



rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Deposition och avrinning av metaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet under åren 1986-2003

Årsrapport 2003

Johan C. Knulst och Olle Westling

B1581

Juli 2004

IVL

Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary
Adress/address Box 5203 411 33 Göteborg	Projekttitel/Project title HVTMET
Telefonnr/Telephone 031 7256200	Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor Boliden Mineral AB
Rapportförfattare/author Johan C Knulst, Olle Westling	
Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Deposition och avrinning av metaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet under åren 1986-2003	
Sammanfattning/Summary IVL utför undersökningar av deposition och avrinning av svavel, kväve samt metaller i ett 65-årigt 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 2002/03 jämförs med mätningar under 1986 till 2002 i samma område. Depositionen av svavel och kväve har inte visat några större förändringar under det senaste mätåret. Totaldepositionen var något mindre på grund av det nederbördsfattiga året jämfört med medelvärdet för alla mätår. Halterna av sulfatsvavel i nederbörd vid Holmsvattnet har legat runt 0,4 mg /L sedan 1996, efter en kraftig minskning mellan 1986 (0,9 mg/L) och 1992 (0,5 mg/L). Kvävehalterna i nederbörd var genomgående låga och har varierat något runt 0,2 mg N /L sedan 1996. Kvävet som deponerats till skogen togs nästan helt upp i vegetationen och bidrog således inte direkt till markförsurning vid Holmsvattnet. Depositionen i form av nederbörd på ett öppet fält av arsenik och metaller under det senaste mätåret har varit lik den uppmätta på andra lokaler i Sverige för alla metaller utom koppar och zink. Depositionen av koppar (11 g/ha och år) och zink (100 g/ha och år) var förhöjd jämfört med övriga lokaler i landet. Skogsmarken i området är fortfarande påverkad av försurning, indikerat av avrinningsvattnets kemi. Det torra mätåret 2002/03, med en årsavrinning på 128 mm, ledde till små förluster av metaller och andra markbundna ämnen till vattendraget. Avrinningen var till största del grundvatten som generellt uppvisade låga metallhalter. Utlakningen av arsenik, som tidigare år hade varit relativt hög, var betydligt lägre under 2002/03. Det är inte troligt att det senaste mätårets halter av undersökta metaller, surhetsgraden i avrinningen eller utlakning av organiska syror orsakar ekologiska skador. Den något högre depositionen av metaller i området 2002/03 jämfört med de senaste åren återspeglades inte i avrinningen, vilket innebär att en upplagring av dessa metaller sker i det översta markskiktet.	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords regionala bakgrundsvärden, ytvatten, metaller, svavel, kväve, smältverk, norra Sverige	
Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport/report B 1581	
Beställningsadress för rapporten/Ordering address Hemsida: www.ivl.se , e-mail: publicationservice@ivl.se , fax: 08-598 563 90 eller IVL, Box 210 60, 100 31 Stockholm.	

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
Summary.....	2
1. Inledning	3
2. Metoder	4
2.1. Deposition.....	4
2.2. Avrinningsvatten.....	6
2.3. Hydrologi.....	6
2.4. Analysmetoder	7
2.5. Kontamineringsrisker.....	7
3. Resultat 2002/03 jämfört med 1986-2002.....	8
3.1. Miljötilståndet 2003	8
3.2. Deposition.....	8
3.3. Haltvariation	13
3.4. Avrinning.....	17
3.5. Jämförelse mellan deposition, halter och avrinning	21
4. Referenser	25
Bilaga 1. Årlig deposition, avrinning och medelhalt	26

Sammanfattning

IVL utför undersökningar av deposition och avrinning av svavel, kväve samt metaller i ett 65-årigt 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 2002/03 jämförs med mätningar under 1986 till 2002 i samma område.

Depositionen av svavel och kväve har inte visat några större förändringar under det senaste mätåret. Totaldepositionen var något mindre på grund av det nederbördsfattiga året jämfört med medelvärdet för alla mätår.

Halterna av sulfatsvavel i nederbörd vid Holmsvattnet har legat runt 0,4 mg /L sedan 1996, efter en kraftig minskning mellan 1986 (0,9 mg/L) och 1992 (0,5 mg/L). Kvävehalterna i nederbörd var genomgående låga och har varierat något runt 0,2 mg N /L sedan 1996. Kvävet som deponerats till skogen togs nästan helt upp i vegetationen och bidrog således inte direkt till markförsurning vid Holmsvattnet.

Depositionen i form av nederbörd på ett öppet fält av arsenik och metaller under det senaste mätåret har varit lik den uppmätta på andra lokaler i Sverige för alla metaller utom koppar och zink. Depositionen av koppar (11 g/ha och år) och zink (100 g/ha och år) var förhöjd jämfört med övriga lokaler i landet.

Skogsmarken i området är fortfarande påverkad av försurning, indikerat av avrinningsvattnets kemi. Det torra mätåret 2002/03, med en årsavrinning på 128 mm, ledde till små förluster av metaller och andra markbundna ämnen till vattendraget. Avrinningen var till största del grundvatten som generellt uppvisade låga metallhalter.

Utlakningen av arsenik, som tidigare år hade varit relativt hög, var betydligt lägre under 2002/03. Det är inte troligt att det senaste mätårets halter av undersökta metaller, surhetsgraden i avrinningen eller utlakning av organiska syror orsakar ekologiska skador. Den något högre depositionen av metall i området 2002/03 jämfört med de senaste åren återspeglades inte i avrinningen, vilket innebär att en upplagring av dessa metaller sker i det översta markskiktet.

Annual report 2003

Summary

Deposition and run-off of the acidifying compounds sulphur and nitrogen, and a number of metals were measured by IVL Swedish Environmental Research Institute in a 65-year old stand of Norway spruce and the primary stream draining the area at Holmsvattnet, 17 km SSW of the Rönnskär smelter. The main goals were to follow the changes in annual deposition and runoff chemistry. Results from the 2002/03 hydrological year (Oct - Sep) are presented and compared with earlier results from the same location.

The measured deposition of sulphur and nitrogen of 2002/03 was similar to that of the previous years. Total deposition during the last year was somewhat lower than usual due to the much drier weather conditions last year.

Concentrations of sulphate-sulphur in precipitation have been about 0.4 mg/L since 1996, after a strong decline between 1986 (0.9 mg/L) and 1992 (0.5 mg/L). Concentrations of nitrogen have continuously been low, and have stayed at about 0.2 mg N/L since 1996. The nitrogen deposited to forest was almost completely utilised by the vegetation. Therefore, nitrogen did not likely contribute to soil acidification at Holmsvattnet.

Deposition of arsenic and other studied metals in the area during 2002/03 was similar to that measured at 4 other sites in Sweden during that year, except for copper and zinc. Copper (11 g/ha and yr) and zinc deposition (100 g/ha and yr) was clearly raised at Holmsvattnet compared to the amounts measured at other Swedish sites.

In spite of the reduced deposition of acidifying compounds since the start of measurements at Holmsvattnet forest soil acidification is still observable, according to the run-off chemistry. Due to the very dry weather during the past year, only 128 mm runoff was estimated in the stream. Small losses of soil minerals and metals were noted, as most of the runoff was groundwater base flow. Loss of arsenic, which during earlier years had been extensive, was small during 2002/03. The deposition and concentrations of studied metals, acidity of the run off, and organic acid contents of the streamwater are not expected to cause any apparent ecological damages in the stream ecosystem. The slightly increased deposition of heavy metals at the site during 2002/03 did not cause an increase in the streamwater chemistry. This means that the metals likely are retained in the upper forest soil.

1. Inledning

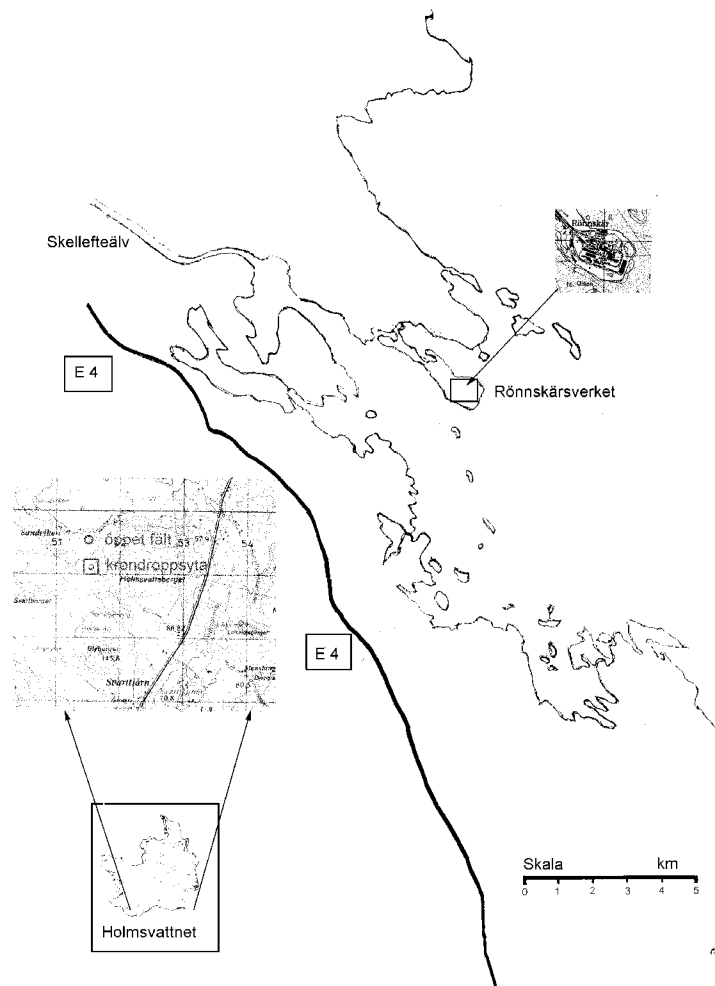
IVL utför undersökningar av deposition och avrinning av svavel, kväve, arsenik samt ett antal metaller i ett skogsområde nära smältverket vid Rönnskär, på uppdrag av Boliden Mineral AB. Syftet är att kvantifiera depositionen samt beskriva eventuella förändringar i det avrinnande vattnets kemi med tiden. Denna rapport beskriver undersökningarna under det hydrologiska året 2002/2003 (oktober till och med september) och gör jämförelser med tidigare resultat från samma område. IVL har tidigare rapporterat resultat i ett antal rapporter (Westling, 1998, Westling, 2000, Westling, 2001, Knulst och Westling, 2002, Knulst och Westling 2003). IVL har studerat metallflöden i samma område mellan 1986 och 1989. Det projektet ingick i IVLs branschgemensamma forskningsprogram och studiens mål var att beskriva transporten av luftdeponerade metaller genom marksystemet till ytvatten. Betydelsen av de dåvarande utsläppen värderades i förhållande till tidigare metalldeposition 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). 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 provtytor för övervakning av luftföroreningar som täcker större delen av Sverige. Data presenteras på Krondroppsnätets hemsida (<http://www.ivl.se/miljo/projekt/kron/index.asp>). 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 Johan Knulst, som även har gjort sammanställningen.



Figur 1: Översiktskarta över Västerbottens kustområde innanför Skelleftebukten med sjön Holmsvattnet (rektangeln) 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). Skogen strax NO om skogsytan avverkades hösten 1999. 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 analys av makrokonstituent

Under sommarhalvåret utnyttjades totalt 10 trattar (\varnothing 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 (\varnothing 214 mm) monterade på stolpar för insamling av krondropp i form av snö. Samtliga insamlare tömdes en gång per månad. Tio krondropsinsamlare sammanhålldes i fält, eller efter upptining inomhus. Volymen bestämdes och ett mindre delprov uttogs för analys av makrokonstituent. Delprovet skickades till IVLs laboratorium för vidare hantering.

Insamling av nederbörd för analys av makrokonstituent

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 IVLs laboratorium 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 inklusive allt prov skickades med allt insamlat vatten till IVLs laboratorium. Proverna volymbestämdes och fixerades med koncentrerad salpetersyra (suprapur). Proverna lagrades i minst två veckor så att eventuella metaller som adsorberats på kärnväggarna frigjordes. Krondropsinsamlarna (10 stycken) sammanhålldes sedan och ett delprov uttogs som sparades i kylskåp (+4°C och mörkret). 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. Volymen bestämdes. Proverna fixerades med koncentrerad salpetersyra (suprapur) och lagrades i minst två veckor så att eventuella metaller 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, sulfatsvavel (SO₄-S), klorid (Cl), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (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 makrokonstituenten skedde på pappersfiltrerat prov (00A). Alkalimetaller, metaller 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 (abs f 400/5 med standardkurva Pt/l), 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 vatten transporter 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 (transporter ut) har dagliga halter interpolerats fram, som med uppmätta dagliga flöden ger mängder transporterade ämnen. Sedan har dygnsvärden för mängderna summerats för månader och hela det hydrologiska året.

Nederbördsmängderna som redovisas i studien är hämtade från IVLs depositions-
mätningarna på öppet fält. Årsdata på vattenmängder 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 således i insamlaren under rätt hydrologiskt år men kan samlas in under fel kalenderår om uppdelningen skulle göras 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 mass-spektrometri (ICP-F/MS) på Analytica AB i Luleå. Övriga analyser utfördes vid IVL. SO₄-S, Cl och NO₃-N analyserades med jonkromatograf. NH₄-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-F/MS och den tidigare använde metod med grafitugn adsorptions-spektrometer (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 utfört 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 2002/03 jämfört med 1986-2002

Årsvärden (hydrologiska år, okt - sep) från undersökningarna av nederbörd, krondropp och avrinning redovisas både som deposition och som volymvägda medelkoncentrationer i bilaga 1 (tabeller 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 bilaga 1, tabell 7 samt i flera av rapportens figurer.

3.1 Miljötilståndet 2003

Det generella miljötilståndet vid Holmsvattnet kan beskrivas med indikatorer för försurning och metallbelastning. Deposition av försurande ämnen i krondropp och nederbörd har minskat avsevärt. Försurning av mark och vatten (avrinning) har dock inte minskat i samma omfattning, och negativa effekter kan avläsas i ett bestående underskott av baskatjoner i förhållande till vätejoner och aluminium i avrinningen. Underskottet är något större än vanligt för skogsmarken i norra Sverige. Nederbörd och krondropp, samt markens vittring, bidrar inte med tillräckligt mycket baskatjoner för en snabb återhämtning från försurning. Nedfallet av flertalet undersökta metaller uppvisar låga värden 2003, men mellanårsvariationen är stor. Halter av koppar och zink i framförallt krondropp är fortfarande högre än förväntade bakgrundsvärden i övriga landet, trots minskade halter för koppar. Även nederbörd uppvisar halter av metallerna koppar och zink som är högre än förväntade bakgrundshalter för den aktuella regionen. Halterna av metaller i avrinning har i de flesta fall minskat kraftigt sedan mitten av 1980-talet. Trots den minskade depositionen av arsenik till området visar avrinningen fortfarande måttligt till höga arsenikhalter, med fluktuationer som troligen styrs av hydrologiska parametrar. Kadmiumhalter har minskat till låga nivåer i både nedfallet och avrinningen, medan bly fortfarande är något förhöjd i nedfallet, men inte i avrinningen.

3.2. Deposition

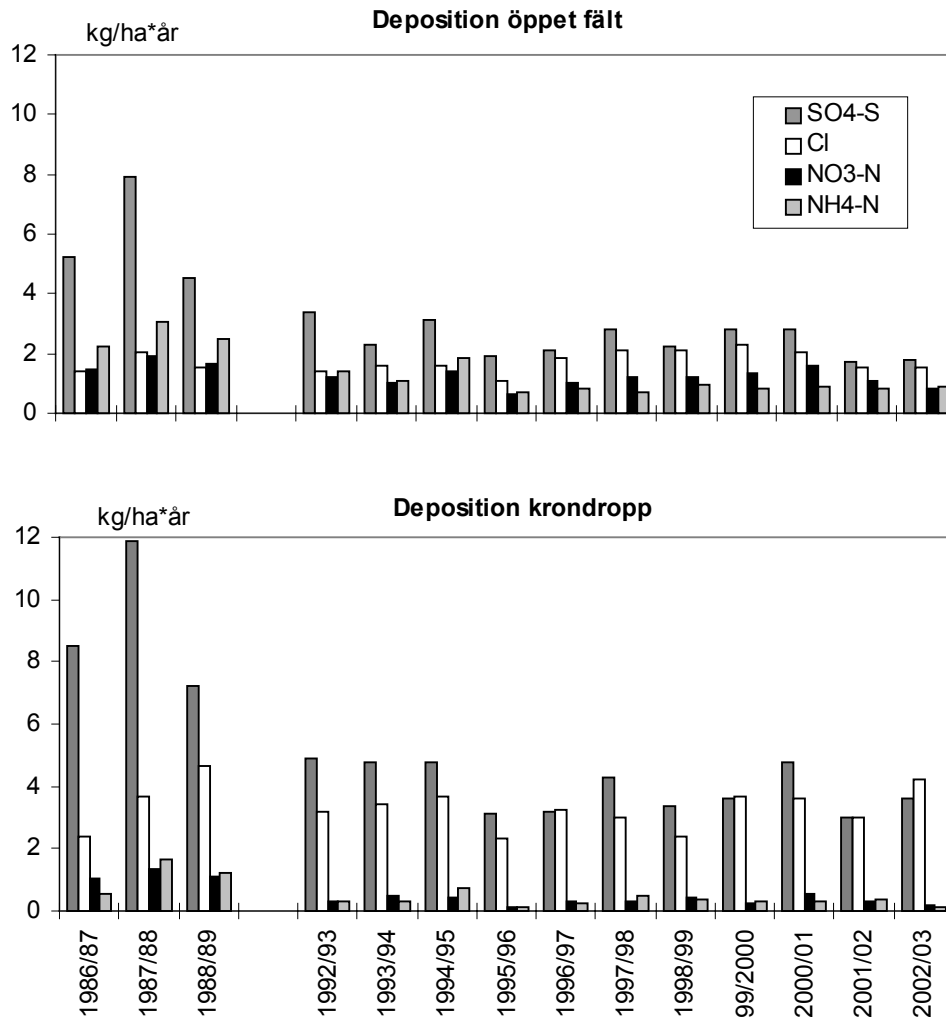
Deposition av svavel och kväve på öppet fält i regionen uppvisar endast smärre mellanårsvariationer under de senaste åren, som kan förklaras med meteorologiska betingelser under exponeringstiden (tabell 1). Detta gäller även provytan vid Holmsvattnet. De senaste två mätåren har varit torrare än medelnederbörden. Trots den generellt högre nederbörden vid Holmsvattnet än vid övriga mätlokaler i norra Sverige, var nederbörds-mängden vid Holmsvattnet lägre än vid regionens mätpunkter under det sista mätåret (tabell 1).

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 fyra 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
öf medel n. Sv (n=5)	2002/03	519	0,06	1,25	1,45	0,93	0,64
öppet fält AC35	2002/03	455	0,05	1,78	1,51	0,84	0,87

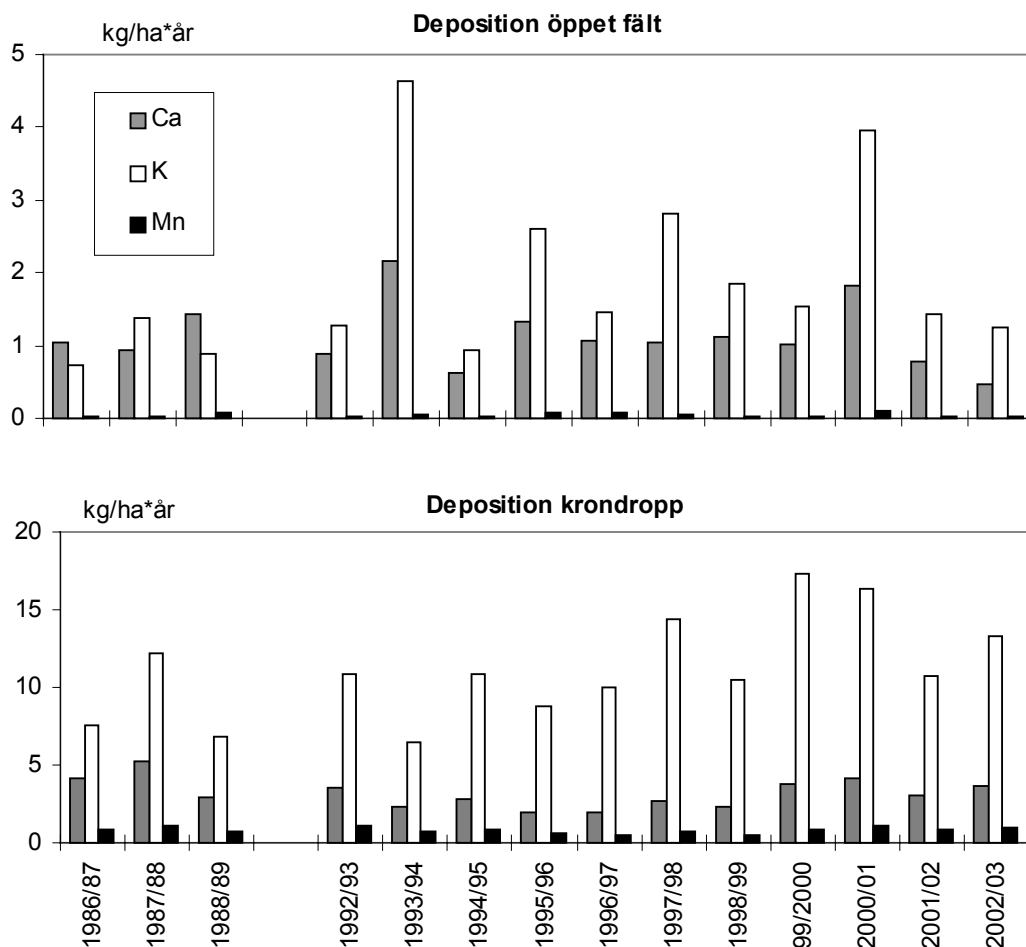
Deposition av svavel i nederbörd och krondropp minskade kraftigt, 55 - 60 %, mellan 1986 och 1992. Under de följande åren är förändringarna små (figur 2). Motsvarande förändringar finns registrerade i hela norra Sverige genom den regionala miljöövervakningen av luftföroreningar (krondroppsnätet), där även skogsytan vid Holmsvattnet ingår.

En viss minskning av deposition av kväve (NO₃-N och NH₄-N) i nederbörd har noterats under perioden 1986 till 1992 (Figur 2). Efter 1992 har depositionen av svavel och kväve främst samvarierat med årliga förändringar i nederbördsmängder.



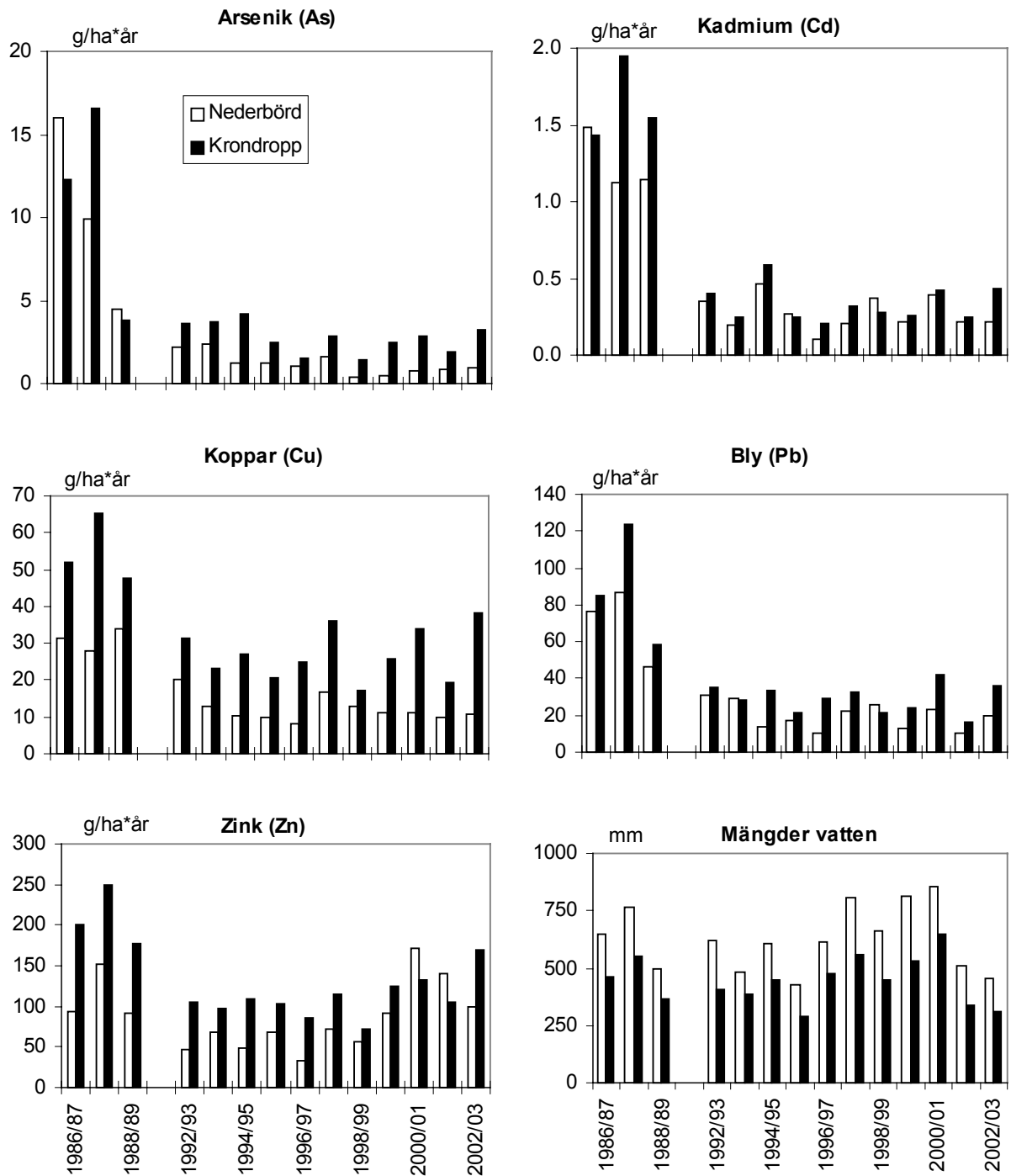
Figur 2: Deposition av svavel, klorid och kvävekomponenter på öppet fält och i kronddropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2002/03. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

Deposition av kloridjoner har inte förändrats nämnvärt på öppet fält och speglar mest väderrelaterade fluktuationer. Kronddropsdeposition av kloridjoner har konsekvent varit högre än på öppet fält, vilket beror på att kloridjoner ofta är associerade med partiklar som effektivt fastnar på trädskronans stora blad- och grenyta. En stor del av den nederbörden som fallit i trädskronan avdunstar och därmed blir koncentrationer av mindre flyktiga ämnen vanligen höjda i kronddroppet. Den svaga ökningen av kronddroppets kloriddeposition efter 1999 kan vara orsakat av den högre exponeringen av kronddropsytan för nordostliga vindar genom skogsavverkningar i den riktningen.



Figur 3: Deposition 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 2002/03. Notera att olika skalor används. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

Kvävedepositionen i form av krondropp till skogsmarken har generellt varit liten (figur 2), 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 3). Även kalcium (Ca) interncirkuleras, normalt så att en nettoläckage uppstår från trädkronan. Kalciumutlakningen är oftast nära kopplat till depositionen av försurande luftföroreningar, främst torrdepositionen av svavel. Med skillnaden mellan krondroppet och nederbörden på öppet fält ger ett grovt mått på torrandelens av svaveldeposition, finner vi ett svagt samband ($R^2=0,6$) mellan Ca i krondroppet och torrdeposition av svavel.



Figur 4: Deposition av arsenik och metallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn) vid Holmsvattnet mellan oktober 1986 och september 2003. Ett mätavbrott skedde åren 1989-92.

Figur 4 visar depositionen av arsenik och ett urval metaller i nederbörd och kronddropp. Se för jämförelse med avrinning figur 11 i avsnitt 3.5. Depositionen av arsenik samt

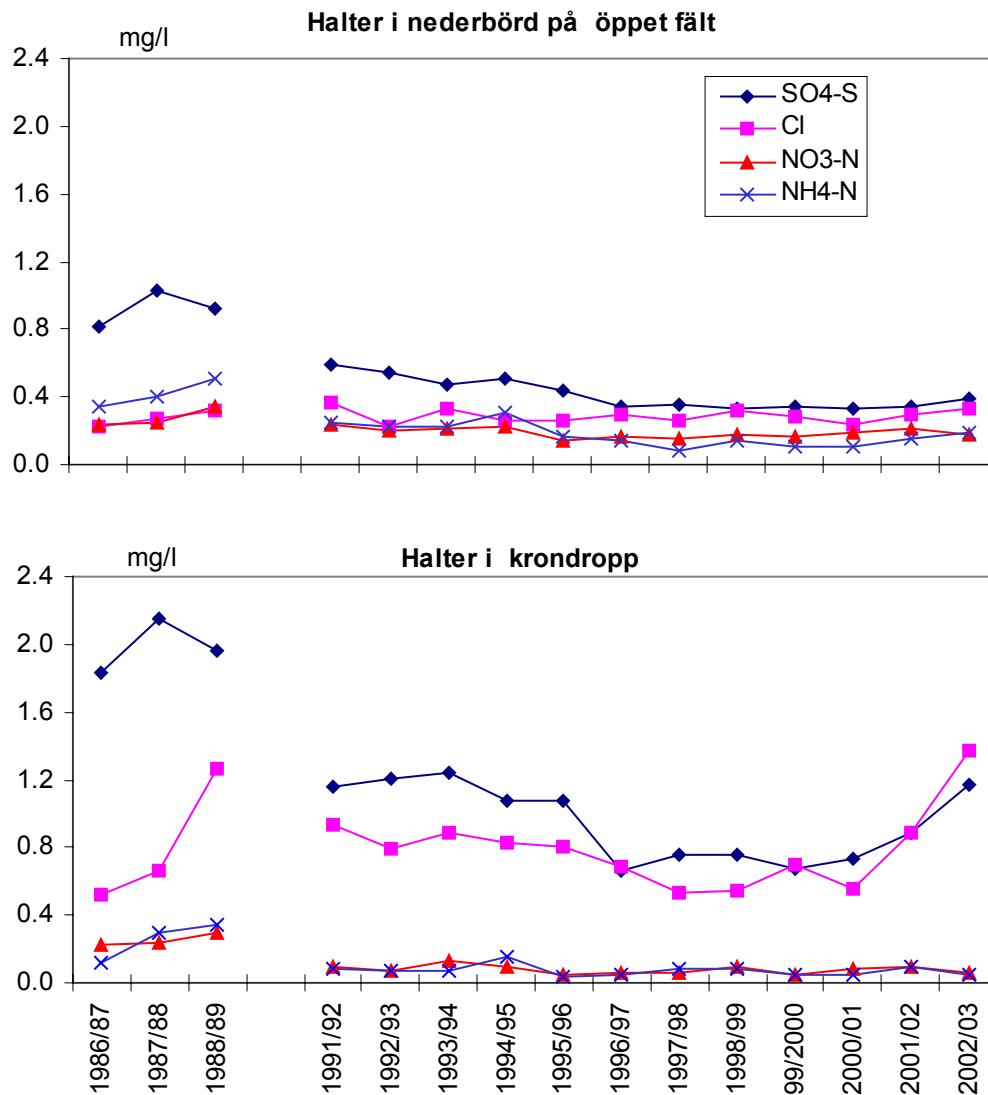
undersökta metaller på öppet fält har minskat kraftigt sedan slutet av 1980-talet. Minskningen av koppar och zink i depositionen var något mindre, jämfört med de andra metallerna. Mängder av metallerna kadmium, krom och bly vid Holmsvattnet ligger i nivåer med bakgrundsstationer (Bredkålen, Arup, Aspvreten och Gårdsjön) inom den nationella miljöövervakningen samt två ytterligare lokaler med öppet fältmätningar av metallnedfallet (Visingsö och Mjölsta). Även i denna jämförelsen uppvisar koppar och zink något större mängder vid Holmsvattnet.

3.3. Haltvariation

Svavelhalterna (figur 5) har minskat successivt mellan 1986 och 1996, både i nederbörd och i krondropp. Sedan 1996 har halterna av svavel och kväve i nederbörd legat på ungefär samma nivå. Svavel- och kloridhalterna i krondropp har blivit högre de senaste åren, vilket mest troligen beror på den ökade exponeringen av skogsytan för nordostliga vindar (se metodavsnittet 2.1). Kvävehalterna i krondropp har varit fortsatt låga, vilket indikerar omfattande upptag och omvandling av oorganiskt kväve i trädskronorna. Kloridhalten varierar mellan åren, vilket till största delen beror på de växlande väderförhållandena.

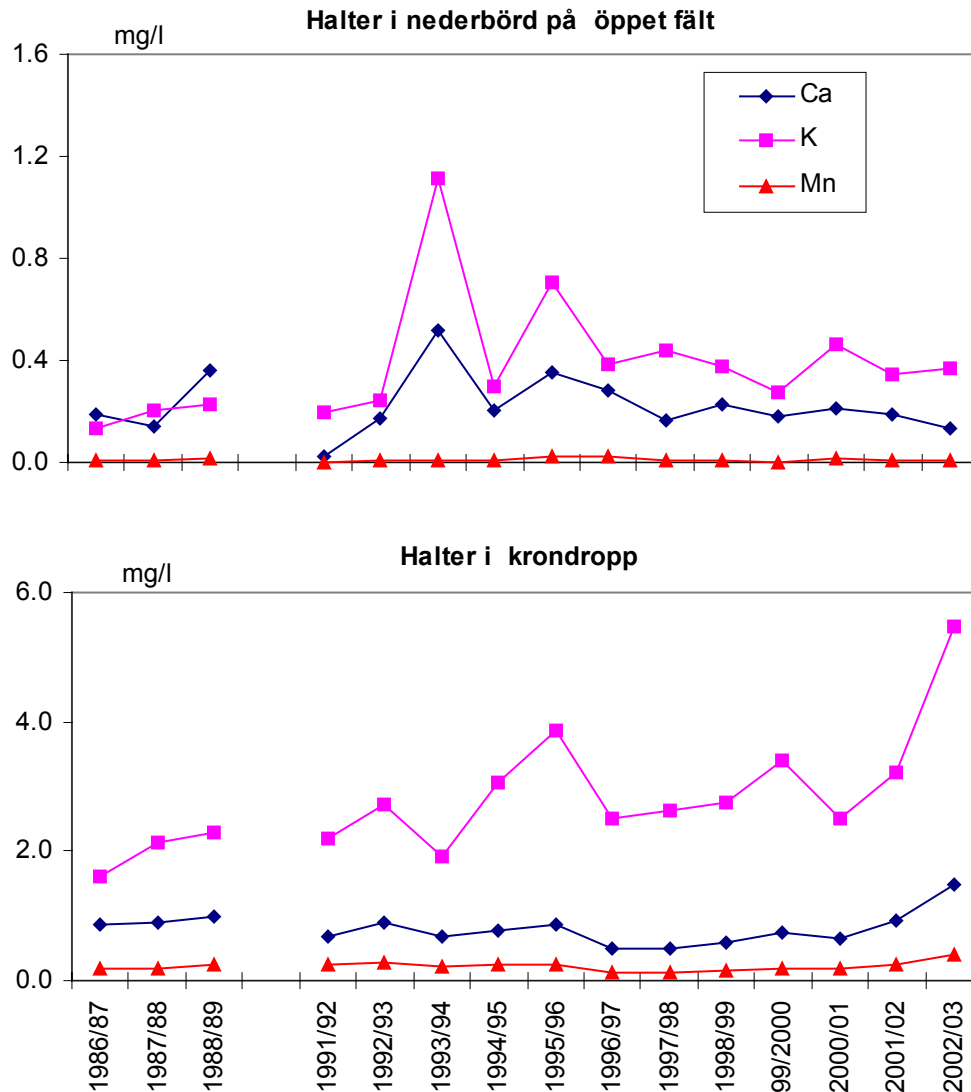
En stor del av ökningen av kaliumhalterna i krondropp (figur 6) mellan slutet av 1980-talet och de senaste åren beror sannolikt på att depositions­mätningarna efter 1992 koncentrerades till en provyta med äldre granskog. Den stora kronbiomassan i skogsytan bidrar till ett omfattande läckage från barren, vilket är normalt.

Volymvägda medelkoncentrationer av metaller i nederbörd på öppet fält kompenserar i viss mån för nederbördsskillnader mellan åren (figur 7), vilket underlättar jämförelser (bilaga 1, tabell 2). Under det senaste året (2002/03) i undersökningen har halterna av arsenik, kadmium, bly, krom och nickel i nederbörd varit på samma nivå som bakgrundsstationer i mellersta och norra Sverige (jämför resultat från det nationella nederbörds-kemiska nätet, <http://www.ivl.se/miljo>). Endast koppar och zink uppvisade tydligt högre halter (dubbla) vid Holmsvattnet jämfört med bakgrundsstationerna inom den nationella miljöövervakningen samt Visingsö (Hallgren Larsson, 2003) och Mjölsta (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2003). Inom den nationella miljöövervakningen saknas för närvarande referenslokaler för deposition av metaller längs norrlandskusten, vilket försvårar en bedömning av potentiella punktkällornas bidrag.



Figur 5: Volymvägda medelhalter av svavel, klorid och kvävekomponenter på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2002/03. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

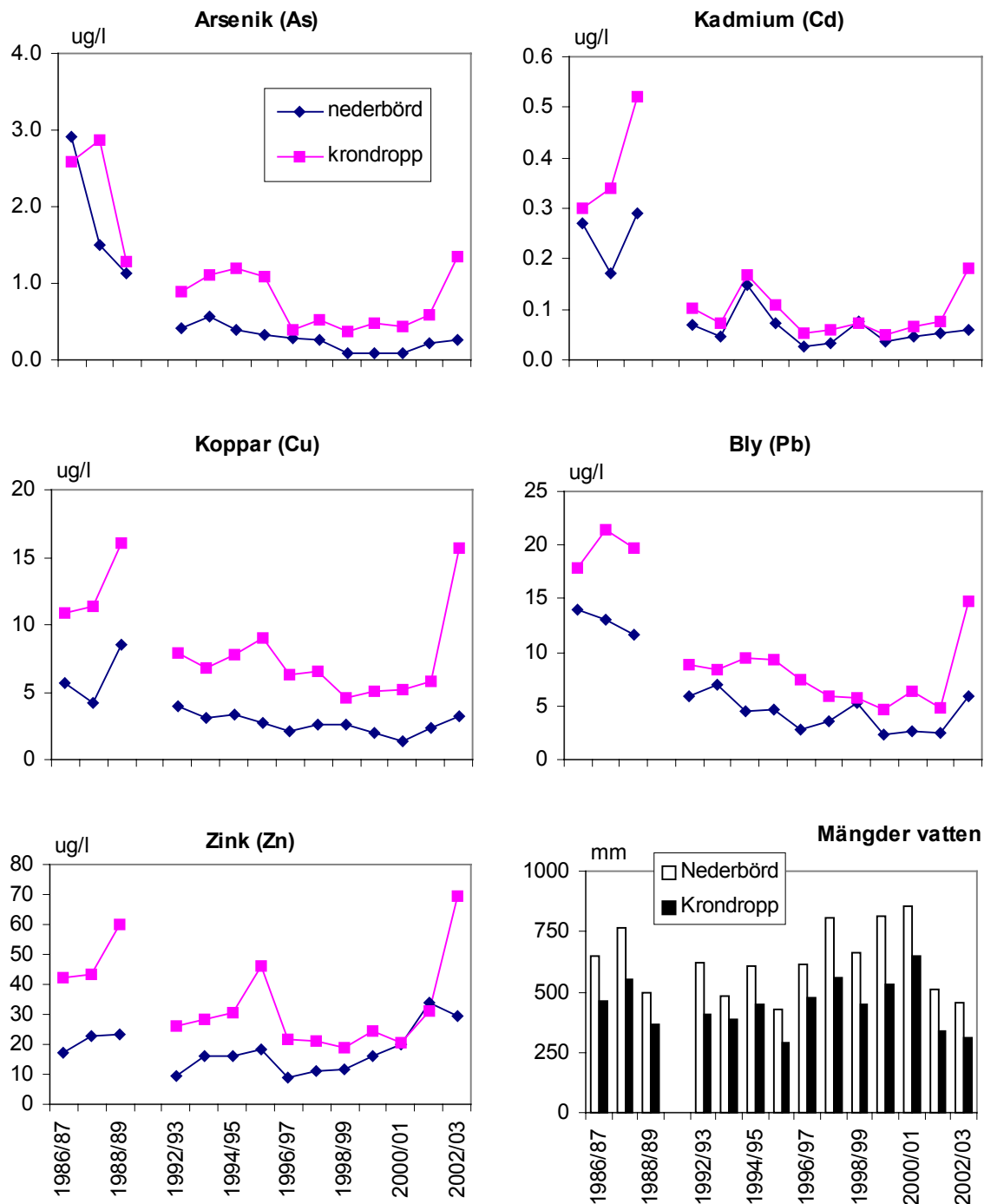
Metallhalterna i krondropp är vanligen något högre än de i nederbörd, beroende på tidigare nämnda orsaker; avdunstningen av nederbörd i trädkronan samt effektiv partikelbunden adsorption på den stora blad- och grenytan i trädkronan.



Figur 6: Volymvägda medelhalter av kalcium (Ca), kalium (K) och mangan (Mn) på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2002/03. Notera att olika skalor används. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

De generellt högre koncentrationer av metaller i krondropp under det senaste mätåret kan bero på den relativ låga nederbördsmängden. Partikelbundna metaller kan koncentreras genom att en större andel av nederbörden som faller i skogens trädkronor avdunstar. Kvar blir partiklarna som sköljs ner av övriga nederbördsmängden som krondropp. Den minskande belastningen i Holmsvattenområdet av svavel, och i mindre utsträckning kväve, är sannolikt ett resultat av en minskad regional bakgrundsbelastning, där lägre svavelutsläpp från Rönnskärsverken kan ha bidragit. Depositionsminskningen av metaller 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

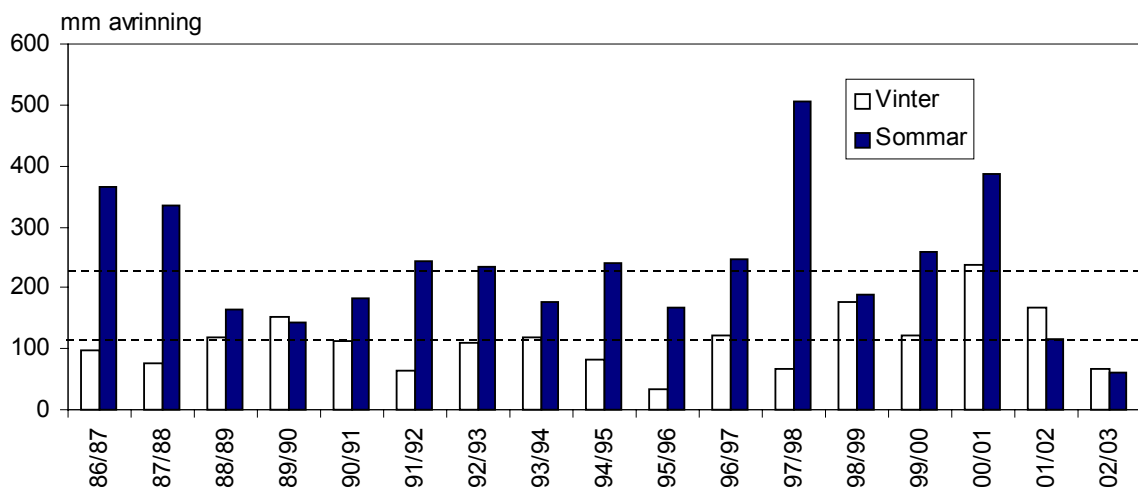
minskat kraftigt i hela Sverige. Halterna av metaller och arsenik i nederbörd från Holmsvattnet är i genomsnitt låga, i krondropp låga eller måttligt höga (gäller endast koppar och zink).



Figur 7: Volymvägda medelkoncentrationer av arsenik (As) och metallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn) i nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet mellan oktober 1986 och september 2003. Ett mätavbrott skedde åren 1989-92.

3.4. 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 surhetsgraden 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 2002/03 som var snarlikt de under 2001/02 (bilaga 1, tabell 6). Utlakningen av sulfat har minskat, även om minskningen ännu så länge är mindre än den i depositionen. I en analys av avrinningens fördelning under säsonger visas att den vanligaste situationen är att merparten av avrinningen sker under vinterhalvåret, då det biologiska systemet är minst aktivt. Under 1989/90 och de senaste två hydrologiska åren har merparten av avrinningen skett under sommarhalvåret, då risker för ekologiska effekter är relativt stora samtidigt som biokemiska omvandlingsprocesser är mest aktiva. Avrinningen under 2002/03 var mycket låg jämfört med tidigare år, både under sommar- och vinterhalvåret (figur 8).

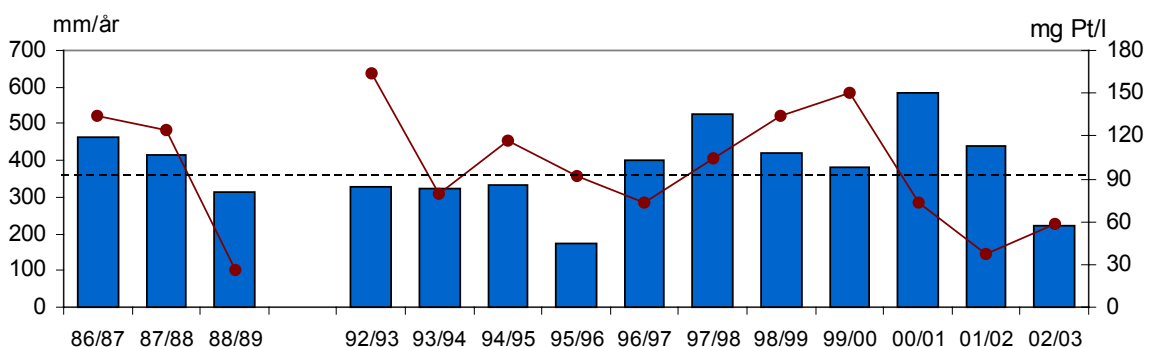


Figur 8: Fördelning av mängder avrinning vid Ostvik (Storbäcken) mellan sommar- (apr. t o m. sep) och vinterhalvåret (okt. t o m. mars) för perioder mellan 1986 och 2003. Streckade linjer indikerar sommar (236 mm) resp. vintermedelvärdet (113 mm) för samtliga år.

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, troligen till följd av de låga nederbördsmängderna som föll då. Under den tiden kom den största delen av bäckvattnet troligen ifrån djupare grundvatten med något högre pH-värden, det s.k. basflödet. Det ger både ett högre pH-värde samt lägre transporter av ämnen ifrån det översta markskiktet. Efter 1992 har pH värdena i bäcken varit ganska lika de i början av mätningarna på 1980-talet. 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 2002/03 var situationen troligen omvänd, med små nederbördsmängder och övervägande basflöde. Transporterna minskade under det senaste året, vilket även speglas i den relativt låga vattenfärgen i bäcken (figur 9). 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 biologiska störningar av metaller i vattendraget. Den omvända situationen är också att en generell låg vattenfärg kan innebära att metaller kan orsaka biologiska störningar vid lägre halter. Vattenfärgen i bäcken under det senaste året klassades som tillståndsklass 3 till 4, måttligt till betydligt färgat vatten enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999, tabell 12). Årets låga halter av de flesta undersökta metallerna i bäcken vid Holmsvattnet har sannolikt inte orsakat några biologiska störningar med rådande surhets- och färgförhållanden.

Vattenfärgen, som grovt indikerar hur mycket organiskt material (humus) transporteras i bäcken, varierar från år till år och det finns ett samband mellan vattenföring och färgtal. Avrinningens intensitet som påverkar humusmängden i vattnet, påverkar i sin tur halterna och transporterna av andra ämnen, främst metaller 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. 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 år. Undantaget var den låga vattenfärgen 1988/89 som kan indikera att bäcken främst matades med djupare grundvatten, vilket även orsakade låg vattenfärg under de senaste två hydrologiska åren (figur 9).



Figur 9: Årliga (hydrologiska år) nederbördsmängder uppmätta på öppet fält (staplar, mm/år) och medelvattenfärg (heldragen linje, mg Pt/l) i bäcken vid Holmsvattnet, östra Västerbottens län. Medelnederbördsmängden för samtliga år (382 mm) anges med den streckade linjen.

År 1997/98 hade hög avrinning i relation till nederbördsmängden. De två åren mellan 1997/98 och 2000/01 hade en närmare balans mellan avrinning och nederbörd. 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 normalt. Högre mätnadsgrad 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 i bäcken. I vissa fall kan vattenfärgen vara hög, även vid låga vattenflöden, t ex. 1999/00. Detta kan orsakas 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.

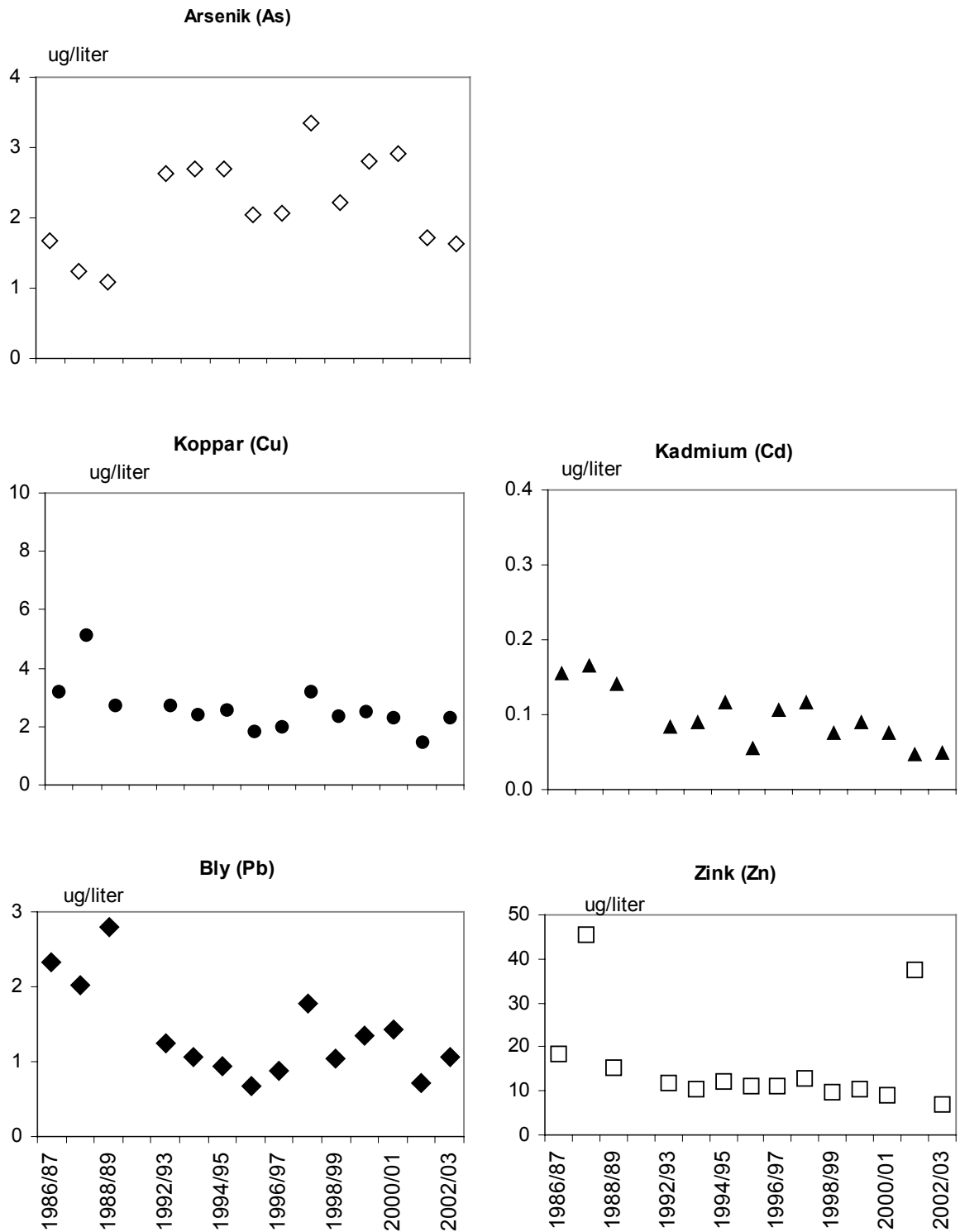
Under det senaste mätåret har de volymvägda medelhalter av arsenik och Cu, Cd, Pb och Zn varit låga (figur 10 samt tabell 6 i bilaga 1). Den mest troliga orsaken till detta är att bäckvattnet till största delen bestod av basflöde. Enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999, tabell 18) faller halterna av flertalet metaller (Cu, Cd, Pb, Cr, Ni) i bäcken vid Holmsvattnet (volymvägda medelvärden) i klass 1, mycket låga halter under 2002/03. Undantag under 2002/03 var zink och arsenik med halter i klass 2, låga halter.

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".



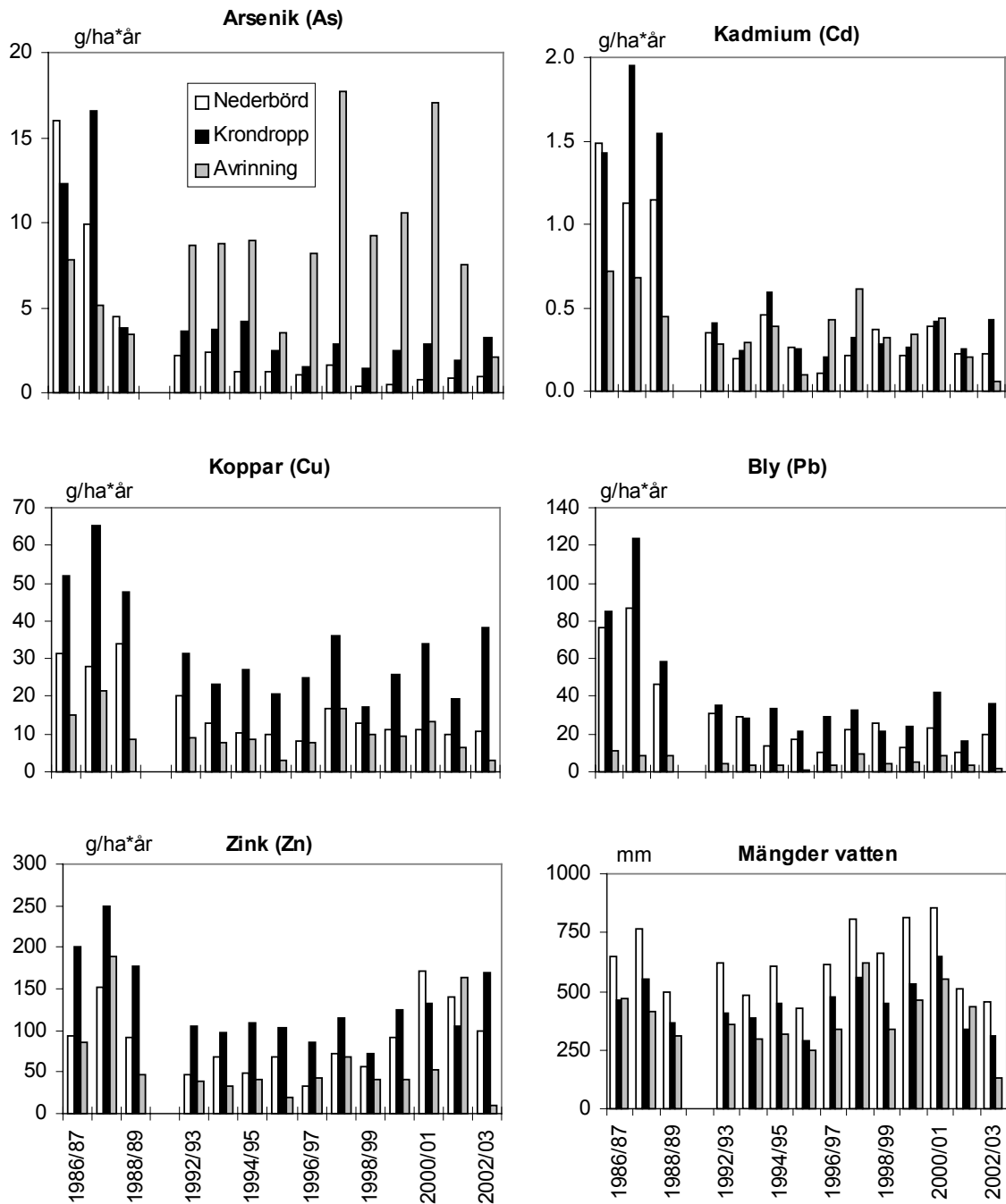
Figur 10: Volymvägda årsmedelvärden av halter av arsenik och metaller i avrinning från Holmsvattenområdet nära Rönnskärsverken för hydrologiska åren 1986/87 t o m 2002/03.

3.5. Jämförelse mellan deposition, halter och avrinning

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 metaller befinner sig. Uttransporten av organiskt material för med sig även metaller, i synnerhet arsenik, kalcium, koppar och bly med stark bindning till organiska ämnen. Det senaste mätåret uppvisar en hög nederbörds-avrinningskvot (tabell 7 i bilaga 1) vilket innebär att en stor andel av nederbörden inte nådde fram till bäcken. Då var den ytliga vattentransporten inte stor och metalltransporterna blev små. Deponerade mängder metallföreningar under sådana förhållanden lagras i övre markskiktet.

Utlakningen, och de volymvägda medelkoncentrationerna, av kadmium, koppar och bly har minskat till 2002/03, jämfört med perioden 1986 till 1989 (figur 11). Huvuddelen av minskningen skedde i skarven mellan de olika undersökningsperioderna. Den minskade utlakningen av kadmium i avrinningen jämfört med tidigare, är sannolikt en kombination av minskad deposition, samt något minskad surhet i mark och vatten. Minskningen av bly- och kopparutlakningen är troligen främst orsakad av den relativt låga ytvattenavrinningen.

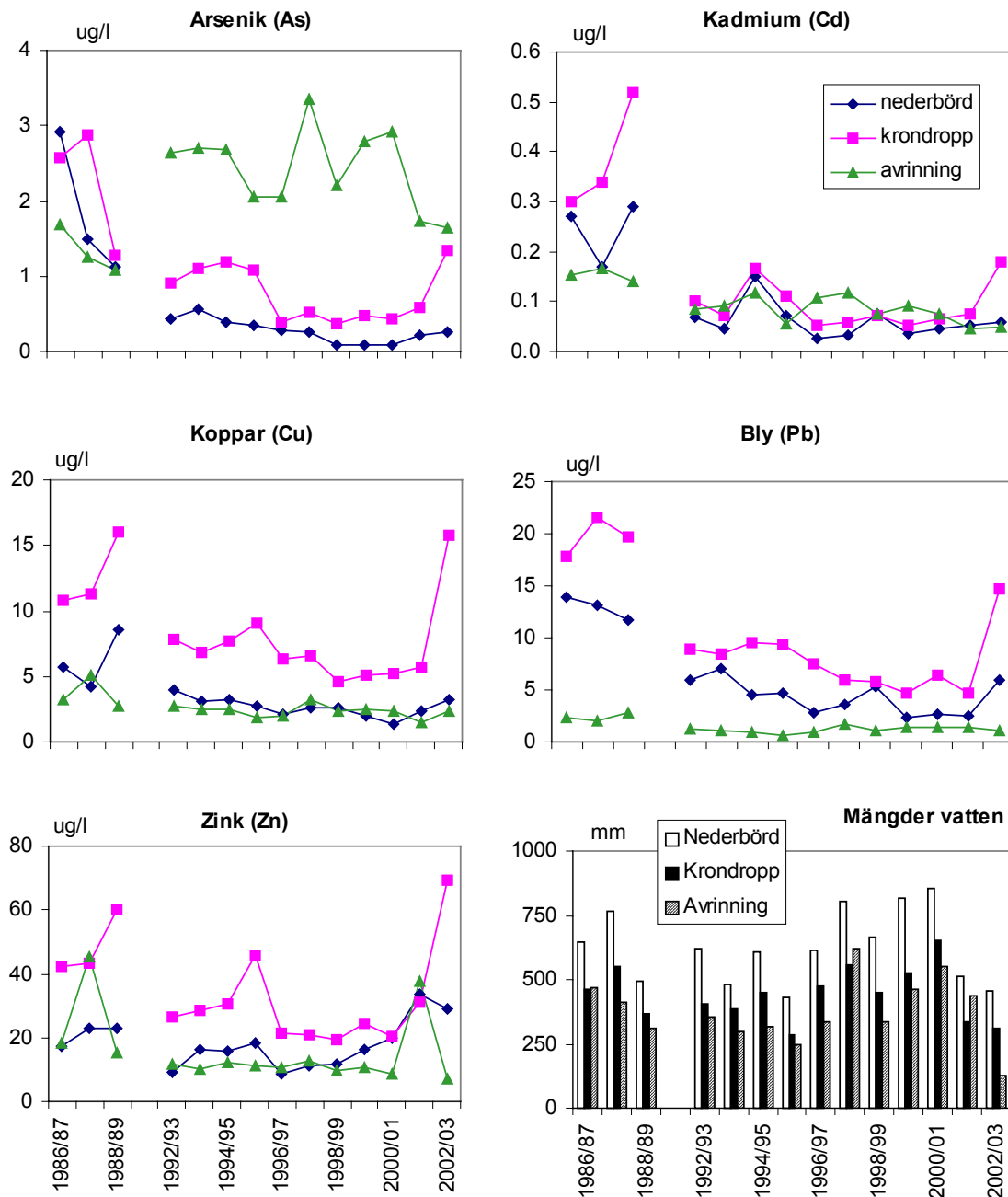
Utlakningen av arsenik, med låga genomsnittliga halter ($< 5 \mu\text{g/liter}$), har tidigare år varit ganska omfattande (figur 9 och tabell 5 i bilaga) men var under 2002/03 liten. Det styrkar tidigare antaganden (Knulst och Westling, 2002) att det är markprocesser som ligger bakom arsenikens utlakning till bäcken. Den mest troliga förklaringen kan finnas i att organiska syror har sin största adsorptionsförmåga för arsenikföreningar vid en pH omkring 5,5 (Thanabalasingam och Pickering, 1986). Under åren mellan 1999 och 2001 var förhållanden sådana att en maximal transport av organiska syror, med pH värden i bäcken strax över 5,5 ledde till omfattande borttransport av arsenikföreningar från skogsmarken. Det senaste årets basflödet i bäcken visade mycket högre pH värden och lägre vattenfärg än under tidigare år. De vanligen höjda halter av arsenik i bäcken uteblev det senaste året.



Figur 11: Metalltransporter (g/ha och hydr. år) i nederbörd, kronddropp och avrinning vid Holmsvattnet, Västerbotten. Mängder vatten (mm/år) anges som referens.

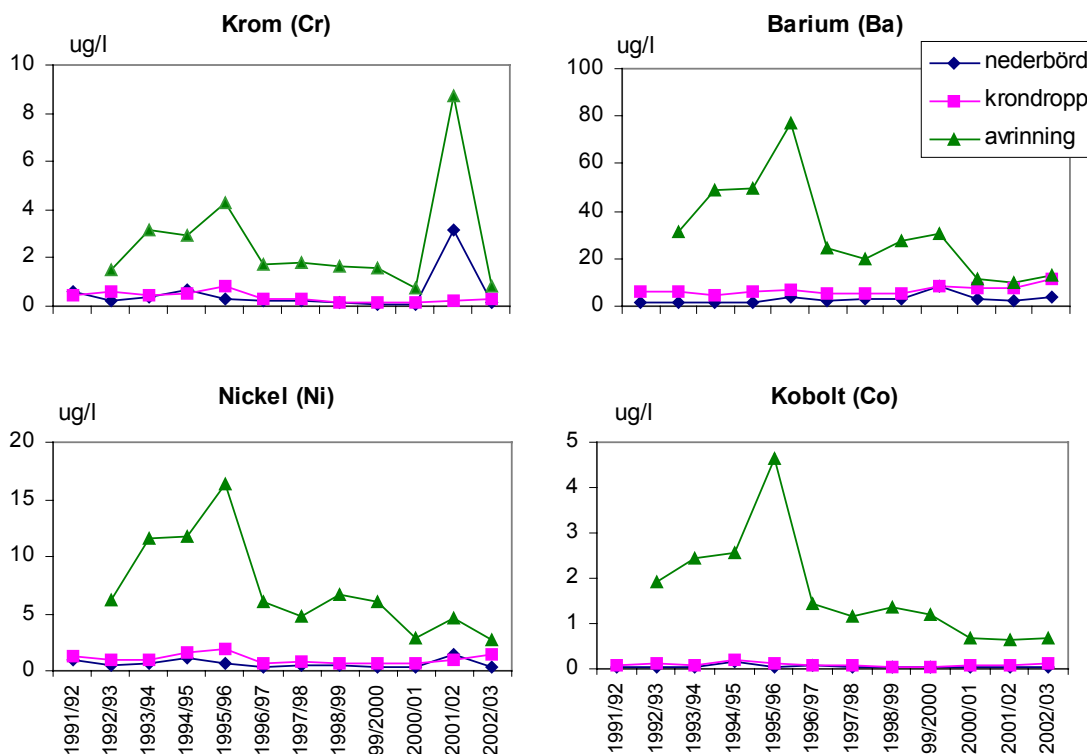
Figur 12 visar tidsutvecklingen för volymvägda halter av arsenik och ett urval av övriga metaller i nederbörd, kronddropp och avrinning. De högsta halterna påträffas som regel i kronddroppet därför att metallerna oftast är associerade med partiklarna i torrdepositionsandelen av nedfallet. Undantag är arsenik på 1990-talet där de högsta halterna noteras i avrinningen. Kadmiumhalterna är relativt lika mellan åren i de olika provtyperna

efter 1989, med undantag för en viss förhöjning i deposition 1995. De övriga metallerna visar generellt låga halter i både bäckvattnet och deposition. Koppar och zink visar en mycket svagt uppåtgående trend i deposition som inte återspeglas i bäckens transporter.



Figur 12: Volymvägda årsmedelvärden av halter i nederbörd på öppet fält och i krondropp samt avrinning av arsenik och metaller vid Holmsvattnet (hydrologiska år).

Trots den kraftiga minskningen av metalldepositionen var utlakningen för metallerna mindre än deras deposition. Inga tydliga trender finns för metalldeposition eller avrinning efter 1992. Kadmium uppvisade högre utlakning än deposition sedan 1997 men denna relation är omvänd under 2002/03. Zinkutlakningen överskred deposition något under 2001/02, men 2002/03 överskred depositionen den låga borttransporten i bäcken. As utlakningen från avrinningsområdet var mycket högre än depositionen till skog (figur 11 och bilaga 1, tabell 5) speciellt under perioden 1997 till 2002. Under 2002/03 uteblev den förhöjda utlakningen från marken.



Figur 13: Haltvariationer (hydrologiska årsmedelvärden) av krom, barium, nickel och kobolt i nederbörd, krondropp och avrinning från Holmsvattenområdet.

Efter 1991 har även andra metaller analyserats (figur 13 samt tabellerna 1-6 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 metallhalterna i nederbörd, krondropp och bäcken vid Holmsvattnet. 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 metaller än andra år under 1990-talet. Kobolt, krom och nickel förekommer, trots minskningen, vid högre koncentrationer än de av Naturvårdsverket (1999, tabell 24) uppskattade bakgrundshalter i rinnande småvatten i norra Sverige under samtliga mätår.

4. Referenser

- Analytica AB. Produktkatalog 2003. Luleå, 2003. s. 90.
- IVL Svenska Miljöinstitutet, 2004. <http://www.ivl.se/miljo/> Datavärdskap för miljödata.
- Hallgren Larsson, E. 2003. Nederbördskemisk undersökning av tungmetaller på Visingsö. Uppdragsrapport åt Vätternvårdsförbundet, IVL Aneboda.
- Knulst, J C. och Westling, O. 2003. Deposition och avrinning av metaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet nära Rönnskärsverken 1986 - 2002. IVL-rapport B 1528.
- 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.
- Länsstyrelsen i Stockholms län. 2003. Nedfall av tungmetaller och kvicksilver. Resultat från mätningarna vid Mjölsta i Stockholms län åren 1993-2001. Rapport 2003:11, Miljö- och Planeringsavdelningen, Stockholm.
- Naturvårdsverket, 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjoar och vattendrag. NV rapport 4913. Naturvårdsverkets Förlag, Stockholm.
- Thanabalasingam, P. och Pickering, W. F. 1986. Arsenic sorption by humic acids. Environmental Pollution (Series B) 12: 233-246.
- 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		'02/03	'01/02	98/01 medel	95/98 medel	92/95 medel	86/89 medel
H ⁺	kg/ha	0,05	0,06	0,13	0,10	0,13	0,18
Ca	kg/ha	0,46	0,77	1,31	1,14	1,22	1,14
Mg	kg/ha	0,20	0,33	0,62	0,64	0,45	0,20
Na	kg/ha	0,80	1,45	1,87	1,62	1,22	0,89
K	kg/ha	0,37	1,44	2,45	2,29	2,28	0,99
SO ₄ -S	kg/ha	1,78	1,74	2,62	2,27	2,93	5,89
Cl	kg/ha	1,51	1,54	2,14	1,67	1,53	1,68
NO ₃ -N	kg/ha	0,84	1,09	1,38	0,95	1,22	1,70
NH ₄ -N	kg/ha	0,87	0,82	0,90	0,76	1,45	2,60
Fe	kg/ha	0,08	0,16	0,10	0,10	0,10	
Mn	kg/ha	0,02	0,03	0,05	0,07	0,03	0,04
Al	kg/ha	0,17	0,08	0,08	0,09	0,08	
As	g/ha	0,91	0,90	0,54	1,30	1,92	10,11
Ba	g/ha	16,82	10,43	28,24	13,72	7,12	
Cd	g/ha	0,22	0,22	0,32	0,19	0,34	1,25
Co	g/ha	0,19	0,23	0,16	0,24	0,31	
Cr	g/ha	0,60	13,06	0,48	1,07	1,59	
Cu	g/ha	10,84	9,88	11,77	11,57	14,51	31,11
Ni	g/ha	1,22	5,70	1,95	2,41	2,63	
Pb	g/ha	19,86	10,65	20,66	16,91	24,55	69,92
Zn	g/ha	98,81	140,04	106,60	57,76	54,79	112,40

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

Hydrologiska år		'02/03	'01/02	98/01 medel	95/98 medel	92/95 medel	86/89 medel
pH		4,96	4,93	4,75	4,70	4,75	4,55
Ca	mg/l	0,14	0,19	0,19	0,23	0,36	0,23
Mg	mg/l	0,06	0,08	0,09	0,11	0,16	0,04
Na	mg/l	0,24	0,35	0,36	0,30	0,37	0,17
K	mg/l	0,37	0,35	0,37	0,40	0,71	0,19
SO ₄ -S	mg/l	0,39	0,34	0,34	0,34	0,48	0,92
Cl	mg/l	0,33	0,30	0,26	0,29	0,28	0,27
NO ₃ -N	mg/l	0,18	0,21	0,18	0,17	0,20	0,27
NH ₄ -N	mg/l	0,19	0,16	0,10	0,12	0,23	0,42
Fe	mg/l	0,02	0,04	2,75	0,02	0,03	
Mn	mg/l	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al	mg/l	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	
As	ug/l	0,27	0,22	0,09	0,20	0,43	1,84
Ba	ug/l	3,70	2,51	4,48	2,82	2,32	
Cd	ug/l	0,06	0,05	0,04	0,05	0,09	0,24
Co	ug/l	0,04	0,06	0,03	0,04	0,09	
Cr	ug/l	0,13	3,14	0,05	0,18	0,45	
Cu	ug/l	3,21	2,37	1,65	2,46	3,05	6,16
Ni	ug/l	0,27	1,37	0,24	0,43	0,79	
Pb	ug/l	5,88	2,56	2,49	3,90	5,40	12,91
Zn	ug/l	29,27	33,67	18,12	10,55	16,87	21,04

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

Hydrologiska år		'02/03	'01/02	98/01 medel	95/98 medel	92/95 medel	86/89 medel
H ⁺	kg/ha	0,06	0,04	0,08	0,09	0,11	0,23
Ca	kg/ha	3,62	3,39	3,41	2,21	2,85	4,10
Mg	kg/ha	1,56	1,29	1,41	0,95	1,19	1,22
Na	kg/ha	1,63	3,26	2,67	2,45	1,71	2,10
K	kg/ha	13,31	16,74	14,70	11,04	9,39	8,89
SO ₄ -S	kg/ha	3,63	2,98	3,91	3,51	4,83	9,19
Cl	kg/ha	4,23	2,98	3,24	2,84	3,43	3,58
NO ₃ -N	kg/ha	0,19	0,32	0,41	0,25	0,41	1,15
NH ₄ -N	kg/ha	0,15	0,34	0,31	0,27	0,42	1,14
Fe	kg/ha	0,29	0,13	0,18	0,14	0,14	
Mn	kg/ha	0,97	0,85	0,78	0,65	0,88	0,87
Al	kg/ha	0,27	0,13	0,19	0,19	0,15	
As	g/ha	3,25	1,94	2,38	2,73	4,55	10,88
Ba	g/ha	35,83	25,69	31,43	18,89	21,66	
Cd	g/ha	0,43	0,25	0,34	0,35	0,32	1,64
Co	g/ha	0,42	0,25	0,34	0,41	0,33	
Cr	g/ha	0,98	0,77	0,95	1,63	1,88	
Cu	g/ha	38,21	19,32	29,06	24,21	30,02	54,84
Ni	g/ha	4,46	3,05	3,83	3,99	3,79	
Pb	g/ha	35,85	15,92	32,14	28,03	34,35	88,97
Zn	g/ha	168,92	104,96	107,19	99,15	96,50	209,46

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

Hydrologiska år		'02/03	'01/02	98/01 medel	95/98 medel	92/95 medel	86/89 medel
pH		4,75	4,92	4,80	4,57	4,63	4,32
Ca	mg/l	1,49	0,92	0,66	0,62	0,78	0,92
Mg	mg/l	0,64	0,41	0,27	0,28	0,33	0,27
Na	mg/l	0,67	0,56	0,52	0,65	0,47	0,50
K	mg/l	5,48	3,20	2,89	3,00	2,57	2,01
SO ₄ -S	mg/l	1,11	0,89	0,72	0,84	1,17	1,98
Cl	mg/l	1,37	0,89	0,60	0,67	0,83	0,82
NO ₃ -N	mg/l	0,06	0,09	0,08	0,06	0,10	0,25
NH ₄ -N	mg/l	0,05	0,10	0,06	0,06	0,10	0,25
Fe	mg/l	0,09	0,04	0,03	0,04	0,04	
Mn	mg/l	0,40	0,25	0,16	0,17	0,24	0,20
Al	mg/l	0,09	0,04	0,05	0,06	0,04	
As	ug/l	1,34	0,58	0,43	0,67	1,06	2,25
Ba	ug/l	11,56	7,64	5,55	5,71	5,53	
Cd	ug/l	0,18	0,07	0,06	0,07	0,11	0,39
Co	ug/l	0,13	0,08	0,05	0,09	0,13	
Cr	ug/l	0,32	0,23	0,12	0,45	0,51	
Cu	ug/l	15,73	5,75	4,95	7,30	7,46	12,74
Ni	ug/l	1,44	0,91	1,45	0,97	1,11	
Pb	ug/l	14,75	4,74	5,63	7,59	8,92	19,68
Zn	ug/l	69,50	31,24	21,32	29,51	28,49	48,50

Tabell 5: Transporterade mängder i avrinningen vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		'02/03	'01/02	98/01 medel	95/98 medel	92/95 medel	86/89 medel
Avrin	mm	128	437	461	366	327	397
H ⁺	kg/ha	0,001	0,004	0,020	0,010	0,010	0,010
Ca	kg/ha	4,76	7,74	9,66	9,67	7,74	10,75
Mg	kg/ha	1,68	3,30	4,20	4,23	3,42	4,67
Na	kg/ha	3,44	6,26	7,48	6,84	5,51	7,00
K	kg/ha	1,13	1,72	2,50	2,45	1,82	2,59
SO ₄ -S	kg/ha	3,59	6,02	8,14	9,32	7,41	11,28
Cl	kg/ha	1,98	3,20	3,67	3,76	3,33	3,26
NO ₃ -N	kg/ha	0,10	0,22	0,24	0,09	0,20	0,19
NH ₄ -N	kg/ha	0,03	0,06	0,05	0,04	0,15	0,07
Fe	kg/ha	0,97	2,63	3,70	2,91	2,07	2,58
Mn	kg/ha	0,04	0,07	0,09	0,09	0,07	0,39
Al	kg/ha	0,28	1,16	2,20	1,81	1,41	2,26
As	g/ha	2,10	7,50	12,30	9,82	8,80	5,46
Ba	g/ha	17,08	42,12	100,25	111,23	142,88	
Cd	g/ha	0,06	0,20	0,37	0,38	0,32	0,61
Co	g/ha	0,86	2,74	5,15	6,66	7,57	
Cr	g/ha	1,08	37,98	6,75	7,92	8,30	
Cu	g/ha	2,94	6,48	11,00	9,32	8,45	14,92
Ni	g/ha	3,35	20,17	22,98	25,73	32,37	
Pb	g/ha	1,36	3,09	5,94	4,69	3,57	9,30
Zn	g/ha	8,99	164,31	44,08	43,47	37,42	107,41

Tabell 6: Volymvägda medelhalter i avrinningen vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		'02/03	'01/02	98/01 medel	95/98 medel	92/95 medel	86/89 medel
pH		6,36	6,01	5,82	6,00	5,99	6,00
Ca	mg/l	3,72	1,77	2,11	2,81	2,36	2,73
Mg	mg/l	1,32	0,75	0,91	1,22	1,04	1,19
Na	mg/l	2,69	1,43	1,63	1,98	1,67	1,81
K	mg/l	0,88	0,39	0,53	0,67	0,55	0,67
SO ₄ -S	mg/l	2,81	1,38	1,77	2,67	2,25	2,87
Cl	mg/l	1,55	0,73	0,79	1,11	1,01	0,86
NO ₃ -N	mg/l	0,08	0,05	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	0,76	0,60	0,77	0,81	0,63	0,65
Mn	mg/l	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,09
Al	mg/l	0,22	0,26	0,48	0,45	0,43	0,57
As	ug/l	1,64	1,72	2,64	2,49	2,68	1,34
Ba	ug/l	13,34	9,64	22,24	40,41	43,43	
Cd	ug/l	0,05	0,05	0,08	0,09	0,10	0,15
Co	ug/l	0,67	0,63	1,11	2,41	2,30	
Cr	ug/l	0,84	8,69	1,45	2,59	2,53	
Cu	ug/l	2,30	1,48	2,40	2,34	2,57	3,69
Ni	ug/l	2,62	4,62	5,04	9,05	9,85	
Pb	ug/l	1,06	0,71	1,27	1,11	1,09	2,38
Zn	ug/l	7,02	37,60	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	2002/03	2001/02	99/00	98-01 medel 3 år	95-98 medel 3 år	92-95 medel 3 år	86-89 medel 3 år
Nederbörd	455	513	814	761	550	624	635
Krondropp	310	336	528	512	403	431	461
Avrinning	128	437	463	442	366	327	397
Nedb/avrin kvot	3,6	1,2	1,8	1,7	1,5	1,9	1,6