



rappport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Deposition och avrinning av metaller, svavel och kväve
vid Holmsvattnet under åren 1986-2002

Årsrapport 2002

Johan C. Knulst och Olle Westling
B 1528
December 2003

<p>Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.</p> <p>Adress/address Aneboda 360 30 Lammhult</p> <p>Telefonnr/Telephone 0472-26 77 80</p>	<p>RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary</p> <p>Projekttitel/Project title HVTMET</p> <p>Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor Boliden Mineral AB</p>
<p>Rapportförfattare/author Johan C Knulst, Olle Westling</p>	
<p>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Deposition och avrinning av metaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet under åren 1986-2002.</p>	
<p>Sammanfattning/Summary Depositionen av svavel i granskog minskade kraftigt mellan 1986 och 1997. Halter av svavel i nederbörd minskade successivt för hela perioden 1986-2002. En smärre minskning av kvävedepositionen, framför allt ammoniumkväve, har noterats under perioden 1986 till 2002. Nederbördsmängden på undersökningslokalen har successivt ökat under hela 1990-talet och var störst under 2000/01. Det hydrologiska året 2001/02 var relativt nederbördsfattigt, vilket ledde till lägre transporter av metaller i avrinningen då. pH-Värdet i nederbörd, krondropp och avrinning har stadigt ökat under hela perioden mellan 1986 och 2002. Depositionen av arsenik samt tungmetaller på öppet fält och i granskog har minskat kraftigt för arsenik, kadmium, koppar, och bly. Under det senaste året har halterna av arsenik, kadmium, krom, nickel och zink i nederbörd varit på samma nivå som bakgrundsstationer i mellersta och norra Sverige. Endast koppar och bly uppvisade något högre halter vid Holmsvattnet. Halterna av zink (och i viss mån krom) har ökat i norra Sverige under de senaste tre mätåren, medan de minskade i södra Sverige under samma period. Avrinningen vid Holmsvattnet hade under 2001/02 halter av zink i nivå med de i slutet av 1980-talet. Utlakningen, och halterna, av kadmium, koppar och bly har minskat kraftigt till 2001/02, jämfört med 1986 till 1989. Utlakningen av arsenik har ökat sedan 1999, medan halterna håller sig nära 3 µg/l. Halterna av arsenik, kadmium, koppar, zink och bly var högre än de sannolika bakgrundsvärdena i kustnära områden i norra Sverige. Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljökvalitet visar att halterna under de senaste fyra åren (1999-2002) av flertalet tungmetaller samt arsenik i bäcken vid Holmsvattnet placeras i klass 2, låga halter. Undantag under 2001/02 var zink och krom med halter i klass 3, måttligt höjda halter. Den minskande belastningen i Holmsvattenområdet av svavel är sannolikt ett resultat av en minskad regional bakgrundsbelastning, där lägre svavelutsläpp från Rönnskärsverken även kan ha bidragit. Depositionsminskningen av tungmetaller och arsenik i området är sannolikt orsakad av utsläppsminskningar vid Rönnskärsverken, men även här har det skett en viss minskning av den regionala bakgrundsbelastningen. Ekologiska effekter av metallförekomsten i avrinningen är troligen ej registrerbara på grund av de låga halter som uppmättes, med undantag för zink under 2001/02.</p>	
<p>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords regionala bakgrundsvärden, ytvatten, tungmetaller, svavel, kväve, smältverk, norra Sverige</p>	
<p>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport/report B 1528</p>	
<p>Beställningsadress för rapporten/Ordering address e-post: publikationsservice@ivl.se Hemsida: www.ivl.se Fax: 08-598 563 90 Brev: IVL, Publikationsservice, Box 21060, S-100 31 Stockholm</p>	

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	3
Sammanfattning	4
Summary	5
1. Inledning	6
2. Metoder	7
2.1. Deposition	7
<i>Insamling av krondropp för makrokonstituentanalyser</i>	8
<i>Insamling av nederbörd för makrokonstituentanalyser</i>	8
<i>Insamling av krondropp för metallanalyser</i>	8
<i>Insamling av nederbörd för metallanalyser</i>	9
<i>Analys</i>	9
2.2. Avrinningsvatten	9
2.3. Hydrologi	9
2.4. Analysmetoder	10
2.5. Kontamineringsrisker	10
3. Resultat 2001/02 jämfört med 1986-2001	11
3.1. Deposition	11
3.2. Haltvariation	14
3.3. Avrinning	17
3.4. Jämförelse mellan deposition, halter och avrinning	20
4. Referenser	24
Bilaga 1. Årlig deposition, avrinning och medelhalt	25

Sammanfattning

IVL utför undersökningar av deposition och avrinning av svavel, kväve samt metaller i ett äldre granskogsområde vid Holmsvattnet, 17 km SSV av smältverket vid Rönnskär. Syftet är att kvantifiera depositionen samt beskriva eventuella förändringar i det avrinnande vattnets kemi. Undersökningarna under 2001/02 jämförs med mätningar under 1986 till 1989 samt 1992 till 2001 i samma område.

Depositionen av svavel i skogen minskade kraftigt mellan 1986 och 1997 (ca 60 %). Under det senaste mätåret (2001/02) noterades ytterligare minskning av torrdepositionen till skog. En liten minskning av kvävedepositionen, framför allt ammoniumkväve, har noterats under perioden 1986 till 1992, därefter har endast smärre förändringar konstaterats. Nederbörds mängden på undersökningslokalen har successivt ökat under hela 1990-talet och var störst under 2000/01. 2001/02 var nederbördsfattigt, vilket ledde till minskade deposition av de flesta undersökta ämnen.

Depositionen av arsenik samt tungmetaller på öppet fält och i granskog mellan de olika perioderna visar på en kraftig minskning (44-83 %) mellan 1986-1989 och 2001/02 för arsenik, kadmium, koppar, bly och zink. Under det senaste året har halterna av arsenik, kadmium, krom och nickel i nederbörd varit på samma nivå som bakgrundsstationer i mellersta och norra Sverige. Endast koppar, zink och bly uppvisade något högre halter.

Utlakningen till bäcken ut ur avrinningsområdet av de flesta makrokonstituenterna var likartad under de olika perioderna. Utlakningen av sulfat har minskat, även om minskningen ännu så länge är mindre än i depositionen (ca 30 %). Detta får till följd att flera andra ämnen minskat samtidigt, främst kalcium och mangan. Vattenfärgen uppvisade stora variationer mellan åren.

Utlakningen, och halterna, av kadmium, koppar, bly och zink har minskat kraftigt (20-46 %) till 2001/02, jämfört med perioden 1986 till 1989. Utlakningen av arsenik var högre under de senaste åren, jämfört med perioden 1986 till 1989. Halterna av arsenik, kadmium, koppar, zink och bly var högre än de sannolika bakgrundsvärdena i kustnära områden i norra Sverige. Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljö kvalitet visar att halterna under de senaste fyra åren (1999-2002) av flertalet tungmetaller samt arsenik i bäcken vid Holmsvattnet placeras i klass 2, låga halter. Undantag under 2001/02 var zink med halter i klass 3, måttligt höjda halter.

Den minskande belastningen i Holmsvattenområdet av svavel är sannolikt ett resultat av en minskad regional bakgrundsbelastning, där lägre svavelutsläpp från Rönnskärsverken kan även ha bidragit. Depositionsminskningen av tungmetaller och arsenik i området är sannolikt orsakad av utsläppsminskningar vid Rönnskärsverken i första hand, men även här har det skett en viss minskning av den regionala bakgrundsbelastningen. Ekologiska effekter av metallförekomsten i avrinningen är troligen ej registrerbara p g a. de låga halter som uppmättes, med undantag för zink under 2001/02.

Annual report 2002

Summary

This study is based on monitoring of atmospheric deposition and run-off of sulphur, nitrogen and heavy metals 17 km SSW of a smelter at Rönnskär along the northeastern coast of Sweden. Measurements during the period 1986 to 2002 showed decreasing deposition of sulphur to open field and Norway spruce forest (throughfall). The deposition of heavy metals to open field and spruce forest decreased by 44-83 % between 1986 and 2002. Overall annual precipitation increased during the 1990's and was greatest 2000/01. The following year, 2001/02 had a low annual precipitation. This even caused deposition of sulphur and nitrate to be somewhat lower the last year than between 1994 and 2001. Of the investigated metals, copper, zinc and lead concentrations were higher than general background levels for this area.

Acidity of the runoff from a small, forested catchment in the area generally decreased during the study period, most likely due to reduced atmospheric deposition of acidifying pollutants. The annual volume weighted concentrations of heavy metals in the small stream decreased with 55 % (cadmium), 43 % (copper), 51 % (lead) and 28 % (zinc), while concentrations of arsenic in runoff increased by 85 % between the two periods 1986-1989 and 1999-2002. The reason is unclear, but it could be related to variations in water discharge from the catchment and to soil exchange processes.

The concentrations of heavy metals in run-off 2001/02 were generally low according to Swedish reference values. The monitored data in the stream was typical for areas with increased concentrations of metals due to releases from local sources, or long-distance transport via the atmosphere. But levels that occur naturally in certain geologically unusual areas may also fall into this class. In all cases but for zinc, the concentrations were not high enough to suspect measurable biological effects in the stream.

The witnessed decrease of heavy metals in deposition and stream water was caused by reductions of emissions from the smelter and by reduced long range transport. The reduced deposition of sulphur in the area resulted primarily from reduced long range transported pollutant loads.

1. Inledning

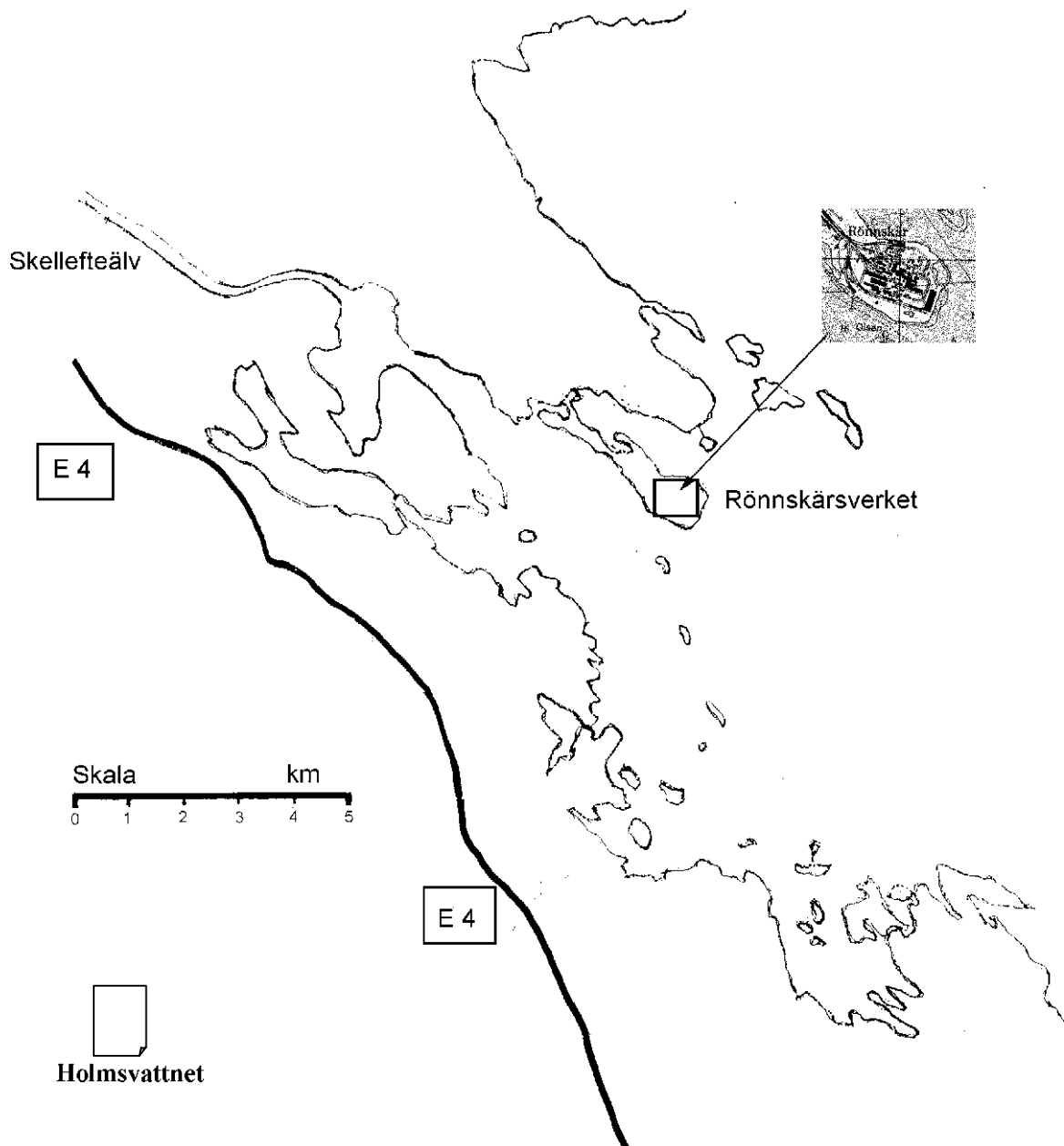
IVL utför undersökningar av deposition och avrinning av svavel, kväve, arsenik samt ett antal tungmetaller i ett skogsområde nära smältverket vid Rönnskär, på uppdrag av Boliden Mineral AB. Syftet är att kvantifiera depositionen samt beskriva eventuella förändringar i det avrinnande vattnets kemi med tiden. Denna rapport beskriver undersökningarna under det hydrologiska året 2001/2002 (oktober till och med september) och gör jämförelser med tidigare resultat från samma område. IVL har tidigare rapporterat resultat från åren 1991 till 1997 (Westling, 1998), 1998 till och med 2000 (Westling, 2000, Westling, 2001) samt 1986 till och med 2001 (Knulst och Westling, 2002). IVL har studerat tungmetallflöden i samma område mellan 1986 och 1989. Det projektet ingick i IVLs branschgemensamma forskningsprogram och studiens mål var att beskriva transporten av luftdeponerade tungmetaller genom marksystemet till ytvatten. Betydelsen av de dåvarande utsläppen värderades i förhållande till tidigare tungmetalldeposition under 1900-talet (Westling och Larsson, 1991).

Undersökningarna utförs i ett 240 ha stort avrinningsområde, 17 km SSV Rönnskärsverket, strax söder om sjön Holmsvattnet (Figur 1 och 2). Den södra delen utgörs av ett flackt parti omgivet av svallade höjder med berg i dagen. Den norra delen består av en nordsluttning mot sjön. Området är beläget på 52 till 145 m. ö. h.

Mineraljorden i området domineras av relativt blockrik morän (45 % av ytan) samt ett svallsandsparti (28 %) i den centrala dalgången genom området. I de södra delarna finns även myrområden (12 %) och hållmarker (15 %). Jordtäcket är i stora partier mäktigt med undantag för övergångszonen till höjder med berg i dagen. Jordmånen på fastmarken består vanligtvis av järnpodsol. Den norra delen av svallsandsområdet domineras av humus-podsol.

Skogsbestånden domineras av frisk barrskog med inslag av hållmarkstallskog, frisk lövskog (björk och asp) samt fuktig till våt barr- och lövskog. I nordsluttningen i den norra delen av området finns ett stort bestånd av äldre granskog. På de flacka partierna dominerar gles tallskog med inslag av björk. Skogen i området är konventionellt brukad. Fältskiktet är huvudsakligen av ristyp. Bottenskiktet domineras av vit-, hus- och väggmossa. Området avvattnas både genom naturliga bäckar och grävda diken. Inom området finns två mindre gölar.

Undersökningarna av deposition och markvatten utförs i en skogsyta som även ingår i ett regionalt nät av provytor för övervakning av luftföroreningar som täcker större delen av Sverige. Provtagningen vid Holmsvattnet har utförts av personal från Boliden Mineral. Övrig provhantering har till största delen utförts av Gunnel Hedberg och Karol Koos vid IVL. Ansvarig för undersökningen var Olle Westling. Undersökningen har sammanställts av Johan Knulst.



Figur 1: Översiktskarta över Västerbottens kustområde innanför Skelleftebukten med sjön Holmsvattnet där IVL har undersökt flöden av metaller, svavel och kväve.

2. Metoder

2.1. Deposition

Provtagning skedde dels av nederbörd på öppet fält och dels av krondropp (nederbörd som passerat trädens krontak) i en permanent skogsyta (30*30 m) med äldre granskog (>60 år i medelålder). Skogen strax NO om skogsytan avverkades för tre år sedan. Avverkningen sträcker sig upp till bäcken som rinner tvärs längs slutningen, cirka 100 m från ytan. Själva beståndet där ytan finns har därmed inte rörts men har blivit exponerat något mera för nordliga vindar. Depositionsinsamlare dubblerades på varje plats för att skilja insamling för analys av metaller från analys av övriga parametrar.

Insamling av krondropp för makrokonstituentanalyser

Under sommarhalvåret utnyttjades totalt 10 trattar (Ø 155 mm) för insamling av krondropp. Trattarna monterades på 2 liters dunkar, som var mörklagda med aluminiumfolie. Dunk och tratt, både av polyeten plast (PE) placerades på en stolpe ca 50 cm ovanför marken. Insamlarna sattes ut slumpmässigt i ytan. Under vinterhalvåret ersattes trattarna med 5 liters PE plasthinkar (Ø 214 mm) monterade på stolpar för insamling av krondropp i form av snö. Samtliga insamlare tömdes en gång per månad. Tio krondropsinsamlare sammanhölls i fält, eller efter upptining inomhus. Volymen bestämdes och ett mindre delprov uttogs för analys av makrokonstituent. Delprovet skickades till IVL i Aneboda för vidare hantering.



Figur 2: Detaljkarta med placering av krondropsyta (fyrkant) och öppet fältlokalen (cirkel) för nederbördsinsamling strax söder om sjön Holmsvattnet.

Insamling av nederbörd för makrokonstituentanalyser

På öppet fält provtogs nederbörd med hjälp av en PE tratt med en diameter på 203 mm. Vintertid utnyttjades en PE snösäck (110 cm lång) med en öppningsdiameter på 195 mm. Samtliga insamlare tömdes en gång per månad. Volymen bestämdes efter insamling i fält eller efter eventuell upptining inomhus. Ett mindre delprov uttogs och skickades till IVL i Aneboda för vidare hantering.

Insamling av krondropp för metallanalyser

Insamling av krondropp för metallanalys skedde med en likartad utrustning som för krondropsmätningarna beskrivna ovan. Blyfri glasull hade stoppats i trattspetsarnas övre del. De exponerade PE dunkarna/hinkarna inklusiv allt prov skickades med allt insamlat vatten till IVLs laboratorium i Aneboda. Proverna volymbestämdes och fixerades med koncentrerad salpetersyra (suprapur). Proverna lagrades i minst två veckor så att eventuella tungmetaller som adsorberats på kärnväggarna frigjordes. Krondropsinsamlarna (10 stycken) sammanhölls sedan och ett delprov uttogs som sparades i kylskåp (+4°C och mörker). Analys utfördes på kvartalsprov, där tre månadsdelprover sammanfördes volymvägt.

Insamling av nederbörd för metallanalyser

Insamling av nederbörd för metallanalys skedde med en likartad utrustning som för nederbördsmätningarna beskrivna ovan. Blyfri glasull hade stoppats i trattspetsarnas övre del. De exponerade PE dunkarna/säckarna inklusiv allt prov skickades med allt insamlat vatten till IVLs laboratorium i Aneboda. Volymen bestämdes. Proverna fixerades med koncentrerad salpetersyra (suprapur) och lagrades i minst två veckor så att eventuella tungmetaller som adsorberats på kärnväggarna frigjordes. Ett delprov uttogs som sparades i kylskåp (+4°C och mörkret). Analys utfördes på kvartalsprov, där tre månadsdelprover sammanfördes volymvägt.

Analys

Parametrar som analyserades på makrokonstituentprov var pH, sulfat-svavel (SO₄-S), klorid (Cl), nitrat-kväve (NO₃-N), ammonium-kväve (NH₄-N), konduktivitet (Kond) samt eventuellt alkalinitet (Alk, uppmättes endast om pH högre än 4,5).

Parametrar som analyserades på metallprov sedan 1986 var mangan (Mn), kalcium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), kalium (K), arsenik (As), kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn). Sedan hösten 1992 har även järn (Fe), aluminium (Al), barium (Ba), kobolt (Co), krom (Cr) och nickel (Ni) undersökts.

Analys av makrokonstituenterna skedde på pappersfiltrerat prov (00A). Alkalimetaller, tungmetaller och arsenik analyserades på ofiltrerat prov, men en viss filtrering skedde direkt i fält under insamlingen, där blyfri glasull hade stoppats i trattspetsarnas övre del.

Depositionsmätningarna gör det möjligt att beräkna depositionen av olika ämnen i skogsytan, uppmätt som krondropp. Krondropp består av våt- och torrdeposition, samt trädens läckage och upptag av olika ämnen. Mätningarna på öppet fält utnyttjades som referens, samt som underlag för att bedöma det torra depositionens bidrag till uppmätta halter i krondropp för vissa ämnen. Grovt räknad utgörs skillnaden mellan öppet fältdeposition och krondropp av torrdepositionsandelen. Årsdepositionen och volymvägda årsmedelkoncentrationer beräknades för hydrologiska år, oktober till och med september.

2.2. Avrinningsvatten

Avrinningsvatten provtogs en gång per månad i huvudfåran av bäcken som avvattnar det 240 hektar stora avrinningsområdet söder om Holmsvattnet. Prover för analys av metaller fixerades i fält med salpetersyra (suprapur). Analyserade parametrar var pH, vattenfärg, Ca, Mg, Na, K, SO₄-S, Cl, NO₃-N, NH₄-N, Mn, As, Cd, Cu, Pb och Zn. Sedan hösten 1992 analyserades även Fe, Al, Ba, Co, Cr och Ni.

2.3. Hydrologi

En hydrologisk mätdamm uppfördes hösten 1986 i utflödet från avrinningsområdet. Vattenståndet i mätdammen har tidigare avlästs manuellt i samband med provtagning. Dammen har inte fungerat tillfredsställande efter 1991. Därför har hydrologiska data från SMHI inhämtats från ett 149 ha stort avrinningsområde med vattendrag Storbäcken i Ostvik, som rinner strax norr om Skellefteå. Dessa data (avrinning per månad och ha) för perioden 1986 till och med 2002 har använts vid beräkning av månatliga vattentransporter ut från avrinningsområdet vid Holmsvattnet. I rapporter från före 2001 har data från Sävarån använts och därför kan värden på avrinning i denna rapport avvika något från tidigare rapporterade siffror. Medelavrinningen i de två vattendrag är mycket lika, men fördelningen under året skiljer sig något med högre känslighet för snabba flödesvariationer i Storbäcken. Storbäcken är betydligt mindre än Sävarån, vilket gör den mer lik bäcken vid Holmsvatten.

Vid beräkningen av arealförluster har en metod använts som interpolerar fram dagliga halter som divideras med uppmätta dagliga flöden. Sedan har dygnsvärden summerats för månader och hydrologiska år.

Nederbörsmängderna som redovisas i studien är hämtade från IVL:s depositions mätningarna på öppet fält (Figur 2). Årsdata avser hydrologiska år (oktober till och med september) för öppet fält, krondropp samt avrinning. Torrdepositionsandelen som oftast tenderar att fastna i trädkronan under den kalla årstiden (nov-apr) fångas i insamlaren under rätt hydrologiskt år men kan falla ner under fel kalenderår om uppdelningen görs kalenderårsvis (jan-dec).

2.4. Analyismetoder

Elementärt Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb och Zn analyserades på salpetersyra konserverade prov med högupplösande induktivt kopplad plasma massspektrometri (ICP-F/MS) på Analytica AB i Luleå. Övriga analyser utfördes vid IVL i Aneboda och i Göteborg. $\text{SO}_4\text{-S}$, Cl och $\text{NO}_3\text{-N}$ analyserades med jonkromatograf. $\text{NH}_4\text{-N}$ analyserades med FIA och en spektrofotometrisk metod. pH och konduktivitet mättes med elektrod. Samtliga analyser utfördes av ackrediterade laboratorier. Alkalinitet mättes genom titration ifall pH-värdet på provet var 5,4 eller högre.

Analysmetoder av proverna på 1980-talet avvek från de metoder som användes efter 1991. Det brukar finnas god överensstämmelse mellan resultat och känslighet för metaller med ICP-MS och den tidigare använda metod med grafitugn adsorptionsspektrometer (AAS) (Analytica, 2003).

2.5. Kontamineringsrisker

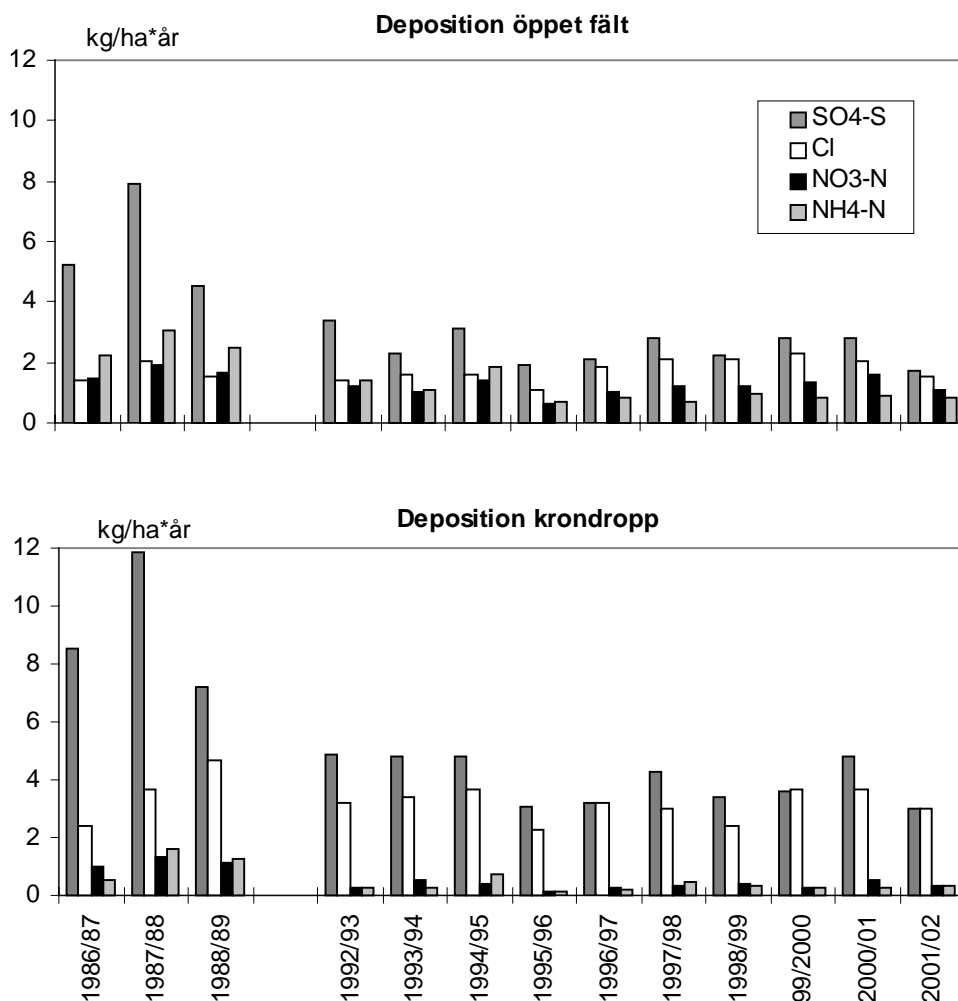
Speciell hänsyn togs till kontamineringsrisker i samband med förväntade låga halter av metaller. Material i kontakt med provvatten var utförd av polyeten av livsmedelskvalitet. Diskrutinerna för nytt material följde schemat sköljning med etanol, lakning i 4 M saltsyra (HCl) i två veckor, lakning i 0,1 M HCl i två veckor samt sköljning med dubbeldestillerat vatten. Återanvänt material lakades med 0,1 M HCl i två veckor samt sköljdes med dubbeldestillerat vatten. Destillerat vatten för diskning och spädning samt syra för lakning analyserades kontinuerligt.

3. Resultat 2001/02 jämfört med 1986-2001

Årsvärden (hydrologiska år, okt - sep) från undersökningarna av nederbörd, krondropp och avrinning redovisas både som deposition och som volymvägda medelkoncentrationer i bilaga 1 (tabell 1-6). Medelkoncentration är värdefullt vid jämförelser mellan år, i synnerhet för nederbörd och avrinning. Volymen vatten i krondropp, nederbörd och avrinning under de undersökta åren redovisas i tabell 7 (bilaga 1) samt i flera figurer.

3.1. Deposition

Deposition av svavel i nederbörd och krondropp minskade kraftigt, 55 - 60 %, mellan 1986 och 1992. Under de följande åren är förändringarna små (Figur 3). Motsvarande förändringar finns registrerade i hela norra Sverige genom den regionala miljöövervakningen av luftföroreningar (krondroppsnätet), där även skogsytan vid Holmsvattnet ingår. Deposition av svavel och kväve var lägre i regionala bakgrundsmätningar under 2001/02 jämfört med åren innan (Tabell 1). Detta gäller även provytan vid Holmsvattnet. Anledningen är att den totala nederbördsmängden var mindre 2001/02 än de båda andra åren. Däremot uppmättes högre genomsnittliga nederbördsmängder vid Holmsvattnet än vid övriga undersökningslokaler i norra Sverige (Tabell 1).



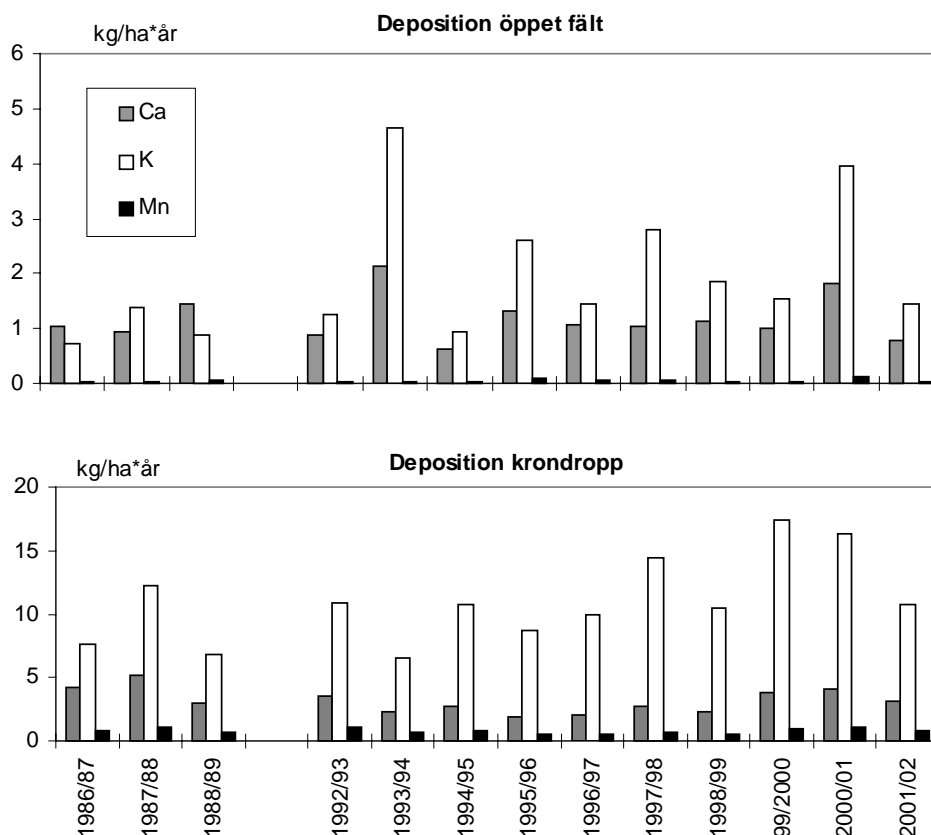
Figur 3: Deposition av svavel, klorid och kvävekomponenter på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2001/02. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

Olika mätningar har visat att den årliga nederbördsmängden ökade något under hela 1990-talet. Ökningen i norra Sverige har varit relativt stor (Rose, 2002). Den ökade mängden nederbörd ökar även depositionens storlek.

Tabell 1: Jämförelse mellan nederbördsmängder (NB i mm) samt deposition (kg/ha) på öppet fält vid Holmsvattnet (AC35) och medelvärden för alla öppet fält i norra Sverige för de senaste tre hydrologiska åren.

Lokaler	Hyd år	NB (mm)	H ⁺	SO ₄ -S	Cl	NO ₃ -N	NH ₄ -N
öf medel n. Sv (n=24)	1999/00	710	0,08	1,80	2,78	1,12	0,90
öppet fält AC35	1999/00	814	0,13	2,79	2,27	1,34	0,86
öf medel n. Sv (n=20)	2000/01	682	0.11	2,06	1,79	1,34	1,11
öppet fält AC35	2000/01	857	0,14	2,83	2,03	1,59	0,89
öf medel n. Sv (n=13)	2001/02	387	0.04	0,90	1,38	0,65	0,61
öppet fält AC35	2001/02	513	0,06	1,74	1,54	1,09	0,82

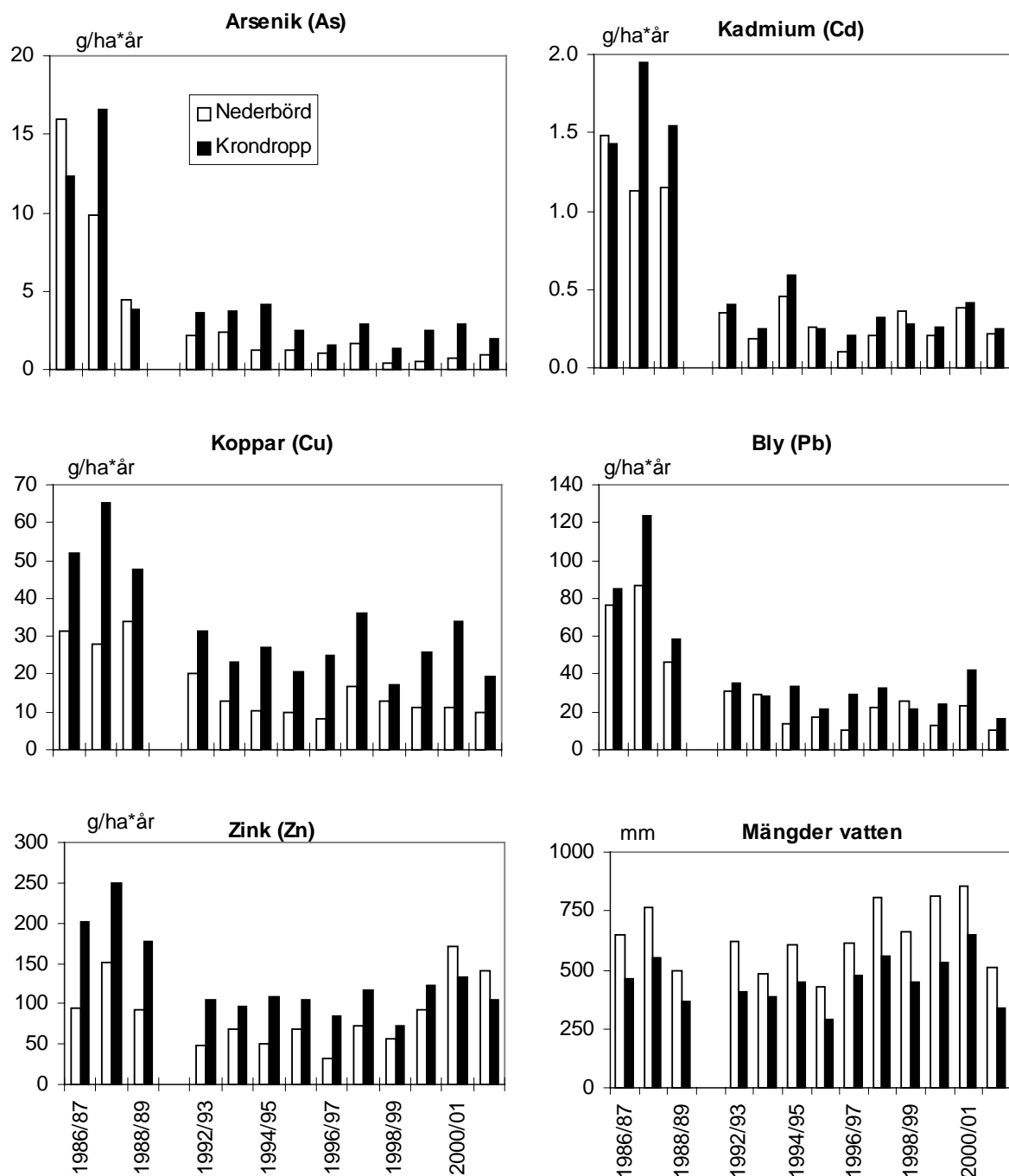
En viss minskning av deposition (Figur 3) av kväve (NO₃-N och NH₄-N) i nederbörd har noterats under perioden 1986 till 1992. Efter 1992 har depositionen varierat med årliga förändringar i nederbördsmängder.



Figur 4: Deposition av i trädskronan interncirkulerande ämnen kalcium (Ca), kalium (K) och mangan (Mn) på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2001/02. Notera att olika skalor används. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

Kvävedepositionen i skogen har varit liten, vilket betyder att det mesta av nederbördens bidrag av kväve tas upp i träden. Det effektiva upptaget av kväve motsvaras även av en stor interncirkulation av kalium (K) och mangan (Mn) i trädet. Dessa ämnen deltar sannolikt i processer där upptag av kväve sker i kronan och resultatet blir ett omfattande läckage av K och Mn från barren som sedan återfinns i krondroppet (Figur 4). Även kalcium interncirkuleras, normalt så

att ett nettoläckage uppstår från trädkronan. Kalciumläckaget är oftast nära kopplat till depositionen av försurande luftföroreningar, främst torrdepositionen av svavel. Eftersom svaveldepositionen har minskat kraftigt under senare år har även läckaget av kalcium minskat något (Figur 4).



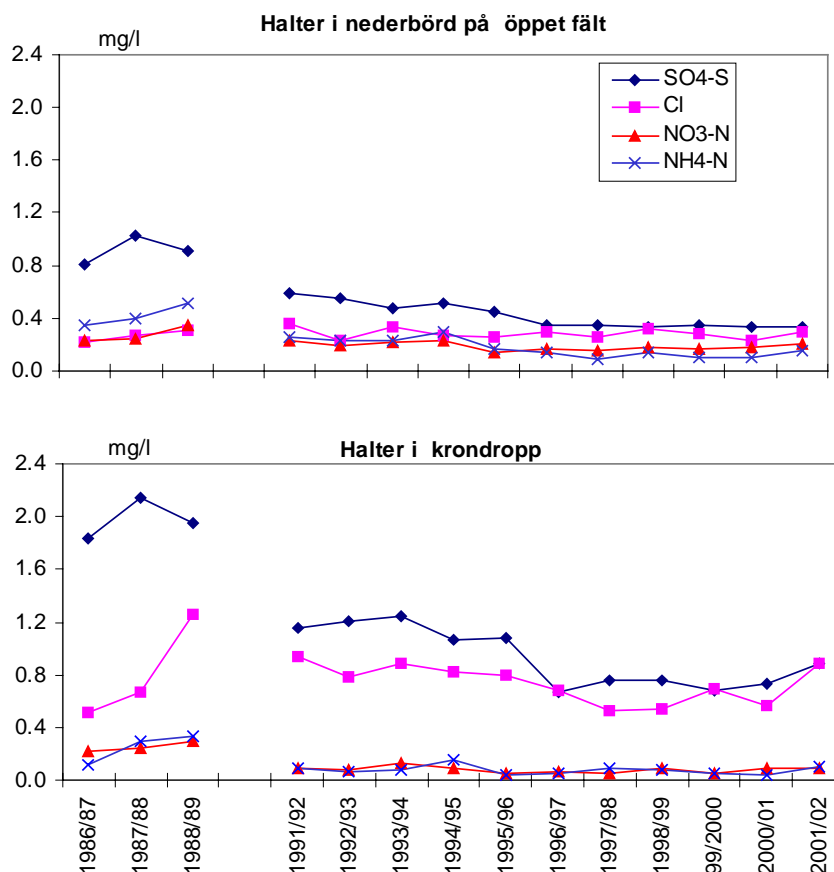
Figur 5: Deposition av arsenik och tungmetallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn) vid Holmsvattnet mellan oktober 1986 och september 2002. Ett mätavbrott skedde åren 1989-92.

Övriga makrokonstituenten så som klorid i nederbörd uppvisar relativt små skillnader under 1990-talet utöver effekten av vissa år med högre nederbörds mängd. Den rikliga nederbörden 1999/00 och 2000/01 gjorde att depositionen var något högre än tidigare år för många ämnen. Året 2001/02 blev nederbördsfattigare och därmed sänktes depositionen något.

Figur 5 visar depositionen av arsenik och ett urval tungmetaller i nederbörd och krondropp. Se för jämförelse med avrinning Figur 13 i avsnitt 3.4. Depositionen av arsenik samt jämförbara tungmetaller på öppet fält och i granskog mellan de olika perioderna visar på en kraftig minskning mellan 1986-1989 och 2001/02 för arsenik, kadmium och bly. Minskningen av koppar och zink i depositionen var något mindre, jämfört med de andra tungmetallerna. Depositionen av tungmetaller uppvisar inga tydliga trender under 1990-talet. Arsenik i nederbörd och krondropp har minskat tydligt efter 1995. Den stora minskningen av metaller som är relaterade till utsläpp från Rönnskärsverken skedde i skarven mellan de båda undersökningsperioderna. De relativa skillnaderna mellan månaderna av metalldeposition vid Holmsvattnet är likt de skillnaderna vid Breckälven i centrala Jämtland (IVL, 2003).

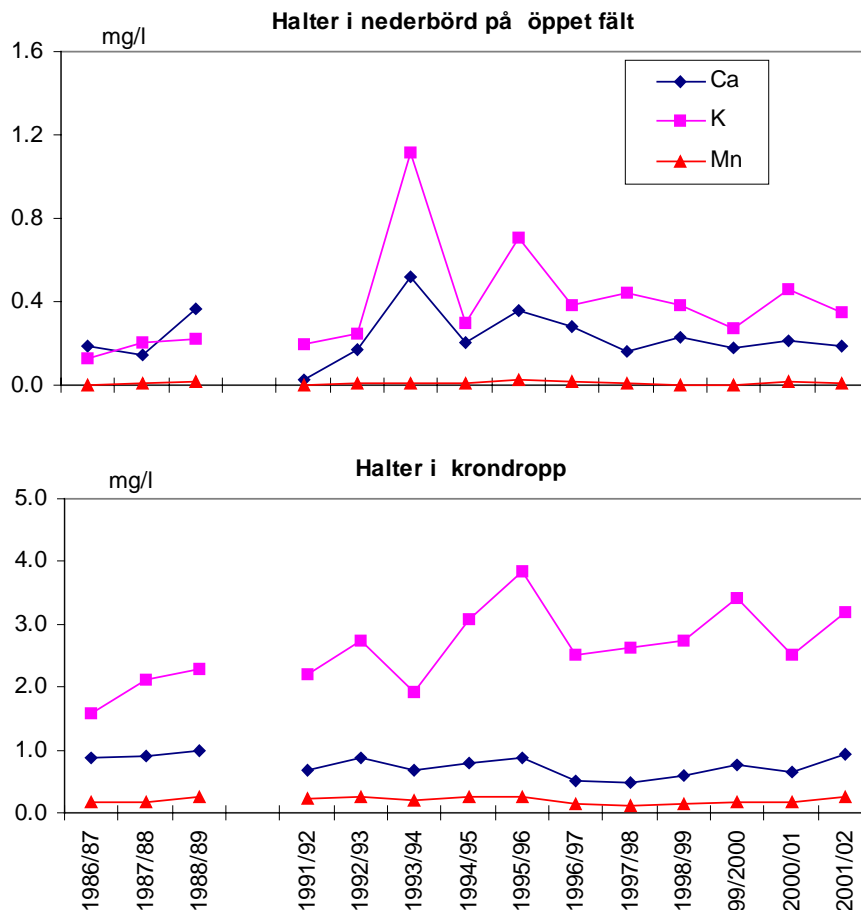
3.2. Haltvariation

Svavelhalterna (Figur 6) har minskat successivt mellan 1986 och 2002, både i nederbörd och i krondropp. Sedan 1993 har halterna av kväve legat på ungefär samma nivå. Kvävehalterna i krondropp har varit fortsatt låga och lägre än i nederbörd under 2001/02, vilket indikerar omfattande upptag och omvandling av oorganiskt kväve i trädskronorna. Kloridhalten varierar mellan åren, vilket till största delen beror på väderförhållandena.



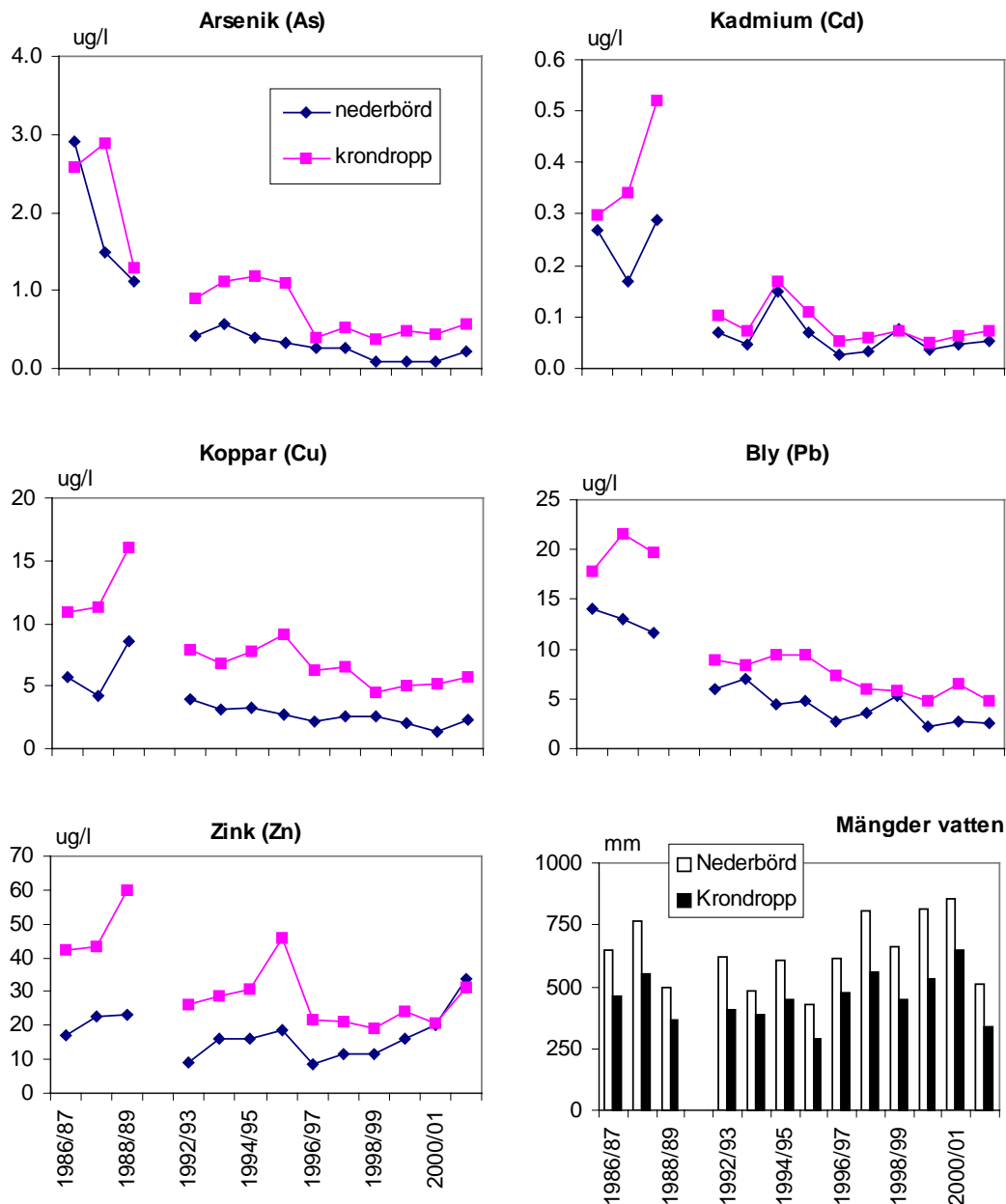
Figur 6: Volymvägda medelhalter av svavel, klorid och kvävekomponenter på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2001/02. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

En stor del av ökningen av kaliumhalterna i krondropp (Figur 7) mellan slutet av 1980-talet och de senaste åren beror sannolikt på att depositions mätningarna efter 1992 koncentrerades till en provyta med äldre granskog. Den stora kronbiomassan i skogsytan bidrar till ett omfattande läckage från barren, vilket är ganska normalt.



Figur 7: Volymvägda medelhalter av i trädkronan interncirkulerande ämnen kalcium (Ca), kalium (K) och mangan (Mn) på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2001/02. Notera att olika skalor används. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

Volymvägda medelkoncentrationer av metaller i nederbörd på öppet fält kompenserar i viss mån för nederbördsskillnader mellan åren (Figur 8), vilket underlättar jämförelser (bilaga 1, tabell 2). Under det senaste året (2001/02) i undersökningen har halterna av arsenik, kadmium, krom, nickel och zink i nederbörd varit på samma nivå som bakgrundsstationer i mellersta och norra Sverige (jämför resultat från det nationella nederbördskemiska nätet, <http://www.ivl.se/miljo>). Endast koppar och bly uppvisade tydligt högre halter vid Holmsvattnet jämfört med Breckälven i centrala Jämtland som sannolikt ligger i ett av de minst belastade områdena i Sverige med avseende på luftföroreningar. Inom den nationella miljöövervakningen saknas för närvarande referenslokaler för deposition av tungmetaller längs hela norrlandskusten, vilket försvårar en bedömning av potentiella punktkällornas bidrag.



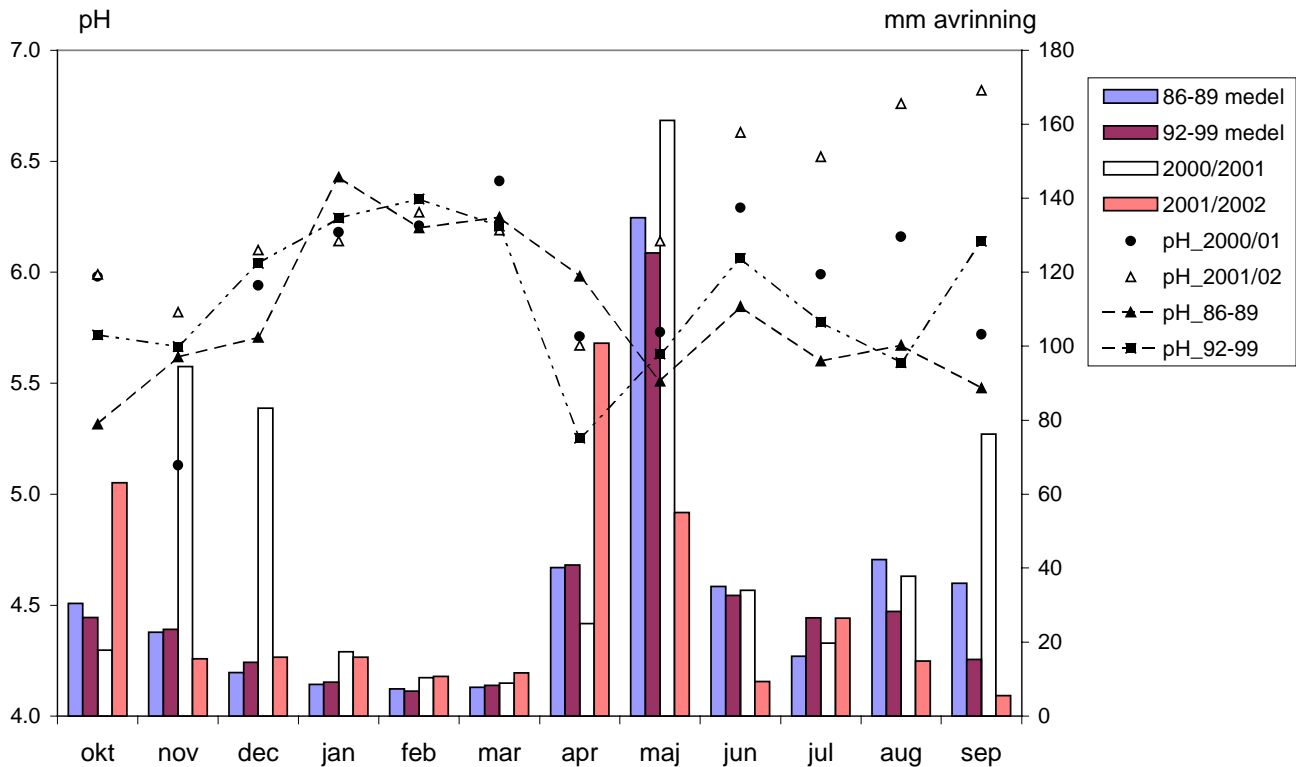
Figur 8: Volymvägda medelkoncentrationer av arsenik (As) och tungmetallerna kadmium (Cd), koppär (Cu), bly (Pb) och zink (Zn) i nederbörd och kronddropp vid Holmsvattnet mellan oktober 1986 och september 2002. Ett mätavbrott skedde åren 1989-92. Vattenmängderna i olika medier har ökat under hela 1990-talet.

Zink uppvisade något högre halter i nederbörd under den senaste 3-årsperioden (Figur 8). Halterna av zink i nederbörd har ökat sedan 1999 till samma nivå som i början av mätserien (Figur 8). Den haltökningen av zink har också konstaterats vid Bredkälén i Jämtland (IVL, 2003).

Den minskande belastningen i Holmsvattenområdet av svavel, och i mindre utsträckning kväve, är sannolikt ett resultat av en minskad regional bakgrundsbelastning, men lägre svavelutsläpp från Rönnskärsverken kan även ha bidragit. Depositionsminskningen av tungmetaller och arsenik i området är sannolikt orsakad av utsläppsminskningar vid Rönnskärsverken i första hand, men även här har det skett en viss minskning av den regionala bakgrundsbelastningen. Bakgrundsbelastningen av framförallt bly och kadmium har minskat kraftigt i hela Sverige. Halterna av tungmetaller och arsenik i nederbörd från Holmsvattnet är i genomsnitt låga, i kronddropp låga eller måttligt höga (endast koppär, zink och bly).

3.3. Avrinning

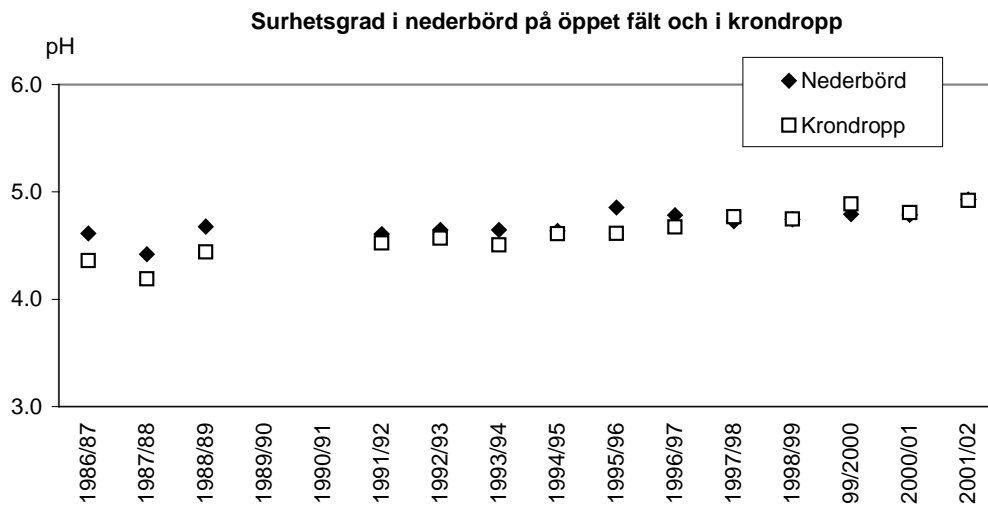
Transporten av olika ämnen genom bäcken uppvisar skillnader mellan de undersökta hydrologiska åren (bilaga 1, tabell 5). Utlakningen till bäcken ut ur avrinningsområdet av de flesta makrokonstituenterna var likartad under de olika perioderna, men ämnen som påverkas av försurningsgraden i marken som omger bäcken (Ca, Mg, Na, K, Fe, Al m fl.) har svagt reagerat på den minskade syrabelastningen från luften. Detta kan även ses i volymvägda medelkoncentrationer under 2001/02 (bilaga 1, tabell 6). Utlakningen av sulfat har minskat, även om minskningen ännu så länge är mindre än i depositionen. Detta får till följd att utlakning av flera andra ämnen minskat samtidigt, främst kalcium och mangan.



Figur 9: Månadsvis surhetsgrad (pH, punkter) uppmätt i avrinning från Holmsvattenområdet och de beräknade vattenmängderna (staplar) under de senaste två hydrologiska mätåren jämfört med 3-årsmedelvärden beräknade för perioden 1986-89 samt 1992-99.

Bäckens genomsnittliga pH ökade under sent 1980-talet, vilket sannolikt beror på den minskade depositionen av försurande luftföroreningar. En abrupt pH-höjning skedde under 1995/96 och sommaren 2002 (Figur 9), troligen till följd av de låga nederbörds mängderna som föll då. Under den tiden kom den största delen av bäckvattnet troligen ifrån djupare grundvatten med något högre pH-värden. Grundvattennivån var mycket under det normala 1995/96. Det ger både ett högre pH-värde samt lägre transporter av ämnen från det översta markskiktet. Efter 1992 har pH-värdena i bäcken varit ganska lika de i början av mätningarna på 1980-talet (Figur 9). Den rikliga nederbörden och relativt höga avrinningen under sommaren 2001 resulterade sannolikt i en förhållandevis omfattande vattentransport i ytliga marklager som är surare på grund av organiska ämnen (humussyror) och tidigare nedfall av sura luftföroreningar. Under hydrologiska året 2001/02 var situationen troligen omvänd, med små nederbördsbidrag och stort grundvatteninflytande. Transporterna minskade därför avsevärt under det senaste året, vilket även speglas i den relativt låga vattenfärgen i bäcken 2001/02 (Figur 11). Både nederbörd och krondropp har däremot uppvisat stigande pH-värden under hela mätperioden (Figur 10). pH-värdet styr i hög grad hur vattenlösliga metallerna är, men metallerna tenderar att adsorberas på humusämnen.

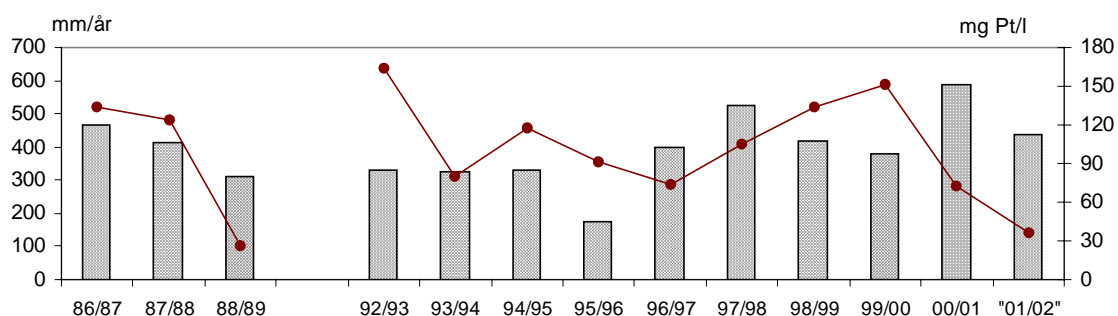
Höga humushalter (hög vattenfärg) kan därför minska risken för skador av metaller i vattendraget.



Figur 10: Förändring av nederbördens och krongroppets surhetsgrad (pH) i medelårsvärden för hydrologiska åren mellan 1986/87 och 2001/02. Ett mätavbrott skedde åren 1989-92

Vattenfärgen, som grovt indikerar hur mycket organiskt material (humus) transporteras igenom bäcken, varierar från år till år och det finns ett samband mellan vattenföring och färgtal.

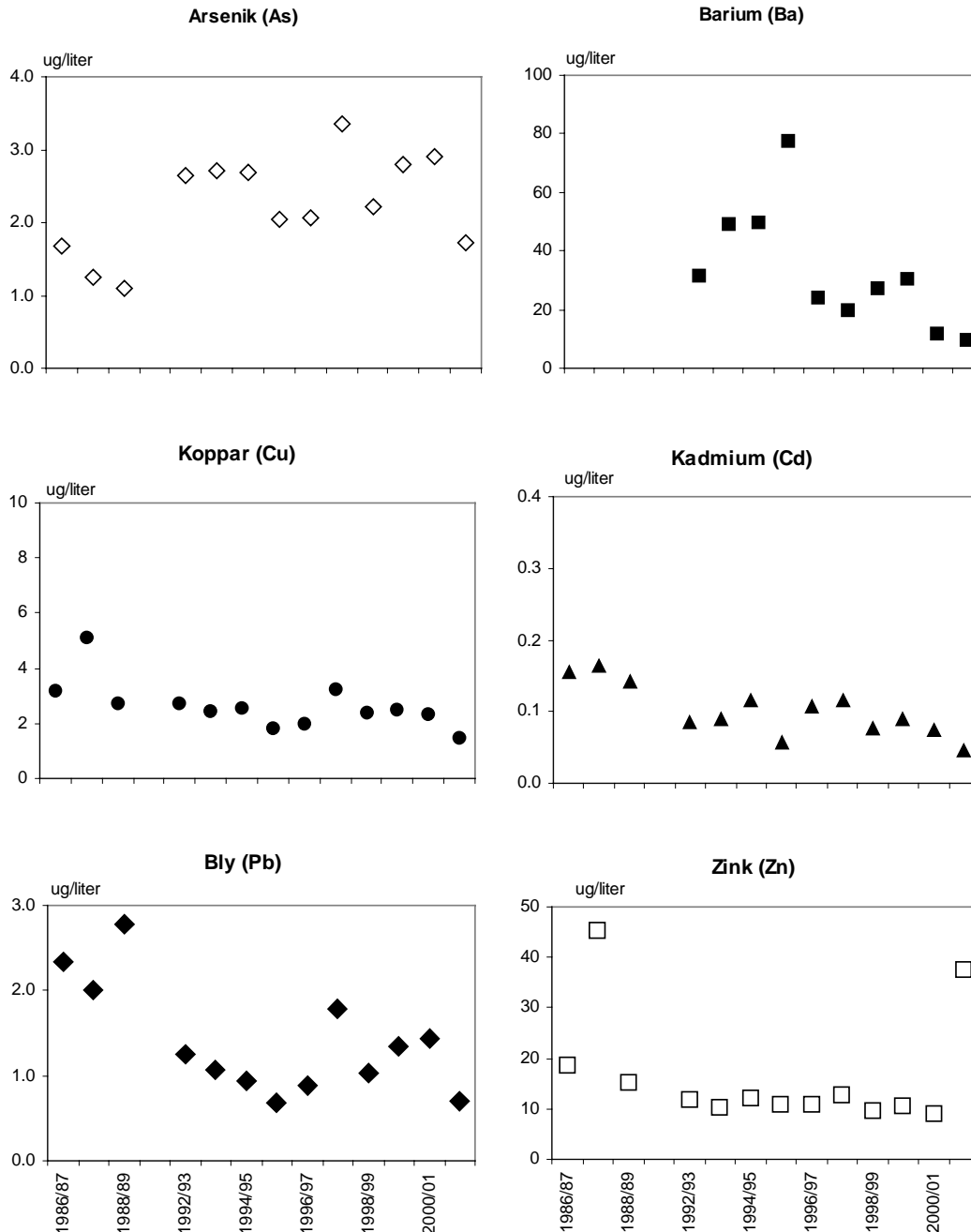
Avrinningens storlek, som påverkar humusmängden i vattnet, påverkar i sin tur halterna och transporterna av andra ämnen, främst tungmetaller som i stor utsträckning är bundna till organiskt material. En svag omvänd samvariation noteras för mängden nederbörd på öppet fält och den genomsnittliga vattenfärgen i bäcken (Figur 11). Den högsta avrinningen och den högsta nederbördsmängden som noterats under alla undersökta år noterades 2000/01. Det medförde att koncentrationen av de transporterade humusämnen var lägre än tidigare åren. Undantaget var den låga vattenfärgen 1988/89 som kan indikera att bäcken främst matades med djupare grundvatten då.



Figur 11: Årliga nederbördsmängder på öppet fält (staplar) och medelvattenfärg (linje) i bäcken vid Holmsvattnet, östra Västerbotten län under hydrologiska åren mellan 1986/87 och 2001/02.

År 1997/98 hade hög avrinning i relation till nederbördsmängden. De två åren mellan 1997/98 och 2000/01 hade mera normal avrinning. Avrinning styrs förutom av mängden nederbörd även av hur mycket vatten som finns lagrad i grundvattenmagasinet. Under året 1995/96 var grundvattennivåerna i norra Sverige mycket under normalt, medan de under 1997/98 var över nor-

malt. Högre mättnadsgrad i marken med grundvatten leder sannolikt till ökad utlakning av vattenlösliga ämnen till ytvatten. Om däremot avrinning till stor del består av djupare grundvatten minskar transporten av organiska ämnen (färgtal minskar) i bäcken. I vissa fall kan vattenfärgen vara hög, även vid låga vattenflöden, t ex. 1999/00. Detta orsakas ofta av höga halter järn och mangan som färgar vattnet. Högre pH i marken minskar vanligen vattenlösligheten av metaller, vilket innebär att metallerna ligger hårdare bundna till mineralpartiklarna i marken.



Figur 12: Volymvägda årsmedelvärden av halter av arsenik och tungmetaller i avrinning från Holmsvattenområdet nära Rönnskärsverken för hydrologiska åren 1986/87 t o m 2000/02.

Trots att halterna av tungmetaller minskat i bäckvattnet under 1990-talet (Figur 12) var utlakningen av arsenik, kadmium, zink och bly något högre än de sannolika bakgrundsvärdena i kustnära områden i norra Sverige. Naturvårdsverket (1999) visar att halterna under 1998 och 1999 av flertalet tungmetaller samt arsenik i bäcken vid Holmsvattnet (volymvägda medelvär-

den) placeras i klass 2, låga halter. Undantag under 2001/02 var zink med halter i klass 3. Risken för biologiska effekter i klass 2 beskrivs som;

"Små risker för biologiska effekter. Majoriteten av vattnen inom denna klass har förhöjda metallhalter till följd av utsläpp från punktkällor och/eller långdistansspridning. Klassen kan dock inrymma halter som är naturliga i till exempel geologiskt avvikande områden".

Under perioden 1986 till 1989 placerade sig metallhalterna i bäcken i klass 3, måttligt höga halter, med undantag för arsenik som även då var i klass 2. Risken för biologiska effekter i klass 3 beskrivs som;

"Effekter förekommer i känsliga vatten. Risken är störst i mjuka, närings- och humusfattiga vatten, samt i vatten med lågt pH-värde. Med effekter menas här påverkan på arter eller artgruppers reproduktion eller överlevnad i tidiga livsstadier, vilket ofta yttrar sig som en minskning av artens individantal. Minskat individantal kan medföra återverkningar på vattnens organismsamhällen och på hela ekosystemets struktur".

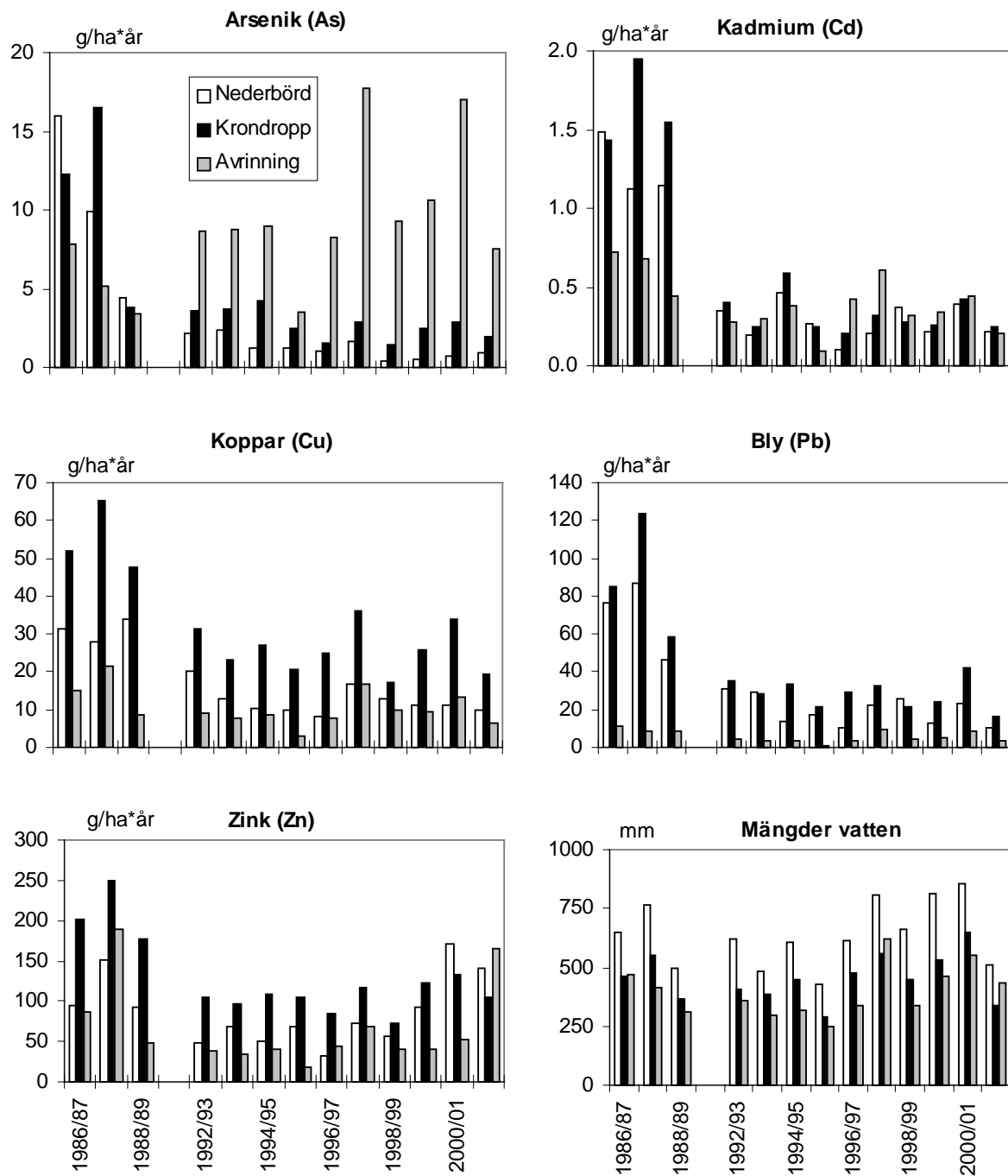
3.4. Jämförelse mellan deposition, halter och avrinning

Utlakningen, och de volymvägda medelkoncentrationerna, av kadmium, koppar och bly har minskat till 2001/02, jämfört med perioden 1986 till 1989. Huvuddelen av minskningen skedde i skarven mellan de olika undersökningsperioderna (Figur 13 och Figur 12). Den minskade utlakningen av kadmium i avrinningen jämfört med tidigare, är sannolikt en kombination av minskad deposition, samt minskad surhet i mark och vatten. Minskningen av bly- och kopparutlakningen är troligen en orsak av depositionsminskningen i första hand, eftersom deras rörlighet inte påverkas så kraftigt av olika pH-värden.

Både utlakning och halter i bäckvattnet påverkas av hydrologiska skillnader mellan åren. Detta är framför allt tydligt under 1995/96 med låg avrinning och 1997/98 och 2000/01 med hög avrinning. År med hög avrinning sker en stor del av vattentransporten i ytliga marklager där de högsta halterna av upplagrade tungmetaller befinner sig. Uttransporten av organiskt material för med sig även metaller, i synnerhet metaller som kalcium, koppar och bly med stark bindning till organiska ämnen.

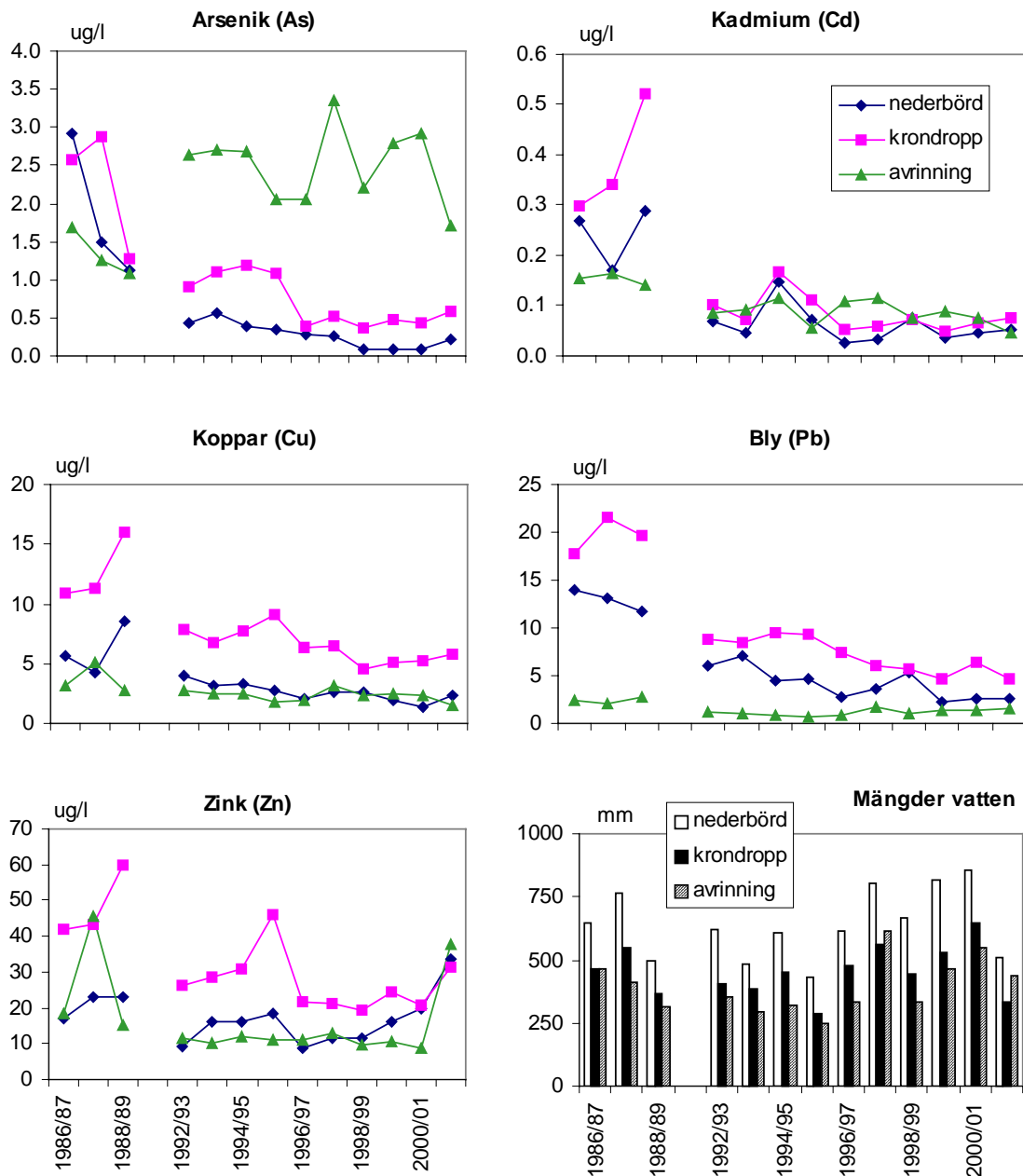
Utlakningen av arsenik är trots låga genomsnittliga halter ($< 5 \mu\text{g/liter}$) ganska omfattande (Figur 13). Ökningen, trots en minskat deposition under senare år, kan inte säkert förklaras. Mest troligen är det processer i avrinningsområdet som orsaker utlakning av just arsenikföreningar. Bäckvatten innehåller stora mängder humusämnen som eventuellt kan påverka förekomstformen av arsenik på ett sådant sätt att det ger utslag i olika analysmetoder.

Arsenik i naturvatten förekommer främst som arsenat, som är en anjon vilken i struktur liknar fosfat. Rörligheten och komplexbindningen av denna form av arsenik beror på flera faktorer som pH, samt halter av humus, kalcium, järn och aluminium (Landner, 1998). Lägre pH-värden ger starkare komplex mellan arsenat och humus, som kan öka rörligheten i humösa vatten. I bäcken vid Holmsvattnet har pH minskat något, vilket talar för att rörligheten av arsenat borde öka. Samtidigt har halterna av kalcium minskat något, vilket teoretiskt kan minska en utfällning av arsenat. Förändringarna i vattenkemi är dock så små att det är tveksamt om de kan påverka arsenikens rörlighet i den omfattning som mätvärdena indikerar.



Figur 13: Metalltransporter (g/ha och hydr. år) i nederbörd, krondropp och avrinning vid Holmsvattnet, Västerbotten. Mängder vatten (mm/år) anges som referens.

Figur 14 visar tidsutvecklingen för volymvägda halter av arsenik och ett urval av övriga tungmetaller i nederbörd, krondropp och avrinning. De högsta halterna påträffas som regel i krondroppet därför att metallerna oftast är associerade med partiklarna i torrdepositionsandelen av nedfallet. Undantag är arsenik på 1990-talet där de högsta halterna noteras i avrinningen. Arsenikhalter samvarierar med kalciumhalter i bäcken. Kadmiumhalterna är relativt lika mellan åren i de olika provtyperna efter 1989, med undantag för en viss förhöjning i deposition 1995.



Figur 14: Volymvägda årsmedelvärden av halter i nederbörd på öppet fält och i krondropp samt avrinning av arsenik och tungmetaller vid Holmsvattnet (hydrologiska år).

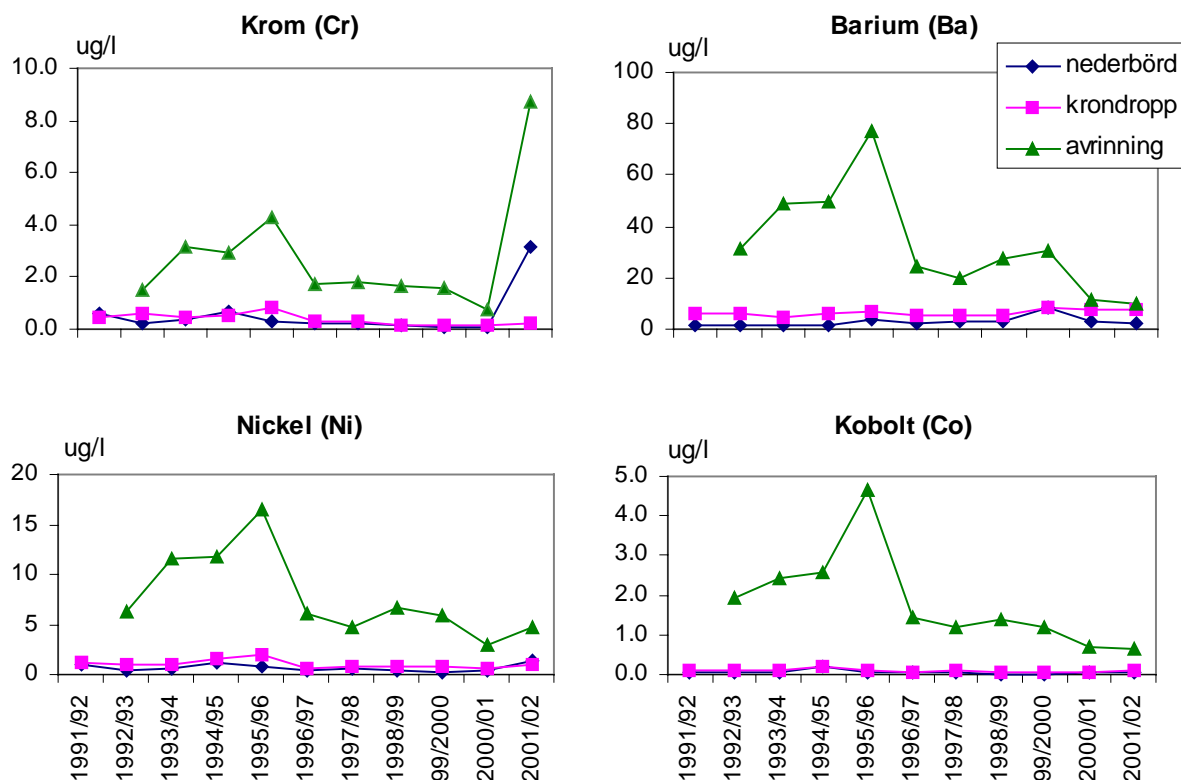
Trots den kraftiga minskningen av depositionen av tungmetaller var utlakningen för tungmetallerna koppar och bly fortfarande lägre än depositionen som krondropp under 2001/02. Kadmium uppvisade högre utlakning än deposition sedan 1997, zinkutlakningen överskred deposition något under 2001/02. Utlakningen från avrinningsområdet av arsenik var mycket högre än depositionen till skog (Figur 14 och bilaga 1, tabell 5) speciellt under perioden 1997 till 2002.

Den procentuella skillnaden mellan undersökningsperioderna 1986-1989 samt 1999-2002, framgår av Tabell 2. Skillnaderna i flöden (deposition och avrinningens arealförluster) är i de flesta fall stora. Depositionen av arsenik och tungmetaller till skog har minskat mellan 44 och 83 %. Depositionsminskningen på öppet fält är något större för arsenik jämfört med skog.

Tabell 2: Procentuella förändringar mellan perioderna 1986-1989 och 1999-2002. Positiva värden innebär en minskning, negativa en ökning.

	vatten	H ⁺	Ca	SO ₄ -S	Cl ⁻	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Nederbörd, deposition	-15	39	-5	58	-16	93	78	65	78	-20
Krondropp, deposition	-9	70	17	48	100	73	83	44	73	49
Avrinning, arealförluster	-22	-8	11	31	-12	-115	46	34	41	20
Avrinning, volymv. halter		11	25	42	10	-85	55	43	51	28

Depositionens syrabidrag har minskat påtagligt, mätt som vätejoner och sulfat-svavel. Till detta kommer en viss minskning av nitrat- och ammoniumkvävet's försurningsbidrag. Depositionsminskningarna är ett resultat av minskade utsläpp från Rönnskärsverken kombinerat med en generell minskning av bakgrundsbelastningen i norra Sverige.



Figur 15: Haltvariationer (hydrologiska årsmedelvärden) av krom, barium, nickel och kobolt i nederbörd, krondropp och avrinning från Holmsvattenområdet.

Avrinnande vatten uppvisar minskade arealförluster av tungmetaller (20-46 %) samt kalcium och sulfatsvavel mellan 1999/2002 jämfört med 1980-talet. Undantag är som tidigare diskuterats arsenik som uppvisar en ökning, förutsatt att analysmetoderna under de båda perioderna är jämförbara (Tabell 2).

Efter 1991 har även andra tungmetaller analyserats (Figur 15 samt tabellerna i Bilaga 1); barium (Ba), kobolt (Co), krom (Cr) och nickel (Ni). Dessa metaller är troligen inte direkt kopplade till utsläpp från Rönnskärsverken och kan därför visa på en generell utveckling av metallhalter i bäcken vid Holmsvatten. Förekomst av Co, Cr och Ni i sjösediment från Burötjärnen, 3,5 km SV om smältverket i Rönnskär bedöms ha halter som inte skiljer sig från referenssjöar i regionen (Vestmark, 2003). Våra mätningar visar på en minskning i belastningen, både med avseende på deposition och avrinning. Här utmärker sig främst 1994-1996 med något högre deposition i form av nederbörd och krondropp samt avrinning av tungmetaller än andra år under 1990-talet.

Dessa fyra metaller förekommer, trots minskningen, vid högre koncentrationer än den av Naturvårdsverket (1999) uppskattade bakgrundshalter i små rinnande vatten i norra Sverige.

Deposition av krom via nederbörden ökade under 2001/02 vid Holmsvattnet. I motsats till övriga tungmetaller var kromdeposition högre vid Breckålen (Jämtland) än vid Arup (Skåne) och vid Udden utanför Stenungsund (Västra Götaland) (data från Nationella miljöövervakningen Luft- och Nederbördskemiska Nätet) under 2001. Halterna i avrinningen vid Holmsvattnet (Figur 15) ökade under våren 2002 (april - juni) till stora avvikelser från naturliga bakgrundshalter för krom, vilket placerade krom i Naturvårdsverkets klass 3, måttligt höga halter under året.

Depositionen av barium var högre 1999/00 än tidigare år, orsakat av högre halter samt större mängd nederbörd det året. Halterna i nederbörd har uppvisat högre värden de senaste fyra åren jämfört med tidigare år. Anledningen till ökningen är inte känd. Studier av förekomsten av barium i luften runt om i världen har visat att barium ofta uppvisar förhöjda halter i luft i områden med intensiv gruvdrift (WHO, 1990). Bariumhalterna har minskat betydligt i avrinningen vid Holmsvattnet de senaste två åren.

Utvecklingen för nickel- och koboltdeposition har varit relativt stabil under mätåren sedan 1992. Halterna för nickel i nederbörd på öppet fält var cirka 1 µg/liter högre 2001/02 än tidigare år. En sådan förhöjning fanns inte i krondroppet under 2001/02.

4. Referenser

- Analytica AB. Produktkatalog 2003. Luleå, 2003. s. 90.
- IVL Svenska Miljöinstitutet, 2003. <http://www.ivl.se/miljo/>, Datavärdskap för miljödata.
- Knulst, J C. och Westling, O. 2002. Deposition och avrinning av metaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet nära Rönnskärsverken 1986 - 2001. IVL-rapport B 1480.
- Landner, L. 1998. Arsenic in the aquatic environment-speciation and biological effects. KEMI Rapport No 2/98.
- Naturvårdsverket, 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjoar och vattendrag. NV rapport 4913. Naturvårdsverkets Förlag, Stockholm.
- Rose, J. 2002. Vädret har alltid varit värre. Forskning och Framsteg 5/02: s. 20.
- Vestermark, L. 2003. Metaller i Burötjärnens sediment. Examensarbete Umeå Universitet, Avd. för Naturgeografi. Umeå Universitet, Umeå, HT 2003.
- WHO. 1990. Barium. Environmental Health Criteria, volume no. 107. World Health Organization, Geneva. s. 24.
- Westling, O. 2000. Deposition och avrinning av tungmetaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet nära Rönnskärsverken under 1998 och 1999. IVL-rapport B 1370.
- Westling, O. 1999. Deposition och avrinning av tungmetaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet nära Rönnskärsverken under 1994 till och med 1997. IVL-rapport till Boliden Mineral AB.
- Westling, O. 1998. Deposition och avrinning av tungmetaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet nära Rönnskärsverken under 1992 och 1993. IVL-rapport till Boliden Mineral AB.
- Westling, O. och Larsson, P-E. 1991. Miljöpåverkan från metallemitterande industri - Deposition och avrinning av tungmetaller, svavel och kväve i ett kontaminerat avrinningsområde nära Rönnskärsverken. IVL-rapport B 1028.

Bilaga 1. Årlig deposition, avrinning och medelhalt

Tabell 1: Deposition i form av nederbörd på öppet fält vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		"01/02"	"00/01"	"98/01 me- del"	"95/98 me- del"	"92/95 me- del"	"86/89 me- del"
H ⁺	kg/ha	0,06	0,14	0,13	0,10	0,13	0,18
Ca	kg/ha	0,77	1,81	1,31	1,14	1,22	1,14
Mg	kg/ha	0,33	1,16	0,62	0,64	0,45	0,20
Na	kg/ha	1,45	1,51	1,87	1,62	1,22	0,89
K	kg/ha	1,44	3,95	2,45	2,29	2,28	0,99
SO ₄ -S	kg/ha	1,74	2,83	2,62	2,27	2,93	5,89
Cl	kg/ha	1,54	2,03	2,14	1,67	1,53	1,68
NO ₃ -N	kg/ha	1,09	1,59	1,38	0,95	1,22	1,70
NH ₄ -N	kg/ha	0,82	0,89	0,90	0,76	1,45	2,60
Fe	kg/ha	0,16	0,11	0,10	0,10	0,10	
Mn	kg/ha	0,03	0,11	0,05	0,07	0,03	0,04
Al	kg/ha	0,08	0,10	0,08	0,09	0,08	
As	g/ha	0,90	0,72	0,54	1,30	1,92	10,11
Ba	g/ha	10,43	22,49	28,24	13,72	7,12	
Cd	g/ha	0,22	0,39	0,32	0,19	0,34	1,25
Co	g/ha	0,23	0,25	0,16	0,24	0,31	
Cr	g/ha	13,06	0,45	0,48	1,07	1,59	
Cu	g/ha	9,88	11,23	11,77	11,57	14,51	31,11
Ni	g/ha	5,70	2,36	1,95	2,41	2,63	
Pb	g/ha	10,65	22,89	20,66	16,91	24,55	69,92
Zn	g/ha	140,04	171,00	106,60	57,76	54,79	112,40

Tabell 2: Volymvägda medelhalter i nederbörd på öppet fält vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		"01/02"	"00/01"	"98/01 me- medel"	"95/98 me- del"	"92/95 me- del"	"86/89 me- del"
pH		4,93	3,85	4,75	4,70	4,75	4,55
Ca	mg/l	0,19	0,21	0,19	0,23	0,36	0,23
Mg	mg/l	0,08	0,14	0,09	0,11	0,16	0,04
Na	mg/l	0,35	0,18	0,36	0,30	0,37	0,17
K	mg/l	0,35	0,46	0,37	0,40	0,71	0,19
SO ₄ -S	mg/l	0,34	0,33	0,34	0,34	0,48	0,92
Cl	mg/l	0,30	0,24	0,26	0,29	0,28	0,27
NO ₃ -N	mg/l	0,21	0,19	0,18	0,17	0,20	0,27
NH ₄ -N	mg/l	0,16	0,10	0,10	0,12	0,23	0,42
Fe	mg/l	0,04	3,95	2,75	0,02	0,03	
Mn	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al	mg/l	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	
As	ug/l	0,22	0,08	0,09	0,20	0,43	1,84
Ba	ug/l	2,51	2,88	4,48	2,82	2,32	
Cd	ug/l	0,05	0,05	0,04	0,05	0,09	0,24
Co	ug/l	0,06	0,03	0,03	0,04	0,09	
Cr	ug/l	3,14	0,06	0,05	0,18	0,45	
Cu	ug/l	2,37	1,31	1,65	2,46	3,05	6,16
Ni	ug/l	1,37	0,30	0,24	0,43	0,79	
Pb	ug/l	2,56	2,67	2,49	3,90	5,40	12,91
Zn	ug/l	33,67	19,95	18,12	10,55	16,87	21,04

Tabell 3: Deposition i form av krondropp i granskog vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		"01/02"	"00/01"	"98/01 me- del"	"95/98 me- del"	"92/95 me- del"	"86/89 me- del"
H ⁺	kg/ha	0,04	0,10	0,08	0,09	0,11	0,23
Ca	kg/ha	3,39	4,15	3,41	2,21	2,85	4,10
Mg	kg/ha	1,29	1,82	1,41	0,95	1,19	1,22
Na	kg/ha	3,26	2,36	2,67	2,45	1,71	2,10
K	kg/ha	16,74	16,31	14,70	11,04	9,39	8,89
SO ₄ -S	kg/ha	2,98	4,78	3,91	3,51	4,83	9,19
Cl	kg/ha	2,98	3,64	3,24	2,84	3,43	3,58
NO ₃ -N	kg/ha	0,32	0,55	0,41	0,25	0,41	1,15
NH ₄ -N	kg/ha	0,34	0,29	0,31	0,27	0,42	1,14
Fe	kg/ha	0,13	0,22	0,18	0,14	0,14	
Mn	kg/ha	0,85	1,11	0,78	0,65	0,88	0,87
Al	kg/ha	0,13	0,18	0,19	0,19	0,15	
As	g/ha	1,94	2,86	2,38	2,73	4,55	10,88
Ba	g/ha	25,69	45,45	31,43	18,89	21,66	
Cd	g/ha	0,25	0,42	0,34	0,35	0,32	1,64
Co	g/ha	0,25	0,38	0,34	0,41	0,33	
Cr	g/ha	0,77	0,75	0,95	1,63	1,88	
Cu	g/ha	19,32	33,91	29,06	24,21	30,02	54,84
Ni	g/ha	3,05	4,25	3,83	3,99	3,79	
Pb	g/ha	15,92	41,75	32,14	28,03	34,35	88,97
Zn	g/ha	104,96	133,00	107,19	99,15	96,50	209,46

Tabell 4: Volymvägda medelhalter i krondropp i granskog vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		"01/02"	"00/01"	"98/01 me- del"	"95/98 me- del"	"92/95 me- del"	"86/89 me- del"
pH		4,92	4,00	4,80	4,57	4,63	4,32
Ca	mg/l	0,92	0,64	0,66	0,62	0,78	0,92
Mg	mg/l	0,41	0,28	0,27	0,28	0,33	0,27
Na	mg/l	0,56	0,36	0,52	0,65	0,47	0,50
K	mg/l	3,20	2,51	2,89	3,00	2,57	2,01
SO ₄ -S	mg/l	0,89	0,74	0,72	0,84	1,17	1,98
Cl	mg/l	0,89	0,56	0,60	0,67	0,83	0,82
NO ₃ -N	mg/l	0,09	0,08	0,08	0,06	0,10	0,25
NH ₄ -N	mg/l	0,10	0,04	0,06	0,06	0,10	0,25
Fe	mg/l	0,04	0,01	0,03	0,04	0,04	
Mn	mg/l	0,25	0,17	0,16	0,17	0,24	0,20
Al	mg/l	0,04	0,07	0,05	0,06	0,04	
As	ug/l	0,58	0,44	0,43	0,67	1,06	2,25
Ba	ug/l	7,64	2,88	5,55	5,71	5,53	
Cd	ug/l	0,07	0,06	0,06	0,07	0,11	0,39
Co	ug/l	0,08	0,03	0,05	0,09	0,13	
Cr	ug/l	0,23	0,06	0,12	0,45	0,51	
Cu	ug/l	5,75	5,22	4,95	7,30	7,46	12,74
Ni	ug/l	0,91	2,93	1,45	0,97	1,11	
Pb	ug/l	4,74	6,43	5,63	7,59	8,92	19,68
Zn	ug/l	31,24	20,50	21,32	29,51	28,49	48,50

Tabell 5: Transporterade mängder i avrinningen vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		"01/02"	"00/01"	98/01 medel"	"95/98 me- del"	"92/95 me- del"	"86/89 me- del"
Avrin	mm	437	586	461	366	327	397
H ⁺	kg/ha	0,004	0,010	0,020	0,010	0,010	0,010
Ca	kg/ha	7,74	12,05	9,66	9,67	7,74	10,75
Mg	kg/ha	3,30	5,30	4,20	4,23	3,42	4,67
Na	kg/ha	6,26	9,32	7,48	6,84	5,51	7,00
K	kg/ha	1,72	3,42	2,50	2,45	1,82	2,59
SO ₄ -S	kg/ha	6,02	10,02	8,14	9,32	7,41	11,28
Cl	kg/ha	3,20	4,70	3,67	3,76	3,33	3,26
NO ₃ -N	kg/ha	0,22	0,34	0,24	0,09	0,20	0,19
NH ₄ -N	kg/ha	0,06	0,07	0,05	0,04	0,15	0,07
Fe	kg/ha	2,63	6,02	3,70	2,91	2,07	2,58
Mn	kg/ha	0,07	0,11	0,09	0,09	0,07	0,39
Al	kg/ha	1,16	2,81	2,20	1,81	1,41	2,26
As	g/ha	7,50	12,50	12,30	9,82	8,80	5,46
Ba	g/ha	42,12	67,40	100,25	111,23	142,88	
Cd	g/ha	0,20	0,31	0,37	0,38	0,32	0,61
Co	g/ha	2,74	4,07	5,15	6,66	7,57	
Cr	g/ha	37,98	4,58	6,75	7,92	8,30	
Cu	g/ha	6,48	9,44	11,00	9,32	8,45	14,92
Ni	g/ha	20,17	16,96	22,98	25,73	32,37	
Pb	g/ha	3,09	5,42	5,94	4,69	3,57	9,30
Zn	g/ha	164,31	40,24	44,08	43,47	37,42	107,41

Tabell 6: Volymvägda medelhalter i avrinningen vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		"01/02"	"00/01"	"98/01 me- del"	"95/98 me- del"	"92/95 me- del"	"86/89 me- del"
pH		6,01	5,93	5,82	6,00	5,99	6,00
Ca	mg/l	1,77	2,06	2,11	2,81	2,36	2,73
Mg	mg/l	0,75	0,90	0,91	1,22	1,04	1,19
Na	mg/l	1,43	1,59	1,63	1,98	1,67	1,81
K	mg/l	0,39	0,58	0,53	0,67	0,55	0,67
SO ₄ -S	mg/l	1,38	1,71	1,77	2,67	2,25	2,87
Cl	mg/l	0,73	0,80	0,79	1,11	1,01	0,86
NO ₃ -N	mg/l	0,05	0,06	0,05	0,02	0,06	0,05
NH ₄ -N	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,02
Fe	mg/l	0,60	1,03	0,77	0,81	0,63	0,65
Mn	mg/l	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,09
Al	mg/l	0,26	0,48	0,48	0,45	0,43	0,57
As	ug/l	1,72	2,91	2,64	2,49	2,68	1,34
Ba	ug/l	9,64	11,50	22,24	40,41	43,43	
Cd	ug/l	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,15
Co	ug/l	0,63	0,69	1,11	2,41	2,30	
Cr	ug/l	8,69	0,78	1,45	2,59	2,53	
Cu	ug/l	1,48	2,31	2,40	2,34	2,57	3,69
Ni	ug/l	4,62	2,89	5,04	9,05	9,85	
Pb	ug/l	0,71	1,44	1,27	1,11	1,09	2,38
Zn	ug/l	37,60	8,89	9,67	11,59	11,38	26,42

Tabell 7: Nederbörd, krondropp och avrinning (mm/år) vid Holmsvattnet, Västerbotten. Avrinningsdata är tagna från SMHI referensvattendrag Storbäcken strax norr om Skellefteå. Kvoten mellan nederbörds mängden och avrinningen används för att tolka förutsättningar för vattentransporter.

Hydrologiska år	2001/02	2000/01	99/00	98-01 medel 3 år	95-98 medel 3 år	92-95 medel 3 år	86-89 medel 3 år
Nederbörd	513	857	814	761	550	624	635
Krondropp	336	649	528	512	403	431	461
Avrinning	437	586	463	442	366	327	397
Nedb/avrin kvot	1,2	1,5	1,8	1,7	1,5	1,9	1,6

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie)
IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden
IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt
IVLs hemsida: www.ivl.se

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie. Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

P.O.Box 210 60, SE-100 31 Stockholm
Hälsingegatan 43, Stockholm
Tel: +46 8 598 563 00
Fax: +46 8 598 563 90

P.O.Box 470 86, SE-402 58 Göteborg
Dagjämningsgatan 1, Göteborg
Tel: +46 31 725 62 00
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult
Aneboda, Lammhult
Tel: +46 472 26 77 80
Fax: +46 472 26 77 90

www.ivl.se