



rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Deposition och avrinning av
tungmetaller, svavel och kväve vid
Holmsvattnet nära Rönnskårsverken
under 1998 och 1999

Olle Westling
B 1370
Aneboda, maj 2000

Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary
Adress/address Aneboda 360 30 Lammhult	Projekttitel/Project title
Telefonnr/Telephone 0472-26 20 75	Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor Boliden Mineral AB
Rapportförfattare/author Olle Westling	
Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Deposition och avrinning av tungmetaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet nära Rönnskårsverken under 1998 och 1999.	
Sammanfattning/Summary <p>Depositionen av svavel i äldre granskog vid Holmsvattnet, 17 km SSV smältverket vid Rönnskär, har minskat kraftigt till 1998 och 1999, jämfört med perioden 1986 till 1989. Undersökningarna vid Holmsvattnet visar att den minskning av tungmetalldepositionen som noterades mellan 1989 och början av 1990-talet har stabiliserats på en ny och lägre nivå. Depositionen på öppet fält har minskat med 90 %, 77 %, 53%, 65 % och 43 % för arsenik (As) respektive tungmetallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn) mellan 1980-talet samt 1998 och 1999. Krondroppsmätningarna i skog, som även inkluderar torrdeposition utöver nederbördens bidrag, indikerar också en kraftig minskning i samma storleksordning som i nederbörden.</p> <p>Den höga avrinningen under 1998 medförde även att både utlakning och halter av samtliga tungmetaller och arsenik var högre än andra år under 1990-talet. Medelhalterna i avrinningen, av Cd, Cu, Pb och Zn har minskat med 46 %, 26 %, 47 % respektive 61 % under 1998 och 1999, jämfört med 1986 till 1989. Arealförlusterna, och medelhalterna, av arsenik var högre under 1998 och 1999 jämfört med perioden 1986 till 1989, trots en kraftigt minskad deposition under senare år. Orsaken till ökningen kan inte säkert förklaras med utförda undersökningar. Halterna av metaller i bäcken kan under 1990-talet klassas som något förhöjda men låga. Risken för direkta biologiska effekter av uppmätta halter i vatten under 1998 och 1999 bedöms som liten.</p> <p>Den minskande belastningen i Holmsvattnetområdet av svavel är sannolikt ett resultat av en minskad regional bakgrundsbelastning i första hand, men lägre svavelutsläpp från Rönnskårsverken kan även ha bidragit. Depositionsminskningen av tungmetaller och arsenik i området är sannolikt orsakad av utsläppsminskningar vid Rönnskårsverken i första hand, men det har även skett en viss minskning av den regionala bakgrundsbelastningen.</p>	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords Deposition, ytvatten, tungmetaller, svavel, kväve, smältverk, norra Sverige	
Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport/report B 1370	
Beställningsadress för rapporten/Ordering address IVL, Publikationsservice, Box 21060, S-100 31 Stockholm fax: 08-598 563 90, e-mail: publicationservice@ivl.se	

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	3
Summary.....	5
1. Inledning	5
2. Metoder.....	5
2.1 Deposition.....	5
2.2 Avrinningsvatten.....	6
2.3 Hydrologi.....	6
2.4 Analysmetoder.....	7
2.5 Kontamineringsrisker.....	7
3. Resultat av undersökningarna under 1998 och1999, samt en jämförelse med tidigare förhållanden	7
3.1 Deposition.....	7
3.2 Avrinning.....	10
3.3 Jämförelse mellan deposition och avrinning	14
4. Referenser	16
Bilaga 1 Årlig deposition, avrinning och medelhalt	17
Bilaga 2. Sammanfattning av undersökningarna under perioden 1986-1989	21

Sammanfattning

IVL utför undersökningar av deposition och avrinning av svavel, kväve samt tungmetaller i ett skogsområde vid Holmsvattnet, 17 km SSV smältverket vid Rönnskär, på uppdrag av Boliden Mineral AB. Syftet är att kvantifiera depositionens storlek, samt beskriva eventuella förändringar i det avrinnande vattnets kvalitet med tiden. Undersökningarna under 1998 och 1999 kan jämföras med mätningar under 1986 till 1989 samt 1991 till 1997 i samma område.

Depositionen av svavel i äldre granskog vid Holmsvattnet har minskat kraftigt till 1998 och 1999, jämfört med perioden 1986 till 1989. Under 1990-talet kan mätningarna jämföras med andra skogsytor i norra Sverige. Även dessa skogsytor uppvisar minskningar av svaveldepositionen med tiden.

Undersökningarna vid Holmsvattnet visar att den minskning av tungmetalldepositionen som noterades mellan 1989 och början av 1990-talet har stabiliserats på en ny och lägre nivå. Depositionen på öppet fält har minskat med 90 %, 77 %, 53%, 65 % och 43 % för arsenik (As) respektive tungmetallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn) mellan 1980-talet samt 1998 och 1999. Krondroppsmätningarna i skog, som även inkluderar torrdeposition utöver nederbördens bidrag, indikerar också en kraftig minskning i samma storleksordning som i nederbörden.

Depositionen på öppet fält kan jämföras med det nationella nätet för övervakning av tungmetaller i nederbörd på fyra platser i landet. Depositionen i området vid Holmsvattnet under 1990-talet var sannolikt något förhöjd, jämfört med övriga Norrlandskusten, men i nivå med södra och mellersta Sverige.

Det genomsnittliga pH-värdet i avrinnande vatten från skogsområdet vid Holmsvattnet har ökat under 1990-talet, vilket sannolikt beror på det minskade depositionen av försurande luftföroreningar. Under 1998 minskade pH-värdet åter, främst på grund av hög avrinning. Den höga avrinningen under 1998 medförde även att både utlakning och halter av samtliga tungmetaller och arsenik var högre än andra år under 1990-talet. Medelhalterna i avrinningen, av Cd, Cu, Pb och Zn har minskat med 46 %, 26 %, 47 % respektive 61 % under 1998 och 1999, jämfört med 1986 till 1989. Minskningen av tungmetallhalterna i avrinning är sannolikt en kombination av minskad deposition, samt pH-ökningar i skogsmarken i tillrinningsområdet. Arealförlusterna, och medelhalterna, av arsenik var högre under 1998 och 1999 jämfört med perioden 1986 till 1989, trots en kraftigt minskad deposition under senare år. Orsaken till ökningen kan inte säkert förklaras med utförda undersökningar. Halterna av metaller i bäcken kan under 1990-talet klassas som något förhöjda men låga. Risker för direkta biologiska effekter av uppmätta halter i vatten bedöms som liten.

Den minskande belastningen i området av svavel är sannolikt ett resultat av en minskad regional bakgrundsbelastning i första hand, 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 det har även skett en viss minskning av den regionala bakgrundsbelastningen.

Summary

The study is based on monitoring of atmospheric deposition of sulphur, nitrogen and heavy metals 17 km SSV a smelter in Rönnskär in the North part of Sweden. The monitoring during the period 1986 and 1999 showed decreasing deposition of sulphur to open field and forest (Norway spruce). The deposition of heavy metals to open field decreased with 90 % (As), 77 % (Cd), 53% (Cu), 65 % (Pb) and 43 % (Zn) between 1986 and 1999. The spruce forest showed in general similar reductions.

Acidity of the runoff from a forested catchment (240 hectare) in the area decreased during the studied period, except for some years with high precipitation, probably due to reduced deposition of acidifying air pollutants. The annual volume weighted concentrations of heavy metals in the small stream decreased with 46 % (Cd), 26% (Cu), 47 % (Pb) and 61 % (Zn) between 1986 and 1999. The concentrations in 1999 were relatively low and the risks of effects on aquatic biota, caused by heavy metals, were low compared to the situation during 1986 to 1989.

The decrease of heavy metals in deposition and stream water was caused by reductions of emissions from the smelter. Reduced regional deposition, caused by long range transport of air pollutants, contributed also to the decrease, especially for sulphur.

1. Inledning

IVL utför undersökningar av deposition och avrinning av svavel, kväve samt tungmetaller i ett skogsområde nära smältverket vid Rönnskär, på uppdrag av Boliden Mineral AB. Syftet är att kvantifiera depositionens storlek, samt beskriva eventuella förändringar i det avrinnande vattnets kvalitet med tiden. Denna rapport beskriver undersökningarna under 1998 och 1999, med jämförelser med tidigare resultat. IVL har tidigare rapporterat resultat från åren 1991 till 1997 (Westling 1998). IVL studerade 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 nuvarande utsläppen värderades i förhållande till tidigare tungmetalldeposition under 1900-talet (Westling och Larsson 1991). En sammanfattning av undersökningarna sammanfattas i bilaga 2.

Undersökningarna utförs i ett 240 ha stort avrinningsområde, 17 km SSV Rönnskärsverket, söder om sjön Holmsvattnet. 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 svallsandparti (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 har en humuspodsol.

Skogsbestånden domineras av frisk barrskog med inslag av hållmarkstallskog, frisk lövskog (björk, asp) samt fuktig till våt barr- och lövskog. I nordslutningen i den norra delen av området finns ett stort bestånd av äldre granskog. På de flacka partierna domineras en relativt ung och 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. Ansvarig för undersökningen var Olle Westling. Undersökningens grunddata har sammanställts av Johan Knulst.

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. Alla depositionsinsamlare var dubblerade för att skilja på insamling för analys av tungmetaller från analys av övriga parametrar. Under sommarhalvåret utnyttjades totalt 10 trattar (Ø 155 mm) för insamling av krondropp. Trattarna var monterade på 2 liters dunkar mörklagda med aluminiumfolie. Dunk och tratt var placerade på en stolpe ca 50 cm ovanför marken. Insamlarna sattes ut slumpmässigt i ytan. Under vinterhalvåret ersattes trattarna

med 5 liters plasthinkar (\varnothing 214 mm) monterade på stolpar för insamling av krondropp i form av snö.

På öppet fält provtogs nederbörd med hjälp av en tratt med en diameter på 203 mm. Vintertid utnyttjades en snösäck med en öppningsdiameter på 195 mm. Samtliga insamlare tömdes en gång per månad. Tio krondropsinsamlare sammanhölls i fält, eller efter upptining, och ett delprov uttogs för analys av makrokonstituenten.

Insamling av nederbörd för tungmetallanalys skedde med en likartad utrustning som för krondroppsmätningarna. De exponerade dunkarna/hinkarna med prov för tungmetallanalys skickades med allt insamlat vatten till IVLs laboratorium i Aneboda. Proverna fixerades med koncentrerad HNO_3 (suprapur) och lagrades i två veckor så att eventuella tungmetaller på kärnväggarna frigjordes. Krondropsinsamlarna (10 stycken) sammanhölls och ett delprov uttogs. Analys utfördes på kvartalsprov, där tre månadsprover sammanfördes volymvägt.

Parametrar som analyserades var pH, Ca, Mg, Na, K, $\text{SO}_4\text{-S}$, Cl, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, Fe, Mn, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, och Zn. Analys av makrokonstituenten 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 stoppades 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. Årsdepositionen beräknades för hydrologiska år, oktober till och med september.

2.2 Avrinningsvatten

Avrinningsvatten provtogs en gång per månad i bäcken som avvattnar det 240 hektar stora avrinningsområdet. Prover för analys av tungmetaller fixerades i fält (suprapur HNO_3). Analyserade parametrar var pH, vattenfärg, Ca, Mg, Na, K, $\text{SO}_4\text{-S}$, Cl, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, Fe, Mn, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb och Zn.

2.3 Hydrologi

En hydrologisk mätdamm uppfördes hösten 1986 i utflödet från avrinningsområdet. Vattnståndet i mätdammen har tidigare avlästs manuellt i samband med provtagning. Dammen har inte fungerat efter 1991, vilket har gjort att hydrologisk statistik från SMHI har inhämtats från ett näraliggande vattendrag (Sävarån) vid beräkningen av månatliga vattentransporter ut från avrinningsområdet vid Holmsvattnet. I denna rapport har data från Sävarån (avrinning per månad och ha) använts för hela perioden 1986 till 1997 för att kunna jämföra olika tidsperioder. Nederbördsmängderna som redovisas i studien är hämtade från depositionsmätningarna på öppet fält. Alla årsdata avser hydrologiska år (oktober till september).

2.4 Analyismetoder

Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb och Zn analyserades med plasma MS på SGAB i Luleå. Övriga analyser utfördes vid IVL i Aneboda och Göteborg. SO₄-S, Cl och NO₃-N analyserades med jonkromatograf. NH₄-N analyserades med FIA. pH mättes med elektrod. Samtliga analyser utfördes av ackrediterade laboratorier.

2.5 Kontamineringsrisker

Speciell hänsyn togs till kontamineringsrisker i samband med låga halter av tungmetaller. Material i kontakt med provvatten var utfört av polyeten. Diskrutinerna för nytt material följde schemat sköljning med alkohol, lakning i 4 M 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 laksyra analyserades kontinuerligt.

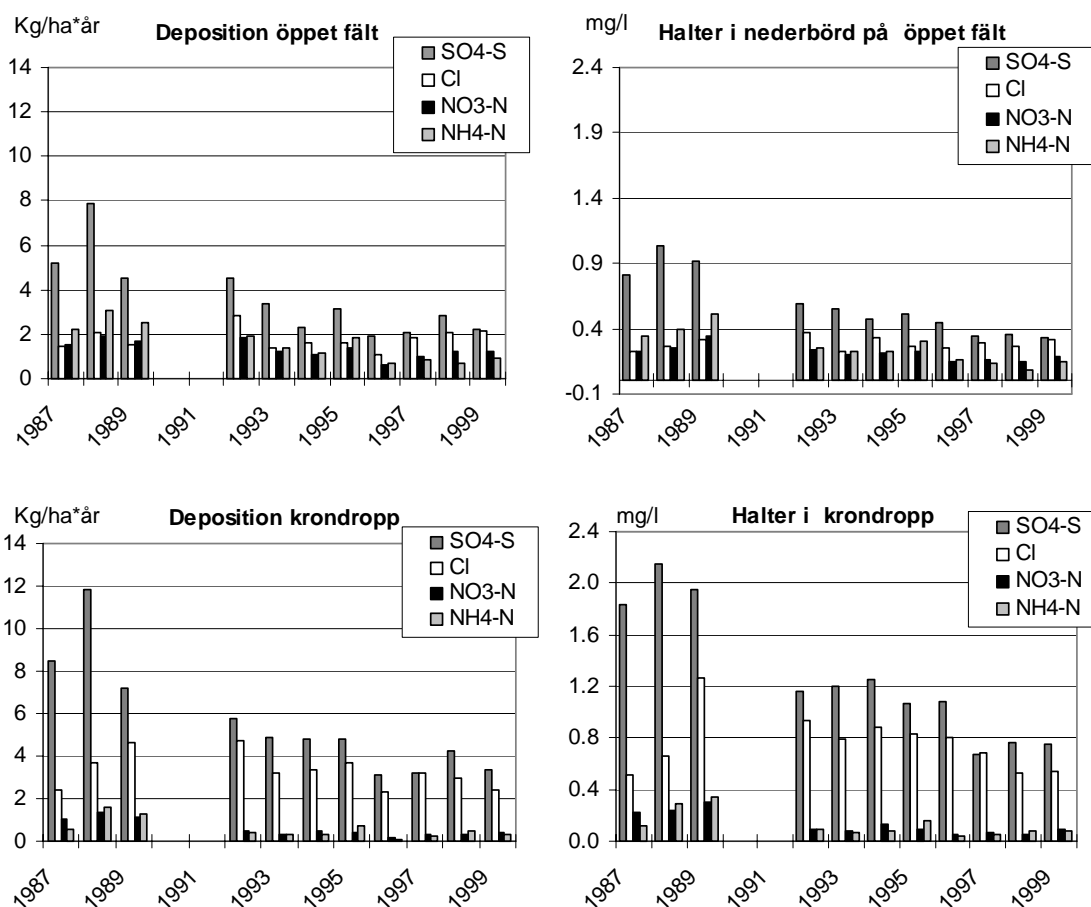
3. Resultat av undersökningarna under 1998 och 1999, samt en jämförelse med tidigare förhållanden

Alla årsvärden (hydrologiska år, oktober till september) från undersökningarna av nederbörd, krondropp och avrinning redovisas både som deposition och som volymvägda medelkoncentrationer i bilaga 1 (tabell 1-6). Det senare uttryckssättet är värdefullt vid jämförelser mellan år, i synnerhet för nederbörd och avrinning. Nederbörd och avrinning under de undersökta åren redovisas i figur 4 (avsnitt 3.2) och tabell 7 i bilaga 1.

3.1 Deposition

Deposition och halter av svavel har minskat kraftigt, cirka 60 % fram till 1999, i både nederbörd och krondropp sedan mätningarna startade hösten 1986 (figur 1). Motsvarande förändringar finns registrerade i hela norra Sverige genom den regionala miljöövervakningen av luftföroreningar, där även skogsytan vid Holmsvattnet ingår (Hallgren Larsson, 2000). Skillnaden mellan nederbörd och krondropp utgörs av torrdeposition som träden bidrar till. Under perioden 1986 till 1989 var den torra andelen i skog ungefär 50 % jämfört med nederbördens bidrag på öppet fält. Trots att torrdeposition av svavel varit mycket lägre under de senaste åren var andelen fortfarande cirka 50 % jämfört med nederbörden. Depositionen av svavel var högre 1998 än 1999 beroende på rikligare nederbörd 1998. Halterna var dock mycket lika de båda åren.

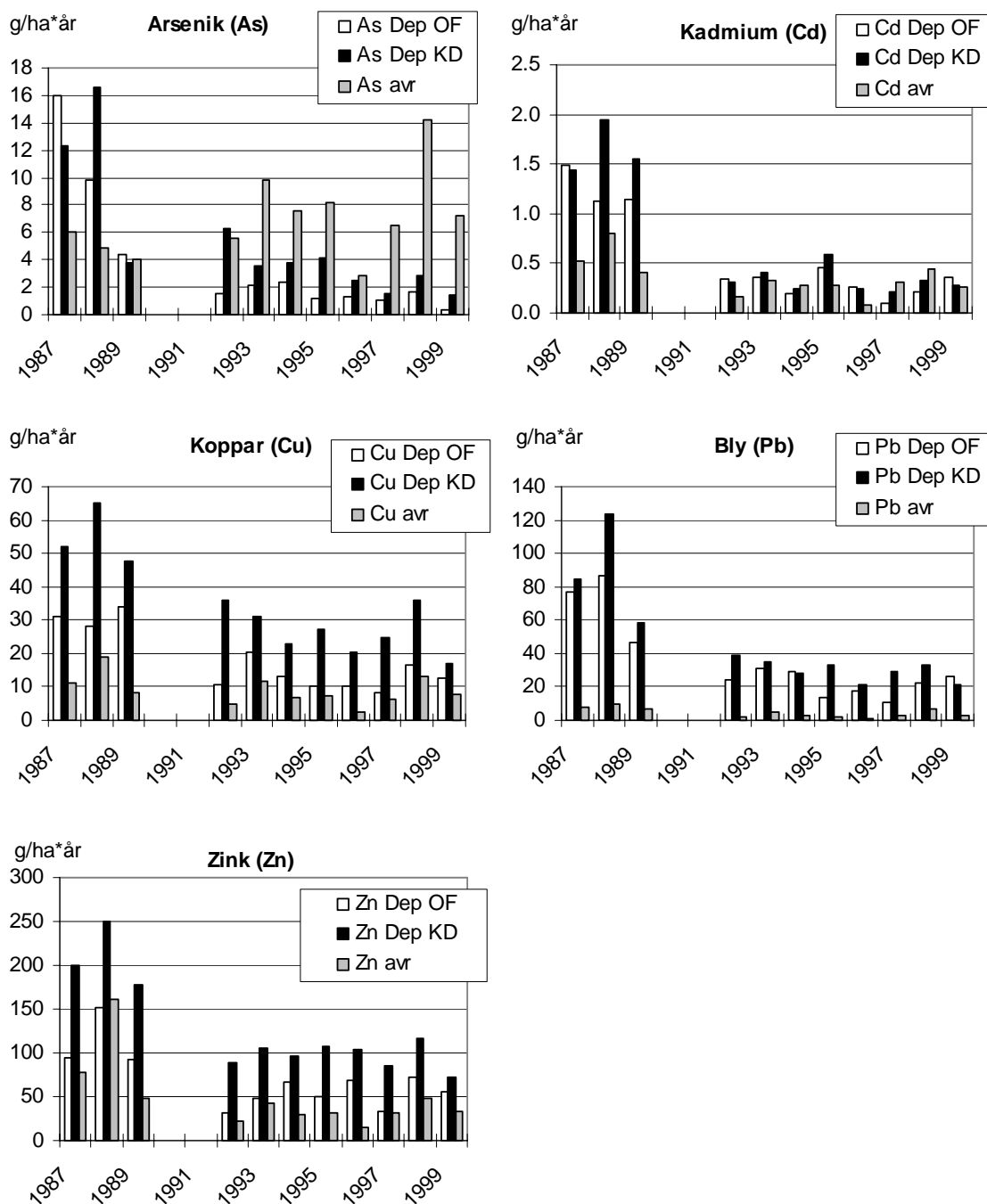
En viss minskning av deposition och halter av kväve (NO₃-N och NH₄-N) i nederbörd har noterats under hela perioden 1986 till 1999 (figur 1). Kvävehalterna i krondropp har varit låga (lägre än i nederbörd) under 1998 och 1999, vilket indikerar omfattande upptag eller omvandling av oorganiskt kväve i trädkronorna. 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 från barren som sedan återfinns i krondroppet. 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 (se bilaga 1, tabell 3).



Figur 1. Deposition och volymvägda halter (hydrologiska år) av svavel, klorid och kväve på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattenet.

Övriga makrokonstituenterna i nederbörd uppvisade relativt små skillnader mellan 1998 och 1999 utöver effekten av den högre nederbörden 1998. Tidigare år var depositionen av kalcium (Ca) låg i området, i synnerhet under 1992. Depositionen av magnesium (Mg), natrium (Na) och kalium (K) var vissa år under 1990-talet betydligt högre än under 1980-talet (se bilaga 1, tabell 1).

Figur 2 visar depositionen av arsenik och ett urval tungmetaller i nederbörd, krondropp samt som jämförelse avrinning (avrinning diskuteras vidare i avsnitt 3.2). 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 1998-1999 för arsenik (As), kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn). Minskningen av koppar och zink i depositionen var något mindre, jämfört med andra tungmetaller. 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. 1999 avvek från 1998, och flera andra år på 1990-talet, genom låga halter av arsenik i både nederbörd och krondropp. Kadmium och bly uppvisade något högre halter i nederbörd under 1999 än åren närmast före. Depositionen av arsenik i form av nederbörd och krondropp var jämförelsevis låg under 1999.



Figur 2. Deposition (Dep) på öppet fält (OF) och i form av kron dropp (KD) samt avrinning (avr) av arsenik och tungmetaller vid Holmsvattenet (hydrologiska år).

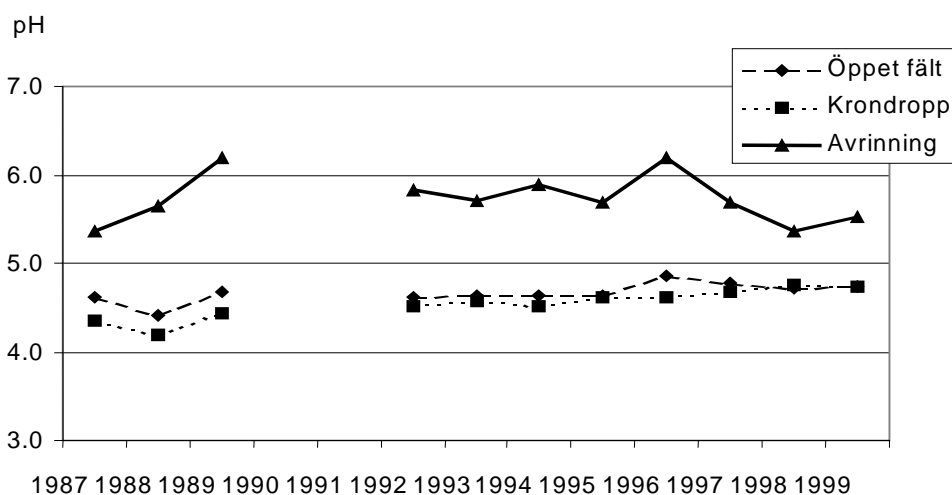
Ovanstående förändringar i nederbörden mellan 1986-1989 och 1998-1999 framgår även av bilaga 1, tabell 2, som redovisar volymvägda medelkoncentrationer i nederbörd på öppet fält. Dessa koncentrationer kompenserar i viss mån för nederbördsskillnader mellan åren (bilaga1, tabell 7), vilket underlättar jämförelser. Under de senaste åren i undersökningen har halterna av arsenik, kadmium, koppars, bly och zink varit på samma nivå som bakgrundsstationer i södra och mellersta Sverige, men högre än den enda norrländska

stationen Bredkålen (resultat från det nationella nederbörds-kemiska nätet). Denna inlandsstation har dock troligen en lägre bakgrundsbelastning än Norrlandskusten.

Den minskande belastningen i Holmsvattnetområdet 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 kan det ha skett en viss minskning av den regionala bakgrundsbelastningen.

3.2 Avrinning

Utlakningen av olika ämnen till bäcken uppvisar vissa skillnader mellan de hydrologiska åren på 1990-talet och åren 1986-1989 (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 har reagerat på den minskade syrabelastningen från luften. Detta kan även ses i volymvägda medelkoncentrationer under 1998 och 1999 (bilaga 1, tabell 6), som anger ett värde som är kompenserat för olika avrinningsmängd. Utlakningen av sulfat har minskat, även om minskningen ännu så länge är mindre än i depositionen. Detta får till följd att flera andra ämnen minskar samtidigt, främst kalcium och mangan. Bäckens genomsnittliga pH ökade under början på 1990-talet (figur 3), vilket sannolikt beror på den minskade depositionen av försurande luftföroreningar. Under 1998 minskade pH-värdet igen, samtidigt som aluminiumhalterna ökade till samma nivå som på 1980-talet. Den rikliga nederbörden och den höga avrinningen resulterade sannolikt i en förhållandevis omfattande vattentransport i ytliga marklager som är surare på grund av både organiska ämnen och tidigare nedfall av sura luftföroreningar. Både nederbörd och krondropp har uppvisat stigande pH-värden under 1990-talet (figur 3).

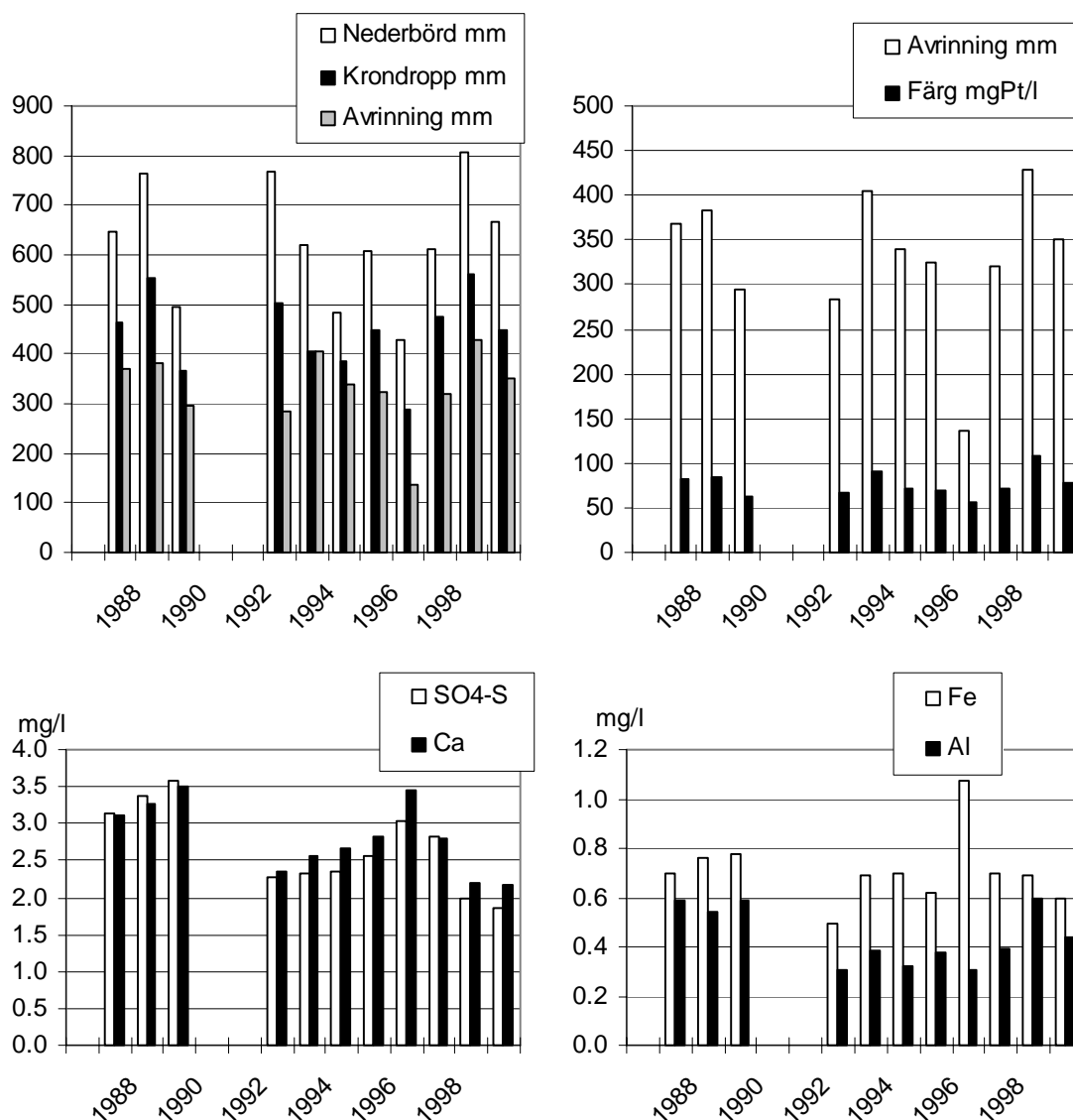


Figur 3. pH i avrinning samt i nederbörd och i krondropp vid Holmsvattenet under perioden 1987 till 1999.

Den höga vattenfärgen 1998 indikerar att större mängder organiskt material utlakades till ytvatten än normalt. Under 1999, med mer normal avrinning, minskade bäckvattnets surhetsgrad igen och vattenfärgen återgick till en mer genomsnittlig nivå.

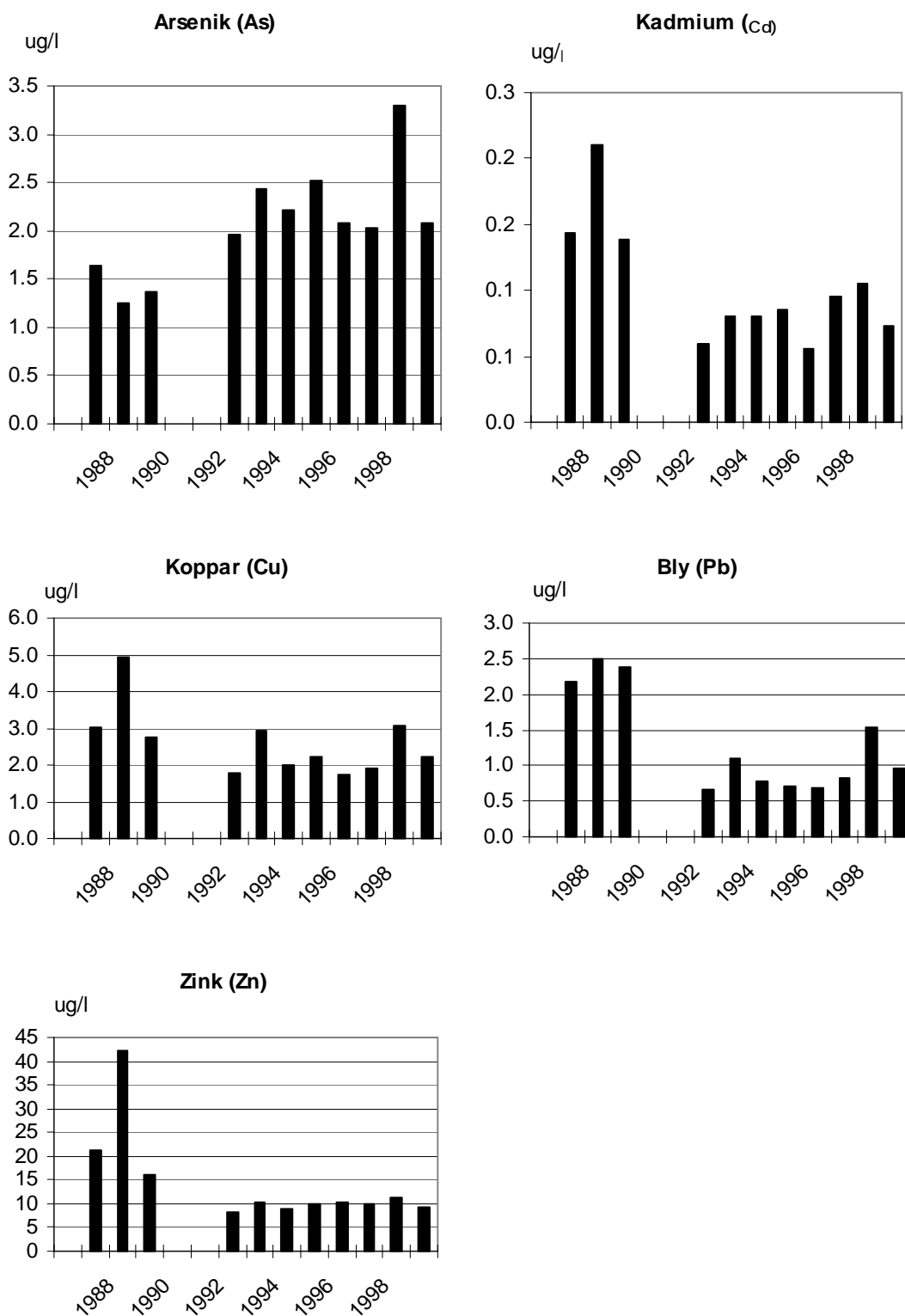
Figur 4 visar hydrologiska förhållanden vid Holmsvattenet som kan påverka halter och utlakning av olika ämnen. Nederbörd och avrinning har en betydande mellanårsvariation. Avrinningens storlek påverkar humusmängden i vattnet (här uppmätt som färg), som i sin tur påverkar halterna av andra ämnen, inte minst tungmetaller som i stor utsträckning är bundna till organiskt material. Den högsta nederbörden och avrinningen under alla undersökta år noterades 1998. 1999 var ett relativt genomsnittligt år.

Figur 4 visar att det inte är någon påtaglig skillnad i vattenfärg under olika perioder. Figuren visar även det nära sambandet mellan halterna i avrinningen av sulfat och kalcium, samt att halterna av aluminium minskat under senare år samtidigt som järnhalten inte förändrats. 1998 utgör ett undantag med högre halter än övriga år under 1990-talet. De höga halterna av järn 1996 orsakades av mycket låg avrinning och sannolikt lågt grundvattenstånd som ledde till utflöde och låg utspädning av järnmängderna.



Figur 4. Nederbörd, kronddropp och avrinning, samt vattenfärg och halter (volymvägda årsmedelvärden) av ett urval parametrar i avrinning vid Holmsvattenet.

Utlakningen, och de volymvägda medelkoncentrationerna, av kadmium, koppar, bly och zink har minskat 1998 till 1999, jämfört med 1986 till 1989. Minskningen mellan perioderna (utlakning) var 39 % för Cd, 18 % för Cu, 39 % för Pb och 58 % för Zn. Huvuddelen av minskningen skedde i skarven mellan de olika undersökningsperioderna (figur 5).



Figur 5. Volymvägda årsmedelhalter av arsenik och tungmetaller i avrinning vid Holmsvattnet.

Den minskade utlakningen av kadmium och zink i avrinningen jämfört med tidigare, är sannolikt en kombination av minskad deposition av de båda tungmetallerna, samt minskad surhet i mark och vatten. Minskningen av bly- och kopparutlakningen är troligen en orsak av depositionsminskningen i första hand, eftersom rörligheten 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 1996 med låg avrinning och 1998 med hög avrinning. 1998 var halterna av tungmetaller betydligt högre än 1995 och för koppar även högre än flera år på 1980-talet. År med hög avrinning sker en stor del av vattentransporten i ytliga marklager med de högsta halterna av upplagrade tungmetaller. Uttransporten av organiskt material för med sig även tungmetaller, i synnerhet metaller som koppar och bly med stark bindning till organiska ämnen.

Utlakningen av arsenik, och de volymvägda medelkoncentrationerna, var högre under 1998 och 1999, liksom perioden 1991 och 1997, jämfört med perioden 1986 till 1989. Ökningen trots en minskat deposition under senare år kan inte säkert förklaras, men bytet av analysmetod mellan kan inte helt uteslutas som en påverkande faktor. För de flesta metallerna är överensstämmelsen normalt god mellan ICP-MS och AAS, och detta verkar vara fallet även i nederbördsproverna där lägre halter är förväntade under 1990-talet, jämfört med tidigare. Bäckvatten innehåller stora mängder humusämnen som eventuellt kan påverka förekomstformen av arsenik på ett sådant sätt att det ger utslag i olika analysmetoder.

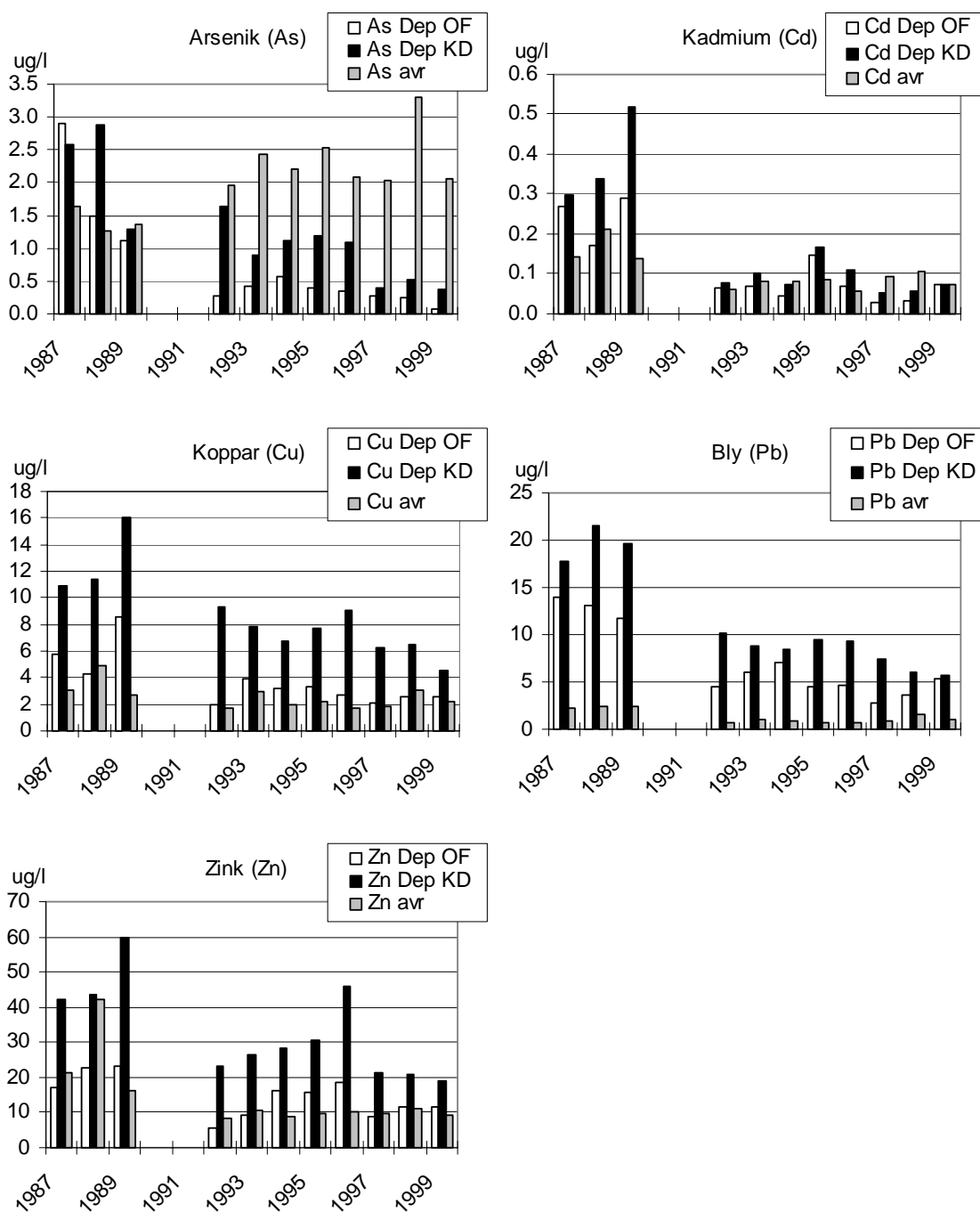
Arsenik i naturvatten förekommer främst som arsenat, som är en anjon vilken i strukturen liknar fosfat. Rörligheten och komplexbindningen av denna form av arsenik beror på flera faktorer som pH, samt halter av humus, kalcium, järn och aluminium (Landner 1998). Låga pH-värden ger starka komplex mellan arsenat och humus, som kan öka rörligheten i humösa vatten. I bäcken vid Holmsvattenet har pH ökat något, vilket talar för att rörligheten av arsenat borde minska. 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.

Trots att halterna av tungmetaller minskat i bäckvattnet under 1990-talet var utlakningen av arsenik, kadmium, och bly något högre än de sannolika bakgrundsvärdena i kustnära områden i norra Sverige. Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag visar att halterna under 1998 och 1999 av flertalet tungmetaller samt arsenik i bäcken vid Holmsvattenet (volymvägda medelvärden) placeras i klass 2, låga halter. Undantag var koppar och bly under det nederbördsrika 1998 med halter något över gränsen mellan klass 2 och 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 metallhalter 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".

3.3 Jämförelse mellan deposition och avrinning

Figur 6 visar tidsutvecklingen för volymvägda halter av arsenik och ett urval tungmetaller i nederbörd, krondropp och avrinning. De högsta halterna påträffas som regel i krondroppet. Undantag är arsenik på 1990-talet där de högsta halterna noteras i avrinningen. Kadmiumhalterna är relativt lika i de olika provtyperna efter 1989.



Figur 6 Volymvägda årsmedelvärden i deposition (Dep) på öppet fält (OF) och i form av krondropp (KD) samt avrinning (avr) av arsenik och tungmetaller vid Holmsvattenet (hydrologiska år).

Trots den kraftiga minskningen av depositionen av tungmetaller var utlakningen fortfarande lägre än depositionen 1998 och 1999 för tungmetallerna koppar, bly och zink. Kadmium uppvisade högre utlakning än deposition under 1997 och 1998. Utlakningen från avrinningsområdet av arsenik var mycket högre än depositionen till skog (se figur 6 och bilaga 1, tabell 5) under 1998 och 1999.

Den procentuella skillnaden mellan de båda undersökningsperioderna, 1986-1989 samt 1998-1999, framgår av tabell 1. Skillnaderna i flöden (deposition och arealförluster) är i de flesta fall stora. Depositionen av arsenik och tungmetaller till skog har minskat mellan 53 och 82 %. Depositionsminskningen på öppet fält är något större för arsenik jämfört med skog. Depositionens syrabidrag har minskat påtagligt, mätt som vätejoner och sulfatsvavel. Till detta kommer en viss minskning av nitrat- och ammoniumkvävet försurningsbidrag. Depositionsminskningarna är ett resultat av minskade utsläpp från Rönnskärsverken kombinerat med en generell minskning av bakgrundsbelastningen i hela Sverige.

Avrinnande vatten uppvisar minskade arealförluster av tungmetaller (18-58 %) samt vätejoner och sulfatsvavel mellan 1998 och 1999 jämfört med 1980-talet, trots att 1998 var ett hydrologiskt avvikande år. Undantag är som tidigare diskuterats arsenik som uppvisar en ökning, om analysmetoderna under de båda perioderna är jämförbara.

Tabell 1. Procentuella förändringar mellan perioderna 1986-1989 samt 1998-1999. Positiva värden innebär en minskning, negativa en ökning.

	H ⁺ %	SO ₄ -S	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Nederbörd, deposition	27	57	90	77	53	65	43
Krondropp, deposition	62	58	80	82	51	69	55
Avrinning, arealförluster	-63	35	-116	39	18	39	58
Avrinning volymvägda halter	-50	43	-89	46	26	47	61

Efter 1991 har även andra tungmetaller analyserats (se bilaga 1, tabell 5), barium (Ba), kobolt (Co), krom (Cr) och nickel (Ni). Dessa metaller inte är direkt kopplade till utsläpp från Rönnskärsverken och de kan visa på en variation i bakgrundsbelastningen både med avseende på deposition och avrinning. Även här utmärker sig 1998 med något högre halter i nederbörd, krondropp och avrinning än andra år under 1990-talet.

4. Referenser

- Hallgren Larsson E. (red.) 2000. Övervakning av luftföroreningar i norra Sverige - resultat till och med september 1999. IVL-rapport (i tryck).
- Landner L. 1998. Arsenic in the aquatic environment-speciation and biological effects. KEMI Report No 2/98.
- Westling, O. 1998. Deposition och avrinning av tungmetaller, svavel och kväve vid Holmsvattenet 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 B 1028.

Bilaga 1 Årlig deposition, avrinning och medelhalt

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

Hydrologiska år		86/87	87/88	88/89	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
H	kg/ha	0.16	0.29	0.10	0.19	0.14	0.11	0.14	0.06	0.10	0.15	0.12
Ca	kg/ha	1.03	0.95	1.44	0.15	0.87	2.15	0.63	1.32	1.07	1.04	1.12
Mg	kg/ha	0.12	0.23	0.25	0.27	0.31	0.82	0.23	0.81	0.62	0.49	0.44
Na	kg/ha	0.91	1.03	0.74	1.90	0.91	1.73	1.02	1.34	1.12	2.40	1.06
K	kg/ha	0.72	1.37	0.89	1.08	1.27	4.65	0.93	2.62	1.45	2.80	1.84
SO ₄ -S	kg/ha	5.24	7.89	4.53	4.50	3.40	2.30	3.10	1.90	2.09	2.83	2.23
Cl	kg/ha	1.42	2.06	1.55	2.80	1.40	1.60	1.60	1.10	1.82	2.08	2.11
NO ₃ -N	kg/ha	1.49	1.91	1.69	1.80	1.23	1.04	1.38	0.62	1.02	1.20	1.21
NH ₄ -N	kg/ha	2.24	3.04	2.51	1.94	1.41	1.11	1.83	0.70	0.86	0.71	0.95
Fe	kg/ha				0.07	0.09	0.12	0.10	0.09	0.09	0.11	0.11
Mn	kg/ha	0.02	0.03	0.07	0.01	0.02	0.05	0.03	0.09	0.08	0.05	0.02
Al	kg/ha				0.08	0.07	0.10	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09
As	g/ha	16.01	9.88	4.44	1.51	2.18	2.36	1.21	1.24	1.03	1.61	0.39
Ba	g/ha				7.84	9.30	6.67	5.39	13.43	9.85	17.87	14.75
Cd	g/ha	1.49	1.13	1.15	0.34	0.35	0.19	0.46	0.26	0.10	0.21	0.37
Co	g/ha				0.27	0.22	0.17	0.56	0.20	0.28	0.23	0.11
Cr	g/ha				3.13	1.17	1.50	2.11	1.10	0.78	1.33	0.64
Cu	g/ha	31.35	28.11	33.86	10.54	20.31	13.09	10.14	10.07	8.06	16.56	12.78
Ni	g/ha				4.95	2.07	2.34	3.48	2.58	1.18	3.48	2.08
Pb	g/ha	76.84	86.52	46.41	23.94	30.68	29.18	13.79	17.54	10.56	22.62	26.03
Zn	g/ha	94.22	151.3	91.79	30.79	47.49	67.48	49.40	68.37	32.96	71.95	56.38

Tabell 2. Volymvägda medelhalter i nederbörd på öppet fält vid Holmsvattenet.

Hydrologiska år		86/87	87/88	88/89	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
pH		4.61	4.42	4.68	4.61	4.65	4.64	4.64	4.85	4.78	4.73	4.74
Ca	mg/l	0.19	0.14	0.36	0.03	0.17	0.52	0.20	0.36	0.28	0.16	0.23
Mg	mg/l	0.02	0.04	0.06	0.05	0.06	0.20	0.08	0.22	0.16	0.08	0.09
Na	mg/l	0.17	0.16	0.19	0.35	0.18	0.41	0.33	0.36	0.30	0.38	0.22
K	mg/l	0.13	0.21	0.23	0.20	0.25	1.12	0.30	0.71	0.38	0.44	0.38
SO ₄ -S	mg/l	0.81	1.03	0.92	0.59	0.55	0.48	0.51	0.44	0.34	0.35	0.34
Cl	mg/l	0.22	0.27	0.31	0.37	0.23	0.33	0.26	0.26	0.30	0.26	0.32
NO ₃ -N	mg/l	0.23	0.25	0.34	0.23	0.20	0.22	0.23	0.15	0.17	0.15	0.18
NH ₄ -N	mg/l	0.35	0.40	0.51	0.25	0.23	0.23	0.30	0.16	0.14	0.09	0.14
Fe	mg/l				0.013	0.018	0.028	0.032	0.025	0.025	0.018	0.022
Mn	mg/l	0.004	0.005	0.017	0.002	0.004	0.011	0.009	0.025	0.021	0.008	0.004
Al	mg/l				0.015	0.014	0.024	0.022	0.021	0.024	0.014	0.018
As	ug/l	2.91	1.49	1.12	0.28	0.42	0.57	0.39	0.34	0.27	0.25	0.08
Ba	ug/l				1.45	1.81	1.60	1.75	3.62	2.60	2.82	3.03
Cd	ug/l	0.27	0.17	0.29	0.06	0.07	0.05	0.15	0.07	0.03	0.03	0.08
Co	ug/l				0.05	0.04	0.04	0.18	0.05	0.07	0.04	0.02
Cr	ug/l				0.58	0.23	0.36	0.68	0.30	0.21	0.21	0.13
Cu	ug/l	5.70	4.24	8.55	1.95	3.96	3.14	3.28	2.72	2.13	2.62	2.63
Ni	ug/l				0.92	0.40	0.56	1.13	0.70	0.31	0.55	0.43
Pb	ug/l	13.97	13.05	11.72	4.43	5.98	7.00	4.46	4.73	2.78	3.57	5.35
Zn	ug/l	17.13	22.82	23.18	5.70	9.25	16.18	15.99	18.44	8.70	11.37	11.60

Tabell 3. Deposition i form av krondropp i granskog vid Holmsvattenet.

Hydrologiska år		86/87	87/88	88/89	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
H	kg/ha	0.20	0.36	0.13	0.15	0.11	0.12	0.11	0.07	0.10	0.10	0.08
Ca	kg/ha	4.15	5.20	2.96	2.60	3.53	2.26	2.76	1.96	1.98	2.68	2.28
Mg	kg/ha	1.14	1.65	0.88	0.97	1.30	1.04	1.23	0.99	0.89	0.98	0.87
Na	kg/ha	1.94	2.27	2.07	2.24	1.72	1.29	2.13	1.77	2.35	3.23	1.32
K	kg/ha	7.60	12.24	6.82	8.51	10.88	6.48	10.80	8.72	9.97	14.42	10.43
SO ₄ -S	kg/ha	8.51	11.85	7.20	5.80	4.90	4.80	4.80	3.10	3.17	4.26	3.37
Cl	kg/ha	2.40	3.67	4.65	4.70	3.20	3.40	3.70	2.30	3.23	2.98	2.41
NO ₃ -N	kg/ha	1.03	1.33	1.10	0.48	0.30	0.51	0.43	0.14	0.29	0.32	0.43
NH ₄ -N	kg/ha	0.54	1.63	1.24	0.44	0.28	0.28	0.71	0.11	0.22	0.47	0.36
Fe	kg/ha				0.15	0.17	0.12	0.17	0.13	0.12	0.21	0.12
Mn	kg/ha	0.82	1.05	0.73	0.90	1.05	0.69	0.85	0.56	0.54	0.68	0.54
Al	kg/ha				0.18	0.14	0.14	0.16	0.17	0.23	0.26	0.12
As	g/ha	12.31	16.53	3.80	6.32	3.58	3.76	4.18	2.46	1.55	2.90	1.40
Ba	g/ha				24.95	24.81	15.23	20.68	15.96	20.02	27.66	21.17
Cd	g/ha	1.43	1.95	1.54	0.30	0.41	0.24	0.59	0.25	0.20	0.32	0.28
Co	g/ha				0.30	0.44	0.26	0.69	0.26	0.28	0.44	0.20
Cr	g/ha				1.86	2.38	1.41	1.84	1.81	1.24	1.47	0.63
Cu	g/ha	51.80	65.21	47.52	35.82	31.21	23.02	27.24	20.49	24.89	36.06	17.22
Ni	g/ha				4.63	3.74	3.00	5.35	4.41	2.23	4.54	2.70
Pb	g/ha	84.86	123.4	58.63	39.30	35.29	28.47	33.45	21.20	29.43	32.81	21.87
Zn	g/ha	200.7	249.8	178.0	88.36	104.6	96.50	108.2	104.0	85.26	115.9	72.71

Tabell 4. Volymvägda medelhalter i krondropp i granskog vid Holmsvattenet.

Hydrologiska år		86/87	87/88	88/89	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
pH		4.36	4.19	4.44	4.52	4.57	4.51	4.61	4.61	4.67	4.77	4.75
Ca	mg/l	0.87	0.91	1.00	0.68	0.89	0.67	0.78	0.87	0.50	0.49	0.60
Mg	mg/l	0.24	0.29	0.30	0.25	0.33	0.31	0.35	0.44	0.23	0.18	0.23
Na	mg/l	0.41	0.40	0.70	0.58	0.43	0.38	0.61	0.78	0.59	0.59	0.35
K	mg/l	1.59	2.13	2.30	2.21	2.74	1.91	3.07	3.86	2.52	2.62	2.75
SO ₄ -S	mg/l	1.84	2.15	1.96	1.16	1.20	1.25	1.07	1.08	0.67	0.76	0.75
Cl	mg/l	0.52	0.67	1.26	0.94	0.79	0.88	0.83	0.80	0.68	0.53	0.54
NO ₃ -N	mg/l	0.22	0.24	0.30	0.10	0.07	0.13	0.10	0.05	0.06	0.06	0.10
NH ₄ -N	mg/l	0.12	0.30	0.34	0.09	0.07	0.07	0.16	0.04	0.05	0.08	0.08
Fe	mg/l				0.039	0.042	0.035	0.049	0.059	0.030	0.039	0.032
Mn	mg/l	0.172	0.183	0.247	0.233	0.263	0.202	0.243	0.246	0.137	0.124	0.142
Al	mg/l				0.046	0.036	0.042	0.045	0.077	0.059	0.046	0.032
As	ug/l	2.58	2.88	1.28	1.64	0.90	1.11	1.19	1.09	0.39	0.53	0.37
Ba	ug/l				6.48	6.24	4.49	5.87	7.05	5.05	5.02	5.58
Cd	ug/l	0.30	0.34	0.52	0.08	0.10	0.07	0.17	0.11	0.05	0.06	0.07
Co	ug/l				0.08	0.11	0.08	0.20	0.12	0.07	0.08	0.05
Cr	ug/l				0.48	0.60	0.42	0.52	0.80	0.31	0.27	0.17
Cu	ug/l	10.86	11.36	16.00	9.30	7.85	6.79	7.73	9.06	6.28	6.55	4.54
Ni	ug/l				1.20	0.94	0.88	1.52	1.95	0.56	0.82	0.71
Pb	ug/l	17.79	21.50	19.74	10.21	8.87	8.40	9.50	9.37	7.43	5.96	5.76
Zn	ug/l	42.07	43.51	59.92	22.95	26.31	28.46	30.71	45.98	21.52	21.04	19.15

Tabell 5. Transporterade mängder i avrinningen vid Holmsvattenet.

Hydrologiska år		86/87	87/88	88/89	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
H	kg/ha	0.016	0.009	0.002	0.004	0.008	0.004	0.007	0.001	0.007	0.018	0.011
Ca	kg/ha	11.49	12.48	10.38	6.70	10.31	9.06	9.15	4.71	8.98	9.41	7.59
Mg	kg/ha	5.08	5.29	4.35	2.83	4.54	3.84	3.73	2.01	3.82	4.16	3.28
Na	kg/ha	7.92	8.26	7.50	4.91	7.27	6.55	6.98	3.40	6.45	6.98	6.16
K	kg/ha	2.52	2.92	2.79	0.74	1.86	2.05	1.86	0.98	1.89	2.18	2.61
SO ₄ -S	kg/ha	11.55	12.85	10.56	6.44	9.42	8.01	8.28	4.14	9.10	8.53	6.53
Cl	kg/ha	3.54	3.57	4.57	3.16	4.14	3.66	3.88	2.04	3.85	3.28	3.06
NO ₃ -N	kg/ha	0.06	0.31	0.19	0.09	0.14	0.18	0.09	0.03	0.06	0.05	0.18
NH ₄ -N	kg/ha	0.06	0.12	0.07	0.08	0.11	0.43	0.05	0.01	0.03	0.03	0.06
Fe	kg/ha	2.56	2.91	2.30	1.41	2.80	2.38	2.01	1.46	2.24	2.97	2.08
Mn	kg/ha	0.47	0.20	0.11	0.04	0.08	0.07	0.07	0.04	0.08	0.09	0.07
Al	kg/ha	2.16	2.07	1.74	0.87	1.56	1.08	1.22	0.42	1.26	2.55	1.53
As	g/ha	6.07	4.81	4.02	5.58	9.83	7.54	8.18	2.83	6.49	14.15	7.28
Ba	g/ha				35.75	55.93	47.95	48.66	19.58	47.48	68.76	39.58
Cd	g/ha	0.53	0.80	0.41	0.17	0.32	0.27	0.28	0.08	0.31	0.45	0.26
Co	g/ha				2.02	3.33	2.57	2.95	1.13	3.08	4.65	2.83
Cr	g/ha				2.02	3.00	2.89	3.20	1.08	3.31	5.57	3.36
Cu	g/ha	11.10	18.89	8.13	5.01	11.85	6.86	7.16	2.35	6.09	13.09	7.76
Ni	g/ha				9.79	11.57	11.28	12.73	4.77	11.86	17.84	11.52
Pb	g/ha	8.02	9.54	7.06	1.87	4.47	2.66	2.32	0.94	2.61	6.63	3.38
Zn	g/ha	78.41	161.7	47.62	23.02	42.19	30.04	32.28	13.91	31.72	48.70	32.77

Tabell 6 Volymvägda medelhalter i avrinningen vid Holmsvattenet.

Hydrologiska år		86/87	87/88	88/89	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
pH		5.36	5.64	6.20	5.82	5.72	5.90	5.68	6.19	5.68	5.37	5.52
Ca	mg/l	3.12	3.27	3.51	2.36	2.55	2.67	2.82	3.45	2.80	2.19	2.16
Mg	mg/l	1.38	1.38	1.47	1.00	1.12	1.13	1.15	1.47	1.19	0.97	0.93
Na	mg/l	2.15	2.16	2.54	1.73	1.80	1.93	2.15	2.49	2.01	1.63	1.75
K	mg/l	0.68	0.76	0.95	0.26	0.46	0.60	0.57	0.72	0.59	0.51	0.74
SO ₄ -S	mg/l	3.13	3.36	3.57	2.27	2.33	2.36	2.55	3.04	2.84	1.99	1.86
Cl	mg/l	0.96	0.93	1.55	1.11	1.02	1.08	1.20	1.50	1.20	0.76	0.87
NO ₃ -N	mg/l	0.02	0.08	0.06	0.03	0.04	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.05
NH ₄ -N	mg/l	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Fe	mg/l	0.69	0.76	0.78	0.50	0.69	0.70	0.62	1.07	0.70	0.69	0.59
Mn	mg/l	0.13	0.05	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
Al	mg/l	0.59	0.54	0.59	0.31	0.39	0.32	0.38	0.31	0.39	0.59	0.44
Färg	mgPt/l	83	84	63	68	91	71	70	56	71	109	79
As	ug/l	1.65	1.26	1.36	1.97	2.43	2.22	2.52	2.08	2.02	3.30	2.07
Ba	ug/l				12.60	13.84	14.11	15.0	14.34	14.80	16.0	11.3
Cd	ug/l	0.14	0.21	0.14	0.06	0.08	0.08	0.08	0.06	0.10	0.10	0.07
Co	ug/l				0.71	0.82	0.76	0.91	0.83	0.96	1.08	0.81
Cr	ug/l				0.71	0.74	0.85	0.99	0.79	1.03	1.30	0.96
Cu	ug/l	3.01	4.94	2.75	1.77	2.93	2.02	2.21	1.72	1.90	3.05	2.21
Ni	ug/l				3.45	2.86	3.32	3.92	3.50	3.70	4.16	3.28
Pb	ug/l	2.17	2.50	2.39	0.66	1.11	0.78	0.72	0.69	0.81	1.54	0.96
Zn	ug/l	21.26	42.31	16.12	8.11	10.44	8.84	9.95	10.20	9.89	11.35	9.33

Tabell 7. Nederbörd och avrinning vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år	86/87	87/88	88/89	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
Nederbörd mm	645	765	494	768	619	484	607	429	613	805	665
Krondropp mm	463	552	368	501	407	385	448	287	475	560	447
Avrinning mm	369	382	295	284	404	340	324	136	321	429	351

Bilaga 2. Sammanfattning av undersökningarna under perioden 1986-1989

Undersökningarnas syfte var att beskriva transporten av luftdeponerade tungmetaller genom marksystemet till ytvatten i avrinningsområdet vid Holmsvattnet. Betydelsen av de nuvarande utsläppen värderades i förhållande till tidigare tungmetalldeposition under 1900-talet (Westling och Larsson 1991). Undersökningarna omfattade provtagning av nederbörd, krondropp, mark samt mark-, grund- och avrinningsvatten som analyserades på makrokonstituent, As samt tungmetallerna Cu, Pb, Cd, och Zn. Områdets topografi, geologi och vegetation karterades. Resultaten jämfördes med ett okontaminerat avrinningsområde utanför Umeå, samt andra undersökningar i Sverige.

Depositionen på det studerade avrinningsområdet var förhöjd under perioden 1986 till 1989 främst för Cu, Pb och As. De högsta koncentrationerna i nederbörd och krondropp uppvisade i regel en samvariation med hög frekvens vindar i riktning från Rönnskårsverket mot området.

Skogsmarkens humusskikt hade en tydlig kontaminering av samtliga studerade tungmetaller. Jämfört med podsolprofiler i bakgrundsområden över hela Sverige var halterna i mineraljorden ej förhöjda möjligen med undantag för Cd i rostjord och underlag. Markprofilen hade låga pH-värden och låg basmättnadsgrad. Mark- och grundvatten uppvisade som regel relativt låga koncentrationer av tungmetaller med undantag för Cu och Pb i markvatten i rostjorden.

Depositionen av svavel och kväve i området var måttlig jämfört med försurade områden i södra Sverige. Massbalansstudier visade att samtliga baskatjoner samt mangan hade en betydligt högre avrinning än deposition. Vätejoner, kväve, fosfor, samtliga tungmetaller och arsenik hade en påtaglig retention i marksystemet. Svavel och klorid hade i stort sett balans mellan deposition och avrinning. Rörligheten av tungmetallerna minskade i ordningen $As > Zn > Cd > Cu > Pb$. Både deposition och avrinning av Cu, Pb och i viss mån Cd var förhöjd jämfört med andra avrinningsområden i skogsmark i Sverige.

Vid tillfällena med hög nederbörd och hög vattenföring transporterades humus från markens kontaminerade ytskikt ut i ytvattnet tillsammans med komplexbundna tungmetaller, vilket medförde att de högsta koncentrationerna av metaller i avrinningen sammanföll med de största vattenflödena.

Det är inte sannolikt att nederbörd eller krondropp som penetrerade humusskikten på ett avgörande sätt bidrog till halter i ytvatten, beroende på den minskande svavelbelastningen i området, den låga rörligheten av tungmetaller i humusskiktet, samt relationen mellan den dåvarande (1986-1989) årliga tillförseln och den upplagrade poolen av tungmetaller i markens ytskikt. Det är mer sannolikt att den dåvarande depositionens tillförselväg till ytvatten var via deposition på mättade utströmningsområden.

Tungmetalldepositionen bestod av en regional bakgrund samt bidrag från emissioner vid Rönnskårsverket. Avrinningen av tungmetaller kunde härledas till bidrag från marken, vilket kan delas upp i ett bakgrundsbidrag och ett tillskott från den kontaminerade måren. Dessutom antogs direktdeposition på mättade utströmningsområden bidra. Även detta kan delas upp i bakgrundsbidrag och tillskott på grund av utsläpp från Rönnskårsverken. Med hjälp av ovanstående uppmätta och antagna värden kunde den dåvarande tungmetalldepositionens betydelse för halterna i avrinningen beräknas. Beräkningarna kan uttryckas som en minskning av koncentrationerna i avrinningsvattnet om utsläppen från Rönnskårsverket helt upphörde. Minskningen skulle bli 30 % för Cu, Cd 14 %, Pb 61 %, As 16 % och Zn 9 %. Detta är under förutsättning att depositionen av starka syror från atmosfären var oförändrad.

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 arbete för ett bärkraftigt samhälle.

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

Forsknings- 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 publikationsserie registreras i IVLs A-serie.

Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

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

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

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 20 75
Fax: +46 472 26 20 04