

Episodförsurning i Norrbotten

Återhämtning och framtidsutsikter

Hjalmar Laudon

Institutionen för Skogsekologi SLU, 901 83 Umeå



LÄNSSTYRELSEN
I NORRBOTTENS LÄN
R A P P O R T S E R I E
NUMMER 2/2002

Episodförsurning i Norrbotten

Återhämtning och framtidsutsikter

Hjalmar Laudon

Institutionen för Skogsekologi SLU, 901 83 Umeå

På framsidan: Y1. Kihlankijoki i september 2002.
Foto, Länsstyrelsen i Norrbottens län

Referent: Lars Lindqvist
Tryck: Länsstyrelsens tryckeri, 2002
Upplaga: 100 ex
ISSN: 0283-9636

Länsstyrelsen i Norrbottens län
Sektor Livsmiljö
Funktionen för Miljöanalys
Postadress: 971 86 Luleå
Besöksadress: Stationsgatan 5
Telefon: 0920-960 00

Innehållsförteckning

FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	4
INLEDNING	5
METODER	6
AVRINNINGSOMRÅDEN	6
VATTENKEMISKA DATA	7
DEPOSITION	7
FÖRINDUSTRIELL VATTENKEMI UNDER HÖGFLÖDEN	7
EPISODMODELLEN.....	8
MODELL FÖR REGIONAL BEDÖMNING SURSTÖTAR	10
BEDÖMNING AV PÅVERKANSGRAD.....	10
RESULTAT	11
FÖRSURANDE LUFTFÖRORENINGAR.....	11
ÅRSVARIATIONER I VATTENKEMIN.....	11
EPISODKEMI.....	15
MODELLBERÄKNINGAR - VÅRFLOD.....	16
MODELLBERÄKNINGAR - HÖSTEPISODER	21
REGIONALBEDÖMNING.....	21
SLUTSATSER	23
MINSKAT FÖRSURNINGSTRYCK	23
SKOGSBRUKSEFFEKTER.....	24
FÖRSURNINGENS EKOLOGISKA BETYDELSE.....	24
REKOMMENDATIONER FÖR FORTSATT ÖVERVAKNING	26
REFERENSER	27

Förord

Länsstyrelsen i Norrbottens län har sedan början av 1990-talet utfört intensiva mätningar av vattenkvaliteten i fem vattendrag i länet. Detta är en del av det regionala miljöövervakningsprogrammet vilket syftar till att följa s.k. surstötar i samband med högflöden, mellanårsvariation samt långtidsutveckling i vattendragen. Prover för analys av vattenkemi tas vid ca. 40 tillfällen varje år och bottenfauna samlas in två gånger per år. Övervakningen kompletteras även med regelbunden provtagning av nederbörd på olika platser i länet för att registrera förändringar och regionala skillnader av nederbördens innehåll av bl.a. oorganiska svavel- och kväveföreningar vilka kan bidra till försurning.

Målet med denna rapport är att sammanställa data från perioder med högt vattenflöde (vår och höst) i vattendragen under åren 1990-1999 och utvärdera i vilken grad surstötar beror på naturligt respektive antropogent betingade faktorer. Den mänskliga påverkan i detta sammanhang innebär främst deposition av lufttransporterade försurande ämnen som kan bidra till surstötar.

Hjalmar Laudon på Institutionen för Skogsekologi vid SLU i Umeå fick i uppdrag att utföra studien och har samtidigt utvärderat trendförändringar i vattenkemi för de fem vattendragen under denna tidsperiod. Även försurningskänsligheten i länet sammanfattas i denna rapport. Länsstyrelsen kommer att fortsätta övervakningen av vattendragen för att kunna följa den intressanta utvecklingen ytterligare.

Sammanfattning

Vårflods- och höstepisoddata från fem vattendrag, insamlade mellan 1990 och 1999 inom ramen för miljöövervakningsprogrammet i Norrbottens län, har analyserats. Med hjälp av episodmodellen (Bishop m. fl. 2000; Laudon, 2000; Laudon m. fl. 2001) har den depositions-betingade försurningen i samband med totalt 44 snösmältnings- och 13 regneepisoder kvantifierats. Dessutom presenteras en utvärdering av trendförändringar i vattenkemin under 1990 talet samt en regional bedömning av försurningskänsligheten i Norrbotten.

Det var framförallt naturliga faktorer som orsakade ANC- (förmågan att neutralisera surgörande ämnen) och pH-sänkningar i samband med de analyserade snösmältnings- och regneepisoderna. Mer än 90 % av alla analyserade episoder påvisade en mindre än 15-procentig antropogen påverkan på ANC eller mindre än 0.3 pH-enheters påverkan på pH. Sett ur ett regionalt perspektiv så är idag mindre än 10 % av länets ytvatten mer än *obetydligt påverkat* av försurning. Denna siffra ska jämföras med 24 % i samband med vårfloden 1990. Inga generella trendförändringar i årsmedelvärdena av vattenkemin p.g.a. försurning eller skogsbruk kunde påvisas.

Samtliga av de studerade vattendragen påvisade en markant minskad antropogen påverkan i samband med vårfloden. Minskningen mellan 1990 och 1999 var i genomsnitt drygt 50 % och motsvarar väl halveringen av svaveldeposition i länet under samma tidsperiod. Detta visar att en förändring av försurningsbelastningen i Norrland ger omedelbara effekter på vattenkemin. En minskning av utsläppen av försurande ämnen, vilket leder till lägre halter i depositionen, kommer därför att ge en mindre försurningspåverkan i samband med snösmältningen samma år. En snabb försurningsåterhämtning har därför påbörjats och kommer att fortsätta p.g.a. det minskade depositionstrycket av svavel i länet.

Av de fem vattendragen som ingått i studien var det endast ett, Rokån, där vattenkemin i samband med vårfloden var av sådan karaktär att ekologiska skador på fisk (öring) skulle kunna förväntas. Även utan antropogen påverkan skulle Rokån ha ett pH som i samband med både vårflods- och regneepisoder faller under pH 5.0. Rokån var också det vattendrag som påvisade den största antropogena försurningen i samband med både vårflods- och regneepisoder.

Miljöövervakningsprogrammet för Norrbottens län visar på styrkan och nödvändigheten av nationell och regional miljöövervakning för vår förståelse av människans inverkan på vår akvatiska miljö. Data från de fem norrbottniska vattendragen visar på en snabb försurningsåterhämtning i samband med vårfloden, vilket är den mest ekologiskt kritiska tidsperioden på året i dessa system. Liknande resultat har tidigare inte kunnat påvisas för enskilda vattendrag p.g.a. avsaknad av data. Med stor tydlighet visar resultaten i den här rapporten att avsaknaden av kontinuerliga tidsserier av högflödesdata i andra län gör förståelsen av återhämtningsförloppet i dessa delar av Norrland betydligt mer begränsad.

Det här projektet hade inte varit möjligt utan stöd från Gunnar Brännström, Lars Lindquist och Lisa Lundstedt vid Länsstyrelsen i Norrbottens län.

Inledning

Trots att vetenskapen om högflödens ekologiska betydelse funnits i landet sedan i slutet av 1980-talet så utgör idag avsaknaden av tillgängliga data förmodligen det största hindret för att i mer detalj utröna försurningspåverkan i samband med regn och snösmältningsepisoder i Norrland. Ännu sämre är tillgången på långa tidsserier för att följa trender och utveckling av försurningsproblematiken under episoder. Ett undantag till denna generella avsaknad av episoddata i Norrland utgör det datamaterial som länsstyrelsen i Norrbotten insamlat inom ramen för länets miljöövervakningsprogram mellan åren 1990 och 2000. Detta datamaterial är unikt, inte bara därför att det med hög kvalitet insamlats och analyserats utan också för att man systematiskt följt samma vattendrag under tio år.

Högflöden eller ”episoder” i samband med regn och framförallt snösmältningen är för många organismer i norrländska vattendrag viktiga ekologiska tidpunkter på året. Vårfloden är speciellt viktig eftersom upp till hälften av årsavrinningen kommer i små och medelstora vattendrag under de tre till fyra veckor på våren som snösmältningen pågår. I samband med dessa högflöden sker även dramatiska vattenkemiska förändringar, i form av pH-sänkningar, s.k. ”surstötter”, som utgör naturliga begränsningar för allt levande i ekosystemen. Tyvärr är episoder i Norrland också utsatta för en försurningsbelastning som medför en påverkan på flora och fauna utöver den naturliga vilket i värsta fall kan slå ut vissa känsliga arter. Försurningssituationen under snösmältningen försvåras ytterligare av att våren är en tid på året då många fiskarter befinner sig i känsliga utvecklingsstadier.

Orsaken till att surstötter uppstår i samband med vårfloden är dock mycket komplex och sur nederbörd är bara en av många möjliga faktorer. Naturliga orsaker kan ge upphov till minst lika kraftiga surstötter. Det är också svårt att utifrån biologiska indikationer på minskad fiskförekomst fastställa den antropogena eller depositionsbedingade försurningens (som orsakas av luftföroreningar) utbredning, eftersom andra faktorer som skogsbruk, flottning, vandringshinder och överfiskning kan ge upphov till liknande effekter på fiskbestånd i vattendrag. Dessutom kan det ta flera årtionden innan biologin återhämtar sig trots reella förbättringar i vattenkemin.

Förståelsen för hur viktig försurningspåverkan på Norrländska vattendrag är i samband med högflöden har tidigare varit begränsad. Dels har detta berott på svårigheten med att använda biologiska parametrar som försurningsindikatorer men också p.g.a. avsaknaden av metoder för att vattenkemiskt kvantifiera och separera den naturliga surheten från den depositionsbedingade försurningen i samband med högflöden. P.g.a. denna begränsning i förståelsen av försurningstrycket i samband med högflöden har, för naturvårdsverkets räkning, den s.k. ”Episodmodellen” utvecklats (Bishop m. fl. 2000; Laudon 2000; Laudon m. fl. 2001). Episodmodellen är ett operationellt verktyg för att separera naturlig surhet från antropogen försurning i samband med högflödesepisoder baserad på dagens samlade kunskapsläge.

I denna rapport används episodmodellen på de 44 vårflodsepisoder och 13 regnepisoder med väldefinierat basflöde och tydlig surstöt som insamlats i Norrbottens läns miljöövervakningsprogram. En regional analys av försurningskänsligheten i Norrbotten presenteras också tillsammans med en utvärdering av trendförändringar i vattenkemin under 1990 talet.

Metoder

Avrinningsområden

I Norrbottens läns miljöövervakningsprogram av episodkemi har fem vattendrag följts. De fem vattendragen ligger fördelade över hela Norrbottens län där Akkarjåkkå ligger i Kiruna kommun, Bergmyrbäcken i Arvidsjaur kommun, Rokån i Piteå kommun, Viepsajåkkå i Arjeplogs kommun och Yl. Kihlankijoki ligger i Pajala kommun (Figur 1). Fördelning av marktyp/vegetation, jordarter samt geologi visas i tabell 1.

Tabell 1. Fördelning av marktyp, vegetation, jordarter samt geologi i de fem avrinningsområdena.

	Akkarjåkkå	Bergmyrbäcken	Rokån	Viepsajåkkå	Yl.Kihlankijoki
Avrinningsområde (km ²)	20	17	85	77	65
Utlopp (m) höjd över havet	550	380	215	500	190
Skogsbrukspåverkan	Obetydlig	Obetydlig	Betydande	Obetydlig	Någon
Marktyp (%)					
Vatten	1	2	0	2	0
Tallskog	0	0	3	0	22
Granskog	0	5	21	0	8
Lövsog	12	0	0	51	0
Blandskog	3	66	50	4	57
Myrmark	2	19	25	4	12
Rished/äng	61	8	0	32	0
Alpin hed/äng	21	0	0	6	0
Exploaterad mark	0	0	0	0	0
Jordarter (%)					
Torv	2	19	25	6	12
Finsediment	0	0	0	0	3
Morän	72	79	62	77	37
Grovsediment	11	0	13	0	46
Berg	14	0	0	14	1

	Geologi	(%)
Akkarjåkkå	Intermediär vulkanit	37
	Kvartsporfy	35
	Basisk vulkanit	17
	Granit	7
	Gabbro-diorit	3
	Sediment-biotit skiffer-gnejs	1
Bergmyrbäcken	Granit	100
Rokån	Gråvacka migmatit amfibolit	82
	Amfibolit	18
Viepsajåkkå	Biotit/muskovit skiffer	70
	Kvartsit	20
	Granit	10
Yl.Kihlankijoki	Granit-gnejs	50
	Granit-pegmatit	50



Figur 1. Avrinningsområden (mörka punkter) samt nederbördsstationer (öppna kvadrater) på en karta av norra Sverige.

Vattenkemiska data

Totalt har över 1 000 vattenprover samlats in från de fem vattendragen. Av dessa så har över 800 analyserats med avseende på anjoner och katjoner (och en rad andra vattenkemiska parametrar som inte använts i den här rapporten) på Institutionen för Miljöanalys vid SLU (se Wilander m. fl. 1998 för detaljer vad gäller analysmetoder och analysosäkerheter). Det var dock inte förrän 1995 som totalt organiskt kol (TOC) började analyseras. För att överbrygga avsaknaden av TOC från tidigare år så har relationen mellan färg (mg Pt/l) och TOC beräknas för åren 1995 till 1999 för varje enskilt vattendrag. Korrelationen har sedan använts för att beräkna TOC för åren innan mätningar satte igång.

Årsvariationer i vattenkemin har analyserats på månadsviktade medelvärden med den icke-parametriska metoden Seasonal Kendall (Hirsch & Slack, 1984).

Utöver vattenkemin som använts för att studera dynamiken i de individuella vattendragen så har ett regionalt vattenkemiskt datamaterial från riksinventeringen av sjöar 1990 använts (Bernes, 1991). Det senare datamaterialet har använts för att utvärdera den regionala påverkansgraden av episodisk försurning i Norrbotten.

Deposition

Data från den nationella och regionala miljöövervakningen av deposition av svavel och nitrat för vintrarna 1989-1999 har använts. Månadsvärden av depositions-kemin har hämtats från IVL Svenska Miljöinstitutets hemsida (<http://www.ivl.se/>). Vinterperioden definieras som månaderna november till och med maj. Skalning av dagens deposition (Kindbom m. fl. 1998) till 1990 års respektive 2010 års predikterade deposition har gjorts efter Warfvinge & Bertills (2000).

Förindustriell vattenkemi under högflöden

En modell för att kvantifiera hur stor del av Acid Neutralisation Capacity- (ANC) och pH-nedgången i samband med högflöden som orsakas av antropogena, dvs. den depositions-betingade, respektive naturliga aciditetskällor, har använts för snösmältnings- respektive regnstyrda högflöden från Norrbotten. Episodmodellen, som här kallas BDM

(Boreal Dilution Model), beräknar hur kemin i ett vattendraget skulle se ut utan inverkan av försurande luftföroreningar, det vill säga en naturlig vattenkemi under flödesepisoder (Bishop m. fl. 2000; Laudon, 2000; Laudon m. fl. 2001). Vid varje enskild tillämpning av BDM utgår modellen alltid från basflödeskemin i vattendraget innan episoden och beräknar därifrån vad som naturligt händer under högflödet utan den antropogena påverkan från försurande deposition.

Eftersom det i första hand är förändringar i pH (och pH-beroende förändringar av aluminiums förekomstformer) och inte i ANC som fisk och andra vattenlevande organismer reagerar på så är pH speciellt intressant då det gäller modellering av de förindustriella förhållandena. Eftersom ANC styr pH är det naturligt att basera modellberäkningen på begreppet buffertkapacitet för att beräkna de förindustriella syra-basförhållandena under högflöden (se nedan).

Naturliga vattens pH-värde är beroende av vattnets buffrande förmåga och antal fria vätejoner i systemet. För att en förändring av pH ska ske, till exempel under en högflödesepisod, måste dessa halter och relationer förändras. BDM tar hänsyn till dessa faktor och beräknar därefter den antropogena påverkan på den naturliga episodiska ANC- och pH-nedgången. BDM bygger på väldokumenterad vattenkemisk jämviktsmodellering och tar hänsyn till koldioxidsystemet, syra-basegenskaper hos DOC samt vattnets autoprotolys.

För att episodmodellen ska fungera tillfredsställande så måste tre antaganden uppfyllas. Dessa antaganden är att;

1. ANC och pH under basflöde antingen är opåverkad av försurning eller kan korrigeras. Att basflödet i Norrbotten inte påverkats av antropogen försurning styrks av paleolimnologiska studier i Västerbotten och Norrbotten (Korsman, 1993; 1999). För att testa känsligheten i modellen för en eventuell påverkan på basflödet så kan F-faktorn enligt Wilander m. fl. (1998) användas.
2. Baskatjoner är ett bra mått på den naturliga utspädningen av ANC under högflödesepisoder. Att så är fallet har visats i en rad studier i både Sverige och utomlands (tex. Laudon, 2000)
3. TOC har inte förändrats av skogsbruk, dikning, eller försurning. Detta styrks av paleolimnologiska studier där färgtalet i sjöar i Västerbotten och Norrbotten inte förändrats de senaste 200 åren (Korsman, 1993). Större vattendrag i Sverige uppvisar inte heller någon trend de senaste 20 åren som skulle kunna härledas till dikning, skogsbruk eller annan mänsklig påverkan. Snarare finns en tydlig samvariation mellan TOC och nederbörd (Löfgren & Fölster, 1998).

En mer utförlig beskrivning av dessa antaganden återges i Laudon (2000) och Laudon m. fl. (2001).

Episodmodellen

Episodmodellen bygger på ett koncept framarbetat i projektet "Acid episodes in Northern Sweden: The separation of natural acidity from anthropogenic acidification" med stöd från både Naturvårdsverkets forskningsavdelning och kalkningsenhet (Laudon 2000; Laudon m. fl. 2001). Episodmodellen är uppbyggd av en relativt komplex vattenkemisk modellerings-procedur. Ett användarvänligt verktyg för att köra episodmodellen har därför tagits fram med syftet att underlätta en optimering av framtida kalkningsåtgärder i områden med utpräglad surstötsproblematik under vårflood och höstepisoder, samt underlätta så att övervakningen av

episoder ska komma igång i de regionala miljöövervakningsprogrammen på samma sätt som i Norrbotten. Den användarvänliga modellen, som också använts i den här rapporten, ger tjänstemän och andra intresserade, utan kemisk skolning, möjlighet att använda ett avancerat utvärderingsverktyg utan att fastna i komplex kemisk jämviktsmodellering. Modellen och anvisningar för hur den ska användas finns också att hämta på hemsidan <http://www.sek.slu.se/personal/hlaud/hjalmar.htm>.

BDM bygger på observerat ANC ($ANC_{(obs, t)}$) (Ekv. 1) samt på ett utspädnings index ($DI_{(t)}$; Ekv. 2) vid en tidpunkt "t" under ett högflöde. I episodmodellen används summan av baskationer ($BC = 2*[Ca^{2+}] + 2*[Mg^{2+}] + [Na^+] + [K^+]$) som DI för att kvantifiera den naturliga utspädningen av både BC och de antropogent signifikanta anjonerna sulfat och nitrat ($[SO_4^{2-}] + [NO_3^-]$). Genom att använda Ekvation 3 så kan den naturliga, förindustriella ANC ($ANC_{(förind, t)}$) beräknas. Differensen mellan den beräknade naturliga $ANC_{(förind, t)}$ (Ekv. 3) och den observerade $ANC_{(obs, t)}$ (Ekv. 1) är den antropogena påverkan på ANC (? $ANC_{(försur, t)}$, Ekv. 4)) under en högflödesepisod.

$$ANC_{(obs, t)} = 2*[Ca^{2+}]_{(t)} + 2*[Mg^{2+}]_{(t)} + [Na^{2+}]_{(t)} + [K^+]_{(t)} - [Cl^-]_{(t)} - 2*[SO_4^{2-}]_{(t)} - [NO_3^-]_{(t)}$$

$$= BC_{(t)} - 2*[SO_4^{2-}]_{(t)} - [NO_3^-]_{(t)} - [Cl^-]_{(t)} \quad (\text{Ekv. 1})$$

$$DI_{(t)} = BC_{(t)} / BC_{(basflöde)} \quad (\text{Ekv. 2})$$

$$ANC_{(förind, t)} = DI_{(t)} * (BC_{(basflöde)} - 2*[SO_4^{2-}]_{(basflöde)} - [NO_3^-]_{(basflöde)}) - [Cl^-]_{(t)} \quad (\text{Ekv. 3})$$

$$? ANC_{(försur, t)} = ANC_{(förind, t)} - ANC_{(obs, t)} \quad (\text{Ekv. 4})$$

Eftersom pH och ANC är kemiskt relaterade så kan $pH_{(förind, t)}$ beräknas från $ANC_{(förind, t)}$. Förenklat kan detta uttryckas som;

$$[H^+]_{(förind, t)} = [HCO_3^-]_{(t)} + [RCOO^-]_{(t)} + [OH^-]_{(t)} - ANC_{(förind, t)} \quad (\text{Ekv. 5})$$

där $RCOO^-$ halten kan uppskattas med en modellberäkning (DOC syra-basmodellen beskrivs närmare i Köhler, 1999; Laudon m.fl., 2000). Koncentrationen av HCO_3^- och OH^- beräknas med kemisk jämviktsberäkning. Eftersom flera av de i ekvation 5 ingående komponenterna är pH-beroende så måste lösningen av förindustriella vätejonhalten titreras fram. Från $[H^+]_{(förind)}$ kan sedan $pH_{(förind)}$ beräknas enligt ekvation 6.

$$pH_{(förind)} = -\log([H^+]_{(förind)}) \quad (\text{Ekv. 6})$$

På liknande sätt som för ANC beräknas ? $pH_{(försur)}$ som skillnaden mellan $pH_{(obs, t)}$ och $pH_{(förind, t)}$ (Ekv. 7).

$$? pH_{(försur, t)} = pH_{(förind, t)} - pH_{(obs, t)} \quad (\text{Ekv. 7})$$

För att testa känsligheten i antagandet att basflödet inte påverkats av försurande deposition så kan F-faktorn enligt Wilander m. fl. (1998) användas för att korrigera både ANC och pH. En detaljbeskrivning av denna beräkningsprocedur återges i Bishop m. fl. (2000), Laudon (2000), Laudon m. fl. (2001).

Modell för regional bedömning surstötter

För att mer regionala bedömningar av surstötsproblematikens utbredning ska vara möjliga så har en enpunktsmetod utvecklats (Laudon 2000; Laudon & Bishop, 2000). Enpunktsmetoden, pBDM (one point Boreal Dilution Model) bygger en stark korrelation mellan SO_4^{2-} -depositionen och den antropogena ANC-förlusten ($\Delta\text{ANC}_{\text{försur}}$) i samband med vårfloden (Laudon 2000). Modellen kan användas till att översiktligt utvärdera ett antal vattendrag för att hitta försurningskänsliga områden som kan behöva studeras mer noggrant med BDM. Enpunktsmodellen kan med relativt små insatser ge en regional översikt av försurningskänsligheten under vårfloden (Laudon, 2000). pBDM kan också användas till att bedöma omkalkningsbehovet i enskilda vattendrag i Norrland genom att beräkna om vattendrag som tidigare varit antropogent försurade har återhämtat sig helt eller delvis när sulfatdepositionen minskat (Laudon & Bishop 2000).

I pBDM beräknas $\Delta\text{ANC}_{\text{försur}}$ med ekvation 8.

$$\Delta\text{ANC}_{\text{försur}} = 0.52 * [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{vinterdep}} - 1.8 \quad (\text{Ekv. 8})$$

Vidare kan den förindustriella maximalflödes ANC ($\text{ANC}_{\text{förind/max}}$, Ekv. 9) beräknas genom att späda ut basflödes ANC (ANC_{bas}) så som DI (ett genomsnittligt DI för samtliga vårflods-episoder i episodprojektet är 0,5 för kust och inlandsvattendrag och 0,32 för fjällvattendrag (Laudon, 2000)). Det ANC man skulle erhålla om man hade följt vattenkemin under vårfloden (ANC_{max}) beräknas i pBDM med ekvation 10.

$$\text{ANC}_{\text{förind/max}} = \text{ANC}_{\text{bas}} * \text{DI} \quad (\text{Ekv. 9})$$

$$\text{ANC}_{\text{max}} = \text{ANC}_{\text{förind/max}} - \Delta\text{ANC}_{\text{försur}} \quad (\text{Ekv. 10})$$

Bedömning av vattendrags försurningspåverkan görs med hjälp av bedömningsgrunder för ytvatten (Wilander, 1999).

$$\text{Påverkansgrad} = \text{ANC}_{\text{max}} / \text{ANC}_{\text{förind/max}} \quad (\text{Ekv. 11})$$

Bedömning av påverkansgrad

Påverkansgraden (av antropogen försurning) görs genom att jämföra uppmätt ANC ($\text{ANC}_{(\text{obs}, t)}$, Ekv. 1) med förindustriellt ANC ($\text{ANC}_{(\text{förind}, t)}$, Ekv. 3), beräknat med BDM, när vattendraget är som surast, dvs. har som lägst ANC. Modellen väljer ut de tre provtillfällen i rad då vattnet har lägst ANC under episoden. Sedan beräknas den genomsnittliga kvoten $\text{ANC}_{(\text{obs}, t)} / \text{ANC}_{(\text{förind}, t)}$ för de tre provtillfallen och jämförs med nedanstående tabell för att få ut påverkansgrad.

Påverkansgraden (av antropogen försurning) då pBDM används beräknas med ekvation 11.

Tabell 2. Grad av försurningspåverkan i samband med episoder.

Klass	Påverkansgrad	$\text{ANC}_{(\text{obs}, t)} / \text{ANC}_{(\text{förind}, t)}$
1	<i>Obetydlig</i> påverkan	>0,75
2	<i>Måttlig</i> påverkan	0,50-0,75
3	<i>Stor</i> påverkan	0,25-0,50
4	<i>Mycket stor</i> påverkan	0,10-0,25
5	<i>Extremt stor</i> påverkan	<0,10

Resultat

Försurande luftföroreningar

Liksom i övriga delar av landet så har belastningen av försurande luftföroreningar i Norrbotten minskat betydligt sedan de värsta åren på 1970- och 1980-talet. Bara sedan slutet av 80-talet har depositionen av sulfat minskat med över 50 % på alla mätstationer i och strax söder om länet. Årsdepositionen i länet 1990 varierade mellan 1 och 5 kg-S ha/år, varav ungefär hälften kom under vintermånaderna (figur 2). Fram till idag har depositionen minskat och ligger nu mellan 0,5 och 2 kg-S ha/år, även om variationer kan förekomma mellan olika år och lokaler. De lägsta halterna är uppmätta i fjälltrakten runt Abisko medan de högsta halterna påträffas längs Bottenvikskusten. I fjällområdena är depositionen förmodligen högre på höjderna än i dalarna, men underlaget i form av mätningar är bristfälligt (Westling & Ferm, 1997). Tidigare har depositionen i den nordöstligaste delen av länet varit förhöjd på grund av utsläpp på Kolahalvön.

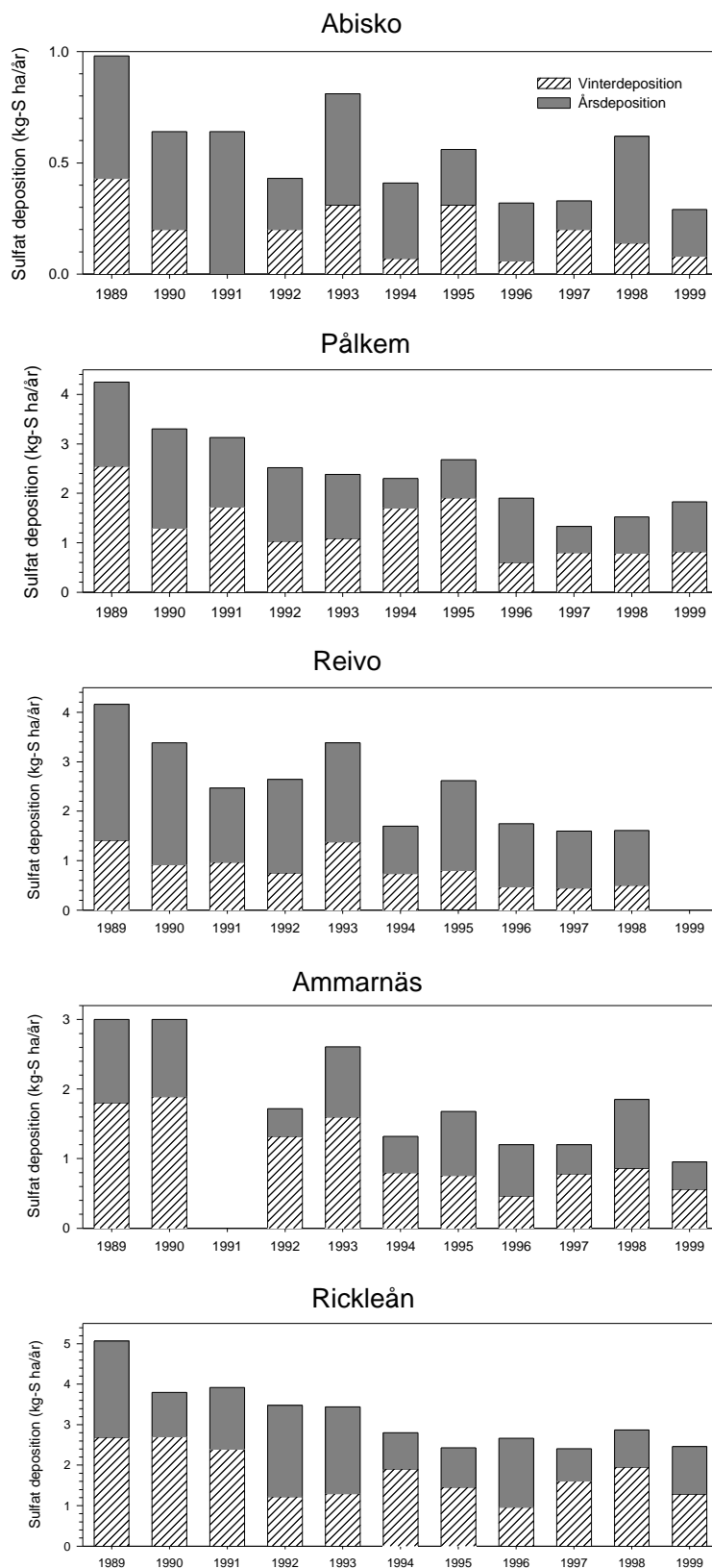
Depositionen av svavel var sannolikt högst under 1970-talet, men gradienten motsvarade förmodligen den nuvarande (Mylona, 1996). Beräkningar utgående från utsläppsdata av svavel från Europa har visat att depositionen i Norrland var ca 4 till 5 gånger högre 1970 jämfört med idag (Mylona, opublicerade data). Liknande beräkningar visar att vid ett genomförande av överenskommelserna inom ramen för Göteborgsprotokollet så kommer depositionen i Norrland att minska med ytterligare drygt 25 % fram till år 2010 (Warfvinge & Bertills, 2000).

För nitrat är situationen annorlunda. Generellt har depositionen av nitrat varit konstant i länet även om relativt stora årliga och vinterbetingade variationer förekommit (figur 3). För vissa av nederbördsstationerna kan dock en antydning till minskad nitratdeposition skönjas. Halterna av nitrat ligger allmänt under 2 kg-S ha/år och följer i stort samma gradient som depositionen av svavel med de högsta halterna vid Bottenvikskusten.

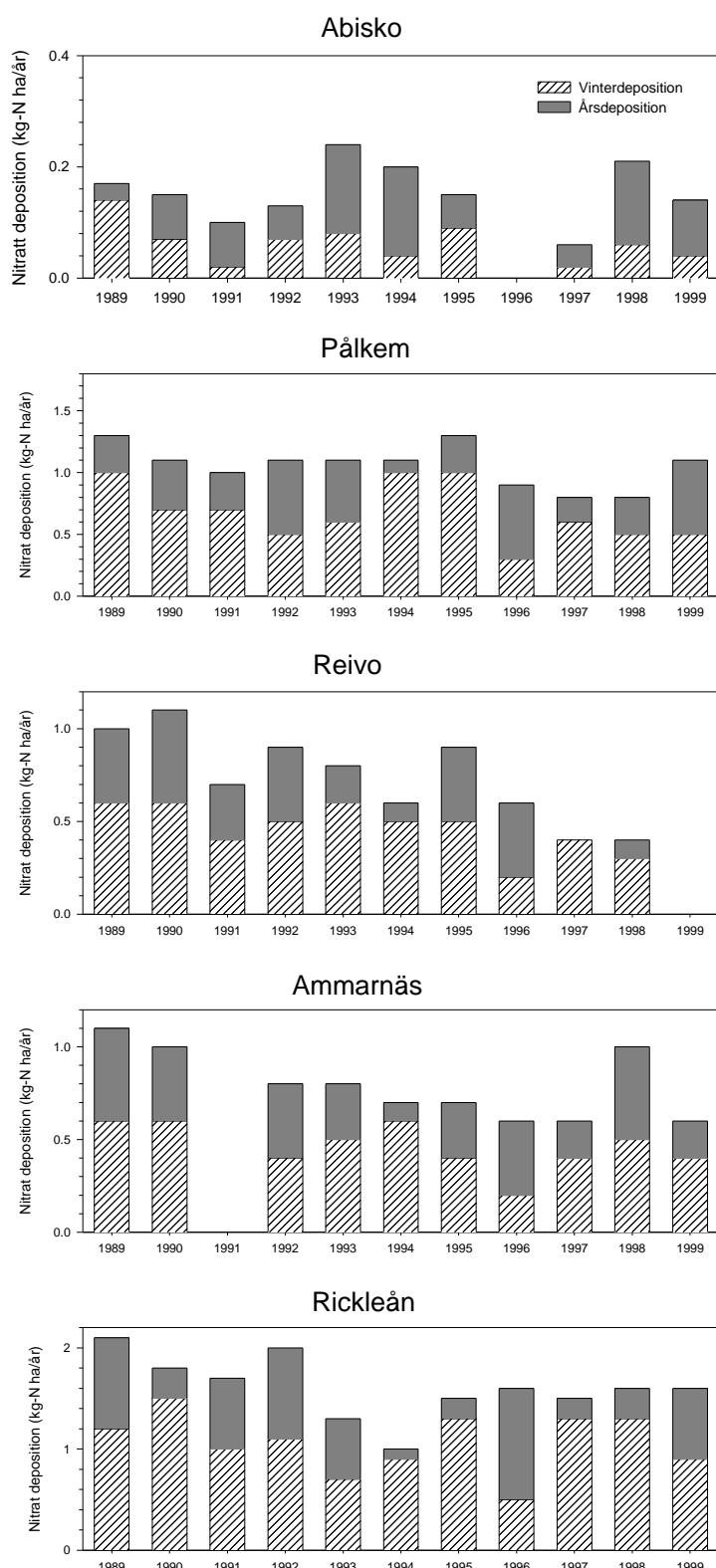
Årsvariationer i vattenkemin

Sett från ett månadsviktat årsmedelvärdesperspektiv så kunde endast mindre generella trender i vattenkemin påvisas. I endast ett fall, Akkarjåkkå, var förändringen i ANC större än 10 % under 1990-talet (tabell 3). Uppgången i ANC i Akkarjåkkå följdes av en uppgång av både baskatjoner och sulfat. I inget av vattendragen kunde någon återhämtning av ANC p.g.a. av nedgång i sulfat noteras.

I endast ett fall (klorid i Bergmyrbäcken) kunde en signifikant vattenkemisk förändring påvisas (tabell 3). I alla vattendrag, med undantag för Bergmyrbäcken, skedde de uppmätta (dock ej signifikanta) vattenkemiska förändringarna i ANC samt anjoner och katjoner i samma riktning. D.v.s. en generell uppgång eller nedgång av baskatjonkoncentrationen följdes av en liknande upp- eller nedgång av både klorid och sulfat. I Bergmyrbäcken var de vattenkemiska förändringarna små förutom för natrium och klorid. Nitrat, som generellt låg under 1 µekv/l, uppvisar inga generella tendenser på årsmedelbasis.



Figur 2. Deposition av svavel (sulfat-S) mellan 1989 och 1999 för fem stationer i eller strax söder om Norrbotten. Den nedre randiga delen av stapeln är vinterdepositionen medan hela stapeln är årsdepositionen.

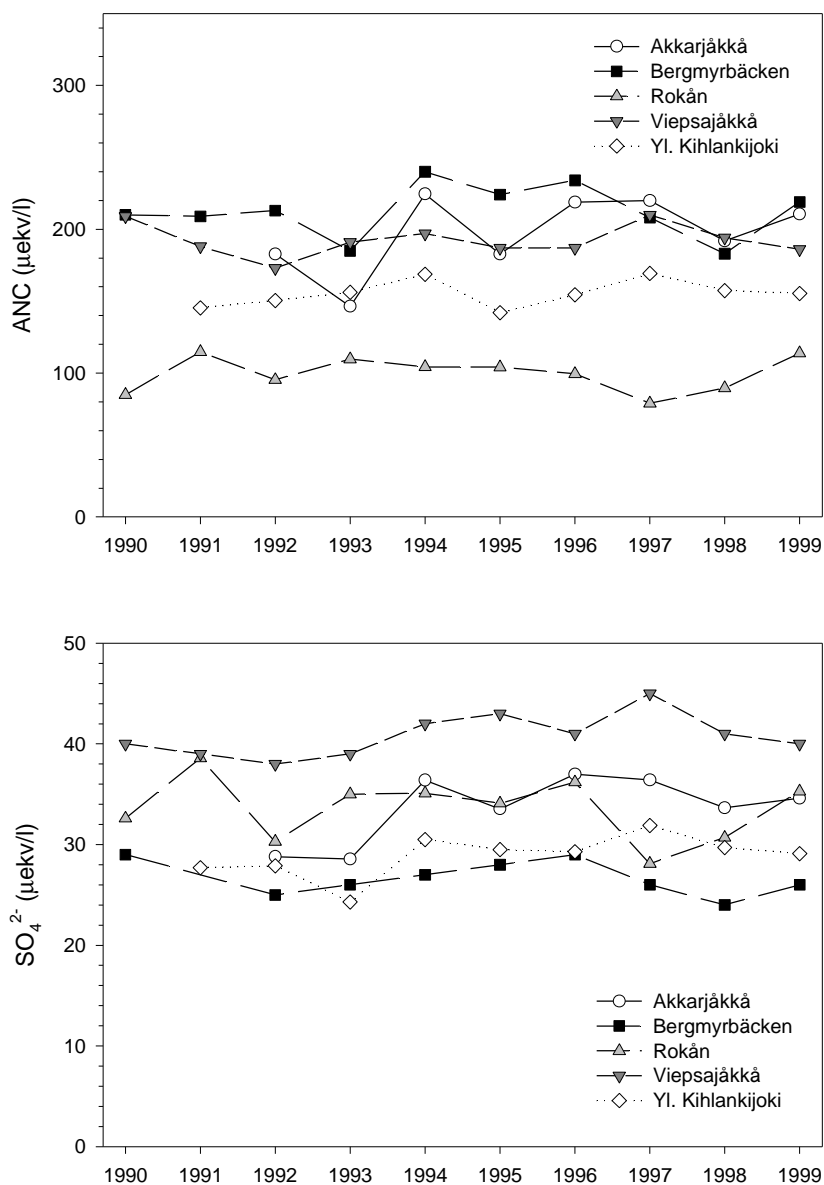


Figur 3. Deposition av kväve (nitrat-N) mellan 1989 och 1999 för fem stationer i eller strax söder om Norrbotten. Den nedre randiga delen av stapeln är vinterdepositionen medan hela stapeln är årsdepositionen.

Tabell 3. Trendförändringar i vattenkemiska årsmedelvärden för de fem vattendragen.

	Förändring i årsmedelvärde ($\mu\text{ekv/l}$ och år)							
	ANC	BC	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}
Akkarjåkkå	3,5	3,5	2,0	1,0	0,5	0,1	0,5	0,8
Bergmyrbäcken	-0,3	1,4	-0,5	0,3	1,2	0,2	1,0*	0
Rokån	-0,8	-0,7	0,2	-0,2	-0,3	0,1	0,2	-0,2
Viepsajåkkå	0,1	0,4	0,2	0	0,7	0	0,3	0,3
Yl. Kihlankijoki	1,2	1,9	0,3	0,2	0,8	0,1	0,4	0,3

*Statistiskt signifikant förändring.



Figur 4. Månadsviktade årsmedelvärden av ANC (övre diagrammet) och sulfat (nedre diagrammet) för åren 1990 till 1999.

Episodkemi

I samtliga studerade episoder noterades ett negativt samband mellan flödet i bäckarna och de flesta av de uppmätta kemiska parametrarna. Det generella mönstret i samband med både snösmältnings- och regnepisoder är en utspädning av basflödeskemin. Utspädningen, mätt som DI (utspädningsindex; eller utspädningen av baskatjoner), låg under vårfloden mellan 0.37 och 0.48 med den största utspädningen i de fjällnära vattendragen Akkarjåkkå, Bergmyrbäcken och Viepsajåkkå. Utspädningen i samband med regnepisoderna var i genomsnitt något lägre, mellan 0.55 och 0.80.

I samband med alla episoder sjönk pH mellan 0.5 och 2 pH-enheter (tabell 4). Variationen mellan olika år, vattendrag och vår- respektive höstepisoder var stor. ANC sjönk i samband med vårfloden i genomsnitt med mellan 60 % och 70 % (tabell 5). Störst var sänkningen i Viepsajåkkå. I samband höstepisoderna sjönk ANC i genomsnitt med 40 %.

Tabell 4. Basflödes (pH_{bas}) och maximalflödes pH (pH_{max}) för de observerade vårflods- och höstepisoderna.

	Akkarjåkkå		Bergmyrbäcken		Rokån		Viepsajåkkå		Yl. Kihlankijoki	
	pH_{bas}	pH_{max}	pH_{bas}	pH_{max}	pH_{bas}	pH_{max}	pH_{bas}	pH_{max}	pH_{bas}	pH_{max}
Vårfloden 90			7,67	6,46			7,62	7,08		
Vårfloden 91			IB	IB	5,95	4,87	7,51	6,85	7,33	6,92
Vårfloden 92	7,72	6,78	7,55	5,84	6,7	4,54	7,49	6,52	7,41	5,88
Vårfloden 93	7,57	6,63	7,42	6,18	IB	IB	7,54	6,84	6,97	6,36
Vårfloden 94	7,70	6,95	7,34	6,31	5,98	4,53	7,51	6,69	7,31	6,78
Vårfloden 95	7,33	5,70	7,28	5,52	5,83	4,66	7,47	6,20	7,39	5,38
Vårfloden 96	7,59	6,61	7,65	6,17	6,58	5,06	7,58	6,58	6,77	5,99
Vårfloden 97	7,62	7,22	7,06	5,77	6,27	4,84	7,53	6,25	7,36	5,57
Vårfloden 98	7,56	6,58	6,8	5,57	5,37	4,61	7,56	6,47	7,31	5,46
Vårfloden 99	7,60	6,60	7,52	7,04	5,49	4,79	7,50	6,55	7,11	6,10
(IB: inget basflöde)										
	Akkarjåkkå		Bergmyrbäcken		Rokån		Viepsajåkkå		Yl. Kihlankijoki	
	pH_{bas}	pH_{max}	pH_{bas}	pH_{max}	pH_{bas}	pH_{max}	pH_{bas}	pH_{max}	pH_{bas}	pH_{max}
Regnepisod 92										
Regnepisod 93			7,23	6,35	6,31	5,21				
Regnepisod 95	7,53	7,08								
Regnepisod 96			7,46	6,74	6,27	4,84	7,46	7,26		
Regnepisod 97	7,35	6,04	7,43	6,54					7,27	5,21
Regnepisod 98	7,45	6,67	7,00	6,63					6,90	6,56
Regnepisod 99			7,30	5,79						

Utspädningen av SO_4^{2-} och Cl^- var mindre än utspädningen av BC. För SO_4^{2-} var skillnaden störst i Bergmyrbäcken och Rokån där utspädningen av SO_4^{2-} bara var 10 % till 20 % i samband med vårfloden. Skillnaderna mellan DI och Cl^- var generellt ännu större. Speciellt uttalat var detta i Akkarjåkkå där koncentrationen av Cl^- steg i samband med vårfloden. Under höstepisoderna var skillnader mellan DI och SO_4^{2-} samt Cl^- liknande vårflodsepisoderna. Nitratkoncentrationen var genomgående mycket låg, men var dock påvisbar under de flesta vinterbasflöden. Högsta koncentrationen (5-8 $\mu\text{ekv/l}$) påvisades i Viepsajåkkå under vinterbasflödet. I samband med vårfloden och under resten av växtsäsongen försvann dock i stort sett hela nitratkoncentration ner till mellan 0 och 1 $\mu\text{ekv/l}$. Utspädningen av nitrat var således betydligt större än utspädningen av andra anjoner och katjoner.

Tabell 5. Basflödes- (ANC_{bas}) och maximalflödes-ANC (ANC_{max}) för de observerade vårflods- och höstepisoderna.

	Akkarjåkkå		Bergmyrbäcken		Rokån		Viepsajåkkå		Yl. Kihlankijoki	
	ANC_{bas}	ANC_{max}	ANC_{bas}	ANC_{max}	ANC_{bas}	ANC_{max}	ANC_{bas}	ANC_{max}	ANC_{bas}	ANC_{max}
Vårfloden 90			405	244			280	132		
Vårfloden 91			IB	IB	120	55	279	110	218	122
Vårfloden 92	421	196	308	77	185	27	259	60	230	67
Vårfloden 93	346	118	298	85	IB	IB	287	110	137	94
Vårfloden 94	417	144	282	84	173	23	266	85	207	94
Vårfloden 95	221	71	259	49	110	43	263	52	243	57
Vårfloden 96	337	96	398	107	156	65	310	83	141	70
Vårfloden 97	345	249	239	87	114	43	287	86	213	91
Vårfloden 98	319	195	177	70	120	74	299	96	212	77
Vårfloden 99	320	78	298	176	132	48	259	81	190	91

(IB: inget basflöde)

	Akkarjåkkå		Bergmyrbäcken		Rokån		Viepsajåkkå		Yl. Kihlankijoki	
	ANC_{bas}	ANC_{max}	ANC_{bas}	ANC_{max}	ANC_{bas}	ANC_{max}	ANC_{bas}	ANC_{max}	ANC_{bas}	ANC_{max}
Regnepisod 92										
Regnepisod 93			201	142	130	94				
Regnepisod 95	287	224								
Regnepisod 96			267	119	135	77	249	196		
Regnepisod 97	258	75	273	147					187	65
Regnepisod 98	273	115	158	124					156	117
Regnepisod 99			219	61						

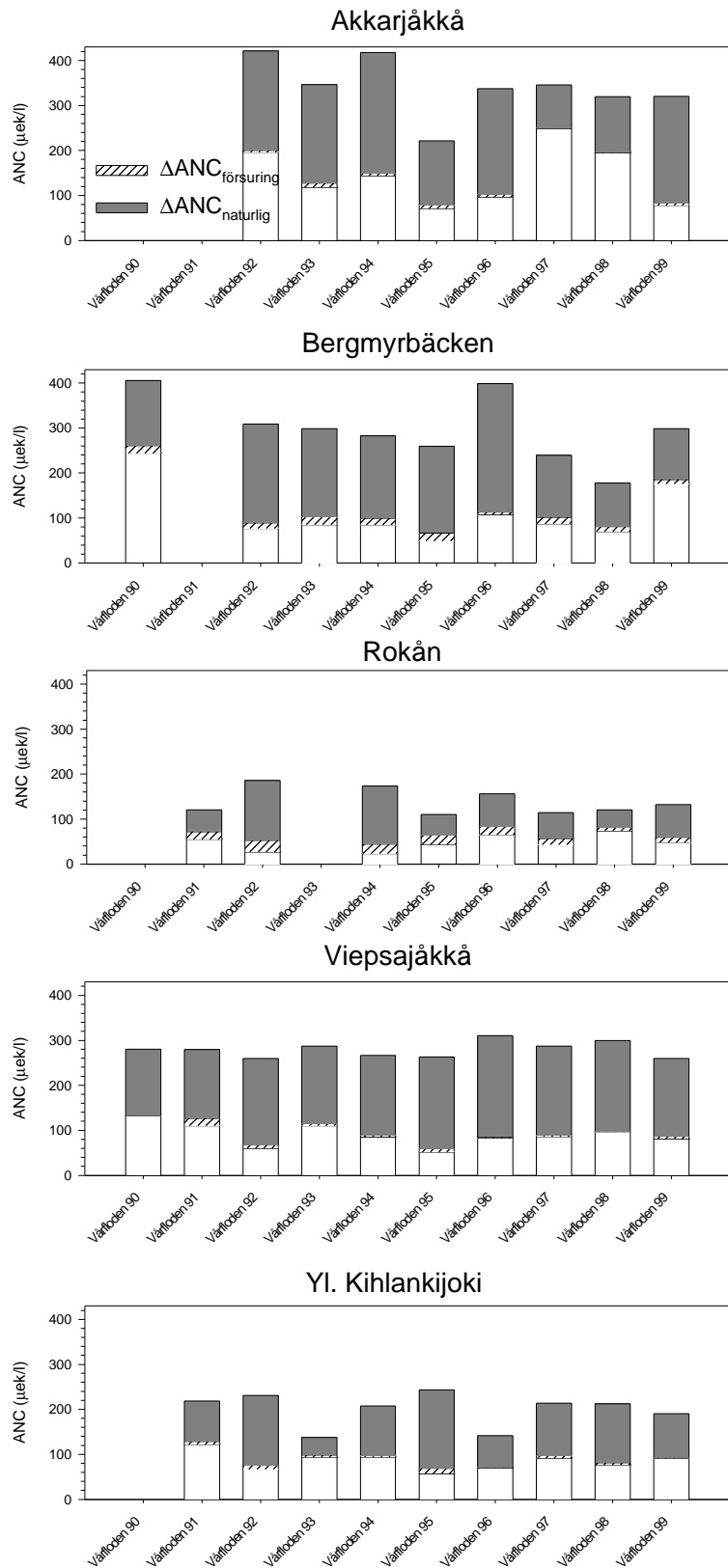
Medan de flesta oorganiska joner späddes ut steg TOC ofta kraftigt i samband med både snösmältnings- och regnepisoder. I de vattendrag med en TOC-halt på ett par mg/l i basflödet steg halten med i genomsnitt 400 % (Akkarjåkkå och Viepsajåkkå). I Rokån där basflödeshalten av TOC i basflödet låg runt 10 mg/l steg halten med upp till 200 %. I samband med höstepisoderna steg TOC-halterna mellan 150 % och 200 % för samtliga fem vattendrag.

Modellberäkningar - vårflod

I samband med de 44 analyserade vårflodsepisoderna stod utspädning för den största delen av ANC -förlusten. För de fyra mer nordliga vattendragen; Akkarjåkkå, Bergmyrbäcken, Viepsajåkkå samt Yl. Kihlankijoki bidrog det antropogena bidraget aldrig med mer än 10 % av den totala ANC -förlusten i samband med vårfloden (figur 5; tabell 6). I Rokån var det antropogena bidraget till ANC -förlusten dock något större. Som störst var bidraget 30 % medan det i genomsnitt för åren 1991 till 1999 var 19 % i Rokån. De högsta $\Delta ANC_{försurning}$ -värdena uppmättes i början och mitten av 1990-talet och har sedan minskat till 1999 års värde på 13 %.

En bedömning av påverkansgraden, beräknat utifrån tabell 2, visade att fyra av de 44 vårflodsepisoderna är *måttligt* påverkade medan de övriga 40 befanns *obetydligt* påverkade. De fyra värst drabbade vårflodsepisoderna påträffades i Bergmyrbäcken 1995 samt i Rokån 1993, 1995 och 1996.

Samtliga fem vattendrag uppvisade en markant minskning av $\Delta ANC_{försurning}$ sedan mätningarna startades. Mellan åren 1991 och 1999 minskade $\Delta ANC_{försurning}$ med över 50 % för samtliga vattendrag (figur 6). I tre av de fem vattendragen (Rokån, Bergmyrbäcken samt Viepsajåkkå) var minskningen i $\Delta ANC_{försurning}$ signifikant. Den största minskningen i $\Delta ANC_{försurning}$ (75 %) observerades i Rokån. Vidare påvisades en signifikant korrelation mellan $\Delta ANC_{försurning}$ och koncentrationen av SO_4^{2-} i snön för de fem vattendragen (figur 7), liknande de som påträffats i andra vattendrag i Norrland (Laudon, 2000).



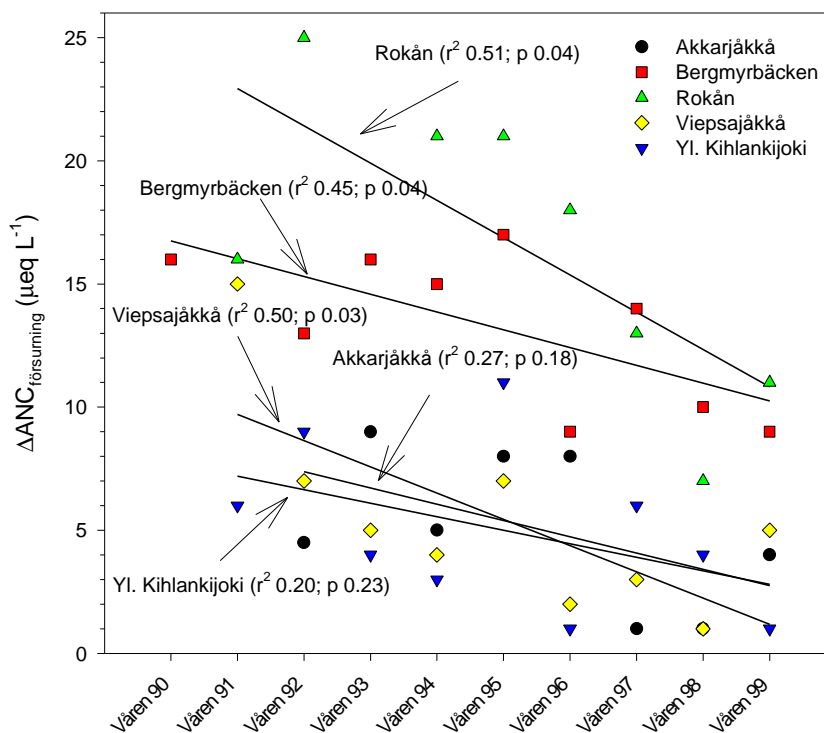
Figur 5. Variation i ANC mellan basflöde (övre delen av stapeln) och maximalt flöde (undre delen av stapeln) i samband med vårfloden i de fem vattendragen. Den mörka övre delen är den naturliga ANC nedgången medan den randiga nedre delen är orsakad av surt nedfall ($\Delta\text{ANC}_{\text{försuring}}$).

Tabell 6. $\Delta\text{ANC}_{\text{försurning}}$ och $\Delta\text{pH}_{\text{försurning}}$ för samtliga påvisade episoder.

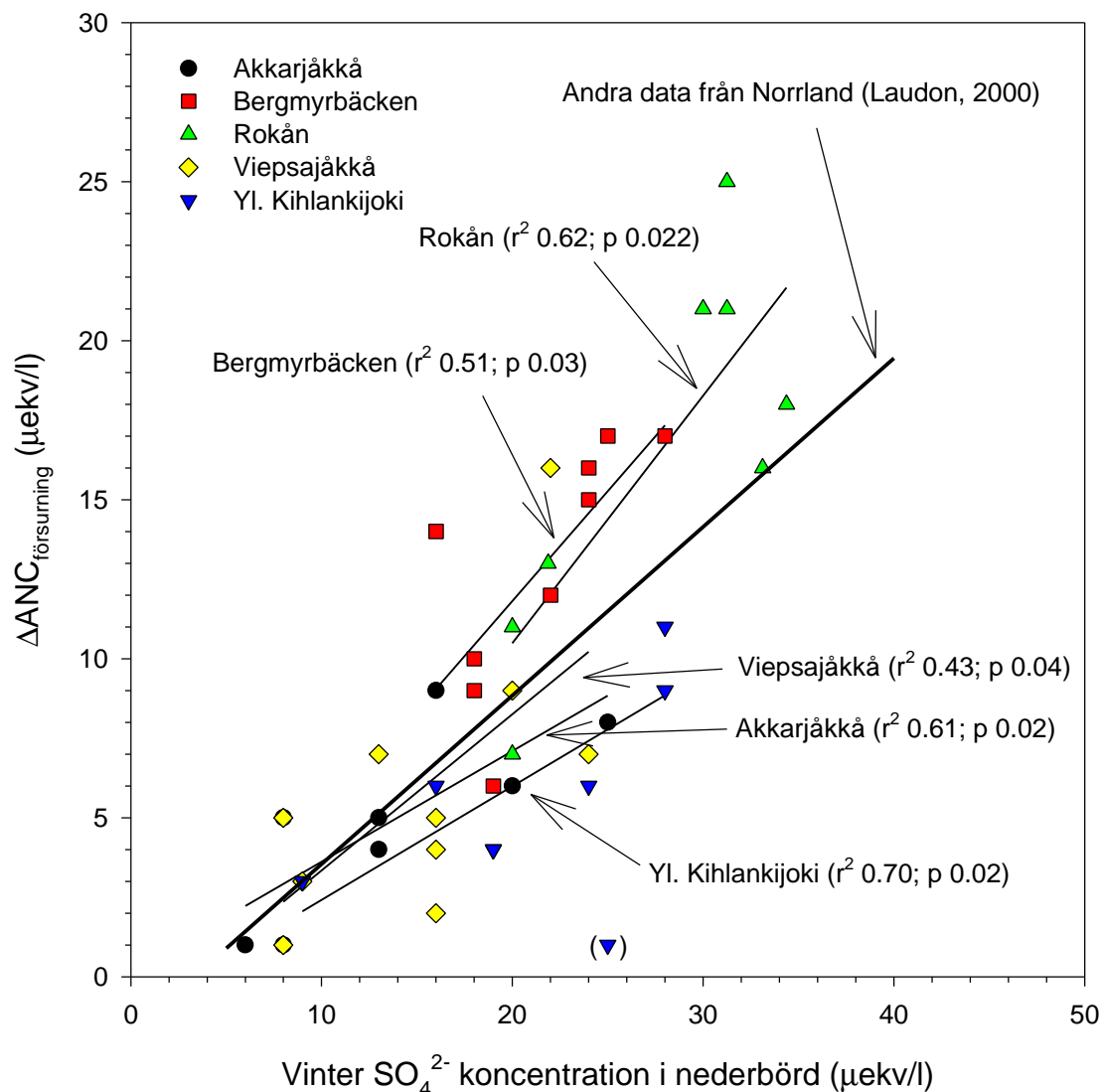
	Akkarjåkkå		Bergmyrbäcken		Rokån		Viepsajåkkå		Yl. Kihlankijoki	
	$\Delta\text{pH}_{\text{för}}$	$\Delta\text{ANC}_{\text{för}}$	$\Delta\text{pH}_{\text{för}}$	$\Delta\text{ANC}_{\text{för}}$	$\Delta\text{pH}_{\text{för}}$	$\Delta\text{ANC}_{\text{för}}$	$\Delta\text{pH}_{\text{för}}$	$\Delta\text{ANC}_{\text{för}}$	$\Delta\text{pH}_{\text{för}}$	$\Delta\text{ANC}_{\text{för}}$
Vårfloden 90			0,26	16			0,10	9		
Vårfloden 91			IB	IB	0,27	16	0,12	16	0,03	6
Vårfloden 92	0,06	4	0,24	12	0,33	25*	0,09	7	0,20	9
Vårfloden 93	0,11	9	0,26	17	IB	IB	0,04	5	0,09	4
Vårfloden 94	0,05	5	0,22	15	0,22	21*	0,03	4	0,04	3
Vårfloden 95	0,16	8	0,44	17*	0,34	21*	0,14	7	0,24	11
Vårfloden 96	0,07	6	0,10	6	0,32	18	0,02	2	0,02	1
Vårfloden 97	0,01	1	0,27	14	0,19	13	0,03	3	0,09	6
Vårfloden 98	0,01	1	0,21	10	0,10	7	0,02	1	0,06	4
Vårfloden 99	0,05	5	0,05	9	0,09	11	0,05	5	0,01	1

	Akkarjåkkå		Bergmyrbäcken		Rokån		Viepsajåkkå		Yl. Kihlankijoki	
	$\Delta\text{pH}_{\text{för}}$	$\Delta\text{ANC}_{\text{för}}$	$\Delta\text{pH}_{\text{för}}$	$\Delta\text{ANC}_{\text{för}}$	$\Delta\text{pH}_{\text{för}}$	$\Delta\text{ANC}_{\text{för}}$	$\Delta\text{pH}_{\text{för}}$	$\Delta\text{ANC}_{\text{för}}$	$\Delta\text{pH}_{\text{för}}$	$\Delta\text{ANC}_{\text{för}}$
Regnepisod 92										
Regnepisod 93			0,07	6	0,04	4				
Regnepisod 95	0,01	1								
Regnepisod 96			0,16	21	0,43	30*	0,02	6		
Regnepisod 97	0,02	2	0,07	6					0,20	10
Regnepisod 98	0,07	6	0,01	4					0,08	7
Regnepisod 99			0,25	9						

*Påverkansgraden var *måttlig*. I övriga fall var påverkansgraden *obetydlig*.

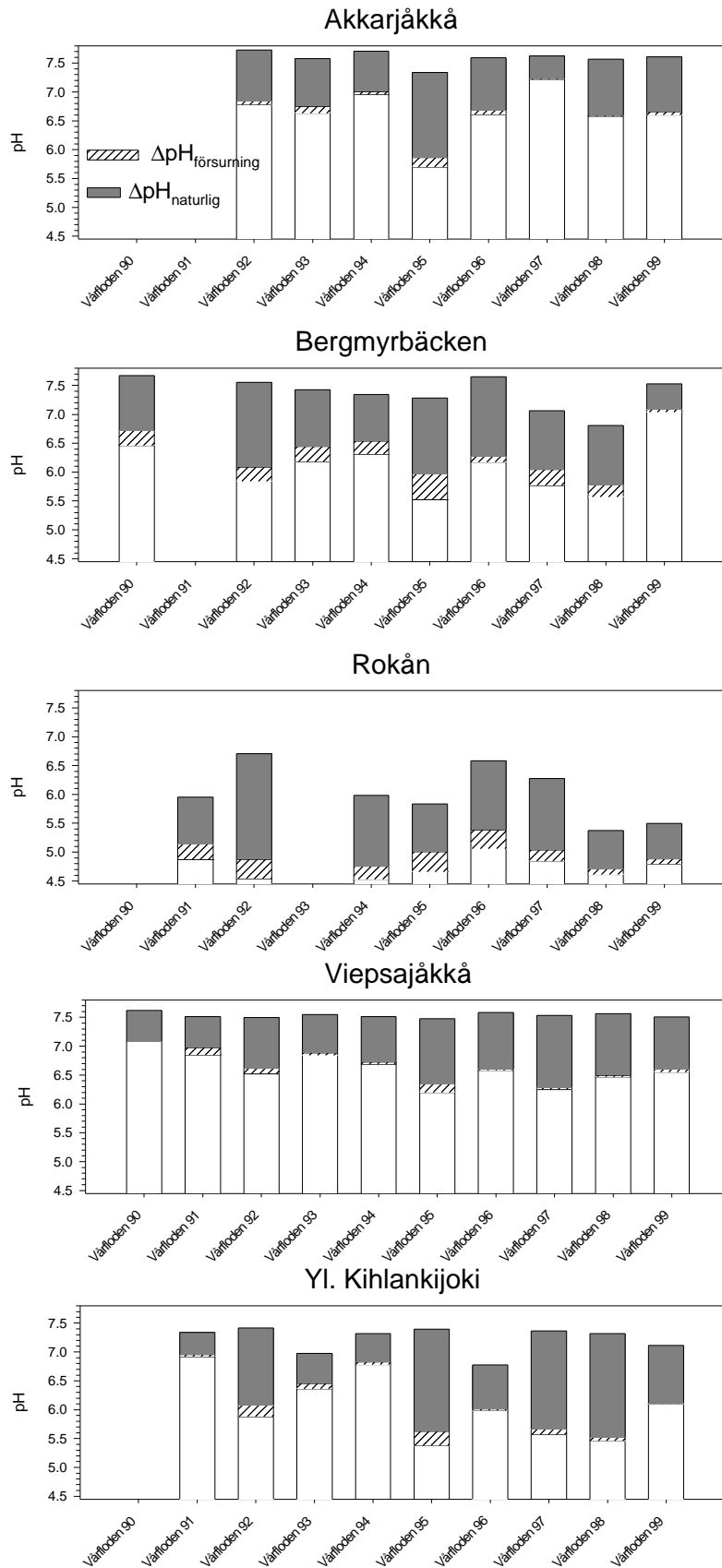


Figur 6. Förändring i $\Delta\text{ANC}_{\text{försurning}}$ mellan 1990 och 1999 för de fem vattendragen.



Figur 7. Korrelation mellan $\Delta\text{ANC}_{\text{förurning}}$ och koncentrationen av SO_4^{2-} i snön för de fem vattendragen. En datapunkt för Yl. Kihlankijoki är en outlier (Miller & Miller, 1988). Korrelationen för alla vattendrag tillsammans var r^2 0.58; $p < 0.001$. Korrelationen för andra vattendrag i Norrland visas också.

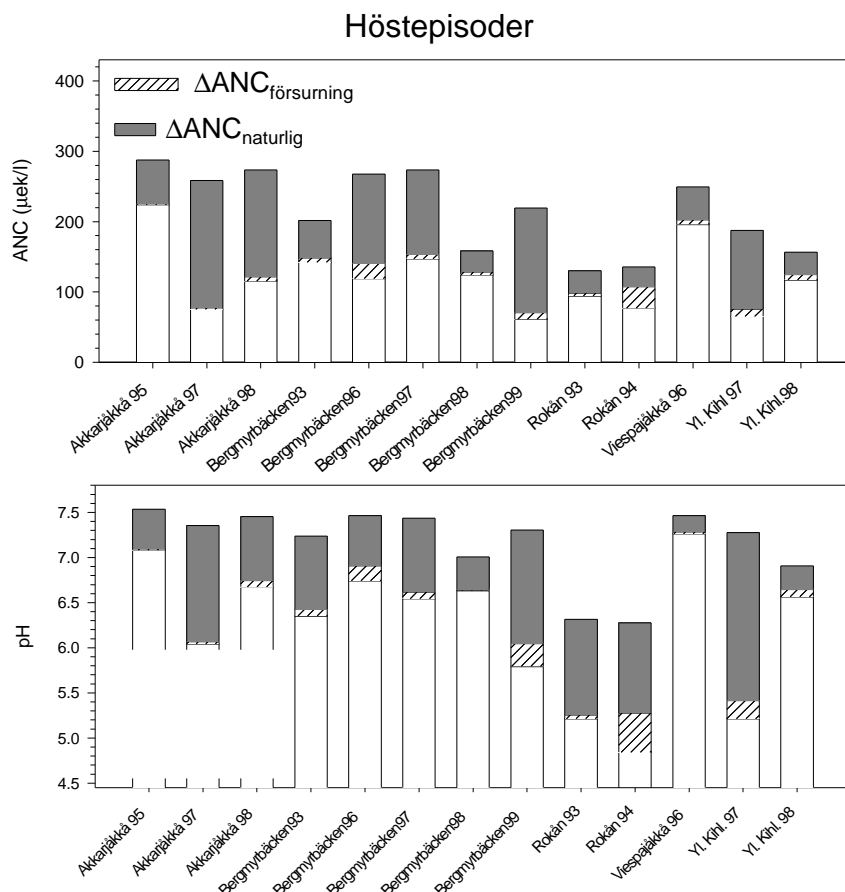
Den antropogena påverkan på pH liknar i stort påverkan på $\Delta\text{ANC}_{\text{förurning}}$. 24 av vårflodsepisoderna hade ett $\Delta\text{pH}_{\text{förurning}}$ på 0.1 pH-enheter eller lägre (figur 8). Fyra av de 44 episoderna påvisade ett $\Delta\text{pH}_{\text{förurning}}$ på över 0.3 pH-enheter (samma fyra som påvisades *måttligt* påverkade). Den största antropogena pH-påverkan, på 0.44 pH-enheter, i samband med vårfloden påträffades i Bergmyrbäcken 1995.



Figur 8. Variation i pH mellan basflöde (övre delen av stapeln) och maximalt flöde (undre delen av stapeln) i samband med vårfloden i de fem vattendragen. Den mörka övre delen är den naturliga pH nedgången medan den randiga nedre delen är orsakad av surt nedfall ($\Delta\text{pH}_{\text{försurning}}$).

Modellberäkningar - höstepisoder

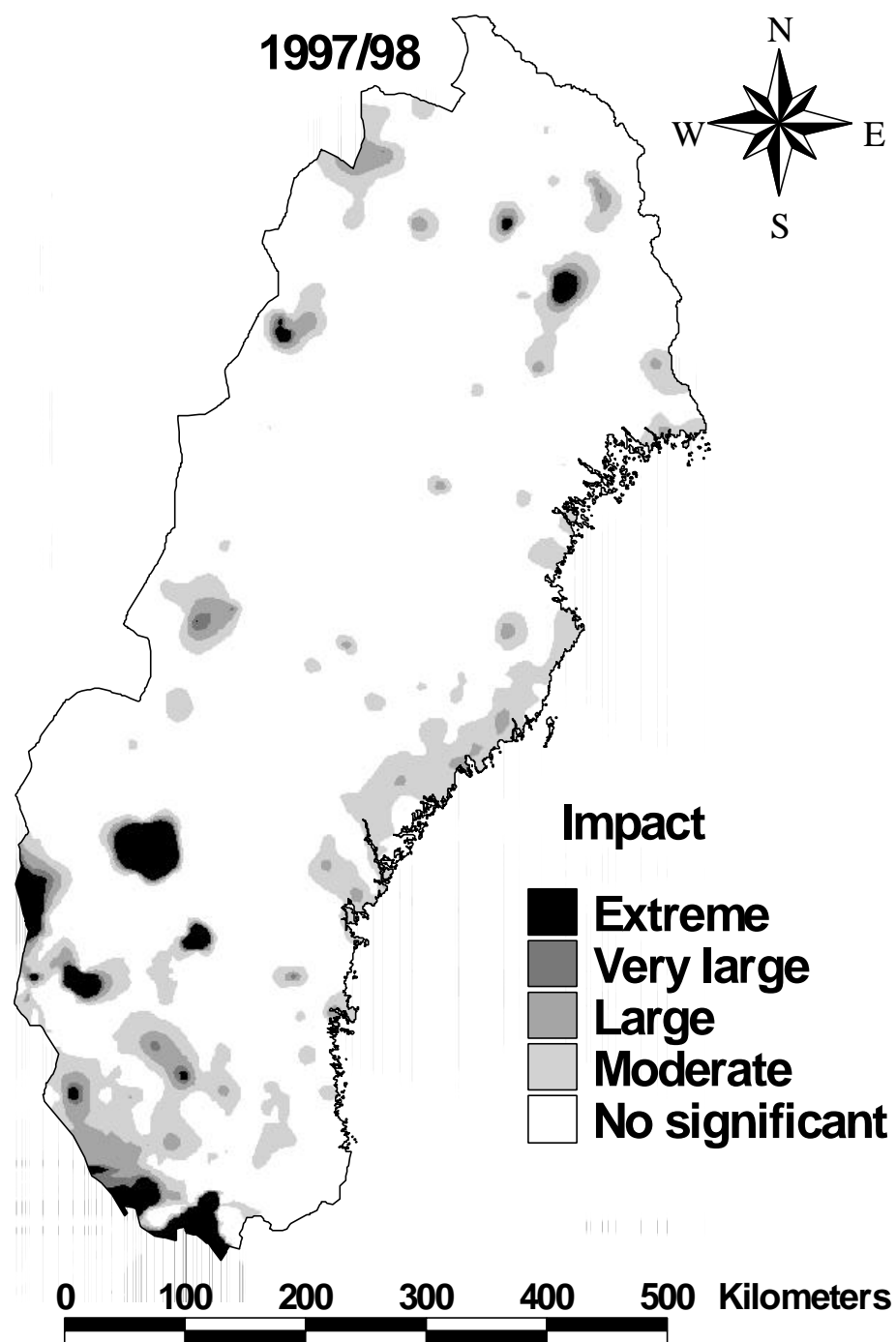
Den antropogena försurningssituationen för de 13 studerade höstepisoderna liknade den som observerats under vårfloedepisoderna (tabell 6 samt figur 9). Under den regnstyrda flödesökningen i Rokån hösten 1994 stod de antropogena faktorerna för närmare hälften av ANC-förlusten, vilken också var den enda av de observerade episoderna som klassats som *måttligt* påverkad. Under samma episod var $\Delta\text{pH}_{\text{försurning}}$ 0.43 pH-enheter. För de övriga regnepisoderna var $\Delta\text{pH}_{\text{försurning}}$ mindre än 0.25 pH-enheter.



Figur 9. Variation i ANC (övre diagrammet) och pH (undre diagrammet) i samband med höstepisoderna. Variation mellan basflöde (övre delen av stapeln) och maximalt flöde (under delen av stapeln). Den mörka övre delen är den naturliga ANC/pH nedgången medan den randiga nedre delen är orsakad av surt nedfall.

Regionalbedömning

Nyttjandet av enpunktsversionen av episodmodell (pBDM) i Norrbotten visar att över 90 % av länet är *obetydligt* påverkat av försurning i dagsläget. Enligt modellen var endast ca 5 % av länet mer än *måttligt* påverkat av antropogen deposition under vårfloden 1998 (figur 10, tabell 7). Graden av påverkan i dagsläget har dock förbättrats avsevärt sedan 1990 då endast 76 % av länet var *obetydligt* påverkat. Den stora förbättringen av försurningssituationen i Norrbotten beror på att depositionstrycket i länet har minskat. En fortsatt förbättring, så endast 2 % av länets ytvatten är mer än *måttligt* påverkade, kan förväntas om Göteborgsprotokollets förhandlingsöverenskommelse träder i kraft till år 2010.



Figur 10. Försurningssituationen i Norrland vårflo den 1998.

Tabell 7. Regional bedömning av försurningssituationen i Norrbottens län 1990, 1998 samt 2010.

	1990	1998	2010
<i>Obetydlig</i> påverkan	76 %	90 %	92 %
<i>Måttlig</i> påverkan	14 %	5 %	6 %
<i>Stor</i> påverkan	3 %	3 %	1 %
<i>Mycket stor</i> påverkan	4 %	2 %	>1 %
<i>Extremt stor</i> påverkan	2 %	>1 %	>1 %

Slutsatser

Minskat försurningstryck

Tack var den minskande depositionen av svavel i Norrbotten har försurningstrycket i länet minskat betydligt den senaste tioårsperioden. Mätt som påverkan i samband med vårflooder har den antropogena försurningen minskat med i genomsnitt 50 % i de fem vattendrag som ingått i länets miljöövervakningsprogram. En intressant iakttagelse är att försurningspåverkan på vattendragen i samband med vårflooder är direkt proportionell med SO_4^{2-} -depositionen. Även om liknande resultat erhållits tidigare (Bishop m. fl. 2000; Laudon, 2000) så är detta första gången som minskade SO_4^{2-} -halter i depositionen bevisligen lett till lägre försurningsgrad i individuella vattendrag. Sett ur ett regionalt perspektiv har minskningen i försurande deposition ökat antalet *obetydligt* försurningspåverkade ytvatten från 76 % 1990 till drygt 90 % idag.

Förbättringar i vattenkemi i samband med episoder visar på hur viktig minskningen i depositionen varit för den akvatiska miljön i Norrbotten. Resultaten visar dock också att ekosystemen i länet fortsatt kommer att ha mycket att vinna på en vidare åtstramning av utsläppen av försurande ämnen i Europa. Vid genomförande av Göteborgsprotokollets förhandlingsresultat skulle en fortsatt förbättring av försurningssituationen i Norrland erhållas, vilket på sikt skulle leda till att endast ett fåtal ytvatten fortfarande är påverkade år 2010 (tabell 7).

Den generella avsaknaden av trender i årsmedelvärden av ANC i de fem vattendragen, trots en halvering av SO_4^{2-} -depositionen, skulle kunna tyda på en tidigare avsaknad av påverkan på årsmedelvärdena. Detta konfirmerar de paleolimnologiska resultat, från totalt över 120 sjöar i Norrbotten och Västerbotten, som visat att pH och alkalinitet inte påverkats nämnvärt de senaste 200 åren (Korsman, 1993; Korsman, 1999).

I stort sett alla vattenkemiska förändringar följer samma trendutveckling i varje enskilt vattendrag. En uppgång i koncentrationen av en uppmätt parameter följs av uppgång i alla andra joner. Att t.ex. ökningen av ANC i Akkarjåkkå under 1990-talet orsakas av en återhämtning är således inte troligt eftersom inte bara ANC och basjoner ökat under denna period utan också sulfatkoncentrationen. Dessutom har förändringen av kloridkoncentration varit minst lika stor som förändringen i sulfat. I stället är det därför troligare att de observerade trendförändringarna i de olika vattendragen beror på naturliga variationer i avrinningskemin, t.ex. på variationer i nederbörd och avdunstning.

Skogsbrukseffekter

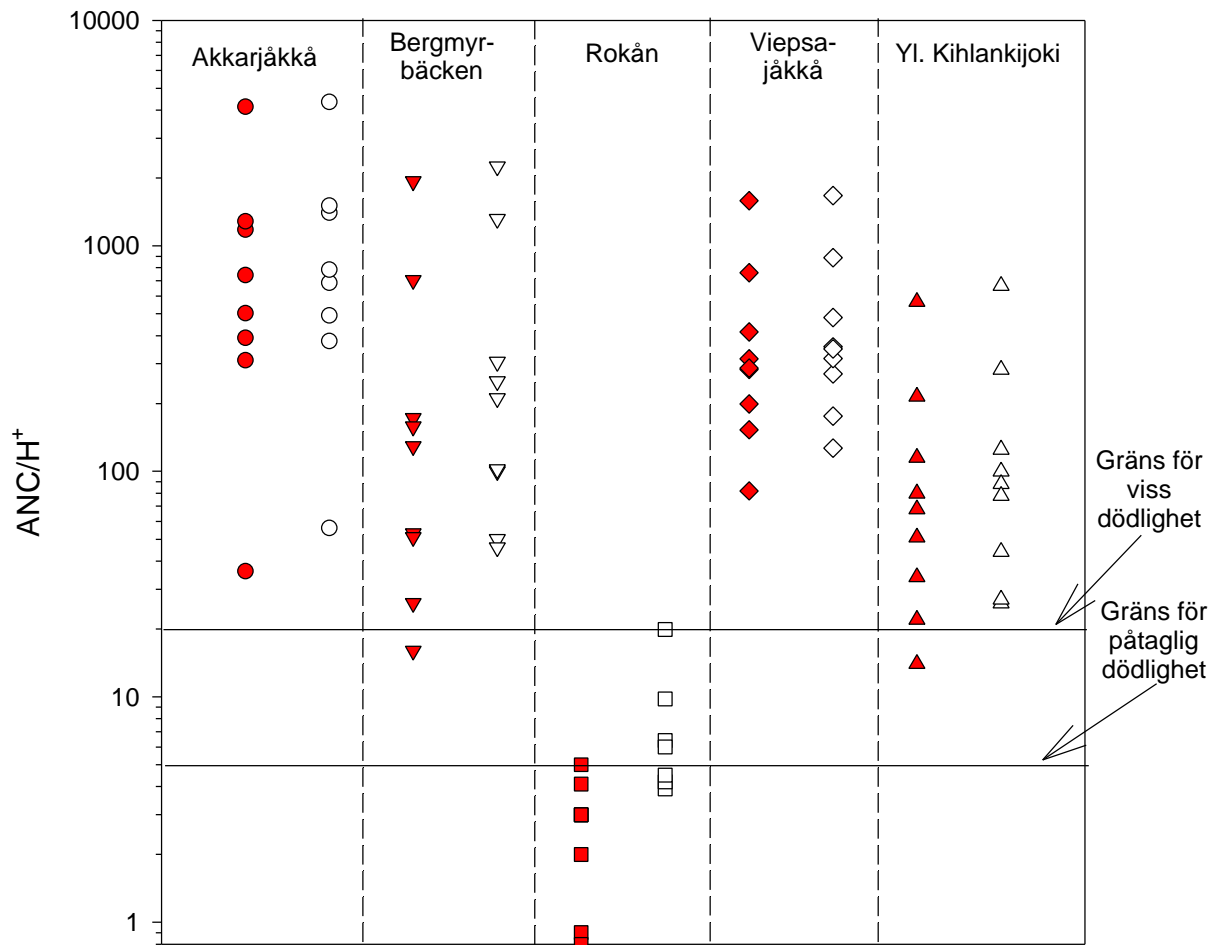
Även om det inte finns några egentliga vetenskapliga belägg att skogsbruket leder till långsiktiga eller episodiska effekter på vattenkemin i sjöar och vattendrag så finns det en viss teoretisk grund att tro det. Att skogsbruket inte påverkar vattenkemin i samband med vårflodsepisoder visades av en studie av fyra avrinningsområden som kalavverkats i Jämtlands län (Juto & Temnerud, 1999). Ingen förändring av vare sig den oorganiska vattenkemin eller TOC koncentrationerna observeras i samband med den studien.

Vad gäller mer långsiktiga förändringar i vattenkemin är data tyvärr än mer begränsade. Framförallt beror detta på att många av de långa vattenkemiska tidsserier som finns, antingen består av små avrinningsområden utan avverkningar, eller av mycket stora avrinningsområden där avverkningarna skett successivt under lång tid. Att skogsbruket (liksom försurningen) inte har påverkat årsmedelvärdena i länets ytvatten har dock indirekt visats av de paleolimnologiska studier i sjöar där pH, alkalinitet och TOC inte förändrats nämnvärt de senaste 200 åren (Korsman, 1993; Korsman, 1999). De 10 år långa tidsserierna i den här studien konfirmerar den tolkningen. Framförallt visar data från det kraftigt avverkade avrinningsområdet i Rokån endast en marginell förändring i genomsnittsvärdet av ANC. Den vattenkemiska förändring som dock varit, kan ha drivits av variationer i nederbörd och avdunstning eftersom trendriktningen för baskatjoner och sulfat varit lika. Det går dock inte helt att utesluta att skogsbruket kan ha haft betydelse för vattenkemin i Rokån. En stor andel av avverkningen skedde långt innan 1990-talet. Eventuella förändringar i vattenkemin kan därför ha skett redan innan den vattenkemiska provtagningen påbörjades.

Försurningens ekologiska betydelse

Det är inte bara de direkta kemiska effekterna på vattenkemin, utan också försurningens negativa påverkan på fisk och andra vattenlevande organismer, som är av betydelse. För att bättre kunna koppla försurningsrelaterade förändringar i vattenkemin med biologiska skador ingick ett fiskfysiologiskt delprojekt inom ramen för det tidigare nämnda episodprojektet. Syftet med fiskprojektet var att hitta vattenkemiska gränsvärden för irreversibla ekologiska skador. Av de vattenkemiska parametrar som testades mot olika klasser av fiskfysiologisk påverkan visade sig kvoten ANC/H^+ bäst definiera gränsvärdena för *viss dödlighet* och *påtaglig dödlighet* i samband med vårflodsepisoder (Laudon m. fl. 2001).

Fördelen med att använda ANC/H^+ är att kvoten bygger på standardiserade rutinanalyser, vilken gör den lämplig att tillämpa mer allmänt vid olika former av miljöövervakning, t.ex. på vattenkemidata från denna studie. Kvoten gör det också möjligt att jämföra den uppmätta vattenkemin med den naturliga förindustriella kemin, som beräknats med BDM, för att bedöma hur kvoten i vattendrag förändrats p.g.a. antropogen försurning. I figur 11 visas hur uppmätt respektive naturlig vårflodskemi för de olika åren och vattendragen distribueras i de olika toxicitetsklasserna. Av de fem vattendragen så är det endast Rokån som hamnar i klassen *påtaglig dödlighet*. Av de andra vattendragen uppvisar Yl. Kihlankijoki och Bergmyrbäcken enstaka vårfloder som klassas i kategorin *viss dödlighet*. I figur 11 indikeras att en korrigering av kvoterna till en förindustriell kemi innebär en klart förbättrad livsmiljö för fisken. Framförallt gäller detta för Rokån där vattenkemin för de flesta observerade vårflodsepisoderna förflyttas från en vattenkemi med *påtaglig dödlighet* till klassen för *viss dödlighet*. Att Rokån vissa år fortfarande hamnar under gränsvärdet för *viss dödlighet* kan bero på att det naturligt episodvis har förekommit toxiska nivåer med avseende på ANC/H^+ .



Figur 11. Kvoten ANC/H^+ för samtliga vårflodsepisoder. Mörka symboler visar uppmätt vattenkemi medan ljusa symboler åskådliggör förindustriella förhållanden. Gränsvärden för *viss dödlighet* och *påtaglig dödlighet* visar på olika vattenkemiska toxicitetsklasser.

Även om ett vattendrag hamnar i klassen för *påtaglig dödlighet* så är det möjligt att det trots allt kan finnas livskraftiga bestånd genom att fisken kan välja att utnyttja mer gynnsamma delar av vattendraget, som till exempel områden med grundvattenutflöde. Att naturliga öringbestånd i vissa fall tolererar toxiska nivåer, uttryckt som ANC/H^+ kvot, i samband med vårfloden har också påvisats i vissa vattendrag i episodprojektet (Laudon m. fl. 2001).

Rekommendationer för fortsatt övervakning

De vattenkemiska tidsserierna insamlade inom ramen för länsstyrelsen i Norrbottens miljöövervakningsprogram visar på styrkan och nödvändigheten av nationell och regional miljöövervakning. Data från de fem Norrbottniska bäckarna visar på en snabb försurningsåterhämtning av enskilda vattendrag i samband med vårfloden. Detta har inte tidigare kunnat göras. Tyvärr visar också dessa resultat, med stor tydlighet, att avsaknaden av kontinuerliga tidsserier av episoddata i andra län gör det betydligt svårare att prediktera återhämtningsförloppet i andra delar av Norrland.

Eftersom tidsserier av det slag som finns tillgängligt i Norrbotten är så begränsande i övriga Norrland, bör en fortsatt provtagning av de fem vattendragen absolut göras. Ett par generella rekommendationer för en fortsatt provtagning är;

- Fortsatt provtagning i samtliga vattendrag.
- Bibehållen provtagningstäthet i samband med vårflod.
- Förbättra basflödesprovtagningen. En tidigare provtagning innan vårfloden sätter igång skulle undvika risken att episoddata inte kan analyseras.
- Ta ett par vattenprover under vintern i varje vattendrag. Detta skulle förbättra möjligheterna att göra bra månadsviktade årsmedelvärden (och skulle undanröja problemet med missade basflöden).
- Kraftsamla provtagning i samband med ett par höstepisoder. Speciellt intressant vore det att fånga in höstepisoder efter längre tids torka.
- Ta fram avböjningskurvor för de olika vattendragen.
- Kartera skogsbrukets påverkan på de olika avrinningsområdena (speciellt i Rokån).

Referenser

- Bernes, C. 1991. Försurning och kalkning av svenska vatten. Monitor 12. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Bishop, K., Laudon, H. & Köhler, S. (2000) Separating the natural and anthropogenic components of spring flood pH decline: A method for areas that are not chronically acidified. *Water Resources Research*, 30, 1873-1889.
- Hirsch, R. M. & Slack, J. R. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20, 727-732.
- Juto, U. & Temnerud, J. 1999. Undersökning av skyddszoners effekter på vattenkemin under vårfloden 1998 i fyra bäckar i Östra Jämtland Examensarbete, Umeå universitet, 26 sidor.
- Kindbom, K., Sjöberg, K., Munthe, J., Peterson, K., Persson, C., Roos, E. & Bergström R. 1998. Nationell miljöövervakning av nederbörds kemi. IVL rapport.
- Korsman, T. 1993. Acidification trends in Swedish lakes: An assessment of past water chemistry conditions using lake sediments. Doktorsavhandling, Umeå universitet, 140 sidor.
- Korsman, T. 1999. Temporal and spatial trends of lake acidity in Northern Sweden. *Journal of Paleolimnology*, 22, 1-15.
- Köhler, S. 1999. Quantifying the role of natural organic acids on pH and buffering in Swedish surface waters. Doktorsavhandling, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Laudon, H. 2000. Separating Natural Acidity from Anthropogenic Acidification in the Spring Flood of Northern Sweden, Doktorsavhandling, *Silvestria* 160, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Laudon, H. & Bishop, K. 1999. Quantifying sources of acid neutralisation capacity depressions during spring flood episodes in Northern Sweden. *Environmental Pollution* 105: 427-435.
- Laudon, H. & Bishop, K. 2000. Verktyg för att bedöma den antropogena försurningspåverkan på ANC och pH i vattendrag under högflöden. Slutrapport till Naturvårdsverkets kalkningsprogram, 32 sidor.
- Laudon, H., Westling, O. & Bishop, K. 2000. Episodic pH and ANC depression during spring flood in Northern Sweden. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57, 1888-1900.
- Laudon, H., Westling, O., Poléo, A. B. S. & Vøllestad, L. A. 2001. Naturligt sura och försurade vatten i Norrland. Naturvårdsverket rapport 5144.
- Löfgren, S. & Fölster J. 1998. Trender och samband för pH, alkalinitet och andra försurningsparametrar i svenska vattendrag Naturvårdsverket rapport, 17 sidor.
- Miller, J. C. & Miller, J. N. 1988. *Statistics for analytical chemistry*. Ellis Horwood, New York.
- Mylona, S. 1996. Sulphur dioxide emissions in Europe 1880-1991 and their effect on sulphur concentrations and deposition. *Tellus*, B48, 662-689.
- Warfvinge, P. & Bertills, U. Recovery from acidification in natural environments. Naturvårdsverket rapport 5023.
- Westling, O. & Ferm, M. 1997. Deposition av luftföroreningar på hög höjd i de svenska fjällen. Länsstyrelsen i Västerbotten. Projektrapport 1997. Umeå. 31 sidor.
- Wilander, A. 1999. Surhet/försurning. I bedömningsgrunder för miljö kvalitet; Sjöar och vattendrag. Naturvårdsverket rapport 4920, 205 sidor.
- Wilander, A., Johnson, R. K., Goedkoop, W. & Lundin, L. 1998. Riksinventeringen 1995 Naturvårdsverket rapport 4813, 191 sidor.