



rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Deposition och avrinning av
tungmetaller, svavel och kväve
vid Holmsvattnet nära
Rönnskärsverken under året
1999/2000

Olle Westling
B1443
Aneboda, december 2001

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 77 80	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 Rönnskärsverken under året 1999/2000	
Sammanfattning/Summary <p>Depositionen av svavel i äldre granskog vid Holmsvattnet minskade kraftigt mellan perioden 1986 till 1989 och mätåret 1999/00. En viss minskning av kvävedepositionen, framför allt ammoniumkväve, har noterats under hela perioden 1986 till 2000. Depositionen av arsenik samt jämförbara tungmetaller på öppet fält och i granskog mellan de olika perioderna visar på en kraftig minskning (50-83 %) mellan 1986-1989 och 1999/00 för arsenik, kadmium, koppar, bly och zink. 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 1980 och 1990-talen. Under de senaste året i undersökningen, 1999/00, har halterna av arsenik, kadmium, krom, nickel och zink i nederbörd varit på samma nivå som bakgrundsstationer i mellersta och norra Sverige. Endast koppar och bly uppvisade tydligt högre halter.</p> <p>Utlakningen, och halterna, av kadmium, koppar, bly och zink har minskat kraftigt (22-59 %) till 1999/00, jämfört med perioden 1986 till 1989. Huvuddelen av minskningen skedde i skarven mellan de olika undersökningsperioderna. Utlakningen och halter av arsenik var högre under år 2000, liksom perioden 1991 till 1999, jämfört med perioden 1986 till 1989. Ökningen, trots en minskat deposition under senare år, kan inte säkert förklaras, men bytet av analysmetod mellan perioderna kan inte helt uteslutas som en påverkande faktor. 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</p> <p>Den minskande belastningen i Holmsvattenområdet av svavel, och i mindre utsträckning kväve, är sannolikt ett resultat av en minskad regional bakgrundsbelastning, men lägre svavelutsläpp från Rönnskärsverken kan även ha bidragit. Depositionsminskningen av tungmetaller och arsenik i området är sannolikt orsakad av utsläppsminskningar vid Rönnskärsverken i första hand, men även här har det skett en viss minskning av den regionala bakgrundsbelastningen.</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 1443	
Beställningsadress för rapporten/Ordering address IVL, Publikationsservice, Box 21060, S-100 31 Stockholm. Eller via fax: 08-598 563 90, e-mail: publicationservice@ivl.se , hemsida www.ivl.se	

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
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 1999/00, samt en jämförelse med tidigare förhållanden	7
3.1 Deposition	7
3.2 Avrinning.....	10
3.3 Jämförelse mellan deposition och avrinning.....	15
4. Referenser	17
Bilaga 1 Årlig deposition, avrinning och medelhalt	18
Bilaga 2. Sammanfattning av undersökningarna under perioden 1986-1989	22

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 1999/00 kan jämföras med mätningar under 1986 till 1989 samt 1991 till 1998 i samma område.

Depositionen av svavel i äldre granskog vid Holmsvattnet minskade kraftigt mellan perioden 1986 till 1989 och 1997 (ca 60 %). Under det senaste mätåret 1999/00 finns en tendens till ytterligare minskning av torrdepositionen till skog, vilket även noterats i andra undersökta skogsytor i norra Sverige. En viss minskning av kvävedepositionen, framför allt ammoniumkväve, har noterats under hela perioden 1986 till 2000.

Depositionen av arsenik samt jämförbara tungmetaller på öppet fält och i granskog mellan de olika perioderna visar på en kraftig minskning (50-83 %) mellan 1986-1989 och 1999/00 för arsenik, kadmium, koppar, bly och zink. Depositionen av tungmetaller uppvisar inga tydliga trender under 1990-talet. Arsenik i nederbörd och kron dropp har minskat tydligt efter 1995. Den stora minskningen av metaller som är relaterade till utsläpp från Rönnskårsverken skedde i skarven mellan 1980 och 1990-talen.

Under de senaste året i undersökningen, 1999/00, har halterna av arsenik, kadmium, krom, nickel och zink i nederbörd varit på samma nivå som bakgrundsstationer i mellersta och norra Sverige. Endast koppar och bly uppvisade tydligt högre halter.

Utlakningen till bäcken ut ur avrinningsområdet av de flesta makrokonstituenterna var likartad under de olika perioderna, men utlakningen av sulfat har minskat, även om minskningen ännu så länge är mindre än i depositionen. Detta får till följd att flera andra ämnen minskat samtidigt, främst kalcium och mangan.

Utlakningen, och halterna, av kadmium, koppar, bly och zink har minskat kraftigt (22-59 %) till 1999/00, jämfört med perioden 1986 till 1989. Huvuddelen av minskningen skedde i skarven mellan de olika undersökningsperioderna. Utlakningen och halter av arsenik var högre under år 2000, liksom perioden 1991 till 1999, jämfört med perioden 1986 till 1989. Ökningen, trots en minskad deposition under senare år, kan inte säkert förklaras, men bytet av analysmetod mellan perioderna kan inte helt uteslutas som en påverkande faktor. 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 Holmsvattnet placeras i klass 2, låga halter. Undantag under 1999/00 var bly med halter något över gränsen mellan klass 2 och 3.

Den minskande belastningen i Holmsvattenområdet av svavel, och i mindre utsträckning kväve, är sannolikt ett resultat av en minskad regional bakgrundsbelastning, men lägre svavelutsläpp från Rönnskårsverken kan även ha bidragit. Depositionsminskningen av tungmetaller och arsenik i området är sannolikt orsakad av utsläppsminskningar vid Rönnskårsverken i första hand, men även här har det 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 to 2000 showed decreasing deposition of sulphur to open field and forest (Norway spruce). The deposition of heavy metals to open field decreased with 92% (As), 79% (Cd), 56% (Cu), 71% (Pb) and 35% (Zn) between 1986 and 2000. The deposition to 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 48% (Cd), 29% (Cu), 48% (Pb) and 62% (Zn) between 1986 and 2000. The concentrations of arsenic in run off have increased between the two periods 1986-1989 and 1991-2000. The reason is unclear, but the increase could be explained by the shift in analytical methods between the two periods.

The concentrations of heavy metals in 2000 were relatively low according to Swedish reference values. The monitored data in the stream are typical for areas with increased concentrations of metals due to releases from local sources, or long-distance transport via the atmosphere. But levels that occur naturally in certain geologically unusual areas may also fall into this class. In most cases the concentrations are not high enough to cause measurable biological effects.

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 det hydrologiska året 1999/2000 (oktober till och med september), med jämförelser med tidigare resultat. IVL har tidigare rapporterat resultat från åren 1991 till 1997 (Westling 1998) samt 1998 och 1999 (Westling 2000). 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 de undersökningarna redovisas i bilaga 2.

Undersökningarna utförs i ett 240 ha stort avrinningsområde, 17 km SSV Rönnskårsverket, 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 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 har en humuspodsol.

Skogsbestånden domineras av frisk barrskog med inslag av hållmarkstallskog, frisk lövskog (björk, 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 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 (resultat från provytorerna i norra Sverige redovisas i Hallgren Larsson, 2001). 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 plastthinkar (Ø 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 krondroppsansamlare 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 HNO₃ (suprapur) och lagrades i två veckor så att eventuella tungmetaller på kärnväggarna frigjordes. Krondroppsansamlarna (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, SO₄-S, Cl, NO₃-N, NH₄-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 HNO₃). Analyserade parametrar var pH, vattenfärg, Ca, Mg, Na, K, SO₄-S, Cl, NO₃-N, NH₄-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. En alternativ mätstation för vattenföring i ett mindre vattendrag är Storbäcken (Osträsket) norr om Skellefteå. Medelavrinningen är mycket lika, men fördelningen under året skiljer något med högre andel under vårflood vid Osträsket. Preliminära jämförelser visar att om typisk vattenföring från det vattendraget används för beräkningarna blir de volymvägda årsmedelhalterna ca 5 % högre för flertalet tung-

metaller i bäcken vid Holmsvattnet. Nya metoder för beräkning av utlakning (daglig vattenföring samt interpolering mellan mättillfällen för vattenkemi) samt slutligt val av mätstation för vattenföring kommer att genomföras under 2001. 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 syra för lakning analyserades kontinuerligt.

3. Resultat av undersökningarna under 1999/00, 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.

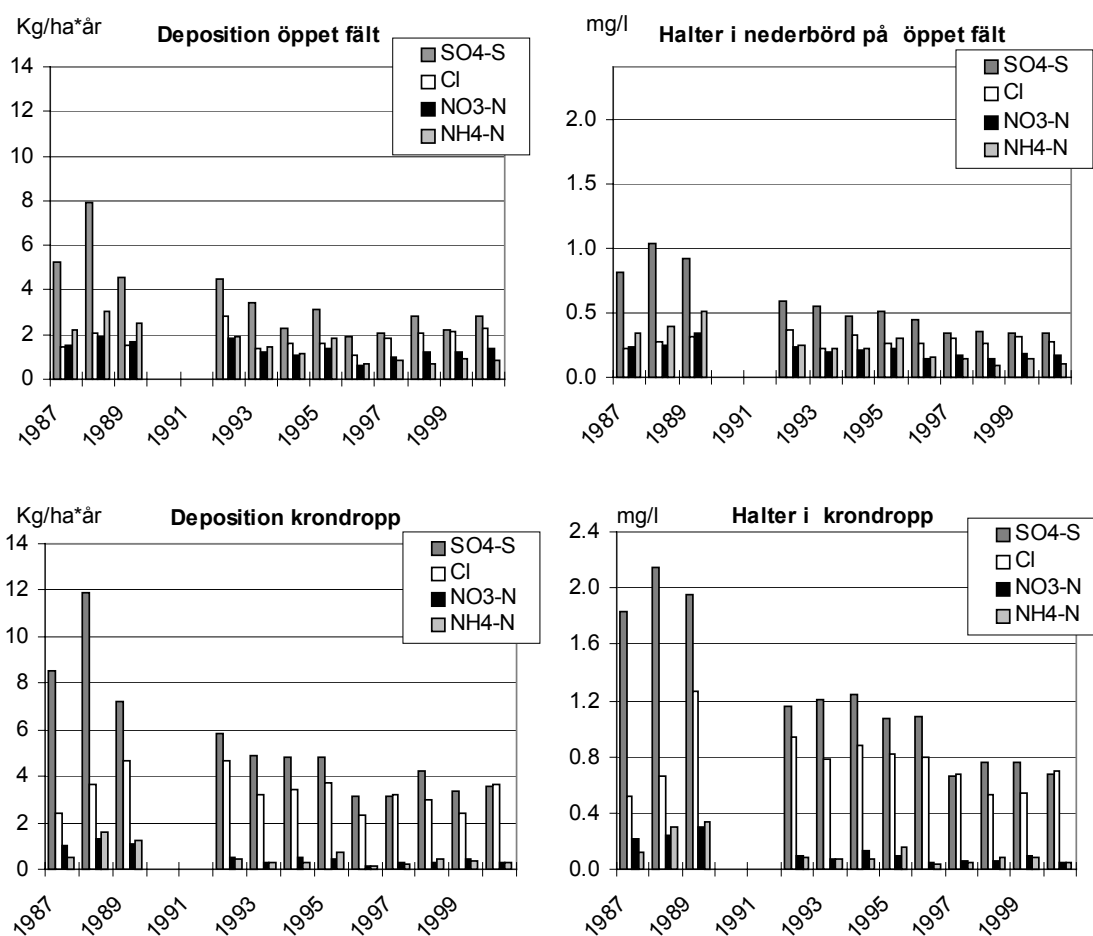
3.1 Deposition

Deposition och halter av svavel i nederbörd och krondropp minskade kraftigt, cirka 60 %, mellan 1986 och 1997. Under de följande åren är förändringarna små (figur 1). Det finns en tendens till att torrdepositionen av svavel till skog har minskat ytterligare något till 1999/00. Motsvarande förändringar finns registrerade i hela norra Sverige genom den regionala miljöövervakningen av luftföroreningar (krondroppsnätet), där även skogsytan vid Holmsvattnet ingår (Hallgren Larsson, 2001).

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. Den låga torrdepositionen av svavel under det senaste åren gjorde att andelen var cirka 28 % jämfört med nederbördens bidrag (som också minskat kraftigt sen slutet på 1980-talet). Minskningen av svaveldepositionen till granskogen vid Holmsvattnet under 1990-talet (11 år till och med år 2000) var 44 %, vilket är i samma storleksordning som större delen av landet. Det är dock något mindre än för samtliga granskogslokaler i krondroppsnätet i norra Sverige som har mätningar sedan början av 1990-talet, vilka visar upp en minskning på 50 %. Om Holmsvattnet jämförs med fyra

andra kustnära mätplatser finns en viss skillnad, där granytor utanför Luleå och Umeå samt två lokaler efter kusten i Västernorrlands län uppvisade minskningar av svaveldepositionen på 53 till 62 % under 1990-talet. Variationen mellan lokalerna olika år är dock relativt stor, vilket sannolikt beror på granyternas olika placering i terrängen. Variationer i klimatfaktorer som nederbörds mängd, vindar och dimfrekvens kan påverka de relativt fåtaliga lokalerna på olika sätt som gör det svårt att förklara skillnaderna i depositionsminskning med någon enskild faktor.

En viss minskning av deposition och halter av kväve ($\text{NO}_3\text{-N}$ och $\text{NH}_4\text{-N}$) i nederbörd har noterats under hela perioden 1986 till 2000 (figur 1). Det gäller i synnerhet $\text{NH}_4\text{-N}$ som minskat påtagligt både som deposition och halter i nederbörd. Kvävehalterna i krondropp har varit fortsatt låga (lägre än i nederbörd) under 1999/00, vilket indikerar omfattande upptag eller omvandling av oorganiskt kväve i trädskronorna. 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. En stor del av den relativt stora ökningen av kaliumhalterna i krondropp mellan slutet av 1980-talet och de senaste åren beror sannolikt på att depositions mätningarna under 1992 koncentrerades till en provyta med äldre granskog. Den stora kronbiomassan i skogsytan bidrar till ett omfattande läckage från barren.



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

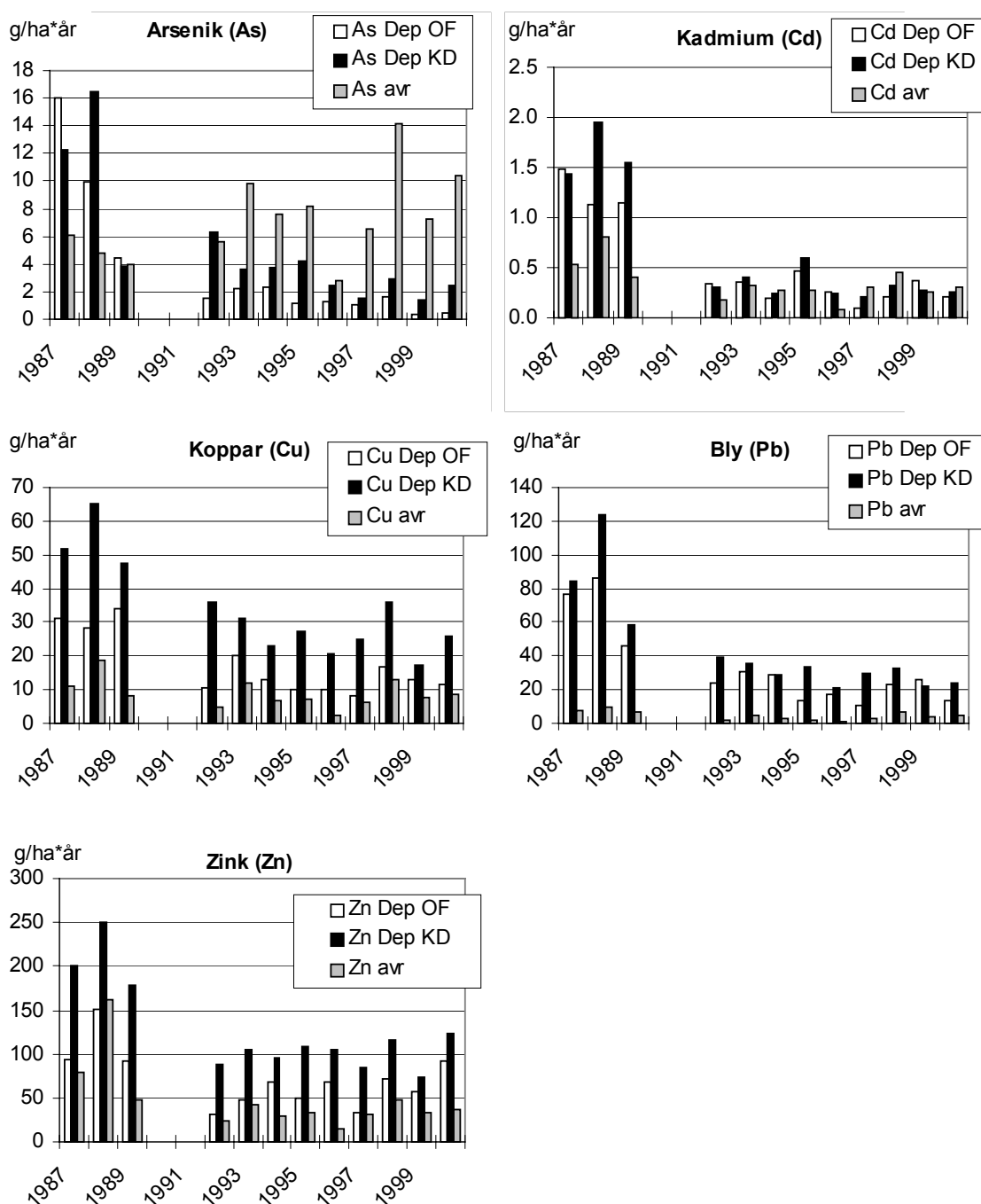
Även kalcium interncirkuleras, normalt så att ett nettoläckage uppstår från trädkronan. Kalciumläckaget är oftast nära kopplat till depositionen av försurande luftföroreningar, främst torrdepositionen av svavel. Eftersom svaveldepositionen har minskat kraftigt under senare år har även läckaget av kalcium minskat (se bilaga 1, tabell 3).

Övriga makrokonstituenten i nederbörd uppvisar relativt små skillnader under 1990-talet utöver effekten av vissa år med högre nederbördsmängd. Den rikliga nederbörden 1999/00 gjorde att depositionen var något högre än tidigare år för många ämnen. Halterna var dock i regel lägre under 1999/00.

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 1999/00 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. Bly och zink uppvisade något högre halter i nederbörd under 1999/00 än åren närmast före. Depositionen av arsenik, koppar och zink i form av nederbörd och krondropp var något högre under 1999/00 än året innan på grund av riklig nederbörd det senaste året.

Volymvägda medelkoncentrationer i nederbörd på öppet fält kompenserar i viss mån för nederbördsskillnader mellan åren (bilaga 1, tabell 7), vilket underlättar jämförelser (bilaga 1, tabell 2). Under de senaste året (1999/00) i undersökningen har halterna av arsenik, kadmium, krom, nickel och zink i nederbörd varit på samma nivå som bakgrundsstationer i mellersta och norra Sverige (resultat från det nationella nederbördskemiska nätet). Endast koppar och bly uppvisade tydligt högre halter vid Holmsvattnet jämfört med Bredkålen i centrala Jämtland som sannolikt ligger i ett av de minst belastade områdena i Sverige med avseende på luftföroreningar.

Den minskande belastningen i Holmsvattenområdet av svavel, och i mindre utsträckning kväve, är sannolikt ett resultat av en minskad regional bakgrundsbelastning, men lägre svavelutsläpp från Rönnskärsverken kan även ha bidragit. Depositionsminskningen av tungmetaller och arsenik i området är sannolikt orsakad av utsläppsminskningar vid Rönnskärsverken i första hand, men även här har det skett en viss minskning av den regionala bakgrundsbelastningen.

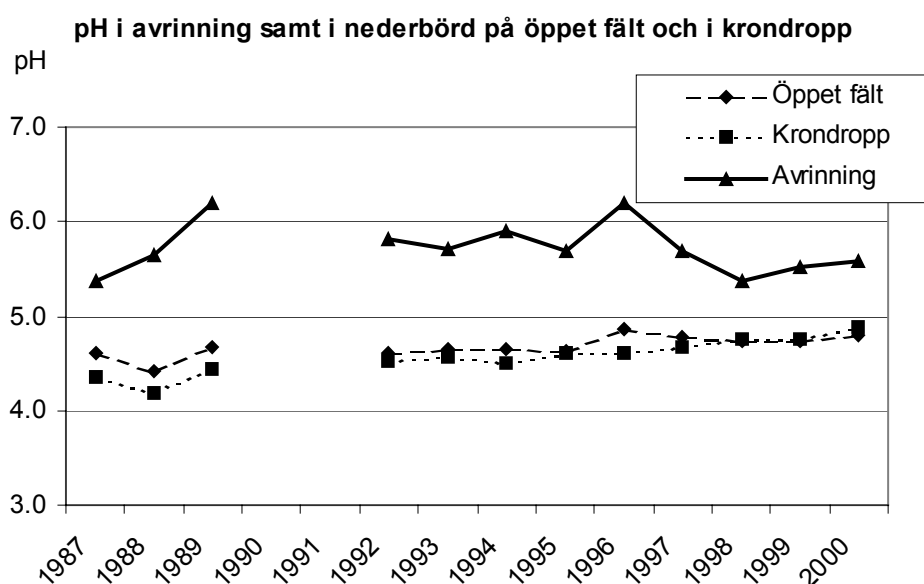


Figur 2. Deposition (Dep) på öppet fält (OF) och i form av kron dropp (KD) samt avrinning (avr) av arsenik och tungmetaller vid Holmsvattnet (hydrologiska år).

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 syrelastningen från luften. Detta kan även ses i volymvägda medel-

koncentrationer under 1999/00 (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 minskat samtidigt, främst kalcium och mangan. Bäckens genomsnittliga pH ökade under början på 1990-talet (figur 3), vilket sannolikt beror på det minskade depositionen av försurande luftföroreningar. Under de senaste tre åren minskade pH-värdet igen, samtidigt som aluminiumhalterna ökade till nästan samma nivå som på 1980-talet. Den rikliga nederbörden och den höga avrinningen resulterade sannolikt i en förhållandevis omfattande vatten-transport 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).

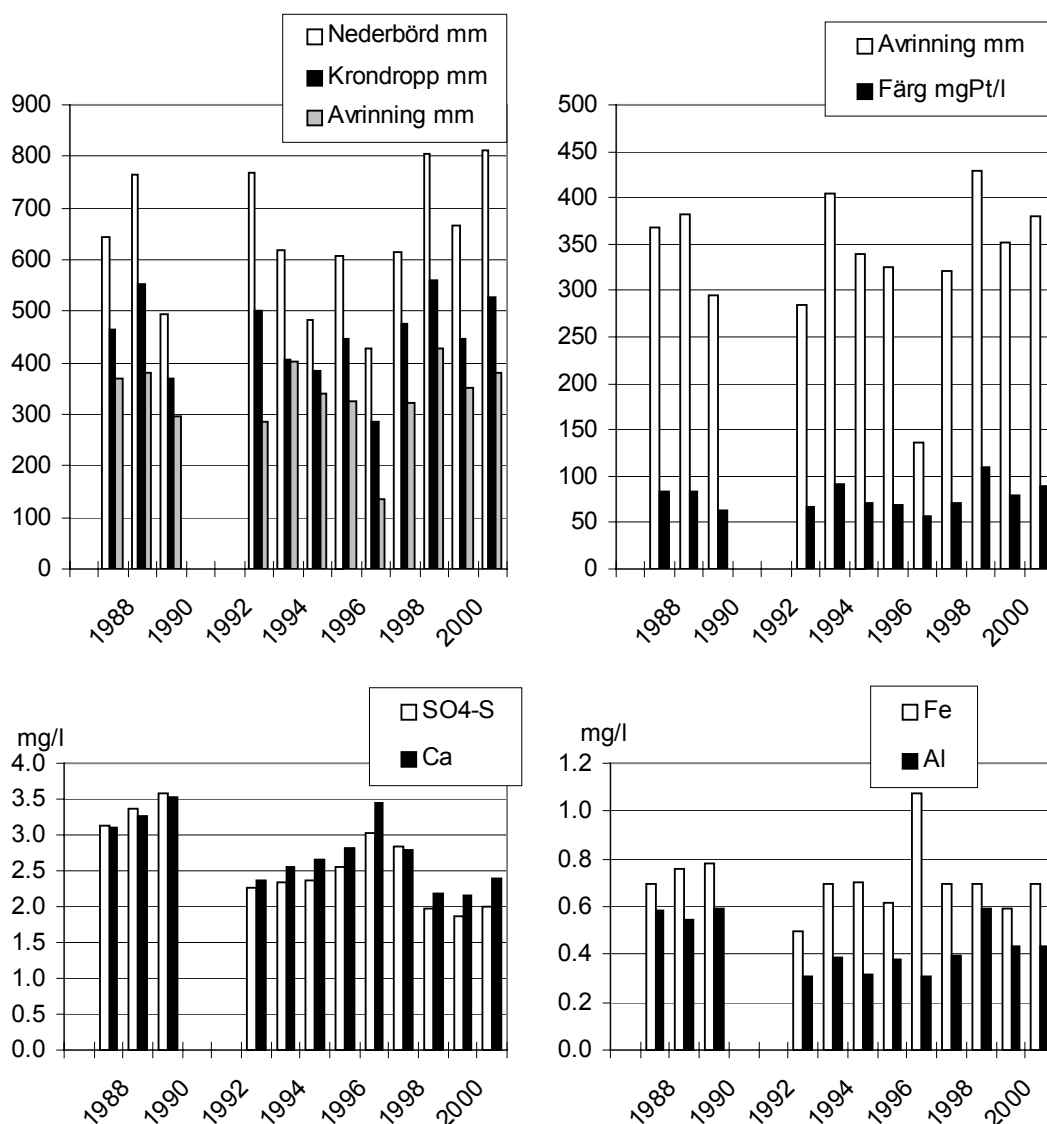


Figur 3. pH i avrinning samt i nederbörd och i krondropp vid Holmsvattnet under perioden 1987 till 1999.

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. År 2000 ökade vattenfärgen igen på grund av högre avrinning än året innan.

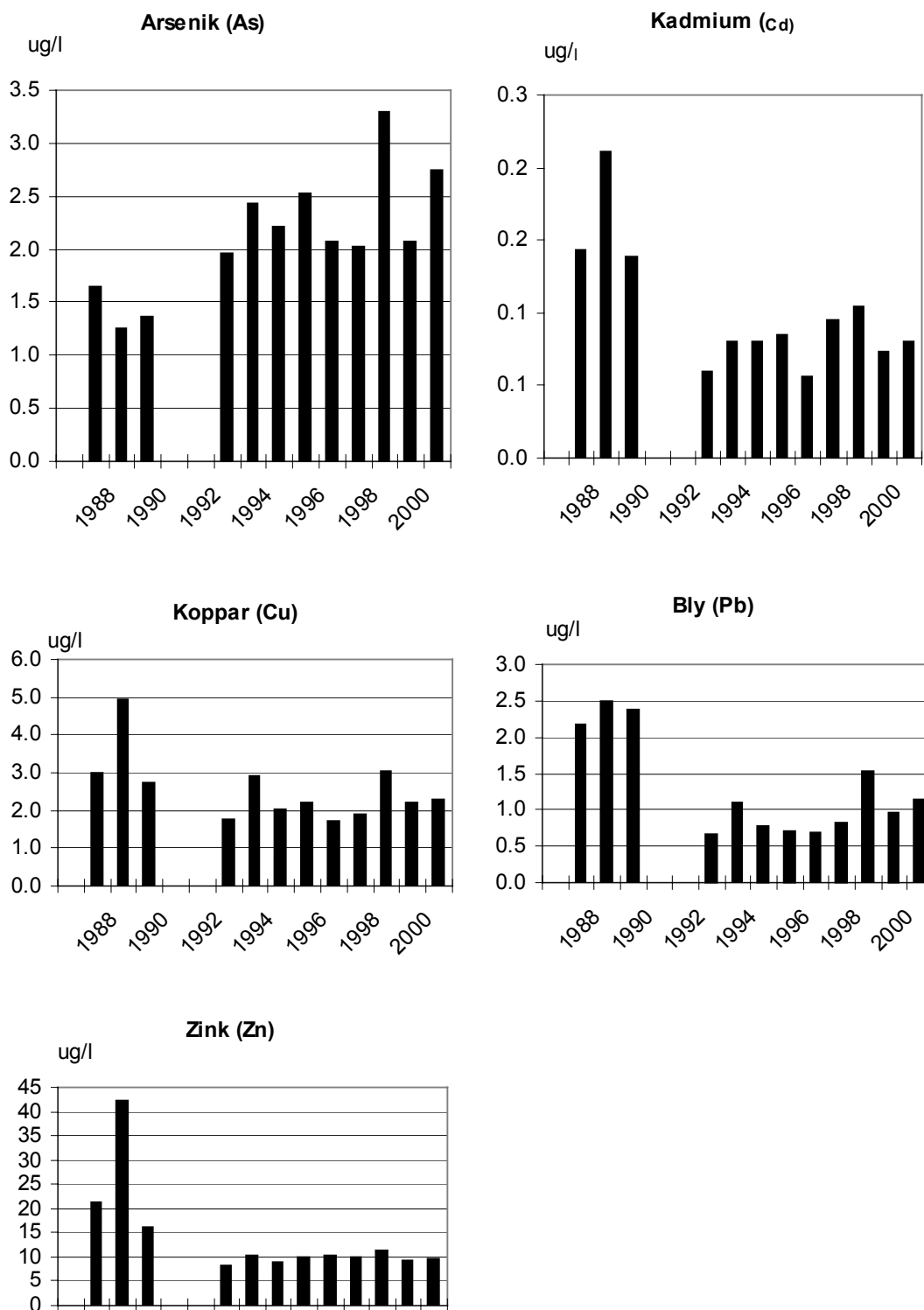
Figur 4 visar hydrologiska förhållanden vid Holmsvattnet som kan påverka halter och utlakning av olika ämnen. Nederbörd och avrinning har en betydande mellanårsvariation. Avrinningens storlek påverkar humusmängden i vattnet (här uppmätt som vattenfärg), som i sin tur påverkar halterna av andra ämnen, inte minst tungmetaller som i stor utsträckning är bundna till organiskt material. Den högsta avrinningen under alla undersökta år noterades 1998. Även år 2000 hade hög avrinning, och den högsta nederbördsmängden som noterats under mätperioden 1987 till 2000.

Figur 4 visar att det inte är någon stor skillnad i vattenfärg under olika perioder. Perioden 1995 till 1997 hade något lägre vattenfärg och den senaste treårsperioden något högre. Figuren visar även det nära sambandet mellan halterna i avrinningen av sulfat och kalcium, samt att halterna av aluminium minskade under första halvan av 1990-talet för att sedan öka något igen under de senaste åren. Samtidigt har järnhalten inte förändrats. 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, krondropp och avrinning, samt vattenfärg och halter (volymvägda årsmedelvärden) av ett urval parametrar i avrinning vid Holmsvattnet.

Utlakningen, och de volymvägda medelkoncentrationerna, av kadmium, koppar, bly och zink har minskat till 1999/00, jämfört med perioden 1986 till 1989. 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 1993, 1998 och 2000 med hög avrinning. 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 år 2000, liksom perioden 1991 till 1999, jämfört med perioden 1986 till 1989. Ökningen trots en minskat deposition under senare år kan inte säkert förklaras, men bytet av analysmetod mellan perioderna 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.

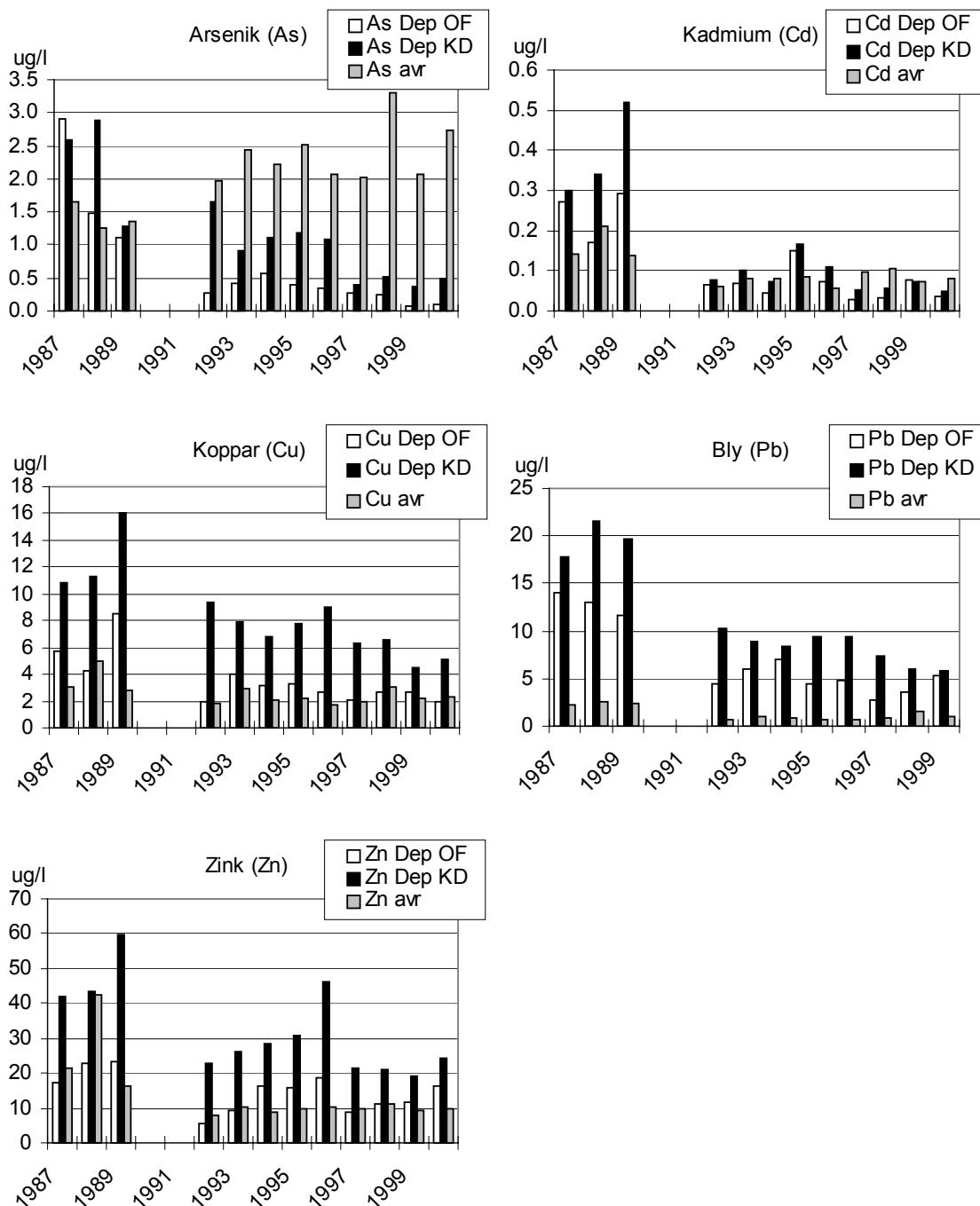
Arsenik i naturvatten förekommer främst som arsenat, som är en anjon vilken i strukturen liknar fosfat. Rörligheten och komplexbindningen av denna form av arsenik beror på flera faktorer som pH, samt halter av humus, kalcium, järn och aluminium (Landner, 1998). Låga pH-värden ger starka komplex mellan arsenat och humus, som kan öka rörligheten i humösa vatten. I bäcken vid Holmsvattnet 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 Holmsvattnet (volymvägda medelvärden) placeras i klass 2, låga halter. Undantag under 1999/00 var bly med halter något över gränsen mellan klass 2 och 3. Risker 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. Risker för biologiska effekter i klass 3 beskrivs som; "Effekter förekommer i känsliga vatten. Risker 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 mellan åren i de olika provtyperna efter 1989, med undantag för en viss förhöjning i deposition 1995.



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

Trots den kraftiga minskningen av depositionen av tungmetaller var utlakningen fortfarande lägre än depositionen 1999/00 för tungmetallerna koppar, bly och zink. Kadmium uppvisade högre utlakning än deposition under 1997, 1998 och 2000. Utlakningen från avrinningsområdet av arsenik var mycket högre än depositionen till skog (se figur 6 och bilaga 1, tabell 5) speciellt under perioden 1997 till 2000.

Den procentuella skillnaden mellan de båda undersökningsperioderna, 1986-1989 samt 1999/00, 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 50 och 83 %. 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 försumningsbidrag. 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 (22-59 %) samt vätejoner och sulfatsvavel mellan 1999/00 jämfört med 1980-talet. 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 och 1999-2000.
Positiva värden innebär en minskning, negativa en ökning.

	H ⁺	SO ₄ -S	As	Cd	Cu	Pb	Zn
	%						
Nederbörd, deposition	27	56	92	79	56	71	35
Krondropp, deposition	65	59	79	83	52	71	50
Avrinning, arealförluster	-46	35	-114	42	22	42	59
Avrinning volymvägda halter	-36	42	-90	48	29	48	62

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 främst 1998 med något högre deposition i form av nederbörd och krondropp samt avrinning av tungmetaller än andra år under 1990-talet. Depositionen av barium var högre 1999/00 än tidigare och speciellt halterna i nederbörd har uppvisat högre värden de senaste fyra åren jämfört med tidigare år. Anledningen till ökningen är inte känd.

4. Referenser

- Hallgren Larsson E. (red.) 2001. Övervakning av luftföroreningar i norra Sverige - resultat till och med september 2000. IVL-rapport B 1415.
- 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 Holmsvattnet nära Rönnskärsverken under 1992 och 1993. IVL-rapport till Boliden Mineral AB.
- 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. 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		99/00	98-00 medel 3 år	95-97 medel 3 år	92-94 medel 3 år	87-89 medel 3 år
H	kg/ha	0.13	0.13	0.10	0.15	0.18
Ca	kg/ha	1.01	1.06	1.01	1.06	1.14
Mg	kg/ha	0.26	0.40	0.55	0.47	0.20
Na	kg/ha	3.04	2.17	1.16	1.51	0.89
K	kg/ha	1.54	2.06	1.67	2.33	0.99
SO ₄ -S	kg/ha	2.79	2.62	2.36	3.40	5.89
Cl	kg/ha	2.27	2.15	1.51	1.93	1.68
NO ₃ -N	kg/ha	1.34	1.25	1.01	1.36	1.70
NH ₄ -N	kg/ha	0.86	0.84	1.13	1.49	2.60
Fe	kg/ha	0.08	0.10	0.10	0.09	
Mn	kg/ha	0.02	0.03	0.07	0.03	0.04
Al	kg/ha	0.05	0.08	0.08	0.08	
As	g/ha	0.50	0.83	1.16	2.01	10.11
Ba	g/ha	47.49	26.70	9.56	7.94	
Cd	g/ha	0.21	0.26	0.28	0.30	1.25
Co	g/ha	0.13	0.16	0.35	0.22	
Cr	g/ha	0.34	0.77	1.33	1.93	
Cu	g/ha	11.30	13.55	9.42	14.65	31.11
Ni	g/ha	1.40	2.32	2.41	3.12	
Pb	g/ha	13.07	20.57	13.96	27.93	69.92
Zn	g/ha	92.52	73.62	50.25	48.59	112.4

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

Hydrologiska år		99/00	98-00 medel 3 år	95-97 medel 3 år	92-94 medel 3 år	87-89 medel 3 år
pH		4.79	4.75	4.75	4.63	4.55
Ca	mg/l	0.18	0.19	0.28	0.24	0.23
Mg	mg/l	0.04	0.07	0.15	0.10	0.04
Na	mg/l	0.54	0.38	0.33	0.31	0.17
K	mg/l	0.27	0.36	0.46	0.52	0.19
SO ₄ -S	mg/l	0.34	0.34	0.43	0.54	0.92
Cl	mg/l	0.28	0.28	0.27	0.31	0.27
NO ₃ -N	mg/l	0.16	0.17	0.18	0.22	0.27
NH ₄ -N	mg/l	0.11	0.11	0.20	0.24	0.42
Fe	mg/l	0.014	0.018	0.027	0.019	
Mn	mg/l	0.004	0.005	0.018	0.006	0.009
Al	mg/l	0.009	0.014	0.022	0.018	
As	ug/l	0.09	0.14	0.33	0.42	1.84
Ba	ug/l	8.36	4.74	2.65	1.62	
Cd	ug/l	0.04	0.05	0.08	0.06	0.24
Co	ug/l	0.02	0.03	0.10	0.04	
Cr	ug/l	0.06	0.13	0.40	0.39	
Cu	ug/l	1.99	2.41	2.71	3.02	6.16
Ni	ug/l	0.25	0.41	0.71	0.63	
Pb	ug/l	2.30	3.74	3.99	5.80	12.91
Zn	ug/l	16.29	13.08	14.37	10.38	21.04

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

Hydrologiska år		99/00	98-00 medel 3 år	95-97 medel 3 år	92-94 medel 3 år	87-89 medel 3 år
H	kg/ha	0.07	0.08	0.09	0.13	0.23
Ca	kg/ha	3.82	2.92	2.23	2.80	4.10
Mg	kg/ha	1.55	1.13	1.04	1.11	1.22
Na	kg/ha	4.32	2.95	2.08	1.75	2.10
K	kg/ha	17.35	14.07	9.83	8.62	8.89
SO ₄ -S	kg/ha	3.58	3.74	3.69	5.17	9.19
Cl	kg/ha	3.67	3.02	3.08	3.77	3.58
NO ₃ -N	kg/ha	0.26	0.34	0.29	0.43	1.15
NH ₄ -N	kg/ha	0.28	0.37	0.35	0.33	1.14
Fe	kg/ha	0.19	0.18	0.14	0.14	
Mn	kg/ha	0.89	0.70	0.65	0.88	0.87
Al	kg/ha	0.21	0.20	0.19	0.15	
As	g/ha	2.46	2.25	2.73	4.55	10.88
Ba	g/ha	41.74	30.19	18.89	21.66	
Cd	g/ha	0.26	0.29	0.35	0.32	1.64
Co	g/ha	0.28	0.31	0.41	0.33	
Cr	g/ha	0.76	0.95	1.63	1.88	
Cu	g/ha	25.97	26.42	24.21	30.02	54.84
Ni	g/ha	3.63	3.62	3.99	3.79	
Pb	g/ha	23.99	26.22	28.03	34.35	88.97
Zn	g/ha	123.80	104.12	99.15	96.50	209.46

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

Hydrologiska år		99/00	98-00 medel 3 år	95-97 medel 3 år	92-94 medel 3 år	87-89 medel 3 år
pH		4.89	4.80	4.63	4.53	4.32
Ca	mg/l	0.75	0.61	0.72	0.74	0.92
Mg	mg/l	0.30	0.24	0.34	0.30	0.27
Na	mg/l	0.85	0.59	0.66	0.47	0.50
K	mg/l	3.41	2.93	3.15	2.29	2.01
SO ₄ -S	mg/l	0.68	0.73	0.94	1.20	1.98
Cl	mg/l	0.70	0.59	0.77	0.87	0.82
NO ₃ -N	mg/l	0.05	0.07	0.07	0.10	0.25
NH ₄ -N	mg/l	0.05	0.07	0.08	0.08	0.25
Fe	mg/l	0.038	0.036	0.046	0.039	
Mn	mg/l	0.174	0.147	0.208	0.233	0.201
Al	mg/l	0.041	0.040	0.060	0.041	
As	ug/l	0.48	0.46	0.89	1.22	2.25
Ba	ug/l	8.20	6.27	5.99	5.74	
Cd	ug/l	0.05	0.06	0.11	0.08	0.39
Co	ug/l	0.06	0.06	0.13	0.09	
Cr	ug/l	0.15	0.19	0.55	0.50	
Cu	ug/l	5.10	5.40	7.69	7.98	12.74
Ni	ug/l	0.71	0.75	1.34	1.01	
Pb	ug/l	4.71	5.48	8.77	9.16	19.68
Zn	ug/l	24.32	21.50	32.74	25.91	48.50

Tabell 5. Transporterade mängder i avrinningen vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		99/00	98-00 medel 3 år	95-97 medel 3 år	92-94 medel 3 år	87-89 medel 3 år
H	kg/ha	0.010	0.013	0.005	0.005	0.009
Ca	kg/ha	9.08	8.69	7.61	8.69	11.45
Mg	kg/ha	3.80	3.74	3.18	3.73	4.91
Na	kg/ha	6.85	6.66	5.61	6.24	7.90
K	kg/ha	1.30	2.03	1.58	1.55	2.74
SO ₄ -S	kg/ha	7.57	7.54	7.17	7.96	11.65
Cl	kg/ha	3.18	3.17	3.26	3.65	3.90
NO ₃ -N	kg/ha	0.10	0.11	0.06	0.14	0.19
NH ₄ -N	kg/ha	0.02	0.04	0.03	0.20	0.08
Fe	kg/ha	2.63	2.56	1.90	2.20	2.59
Mn	kg/ha	0.07	0.08	0.06	0.06	0.26
Al	kg/ha	1.64	1.91	0.96	1.17	1.99
As	g/ha	10.46	10.63	5.84	7.65	4.97
Ba	g/ha	56.12	54.82	38.57	46.54	
Cd	g/ha	0.30	0.34	0.22	0.26	0.58
Co	g/ha	3.43	3.64	2.39	2.64	
Cr	g/ha	3.73	4.22	2.53	2.64	
Cu	g/ha	8.81	9.88	5.20	7.91	12.71
Ni	g/ha	14.37	14.58	9.79	10.88	
Pb	g/ha	4.38	4.79	1.96	3.00	8.21
Zn	g/ha	37.03	39.50	25.97	31.75	95.91

Tabell 6 Volymvägda medelhalter i avrinningen vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		99/00	98-00 medel 3 år	95-97 medel 3 år	92-94 medel 3 år	87-89 medel 3 år
pH		5.58	5.48	5.79	5.81	5.62
Ca	mg/l	2.39	2.25	3.02	2.53	3.30
Mg	mg/l	1.00	0.97	1.27	1.08	1.41
Na	mg/l	1.80	1.73	2.22	1.82	2.28
K	mg/l	0.34	0.53	0.63	0.44	0.80
SO ₄ -S	mg/l	1.99	1.95	2.81	2.32	3.36
Cl	mg/l	0.84	0.82	1.30	1.07	1.15
NO ₃ -N	mg/l	0.03	0.03	0.02	0.04	0.05
NH ₄ -N	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.06	0.02
Fe	mg/l	0.69	0.66	0.80	0.63	0.75
Mn	mg/l	0.02	0.02	0.02	0.02	0.07
Al	mg/l	0.43	0.49	0.36	0.34	0.57
Färg	mgPt/l	89	92	66	77	77
ANC	uekv/l	61	59	58	49	56
As	ug/l	2.75	2.71	2.21	2.21	1.42
Ba	ug/l	14.74	14.01	14.71	13.5	
Cd	ug/l	0.08	0.09	0.08	0.07	0.16
Co	ug/l	0.90	0.93	0.90	0.76	
Cr	ug/l	0.98	1.08	0.94	0.77	
Cu	ug/l	2.31	2.52	1.94	2.24	3.57
Ni	ug/l	3.77	3.74	3.71	3.21	
Pb	ug/l	1.15	1.22	0.74	0.85	2.35
Zn	ug/l	9.73	10.14	10.01	9.13	26.56

Tabell 7. Nederbörd och avrinning vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år	99/00	98-00 medel 3 år	95-97 medel 3 år	92-94 medel 3 år	87-89 medel 3 år
Nederbörd mm	814	761	550	624	635
Krondropp mm	528	512	403	431	461
Avrinning mm	381	387	261	343	349

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 Rönnskärsverket 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 Rönnskärsverket. 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 Rönnskärsverken. 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 Rönnskärsverket 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 arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

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

Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

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

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



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

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

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

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

www.ivl.se