



Nr C 688

Juli 2022

Nedfall och avrinning av metaller, svavel och kväve i närheten av Rönnskärsverken från 1986/87 - 2020/21

Årsrapport 2022

Gunilla Pihl Karlsson & Michelle Nerentorp

Författare: Gunilla Pihl Karlsson & Michelle Nerentorp, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Medel från: Boliden Mineral AB

Fotograf: Gunilla Pihl Karlsson

Rapportnummer C 688

ISBN 978-91-7883-396-2

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2022**

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

I denna rapport redovisas mätresultaten från det hydrologiska året 2020/21 vad gäller metaller, svavel och kväve i deposition och avrinning i närheten av Boliden Mineral AB:s smältverk vid Rönnskär. I rapporten redovisas även jämförelser med tidigare års resultat, sedan mitten av 1980-talet, för svavel och kväve vid andra relevanta lokaler med liknande mätningar inom Krondroppsnetet i norra Sverige samt för metaller vid bakgrundsstationer inom nationell miljöövervakning. Depositionen vid Holmsvattnet jämförs också med emissioner av vissa metaller från Rönnskärsverken, Sverige och EU27 + UK.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
1 Inledning	8
2 Resultat 2020/2021	8
2.1 Deposition vid Holmsvattnet.....	9
2.1.1 Metaller	9
2.1.2 Försurande och övergödande ämnen.....	16
2.2 Avrinning	26
2.2.1 Metaller	26
2.3 Markvattenkemin vid Holmsvattnet	29
2.4 Jämförelser av emissioner, mätningarna vid Holmsvattnet och andra relevanta mätplatser	33
2.4.1 Metaller	33
2.4.2 Försurande och övergödande ämnen.....	39
3 Metoder för provtagning, analys samt databearbetning.....	48
3.1 Deposition	48
3.1.1 Insamling av krondropp för metallanalyser	49
3.1.2 Insamling av krondropp för analys av försurande och övergödande ämnen	49
3.1.3 Insamling av nederbörd över öppet fält för metallanalyser	49
3.1.4 Insamling av nederbörd över öppet fält för analys av försurande och övergödande ämnen	49
3.2 Avrinningsvatten, hydrologi	49
3.3 Markvatten.....	50
3.4 Analysmetoder	50
3.5 Kontamineringsrisk.....	50
3.6 Trendanalys	51
4 Referenser.....	52
Bilaga 1. Historik över mätningarna vid Holmsvattnet från 1986 fram till i dag.....	53

Sammanfattning

På uppdrag av Boliden Mineral AB genomför IVL Svenska Miljöinstitutet AB sedan mitten av 1980-talet undersökningar av deposition och avrinning av bland annat svavel, kväve samt metaller i ett granskogsområde vid Holmsvattnet, ca 15 km SSV om Rönnskärsverken. Inför det hydrologiska året 2013/14 flyttades mätningarna, på grund av avverkning, till en ny plats i närheten av den tidigare mätstationen. I denna rapport jämförs resultaten från mätningarna 2020/21 vid Holmsvattnet med tidigare mätningar i området samt med mätningar vid andra mätplatser inom Krondroppsnetet och med mätplatser inom den nationella miljöövervakningen rörande metaller. I årets rapport jämförs även nedfallet med emissioner för svavel och vissa metaller från Rönnskärsverken, Sverige och EU27 + UK. Syftet med mätningarna är att kvantifiera det atmosfäriska nedfallet samt beskriva förändringar i kemin i det avrinnande vattnet.

NEDFALL PÅ ÖPPET FÄLT OCH VIA KRONDROPP

Månadsvisa nederbörds- och krondroppsmängder visade under 2020/21 liknande mängder och variationer. Den årsvisa nederbörds mängden visade på en liten ökning från 2019/20 till 2020/21, och krondroppsmängden var 2020/21 den högst uppmätta sedan starten av mätningarna.

Nedfallet av samtliga mätta metaller (aluminium, koppar, zink, bly, barium, arsenik, nickel, kobolt, kadmium, krom) var lägre under januari till mars, samt i september, jämfört med resterande månader och uppvisade liknande mönster som nederbörds- och krondroppsmängden. För flera metaller (aluminium, arsenik, barium, kobolt, nickel och zink) uppmättes högre nedfall i krondropp än över öppet fält, vilket kan bero på större torrdeposition via krondropp. Aluminium är den metall som har uppmätt högst nedfall sedan starten av mätningarna och har fortsatt högst årsdeposition av metallerna 2020/21 (105 g/ha i krondropp, 70 g/ha över öppet fält). Jämfört med förgående års mätning har många metaller ökad deposition i krondropp, vilket kan bero på den ökade krondroppsmängden.

Statistiska analyser har gjorts med Mann-Kendall för tre olika tidsperioder: 2000/01-2020/21, 1991/92-2020/21, 1986/87-2020/21. För de senaste 20 åren är det zinknedfallet som har minskat mest, med 72 % i krondropp och 68 % över öppet fält. För samma period har depositionen för samtliga metaller minskat med minst 40 % i krondropp. För tidsperioden på 29 år har nedfallet av bly minskat mest, med 71 %, i krondropp. Kopparnedfallet har minskat med 43 % i krondropp men ökat med 69 % över öppet fält under samma tidsperiod. Sett över tidsperioden på 34 år har blynedfallet minskat mest, med 74 % i krondropp och 56 % över öppet fält, och samtliga metaller har minskat i krondropp med minst 50 %.

Generellt har svavelnedfallet i norra Sverige under mätperioden varit relativt lågt och liksom för övriga Sverige har det minskat genom åren. Vid Norrlands kustland har svavelnedfallet dock genom åren varit förhållandevis högt, i synnerhet vid Holmsvattnet. I början av 1990-talet uppmättes ett svavelnedfall vid Holmsvattnet, Bäcksjö och Lakamark, som alla ligger i Västerbottens och Västernorrlands kustområde, på cirka 5–6 kg per hektar, medan svavelnedfallet i Västerbottens fjällnära område under samma period var under 1,5 kg per hektar. Liksom i övriga Sverige har svavelbelastningen i området runt Holmsvattnet dock minskat kraftigt sedan slutet av 1980-talet. I norra Sverige finns en gradient vad gäller svavelnedfall från Norrlandskusten mot fjällområdena, vilket syns tydligt även under mätåret 2020/21. Under 2020/21 var svavelnedfallet vid de olika mätplatserna högre än på flera år. Högst svavelnedfall i norra Sverige under mätåret 2020/21 uppmättes i krondropp vid Holmsvattnet på 1,5 kg per hektar följt av Lakamark, Bäcksjö med vardera 1,3 kg per hektar. Svavelnedfallet i krondroppet under 2020/21 vid Holmsvattnet var det högsta som uppmättes sedan 2016/17. Dock är det fortfarande ett lågt svavelnedfall. Det högsta svavelnedfallet som uppmättes i Sverige under 2020/21 var vid Stenshult, beläget på Romeleåsen i Skåne, där nedfallet var 3,6 kg per hektar.

Det beräknade totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog i Sverige under det hydrologiska året 2020/21 varierade mellan 1 och 2 kg per hektar i norra Sverige och mer än 10 kg per hektar vid två platser i sydvästra Sverige. Den kritiska belastningen för övergödande kväve till gran- och tallskog i Sverige, 5 kg per hektar och år, överskreds inte i något av länen i norra Sverige under 2020/21. Det beräknade totala kvävednedfallet till barrskogen i Holmsvattnet beräknades till 2,8 kg per hektar under 2020/21, vilket är högre än det uppmätta

nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden över öppet fält (utan torrdeposition) som var 2,4 kg per hektar. 2,4 kg kväve per hektar med nederbörden under 2020/21 var dock det högsta kvävenedfallet som uppmätts sedan 2014/15.

Under de senaste 34 åren har svavelnedfallet och det totala nedfallet av försurande ämnen, räknat som vätejoner, såväl som nedfallet av oorganiskt kväve vid Holmsvattnet minskat både i krondroppet och via nederbörden över öppet fält. Däremot finns ingen statistiskt signifikant förändring av nederbörds-/krondroppsmängden eller kloridnedfallet, sedan mätstarten, vare sig i nederbörden eller via krondropp. Om man istället ser på de senaste 20 åren så har det totala nedfallet av försurande ämnen, räknat som vätejoner, minskat statistiskt signifikant i nederbörden men inte i krondroppet. Svavelnedfallet, utan bidrag från havssalt, har minskat signifikant i både nederbörden över öppet fält samt i krondroppet. Nedfallet av oorganiskt kväve vid Holmsvattnet har inte minskat under de senaste 20 åren vare sig i nederbörden över öppet fält eller i krondroppet. Inte heller finns någon statistiskt signifikant förändring av nederbörds-/krondroppsmängden eller kloridnedfallet i nederbörden eller krondroppet under de senaste 20 åren.

Vid en jämförelse av trendanalyser mellan andra mätplatser i området kring Holmsvattnet minskade svavelnedfallet utan havssalt, via krondropp, statistiskt signifikant vid samtliga fem jämförbara mätplatser, Holmsvattnet, Lakamark, Bäcksjö, Nymyran och Storulvsjön, med mellan 62 och 75 % under de senaste 24 åren. Minskningen har varit minst vid Holmsvattnet och störst vid Nymyran och Storulvsjön.

När det gäller nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden har det, under de senaste 24 åren, minskat statistiskt signifikant vid endast en av de tre jämförbara mätplatser, Storulvsjön med 36 %. Inga förändringar av det oorganiska kvävenedfallet med nederbörden har noterats vid vare sig Holmsvattnet eller Högbränna.

AVRINNING

Avrinningsmängder för Holmsvattnet, uppskattade från vattenföringsdata från Kågeälven, ökade under det hydrologiska året 2020/21 jämfört med 2019/20, främst på grund av den kraftigt ökade avrinningen under vinterhalvåret som ökade från 72 mm till 218 mm. Både årsvis avrinning och färgtal ökade från 2019/20 till 2020/21.

Högst halter och transporter uppmättes för aluminium, zink, barium och krom. För flera metaller (arsenik, bly, kadmium, koppar och zink) uppmättes generellt högre halter och transporter i den nya mätbäcken som det började mätas i under 2013/14. Transporten av samtliga metaller ökade från 2019/20 till 2020/21, troligtvis till följd av den ökade avrinningen. Däremot har uppmätta halter av metaller minskat under de tre senaste åren för barium, kadmium, kobolt, nickel och zink.

Färgtal och metallhalter uppvisar liknande mönster för metallerna arsenik, koppar och bly, vilket kan bero på att de binds starkare till humus i vattnet än övriga mätta metaller.

MARKVATTEN

Under 2021 varierade pH relativt kraftigt i markvattnet vid Holmsvattnet, allt från pH 5,2, som innebär måttlig surhet, till pH 6,0 som innebär låg surhet. Även halterna av toxiskt oorganiskt aluminium varierade relativt kraftigt, mellan 0,08 och 0,28 mg/l, under 2021. Orsakerna till de lägre pH-värdena och högre halterna av oorganiskt aluminium som förekom vid några mättillfällen under 2020 och 2021 är ännu oklara. Den syraneutraliserande förmågan (ANC, "Acid Neutralizing Capacity") var dock positiv i markvattnet vid Holmsvattnet, vilket indikerar att markvattnet har en buffrande förmåga. Under 2021 uppmättes inte några halter av nitrat- eller ammonium i markvattnet som var över detektionsgränsen. Att det inte finns något kväveläckage till markvattnet tyder på att både träd och vegetation i området tar upp det kväve som finns i marken. Ingen signifikant förändring av varken pH, halterna av $\text{SO}_4\text{-S}_{\text{ex}}$, ANC, oorg-Al eller NH_4 skedde i markvattnet vid den gamla mätstationen för Holmsvattnet under perioden 1998–2010. Däremot ökade nitralthalterna i markvattnet under den perioden. En statistisk analys har även genomförts på markvattnet vid den nya mätplatsen för perioden 2013–2021, och ingen signifikant förändring kunde påvisas för vare sig pH, $\text{SO}_4\text{-S}_{\text{ex}}$, ANC, oorg-Al, NO_3 eller NH_4 .

Markvattnets försurningsstatus i norra Sverige, angivet som median för åren 2019–2021, visar att markvattenkemin i norra Sverige generellt är relativt lite försurningspåverkad om man jämför med övriga

Sverige, speciellt om man undantar de kustnära mätplatserna i Västerbotten (Holmsvattnet och Bäcksjö). Dessa platser har under lång tid utmärkt sig som ytor med lägre pH, vilket kan förklaras av en kombination av högre svavelnedfall längs norrlandskusten jämfört med längre inåt landet, och jordar med låg motståndskraft mot försurning. Att kustområdet är mer påverkat jämfört med inlandet, på samma breddgrad eller norröver, syns även på andra parametrar, till exempel ANC.

EMISSIONER OCH JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA MÄTPLATER

Nedfall av arsenik, kadmium, koppar, bly och zink över öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet har jämförts med utsläpp av respektive metall från Rönnskärsverken, Sverige och de totala utsläppen från 27 EU-länder plus Storbritannien. Metallnedfallen har också jämförts med mätningar av metalldeposition vid bakgrundsstationer inom den svenska miljöövervakningen.

Från 1992 har emissionerna av arsenik minskat från alla tre nivåer (Rönnskärsverken, Sverige och EU), men endast i krondropp ses en signifikant minskning i nedfall. Kadmium har under samma period minskat från Rönnskär med 87 %, med 68 % på EU-nivå och med 32 % nationellt. Ingen signifikant skillnad observerades för nedfallet av kadmium i krondropp eller över öppet fält. Koppardepositionen över öppet fält har från 1992 ökat med 69 %, trots att emissionerna från Rönnskär, Sverige och EU signifikant minskat med respektive 77 %, 33 % och 3.6 %. Bly- och zinkdepositionen har båda minskat under samma period i liknande takt som emissionerna på samtliga tre nivåer. Över öppet fält ses dock inga signifikanta skillnader.

Nedfallet av metaller vid Holmsvattnet har också jämförts med metalldepositionen vid fyra bakgrundsstationer i Sverige och en i norra Finland. Arsenik, bly och zink visar generellt något högre deposition vid Holmsvattnet än vid bakgrundsstationerna. Kadmiumnedfallet, däremot, ligger på liknande nivåer som vid bakgrundsstationerna. Vid bakgrundsstationerna har en kraftig ökning av nedfallet av koppar uppmätts mellan 2019 och 2021. Detta trots att emissionerna av koppar har minskat nationellt och inom EU. Denna ökning har inte uppvisats vid Holmsvattnet och anledningen till ökningen vid bakgrundsstationer har inte kunnat påvisas.

Om man jämför svavelemissionerna till luft från Rönnskärsverken med de från EU27 och UK samt med de från Sverige så framgår det relativt tydligt att svavelemissionerna från Rönnskärsverken minskade snabbt under slutet av 1980-talet fram till början av 1990-talet. Efter 1995 verkar ingen större förändring av svavelemissionerna från Rönnskärsverken ha skett. Om man istället ser till EU27+UK och till Sverige som helhet syns att svavelemissionerna från dessa områden har minskat kontinuerligt i en stadig långsam takt.

Sedan 1991/92 fram till 2020/21 har svavelnedfallet, utan bidrag från havssalt, via krondropp vid Holmsvattnet minskat med 69 %, Som jämförelse har svavelemissionerna under perioden 1992-2019 från Sverige minskat med 82 % och från EU27+UK med 99 %. Under perioden 1992-2021 har inte svavelemissionerna till luft vid Rönnskärsverken förändrats statistiskt signifikant. Nedfallet vid Holmsvattnet påverkas av både långdistanstransporterade luftföroreningar och lokala utsläpp.

1 Inledning

På uppdrag av Boliden Mineral AB genomför IVL Svenska Miljöinstitutet AB (IVL), sedan mitten av 1980-talet, undersökningar av bland annat försurande och övergödande ämnen samt ett antal metaller i deposition och avrinning i närheten av Boliden Mineral AB:s smältverk vid Rönnskär. Syftet är att kvantifiera och beskriva eventuella förändringar i deposition samt halter i avrinningsvattnet över tid. Föreliggande rapport beskriver resultaten från undersökningarna under det hydrologiska året 2020/21 (oktober 2020 till och med september 2021). Jämförelser görs med tidigare års resultat samt med andra relevanta lokaler med liknande mätningar i norra Sverige. Metodik för provtagning, mätningar, kemiska analyser samt statistisk analys beskrivs i kapitel 3. Historiken över hur tidigare mätningar genomförts beskrivs i Bilaga 1.

I mitten av maj 2011 avverkades skogen vid den tidigare provytan (markerad med blå stjärna i Figur 1) och krondropps- och markvattenmätningarna avslutades därmed vid denna plats. I samband med detta, och på grund av andra oförutsedda händelser, blev det ett mätuppehåll även för mätningarna över öppet fält från mitten av maj 2011 till slutet av augusti samma år. Detta medförde att inget årsmedel kunde beräknas för det hydrologiska året 2010/11 för dessa mätningar. Mätningarna av avrinningsvattnet genomfördes dock under hela det hydrologiska året 2010/11.

Samtliga mätningar; på öppet fält, i krondropp och i markvatten, flyttades i oktober 2013 till en ny plats (markerade med rött i Figur 1). Även provtagningen för bestämning av metallhalter i avrinningen, har utförts i en bäck i närheten av de nya krondroppsmätningarna sedan oktober 2013. Det nya undersökningsområdet är beläget öster om sjön Holmsvattnet, ungefär 15 km sydsydväst om Rönnskärsverken.



Figur 1. Översiktskarta över Västerbottens kustområde, innanför Skelleftebukten med sjön Holmsvattnet (kvadraten), där mätningarna genomförs. Tidigare mätstation är markerad med blått och nuvarande mätplatser är markerad med rött. Till höger en detaljerad bild över var de tidigare och nuvarande mätningarna över öppet fält, krondropp och provtagningsbäck var/är belägna. Provtagningar vid nuvarande mätstationer startade i oktober 2013.

Resultaten av undersökningarna av nedfall och markvatten vid Holmsvattnet redovisas även inom Krondroppsnetet, ett nationellt/regionalt nätverk av provytor för övervakning av luftföroreningar över hela Sverige. Data presenteras även på Krondroppsnetets hemsida (<http://www.krondroppsnetet.ivl.se/>). Provtagningen vid Holmsvattnet har utförts av Robert Lundström och Mattias Karlsson, Boliden Mineral AB.

2 Resultat 2020/2021

Nedan presenteras resultaten från mätningar vid Holmsvattnet under 2020/21 i förhållande till tidigare års mätningar. Resultaten sätts även i förhållande till andra motsvarande mätningar i Sverige, samt till emissioner

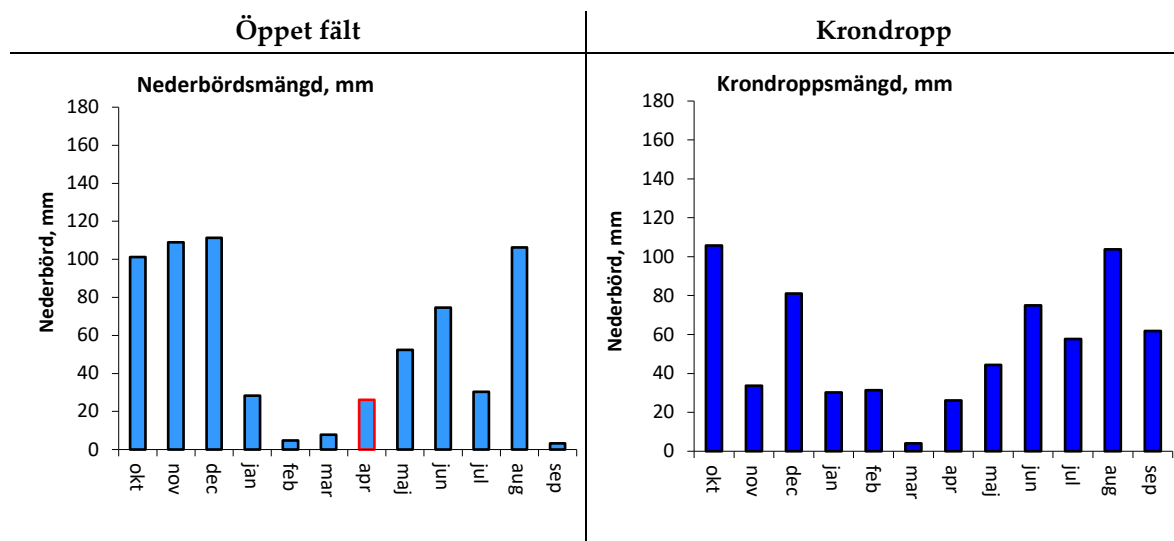
från Rönnskärsverken (som erhållits från företaget) samt från nationellt rapporterade data för Sverige och EU27 + UK (CEIP, 2022). Hydrologiska årsmedelvärden samt månadsvisa värden från undersökningarna av nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet redovisas i figurer som deposition (atrnosfäriskt nedfall). För avrinning redovisas resultaten både som halter och som transport av metaller via avrinning från området runt Holmsvattnet, och för markvattenkemi redovisas resultaten som halter. Statistiska trendanalyser har genomförts för olika perioder under den 34-åriga mätserien. .

2.1 Deposition vid Holmsvattnet

2.1.1 Metaller

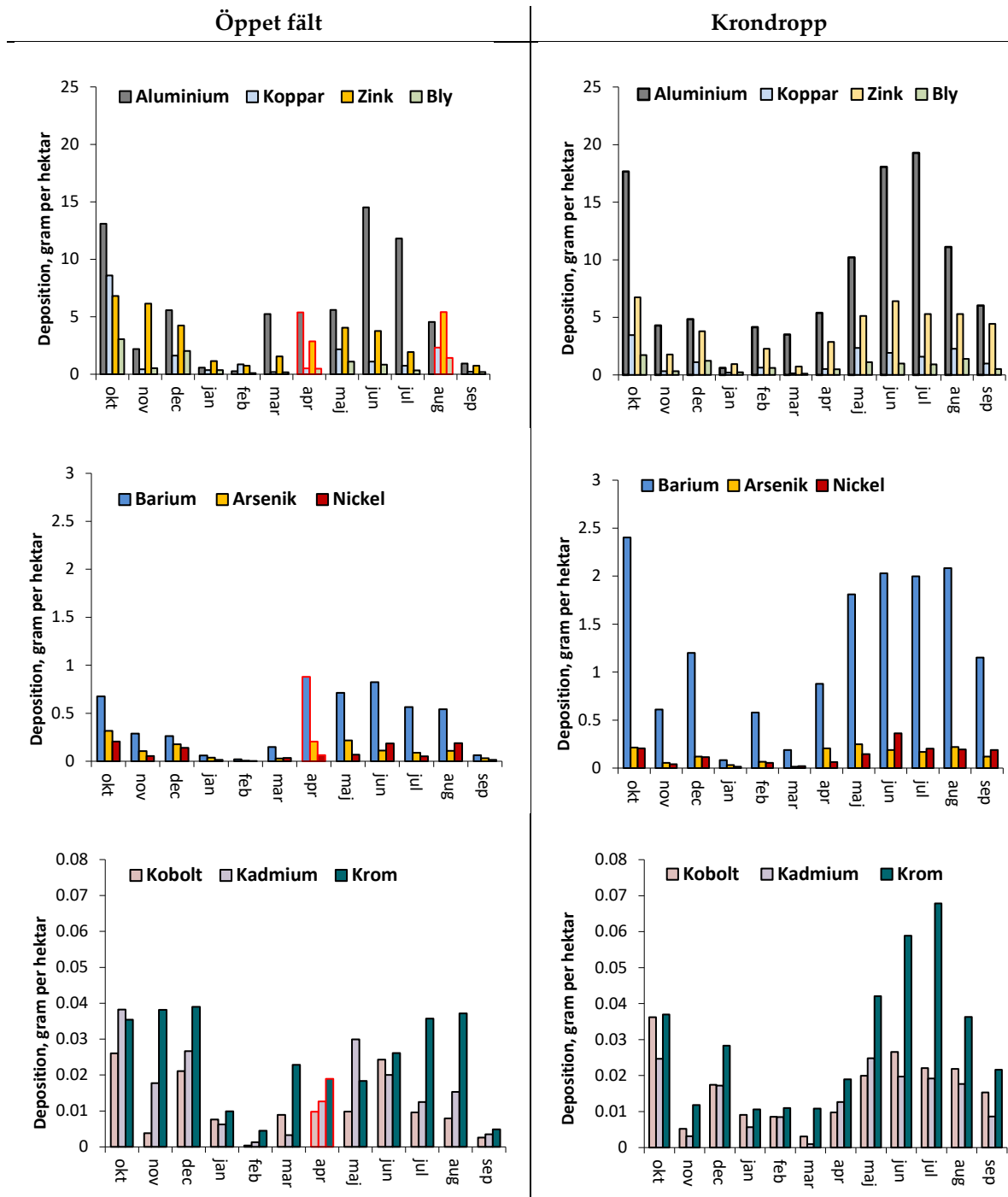
2.1.1.1 Månadsvisa resultat

Månadsvisa nederbörds- och krondroppsmängder visas i Figur 2 för det hydrologiska året 2020/21. I öppet fält saknas nederbörds- och krondroppsmängden för april, vilket beror på att provtagningsutrustningen för metallprovtagningen då hade fallit ned på marken. I figuren är saknat värde för april i öppet fält ersatt med krondroppsmängden (markerat i rött). Bortsett från det saknade aprilprovet så uppvisar nederbörds- och krondroppsmängden en likartad variation mellan månader under det hydrologiska året 2020/21.



Figur 2. Uppmätt nederbörd över öppet fält och krondroppsmängd med metallprovtagarna för det hydrologiska året 2020/21. Aprilprovet för öppet fält saknades och är i figuren ersatt av krondroppsmängden (markerat i rött).

Månadsvist nedfall över öppet fält och i krondropp av metallerna aluminium, koppar, zink, bly, barium, arsenik, nickel, kobolt, kadmium och krom, för det hydrologiska året 2020/21, presenteras i Figur 3. Då provet för april månad saknades för öppet fält har det provet uppskattats med motsvarande prov för krondropp. Även augustiprovet från öppet fält har justerats med avseende på depositionen av zink, bly och koppar på grund av kontaminering. Här beräknades nedfallet av dessa metaller med hjälp av uppmätta halter i krondropp och nederbörds- och krondroppsmängden i öppet fält. Det är för att inte underskatta årsdepositionen av metaller som dessa uppskattningar görs. För att tydliggöra vilka värden som är uppskattade i Figur 3 är dessa rödmarkerade.



Figur 3. Månadsvis metalldeposition över öppet fält och som kronddropp vid Holmsvattnet under oktober 2020 – september 2021 för metallerna aluminium, koppar, zink, bly, barium, arsenik, nickel, kobolt, kadmium och krom. Värderna för april i öppet fält är direkt ersatta med resultat från kronddropp på grund av att aprilprovet saknades. För koppar, zink och bly har augustiprovet uppskattats med halter uppmätta i kronddropp. Detta på grund av kontaminerat prov i öppet fält. Uppskattade och ersatta värden är rödmarkerade i figuren.

Nedfallet av samtliga metaller var lägre under januari till mars, samt september, jämfört med resten av året, vilket sammanföll med lägre nederbörds- och kronddroppsmängder. Från maj till augusti ökade nederbörds- och kronddroppsmängden och även nedfallet av samtliga metaller. För flera metaller (aluminium, arsenik, barium, kobolt, nickel och zink) uppmättes högre nedfall i kronddropp än över öppet fält, vilket kan bero på att, den så kallade, torrdepositionen har en större betydelse för dessa ämnen.

De metaller som uppmättes ha högst nedfall, i g/ha, var aluminium, koppar, zink och bly där aluminium uppmättes ha det högsta nedfallet på cirka 14 g/ha i krondropp under juli. Aluminium är den vanligaste metallen i jordskorpan och den näst vanligaste metallen som används i vårt samhälle (Teknikhandboken, 2022). Högre nedfall av koppar, zink och bly kan förklaras med att metallerna är några av Rönnskärsverkens främsta produkter. Även nickel är en av Rönnskärsverkens huvudprodukter (Boliden group, 2022).

2.1.1.2 Årsvisa resultat

I Figur 4 och 5 visas årsvis nederbörds- och krondroppsmängd samt årsvis metalldeposition för de metaller som undersökts vid Holmsvattnet under perioden 1986/87 till 2020/21.

Den årsvisa nederbörds mängden på öppet fält (blå trekantar) och i krondropp (gröna fyrkanter) har varierat stort med en liten ökning under året 2020/21 jämfört med 2019/20. Krondroppsmängden under 2020/21 var högre än nederbörds mängden på öppet fält och var dessutom den högst uppmätta sedan starten av mätningarna. Många metaller uppvisade också en stor årsvariation i deposition, dock utan någon synbar korrelation mot uppmätt nederbörds- och krondroppsmängd.

Vid den nya mätplatsen (mörkblå trekantar och ljusgröna fyrkanter i Figur 4 och 5) har det generellt uppmätts lägre metalldeposition, främst för krondropp och med undantag för koppar. Den lägre depositionen av övriga metaller vid den nya mätplatsen skulle kunna bero på lägre torrdeposition jämfört med den tidigare placeringen av mätutrustning.

Aluminium är den metall med högst uppmätt nedfall i krondropp sedan starten av mätningarna. Innan mätplatsen flyttades sågs en ökning i nedfall mätt som krondropp, med de högst uppmätta nedfallen under 2008/09 (370 g/ha) och 2009/10 (426 g/ha), se Figur 4. Vid den nya mätplatsen under 2010/11 uppmättes i stället ett nedfall på 130 g/ha och nedfallet har sedan dess minskat till ett nedfall 2019/20 på 70 g/ha. Till 2020/21 har nedfallet i krondropp ökat något till 105 g/ha. Nedfallet över öppet fält 2020/21 var 70 g/ha.

Arseniknedfallet har ökat något i krondropp sedan föregående mätår, men generellt ser nedfallet av arsenik ut att fortsatt ha en nedåtgående trend.

Förutom för åren 1999/2000 och 2006/07 har nedfallet av barium inte varierat så mycket. Vid den gamla mätplatsen uppvisade nedfallet i krondropp en något ökande trend sedan mätstarten. Vid den nya mätplatsen är nedfallet av barium lägre i både krondropp och över öppet fält. Sedan förra mätåret 2019/20 har nedfallet i krondropp ökat från 11,5 till 15 g/ha. I nederbörd har nedfallet däremot minskat från 6,7 till 5,0 g/ha.

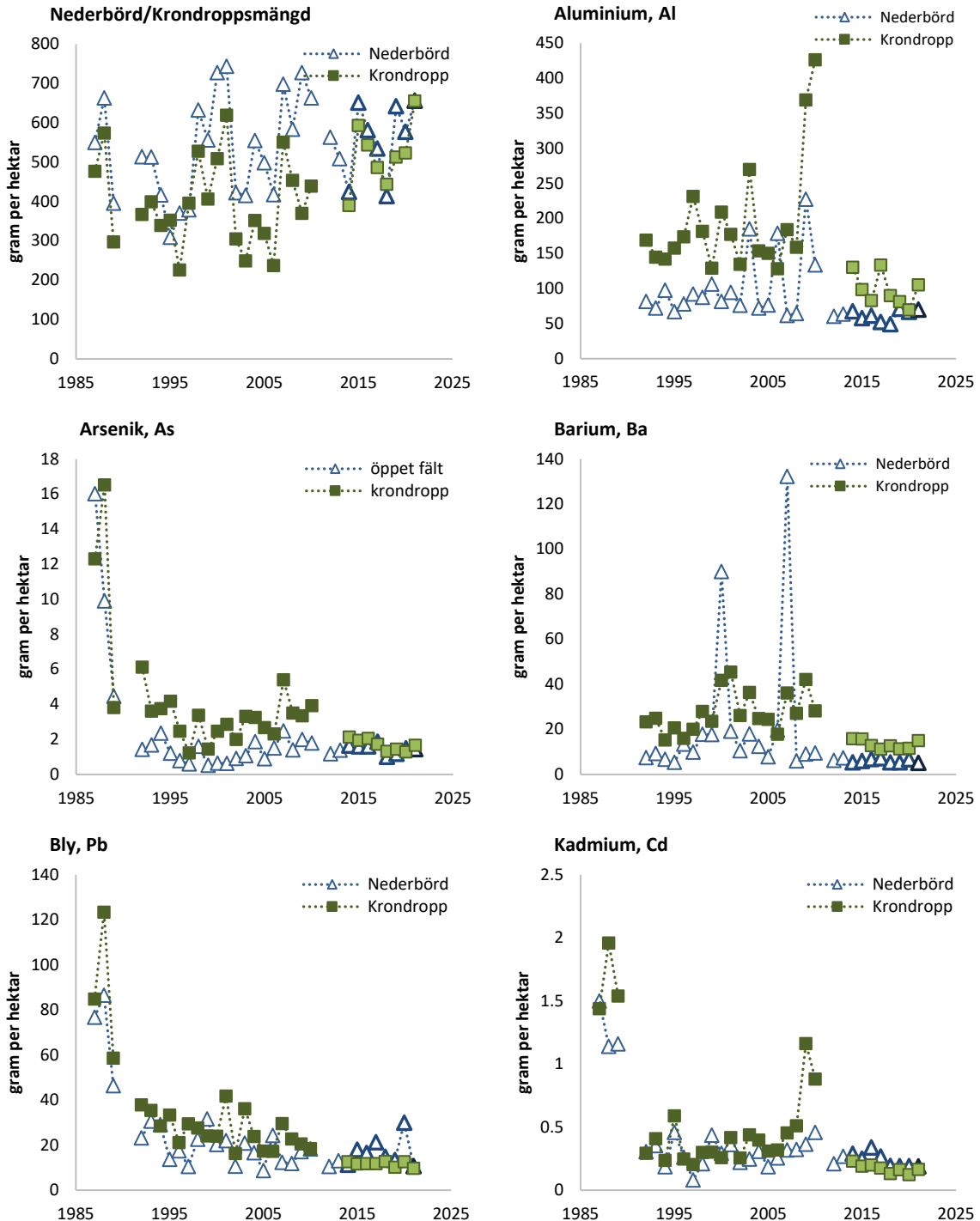
Blydepositionen har under det hydrologiska året 2020/21 minskat sedan föregående år från 30 g/ha i öppet fält till 11 g/ha och från 13 g/ha i krondropp till 9,6 g/ha.

Kadmiumnedfallet i krondropp ökade något från 0,12 till 0,16 g/ha från 2019/20 till 2020/21.

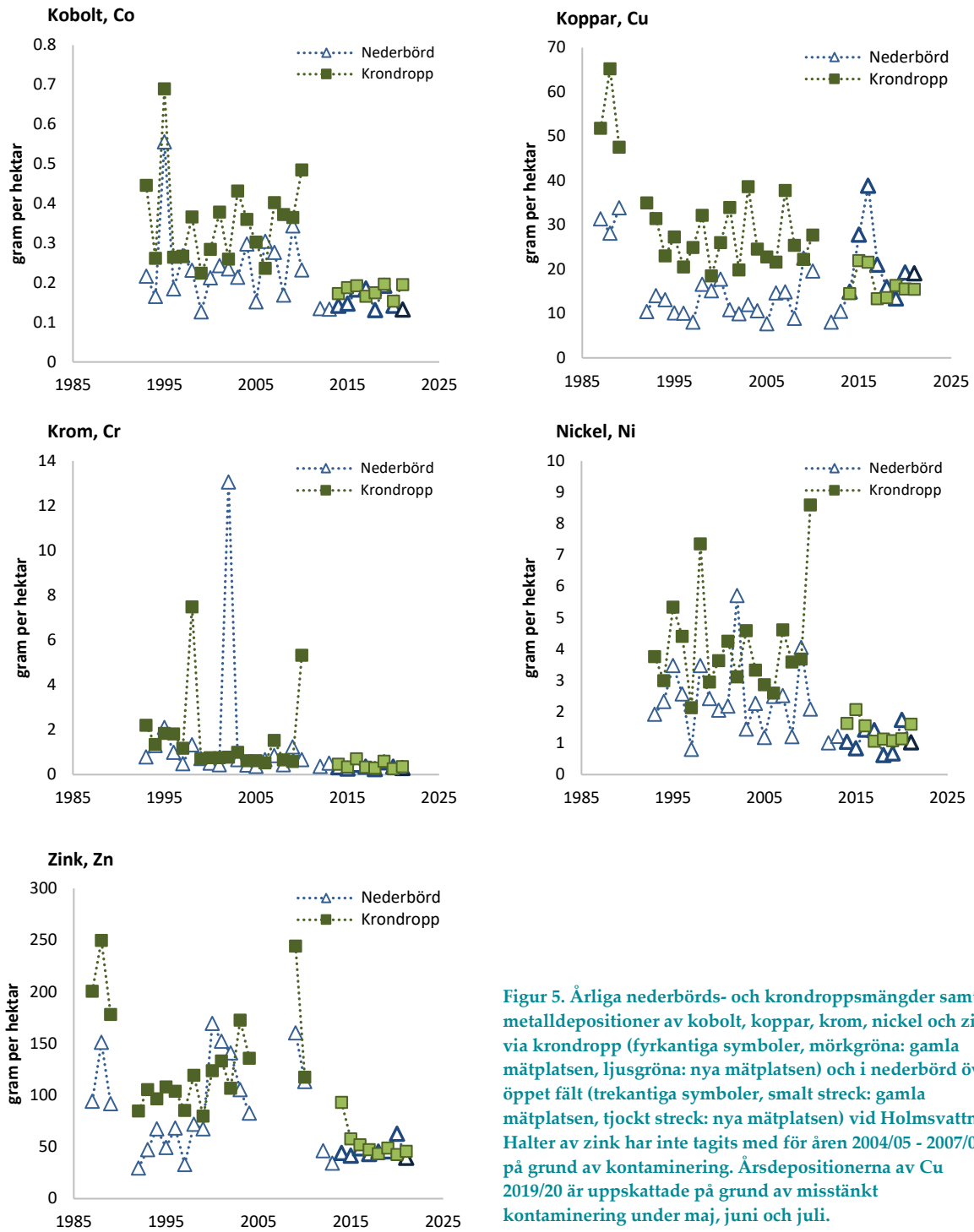
För kobolt ökade årsdepositionen i krondropp något från föregående hydrologiska året till 2020/21, från 0,15 g/ha till 0,19 g/ha (Figur 5).

Under året 2019/20 uppmättes kraftigt förhöjda värden av koppar på öppet fält under maj (47 g/ha), juni (18 g/ha) och juli (21 g/ha) och i krondroppet under maj (13 g/ha), juni (7 g/ha) och juli (8 g/ha). Dessa höga värden justerades på grund av misstänkt kontaminering i samband med provtagningen, med hjälp av interpolering (se Pihl Karlsson & Nerentorp, 2021). Efter justeringen uppskattades årsdepositionen av koppar under 2019/20 till 15,5 g/h i krondropp och 19,9 g/ha på öppet fält. Årsdepositionen för koppar under det hydrologiska året 2020/21 uppmättes till 15,4 g/ha i krondropp och 19,1 g/ha på öppet fält, vilket är en liten minskning sedan föregående års uppskattade depositioner (Figur 5).

För krom och nickel ökade årsdepositionen i kronddropp något från förgående hydrologiska år, från 0,25 g/ha till 0,36 g/ha respektive från 1,1 g/ha till 1,6 g/ha. Zinkdepositionen har minskat över öppet fält sedan förgående hydrologiska år från 63 g/ha till 39 g/ha. I kronddropp var årsdepositionen för zink ungefär samma som förgående år (Figur 5).



Figur 4. Årliga nederbörds- och kronddroppsmängder samt metalldepositioner av aluminium, arsenik, barium, bly och kadmium via kronddropp (fyrkantiga symboler, mörkgröna: gamla mätplatsen, ljusgröna: nya mätplatsen) och i nederbörd över öppet fält (trekantiga symboler, smalt streck: gamla mätplatsen, tjockt streck: nya mätplatsen) vid Holmsvättnet.



Figur 5. Årliga nederbörds- och kronddroppsmängder samt metalldepositioner av kobolt, koppar, krom, nickel och zink via kronddropp (fyrkantiga symboler, mörkgröna: gamla mätplatsen, ljusgröna: nya mätplatsen) och i nederbörd över öppet fält (trekantiga symboler, smalt streck: gamla mätplatsen, tjockt streck: nya mätplatsen) vid Holmsvattnet. Halter av zink har inte tagits med för åren 2004/05 - 2007/08 på grund av kontaminering. Årsdepositionerna av Cu 2019/20 är uppskattade på grund av misstänkt kontaminering under maj, juni och juli.

2.1.1.3 Statistisk analys

Statistiska trendanalyser har gjorts med Mann-Kendall för tre olika perioder (20 år: 2000/01–2020/21, 29 år: 1991/92 – 2020/21, 34 år: 1986/87 – 2020/21) Signifikans anges i tabellerna 1-3 i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = ***$ signifikans. I tabellerna presenteras total procentuell förändring över hela perioden. Denna uträkning är baserad på en medelnormaliserad trendlinje, vilket är en trendlinje som är justerad så att mitten på linjen hamnar i nivå för medelvärdet för alla ingående y-värden.

Mer information om den statistiska analysen presenteras i Kapitel 3.6. De statistiska analyserna av tidstrender har gjorts under antagandet att byte av mätplats inte har spelat någon roll.

I Tabell 1 visas statistiken för de senaste 20 åren. Den metall som minskat mest under tidsperioden är zink som minskat 72 % i krondropp och 68 % i nederbörd. Förutom för krondroppsmängden som ökat under perioden med 77 % så har nedfallet av samtliga analyserade metaller minskat med minst 40 %. I öppet fält däremot uppvisar flera metaller icke signifikanta skillnader under perioden (arsenik, kadmium, och bly). Nedfallet av koppar till öppet fält uppvisar en ökning med 81 %.

Tabell 1. Statistisk analys med Mann-Kendall för tidsperioden 2000/01–2020/21 (20 år) för mätningarna på öppet fält (ÖF) och för krondroppsmätningarna (KD) vid Holmsvattnet. Signifikans anges i tabellen i tre olika nivåer; p<0,05 = * signifikans; p<0,01 = ** signifikans; p<0,001 = * signifikans.**

Grupp	Parameter	Första År	Sista År	Antal värden	p	*, **, ***	Total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje)
Krondropp-metaller	Al_g/ha	2000/01	2020/21	18	0,008	**	-45
Krondropp-metaller	As_g/ha	2000/01	2020/21	18	0,0051	**	-53
Krondropp-metaller	Ba_g/ha	2000/01	2020/21	18	0,0005	***	-60
Krondropp-metaller	Cd_g/ha	2000/01	2020/21	18	0,0064	**	-57
Krondropp-metaller	Co_g/ha	2000/01	2020/21	18	0,01	*	-52
Krondropp-metaller	Cr_g/ha	2000/01	2020/21	18	0,0051	**	-43
Krondropp-metaller	Cu_g/ha	2000/01	2020/21	18	0,0031	**	-51
Krondropp-metaller	Krondroppsmängd	2000/01	2020/21	18	0,023	*	77
Krondropp-metaller	Ni_g/ha	2000/01	2020/21	18	0,004	**	-65
Krondropp-metaller	Pb_g/ha	2000/01	2020/21	18	0,0003	***	-64
Krondropp-metaller	Zn_g/ha	2000/01	2020/21	14	0,0005	***	-72
Öppet fält-metaller	Al_g/ha	2000/01	2020/21	20	0,0104	*	-29
Öppet fält-metaller	As_g/ha	2000/01	2020/21	20	0,6265		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Ba_g/ha	2000/01	2020/21	20	0,0002	***	-44
Öppet fält-metaller	Cd_g/ha	2000/01	2020/21	20	0,1273		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Co_g/ha	2000/01	2020/21	20	0,0104	*	-43
Öppet fält-metaller	Cr_g/ha	2000/01	2020/21	20	0,0058	**	-28
Öppet fält-metaller	Cu_g/ha	2000/01	2020/21	20	0,0252	*	81
Öppet fält-metaller	Nederbördsmängd	2000/01	2020/21	20	0,8711		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Ni_g/ha	2000/01	2020/21	20	0,0086	**	-55
Öppet fält-metaller	Pb_g/ha	2000/01	2020/21	20	0,9225		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Zn_g/ha	2000/01	2020/21	16	0,0133	*	-68

I Tabell 2 presenteras den statistiska analysen för perioden 1991/92 till 2020/21. För kobolt, krom och nickel presenteras dock data från 1992/93 till 2020/21 eftersom det var då de började mätas. Sett på en 29-årsperiod är förändringarna av metallnedfallen inte lika omfattande som över de senaste 20 åren. Zinknedfallet visar en minskning i krondropp på 44 % men visar inte en signifikant ändring i öppet fält. Den största minskningen av nedfall i krondropp de senaste 29 åren står bly för. Däremot syns ingen signifikant skillnad i öppet fält. Kopparnedfallet har minskat med 43 % i krondropp, men har ökat med 69 % i öppet fält.

Tabell 2. Statistisk analys med Mann-Kendall för tidsperioden 1991/92-2020/21 (29 år) för mätningarna på öppet fält (ÖF) och för krondroppsmätningarna (KD) vid Holmsvattnet. Signifikans anges i tabellen i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = ***$ signifikans.

Grupp	Parameter	Första År	Sista År	Antal värden	p	*, **, ***	Total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje)
Krondropp-metaller	Al_g/ha	1991/92	2020/21	27	0,0156	*	-39
Krondropp-metaller	As_g/ha	1991/92	2020/21	27	0,0035	**	-56
Krondropp-metaller	Ba_g/ha	1991/92	2020/21	27	0,0411	*	-40
Krondropp-metaller	Cd_g/ha	1991/92	2020/21	27	0,073		Ej signifikant
Krondropp-metaller	Co_g/ha	1992/93	2020/21	26	0,0082	**	-40
Krondropp-metaller	Cr_g/ha	1992/93	2020/21	26	0	***	-56
Krondropp-metaller	Cu_g/ha	1991/92	2020/21	27	0,0015	**	-43
Krondropp-metaller	Krondroppsmängd	1991/92	2020/21	27	0,0139	*	52
Krondropp-metaller	Ni_g/ha	1992/93	2020/21	26	0,0017	**	-64
Krondropp-metaller	Pb_g/ha	1991/92	2020/21	27	0	***	-71
Krondropp-metaller	Zn_g/ha	1991/92	2020/21	23	0,0394	*	-44
Öppet fält-metaller	Al_g/ha	1991/92	2020/21	29	0,0058	**	-27
Öppet fält-metaller	As_g/ha	1991/92	2020/21	29	0,4199		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Ba_g/ha	1991/92	2020/21	29	0,0065	**	-30
Öppet fält-metaller	Cd_g/ha	1991/92	2020/21	29	0,2088		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Co_g/ha	1992/93	2020/21	28	0,0313	*	-32
Öppet fält-metaller	Cr_g/ha	1992/93	2020/21	28	0,0001	***	-44
Öppet fält-metaller	Cu_g/ha	1991/92	2020/21	29	0,0232	*	69
Öppet fält-metaller	Nederbörds mängd	1991/92	2020/21	29	0,1384		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Ni_g/ha	1992/93	2020/21	28	0,0037	**	-59
Öppet fält-metaller	Pb_g/ha	1991/92	2020/21	29	0,0747		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Zn_g/ha	1991/92	2020/21	25	0,4137		Ej signifikant

Den statistiska analysen för de senaste 34 åren (1986/87–2020/21) presenteras i Tabell 3. Blynedfallet har minskat mest med 74 % i krondropp och 56 % i öppet fält. Krondroppsmängden har ökat med 47 % men nedfallet av samtliga metaller som började mätas 1986/87 har minskat med minst 50 % i krondropp. I öppet fält syns kadmium ha minskat med 41 %, men förutom för kadmium och bly så uppvisar ingen av de övriga analyserade metallerna någon signifikant förändring under perioden.

Tabell 3. Statistisk analys med Mann-Kendall för tidsperioden 1986/87–2020/21 (35 år) för mätningarna på öppet fält (ÖF) och i krondropp (KD) vid Holmsvattnet. Signifikans anges i tabellen i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = ***$ signifikans.

Grupp	Parameter	Första År	Sista År	Antal värden	p	*, **, ***	Total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje)
Krondropp-metaller	As_g/ha	1986/87	2020/21	30	0,0001	***	-59
Krondropp-metaller	Cd_g/ha	1986/87	2020/21	30	0,0031	**	-50
Krondropp-metaller	Cu_g/ha	1986/87	2020/21	30	0	***	-60
Krondropp-metaller	Krondroppsmängd	1986/87	2020/21	30	0,0497	*	47
Krondropp-metaller	Pb_g/ha	1986/87	2020/21	30	0	***	-74
Krondropp-metaller	Zn_g/ha	1986/87	2020/21	26	0,0015	**	-60
Öppet fält-metaller	As_g/ha	1986/87	2020/21	32	0,4655		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Cd_g/ha	1986/87	2020/21	32	0,012	*	-41
Öppet fält-metaller	Cu_g/ha	1986/87	2020/21	32	0,5061		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Nederbördsmängd	1986/87	2020/21	32	0,1783		Ej signifikant
Öppet fält-metaller	Pb_g/ha	1986/87	2020/21	32	0,003	**	-56
Öppet fält-metaller	Zn_g/ha	1986/87	2020/21	28	0,1095		Ej signifikant

2.1.2 Försurande och övergödande ämnen

När det gäller svavelnedfallet bör det noteras att det i denna rapport alltid anges som sulfatsvavel utan havssaltsbidrag. Detta för att representera det antropogena svavelnedfallet.

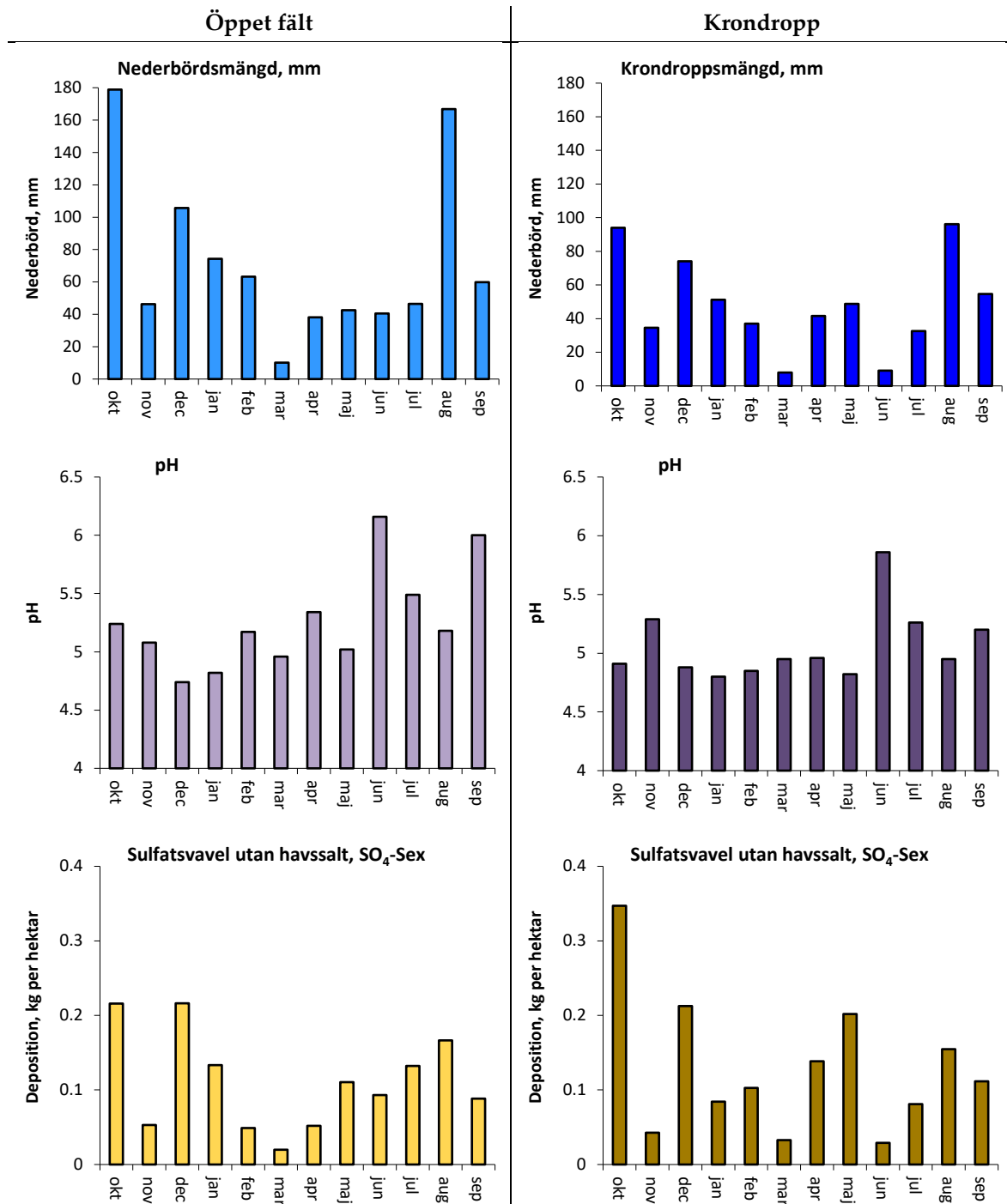
2.1.2.1 Månadsvisa resultat

I Figur 6 visas månadsvisa nederbörds-/krondroppsmängder, pH och månadsvis atmosfäriskt nedfall av sulfatsvavel på öppet fält och som krondropp för perioden oktober 2020 till och med september 2021.

Nederbördsmängderna var klart högst i oktober 2020 följt av augusti 2021 med 179 respektive 169 mm, Figur 6. Även krondroppsmängderna var högst samma månader. I mars 2021 regnade det nästan inte alls och endast 10 mm nederbörd uppmättes på öppet fält och 8 mm i krondroppet, Figur 6.

pH i nederbörden över öppet fält varierade under året mellan 4,7 och 6,2 med högst pH i juni 2021 följt av september 2021. pH i nederbörden var lägst i december 2020, Figur 6. Även i krondroppet var pH högst i juni 2021 (5,9) medan det var lägst i januari 2021 (4,8), Figur 6.

Svavelnedfallet varierade för de olika månaderna under året med 0,02 – 0,22 kg/ha i nederbörden och från 0,03–0,35 kg/ha som totalt svavelnedfall som krondropp. Klart högst svavelnedfall uppmättes för krondropp i oktober 2020, följt av december 2020 och maj 2021. Lägst svavelnedfall i krondroppet uppmättes i mars och juni 2021. Det högsta svavelnedfallet med nederbörden kom under december och oktober 2020 medan det lägsta svavelnedfallet med nederbörden kom under mars 2021 då nederbördsmängden var som allra lägst, Figur 6.



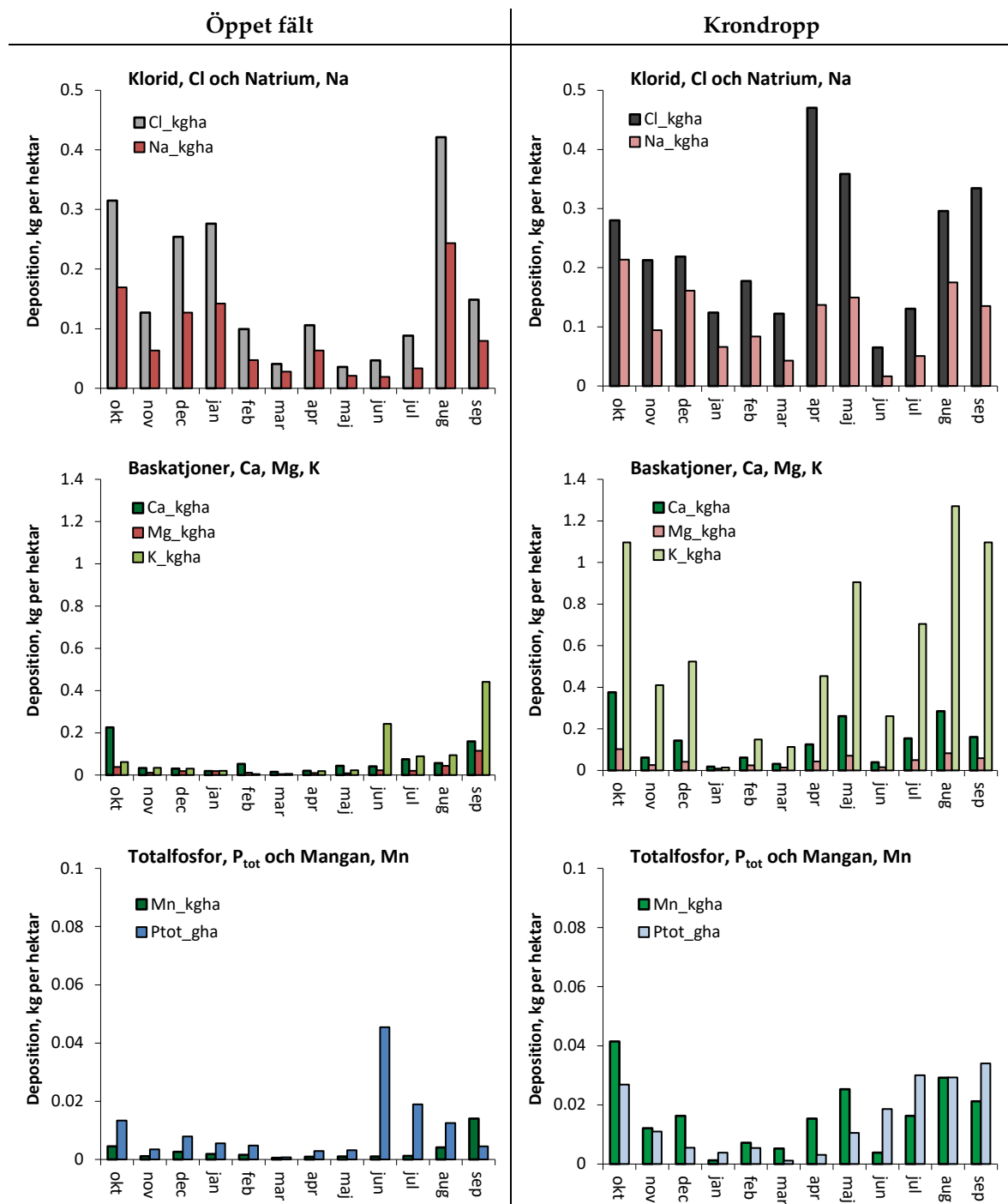
Figur 6. Månadsvis atmosfäriskt nedfall över öppet fält och som kronddropp vid Holmsvattnet under oktober 2020 – september 2021. I figuren visas uppmätt nederbördsmängd över öppet fält och kronddroppsmängd, pH samt deposition av: sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO₄-S ex).

I Figur 7 visas månadsvis atmosfäriskt nedfall på öppet fält och som kronddropp av klorid, natrium, kalcium, magnesium, kalium, totalfosfor och mangan för perioden oktober 2020 till och med september 2021.

Halterna klorid och natrium följer varandra relativt väl både i nederbörden och i kronddroppet. Det högsta totala kloridnedfallet uppmätt som kronddropp förekom under april 2021 med 0,5 kg/ha och lägst kloridnedfall var i juni 2021, med knappt 0,07 kg/ha. Det högsta kloridnedfallet med nederbörden kom under augusti 2021 med 0,4 kg/ha och lägst kloridnedfall med nederbörden, med 0,04 kg/ha, kom under mars och maj 2021, Figur 7. Nedfallet av natrium med nederbörden var även det högst i augusti 2021 och lägst i maj 2021. I kronddroppet var natriumnedfallet högst i oktober, 2020 och lägst i juni 2021, Figur 7.

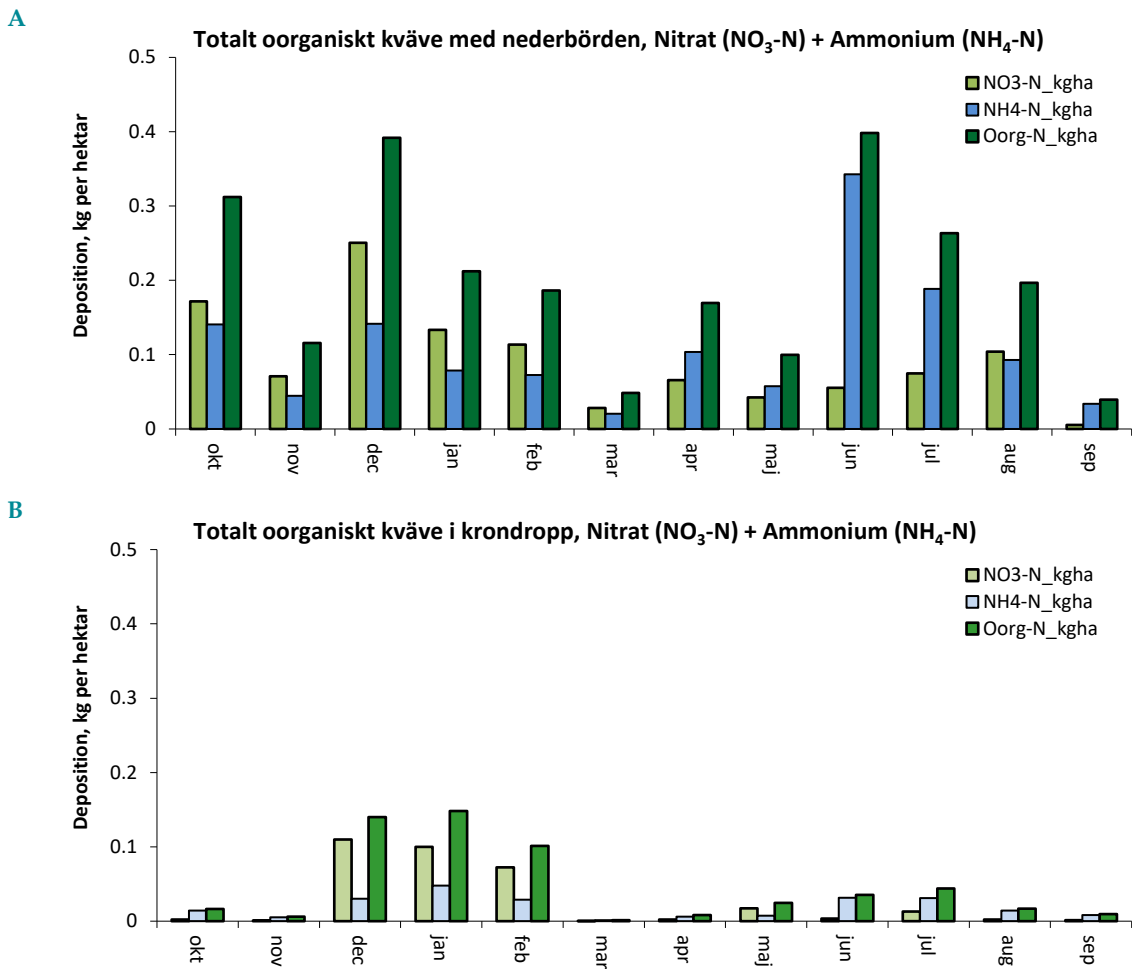
I Figur 7 visas även nedfallet av baskatjonerna, kalcium, magnesium och kalium. Liksom kväve interagerar baskatjonerna med träd Kronorna. Med nederbörden är nedfallet av baskatjonerna lågt. Även i krondroppet är nedfallet av magnesium lågt medan kalciumnedfallet är något högre och allra högst är nedfallet av kalium, vilket beror på att träden generellt främst läcker kalium, men även kalcium, Figur 7.

Även nedfallet av totalfosfor och magnesium visas i Figur 7. Mätresultaten visar på mycket låga halter av mangan och fosfor i nederbörden under 2020/21.



Figur 7. Månadsvis atmosfäriskt nedfall över öppet fält och som krondropp av: klorid (Cl), oorganiskt kväve (Oorg-N), som är summan av nitrat- och ammoniumkväve, och kalcium (Ca) vid Holmsvattnet under oktober 2020 – september 2021.

Att inte bara baskatjonerna interagerar med träd Kronorna är tydligt i Figur 8 som visar månadsvis nedfall av nitrat-, ammonium och summan oorganiskt kväve med nederbörden och i krondroppet vid Holmsvattnet under 2020/21. Att kväve tas upp direkt av träden syns tydligt i Figur 8 då nedfallet i krondroppet är betydligt lägre än i nederbörden över öppet fält. Högst kvävenedfall i nederbörden var under juni 2021 följt av december 2020 båda med 0,4 kg/ha vardera och lägst under september, följt av mars 2021 med 0,04 respektive 0,05 kg/ha, Figur 8. I krondroppet var det oorganiska kvävenedfallet generellt nära 0 under stora delar av året och något högre under december 2020 – februari 2021.



Figur 8. Månadsvis atmosfäriskt nedfall över öppet fält och som krondropp av nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N) och oorganiskt kväve (Oorg-N), som är summan av nitrat- och ammoniumkväve, vid Holmsvattnet under oktober 2020 – september 2021.

2.1.2.2 Årsvisa resultat

I Figur 9 visas årsvisa nederbörds- och krondroppsmängder samt atmosfäriskt nedfall av vätejoner, sulfatsvavel och klorid med nederbörden över öppet fält och som krondropp under perioden 1986/87 till 2020/21.

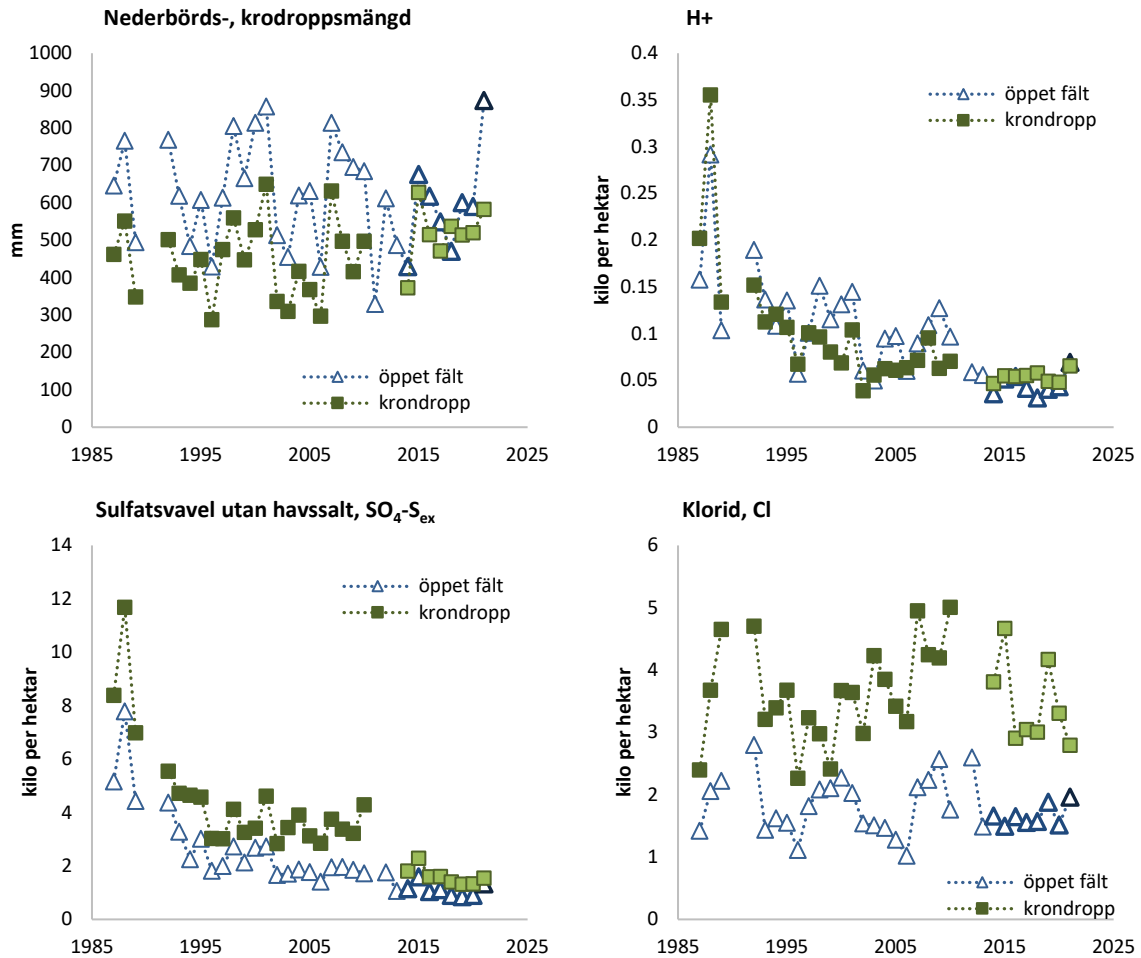
Nederbörds mängden över öppet fält var under det hydrologiska året 2020/21 den högsta som uppmätts sedan mätstarten (873 mm) vilket är betydligt högre än medelnivån (617 mm) för nederbörds mängden över hela mätperioden, Figur 9. Även krondroppsmängden var hög 2020/21 (582 mm), vilket även det var betydligt högre än medelnivån (465 mm) för krondroppsmängden över hela mätperioden.

Nedfallet av vätejoner var det högsta som uppmätts på den nya mätplatsen både i krondroppet och i nederbörden, (0,07 kg/ha vardera). Det var dock betydligt lägre än det nedfall av vätejoner som uppmätts tidigare, före 2010.

Svavelnedfallet i krondroppet under 2020/21 var 1,5 kg/ha vilket även det var det högsta som uppmätts sedan 2016/17, Figur 9. Dock är det fortfarande ett lågt nedfall. Även svavelnedfallet med nederbörden på öppet fält under 2020/21 var det högsta som uppmätts sedan 2016/17 med 1,3 kg/ha. Svavelnedfallet vid Norrlands kustland har genom åren varit relativt högt, jämfört med de inre delarna av Norrland, i synnerhet vid Holmsvattnet. Liksom i övriga Sverige har svavelbelastningen i området runt Holmsvattnet dock minskat kraftigt sedan slutet av 1980-talet.

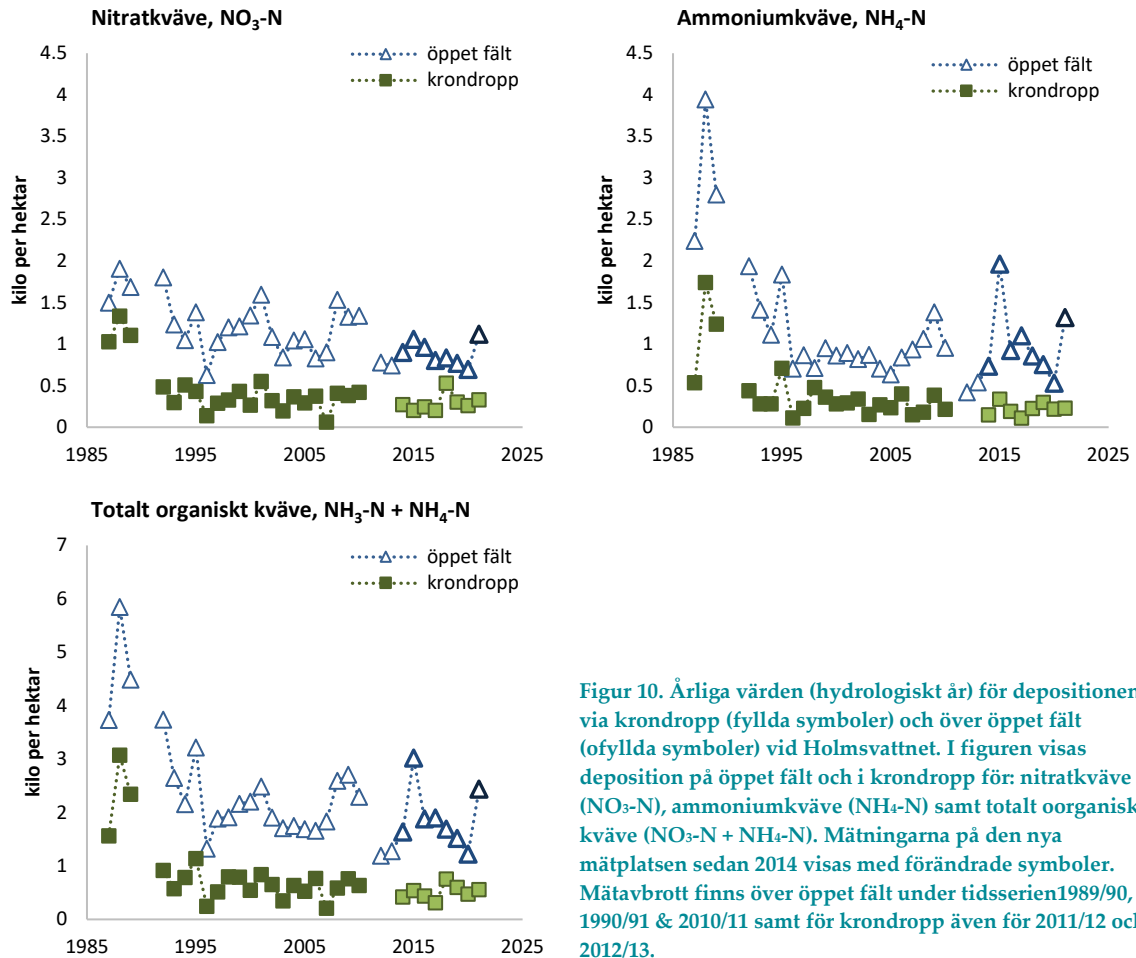
Det är tydligt att torrdepositionen minskat genom åren vid Holmsvattnet om man jämför svavelnedfallet från öppet fält och från krondropp ur Figur 9. Bulkprovtagningen på öppet fält motsvarar inte helt våtdepositionen då den även innehåller lite torrdeposition till själva utrustningen. Det gör att den faktiska våtdepositionen är något lägre än nedfallet till öppet fält. Krondroppet som ska motsvara det totala svavelnedfallet innehåller även den ett mindre upptag av svavel till trädkronorna. Det gör att det totala svavelnedfallet sannolikt är något högre än nedfallet via krondropp.

Under 2020/21 var kloridnedfallet i krondroppet 2,8 kg/ha, vilket var det lägsta som uppmätts på den nya mätplatsen. Detta är lägre än medelvärdet för hela mätperioden sedan 1986/87 på 3,6 kg/ha, detta trots att nederbörds- och krondroppsmängderna var höga. Kloridnedfallet varierar generellt relativt mycket mellan åren, beroende på hur mycket havssalt som blåst in över land och deponerats, något som även syns vid Holmsvattnet, Figur 9. Även om havssalt är neutralt kan havssaltsnedfall medföra surstötter i mark- och ytvatten, då framför allt saltets natriumjoner byter plats med vätejoner. Detta leder till att pH tillfälligt sänks i markvattnet och potentiellt även i ytvattnet. Det är därför viktigt att följa tidsutvecklingen för kloriddepositionen som ett mått på havssaltspåverkan.



Figur 9. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp (fyllda symboler) och över öppet fält (ofyllda symboler) vid Holmsvattnet. I figuren visas uppmätt nederbörds- och krondroppsmängd, deposition på öppet fält och i krondropp för: vätejoner (H⁺), sulfatsvavel utan havssaltsbidrag (SO₄-S_{ex}) samt klorid (Cl).

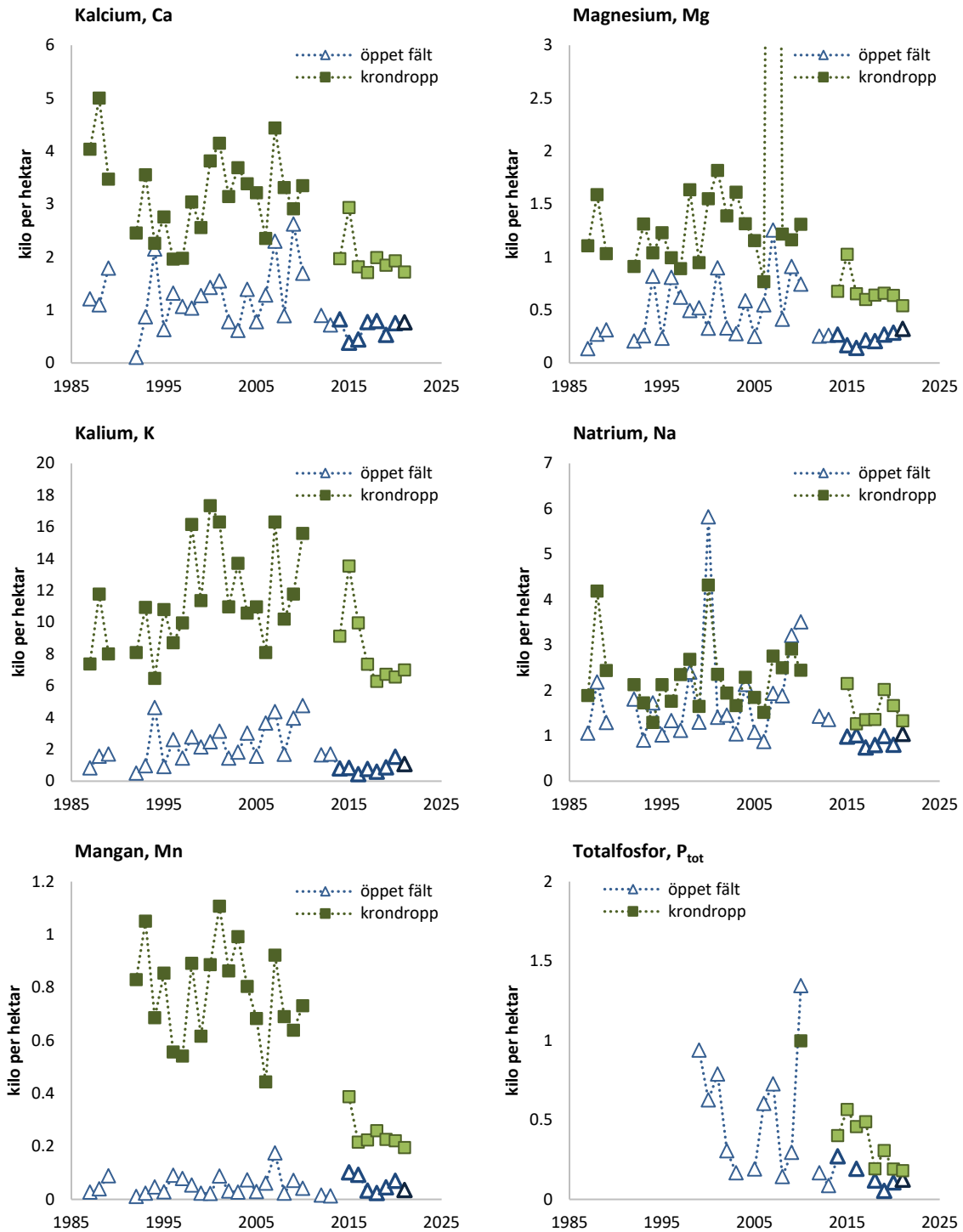
Nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden över öppet fält var under det senaste mätåret 2,4 kg per hektar, fördelat på något mindre nitrat, 1,1 kg/ha, jämfört med ammonium, 1,3 kg/ha, Figur 10. Kvävededfallet 2020/21 var det högsta som uppmätts sedan 2014/15. För att analysera trender i kvävededfall brukar vanligtvis nedfall på öppet fält användas, då nedfallet via krondroppet inte korrekt visar det totala nedfallet till skog, eftersom trädkronorna tar upp en del kväve. Att detta gäller även vid Holmsvattnet syns på att kvävedepositionen är betydligt lägre i krondropp jämfört med öppet fält, Figur 10. Mätningarna från öppet fält inkluderar dock inte torrdepositionen av kväve till skog.



Figur 10. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp (fyllda symboler) och över öppet fält (ofyllda symboler) vid Holmsvattnet. I figuren visas deposition på öppet fält och i krondropp för: nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) samt totalt oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$). Mätningarna på den nya mätplatsen sedan 2014 visas med förändrade symboler. Mätavbrott finns över öppet fält under tidsserien 1989/90, 1990/91 & 2010/11 samt för krondropp även för 2011/12 och 2012/13.

Utsläpp av baskatjoner kan ha både antropogent och naturligt ursprung. Natrium och magnesium kommer huvudsakligen från havssalt, medan merparten av kalium och kalcium kommer från antropogena aktiviteter. Partiklar innehållande baskatjoner släpps ut i samband med förbränning av kol och ved samt i samband med olika industriella processer. Även "naturliga" emissioner kan orsakas av mänsklig aktivitet, till exempel i samband med förändrad markanvändning. Liksom för kväve finns det betydande interaktioner mellan baskatjoninnehållet i nederbörden och trädkronorna. Både kalcium och kalium läcker till stor omfattning ut från trädkronorna beroende på en betydande interncirkulation inom skogsekosystemen. Man ser därför i Figur 11 att nedfallet av kalcium, kalium och magnesium via krondropp är mycket högre jämfört med nedfallet via nederbörden på öppet fält. För 2006/07 uppmättes mycket höga halter av magnesium i nederbörden. Den beräknade depositionen av magnesium för detta år var 16 kg/ha (visas ej i Figur 11). Anledning till detta höga värde är inte känt, men vissa andra parametrar var även höga under samma år.

Data för natrium, kalcium, magnesium, kalium och mangan till och med 2009/10 har erhållits från provtagningen för metallerna och analyserats tillsammans med metallanalyserna. Detta gällde även för fosfor (Ptot) till och med 2016/17. Efter 2016/17 har istället fosfor provtagits och analyserats med provet som tas för försurande och övergödande ämnen.



Figur 11. Årliga värden (hydrologiskt år) för depositionen via krondropp (fyllda symboler) och över öppet fält (ofyllda symboler) vid Holmsvattnet. I figuren visas deposition på öppet fält och i krondropp för: kalcium (Ca); magnesium (Mg); kalium (K), natrium (Na); mangan, Mn och totalfosfor, P_{tot}. Mätningarna på den nya mätplatsen sedan 2014 visas med förändrade symboler. Mätavbrott finns över öppet fält under tidsserien 1989/90, 1990/91 och 2010/11 samt för krondropp även för 2011/12 och 2012/13. Data för Na, Ca, Mg, K och Mn till och med 2009/10 har provtagits med utrustningen för metaller och analyserats tillsammans med metallanalyserna. Detta gällde även för P_{tot} till och med 2016/17.

2.1.2.2.1 Statistisk analys

Statistisk analys av trender med Mann-Kendall har gjorts för tre olika perioder, för hela tidsperioden 1986/87 till 2020/21 vilket motsvarar en period på 34 år, för den senaste 29-årsperioden 1991/92 – 2020/21 samt för den senaste 20-årsperioden (2000/01 till 2020/21). Signifikans anges i tabellerna i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = ***$ signifikans. I tabellerna presenteras total procentuell förändring över hela perioden. Denna uträkning är baserad på en medelnormaliserad trendlinje, vilket är en trendlinje som är justerad så att mitten på linjen hamnar i nivå för medelvärdet för alla ingående y-värden. Mer information om den statistiska analysen presenteras i Kapitel 3.6.

Om man ser på de senaste 20 åren så har det totala nedfallet av försurande ämnen, räknat som vätejoner, minskat i nederbörden men inte i krondroppet, Tabell 4. Däremot har svavelnedfallet, både med utan havssalt, minskat signifikant i både nederbörden över öppet fält samt i krondroppet med mellan 50 och 67 %. Nedfallet av oorganiskt kväve vid Holmsvattnet har inte minskat under de senaste 20 åren vare sig i nederbörden över öppet fält eller i krondroppet. Dock har nedfallet av nitrat minskat signifikant i nederbörden över öppet fält. Dessutom har några av baskatjonerna minskat under den senaste 20-årsperioden. Några av baskatjonerna, (kalcium, magnesium, kalium, natrium och mangan) provtogs till och med 2009/10 med utrustningen för metallprovtagning och analyserades med en annan metod tillsammans med metallanalyserna. Detta kan ha påverkat trendanalysen. Inga statistiskt signifikanta förändringar har skett under de senaste 20 åren vad gäller nederbördsmängd/krondroppsmängd, Tabell 4.

Tabell 4. Statistisk analys med Mann-Kendall för tidsperioden 2000/01-2020/21 (20 år) för mätningarna på öppet fält (ÖF) och i krondropp (KD) vid Holmsvattnet. Signifikans anges i tabellen i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = *$ signifikans.**

Grupp	Parameter	Första Datum	Sista Datum	Antal värden	p	*, **, ***	Total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje)
Holmsvattnet ÖF	nb_mm	2000/01	2020/21	21	0,6077		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	hp_kgha	2000/01	2020/21	20	0,0071	**	-56
Holmsvattnet ÖF	cl_kgha	2000/01	2020/21	20	0,6265		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	so4s_kgha	2000/01	2020/21	20	0,0008	***	-50
Holmsvattnet ÖF	so4sex_kgha	2000/01	2020/21	20	0,0007	***	-53
Holmsvattnet ÖF	nh4n_kgha	2000/01	2020/21	20	0,6732		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	no3n_kgha	2000/01	2020/21	20	0,041	*	-29
Holmsvattnet ÖF	OorgN, kgha	2000/01	2020/21	20	0,381		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	ptotal_kgha	2000/01	2020/21	17	0,012	*	-57
Holmsvattnet ÖF	ca_kgha	2000/01	2020/21	20	0,0478	*	-38
Holmsvattnet ÖF	k_kgha	2000/01	2020/21	20	0,0252	*	-59
Holmsvattnet ÖF	mg_kgha	2000/01	2020/21	20	0,0644		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	mn_kgha	2000/01	2020/21	19	0,7264		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	na_kgha	2000/01	2020/21	19	0,0424	*	-39
Holmsvattnet KD	nb_mm	2000/01	2020/21	18	0,0814		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	hp_kgha	2000/01	2020/21	18	0,2889		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	cl_kgha	2000/01	2020/21	18	0,3247		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	so4s_kgha	2000/01	2020/21	18	0,0003	***	-64
Holmsvattnet KD	so4sex_kgha	2000/01	2020/21	18	0,0004	***	-67
Holmsvattnet KD	nh4n_kgha	2000/01	2020/21	18	0,4487		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	no3n_kgha	2000/01	2020/21	18	0,7049		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	OorgN, kgha	2000/01	2020/21	18	0,2889		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	ca_kgha	2000/01	2020/21	18	0,0005	***	-53
Holmsvattnet KD	k_kgha	2000/01	2020/21	18	0,0031	**	-44
Holmsvattnet KD	mg_kgha	2000/01	2020/21	18	0	***	-44
Holmsvattnet KD	mn_kgha	2000/01	2020/21	17	0	***	-84
Holmsvattnet KD	na_kgha	2000/01	2020/21	17	0,1082		Ej signifikant

Om man istället analyserar de senaste 29 åren så har det totala nedfallet av försurande ämnen, räknat som vätejoner, minskat i både nederbörden och i krondroppet med 74 respektive 54 %, Tabell 5. Även svavelnedfallet, både med utan havssalt, har minskat signifikant i både nederbörden över öppet fält samt i krondroppet med mellan 66 och 69 %. Nedfallet av oorganiskt kväve vid Holmsvattnet har minskat i nederbörden under de senaste 29 åren med 30 %. Dock har inte kvävenedfallet via krondropp förändrats statistiskt signifikant. Inte heller har nedfallet via nederbörden av några basketjoner förändrats statistiskt signifikant under de senaste 29 åren.. Inga statistiskt signifikanta förändringar har skett under de senaste 29 åren vad gäller nederbördsmängd/krondroppsmängd, Tabell 5.

Tabell 5. Statistisk analys med Mann-Kendall för tidsperioden 1991/92-2020/2021 (29 år) för mätningarna på öppet fält (ÖF) och i krondropp (KD) vid Holmsvattnet. Signifikans anges i tabellen i tre olika nivåer; p<0,05 = * signifikans; p<0,01 = ** signifikans; p<0,001 = * signifikans.**

Grupp	Parameter	Första År	Sista År	Antal värden	p	*, **, ***	Total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje)
Holmsvattnet ÖF	nb_mm	1991/92	2020/21	30	0,5207		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	hp_kgha	1991/92	2020/21	29	0	***	-74
Holmsvattnet ÖF	cl_kgha	1991/92	2020/21	29	1		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	so4s_kgha	1991/92	2020/21	29	0	***	-66
Holmsvattnet ÖF	so4sex_kgha	1991/92	2020/21	29	0	***	-68
Holmsvattnet ÖF	nh4n_kgha	1991/92	2020/21	29	0,285		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	no3n_kgha	1991/92	2020/21	29	0,0082	**	-36
Holmsvattnet ÖF	OorgN, kgha	1991/92	2020/21	29	0,034	*	-30
Holmsvattnet ÖF	ca_kgha	1991/92	2020/21	29	0,1287		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	k_kgha	1991/92	2020/21	29	0,1956		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	mg_kgha	1991/92	2020/21	29	0,1384		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	mn_kgha	1991/92	2020/21	28	0,5144		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	na_kgha	1991/92	2020/21	28	0,0856		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	nb_mm	1991/92	2020/21	27	0,1039		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	hp_kgha	1991/92	2020/21	27	0,0001	***	-54
Holmsvattnet KD	cl_kgha	1991/92	2020/21	27	0,7704		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	so4s_kgha	1991/92	2020/21	27	0	***	-68
Holmsvattnet KD	so4sex_kgha	1991/92	2020/21	27	0	***	-69
Holmsvattnet KD	nh4n_kgha	1991/92	2020/21	27	0,05		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	no3n_kgha	1991/92	2020/21	27	0,2783		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	OorgN, kgha	1991/92	2020/21	27	0,05		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	ca_kgha	1991/92	2020/21	27	0,0606		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	k_kgha	1991/92	2020/21	27	0,1563		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	mg_kgha	1991/92	2020/21	27	0,0046	**	-29
Holmsvattnet KD	mn_kgha	1991/92	2020/21	26	0,0005	***	-69
Holmsvattnet KD	na_kgha	1991/92	2020/21	26	0,378		Ej signifikant

Slutligen om man analyserar hela tidsperioden, sedan 1986/87, 34 år, har det totala nedfallet av försurande ämnen, räknat som vätejoner, minskat i både nederbörden och i krondroppet med 77 respektive 65 %, Tabell 6. Även svavelnedfallet, både med och utan havssalt, har minskat signifikant i såväl nederbörden över öppet fält som i krondroppet med mellan 75 och 80 %. Nedfallet av oorganiskt kväve vid Holmsvattnet har halverats via nederbörden och via krondroppet, under de senaste 34 åren. Kalciumnedfallet via nederbörden och i krondroppet har minskat statistiskt signifikant under de senaste 34 åren. Även magnesiumnedfallet via krondropp har minskat sedan 1886/87.. Inga statistiskt signifikanta förändringar har skett under de senaste 34 åren vad gäller nederbördsmängd/krondroppsmängd, Tabell 6.

Tabell 6. Statistisk analys med Mann-Kendall för tidsperioden 1986/87–2020/21 (34 år) för mätningarna på öppet fält (ÖF) och i kronddropp (KD) vid Holmsvattnet. Signifikans anges i tabellen i tre olika nivåer; $p < 0,05$ = * signifikans; $p < 0,01$ = ** signifikans; $p < 0,001$ = *** signifikans.

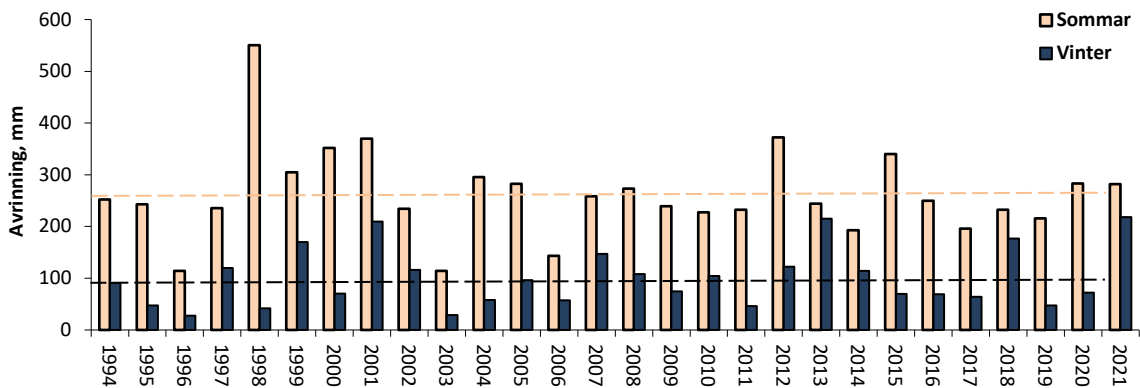
Grupp	Parameter	Första År	Sista År	Antal värden	p	*, **, ***	Total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje)
Holmsvattnet ÖF	nb_mm	1986/87	2020/21	33	0,4477		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	hp_kgha	1986/87	2020/21	32	0	***	-77
Holmsvattnet ÖF	cl_kgha	1986/87	2020/21	32	0,9354		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	so4s_kgha	1986/87	2020/21	32	0	***	-77
Holmsvattnet ÖF	so4sex_kgha	1986/87	2020/21	32	0	***	-80
Holmsvattnet ÖF	nh4n_kgha	1986/87	2020/21	32	0,0204	*	-46
Holmsvattnet ÖF	no3n_kgha	1986/87	2020/21	32	0,0004	***	-48
Holmsvattnet ÖF	OorgN, kgha	1986/87	2020/21	32	0,0014	**	-48
Holmsvattnet ÖF	ca_kgha	1986/87	2020/21	32	0,0497	*	-36
Holmsvattnet ÖF	k_kgha	1986/87	2020/21	32	0,4082		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	mg_kgha	1986/87	2020/21	32	0,5061		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	mn_kgha	1986/87	2020/21	31	0,6586		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	na_kgha	1986/87	2020/21	31	0,0958		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	nb_mm	1986/87	2020/21	30	0,1435		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	hp_kgha	1986/87	2020/21	30	0	***	-65
Holmsvattnet KD	cl_kgha	1986/87	2020/21	30	0,7481		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	so4s_kgha	1986/87	2020/21	30	0	***	-75
Holmsvattnet KD	so4sex_kgha	1986/87	2020/21	30	0	***	-77
Holmsvattnet KD	nh4n_kgha	1986/87	2020/21	30	0,0022	**	-55
Holmsvattnet KD	no3n_kgha	1986/87	2020/21	30	0,0185	*	-49
Holmsvattnet KD	OorgN, kgha	1986/87	2020/21	30	0,0019	**	-52
Holmsvattnet KD	ca_kgha	1986/87	2020/21	30	0,0048	**	-42
Holmsvattnet KD	k_kgha	1986/87	2020/21	30	0,3918		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	mg_kgha	1986/87	2020/21	30	0,0054	**	-30
Holmsvattnet KD	na_kgha	1986/87	2020/21	29	0,1595		Ej signifikant

2.2 Avrinning

2.2.1 Metaller

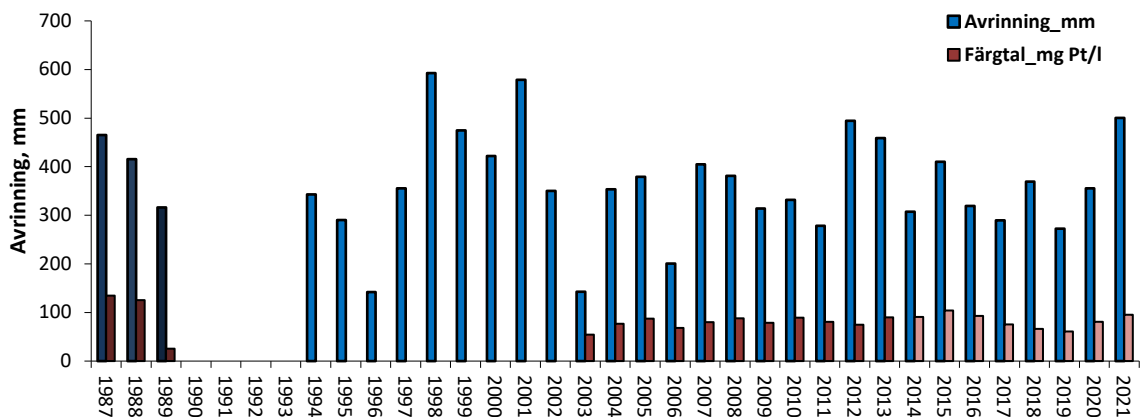
Sedan 2020 års utredning används vattenföringsdata för Kågeälven (station Kåge2), hämtade från SMHI:s service *Vattenwebb* (<http://vattenwebb.smhi.se/station/>). Dessa vattenföringsdata har använts för att skatta avrinningen från det avrinningsområde som utges för Holmsvattnet där bäcken för provtagning av metaller är belägen. Då avrinningsområdet för Kågeälven är större än för Holmsvattnet skalades avrinningsmängderna ned till det avrinningsområdet som Holmsvattnet omfattar. För denna rapport har tidigare rapporterade avrinningsmängder mellan de hydrologiska åren 1993/94 och 2020/21 skattats om utifrån data från Kågeälven. För mer information om användandet av vattenföringsdata, se Pihl Karlsson & Nerentorp, 2021.

Den uppskattade avrinningen vid Holmsvattnet, uttryckt i mm nederbörd, visas i Figur 12 från 1994 till 2021 (hydrologiska år 1993/94 till 2020/21). Generellt var medelflödet under sommarhalvåret (262 mm) betydligt högre än medelflödet under vinterhalvåret (medel 99 mm). Avrinningsmängden under vinterhalvåret 2020/21 ökade dock kraftigt jämfört med föregående år (2019/20), från 72 mm till 218 mm vilket är det högsta värdet sedan 2012/13.



Figur 12. Fördelning av avrinningsmängder i mm per halvår vid Holmsvattnet, omräknat från data från Kägeälven (Käge2) mellan sommar- (apr-sep) och vinterhalvåret (okt-mars) för perioden mellan 1994 och 2021. Streckade linjer indikerar sommar- (261 mm/halvår) respektive vintermedelvärden (95 mm/halvår) för samtliga år.

Årsvis avrinning, samt färgtal för Holmsvattnet (1993/94–2020/21) och mätdammen (1986/87–1988/89) visas i Figur 13. Färgtal är ett grovt mått på hur mycket organiskt material (humus) som transporteras i bäcken. Hög avrinning kan medföra att humus lakas ut vilket medför att färgtalet ökar. I vatten binds många metaller till humus vilket gör att ett högt färgtal också kan indikera en större transport av metaller. Årsvis avrinning och färgtal uppvisar en viss korrelation och från 2019 till 2021 har både avrinning och färgtal ökat, se Figur 13.

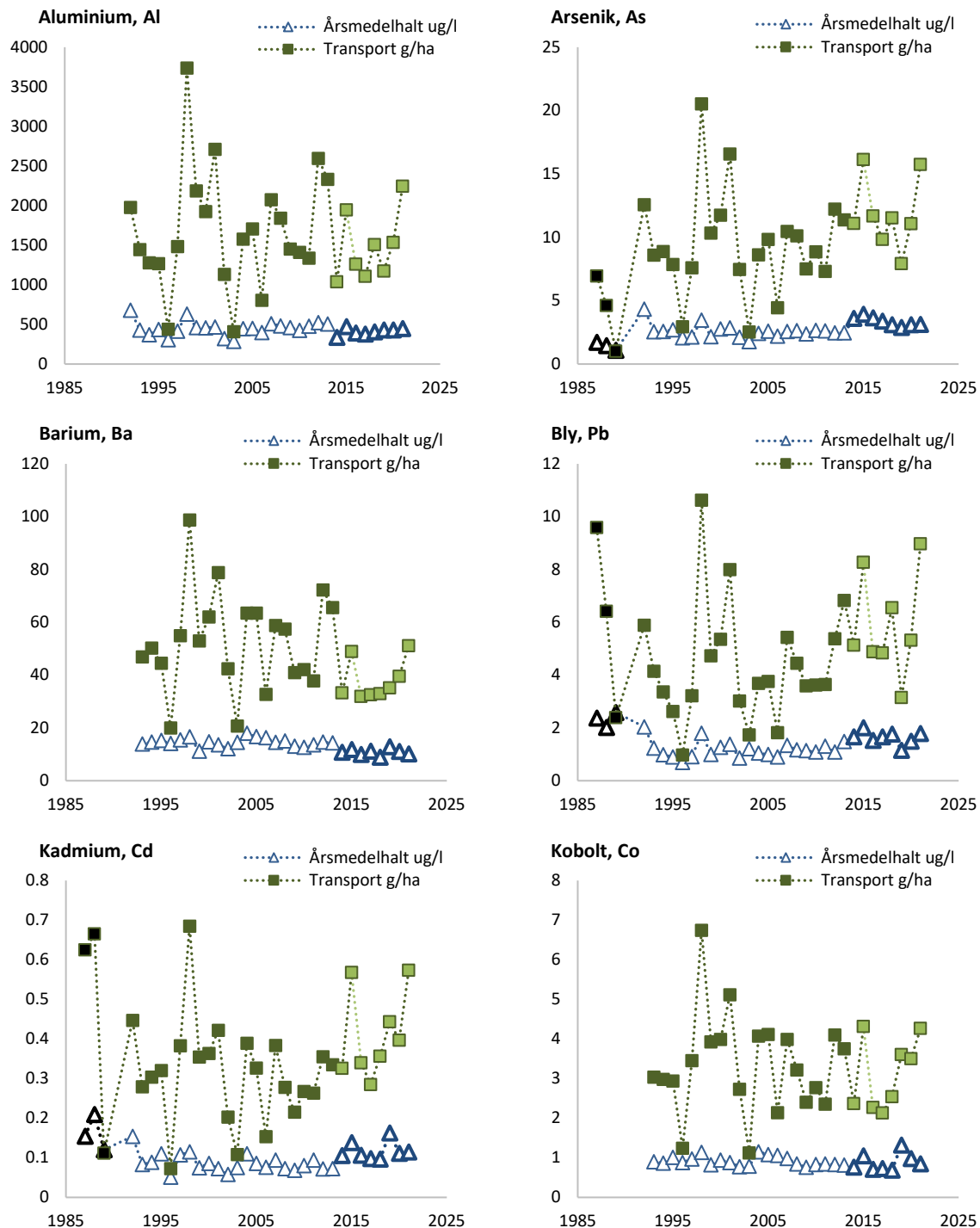


Figur 13. Årlig (hydrologiska år) avrinningsmängd (blå staplar) i mm/år och medelvattenfärg (röda staplar) angivet som mg Pt/l i bäcken vid Holmsvattnet t.o.m. 2020/21 med avrinning vid Holmsvattnet beräknat utifrån avrinningsdata från Kägeälven. Mörkare staplar representerar mätningar i mätdammen i slutet av 1980-talet. Data från provtagningen av färgtal i den nya bäcken visas med rosa staplar.

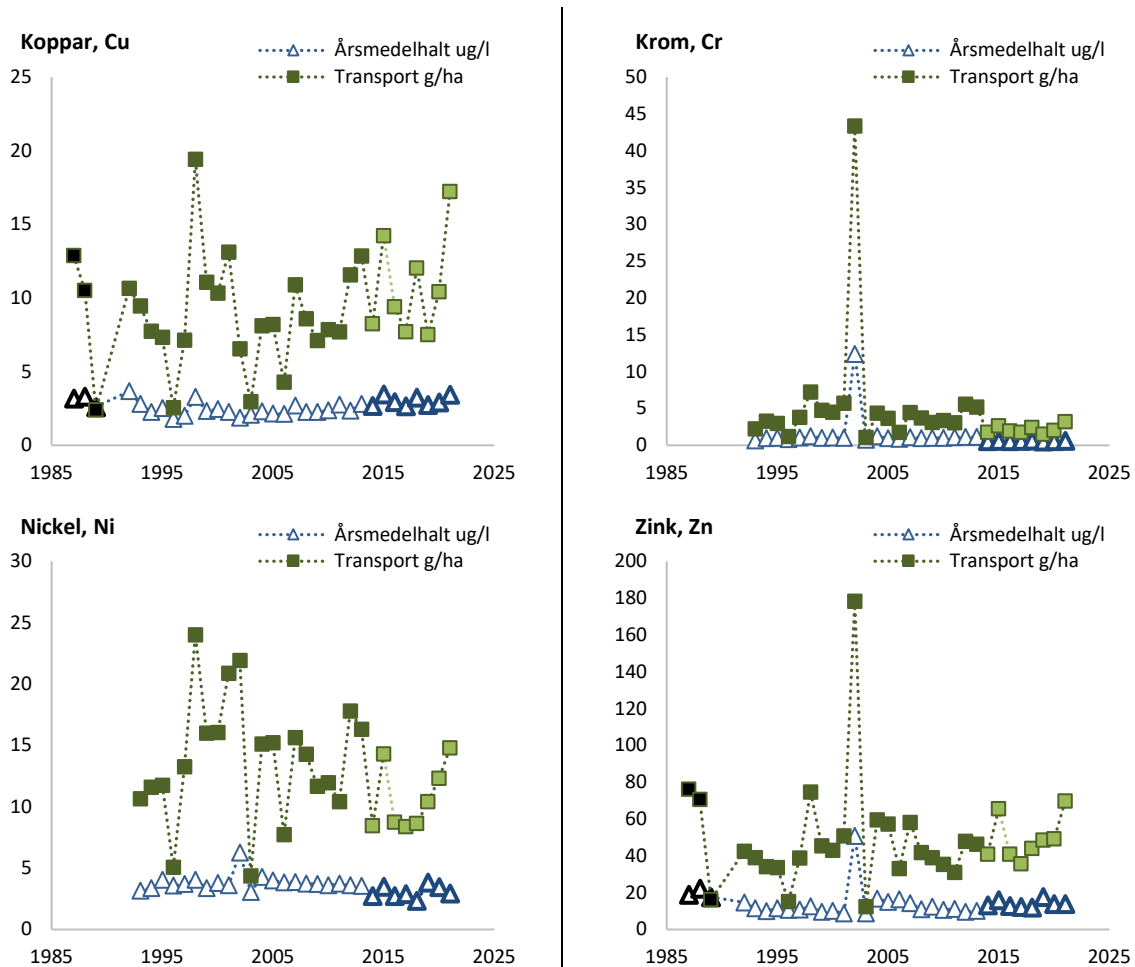
Uppmätta metallhalter i mätbäcken och uppskattad avrinningsmängd används för att uppskatta transporten av metaller vid området kring Holmsvattnet. I Figur 14 presenteras uppmätta metallhalter ($\mu\text{g/l}$) och transport (g/ha/år) av aluminium, arsenik, barium, bly, kadmium och kobolt. I Figur 15 presenteras metallhalter och transport av metallerna koppar, krom, nickel och zink. Som nämns ovan tas från och med oktober 2013 metallproverna i en bäck som tillhör ett annat avrinningsområde, belägen i närheten av den tidigare platsen. I Figur 14 och 15 är provtagningarna gjorda på den nya platsen markerade med mörkblå trekanter för uppmätta metallhalter och ljusgröna fyrkanter för uppskattade transporter.

Liksom för nedfallsmätningarna uppmättes högst halter och transport av aluminium, följt av zink, barium och krom. För flera metaller uppmättes högre halter och transporter i den nya mätbäcken (arsenik, bly, kadmium, koppar och zink). Transporten av samtliga metaller har ökat från 2019/20 till 2020/21, till följd av den ökade avrinningsmängden. Däremot har uppmätta halter av metaller minskat under de tre senaste åren för barium, kadmium, kobolt, nickel och zink.

För arsenik, koppar och bly kan man se att halten och färgtal (Figur 13) följs åt relativt väl och visar på en ökning från 2018/19 till 2020/21. För barium, kadmium och zink följs inte metallhalten och färgtal åt i samma utsträckning och visar dessutom en minskning i halt sedan 2018/19. Detta kan bero på att dessa metaller inte binds lika hårt till humus som arsenik, koppar och bly.



Figur 14. Volymvägda årsmedelhalter (µg/liter) och transport (g/ha) av aluminium, arsenik, barium, bly, kadmium och kobolt i avrinning från området runt Holmsvåttnet, sydväst om Rönnskärsverken, för de hydrologiska åren 1986/87 t.o.m. 2020/21. Transporter är beräknade med avrinningsdata från Kågeälven 1992-2021 och mätdammen 1987-1989. Svarta symboler representerar mätningar i mätdammen i slutet av 80-talet. Ljusgröna/mörkblå symboler indikerar att mätningarna härrör från det nya avrinningsområdet i den nya mätbäcken.



Figur 15. Volymvägda årsmedelhalter ($\mu\text{g/liter}$) och transport (g/ha/år) av koppar, krom, nickel och zink i avrinning från området runt Holmsvattnet, sydväst om Rönnskärsverken, för de hydrologiska åren 1986/87 t.o.m. 2020/21. Transporter är beräknade med avrinningsdata från Kågeälven 1992-2021 och mätdammen 1987-1989. Svarta symboler representerar mätningar i mätdammen i slutet av 1980-talet. Ljusgröna/mörkblå symboler indikerar att mätningarna härrör från det nya avrinningsområdet i den nya mätbäcken.

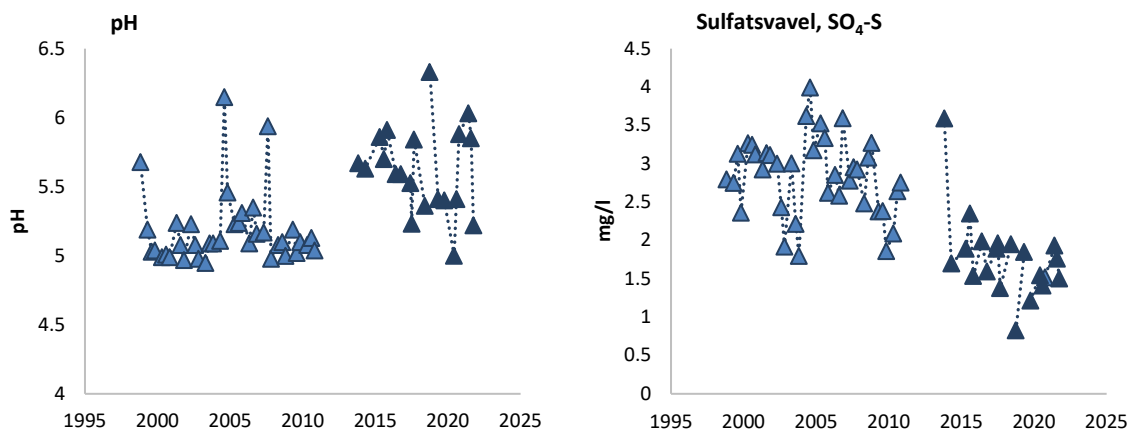
2.3 Markvattenkemin vid Holmsvattnet

Markvattenkemin i skogen speglar markens egenskaper. Markvattenkemin kan variera mellan ytor på relativt korta geografiska avstånd. Det är orsaken till att man alltid gör trendanalyser separat för enskilda mätplatser. Vid den nya mätplatsen har nu nio års mätningar genomförts av markvatten, vilket gör att man börjar kunna genomföra en statistisk trendanalys även på den nya mätplatsen. En statistisk analys med Seasonal-Kendall (en statistisk metod, liknande Mann-Kendall, men som används om det finns säsongsvariation i data) har genomförts för markvattenmätningarna vid den gamla mätplatsen, under perioden 1998–2010, och den enda statistiskt säkerställda förändringen som erhållits är en ökning av nitrathalten i markvattnet, Figur 17. En statistisk analys har även genomförts på mätserien vid den nya mätplatsen, 2013–2021, och ingen signifikant förändring erhöles för något av nedanstående ämnen i Figurerna 16 och 17.

Två av de mått som används för försurningsbedömningar är pH och den syraneutraliserande förmågan, ANC ("Acid Neutralizing Capacity"). För pH finns gränser i bedömningsgrunder för markförsurning i skogsmark, där $\text{pH} < 4,4$ bedöms innebära hög surhet, pH mellan 4,4 och 5,5 måttlig surhet och pH över 5,5 låg surhet. ANC i avrinnande vatten bör vara positivt så att det finns en buffringskapacitet i vattnet. Markvattenkemin vid den tidigare provytan i Holmsvattnet visade att pH främst varierat mellan 5–5,5, med några få högre

värden vid tre tillfällen, Figur 16, vilket innebär måttlig surhet. pH vid den nya mätplatsen har hittills varierat mellan 5 – 6,3, med pH 5 vid ett mättillfälle under våren 2020 och med pH 6,3 vid det sista mättillfället under 2018 då provmängden var mycket låg vilket kan ha påverkat pH-värdet. Under 2021 varierade pH-värdet relativt kraftigt med ett pH på 5,2 under hösten och ett pH på 6,0 på våren.

Halterna av sulfatsvavel i markvattnet vid den gamla ytan i Holmsvattnet har i genomsnitt varierat mellan 1,8 – 4,0 mg/l, Figur 16, och har, till skillnad från många andra krondroppsytor i norra Sverige, inte minskat statistiskt signifikant. Vid den nya mätplatsen har halten sulfatsvavel varierat på en något lägre nivå, mellan 0,8 – 3,6 mg/l (0,8 - 2,3 mg/l, om man undantar det första mätvärdet som kan vara påverkat av etableringen av utrustningen). Den hittills lägsta svavelhalten i markvattnet uppmättes vid sista mättillfället under 2018 då provmängden var mycket låg vilket kan ha påverkat halten. Under 2021 varierade sulfathalten i markvattnet mellan 1,5 och 1,9 mg/l.



Figur 16. Markvattenkemi vid Holmsvattnet mellan 1998–2021. Värden anges för pH och sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$). Trendanalys har genomförts med hjälp av Seasonal-Kendall (1998–2010). Trendanalys har även genomförts med hjälp av Seasonal-Kendall för perioden 2013–2021. Analysen visade inga signifikanta förändringar för ovanstående ämnen.

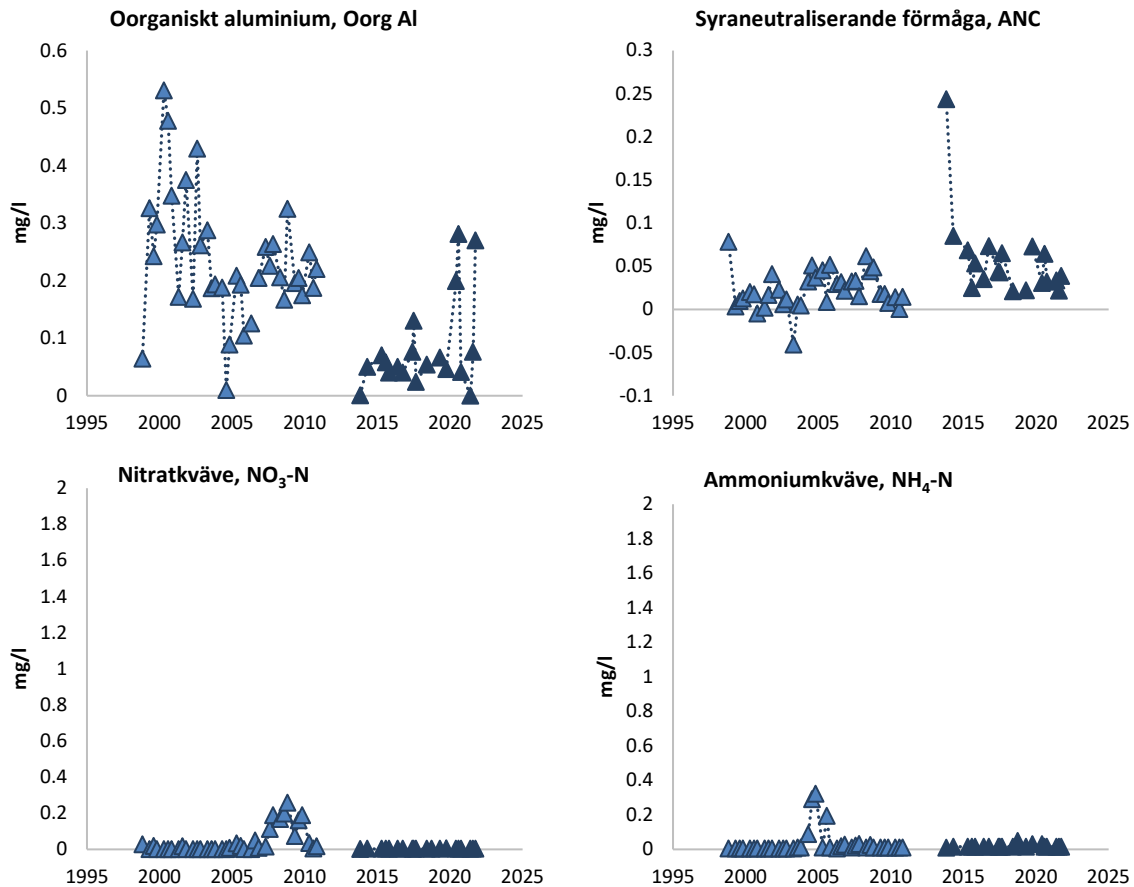
Vid den tidigare mätstationen vid Holmsvattnet har halterna av oorganiskt aluminium varit, för norrländska förhållanden, relativt höga, och varierat mellan 0,1 – 0,5 mg/l om man undantar tre mättillfällen med lägre halter och ett mättillfälle med en något högre halt, Figur 17. Halterna vid den tidigare platsen varierade runt 0,2 mg/l under de senare åren innan flytten, medan mätningarna utförda under 2014–2019, vid den nya mätplatsen, visade på betydligt lägre halter, mellan 0,02 och 0,13 mg/l (om man undantar det första mätvärdet som kan vara påverkat av etableringen av utrustningen), Figur 17. Under sommaren 2020 och hösten 2021 uppmättes dock halter av oorganiskt aluminium upp mot 0,28 mg/l. Orsaken till de högre halterna av oorganiskt aluminium under 2020 och 2021 är ännu oklart.

ANC har vid den gamla mätplatsen varierat mellan -0,04 och 0,08. Vid den nya mätplatsen har ANC varit något högre, och varierat mellan 0,02 och 0,09, om man undantar det första mätvärdet som kan vara påverkat av etableringen av utrustningen. Som nämnts ovan bör ANC vara positivt så att det finns en buffringskapacitet i vattnet, helst skall det vara klart positivt. Under 2021 varierade ANC mellan 0,02 och 0,04.

Vid sista mätningen under 2019 uppmättes låga halter av nitratkväve i markvattnet. I övrigt har inte några halter av nitratkväve som överskrider detektionsgränsen uppmätts i markvattnet vid den nya platsen. Inte heller under 2021 uppmättes några nitrathalter i markvattnet över detektionsgränsen, Figur 17. Även halterna ammoniumkväve i markvattnet har varit mycket låga. Att det inte finns något reellt kväveläckage tyder på en kvävedynamik i området som är typisk för en kvävebegränsad skog, d.v.s. att det finns ett upptag i både träd och vegetation av det kväve som finns i marken.

Vid den tidigare mätplatsen steg kvävehalterna i marken i början 2007 och förhöjda halter av nitrat uppmättes, se Figur 17. Ökningen av nitrat hörde sannolikt samman med avverkningar 2002, en storm i november 2006 samt den påföljande uppröjningen av vindfällan, vilket gav störningar i skogsmarken. Ökning av nitrathalter i

markvattnet, till följd av denna typ av störningar, föregås ofta av en ökning av ammoniumhalterna vilket tydligt syns i Figur 17. Att inte allt frigjort ammoniumkväve nitrifierades i början av perioden kan ha berott på att populationen nitrifierare i marken var för liten. När höga halter nitratkväve förekommer i markvattnet indikerar detta att tillgängligt kväve inte utnyttjas till fullo av vegetationen och att en utlakning kan ske till grundvatten och vattendrag.

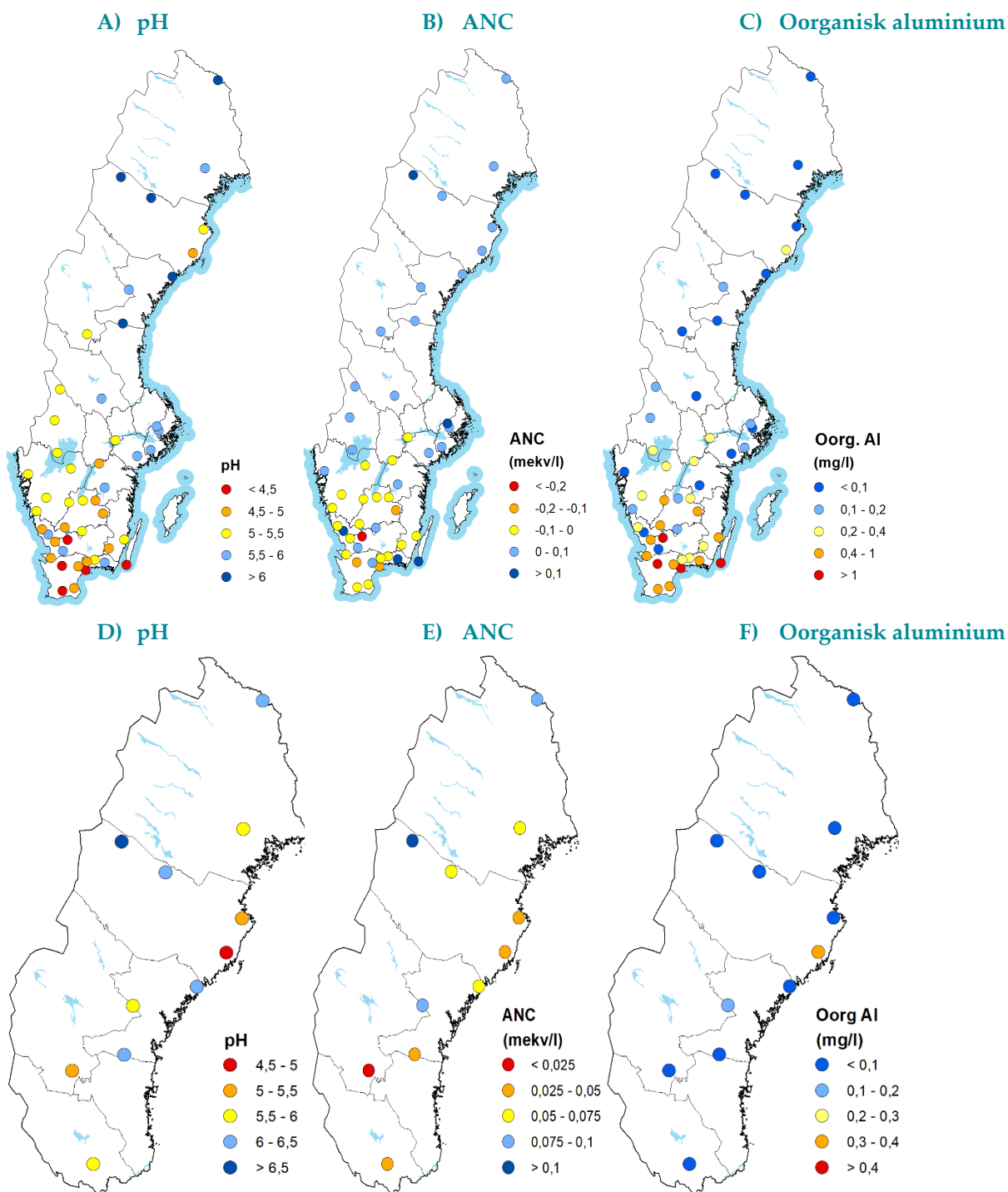


Figur 17. Markvattenkemi vid Holmsvattnet mellan 1998–2021. Värden anges för pH, sulfatsvavel (SO₄-S), oorganiskt aluminium (oorg Al), syraneutraliserande förmåga (ANC), nitratkväve (NO₃-N) och ammoniumkväve (NH₄-N). Trendanalys har genomförts med hjälp av Seasonal-Kendall (1998–2010) och endast nitrat visade en signifikant ökning. Trendanalys har även genomförts med hjälp av Seasonal-Kendall för perioden 2013-2021. Analysen visade inga signifikanta förändringar för ovanstående ämnen.

Markvattnets försurningsstatus i norra Sverige, jämfört med resten av landet och angivet som median för åren 2019–2021, visas i kartorna i Figur 18 (Pihl Karlsson, m.fl., 2022). I Figur 18A-C visas hela landet och i Figur 18D-F visas en uppförstorad karta över norra Sverige med andra skalor.

Markvattnets försurningsstatus i norra Sverige jämfört med resten av landet, angivet som median för åren 2019–2021, visar att markvattenkemin i norra Sverige generellt är relativt lite försurningspåverkad om man jämför med övriga Sverige, speciellt om man undantar de kustnära mätplatserna i Västerbotten, Figur 18A-C. Vid dessa två mätplatser (Holmsvattnet och Bäcksjö) var pH mellan 4,5 och 5,5 vilket är betydligt lägre jämfört med pH i markvattnet vid mätplatserna längre från kusten, Figur 18A, D. Bäcksjö och Holmsvattnet har under lång tid utmärkt sig som ytor med lägre pH, vilket kan förklaras av en kombination av högre svavelnedfall längs norrlandskusten än längre inåt landet, och jordar med låg motståndskraft mot försurning. Att kustområdet är mer påverkat jämfört med inlandet, på samma breddgrad eller norröver, syns även på ANC som är lägre längs kusterna, Figur 18E. Den syraneutraliserande förmågan (ANC) följer i stora drag pH-gradienten i Sverige. ANC är svagt positiv för samtliga mätplatser i norra Sverige när man ser på medianen för de tre senaste åren, Figur 18B, E. De flesta av mätplatserna i Götaland uppvisar negativt ANC, i Svealand

är ANC omkring 0, och i Norrland är värdet positivt. Även halten oorganiskt aluminium uppvisar en liknande gradient som pH och ANC, Figur 18C, F. Vid mätplatsen Sör-Digertjärn i södra delen av Jämtlands län orsakas låga värden av pH och ANC till stor del av kvardröjande effekter av en skogsgödsling som ägde rum under 2012.



Figur 18. pH, ANC och halter av toxiskt oorganiskt aluminium i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnetet i hela Sverige (A, B, C) och för norra Sverige (D, E, F). Det värde som anges är medianvärdet under de senaste tre åren (2017–2019). 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 har tagits bort.

2.4 Jämförelser av emissioner, mätningarna vid Holmsvattnet och andra relevanta mätplatser

2.4.1 Metaller

I detta avsnitt jämförs uppmätta värden för atmosfäriskt nedfall av arsenik, kadmium, koppar, bly och zink vid Holmsvattnet med rapporterade emissioner av respektive metall från Rönnskärsverken (2000-2019), från Sverige och från EU (27 EU-länder och Storbritannien) (2000-2019). Svavelemissioner från Sverige samt EU27 + UK har erhållits via CEIP, 2022. I tabell 7 och 8 presenteras statistiska trendanalyser gjorda med Mann-Kendall för nedfall och emissioner av olika metaller under olika tidsperioder (ca 2000-2021 och ca 1992-2021). Signifikans anges i tabellerna i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = ***$ signifikans. I tabellerna presenteras total procentuell förändring över hela perioden. Denna uträkning är baserad på en medelnormaliserad trendlinje, vilket är en trendlinje som är justerad så att mitten på linjen hamnar i nivå för medelvärdet för alla ingående y-värden. Mer information om den statistiska analysen presenteras i Kapitel 3.6. Emissionerna visas tillsammans med nedfall för olika metaller vid Holmsvattnet i Figurena 20-24.

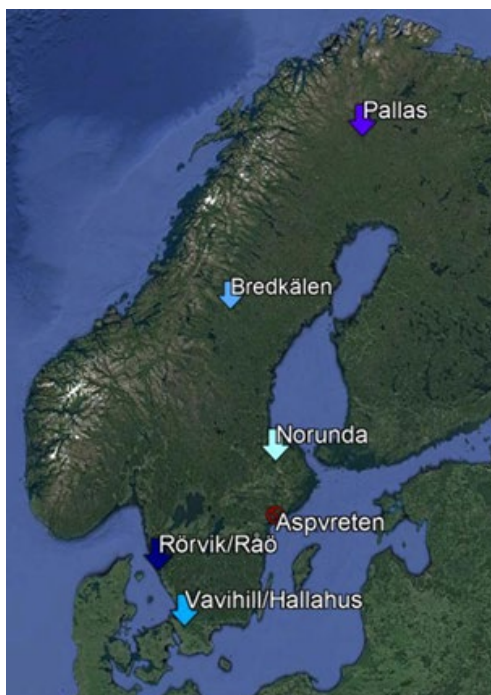
Tabell 7. Statistisk analys med Mann-Kendall för tidsperioden 2000/01-2020/21 för mätningarna av nedfall i krondropp och på öppet fält vid Holmsvattnet, för tidsperioden 2000-2021 för emissioner från Rönnskärsverken och för tidsperioden 2000-2019 för rapporterade emissioner från Sverige och EU-länderna (och Storbritannien). Signifikans anges i tabellen i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = ***$ signifikans.

Total procentuell förändring över perioden ca 2000-2021 (baserat på medelnormaliserad trendlinje)					
Parameter	Krondropp-Holmsvattnet (2000/01-2020/21)	Öppet fält-Holmsvattnet (2000/011-2020/21)	Emissioner-Rönnskärsverken (2000-2021)	Emissioner-Sverige (2000-2019)	Emissioner-EU27 + UK (2000-2019)
As_g/ha_ton	-53 (**)	ej sign	ej sign	ej sign	-39 (***)
Cd_g/ha_ton	-57 (**)	ej sign	-54 (*)	-12 (**)	-46 (***)
Cu_g/ha_ton	-51 (**)	81 (*)	-38 (*)	ej sign	ej sign
Pb_g/ha_ton	-64 (***)	ej sign	-47 (**)	-48 (***)	-55 (***)
Zn_g/ha_ton	-72 (***)	-68 (*)	ej sign	-21 (***)	-19 (***)

Tabell 8. Statistisk analys med Mann-Kendall för tidsperioden 1991/92-2020/21 för mätningarna i krondropp och på öppet fält vid Holmsvattnet, för tidsperioden 1992-2021 för emissioner från Rönnskärsverken och för tidsperioden 1992-2019 för rapporterade emissioner från Sverige och EU-länderna (och Storbritannien). Signifikans anges i tabellen i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = ***$ signifikans.

Total procentuell förändring över perioden ca 1992-2020 (baserat på medelnormaliserad trendlinje)					
Parameter	Krondropp-Holmsvattnet (1991/92-2020/21)	Öppet fält-Holmsvattnet (1991/92-2020/21)	Emissioner-Rönnskärsverken (1992-2021)	Emissioner-Sverige (1992-2019)	Emissioner-EU27 + UK (1992-2019)
As_g/ha_ton	-56 (**)	ej sign	-60 (**)	-45 (***)	-61 (***)
Cd_g/ha_ton	ej sign	ej sign	-87 (***)	-32 (***)	-68 (***)
Cu_g/ha_ton	-43 (**)	69 (*)	-77 (***)	-33 (***)	-3.6 (*)
Pb_g/ha_ton	-71 (***)	ej sign	-75 (***)	-59 (***)	-100 (***)
Zn_g/ha_ton	-44 (*)	ej sign	-65 (**)	-42 (***)	-42 (***)

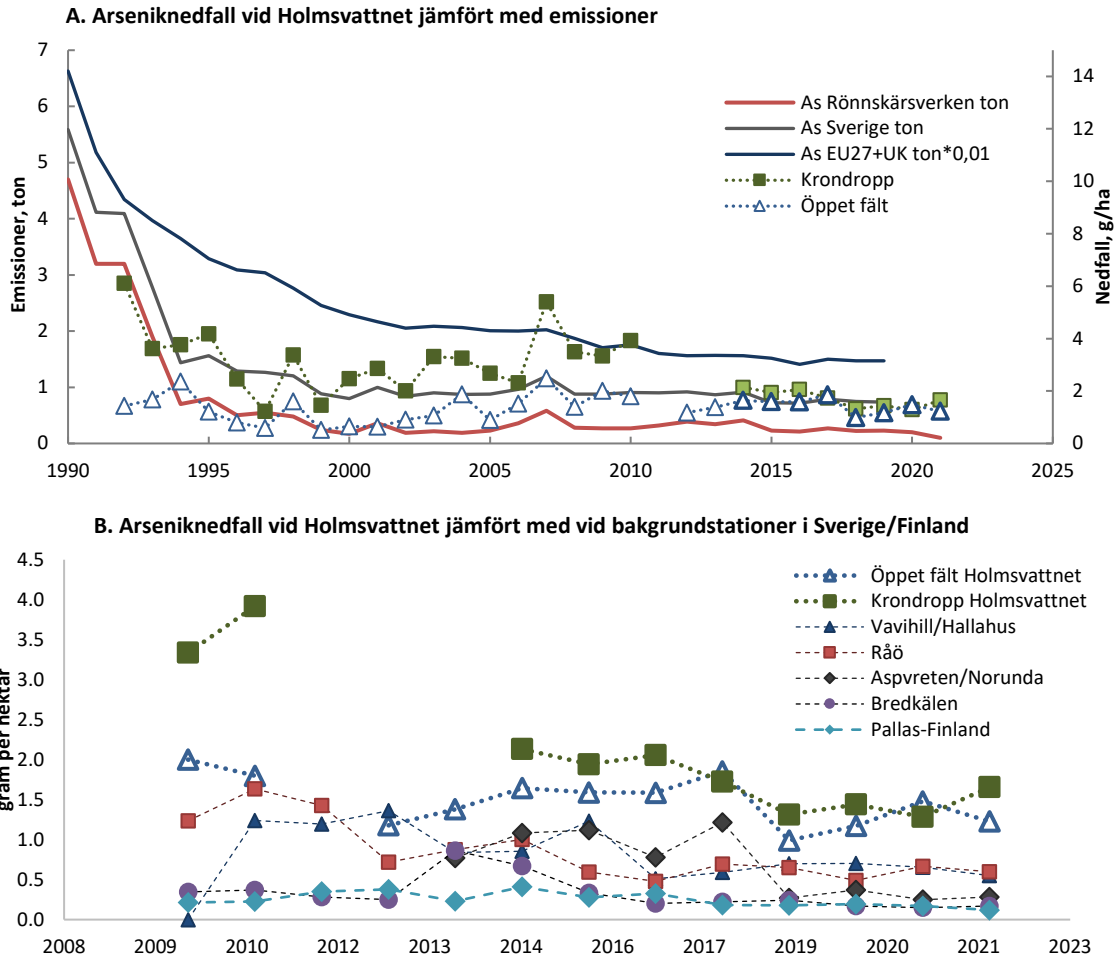
De uppmätta nedfallen av arsenik, kadmium, koppar, bly och zink vid Holmsvattnet jämförs också med motsvarande nedfallsmätningar vid bakgrundstationer inom den svenska miljöövervakningen, finansierat av Naturvårdsverket (2009-2021). Mätningarna av metaller i nederbörd utförs i öppet fält med öppna provtagare och proverna analyseras på samma sätt som för proverna från Holmsvattnet. Bakgrundstationerna som används som jämförelser är Vavihill/Hallahus (Skåne), Råö (Västkusten, söder om Göteborg), Aspvreten/Norunda (norr om Stockholm), Bredkålen (mellersta Sverige) och Pallas (finska Lappland), se Figur 19. Mer om mätningarna inom den nationella miljöövervakningen presenteras i Fredricsson m.fl. (2021).



Figur 19. Bakgrundstationer i Sverige och Finland som används för mätning av bland annat metallnedfall inom den svenska miljöövervakningen.

Arseniknedfallet vid Holmsvattnet jämförs med emissioner av arsenik samt nedfallet av arsenik vid svenska bakgrundstationer i Figur 20A respektive 20B. Från 1990-talet fram till år 2000 har emissionerna av arsenik minskat kraftigt, både från Rönnskär, Sverige och EU. SFör perioden 1992-2021 för Rönnskär och 1992-2019 för Sverige och EU så visar den statistiska analysen (Tabell 8) att arsenikemissionerna har minskat mellan 45 – 60 %. Från 2020 och framåt planar emissionerna ut och de senaste 20 åren (2020-2019/2021) har emissionerna av arsenik till luft endast visat en signifikant minskning på EU-nivå (Tabell 7). Vid Holmsvattnet syns en signifikant minskning av arseniknedfall i krondropp för båda perioderna, vilket dock kan bero på att arseniknedfallet vid den nya mätplatsen (ljusgröna fyrkanter i Figur 20A) var lägre än vid den gamla mätplatsen.

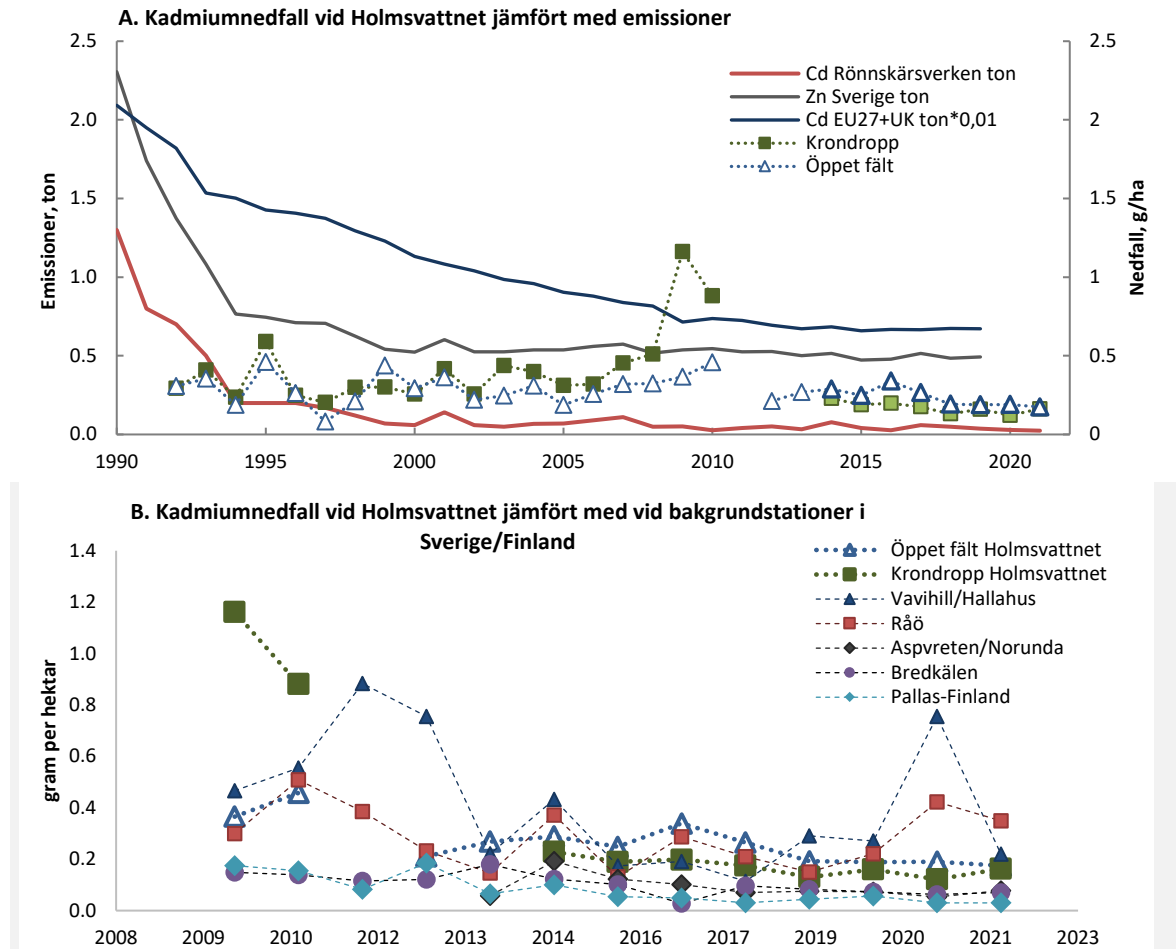
Jämförelser mellan de nationella mätningarna av arsenik vid bakgrundstationer och nedfall av arsenik vid Holmsvattnet visas i Figur 20B för perioden 2009-2021. Generellt är nedfallet av arsenik något högre vid Holmsvattnet än vid bakgrundstationerna, men uppvisar liknande årsvariationer.



Figur 20. A: arseniknedfall i nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet jämfört med emissioner av arsenik från Rönnskärsverken och totala utsläppen i Sverige, samt totala arsenikutsläppen för 27 EU-länder och Storbritannien. Observera att utsläppen för EU27+UK har multiplicerats med en faktor 0,01 för att hamna på samma skala i figuren. B: Jämförelser mellan arseniknedfallet i nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet och nedfallet av arsenik med nederbörd vid bakgrundsstationer i Sverige och i finska Lappland (Pallas).

Kadmiumnedfallet vid Holmsvattnet jämfört med emissioner av kadmium till luft presenteras i Figur 21A. Trots minskande trender för emissioner av kadmium från Rönnskär, Sverige och EU både för hela perioden 1992-2019/2020 (Tabell 8) och de senaste 20 åren (2000-2021 för Rönnskär och 2000-2019 för Sverige och EU, Tabell 7) uppvisar nedfallet av kadmium vid Holmsvattnet ingen signifikant förändring för de senaste 20 åren och endast en signifikant minskning i krondropp för den längre tidsperioden. På den gamla mätplatsen (mörkgröna fyrkanter för krondropp och ljusblå trekanter för öppet fält i Figur 21A) verkar kadmiumnedfallet i både krondropp och i öppet fält ha en något ökande trend mellan 1995 och 2010. Vid byte till ny mätplats (ljusgröna fyrkanter och mörkblå trekanter i Figur 21) är nedfallet av kadmium synbart lägre. Detta är troligtvis anledningen till den signifikanta minskning som beräknats för kadmiumnedfall i krondropp.

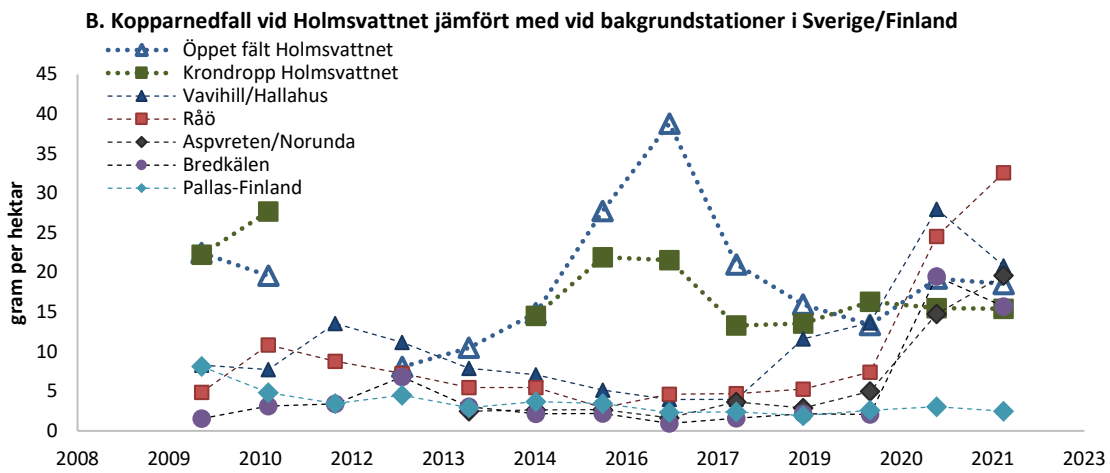
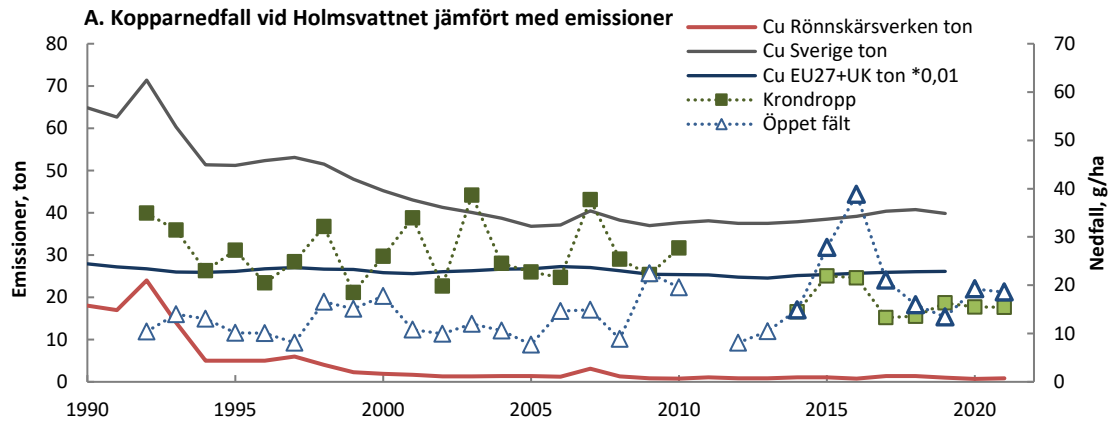
Jämfört med kadmiumnedfallet vid bakgrundsstationer i Sverige och Finland (Figur 21B) så ligger nedfallet av kadmium vid Holmsvattnet på liknande nivåer. Därför kan det antas att de uppmätta nedfallen av kadmium vid Holmsvattnet inte påverkas nämnvärt av Rönnskärsverken.



Figur 21. A: kadmiumnedfall i nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet jämfört med emissioner av kadmium från Rönnskärsverken och totala utsläppen i Sverige, samt totala kadmiumutsläppen för 27 EU-länder och Storbritannien. Observera att utsläppen för EU27+UK har multiplicerats med en faktor 0,01 för att hamna på samma skala i figuren. B: Jämförelser mellan kadmiumnedfallet i nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet och nedfallet av kadmium med nederbörd vid bakgrundsstationer i Sverige och i finska Lappland (Pallas).

Jämförelserna av emissioner och nedfall av koppar presenteras i Figur 22. Från 1995 har emissionerna av koppar minskat från Rönnskär från 5 ton till 0,7 ton år 2020, Figur 22A. Samtidigt har emissionerna i Sverige minskat från 51 till 40 ton. Dock har de europeiska utsläppen varken minskat eller ökat under samma period. Den statistiska analysen (Tabell 7 och 8) visar att för perioden 1992-2019/2021 har emissionerna från Rönnskärsverken minskat med 77%, vilket är en kraftigare minskning än de nationella utsläppen och de europeiska. De senaste 20 åren (2000-2021) har emissionerna från Rönnskärsverken minskat med 38%. Ingen signifikant förändring för kopparutsläpp hittades för svenska och europeiska utsläpp för samma period. I nedfall visar krondropp och öppet fält helt skilda trender där det i krondropp uppmätts en minskande trend men i öppet fält en kraftigt ökande trend (+81%: 1992-2021, +69%: 2001-2021).

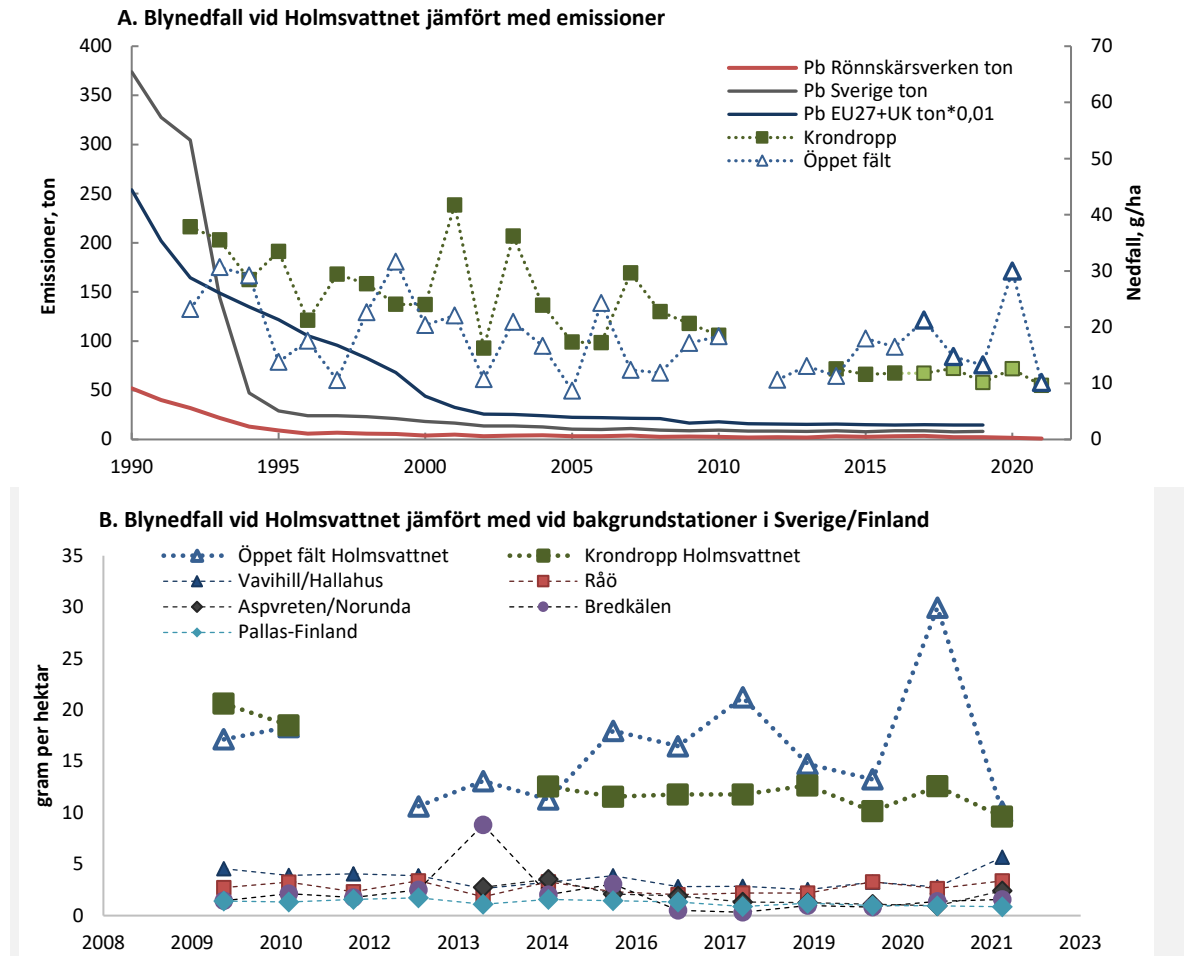
Jämförelsen mellan kopparnedfall vid Holmsvattnet och vid nationella bakgrundsstationer i Figur 22B visar att vid bakgrundsstationer har kopparnedfallet haft en nedåtgående trend från 2009 till 2017, för att sedan öka kraftigt fram till 2021. Depositionen av koppar vid Holmsvattnet har haft en motsatt årsvariation med högre kopparnedfall mellan 2013 och 2019 jämfört med 2020 och 2021 som påvisar en viss minskning. De senaste två åren har kopparnedfallet vid majoriteten av bakgrundsstationerna varit högre än vid Holmsvattnet. Den ökande trenden av kopparnedfall vid bakgrundsstationer har inte kunnat förklaras då emissionerna av koppar inte har ökat de senaste två åren. Under 2019/20 justerades några månaders värden för öppet fält vid Holmsvattnet på grund av misstänkt kontaminering. Vad dessa förhöjda värden uppmätta vid Holmsvattnet och vid bakgrundsstationer beror på skall utredas vidare.



Figur 22. A: kopparsedfall i nederbörd och krandropp vid Holmsvattnet jämfört med emissioner av koppar från Rönnskärsverken och totala utsläppen i Sverige, samt totala kopparutsläppen för 27 EU-länder och Storbritannien. Observera att utsläppen för EU27+UK har multiplicerats med en faktor 0,01 för att hamna på samma skala i figuren. **B:** Jämförelser mellan kopparsedfallet i nederbörd och krandropp vid Holmsvattnet och nedfallet av koppar med nederbörd vid bakgrundsstationer i Sverige och i finska Lappland (Pallas).

I Figur 23A presenteras jämförelsen mellan emissioner och uppmätta depositioner av bly. Europeiska utsläpp av bly har minskat med 100% från 1992 till 2019. Rönnskärsverkens utsläpp har under motsvarande period minskat med 75% och nationellt har emissionerna minskat med 59% (Tabell 8). Även de senaste 20 åren (2000-2019/2021) har blyemissionerna minskat med minst 50% på alla nivåer. Vid Holmsvattnet har blynedfallet endast minskat signifikant i krandropp för båda tidsperioderna med liknande minskande trender som för emissionerna.

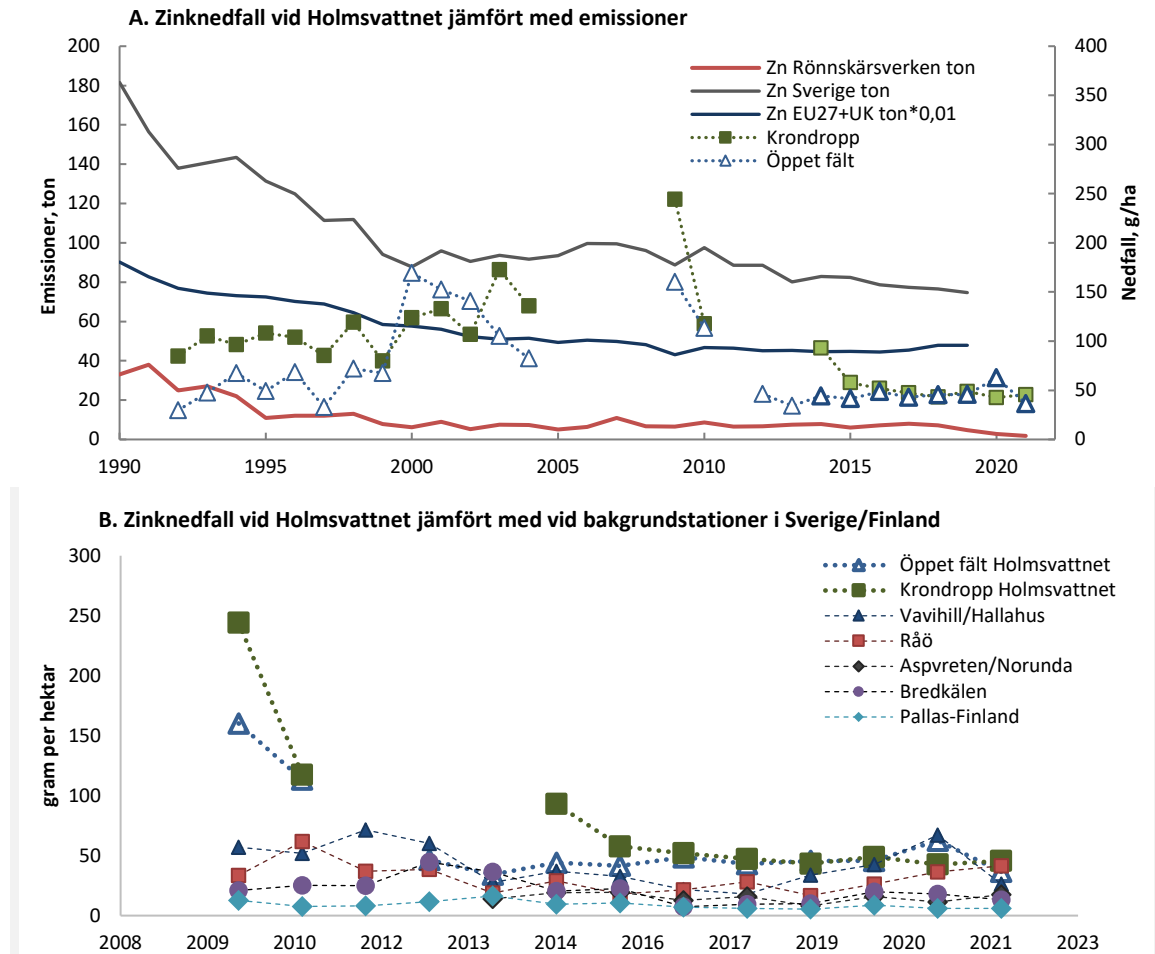
Vid bakgrundsstationer i Sverige och Finland uppmättes blydepositioner som generellt är tre gånger lägre än vid Holmsvattnet, se Figur 23B. Ingen tydlig trend kan urskiljas för perioden 2009-2021, varken vid Holmsvattnet eller vid bakgrundsstationer.



Figur 23. A: blynedfall i nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet jämfört med emissioner av bly från Rönnskärsverken och totala utsläppen i Sverige, samt totala blyutsläppen för 27 EU-länder och Storbritannien. Observera att utsläppen för EU27+UK har multiplicerats med en faktor 0,01 för att hamna på samma skala i figuren. B: Jämförelser mellan blynedfallet i nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet och nedfallet av bly med nederbörd vid bakgrundsstationer i Sverige och i finska Lappland (Pallas).

Zinknedfallet jämförs med emissioner och nedfall vid bakgrundsstationer i Figur 24A. Under perioden 1992 till 2019/2021 har emissionerna av zink från Rönnskärsverken, Sverige och EU minskat signifikant säkertställt (Tabell). Sett på de senaste 20 åren (2000-2019) minskade emissionerna nationellt och inom EU men inte från Rönnskärsverken (2000-2021, Tabell 7). Trots det visar den statistiska analysen att zinknedfallet i krondropp minskat med cirka 70% respektive 44 % för de båda perioderna. I öppet fält har zinknedfallet minskat med cirka 70% de senaste 20 åren.

Nedfallet av zink vid Holmsvattnet är något högre än vid bakgrundsstationer men följer liknande årsvariation (Figur 24B). Inga synbara trender kan observeras för perioden 2009-2021, varken vid Holmsvattnet eller vid bakgrundsstationer.

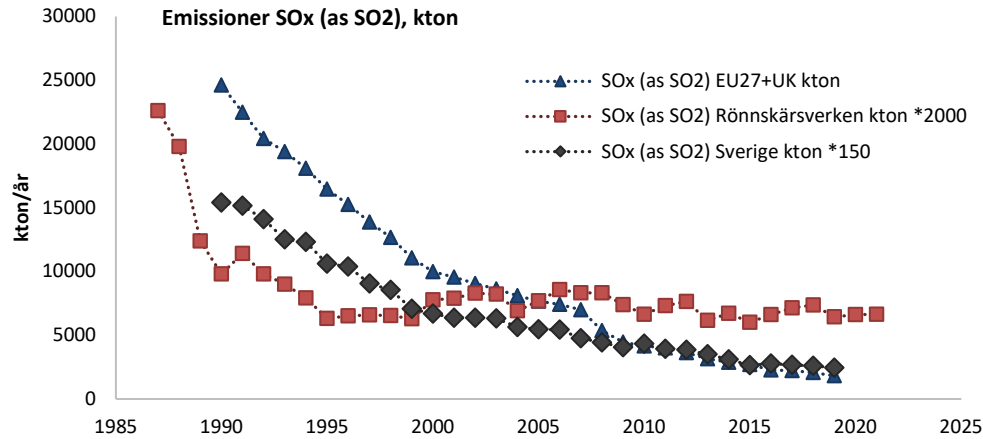


Figur 24. A: zinknedfall i nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet jämfört med emissioner av zink från Rönnskärsverken och totala utsläppen i Sverige, samt totala zinkutsläppen för 27 EU-länder och Storbritannien. Observera att utsläppen för EU27+UK har multiplicerats med en faktor 0,01 för att hamna på samma skala i figuren. B: Jämförelser mellan zinknedfallet i nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet och nedfallet av zink med nederbörd vid bakgrundstationer i Sverige och i finska Lappland (Pallas).

2.4.2 Försurande och övergödande ämnen

Svavelemissioner till luft har erhållits från Rönnskärsverken och rapporterade emissioner till luft från Sverige samt EU27 + UK har erhållits via CEIP, 2022. Om man jämför svavelemissionerna från Rönnskärsverken med de från EU27 samt UK och från Sverige så syns det relativt tydligt att svavelemissionerna från Rönnskärsverken minskade snabbt under slutet av 1980-talet fram till början av 1990-talet. Efter 1995 verkar ingen större förändring av svavelemissionerna från Rönnskärsverken ha skett, Figur 25. Om man ser till svavelemissionerna för EU27+UK och för Sverige som helhet syns att minskningen har skett kontinuerligt i en stadig långsam takt, Figur 25. I Figur 25 har Rönnskärsverkets svavelemissioner multiplicerats med 2000 och Sveriges svavelemissioner med 150, detta för att möjliggöra en direkt jämförelse av trenderna av emissionerna i figurerna.

Sedan 1990 fram till 2019 (senaste år officiella data finns) har Sveriges svavelemissioner minskat statistiskt signifikant med 87 % medan de från EU27+UK har minskat med 102 %. Svavelemissionerna från Rönnskärsverken har under samma period minskat med 24 %.

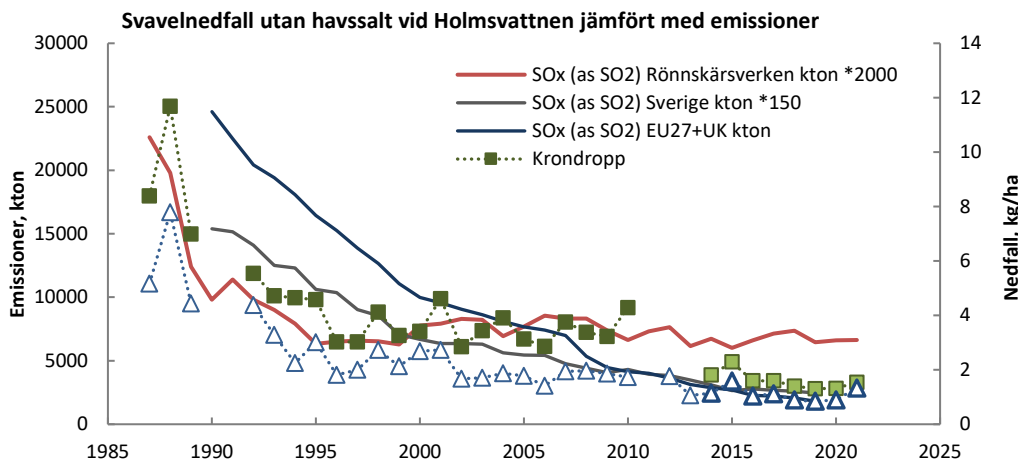


Figur 25. Svavelemissioner från Rönnskärsverken, Sverige som helhet och EU27 + UK i kton. Rönnskärsverkets svavelemissioner har multiplicerats med 2000 och Sveriges svavelemissioner med 150 för att möjliggöra en direkt jämförelse av emissionstrenden med de för EU27+UK.

Sedan mitten av 1990-talet fram till början av 2010-talet var svavelnedfallet i krondroppet relativt konstant medan svavelnedfallet över öppet fält fortsatte att minska, men i en långsammare takt än tidigare, Figur 26. Detta skulle kunna bero på inverkan från lokala utsläpp av svavel. Vid Holmsvattnet är svavelnedfallet över öppet fält lägre jämfört med nedfallet i krondropp, vilket tyder på att torrdepositionen av gasformigt eller partikelbundet svavel har fortsatt stor betydelse. Vid den nya mätplatsen har svavelnedfallet i krondropp varit lägre jämfört med den tidigare ytan.

Om man jämför svavelnedfallet i krondropp och via nederbörden på öppet fält vid Holmsvattnet med svavelemissionerna från Rönnskärsverken, Sverige som helhet och EU27+UK så ser man att nedfallet via krondropp vid Holmsvattnet följer emissionsminskningarna vid Rönnskärsverken väl fram till 2010 vid den gamla mätplatsen. Mätningarna vid den nya mätplatsen visar att svavelnedfallet är något lägre än vid den gamla mätplatsen och att nedfallet där följer emissionsminskningarna för Sverige och EU27+UK. Även svavelnedfallet via nederbörden följer emissionsminskningarna relativt väl.

Sedan 1991/92 fram till 2020/21 har svavelnedfallet utan havssalt via nederbörden vid Holmsvattnet minskat statistiskt signifikant med 68 % medan svavelnedfallet utan havssalt via krondropp vid Holmsvattnet minskat med 69 % under samma period. Som jämförelse har svavelemissionerna under perioden 1992-2019 från Sverige minskat med 82 % och från EU27+UK med 99 %. Under perioden 1992-2021 har inte svavelemissionerna vid Rönnskärsverken förändrats statistiskt signifikant.



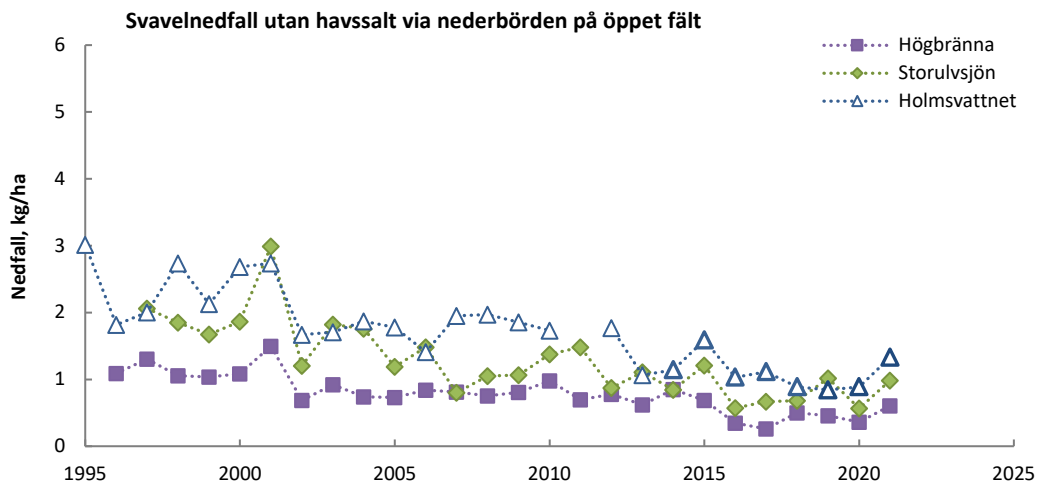
Figur 26. Svavelnedfall utan havssalt vid Holmsvattnet i kg/ha och år jämfört med emissioner från Rönnskärsverken, Sverige som helhet och EU27 + UK i kton. Rönnskärsverkets svavelemissioner har multiplicerats med 2000 och Sveriges svavelemissioner med 150 för att möjliggöra en direkt jämförelse av trenderna för emissionerna med de för EU27+UK.

Figur 27 visar placeringen av de platser som använts för en mer detaljerad jämförelse med de olika mätningarna vid Holmsvattnet; Bäcksjö och Högräna (Västerbottens län), Lakamark och Storulvsjön (Västernorrlands län) och Nymyran (Jämtlands län).



Figur 27. Karta över mätlokaler i norra Sverige inom Kron droppsnetet och som använts i denna jämförelse.

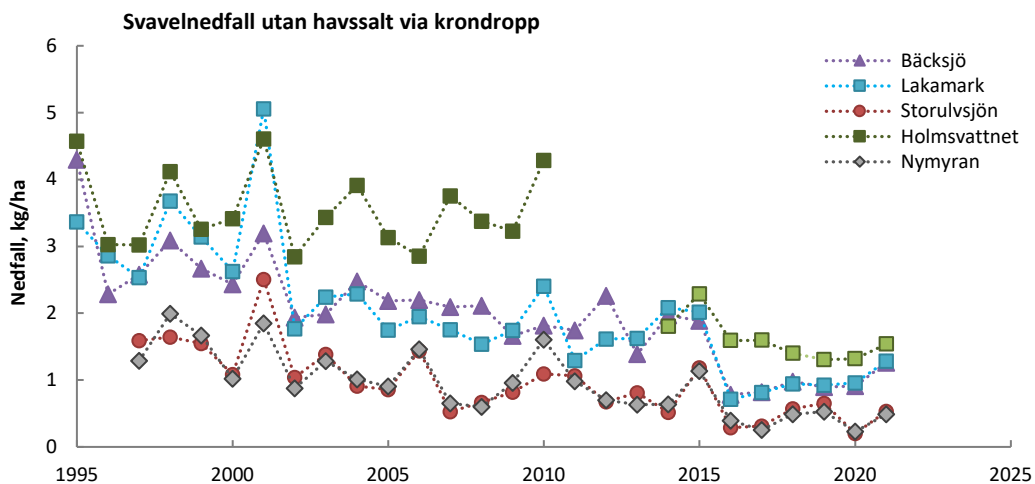
I Figur 28 jämförs svavelnedfallet utan havssalt via nederbörden sedan 1994/95 med närliggande mätplatser till Holmsvattnet, Storulvsjön och Högräna med mätningar på öppet fält. I figuren syns att svavelnedfallet i nederbörden generellt varit högst vid Holmsvattnet följt av Storulvsjön och Högräna.



Figur 28. Svavelnedfall utan havssalt via nederbörden på öppet fält vid Holmsvattnet jämfört med motsvarande mätningar vid Storulvsjön och Högräna.

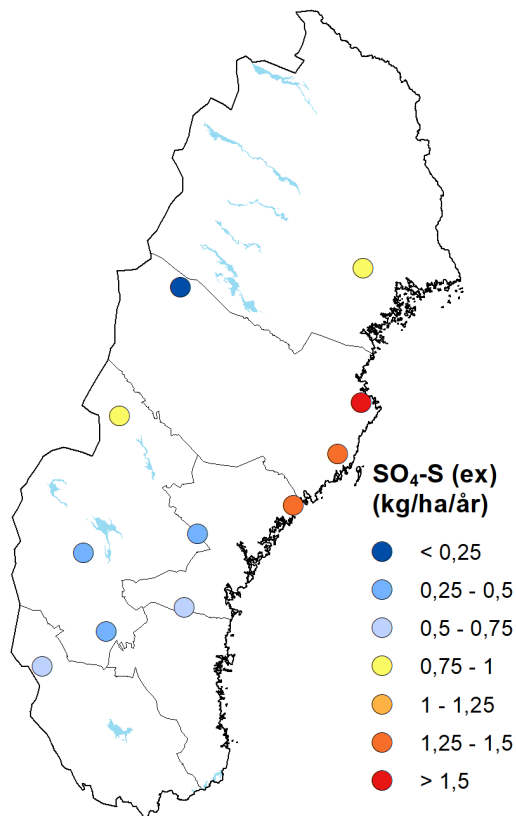
Svavelnedfallet via kron dropp ger ett samlat mått på det totala svavelnedfallet till skog. I Figur 29 visas svavelnedfallet utan havssalt via kron dropp sedan 1994/95 med närliggande mätplatser till Holmsvattnet, Bäcksjö, Lakamark, Nymyran och Storulvsjön. Svavelnedfallet (utan havssaltbidraget) till skogen i norra Sverige har minskat kraftigt sedan mätstarten och minskningen är statistiskt säkerställd för samtliga nu aktiva skogsytor i länen sedan 1997/98. I början av 1990-talet uppmättes ett svavelnedfall vid Bäcksjö, Holmsvattnet och Lakamark, som alla ligger i Västerbottens och Västernorrlands kustområde, på cirka 5–6 kg per hektar,

medan svavelnedfallet vid Ammarnäs i Västerbottens fjällnära område under samma period endast var 0,9–1,4 kg per hektar, Figur 29. Mellanårsvariationen kan vara stor i svavelnedfallet vid de olika mätplatserna. Svavelnedfallet har dock enstaka år varit relativt högt, i synnerhet under 2014/15 då svavelnedfallet påverkades av vulkanutbrott på Island.



Figur 29. Svavelnedfall utan havssalt via krondropp vid Holmsvattnet jämfört med motsvarande mätningar vid Storulvsjön, Bäcksjö och Lakamark.

I norra Sverige fanns 11 aktiva platser med mätningar av nedfall av sulfatsvavel som krondropp under det hydrologiska året 2020/21: Grankölen i Norrbotten; Ammarnäs, Bäcksjö och Holmsvattnet i Västerbotten; Lakamark och Storulvsjön i Västernorrland; Nymyran, Sör-Digertjärn, Fiskåfjället och Hundshögen i Jämtlands län samt Fulufjäll i Dalarna. Svavelnedfallet i norra Sverige har generellt varit som högst vid de kustnära mätplatserna vilket också var fallet under 2020/21, Figur 30. Generellt är svavelhalterna i norra Sverige låga. Under 2020/21 var dock svavelhalterna högre än på flera år vid de olika mätplatserna. Högst svavelnedfall uppmättes vid Holmsvattnet på 1,5 kg per hektar följt av Lakamark, Bäcksjö med vardera 1,3 kg per hektar, Figur 30. Allra lägst svavelnedfall uppmättes vid Ammarnäs med cirka 0,2 kg per hektar.

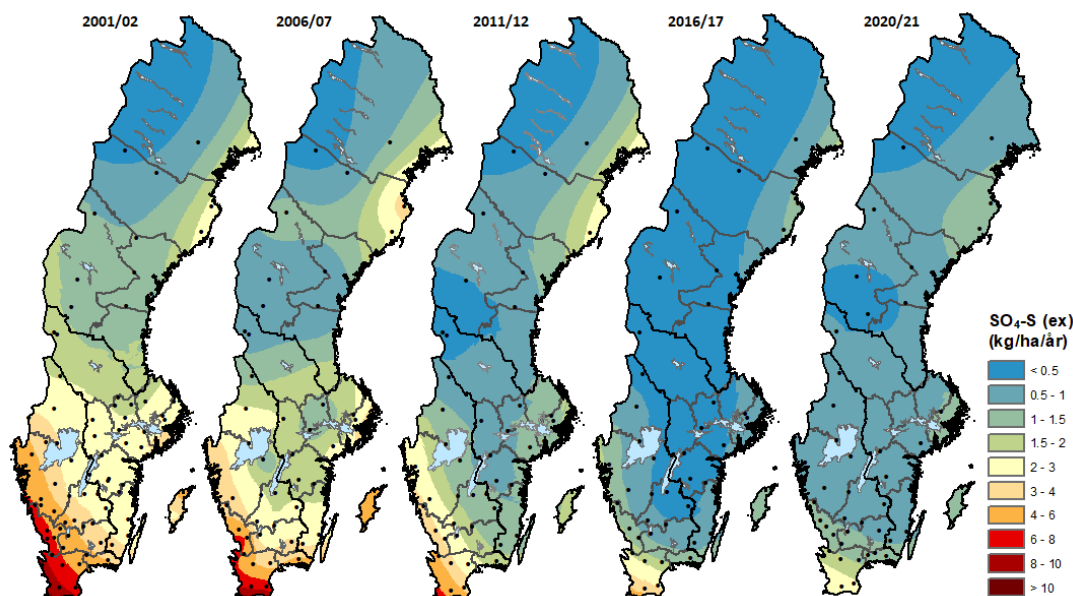


Figur 30. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) under 2020/21 i kronddropp vid mätstationerna inom Kronddroppsnetet i norra Sverige.

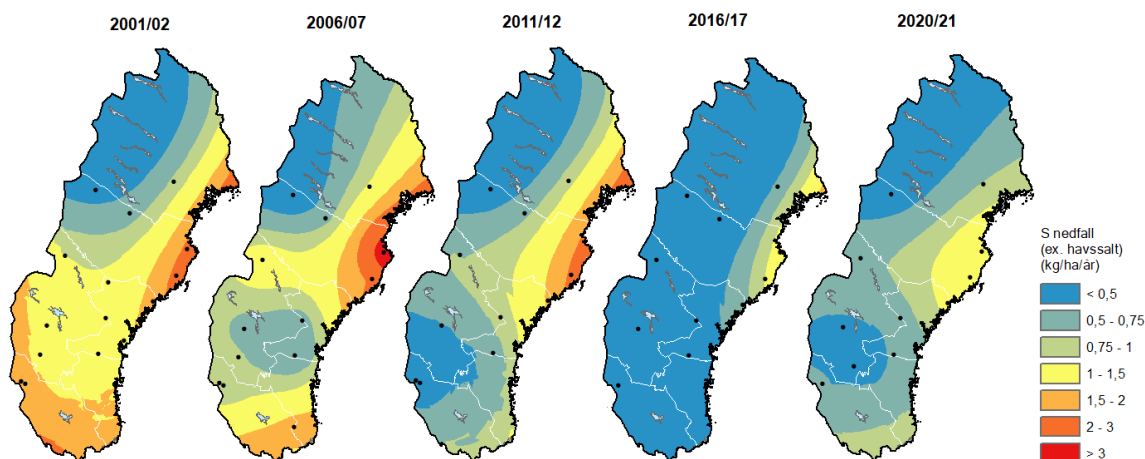
Nedfallet av svavel till granskog i Sverige visas i Figur 31A för vart femte år sedan 2001/02 (sista perioden är endast fyra år) (kartor från Pihl Karlsson m.fl., 2022). Det framgår att den högsta belastningen av svavelnedfallet hela tiden har varit i sydvästra Sverige. Skillnaderna över Sverige har dock minskat med åren. Figur 31B visar uppförstorade kartor för norra Sverige, samma som i Figur 31A men med en annan skala.

Norra Sverige tillhör de delar av landet där svavelnedfallet varit lågt och liksom för övriga Sverige har det minskat genom åren. I norra Sverige finns främst en gradient vad gäller svavelnedfall från Norrlandskusten mot fjällområdena. Detta syns även tydligt under 2020/21, Figur 31B.

A. Svavelnedfall över Sverige sedan 2001/02



B. Svavelnedfall över norra Sverige med annan skala



Figur 31. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) med fyra/fem års mellanrum under perioden 2001/02–2020/21 i krondroppet vid mätstationerna (grandominerade) inom Krondroppsnätet. A. visar hela Sverige och B. visar norra Sverige med en annan skala. Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

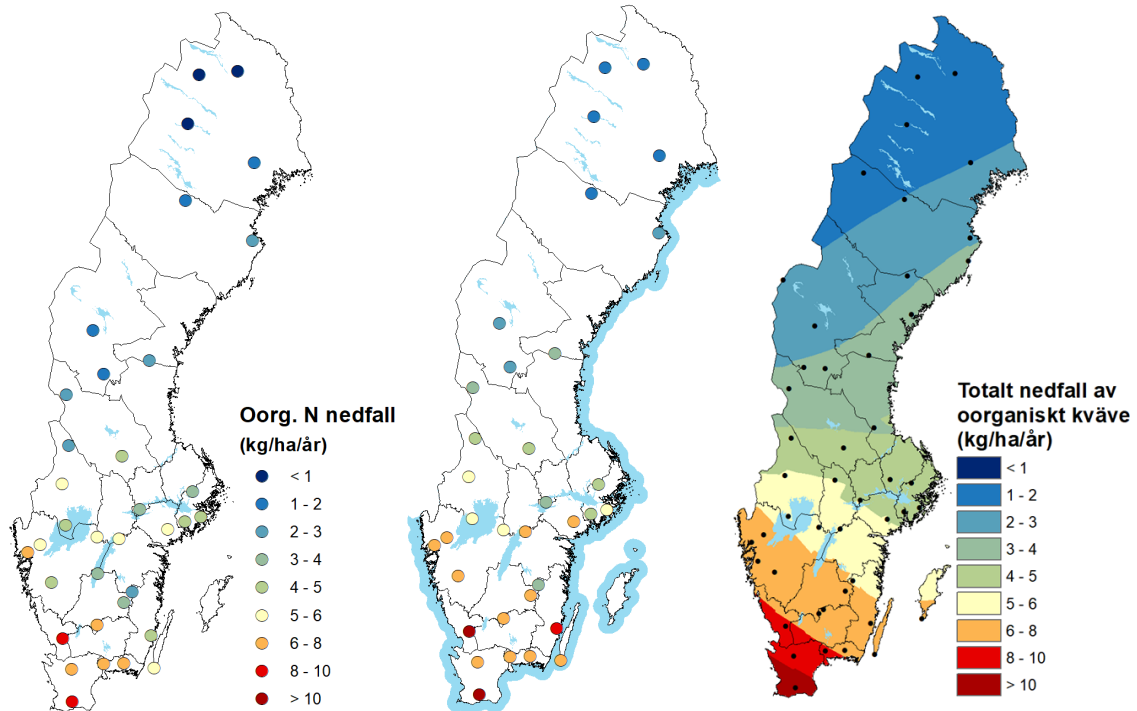
Kvävenedfallet med nederbörden för det hydrologiska året 2020/21 visas för alla mätplatser med öppet fältmätningar i Figur 32A, medan det beräknade totala oorganiska kvävenedfallet till barrskog för mätplatserna visas i Figur 32B (kartor från Pihl Karlsson m.fl., 2022). Jämfört med det totala nedfallet var kvävenedfallet på öppet fält tydligt lägre, mindre än 1 kg per hektar i norr, och aldrig över 10 kg per hektar i söder, Figur 32A. Det beräknade totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog i Sverige under det hydrologiska året 2020/21 varierade mellan 1 och 2 kg per hektar i norr och var över 10 kg per hektar på två platser i sydväst, Figur 32B.

I Figur 32C visas en geografiskt interpolerad karta över det totala kvävenedfallet till barrskog över Sverige för det hydrologiska året 2020/21, baserat på samtliga mätplatser som finns i Sverige. Den geografiska fördelningen av kvävenedfallet över landet har varit likartad under alla år inom mätperioden. Den kritiska belastningen för övergödande kväve till gran- och tallskog i Sverige, 5 kg per hektar och år (Moldan m.fl., 2011) överskreds inte i något av länen i norra Sverige under 2020/21.

A. Kvävenedfall med nederbörden

B. Totalt kvävenedfall

C. Totalt kvävenedfall (interpolerad karta)



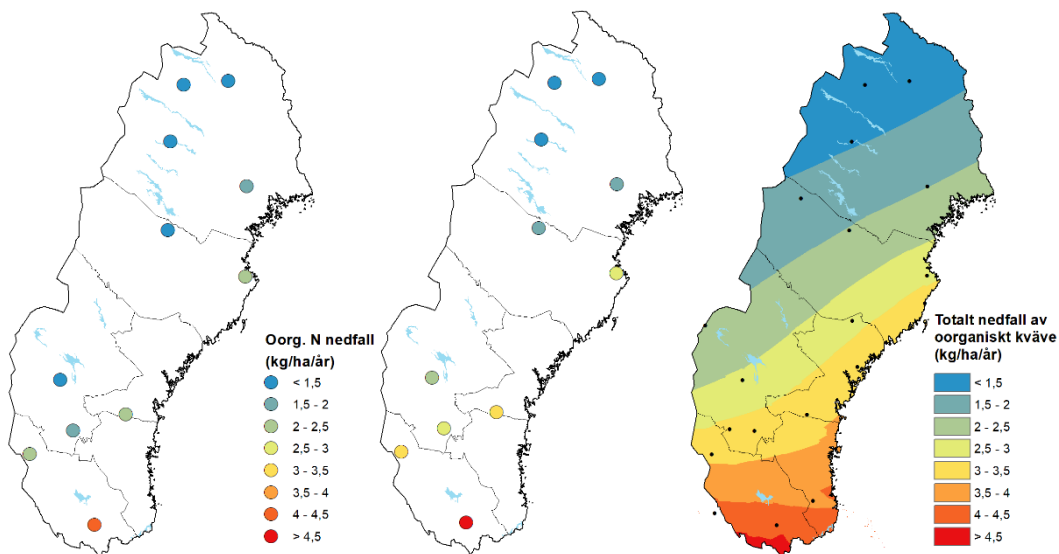
Figur 32. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) över Sverige under det hydrologiska året 2020/21. A. Uppmätt nedfall till öppet fält. B. Motsvarande karta som A men med beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition). C. geografiskt interpolerad karta. Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som kronddropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2019; 2022).

I Figur 33 visas samma kartor som i Figur 32 men de är uppförstorade för att bara visa norra Sverige och de visas med en annan skala. I figuren syns tydligt att det utöver det generella mönstret med högre halter ju längre söderut man kommer så finns en stark gradient med högre halter i norra Sveriges kustlandskap och lägre i fjälltrakterna längre västerut. Observera att skalorna skiljer sig åt mellan Figureerna 32C och 33C.

A. Kvävenedfall med nederbörden

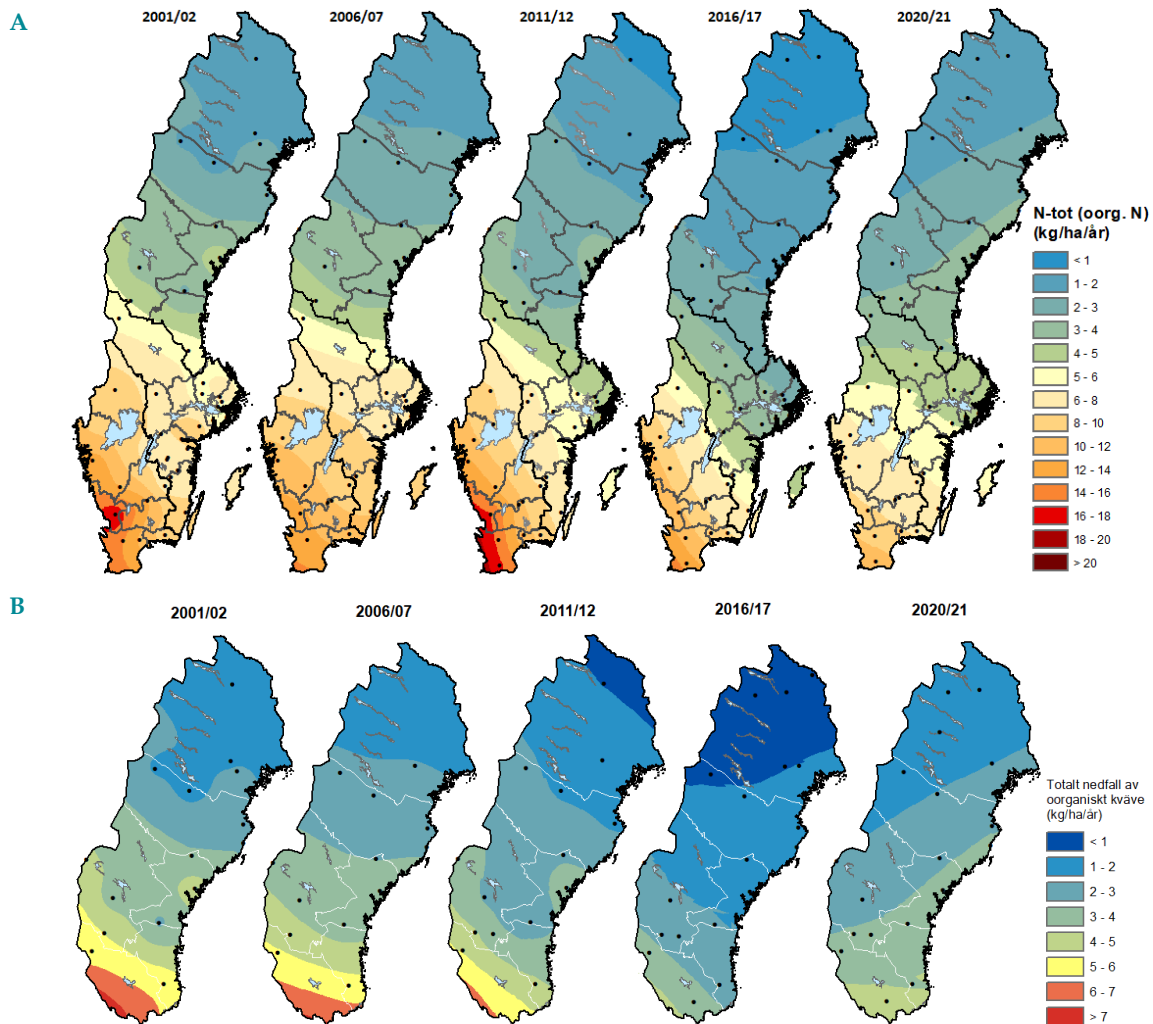
B. Totalt kvävenedfall

C. Totalt kvävenedfall (interpolerad karta)



Figur 33. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) i norra Sverige under det hydrologiska året 2020/21. A. Uppmätt nedfall till öppet fält. B. Motsvarande karta som A men med beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition). C. geografiskt interpolerad karta. Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som kronddropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2019; 2022).

Totaldepositionen av kväve finns beräknad för de hydrologiska åren sedan 2001/02, och nationella kartor finns framtagna för varje år sedan dess. I Figur 34 visas kartor över kvävenedfallet för vart femte år sedan 2001/02 (sista perioden är endast fyra år) (kartor från Pihl Karlsson m.fl., 2022). I figuren syns att mellanårsvariationen är stor. Observera att legenderna skiljer sig åt mellan Figureerna 32C, 33C och 34A och B. Figur 34A visar kartor över Sverige och Figur 34B visar uppförstorade kartor för norra Sverige, men med en annan skala.



Figur 34. Geografiskt interpolerade kartor över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) av oorganiskt kväve ($\text{NO}_x + \text{NH}_x$) över Sverige (A) uppförstorat med annan skala för norra Sverige (B) med fyra/fem års mellanrum under perioden 2001/02–2020/21. Den geografiska interpoleringen har gjorts med Kriging-metodik. 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. (2019, 2022). Under perioden 2008–2013 bedrevs inga mätningar med strängprovtagare, så torrdepositionen har för denna period interpolerats över tid.

2.4.2.1 Statistisk analys av nedfallet vid olika mätplatser i området runt Holmsvattnet

Statistisk trendanalys med Mann-Kendall har gjorts för tidsperioden 1996/97 till 2020/21 (24 år) för de olika mätplatserna i närheten av Holmsvattnet då det finns data under samma tidsperiod, Tabell 9 och 10. Signifikans anges i tabellerna i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = ***$ signifikans. I tabellerna presenteras total procentuell förändring över hela perioden. Denna uträkning är baserad på en medelnormaliserad trendlinje, vilket är en trendlinje som är justerad så att mitten på linjen hamnar i nivå för medelvärdet för alla ingående y-värden. Mer information om den statistiska analysen presenteras i Kapitel 3.6.

Om man ser på hela den 24-åriga tidsperioden så ökade krondroppsmängden vid Lakamark. Ingen statistiskt signifikant förändring vad gäller krondroppsmängden eller nederbördsmängden på öppet fält fanns för någon annan mätplats.

Under de senaste 24 åren har det totala nedfallet av försurande ämnen med nederbörden, räknat som vätejoner minskat signifikant vid de tre mätplatserna, Holmsvattnet, Högbränna och Storulvsjön, med cirka 52 till 70%, Tabell 9. Även svavelnedfallet med nederbörden minskade vid de tre mätplatserna med mellan 60 och 63 % sedan 1996/97.

Det totala nedfallet av svavel utan havssalt, via krondropp, minskade statistiskt signifikant vid samtliga fem jämförande mätplatser, Holmsvattnet, Lakamark, Bäcksjö, Nymyran och Storulvsjön, med mellan 62 och 75 % under de senaste 24 åren, se Tabell 9. Med minst minskning vid Holmsvattnet och störst vid Nymyran och Storulvsjön. När det gäller nedfallet av klorid via krondropp så var den enda statistiskt signifikanta förändringen som fanns en ökning av kloridnedfallet vid Nymyran med 38 %, Tabell 9.

Tabell 9. Statistisk analys med Mann-Kendall för tidsperioden 1996/97–2020/21 (24 år) för mätningarna i nederbörden på öppet fält (ÖF) och i krondropp (KD). Signifikans anges i tabellen i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = *$ signifikans.**

Grupp	Parameter	Första År	Sista År	Antal värden	p	*, **, ***	Total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje)
Holmsvattnet ÖF	nb_mm	1996/97	2020/21	25	0,2336		Ej signifikant
Högbränna ÖF	nb_mm	1996/97	2020/21	25	0,065		Ej signifikant
Storulvsjön ÖF	nb_mm	1996/97	2020/21	25	0,2336		Ej signifikant
Holmsvattnet KD	nb_mm	1996/97	2020/21	22	0,3377		Ej signifikant
Bäcksjö KD	nb_mm	1996/97	2020/21	25	0,1543		Ej signifikant
Lakamark KD	nb_mm	1996/97	2020/21	25	0,0422	*	31
Nymyran KD	nb_mm	1996/97	2020/21	25	0,6238		Ej signifikant
Storulvsjön KD	nb_mm	1996/97	2020/21	25	0,4691		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	hp_kgha	1996/97	2020/21	24	0,0002	***	-70
Högbränna ÖF	hp_kgha	1996/97	2020/21	25	0,0014	**	-52
Storulvsjön ÖF	hp_kgha	1996/97	2020/21	25	0,0001	***	-59
Holmsvattnet ÖF	so4sex_kgha	1996/97	2020/21	24	0	***	-60
Högbränna ÖF	so4sex_kgha	1996/97	2020/21	25	0	***	-62
Storulvsjön ÖF	so4sex_kgha	1996/97	2020/21	25	0	***	-63
Holmsvattnet KD	so4sex_kgha	1996/97	2020/21	22	0,0006	***	-62
Bäcksjö KD	so4sex_kgha	1996/97	2020/21	25	0	***	-68
Lakamark KD	so4sex_kgha	1996/97	2020/21	25	0	***	-67
Nymyran KD	so4sex_kgha	1996/97	2020/21	25	0	***	-75
Storulvsjön KD	so4sex_kgha	1996/97	2020/21	25	0	***	-75
Holmsvattnet KD	cl_kgha	1996/97	2020/21	22	0,778		Ej signifikant
Bäcksjö KD	cl_kgha	1996/97	2020/21	25	0,4409		Ej signifikant
Lakamark KD	cl_kgha	1996/97	2020/21	25	0,8701		Ej signifikant
Nymyran KD	cl_kgha	1996/97	2020/21	25	0,0041	**	38
Storulvsjön KD	cl_kgha	1996/97	2020/21	25	0,2158		Ej signifikant

När det gäller nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden har det, under de senaste 24 åren, minskat statistiskt signifikant vid Storulvsjön med 36 %, Tabell 10. Inga andra förändringar av det oorganiska kvävenedfallet med nederbörden fanns vid vare sig Holmsvattnet eller Högbränna. Det fanns inga statistiskt signifikanta förändringar av ammoniumnedfallet vid någon av de tre mätplatserna, däremot minskade nitratnedfallet vid samtliga tre mätplatser med mellan 30 och 40 % under de senaste 24 åren, Tabell 10.

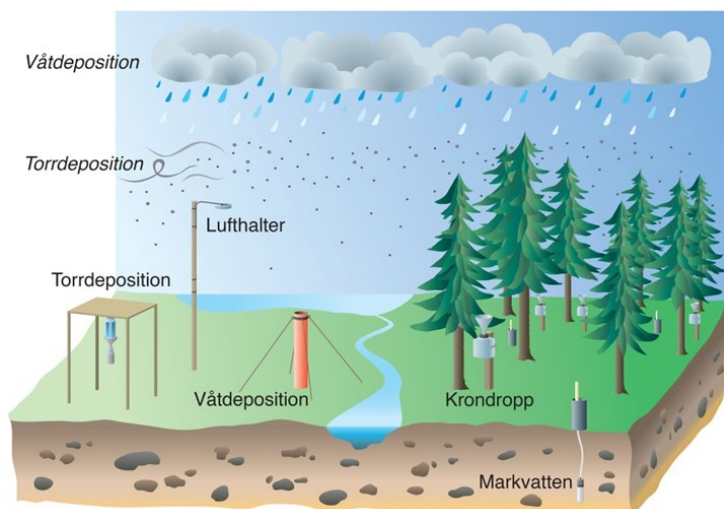
Tabell 10. Statistisk analys med Mann-Kendall för tidsperioden 1996/97–2020/21 (24 år) för mätningarna av kväve på öppet fält (ÖF). Signifikans anges i tabellen i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = ***$ signifikans.

Grupp	Parameter	Första År	Sista År	Antal värden	p	*, **, ***	Total procentuell förändring över hela perioden (baserat på medelnormaliserad trendlinje)
Holmsvattnet ÖF	nh4n_kgha	1996/97	2020/21	24	0,7098		Ej signifikant
Högbränna ÖF	nh4n_kgha	1996/97	2020/21	25	0,4691		Ej signifikant
Storulvsjön ÖF	nh4n_kgha	1996/97	2020/21	25	0,0882		Ej signifikant
Holmsvattnet ÖF	no3n_kgha	1996/97	2020/21	24	0,0141	*	-33
Högbränna ÖF	no3n_kgha	1996/97	2020/21	25	0,0265	*	-30
Storulvsjön ÖF	no3n_kgha	1996/97	2020/21	25	0,0019	**	-40
Holmsvattnet ÖF	OorgN, kgha	1996/97	2020/21	24	0,2242		Ej signifikant
Högbränna ÖF	OorgN, kgha	1996/97	2020/21	25	0,6913		Ej signifikant
Storulvsjön ÖF	OorgN, kgha	1996/97	2020/21	25	0,0125	*	-36

3 Metoder för provtagning, analys samt databearbetning

3.1 Deposition

Deposition av luftföroreningar mäts månadsvis, dels i nederbörd över öppet fält och dels i krondropp inne i skogen under trädkronorna (Figur 35). Mätningarna över öppet fält speglar huvudsakligen våtdeposition, det vill säga de luftföroreningarna som med hjälp av nederbörd tvättas ur atmosfären. Krondroppsmätningarna speglar utöver våtdepositionen även torrdepositionen, det vill säga även de luftföroreningar som transporteras med vinden och fastnar i trädkronorna och sköljs ner med nederbörden. För vissa ämnen, exempelvis kväve och baskatjoner, finns dock en betydande intern cirkulation i trädkronorna. För att beräkna totaldeposition av dessa ämnen används mätningar med strängprovtagare. Årsdepositionen och volymvägda årsmedelkoncentrationer beräknas för hydrologiska år (oktober – september).



Figur 35. Principskiss för mätningarna inom Krondropsnätet, där mätningarna vid Holmsvattnet även ingår. Nedfallet till öppet fältytan består av våtdeposition medan nedfallet till krondropsytan består av våt- och torrdeposition. Vissa ämnen samverkar med trädkronorna, och därför används även strängprovtagare för att kunna bestämma torrdepositionen av dessa ämnen. Markvattnet provtas på 50 cm djup. Illustration: Bo Reinerdahl.

Krondropsprovtagningen i Holmsvattnet sker sedan oktober 2013 i en ny skogsyta (30 x 30 m). Provytan

domineras av gran med enstaka tallar och någon björk. Fältskiktet består huvudsakligen av blåbär, lingon, ekorrhör samt enstaka gräs och mossor.

3.1.1 Insamling av krondropp för metallanalyser

Insamling av krondropp för metallanalys sker med hjälp av en likartad utrustning som för krondroppsmätningarna, beskrivna ovan. Blyfri glasull stoppas i trattspetsarnas övre del. De exponerade PE-dunkarna/hinkarna skickas med allt insamlat vatten till IVL:s laboratorium. Proverna volymbestäms och fixeras med koncentrerad salpetersyra (suprapur). Proverna lagras i minst två veckor för att eventuella metaller som adsorberats på kärlväggarna skall frigöras. Krondropsinsamlarna (10 stycken) hålls sedan ihop och ett delprov tas ut för analys.

3.1.2 Insamling av krondropp för analys av försurande och övergödande ämnen

Under sommarhalvåret används totalt tio provtagare för insamling av krondropp. Provtagarna har trattar (Ø 155 mm) som är monterade på 2-liters dunkar, mörklagda med aluminiumfolie. Dunk och tratt, båda av polyeten (PE), är placerade på en stolpe ca 100 cm ovanför marken. Under vinterhalvåret ersätts trattarna med 5-liters PE-plasthinkar (Ø 214 mm) med en plastpåse. Även plasthinkarna är monterade på stolpar. Samtliga insamlare töms en gång per månad. De tio krondropsinsamlarna hålls ihop i fält, eller efter upptining inomhus. Volymen bestäms och ett mindre delprov tas ut för analys.

3.1.3 Insamling av nederbörd över öppet fält för metallanalyser

Insamling av nederbördsprover för metallanalys sker med hjälp av PE-tratt med en diameter på 155 mm, placerad på en tvålitersdunk. Blyfri glasull stoppas i trattspetsarnas övre del. Vintertid används en plasthink av PE (Ø 214 mm) med två plastpåsar för insamling av nederbörden. Insamling av prov sker en gång per månad. Den totala volymen bestäms efter insamling i fält eller efter eventuell upptining inomhus. Av provet tas ett mindre delprov för analys. Provet konserveras med koncentrerad salpetersyra (suprapur).

3.1.4 Insamling av nederbörd över öppet fält för analys av försurande och övergödande ämnen

Från och med etableringen av den nya mätstationen 2013 mäts och provtas nederbörd på öppet fält för analys av bl.a. försurande och övergödande ämnen med en nyutvecklad provtagare (WoF-provtagare). Utrustningen består av ett rör (Ø 178 mm) med ett nät (skräpskydd under sommarhalvåret) och en plastsäck inuti röret. Plastsäcken sätts fast med hjälp av ett spännband samt en "krona" som sätts överst. Röret står på en platta under mark samt är fixerad med hjälp av tre reglerbara vajrar. Under vintern insamlas nederbördsprover med samma utrustning som under sommaren, undantaget nätet, som då inte behövs. Samtliga insamlare töms en gång per månad. Den totala volymen bestäms efter insamling i fält eller efter eventuell upptining inomhus.

3.2 Avrinningsvatten, hydrologi

Avrinningsvatten provtas en gång per månad i huvudfåran av bäcken öster om sjön Holmsvattnet (Figur 1). Prover tas i en syradiskad flaska som konserveras med salpetersyra (suprapur) direkt vid ankomst till lab.

Hydrologiska data från Storbäcken användes t.o.m. till 2017/18. Från och med 2018/19 används hydrologiska data från Kågeälven (avrinning per dygn och ha) vid beräkning av månatliga vattentransporter ut från avrinningsområdet vid Holmsvattnet för hela tidsserien. Medelavrinningen mellan Storbäcken och Kågeälven skiljer sig något, men fördelningen under året är relativt lika. Vid beräkningen av arealförluster (transporter ut) har dagliga halter interpolerats fram. Tillsammans med uppmätta dagliga flöden har mängder transporterade ämnen räknats fram. Dygnsvärden för mängderna har sedan summerats för månader och hela det hydrologiska året. Nederbörds- och mängderna som redovisas vad gäller avrinningen är hämtade från IVL:s depositions- och avrinningsmätningar över öppet fält.

3.3 Markvatten

Markvattenmätningar sker med undertryckslysimetrar som suger vatten via ett fint, keramiskt filter (typ P 80). Vatten i markens omättade zon, oftast på väg nedåt mot grundvattnet, provtas i mineraljorden på ca 50 cm djup. Markvattenprovtagningar utförs tre gånger per år för att representera förhållandena före, under samt efter vegetationsperioden.

3.4 Analyismetoder

Samtliga analyser utfördes under 2021 av IVL:s laboratorium som innehar ackreditering för samtliga här analyserade försurande och övergödande ämnen samt följande av de metaller som presenteras i rapporten: As, Pb, Cd, Co, Cu, Cr, Ni och Zn. Metallhalterna analyserades, till och med 2013, av ALS Scandinavia AB i Luleå.

Parametrar som analyseras är pH, sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$), klorid (Cl), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) samt konduktivitet. Analys sker på membranfiltrerat prov (0,8 μm). $\text{SO}_4\text{-S}$, Cl och $\text{NO}_3\text{-N}$ analyseras med jonkromatograf. $\text{NH}_4\text{-N}$ analyseras med flow injection analyser (FIA), en spektrofotometrisk metod. pH och konduktivitet mäts med elektrod respektive konduktivitetmätare.

Metaller som analyseras är sedan 1986; mangan (Mn), kalcium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), kalium (K), arsenik (As), kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn). Från hösten 1992 har även järn (Fe), aluminium (Al), barium (Ba), kobolt (Co), krom (Cr) och nickel (Ni) analyserats. Alkalimetaller, metaller och arsenik analyseras på ofiltrerat prov, men en viss filtrering sker direkt i fält under insamlingen.

Elementärt Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb och Zn analyseras på salpetersyrakonserverade prov. Från och med januari 2014 utförs metallanalyserna med induktivt kopplad masspektrometri ICP-MS. Fram till och med december 2013 utfördes analyserna med högupplösande induktivt kopplad plasma masspektrometri (ICP-SFMS) eller induktivt kopplad plasma atom-emission-spektrometri (ICP-AES). Metoden för analys av metaller på 1980-talet avvek från de metoder som använts efter 1991. Oftast erhålles dock god överensstämmelse mellan analysresultat för metaller med ICP-SFMS/ICP-AES och den tidigare använda metoden med adsorptionsspektrometer och grafitugn (AAS).

3.5 Kontamineringsrisk

Speciell hänsyn tas till kontamineringsrisker i samband med förväntat låga halter av metaller. Material i kontakt med provvatten är uteslutande av polyeten av livsmedelskvalitet. Diskrutinerna för nytt material följer ett noga utformat schema.

Tester utförda under 2008 tydde på att en del av de plasthinkar som användes vintertid för nederbörds- och krondroppsprövtagning kunde avge betydande mängder zink. Detta gav upphov till att zinkhalterna i nederbörds- och krondroppspröv insamlade under vinterhalvåret troligen överskattades under perioden 2004/05 - 2007/08. Analyserna visade även att zinkkontamineringen från hinkarna varierade mycket kraftigt

från hink till hink, vilket kan ha medfört att vissa värden som uppmätts med hink, trots allt kan vara relativt korrekta. En modifierad provtagningsmetod infördes med början 1 september 2008. Regn- och snöprover insamlas sedan dess med plasthink försedd med dubbla plastpåsar så att provet inte kommer i kontakt med plasthinken. Flertal tester har visat att metoden fungerar.

3.6 Trendanalys

För trendanalys används Mann-Kendall-metodik för att påvisa signifikanta linjära trender (Mann, 1945). Förenklat kan man säga att metoden jämför alla värden parvis och summerar hur ofta det senare värdet är större respektive mindre än det tidigare värdet. Detta gör att eventuella kraftigt avvikande värden samt avsaknad av värden inte påverkar resultatet i någon större utsträckning. Allt detta gör Mann-Kendall till en robust metod. Mann-Kendall är i allmänhet mindre känslig än linjär regression, vilket innebär att det kan vara svårare att få statistisk signifikans för en trend. Mann-Kendall kan användas på så små dataset som fem värden. Mann-Kendall ska inte användas på data med säsongsvariation, utan då skall istället Seasonal Kendall användas. Seasonal Kendall är en vidareutveckling av Mann-Kendall-metoden. I analysen av data har Mann-Kendall använts för årsvisa värden av deposition och Seasonal Kendall för markvattendata. Signifikans anges i tre olika nivåer; $p < 0,05 = *$ signifikans; $p < 0,01 = **$ signifikans; $p < 0,001 = ***$ signifikans. En mer detaljerad beskrivning finns i Pihl Karlsson & Wängberg, 2016. I tabellhuvudet till statistiktablerna nämns medelnormaliserad trendlinje. Den räknas ut med hjälp av ekvationen för trendlinjen (sista värdet på trendlinjen minus 1:a värdet på trendlinjen dividerat med 1:a värdet på trendlinjen). Den medelnormaliserade trendlinjen har samma lutning som originallinjen, men är förflyttad i höjddled så att mitten på linjen ligger i nivå med medelvärdet för alla ingående y-värden. Det går dock att få värden $< -100\%$ i de fall slutet på trendlinjen hamnar under X-axeln.



4 Referenser

- Boliden Group, 2022. Produkter. <https://www.boliden.com/sv/verksamhet/produkter/ovriga produkter> (2022-07-06).
- CEIP. 2022. EMEP/CEIP 2021 Present state of emission data; <https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata> or <https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2021-submissions>.
- Fredricsson, M., m.fl. 2021. Sakrapport med data från övervakning inom Programområde Luft t.o.m 2019. Naionell luftövervakning. IVL Rapport C584.
- Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend: *Econometrica* v. 13, p. 245–259.
- Moldan, F., Munthe, J., Hansen, K., Kyrklund, T., Akselsson, C., Fölster, J., Sverdrup, H. & Belyazid, S. 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.
- Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C., Ferm, M., Hultberg H. 2019. Total deposition of inorganic nitrogen to Norway spruce forests – applying a surrogate surface method across a deposition gradient in Sweden. *Atmospheric Environment* 217, 116964. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116964.
- Karlsson, P.E., C. Akselsson, S. Hellsten, G. Pihl Karlsson. 2022. Twenty years of nitrogen deposition to Norway spruce forests in Sweden. *Science of the Total Environment* 809, 152192.
- Pihl Karlsson, G., Nerentorp, M. (2021). Nedfall och avrinning av metaller, svavel och kväve i närheten av Rönnskärsverken från 1986/87 – 2019/20. Årsrapport 2021. IVL Rapport C656.
- Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E., C. Akselsson, C. & Hellsten, S. 2022. Försurning och övergödning i norra Sverige. Resultat från Krondroppsnetet till och med 2020/21. IVL Rapport C680.
- SMHI:s service Vattenwebb (<http://vattenwebb.smhi.se/station/>).
- Teknikhandboken, 2022. Aluminium i miljön. <https://www.teknikhandboken.se/handboken/byggnadsmaterial-i-kretsloppet/aluminium/aluminium-i-miljon/> (2022-07-06).

Bilaga 1. Historik över mätningarna vid Holmsvattnet från 1986 fram till i dag.

B1:1 1986-1989

Mellan 1986 och 1989 studerade IVL tungmetallflöden i ett skogsområde nära Rönnskärsverken. Projektet ingick i IVL:s branschgemensamma forskningsprogram och studiens mål var att beskriva transporten av vätejoner, sulfatsvavel, klorid, nitratkväve, ammoniumkväve, mangan, kalcium, magnesium, natrium, kalium, arsenik, kadmium, koppar, bly och zink genom marksystem till ytvatten.

Undersökningarna utfördes i ett 240 ha stort avrinningsområde, 17 km SSV om Rönnskärsverket, söder om sjön Holmsvattnet.

Deposition

Till depositions-mätningarna användes sommartid 30 trattar, och vintertid 30 dunkar, varav 15 användes för analys av metaller och 15 för analys av andra kemiska ämnen såsom försurande och övergödande ämnen. Provtagning och analys genomfördes på månadsbasis. Provtagarna var slumpvis utplacerade längs en 1 kilometer lång linje genom hela avrinningsområdet. Öppet fältprovtagningen genomfördes med en s.k. MISU-provtagare.

Markvatten

Markvatten provtogs fem gånger under perioden 1987-1988, vid fem platser och på tre djup (20, 40 och 60 cm).

Avrinning

Avrinningsprov togs en gång per månad vid avrinningsområdets utflöde samt vid ytterligare två lokaler inom området. En mätdamm uppfördes 1986 i avrinningsområdets utflöde. Vattennivån övervakades med digitalt registrerande pegel med två avläsningar per timme. Dessa räknades sedan om till dygnsvärden och ackumulerades till avrinning per månad.

B1:2 1991- september 2013

Deposition

Efter ett kortare uppehåll i mätningarna startade under hösten 1991 nya mätningar i samma avrinningsområde som under 1986-89. Provtagning skedde dels av nederbörd på öppet fält, och dels av kronddropp (nederbörd som passerat trädens krontak) i en permanent skogsyta (30x30 meter) med äldre granskog. Provtagningen skedde i den norra delen av området, nära provtagningsplatsen för avrinning i utloppet från avrinningsområdet. Alla depositionsinsamlare var dubblerade för att skilja på insamling för analys av metaller från analys av övriga parametrar. Parametrar som analyserades var pH, ledningsförmåga, Ca, Mg, Na, K, SO₄-S, Cl, NO₃-N, NH₄-N, org-N, Mn, tot-P, Cu, Pb, Cd, Zn och As. Från hösten 1992 har även Fe, Al, Ba, Co, Cr och Ni analyserats.

Insamlarna var slumpvis utplacerade över ytan. 20 kronddropsinsamlare (trattar under sommaren och hinkar under vintern) användes, varav 10 insamlare för metallanalys och 10 insamlare för övriga ämnen. För provtagning av nederbörd över öppet fält användes MISU-insamlare, med snösäck vintertid.

Samtliga insamlare tömdes en gång per månad. Prov från insamlarna hölls samman i fält, eller efter upptining, och ett delprov togs ut för analys av försurande och övergödande ämnen. När det gäller tungmetallinsamlarna så skickades de 10 exponerade dunkarna/hinkarna med prov till IVL:s laboratorium i Aneboda varje månad. Proverna fixerades där med koncentrerad HNO₃ (suprapur) och lagrades i två veckor så att eventuella metaller på kärlväggarna frigjordes. Därefter hölls proven samman från de 10

metallinsamlarna och ett delprov togs ut. Mellan 1991 till och med 2003 utfördes analys av metaller på kvartalsprov, där tre månadsprover sammanfördes volymvägda. Från 2004 utfördes metallanalyserna på månadsprover.

I mitten av maj 2011 avverkades skogen i provytan och krondropps- och markvattenmätningarna avslutades därigenom. I samband med detta, och på grund av andra oförutsedda händelser, blev det ett mätuppehåll även för mätningarna över öppet fält från mitten av maj 2011 till slutet av augusti samma år.

Markvatten

Provtagare för markvatten (fem undertryckslysimetrar typ P80 på 50 cm i mineraljorden) installerades i oktober 1998 i skogsytan med depositions-mätningarna. Efter kompletteringen med markvatten var mätningarna fullt jämförbara med andra permanenta skogsytor i landet som ingår i den regionala miljöövervakningen inom Krondroppsnetet. Provtagning skedde tre gånger per år (vår, sommar och höst) enligt schema som bestämdes från IVL. Parametrar som analyserades var pH, Ca, Mg, Na, K, SO₄-S, Cl, NO₃-N, NH₄-N, Fe, Mn, Al, och TOC.

Avrinning

Avrinningsvatten provtogs en gång per månad vid avrinningsområdets utflöde. Proverna fixerades i fält (suprapur HNO₃). Analyserade parametrar var pH, Ca, Mg, Na, K, SO₄-S, Cl, NO₃-N, NH₄-N, Fe, Mn, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb och Zn.

Vattenståndet i den hydrologiska mätdamm som uppfördes hösten 1986 avlästes under 1991 manuellt i samband med provtagning. Efter 1991 fungerade inte dammen på grund av läckage varför hydrologisk statistik från SMHI inhämtades från ett närliggande vattendrag (Sävarån). Dessa uppgifter användes vid beräkningen av månatliga vattentransporter ut från avrinningsområdet vid Holmsvattnet. Sedan 2003 har istället hydrologiska data (SMHI) inhämtats från Storbäcken i Ostvik, belägen i ett 150,5 km² stort avrinningsområde strax norr om Skellefteå. Detta då det förelåg problem med data från Sävarån samt att det bedömdes att Storbäcken var en bättre referensbäck då den var mer lik vattendraget i avrinningsområdet i storlek och låg geografiskt närmare provytan.

Avrinningsdata för mätperioden 1992 – 2002 har i senare skede räknats om med hydrologisk statistik från Storbäcken i Ostvik för att tidsserierna skall vara jämförbara. Det gör att avrinningsdata som rapporteras nu är baserade på hydrologisk statistik från Storbäcken i Ostvik.

B1:3 Oktober 2013-

Deposition och markvatten

I oktober 2013 startades mätningar i krondropp och i markvatten på en ny plats. Även mätningarna över öppet fält flyttades vid samma tidpunkt till en ny plats. Dessutom flyttades provtagningen för bestämning av metallhalter i avrinningen till en ny bäck i närheten av den nya krondroppsytan. Det nya undersökningsområdet är beläget öster om sjön Holmsvattnet, ungefär 15 – 17 km sydsydväst om Rönnskärsverken. Hur mätningarna sker sedan oktober 2013 presenteras i kapitel 2.

B1:4 2019 –

Avrinning

Mätstationen Ostviks nedläggning i december 2018 innebar att avrinningsdata och metallhalter från och med 2019 måste beräknas med vattenföringsdata från en ersättande mätstation. Genom en jämförande utredning av kontrollerade vattenföringsdata (för perioden 1992-2018) beslutades Kågeälven (Kåge 2) vara en lämplig ersättare (Pihl Karlsson & Nerentorp, 2020). Avrinningsdata för mätperioden 1992 – 2018 har i samband med detta räknats om med hydrologisk statistik från Kågeälven för att tidsserierna skall vara jämförbara. Det gör att avrinningsdata som rapporteras nu är baserade på hydrologisk statistik från Kågeälven.



Rapport C 688 – Nedfall och avrinning av metaller, svavel och kväve i närheten av Rönnskärsverken från 1986/87 - 2020/21 – Årsrapport 2022

Referens:

Pihl Karlsson, G. & Nerentorp, M. 2020. Nedfall och avrinning av metaller, svavel och kväve i närheten av Rönnskärsverken från 1986/87 - 2018/19. Årsrapport 2020. IVL Rapport C 504.

