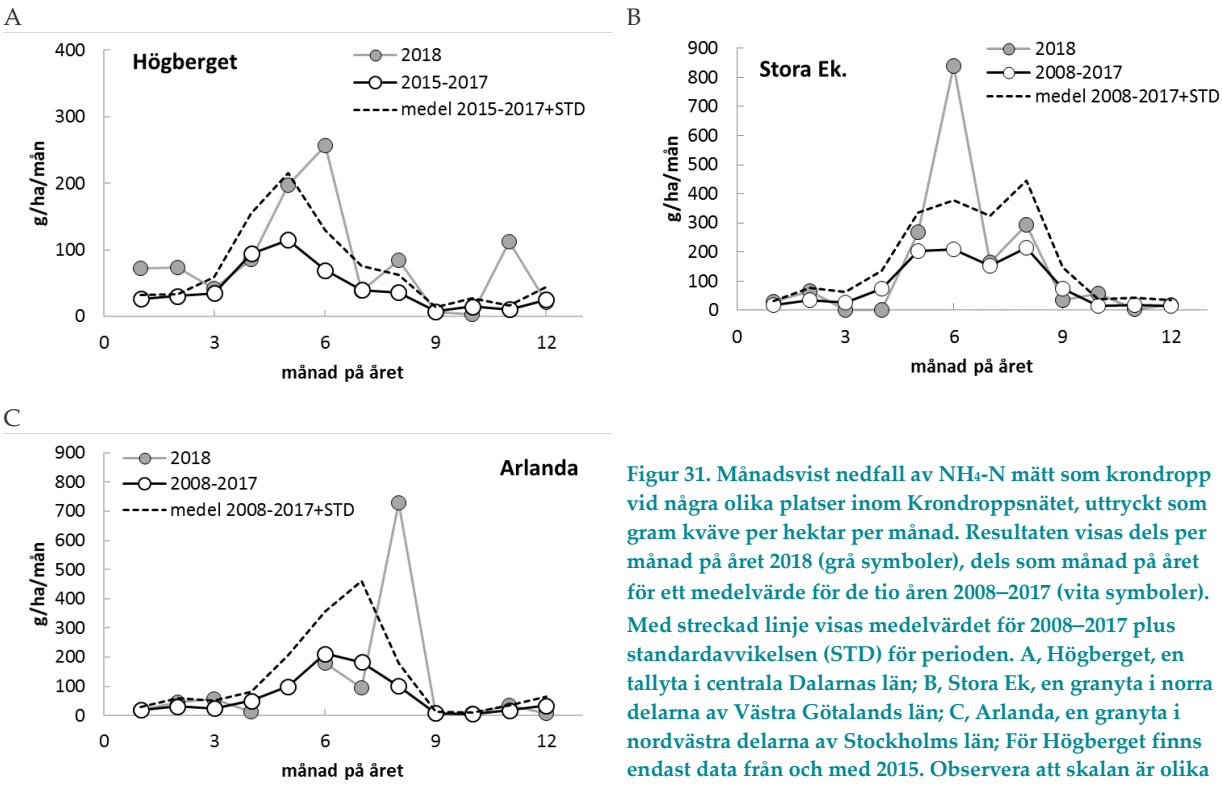
Påverkades nedfallet av bränderna?

Vid skogsbränder med ofullständig förbränning kan det bildas ammoniak, NH_3, som först uppträder som en gas. NH_3 har en hög depositionshastighet och transporteras därför inte långt. I luften kan dock NH_3 reagera med sura ämnen såsom sulfat, nitrat och klorid och bilda partikelbundet ammonium, NH_4, som kan transporteras långa sträckor (Karlsson m.fl., 2013). Partikelbundet NH_4 fångas effektivt upp av kronorna hos barrträd. Andra ämnen som också förekommer i luften vid bränder är kalium och kalcium samt fosfor.

Månadsvis nedfall av NH_4-N mätt som krondropp visas i Figur 31 för några olika platser inom Krondroppsnätet. Resultaten visas dels per månad på året 2018 (grå symboler), dels per månad på året som ett medelvärde för de tio åren 2008–2017 (vita symboler). Vid en del mätplatser fanns det ett tydligt förhöjt nedfall av NH_4-N antingen under perioden maj-juni (Figur 31 A, B) eller under juli/augusti (Figur 31 C), medan det vid andra platser inte finns någon tydlig förhöjning av nedfallet.

NH_4 kan dock även transporteras i luften mycket långa sträckor från andra länder. För att säkerställa att de förhöjda nedfallet av NH4 som krondropp under sommarmånaderna 2018 som visas i Figur 31 verkligen kom från skogsbränderna krävs därför ytterligare analyser av den förorenade luftens ursprung, så kallade trajektorier.

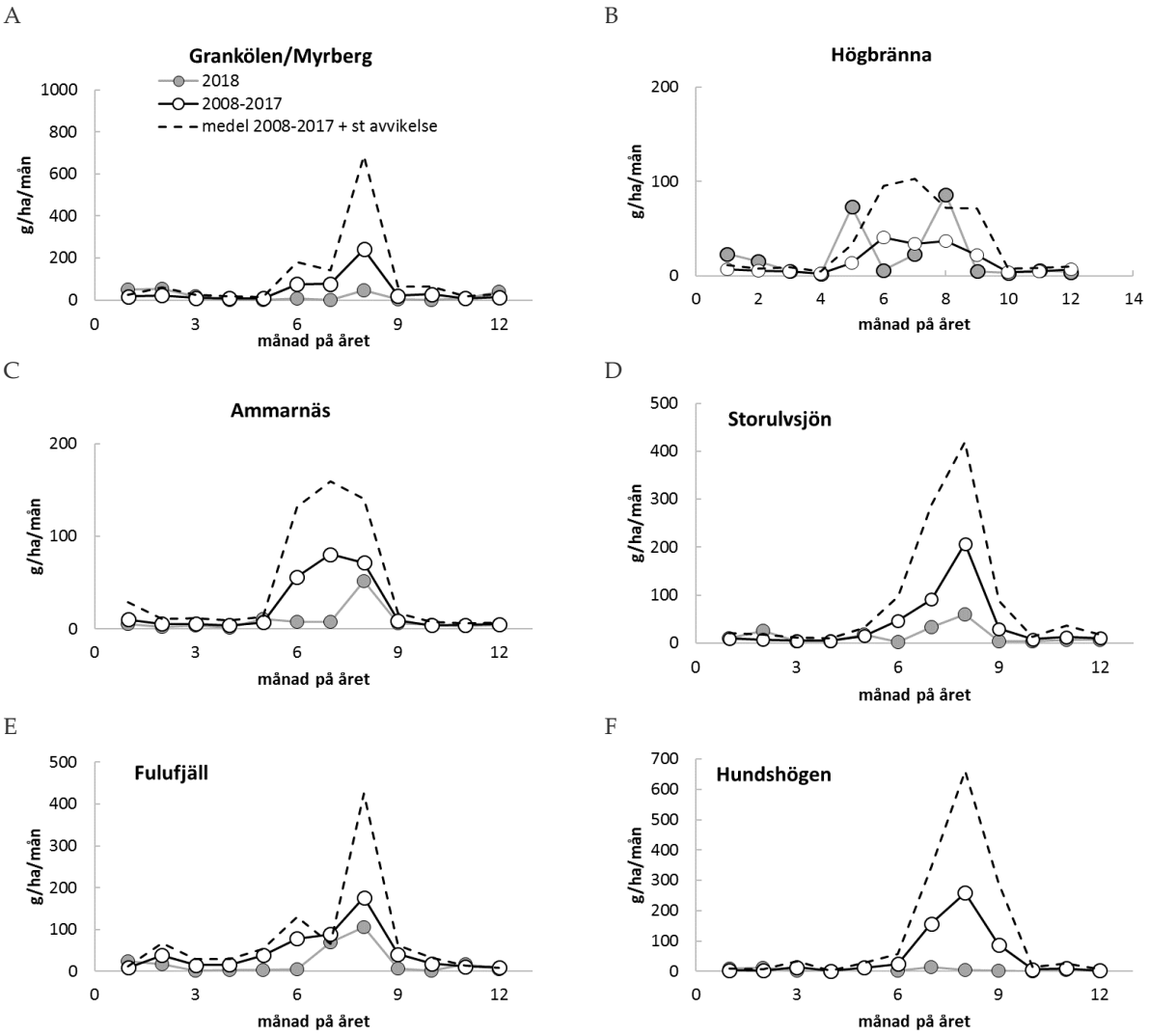
Träden kan ta upp en viss andel av det kväve som deponeras direkt i trädkronorna, utan att det når provsamlarna för krondropp vid marken. Det betyder att det nedfall av NH_4 som vi analyserar här måste ha varit av en betydande storlek, så att det överskrider den kapacitet som träden har för ett direkt upptag av kväve till trädkronorna.



Figur 31. Månadsvist nedfall av NH_4-N mätt som krondropp vid några olika platser inom Krondroppsnätet, uttryckt som gram kväve per hektar per månad. Resultaten visas dels per månad på året 2018 (grå symboler), dels som månad på året för ett medelvärde för de tio åren 2008–2017 (vita symboler). Med streckad linje visas medelvärdet för 2008–2017 plus standardavvikelsen (STD) för perioden. A, Högberget, en tallyta i centrala Dalarnas län; B, Stora Ek, en granyta i norra delarna av Västra Götalands län; C, Arlanda, en granyta i nordvästra delarna av Stockholms län; För Högberget finns endast data från och med 2015. Observera att skalan är olika för Högberget.

Motsvarande analys av månadsvist nedfall av NH_4-N med krondropp har även gjorts för ett urval av mätplatser i norra Sverige (Figur 32). I norra Sverige var dock nedfallet av NH_4-N under sommarmånaderna 2018 genomgående mycket lågt jämfört med ett medelvärde för motsvarande månader under perioden 2008 - 2017. Det fanns en antydan till högt nedfall vid Högbränna under maj och augusti 2018, med det låg i nivå med medelvärdet för 2008–- 2017 plus en standardavvikelse.

Övergripande fanns det ingen antydan till ett ökat nedfall av NH_4-N i krondropp under sommaren 2018 som skulle kunna knytas till de omfattande skogsbränderna i Sverige under denna sommar. Detta står i viss mån i kontrast till de förhöjda lufthalter av ammoniak som uppmättes under sommarmånaderna 2018 i norra Sverige, se figur 5 ovan. Trädkronorna kan ta upp en viss mängd kväve direkt i trädkronorna (Karlsson m.fl., 2018a), vilket kan förklara att förhöjda mängder av NH_4-N inte uppmätts i krondropp.



Figur 32. Månadsvist nedfall av NH_4-N mätt som krondropp vid sex mätplatser i norra Sverige, Grankölen/Myrberg, granskog i Norrbottens län (A); Högbränna, granskog i Västerbottens län (B); Ammarnäs, granskog i Västerbottens län (C); Storulvsjön, granskog i Västernorrlands län (D); Fulufjäll, granskog i Dalarnas län (E); Hundshögen, enstaka gran vid trädgränsen i Jämtlands län (F). Nedfallet som krondropp uttryckt som gram kväve per hektar per månad. Resultaten visas dels per månad på året 2018 (grå symboler), dels som månad på året för ett medelvärde för de tio åren 2008–2017 (vita symboler). Med streckad linje visas medelvärdet för 2007–2017 plus standardavvikelsen för perioden.

5.3 Fördjupad utvärdering 2019

I januari 2019 publicerades Fördjupad utvärdering av miljömålen 2019 (Naturvårdsverket, 2019b). Den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019 är en del i en systematisk och regelbunden uppföljning av miljöpolitiken och miljökvalitetsmålen. Den ska fungera som underlag för regeringens politik och prioriteringar. Data från Krondroppsnätet har utgjort en del av de underlagsdata som användes i den fördjupade utvärderingen 2019.

Krondroppsnätets data används för två miljömålsindikatorer, indikatorn ”Nedfall av svavel” och den nyutvecklade indikatorn ”Nedfall av kväve till barrskog”. Den förra ingår främst i miljökvalitetsmålet *Bara*

naturlig försurning men används även för utvärdering av miljökvalitetsmålen *Levande skogar* och *Ett rikt växt- och djurliv*. Den senare ingår främst i miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning* men används även för utvärdering av miljökvalitetsmålen *Bara naturlig försurning*, *Levande sjöar och vattendrag*, *Grundvatten av god kvalitet*, *Myllrande våtmarker*, *Levande skogar* och *Storslagen fjällmiljö.*

Markvattenkemiska data ingår inte i någon indikator i nuläget, men har liksom vid tidigare fördjupade utvärderingar använts för både utvärdering av *Bara naturlig försurning* och *Ingen övergödning.* För försurningsmålet har nivåer och trender för ANC i markvatten illustrerats i en karta. För *Ingen övergödning* har situationen i Sverige vad gäller nitratkväve i markvattnet beskrivits, som ett mått på risken för ökad utlakning av kväve från skog.

5.4 Aktuell forskning/specialprojekt som berör Krondroppsnätet

5.4.1 Hur stor är depositionen av fosfor till Östersjön?

Med finansiering från Havs- och vattenmyndigheten och inom ramen för SMED-Vatten har forskare verksamma inom Krondroppsnätet inventerat kunskapsläget vad gäller deposition av fosfor (P) till havsområden och andra vattenytor, med en särskild inriktning på Östersjön, (Karlsson & Pihl Karlsson, 2018).

De viktigaste källorna till förekomsten av fosfor i luften är markpartiklar, marina aerosoler, primära biologiska partiklar, aska från vulkaner, partiklar från biomassabränder, förbränning av olja och kol, och utsläpp från fosfatfabriker. Små aerosoler som bildas vid skogs- och gräsbränder kan ha en särskilt hög halt av fosfor. Inom HELCOM använder man för närvarande ett konstant årligt värde över hela Östersjön för nedfallet av totalt fosfor av 5 kg fosfor per km^2. Detta värde baseras främst på mätningar av bulkdepositionen av fosfor inom de olika medlemsländerna. En sammanställning av tillgängliga svenska mätningar, från den svenska miljöövervakningen inklusive Krondroppsnätet, vid platser inom 50 km från kustlinjen vid Östersjön och Kattegatt under åren 2013–2017, visar på en deposition med nederbörden till öppet fält vid dessa platsen på mellan 11,9 och 25,6 kg fosfor per km^2 och år. Dessa resultat, tillsammans med liknande resultat från andra länder, visar på att nuvarande värde som används inom HELCOM för det årliga nedfallet av fosfor till Östersjön, 5 kg fosfor per km^2, sannolikt är för lågt satt.

Rapporten finns tillgänglig på SMED-Vattens hemsida: http://www.smed.se/vatten.

5.4.2 Högt nedfall av svavel och kväve på hög höjd i norra Sverige

På uppdrag av Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet sammanställt, beskrivit och analyserat mätningar av lufthalter och deposition av olika försurande och gödande ämnen på hög höjd i norra Sverige. Med hög höjd avses mätningar vid trädgränsen och uppåt. Mätningarna påbörjades vid vissa platser redan under hösten 1994, och totalt har mätningar bedrivits vid 14 platser. Idag återstår mätningar på hög höjd endast vid två platser i Jämtlands län.

Mätningarna visade att belastningen vad gäller nedfall av svavel och kväve ökar med ökad höjd över havet. Nedfallet av svavel och kväve är högre på kalfjället på mycket hög höjd jämfört med områden på lägre höjd vid trädgränsen. Det finns inte några stora skillnader i nedfall mellan Jämtlandsfjällen och de nordliga fjällen i Västerbotten och Norrbotten. Mätningar av lufthalter på hög höjd i norra Sverige har starkt bidragit till att påvisa tillfälliga passager av starkt förorenad luft över norra Sverige, till exempel av starkt förorenade luft från storskaliga bränder i Ryssland och av svavelhaltig luft från vulkanutbrott på Island.

Rapporten Karlsson m.fl. 2019 finns att ladda ner på IVL:s hemsida.

5.5 Vetenskapliga artiklar 2018

Under 2018 har ett flertal artiklar med anknytning till Krondroppsnätet publicerats.

- **Yu m.fl., (2018**) 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. (2018b),** visade på hög nitratkväveutlakning följt av minskning av pH och ANC i markvattnet vid en krondroppsyta, Klippan utanför Göteborg, efter att ett angrepp av granbarkborre dödat granarna, där de flesta träden dock stod kvar upprätta.
- **Johnson m.fl. (2018),** analyserade 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.

5.6 På gång – aktuella projekt och utvärderingar

5.6.1 Delar av Naturvårdsverkets verksamhet inom programområde Luft utvärderas igen

Som tidigare rapporterats har Naturvårdsverket aviserat att delar av Programområde Luft (PO Luft) kommer att utredas i god tid innan nästkommande programperiod. Utvärderingen syftar till att hitta förslag på effektivisering/samordning av verksamheterna Luft- och nederbördskemiska nätet (LNKN), EMEP, Krondroppsnätet och MATCH-modellering. Modelleringens möjligheter och begränsningar kommer då att belysas. Under programperioden planeras även att bland annat se över möjligheterna att samordna nationella mätningar med annan övervakning.

Naturvårdsverket har utsett två internationella utredare, Christopher Evans och Alan Radbourne från ”Centre for Ecology and Hydrology” i Bangor, Wales, UK. Christopher Evans och Alan Radbourne har under april 2019 bland annat träffat Krondroppsnätets projektledningsteam som ett led i utredningen.

5.6.2 Specialrapport - länsvis total deposition av kväve och svavel

Under hösten 2019 kommer en specialrapport inom Krondroppsnätet. Planen är att rapporten ska innehålla länsvisa tidsserier för totalt svavel- respektive oorganiskt kvävenedfall för kalenderåren 2001–2018.

5.6.3 Andelen torrdeposition till provtagningsutrustning för nederbörd undersöks

Försöket ”Rör Under Tak” (RUT) med mätningar av torrdepositionen till mätutrustningen på öppet fält fortsätter. Mätningarna påbörjades sommaren 2017 vid de 10 platser som idag har en strängprovtagare. Mätningen under tak jämförs med den vanliga WoF-provtagaren på öppet fält, som är ny sedan 2013, för att få ett mått på torrdepositionsandelen. Syftet med projektet är att minska osäkerheterna i uppskattningarna av våtdepositionen baserat på nederbördsmätningarna för en mängd parametrar. Krondroppsnätet har nu fått finansiering från Naturvårdsverket för ytterligare mätningar fram till och med september 2019. Projektet är ursprungligen planerat att pågå under tre år fram till 2020.

5.6.4 Kväveutlakning till ytvatten efter avverkning?

Med finansiering från Havs- och vattenmyndigheten och Länsstyrelsen i Västra Götaland bedrivs utökade mätningar av mark-, grund- och bäckvatten inom ett 7 ha stort avrinningsområde vid Krondroppsytan Storskogen, mellan Alingsås och Borås, Figur 33. Referensmätningar har bedrivits under fyra år inför en avverkning av större delen av avrinningsområdet som ägde rum i juni 2018. Fortsatta mätningar visar på en tydlig ökning av halterna av nitrat i mark-, grund- och bäckvatten, med start ungefär ett halvår efter avverkningen. Med nuvarande finansiering kommer mätningarna att fortsätta under ytterligare drygt ett år. Målet är att kvantifiera storleken på det ökade läckaget av kväve ut ur avrinningsområdet efter avverkning.

Figur 26. Fotografier av området vid Krondroppsytan Storskogen, före och efter avverkning. Foto: Per Erik Karlsson.

6 Tack

Vi vill uttrycka ett varmt tack till samtliga provtagare inom Krondroppsnätet som utför ett mycket ovärderligt arbete i fält. Vi vill även uttrycka ett varmt tack till all personal på IVL:s laboratorium för ett mycket bra arbete. Slutligen tackar vi Krondroppsnätets samtliga medlemmar för gott samarbete.

7 Referenser

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.

Akselsson, C., Belyazid, S., 2018. 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

Havs- och vattenmyndigheten, 2019. Ingen övergödning. Fördjupad utvärdering av miljökvalitetsmålen 2019. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2019:1

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, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E., Akselsson. C. 2017. Påverkan på atmosfäriskt nedfall och luftkvalitén i Sverige av SO_2-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014–2015. IVL Rapport C 234.

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*. 2018;1–17. DOI: 10.1111/gcb.14156

Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Tømmervik, Lars R. Hole, Gunilla Pihl Karlsson, Tuija Ruoho-Airola, Wenche Aas, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Teis Nørgaard Mikkelsen, and Bengt Nihlgård. 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., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C. 2018a. Utveckling av en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog inom miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning*. IVL Rapport C286.

Karlsson, P.E., Akselsson, C., Hellsten, S., Pihl Karlsson, G., 2018b. A bark beetle attack caused elevated nitrate concentrations and acidification of soil water in a Norway spruce stand. Forest Ecology and Management 422, 338-344.

Karlsson, P.E. & Pihl Karlsson, G., 2018. Deposition av fosfor till Östersjön - Kunskapsläge och möjligheter till löpande mätningar. SMED Rapport Nr 18, 2018

Karlsson, P.E., Ferm, M., Pihl Karlsson G., och Hellsten, S. 2019. Halter och deposition av luftföroreningar på hög höjd i norra Sverige. IVL Rapport C392.

Länsstyrelsen i Jämtlands län, 2018 Miljömålsuppföljning 2018. Länsstyrelsen i Jämtlands län. Rapport diarienummer: 501-4142-2018

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

Naturvårdsverket, 2015. Mål i sikte. Analys och bedömning av de 16 miljökvalitetsmålen i fördjupad utvärdering. Volym 1. Naturvårdsverket rapport 6662.

Naturvårdsverket, 2019a. Bara naturlig försurning – underlagsrapport till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019, Naturvårdsverket rapport 6860.

Naturvårdsverket, 2019b. Fördjupad utvärdering av miljömålen 2019. Med förslag till regeringen av myndigheter i samverkan. Arkitektkopia AB, Bromma

Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S., Karlsson, P.E., 2011. Reduced European Emissions of S And N – Effects On Air Concentrations, Deposition And Soil Water Chemistry In Swedish Forests. Environmental Pollution 159: 3571–3582.

Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S., Karlsson, P.E., 2018. Tillståndet i skogsmiljön i norra Sverige. Resultat från Krondroppsnätet till och med 2016/17. IVL Rapport C 321.

Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A. och Reyer, C.P.O., 2017. Forest disturbances under climate change. Nature Climate Change 7: 395–402.

SOU 2019:7. Skogsbränderna sommaren 2018. Betänkande av 2018 års skogsbrandsutredning.

Tamm, C.O., 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. Ecological Studies 81. Springer Verlag, Berlin, Germany.

Warfvinge, P., Bertills, U. 2000. Naturens återhämtning från försurning – aktuell kunskap och framtidsscenarier. Naturvårdsverket RAPPORT 5028. ISBN 91-620-5028-1.

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.

Websida:

CEIP, 2019. Emissionsdata är hämtade från: http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/reported_emissiondata/

Bilaga 1. Mätplatserna i norra Sverige

Fotograf: Per Erik Karlsson

Krondroppsnätet bedriver mätningar vid femton mätplatser i norra Sverige.

Undersökningarna är ett resultat av ett lagarbete där provtagning utförts av lokala provtagare.

På IVL har Paula Andersson skött kontakter med provtagare medan främst Louise Björnberg, Camilla Hållinder-Ehrencrona, Jessica Ekström, Paula Andersson, Sari Honkala och Vania Andersson har analyserat proverna.

Databasen har skötts av Gunnar Malm.

Datagranskning, databehandling och rapportering av resultaten har utförts av Cecilia Akselsson, Per Erik Karlsson, Sofie Hellsten samt Gunilla Pihl Karlsson.

Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

B1:1 Dalarnas län

I Dalarnas län fanns två aktiva lokaler under 2017/18 inom Krondroppsnätet (Tabell B1.1).

Tabell B1.1. Aktiva ytor inom Krondroppsnätet i Dalarnas län 2017/18.
Provtagare: Emma Göthe, Andreas Johansson och Svante Månsson

Lokal	Träd-slag	Öppet fält	Sträng-prov	Kron-dropp	Mark-vatten	Hög-höjd	Lufthalter
Högberget (W13)	tall	X		X	X		
Fulufjäll (W90)	gran	X		X			

Fulufjället (W 90)
Skogsyta med gammal granskog på plan mark öster om Fulufjället (480 m.ö.h.). Svårvittrad sandsten i området innebär näringsfattig jord. Skogsbeståndet består nästan uteslutande av storväxt granskog. Depositionsmätningar startade under det hydrologiska året 1994/95.

Högberget (W 13)
Tallyta där mätningar i kron-dropp och markvatten startade i maj 2015. Mätningar på öppet fält startades samtidigt i en ledningsgata strax bredvid. Ytan är belägen i mitten av Dalarnas län, i närheten av Borlänge.

B1:2. Jämtlands län

I Jämtlands län fanns fyra aktiva lokaler inom Krondroppsnätet 2017/18 (Tabell B2.1).

Tabell B1:2. Aktiva ytor inom Krondroppsnätet i Jämtlands län 2017/18.
Provtagare: Jan Gabrielsson, Leif Rodhe, Mikael Sundberg och Tomas Bergström.

Lokal	Träd-slag	Öppet fält	Sträng-prov	Kron-dropp	Mark-vatten	Hög-höjd	Lufthalter
Nymyran (Z05)	gran			X	X		
Sör-Digertjärn (Z 04)	tall	X		X	X		
Hundshögen (Z93)	gran	X[1)]		X		X	
Fiskåfjället (Z96)	gran			X		X	

[1] Mätning vid två höjder på en fjällsluttning.

Nymyran (Z 05A+B)

Yta med 85-årig granskog på plan, bördig mark, som nu är avverkad. Jordarten är sandig-moig morän. Nederbördskemiska mätningar avslutades i december 2001. Ytan avverkades under april 2018 (se fotografi) och är ersatt med en ny yta från juni 2018. Markvattenmätningarna vid den avverkade ytan fortsätter dock, vilket ger en intressant möjlighet att konstatera om nitrat läcker ut till markvattnet även i nordliga skogsbestånd

Nya ytan är bevuxen med cirka 70 årig gran (2018) och utgörs av ett granskogsbestånd i en annars talldominerad skog med lite inblandning av lövträd. Skogen är en frisk blåbärstyp där jordarten utgörs av morän, typ mellansand, med en järnpodsol. Det är stenigt i markprofilen.

Sör-Digertjärn (Z 04)
Yta med 106-årig tallskog i södra delen av Jämtlands län. Jordarten är sandig-moig morän och boniteten låg. Ytan ligger i en sluttning mot väst, mot en närliggande tjärn. Mätning av deposition och markvatten påbörjades hösten 1996. Nederbördskemiska mätningar på öppet fält avslutades i december 2001 men startades igen i september 2009. Krondroppsytan vid Sör-Digertjärn, gödslades i juni 2012 med 150 kg kväve per hektar från helikopter.

Det svarta skyddet som syns överst på provtagaren på öppet fält används inte längre.

Hundshögen (Z 93)
Mätningarna vid Hundshögen ingår i de mätningar på hög höjd som Länsstyrelsen i Jämtlands län finansierar. Nederbörden över öppet fält mäts på två höjder; 1250 m.ö.h. och 670 m.ö.h. Krondroppsmätningar sker i en granskog på 780 m.ö.h.

Fiskåfjället (Z 96)
Precis som i Hundshögen ingår mätningarna på granytan vid Fiskåfjället i de mätningar på hög höjd som Länsstyrelsen i Jämtlands län finansierar. Vid Fiskåfjället mäts för närvarande endast krondropp i en granskog på 629 m.ö.h.

B1:3. Norrbottens län

I Norrbottens län fanns fyra aktiva lokaler inom Krondroppsnätet under 2017/18 (Tabell B3.1).

Tabell B1:3. Aktiva ytor inom Krondroppsnätet i Norrbottens län 2017/18.
Provtagare: Åke Jönsson, Folke Söderfalk, Maria Sundén och Filip Berggren.

Lokal	Träd-slag	Öppet fält	Sträng-prov	Kron-dropp	Mark-vatten	Hög-höjd	Lufthalter (SO_2, NO_2, NH_3, O_3)
Myrberg (BD02)	gran	X			X		
Grankölen (BD06) [1)]	gran	X	X	X[1)]	X		X
Nikkaloukta (BD15)	-	X					X
Palovaara (BD16)	tall	X			X		X

[1)]Ersättningsyta för Myrberg som avslutades i oktober 2015 då ytan skulle avverkas. Avverkning skedde under januari 2016.

Grankölen (BD 06)
Ersättningsyta för Myrberg, som avverkades i januari 2016. Den nya ytan Grankölen ligger ca 2,5 mil N/NV om Boden. Beståndet vid Grankölen utgörs av 60–70 år gammal granskog. Mätningarna av lufthalter, strängprov, deposition (öppet fält och krondropp) och markvatten startade i september 2016. Öppet fältmätningarna vid Myrberg fortsatte under 2017 parallellt med mätningarna vid Grankölen för att möjliggöra en jämförelse.

Nikkaluokta (BD15)
Mätningarna av nedfall på öppet fält inom Krondroppsnätet startade i juli 2012. Lufthalter av svaveldioxid (SO_2), kvävedioxid (NO_2), ammoniak (NH_3) och marknära ozon (O_3) har mätts i Nikkaluokta sedan januari 2004.

Palovaara (BD16)
Mätningarna av nedfall på öppet fält och i markvatten inom Krondroppsnätet startade i juli 2012. Lufthalter av svaveldioxid (SO_2), kvävedioxid (NO_2), ammoniak (NH_3) och marknära ozon (O_3) har mätts i Palovara sedan januari 2004.

B1:4. Västerbottens län

I Västerbottens län finns fyra aktiva lokaler inom Krondroppsnätet 2017/18 (Tabell B4.1).

Tabell B1:4. Aktiva ytor inom Krondroppsnätet i Västerbottens län 2017/18.
Provtagare: Kjell Wikström, Mårten Strömgren, Robert Lundström och Mikael Sandberg.

Lokal	Träd-slag	Öppet fält	Sträng-prov	Kron-dropp	Mark-vatten	Hög-höjd	Lufthalter (SO_2, NO_2, NH_3, O_3)
Högbränna (AC04)	gran	X		X	X		X
Bäcksjö (AC30)	gran			X	X		
Ammarnäs (AC34)	gran			X	X		
Holmsvattnet (AC35)	gran	X		X	X		

Högbränna (AC 04)
Provyta med drygt 100-årig granskog utanför Sorsele med mätningar av lufthalter, deposition i skog och på öppet fält samt markvattenkemi i skogsytan. Marken utgörs av sandig-moig morän, jordmånen är järnpodsol. Ytan sluttar en aning mot sydväst.

Bäcksjö (AC 30)
Ytan i Bäcksjö är en av ytorna med längst mätserie i Norrland. Mätningar startades i maj 1991. Ytan är bevuxen med i huvudsak gran, men även en del tall och björk och ligger i ett flackt, fuktigt område med vitmossa. Området är dikat.

Ammarnäs (AC 34)
Provyta i gammal (>100 år) granskog startades i maj 1991. Ytan är relativt kuperad och sluttar mot väst. Det finns vissa tecken på stormskador med brutna träd. Marken består av morän och det finns ingen utvecklad podsol.

Holmsvattnet (AC 35A+B): Provytan i granskog vid Holmsvattnet, ingår i kontrollprogrammet för Boliden AB. Depositionsmätningar vid den gamla ytan AC35A startade 1992, medan undersökning av markvattenkemi startade 1998. Mätningarna i Holmsvattnet omfattar även nedfall av tungmetaller, vilket redovisas i en separat rapport. Mätningarna påverkades av avverkningar i områden gränsande till provytan under 2002, samt av upprensningar av vindfällen efter en storm i november 2006. Krondroppsytan avverkades under senvåren 2011. Nya mätningar i krondropp och i mark-vatten i ett nytt närliggande gran-bestånd startades under hösten 2013 (AC 35B). Mätningarna över öppet fält påverkades även av stoppet, men kom igång igen under senvåren 2011. Under hösten 2013 flyttades även öppetfältytan till en ny plats.

B1:5. Västernorrlands län

I Västernorrlands län fanns två aktiva lokaler inom Krondroppsnätet 2017/18 (Tabell B4.1).

Tabell B1:5. Aktiva ytor inom Krondroppsnätet i Västernorrlands län 2017/18.
Provtagare: Anna Sundeberg och Patrik Tjärnström

Lokal	Träd-slag	Öppet fält	Sträng-prov	Kron-dropp	Mark-vatten	Hög-höjd	Lufthalter (SO_2, NO_2, NH_3, O_3)
Lakamark (Y03)	gran			X	X		
Storulvsjön (Y07)	gran	X	X	X	X		X

Lakamark (Y 03)
85-årig granskog på svagt sluttande, något sank mark. Mätning av deposition och markvatten startade 1991. Nederbördskemiska mätningar avslutades i december 2000. Ytan ligger i ett område som sedan 2007 är naturreservat, därför ligger många döda träd kvar på ytan.

Storulvsjön (Y 07)
Ytan utgörs av 84-årig granskog. Mätning av deposition och markvatten startade hösten 1996. Oktober 2008 flyttades provtagaren på öppet fält ca 1 km till en öppen myr. Tidigare plats hade kommit för nära skogskanten. Inga tecken på stormskador. Mossöverväxta rester från gammal gallring.

Länsstyrelsen
Västernorrland

Länsstyrelsen
Västerbotten

LÄNSSTYRELSEN
DALARNAS LÄN

Länsstyrelsen
Jämtlands län

Länsstyrelsen
Norrbotten

NEW BOLIDEN

LUNDS
UNIVERSITET

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