



Förändringar i sulfatbelastning och sulfatkoncentrationer i IKEU-sjöar och vattendrag – ett underlag för anpassad kalkning

Anders Wilander
Inst. f. miljöövervakning, SLU

Version 2008-09-19

Sammanfattning

Projektets målsättning är att klarlägga i vad mån de minskande sulfathalterna i ytvattnen har lett till anpassad kalkning i första hand för IKEU-sjöarna och -vattendragen. För utvärderingen har data på deposition hämtats från MATCH-modellen, IVL's krondroppsmätningar och Integrerad Monitoring-projektets depositions-mätningar.

I denna rapport används i regel depositionen som total-S (MATCH-modellen). Det innebär att den möjliga koncentrationen av H^+ (syradepositionen), som motjon till sulfat, överskattas. För krondropp (IVL) antyder linjär regression att vätejondepositionen (mekv/ha,år) är $0,35 \cdot SO_4-S$ -depositionen eller $0,44 \cdot$ icke-marin SO_4-S depositionen (mekv/ha,år). Det betyder förenklat att 35% respektive 44% av sulfaten kan betecknas som syra.

Högst deposition av total-S förekommer i Gyltigesjön och Stora Härsjön, bägge belägna i sydvästra Sverige, som också hade de högsta sulfathalterna i vattnet. För sjöarna med de högsta sulfatdepositionerna minskar depositionen med $29 \text{ mg S/m}^2, \text{år,år}$ och för de med lägst deposition med $10 \text{ mg total-S/m}^2, \text{år,år}$ (figur 2). Detta motsvarar en årlig minskning med $1,8 \text{ mekv/m}^2, \text{år}$ respektive $0,66 \text{ mekv/m}^2, \text{år}$. En anpassning av kalkningen till denna minskning i deposition skulle, om inget försurande läckage sker från sulfat som lagrats under tidigare, högre deposition, motsvara en årlig minskning av dosen kalkstensmjöl med mellan 90 och $33 \text{ mg/m}^2, \text{år}$ ($0,9$ resp. $0,33 \text{ kg/ha, år}$ som $CaCO_3$). Säsongsvariationen för sulfat i sjöarna är relativt liten; maj och juli har månadsvärden nära årsmedianen, men även för oktober är skillnaden relativt liten. Däremot avviker september med lägre halter än normalt.

Den minskande sulfatdepositionen leder till minskningar av sulfathalterna i sjöarna. Sedan början av 1990-talet är den ganska linjär, men det finns exempel där minskningen planar ut under de senaste åren (t.ex. för Ejgdesjön och Stengårdshultasjön). Koncentrationerna var lägre än "normalt" omkring 1990 och högre än "normalt" under perioden 1995–1998.

Minskningarna av sulfathalten är naturligtvis kraftigast i södra Sverige. I Stora Härsjön och Gyltättsjön har på en 15-års period sulfathalten minskat med $0,085$ respektive $0,130 \text{ mekv/l}$. I den mer nordligt belägna Nedre Särnamannasjön, som dock endast undersökts sedan 1994, är minskningen i sulfat endast $0,0012 \text{ mekv/l,år}$.

För IKEU-sjöarna är det möjligt att uppskatta den koncentration av sulfat som depositionen kan svara för genom att använda värden på specifik avrinning. För flertalet sjöar är överensstämmelsen mellan trender för deposition och sjökoncentration förvånansvärt god. Det kan tolkas som att knappast något läckage av tidigare markbundet sulfat numera förekommer i dessa sjöars tillrinningsområden.

Den minskande sulfatkoncentrationen i alla IKEU-sjöar borde leda till en minskad kalkdosering. Men den kan bero på en ändring i kalkdos och/eller på naturlig trend. En minskning i halten kalcium (och även andra baskatjoner) har påvisats i samband med minskad försurning, beroende på att marken binder kalcium (basmättnadsgraden ökar). Av de 16 undersökta sjöarna ökade kalciumhalterna i 5 och den förväntade minskningen syns bara i 4 av dem. Detta antyder att kalkningen inte är anpassad till den minskande svaveldepositionen.

I vattendragen, precis som för sjöarna, förekommer de högsta halterna i sydväst. Deposition är högst i vattendragen Blankan Ryerna, Lillån G:a Järnvägsbron och Hovgårdsån Munkhättan. Säsongsvariationen är betydligt större än den för sjöarna. Som regel var de högst under vintern och minst under sommaren.

För IKEU-vattendragen finns värden på årlig transport. Dessa kan direkt jämföras med den årliga depositionen. Flertalet vattendrag har en högre transport (ca 27%) av sulfat än deposition. Det antyder att marken läcker sulfat som höjer transporten. Dessa data är naturligtvis säkrare än de ovan redovisade för sjöarna. För många vattendrag minskade transporten

mer än depositionen under perioden, sannolikt tack vare en urlakning av tidigare bundet sulfat i jordprofilen.

Trender för transporter av andra ämnen som har koppling till försurning redovisas. Bland vattendragen finns såväl sådana med en mer eller mindre ekvivalent minskning av kalcium och sådana med en beräknad ökning av kalcium trots minskning i sulfatdepositionen. Det antyder att kalkningsdosen ibland anpassas till minskad deposition, men resultaten visar inte om den mängd kalk som tillförs är anpassad.

Inledning

Den syrabelastning som sker genom nedfallet kan initialt kvantifieras som motsvarande sulfatkoncentrationen i ytvattnet. Under ca 20 år har depositionen av sulfat minskat med ca 80%. Därmed borde även koncentrationerna i vattnet minska lika mycket. Men under perioden med hög deposition har en del sulfat lagrats i markskiktet. Jonbyteskapaciteten i en mineraljord är förhållandevis liten, men bindningen av svavel till organiskt material kan vara stor. Detta förråd frigörs och fördröjer minskningen i ytvattens sulfathalter och därmed fördröjs även vattnens återhämtning från försurning.

Trender har beräknats med en icke-parametrisk metod; Theil's (Sen's) slope. Det betyder att extremvärden får en mindre betydelse än om linjär regression använts.

Målsättning

Projektets målsättning enligt planen är att klarlägga i vad mån de minskande sulfathalterna i ytvattnen har lett till anpassad kalkning i första hand för IKEU-sjöarna och vattendragen. Om möjligt utökas arbetet till att omfatta alla kalkade sjöar med längre tidsserier och sulfathalter (främst MMU-kalksjöarna). Resultatet har bäring på kalkningsstrategier i framtiden.

Underlag

Data för IKEU-sjöar och –vattendrag har använts vid beräkningarna (deras belägenhet framgår av figur 1). Data för dessa är hämtade från datavärden vid Institutionen för miljöanalys, SLU (www.ma.slu.se). Data för specifik avrinning och arealer för avrinningsområden har hämtats från IKEU's hemsida www.info1.ma.slu.se/IKEU.

Som regel har endast de kalkade vattnen ingått i utvärderingen (figur 1). Rödingträsket har numera utgått från programmet. De vatten som tillkommit senare i projektet utvärderas ibland.

Depositionsdata har hämtats från SMHI's MATCH-modell för svaveldeposition och från IVL's data för krondroppsmätningar samt data för IM-områden (Integrerad Monitoring) från IMA.



Figur 1. Kalkade IKEU-sjöar och -vattendrag.

Depositionsdata för åren 1991 och 1994–2005 har hämtats från SMHI:s hemsida www.smhi.se. De har beräknats med MATCH-modellen för rutor på 11x11 km (Persson m.fl., 1996). Beräkningarna och deras osäkerhet har diskuterats vidare av Persson m.fl. (2004).

Deras slutsats är att de tidiga beräkningarna, som baseras på färre stationer för mätt deposition i huvudsak påverkar resultaten för fjällregionen. Data för den ruta där IKEU's provplats ligger har använts här. Det innebär en viss förenkling, men torde knappast påverka de trendberäkningar som görs.

Trender har beräknats med en icke-parametrisk metod; Theil's (Sen's) slope. Det betyder att extremvärden får en mindre betydelse än om linjär regression använts.

Resultat och diskussion

I detta kapitel redovisas depositionens storlek och generella trender för svaveldepositionen. Sedan diskuteras olika alternativa sätt att värdera svaveldeposition. Därefter värderas jordprofilens betydelse för svavelomsättningen och valet av sulfatfraktion för utvärderingen. Utvärderingen fortsätter med redovisning och utvärdering av förhållandena i IKEU-sjöar och -vattendrag med avseende på tillstånd och trender.

Status och förändring av svaveldeposition i IKEU-sjöar och -vattendrag

Svaveldepositionen minskar i huvudsak från söder mot norr. I denna rapport används i regel depositionen som total-S. Det innebär att sulfat, som haft sitt ursprung i havssalter är inkluderad. Den marina fraktionen av sulfat har en ekvivalent halt av katjoner och är alltså inte försurande och brukar därför ofta uteslutas vid försurningsbedömningar. Förenklat innebär detta att den möjliga koncentrationen av H^+ , som motjon till sulfat överskattas. Förhållandet mellan total-S och icke-marin S diskuteras nedan i avsnittet om sulfatfraktioner. Högst deposition av total-S finns i Gyltigesjön och Stora Härsjön (tabell 1), bägge belägna i sydvästra Sverige. Lägst deposition har Rödingträsket. Sjön utgick ur programmet då den bedömts inte vara försurad.

Tabell 1. Deposition av total-S för IKEU-sjöar. MATCH modell. Medianvärdet 1996-2005. Sjöarna sorterade i syd-nordlig ordning.

Sjö	SMHI_X	SMHI_Y	Deposition mg total-S/m ² ,år
Nävsjön	627767	142500	612
Gyltigesjön	629489	133906	799
Gyslättsjön	633209	141991	592
Stengårdshultasjön	638317	138010	638
Stora Härsjön	640364	129240	794
Långsjön	652412	143738	465
Ejgdesjön	653737	125017	599
Stensjön	656419	164404	530
Långsjön	656590	164240	530
Årsjön	656612	164132	530
Trehörningen	656664	164238	530
Lien	663216	148449	468
V. Skälsjön	664620	148590	468
Upprämnen	669253	139468	381
Tryssjön	670275	146052	412
Bösjön	680235	141799	311
N. Särnamannasjön	683421	133742	286
Källsjön	683582	154935	340
Rödingträsket	711924	163150	267

Bland vattendragen förekommer högst deposition i vattendragen Blankan Ryerna, Lillån G:a Järnvägsbron och Hovgårdsån Munkhättan (tabell 2). Liksom för sjöarna med högst deposition är dessa belägna i sydvästra delen av landet.

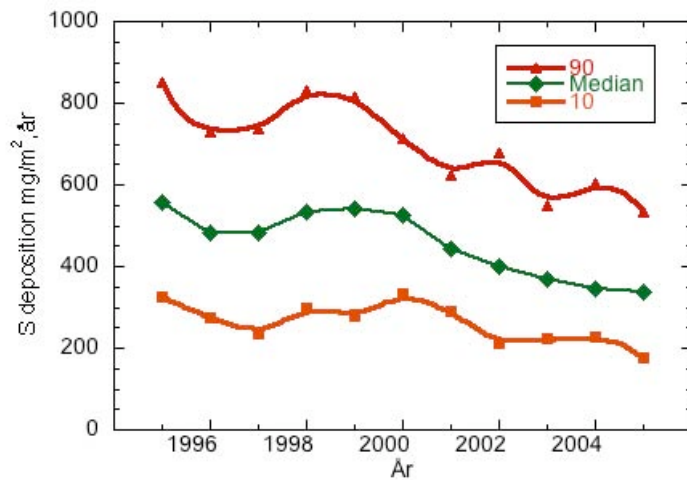
Tabell 2. Deposition av total-S för IKEU-vattendrag. MATCH modell. Medianvärden 1996-2005. Vattendragen sorterade i syd-nordlig ordning.

Vattendrag	X	Y	Deposition mg total-S/m ² ,år
Rökeån Vedema	623325	136500	557
Hörlingeån-Rökeå	623562	136656	714
Trollbäcken, mynningen	624715	133405	579
Strönhultsån G. Kvarnen	625195	141220	684
Blankan Ryerna	627432	134607	820
Lillån G:a Järnvägsbron	628975	133250	808
Hovgårdsån Munkhättan	630960	131620	807
Lillån-Bosgårdsån	631840	133310	750
Morån	634570	150290	482
Gnyltån	638065	139975	551
Hästgångsån Hästgången	638300	141085	602
Skuggälven Ängarna	654141	124734	589
Ejgstån	654552	123925	579
Haraldssjöån Sandån Övre	663410	148295	468
Laxbäcken	663718	148037	438
Vingån, Vingång	673341	134207	299
Sörjabäcken (Lillån)	673815	153365	396
Enångersån V. Lövås	682605	155185	363
Källsjöån Källsjöklack	683563	155010	386
Härån (Storån)	684705	153450	334
Stråfulan	684875	133226	281
Ådalsån Lyckemyran (D)	696000	156850	318
Hornsjöbäcken	697145	157980	335
Arån Arålund	697805	139065	232
Bastuån	699972	140367	217
Lillån, E4:an	706025	169395	256
Storselsån Storsele	707195	161570	278

Variationen i deposition bland IKEU-vattendragen är stor; mer en faktor 3 mellan högsta och lägsta värden. De tre vattendragen med högst belastning (> 800 mg S/m²,år) har högre deposition än IKEU-sjöarnas.

Depositionen av sulfat har minskat drastiskt under de senaste 15-20 åren. Kindbom m.fl. (2001) redovisar tillstånd och trender för bland annat sulfat för ungefär 25 nederbördskemiska mätstationer. Resultaten för perioden 1983–98 är aggregerade för sex områden. I alla har koncentrationen av sulfat minskat signifikant. Den procentuella minskningen under perioden var störst i det nordligaste området med 69 % och minst i den sydvästligaste med 54 %. I absoluta termer är förhållandet mellan områdena den omvända. Således minskade sulfathalten (som svavel) i nederbörden i norr med 0,017 mg/l,år och i sydväst med 0,046 mg/l,år. Dessa värden motsvarar ungefär 20 mg S/m²,år,år respektive ungefär 50 mg S/m²,år,år.

För sjöarna med de högsta sulfatdepositionerna minskade depositionen med 29 mg S/m²,år,år och för de med lägst deposition med 10 mg S/m²,år,år (figur 2). Detta motsvarande en årlig minskning med 1,8 mekv/m²,år respektive 0,66 mekv/m²,år.

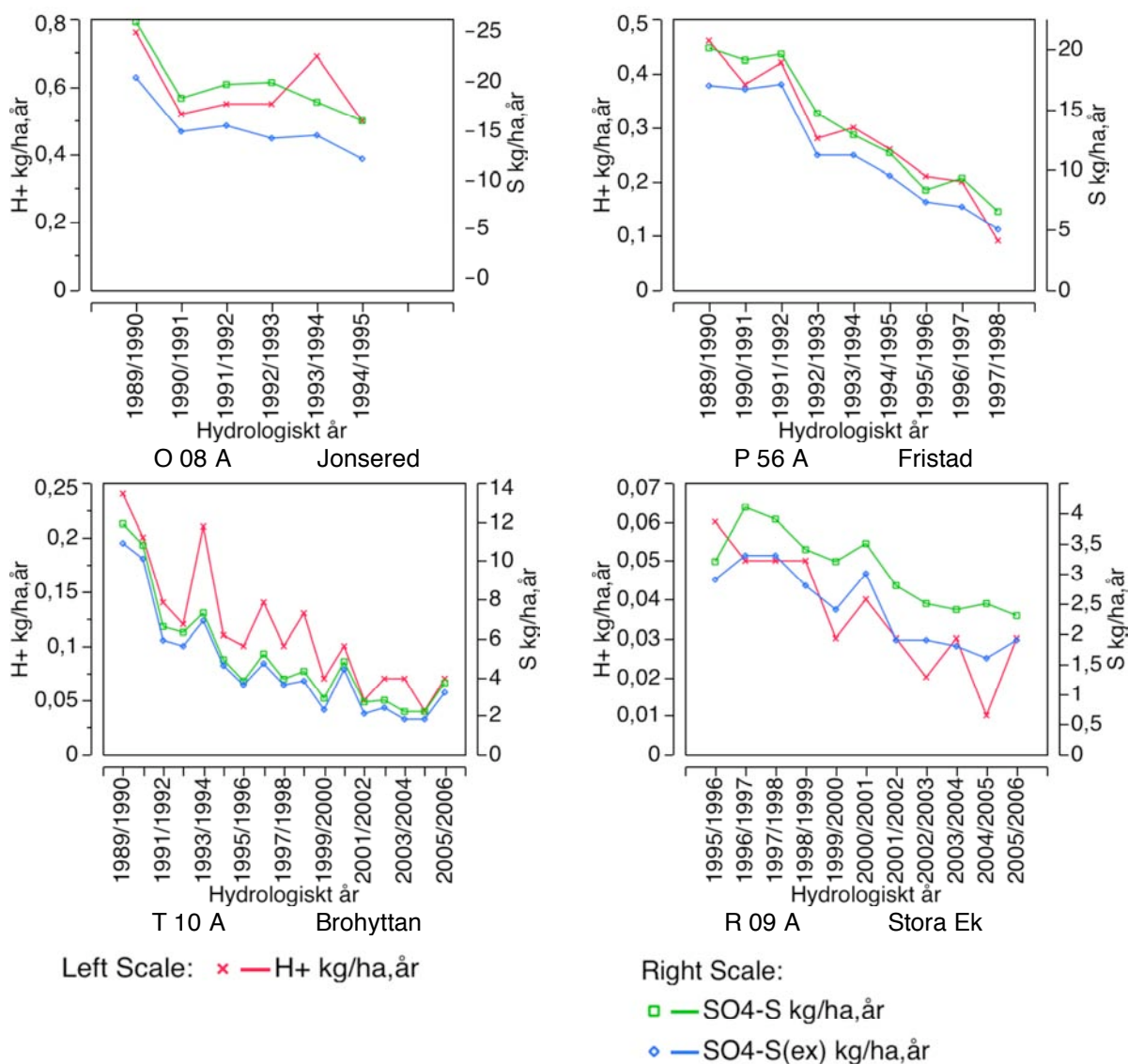


Figur 2. Ändringen i deposition av sulfat (total) för sjöinventeringens sjöar (Wilander & Fölster 2007). Data från MATCH modellering.

En anpassning av kalkningen till denna minskning i deposition skulle, om inget försurande läckage sker från sulfat som lagrats under tidigare, högre deposition, motsvara en årlig minskning av dosen kalkstensmjöl med mellan 90 och 33 mg/m², år (0,9 resp. 0,33 kg/ha, år som CaCO₃). Antas att depositionen minskat på detta sätt under en period på 10 år innebär detta alltså att kalkningen skulle kunna minska med en dos som är 10 gånger större än den årsvisa minskningen.

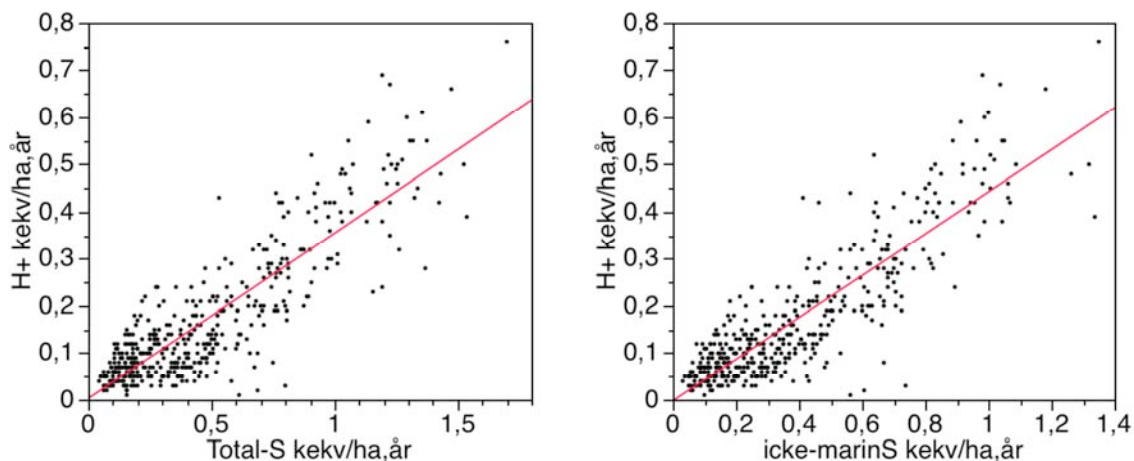
Förhållanden mellan deposition av sulfat och syra

Ofta antas att deponerad sulfat har en ekvivalent mängd syra (vätejon). Särskilt gäller detta för den icke-marina sulfathalten, som huvudsakligen har antropogena källor och som emitterats som svaveloxider. Dock kommer samtidigt alkalint stoff som neutraliserar en del av denna syra. I krondroppundersökningar har vätejon och sulfat mätts vid ett flertal stationer i landet av IVL. För några valda stationer, i en gradient från låg till hög deposition, visas förändringar i tid för vätejon och de två typerna av sulfat (figur 3).



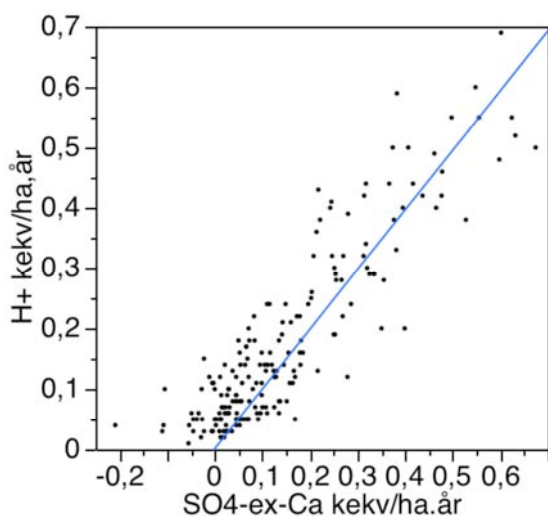
Figur 3. Trender för krondropp vid valda stationer. Deposition av H⁺, total-sulfat (S) och icke-marin sulfat (S-ex). Data IVL.

Krondroppsmätningarna visar på en god överensstämmelse mellan vätejondeposition och depositionen av såväl total-S som icke-marin S. Förhållandet gäller väl för alla redovisade stationer (59) och år (figur 4).



Figur 4. Förhållandet för krondropp mellan vätejondeposition (H^+) och depositionen av totalsulfat (SO_4-S) respektive icke-marin sulfat (SO_4-S ex). Data IVL.

En enkel linjär regression antyder att vätejondepositionen (kekv/ha,år) är $0,35 \cdot SO_4-S$ -depositionen eller $0,44 \cdot$ icke-marin SO_4-S depositionen (kekv/ha,år). Det betyder förenklat att 35% respektive 44% av sulfaten kan betecknas som syra. Korresponderande katjon, som alltså "neutraliserar" svavelsyran, är i övrigt i huvudsak kalcium (figur 5).



Figur 5. Förhållandet för krondropp mellan vätejonsdeposition och skillnaden i deposition av icke-marin sulfat och kalcium på ekvivalentbasis. Linjen ger 1:1 förhållandet.

Efter kompensation för kalcium som korresponderande katjon svarar resterande icke-marin sulfat väl mot vätejondepositionen (värdeparen följer acceptabelt 1:1 linjen). Det bör alltså innebära att kalcium har tillförts nederbörden i form av karbonat.

Slutsatsen av detta är att deponerad sulfat; både som total-sulfat och icke-marin sulfat kraftigt överskattar depositionen av syra. Därtill kommer naturligtvis neutralisering genom vittring i jordprofilen.

Ovanstående diskussion gäller krondropp, dvs. förhållanden i skog. Träden samlar alkaliskt stoff som kan neutralisera en del deponerad syra. Dessutom ger exsudat ytterligare tillskott av alkali, men detta härrör från jordprofilen och är därmed försurande. Förhållandet mellan deposition på öppen mark och i skog (krondropp) har undersökts inom IM-projektet (Integrerad Monitoring) och data finns för fyra stationer (tabell 3).

Tabell 3. Förhållandet deposition H^+/S (ekvivalentbasis). Medianvärden för årstransport i fyra IM-områden 1996–2005. Data IM (IMA).

Sulfatform	Öppet fält	Krondropp
Icke-marin S	0,84	0,40
Total S	0,84	0,30

Trädens ”neutraliserande” effekt är tydlig; 30–40% av sulfaten har H^+ som korresponderande katjon i krondroppet medan 84% har H^+ som korresponderande katjon på öppet fält. IKEU-områdena har en blandning mellan dessa ”markslag”, men påtagligt är att svaveldepositionen överskattar depositionen av syra.

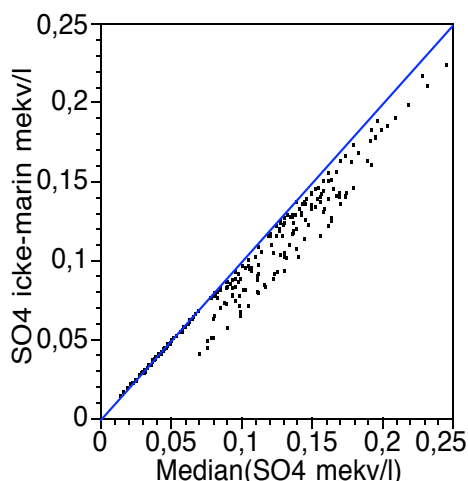
Fastläggning i och frigörelse från jordprofilen av sulfat

Under de första åren av forskningen om försurning ansågs sulfat, liksom klorid, vara en mobil anjon. Men numera är det väl känt att sulfat fastläggs i jorden under perioder med hög deposition och frigörs när depositionen minskar. Nömmik m.fl. (1989) presenterade resultat från försök med sulfattillsatser som visade att retentionen av sulfat skedde i podzolens B-horisont. Bäst känd, och lättast att uppskatta, är sulfatadsorption till mineralerna i jordprofilen. Karlton (1995) undersökte adsorptionen och kapacitet i podzoler på 23 platser i landet. Han fann att jordar i södra Sverige var mättade med sulfat, medan nordliga hade en ”mättnadsgrad” på mindre än 50%, allt beroende på hög deposition i söder och relativt låg i norr. Sulfat bundet på detta sätt ändras reversibelt beroende på sulfathalten i lösningen (i deposition och markvatten). Förutom bindning till oorganisk, fast fas sker en fastläggning som organiska svavelföreningar. Moldan & Ek (2000) redovisar en beräkning gjord på Gårdsjöns takexperiment. Där befanns 230 kg SO_4-S/ha vara oorganiskt bundet medan så mycket som 1530 kg S/ha var bundet i organisk form, dvs. sju gånger mer. Den uppmätta mängden i avrinningen var endast 14 kg/ha,år, vilket kan tolkas som att allt oorganiskt bundet svavel på kort tid teoretiskt kan läcka ut. Så sker naturligtvis inte eftersom det är en jämvikt mellan sulfathalten i vattnet och den adsorberade sulfaten. Det är oklart hur organiskt bundet svavel reagerar, men en urlakning sker. Eftersom det organiska materialet i jorden omsätts och då relativt svavelrikt material ersätts av mindre svavelhaltigt organisk material bör svavelläckaget från organogena jordar fortgå, men långsamt minska. Men processen är mikrobiell och stimuleras av syretillförsel, alltså kortare perioder av torra. Den bildade svavelsyran är, om den inte neutraliseras i markprofilen, försurande och kan påverka ytvattnen i samband med kraftiga regn efter torrperioder. Detta fenomen behandlas inte specifikt här, men den kan påverka ytvattens sulfatkoncentrationer episodvis. Däremot bör desorptionen av oorganiskt bundet svavel avspeglas som en mer kontinuerlig minskning.

Vilken sulfatfraktion bör användas för bedömningar?

Två fraktioner brukar användas vid beräkningar av sulfateffekter vid försurning; dels den totala koncentrationen, dels den icke-marina fraktionen. Det senare är ett försök att eliminera den sulfat som har havssalt som ursprung. Vanligen sker det med hjälp av kloridhalten och förhållandet sulfat/klorid i havsvatten.

Betydelsen av marint sulfat varierar med avståndet till havet (källan), framför allt Västerhavet med sin högre salthalt (figur 6).



Figur 6. Förhållandet mellan total sulfatkoncentration och icke marin sulfat. Årliga värden för IKEU-sjöar.

Skillnaden mellan de två formerna är påtaglig först vid totalkoncentrationer större än c:a 0,05 mekv/l, men inte heller alltid då. De IKEU-sjöar, där det marina bidraget till sulfatkoncentrationen är större än 10% ligger således i sydvästra delen av landet (tabell 4).

Tabell 4. Sulfathalter (medianvärden) i IKEU-sjöar som har väsentlig påverkan från havssalter (>10 %).

Sjö	X_SMHI	Y_SMHI	Antal år	SO4 mekv/l	SO4 icke-marin mekv/l
Ejgdesjön	653737	125017	18	0,121	0,087
Gyltigesjön	629489	133906	18	0,138	0,112
Gyslättsjön	633209	141991	8	0,134	0,119
Långsjön	652412	143738	10	0,106	0,095
Stengårdshultasjön	638317	138010	18	0,129	0,110
Stora Härsjön	640364	129240	18	0,159	0,119
Tryssjön	670275	146052	1	0,026	0,023

Trendberäkningarna för depositionen av total-S och icke-marin S som Kindbom m.fl. (2001) gjort visar att värdena är mycket lika.

De två alternativa sätten har olika fördelar. Den totala halten ger en säkrare bild av hur förändringarna sker eftersom kloridjonen rör sig snabbare än sulfatjonen i marklagret och därmed blir korrektionen för det marina bidraget i ytvattnen något skevt. Men den totala sulfathalten kan som korresponderande anjon till vätejoner (eller andra katjoner efter jonbyte) överdriva den försurande effekten.

Förhållanden i IKEU-sjöar

I det följande behandlas förhållandena i IKEU-sjöar; först koncentrationer och säsongsvariation och därefter trender för sulfatkoncentrationer.

Tillstånd i sjöar

Tillståndet i IKEU-sjöarna beskrivs som medianvärden för den senaste sexårsperioden (tabell 5).

Tabell 5. Sulfatkoncentrationer (medianvärden) i IKEU-sjöar.

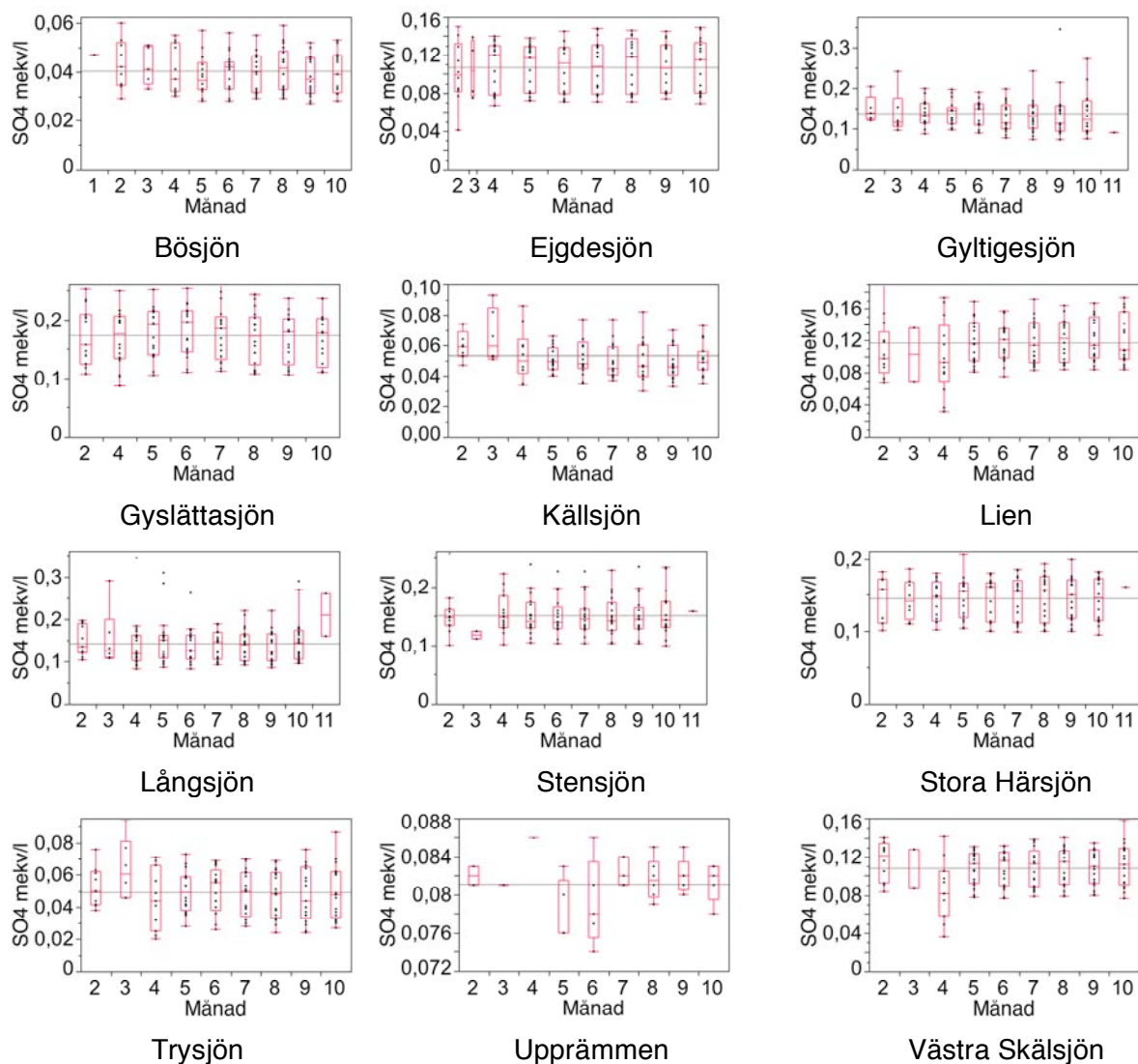
Sjö	X_SMHI	Y_SMHI	SO4 mekv/l
Nävsjön	627767	142500	0,185
Gyltigesjön	629489	133906	0,133
Gyslättsjön	633209	141991	0,177
Stengårdshultasjön	638317	138010	0,123
Stora Härsjön	640364	129240	0,155
Långsjön	652412	143738	0,140
Ejgdesjön	653737	125017	0,115
Stensjön	656419	164404	0,143
Långsjön	656590	164240	0,110
Trehörningen	656664	164238	0,099
Lien	663216	148449	0,115
V. Skälsjön	664620	148590	0,113
Upprämmen	669253	139468	0,082
Tryssjön	670275	146052	0,049
Bösjön	680235	141799	0,041
N. Särnamannasjön	683421	133742	0,023
Källsjön	683582	154935	0,049
Rödingträsket	711924	163150	0,043

Högst sulfatkoncentration förekom i den sydvästligt belägna Nässjön, som är en ny IKEU-sjö och endast provtagits två gånger under 2006. Höga halter fanns även i de sydvästliga Gyslättsjön och Stora Härsjön. De nordligare belägna sjöarna Tryssjön, Bösjön, N. Särnamannasjön och Källsjön hade halter lägre än 0,050 mekv/l. Lien påverkas av sulfidmineral i tillrinningsområdet, som ger en relativt höga sulfathalt.

Rödingträsket, med lägsta koncentration, har numera utgått ur IKEU-programmet.

Säsongvariation i sjöar

Liksom för alla andra konstituenten finns en säsongvariation för sulfat. För större konstituenten är det vanligen orsakat av variation i tillförsel från tillrinningsområdet och hur lång omsättningstid sjön har och i liten utsträckning av processer i sjön. Variationen beskrivs för flertalet IKEU-sjöar i figur 7.



Figur 7. Säsongvariation för sulfat i IKEU-sjöar. Boxdiagram där nedre linje anger 25 percentil, mittlinjen 50 percentil (medianvärde) och den övre 75 percentil. "Morrhåren" visar 10 respektive 90 percentilen.

Av figuren framgår att det är en viss variation under året, ofta är den systematisk dvs. variationen är relativt lika mellan åren. Många sjöar, som Ejgdesjön och Stora Härsjön har ingen påtaglig säsongvariation. Däremot finns sjöar såsom Källsjön och Trysjön med påtagliga maxima i mars. En viss synkronitet mellan sjöarna finns. Således uppträdde minimum i april-maj i sju, relativt nordligt belägna sjöar, dvs. vid snösmältning (tabell 6).

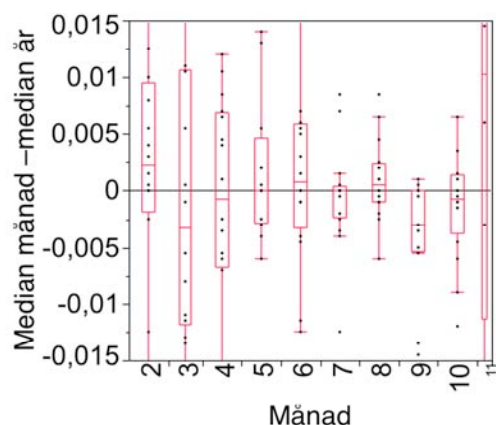
Tabell 6. Månader för minimum och maximum koncentrationer av sulfat (medianvärden).

Sjö	Minimum		Maximum	
	Månad	SO4 mekv/l	Månad	SO4 mekv/l
Bösjön	5	0,037	1	0,047
Ejgdesjön	2	0,099	4	0,120
Gyltigesjön	11	0,090	6	0,149
Gyslättsjön	2	0,157	6	0,196
Källsjön	7	0,045	3	0,060
Lien	4	0,093	8	0,123
Långsjön	4	0,119	11	0,210
N. Särnamannasjön	5	0,020	4	0,033
Rödingträsket	5	0,039	3	0,079
Stengårdshultasjön	11	0,039	4	0,129
Stensjön	1	0,100	11	0,158
Stora Härsjön	3	0,118	6	0,161
Stora Härsjön			11	0,161
Trehörningen	6	0,142	11	0,240
Tryssjön	4	0,089	3	0,061
Trysjön	9	0,044		
Upprämnen	9	0,044	4	0,086
V. Skälsjön	5	0,076	3	0,128

Åtta sjöar hade maximumkoncentrationer i mars-april, vilket bör vara strax innan islossningen. Dessa maxima kan bero på ett tillflöde av ett mark- eller grundvatten med hög sulfathalt. Flertalet är belägna i norr, där nederbörden under vintern ligger som snö och då knappast påverkar sjöns vatten. Fyra sjöar hade sin maximumkoncentration i november; tre av dessa är Åvasjöar och den fjärde är den västliga Stora Härsjön. I juni hade tre sydliga sjöar sitt maximum; Gyltigesjön, Gyslättsjön och Stora Härsjön (som även har högsta mediankoncentration i november). Torkperioder under sommaren och förhösten leder till oxidation av organiskt bundet svavel (eller sulfidsvavel), som lakas ut i samband med regn.

Vilken månad är mest representativ för året?

Representativiteten kan bedömas för varje sjö jämföra månadsvisa medianvärden med årets medianvärde (normering). Skillnaden kan ses som ett mått på representativiteten; det månadsvärde som har en liten skillnad bör vara mest representativt (figur 8).

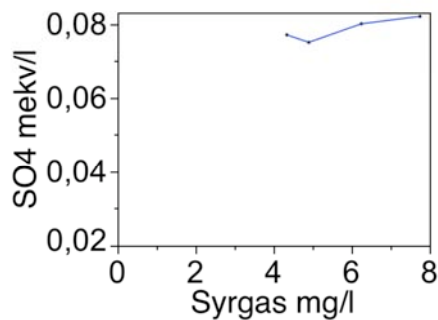


Figur 8. Skillnad mellan månadsvisa medianvärden och årsmedianvärden för sulfat (mekv./l). IKEU-sjöar enligt figur YY. Antalet provtagningsår per månad representeras av boxens bredd.

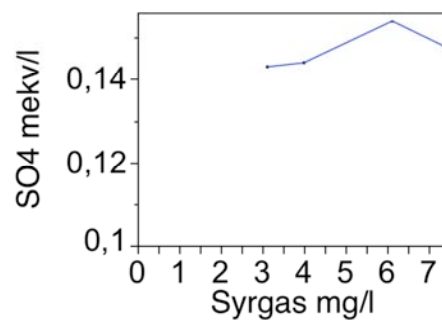
Månaderna maj och juli har medianvärden som är lika med årsmedianen. Medianvärdet för augusti, som är en vanlig provtagningsmånad, är endast 0,0005 mekv/l högre än årsmedianen. Påtagligt låga månadsvärden förekommer i mars, april och september.

Variation med djup

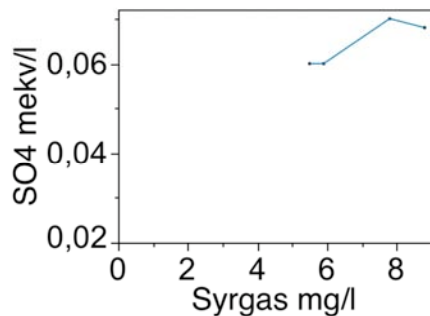
Sulfathalten minskar ofta från ytan mot botten. Gahnström och Andersson (1985) fann en liknande sulfatminskning i Gårdsjöns hypolimnion under sommarstagnationen. De uppskattade mängden till 20–40 kg SO₄-S. Den beror troligen på sulfatreduktion, något som antyds av förhållandet mellan sulfathalt och syrgaskoncentrationen (figur 9) är ofta lägre i djupvattnet.



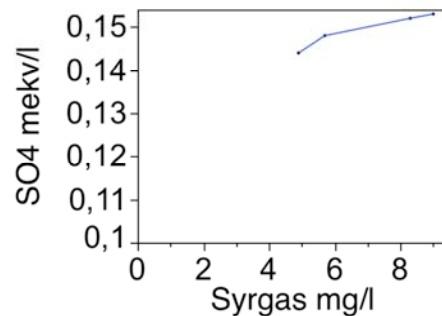
Källsjön 683582 15493



Långsjön 656590 164240



Trysjön 670275 146052



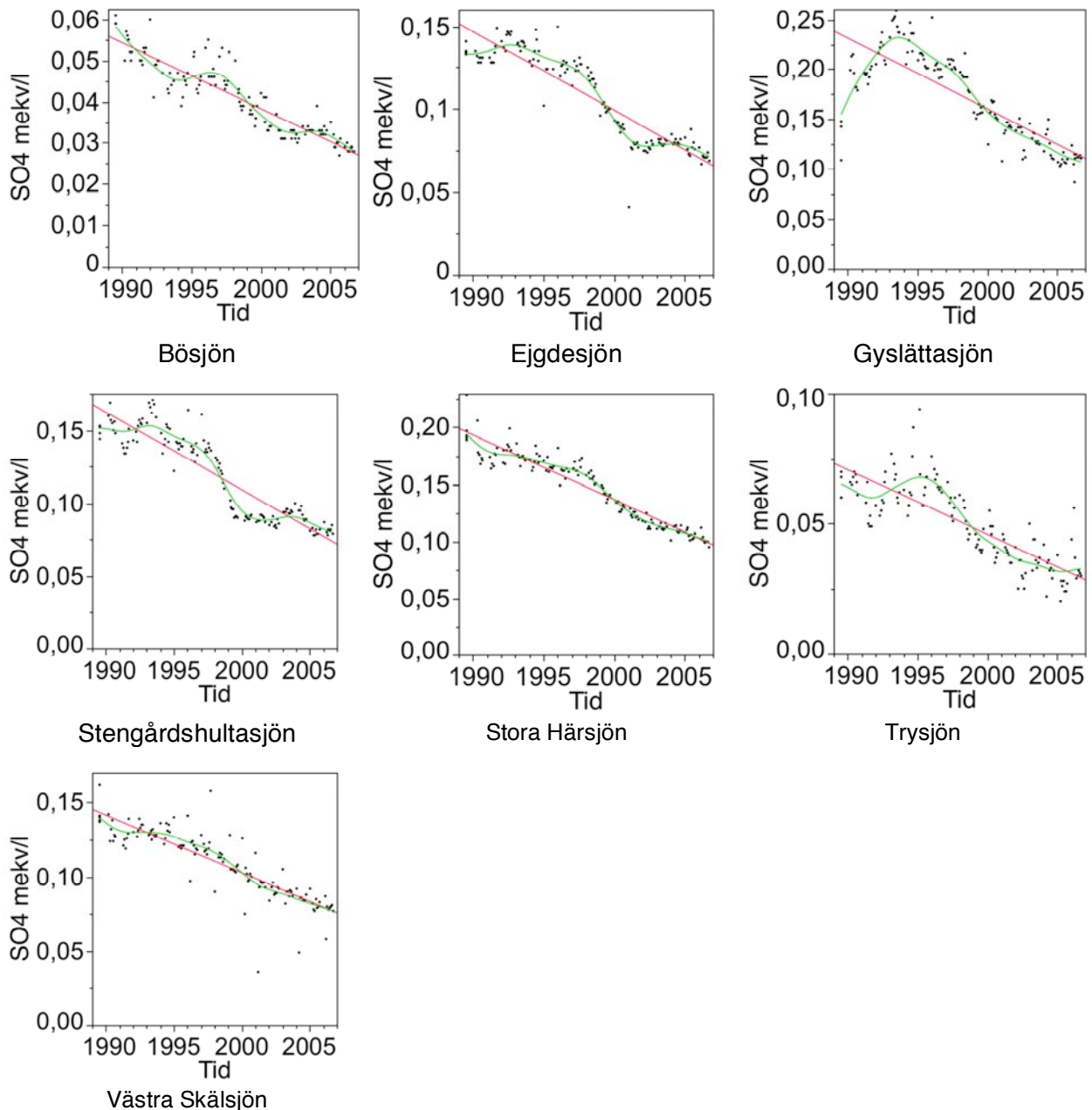
Stengårdshultasjön 638317 138010

Figur 9. Förhållandet mellan sulfathalt och syrgaskoncentration i hypolimnion under sommaren för några IKEU-sjöar 1989.

En förutsättning för att sulfathalten skall minska mot djupet tycks vara att syrgaskoncentrationen är lägre än ca 5 mg/l. Det innebär att den bakteriella nedbrytningen av organiskt material då i viss mån börjar använda sulfat som elektronacceptor. Men samtidigt borde halten av den alternativa elektronacceptorn nitrat vara lägre i djupvattnet. Detta är sällan fallet, men som regel är nitrathalten låg.

Trender för sulfatkoncentration i sjöar

Den minskande sulfatdepositionen leder till minskningar av sulfathalterna i sjöarna. Denna utvärderingen har begränsats till de sjöar som undersökts sedan 1989 för att få en så lång tidsserie som möjligt. Sedan början av 1990-talet är den ganska linjär (figur 10), men det finns exempel där minskningen planar ut under de senaste åren (t.ex. för Ejgdesjön och Stengårdshultasjön).



Figur 10. Tidsserier för IKEU-sjöar undersökta sedan 1989. Linjär regression (röd linje) och spline ($\lambda = 10$) för att beskriva icke-linjär variation (grön linje).

Med den icke parametriska metoden för trendberäkningar (Theil's – Sen's slope) kan lutningen och dess p-värde beräknas med mindre påverkan från extremvärden än med linjär regression (minsta kvadratmetoden). I alla sjöar är minskningen signifikant, med undantag för den icke längre undersökta, nordligt belägna Rödingträsket (tabell 7).

Tabell 7. Trender (lutningar beräknade som Theil's slope) för sulfat och icke-marin sulfat i några av IKEU-sjöarna.

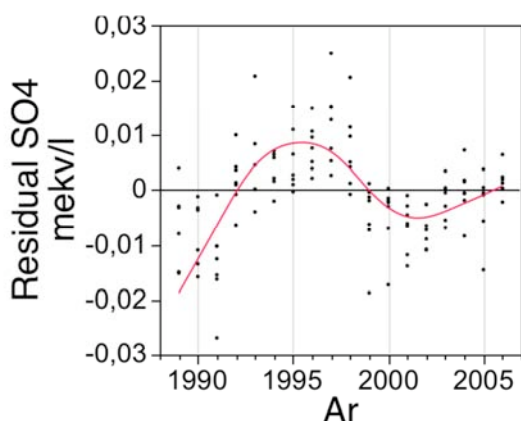
Sjö	Startår	Slutår	SO ₄		SO ₄ * (icke-marin)	
			mekv/l,år	p-värde	mekv/l,år	p-värde
Bösjön	1989	2006	-0,0016	0,000	-0,0015	0,000
Ejgdesjön	1989	2006	-0,0049	0,000	-0,0049	0,000
Gyltigesjön	1989	2006	-0,0054	0,000	-0,0049	0,000
Gyslättsjön	1989	2006	-0,0087	0,000	-0,0082	0,000
Källsjön	1989	2006	-0,0015	0,000	-0,0015	0,000
Lien	1989	2006	-0,0049	0,000	-0,0049	0,000
Långsjön	1989	2006	-0,0052	0,000	-0,0051	0,000
Rödingträsket	1989	1998	-0,0006	0,496	-0,0006	0,468
Stengårdshultasjön	1989	2006	-0,0054	0,000	-0,0052	0,000
Stensjön (T-län)	1989	2006	-0,0031	0,025	-0,0031	0,027
Stora Härsjön	1989	2006	-0,0057	0,000	-0,0056	0,000
Tryssjön	1989	2006	-0,0027	0,000	-0,0027	0,000
V. Skälsjön	1989	2006	-0,0039	0,000	-0,0039	0,000

Minskningarna av sulfathalten är naturligtvis kraftigast i södra Sverige, t.ex. i Stora Härsjön och Gyslättsjön, där depositionen också varit och fortfarande är hög. På en 15-års period har i dessa två sjöar alltså sulfathalten minskat med 0,085 respektive 0,130 mekv/l.

I den mer nordligt belägna Nedre Särnamansjön, som dock endast undersökts sedan 1994, är minskningen i sulfat endast 0,0012 mekv/l,år.

Halten icke-marin sulfat är ju lägre än totalhalten, särskilt i sydvästliga delen av landet. Därför beräknades trenden för sjöarna även för denna fraktion (tabell 7). Endast för Gyltigesjön och Gyslättsjön är skillnaden påtaglig och med lägre lutningar för icke-marin sulfat.

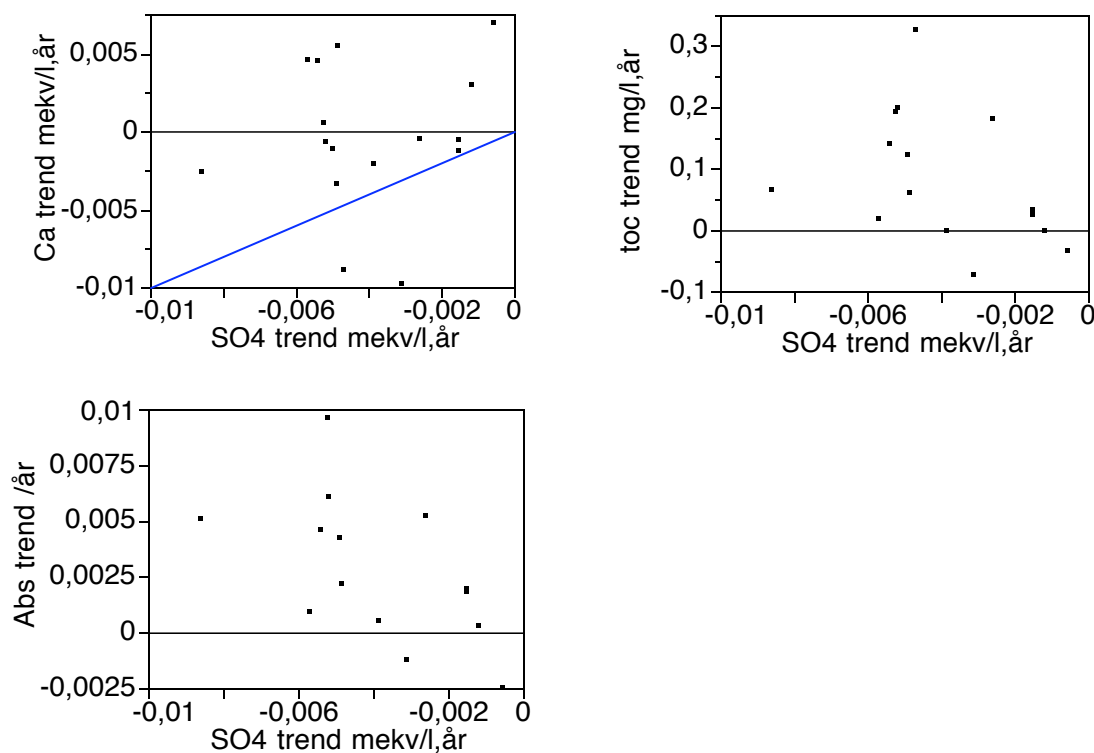
Även om linjär regression väl beskriver minskningen i sulfatkoncentration syns en cyklisk variation i de flesta sjöarna (jfr figur 10). Genom att beräkna avvikelser från linjär regression (residualer) för årsvisa värden beskrivs hur det cykliska förloppet är likartad i de flesta av IKEU-sjöarna (figur 11).



Figur 11. Avvikelse från linjär regression (residualer) i årlig sulfatkoncentration för valda IKEU-sjöar (jfr figur 10). Den röda linjen är en spline anpassning.

Koncentrationerna var lägre än ”normalt” omkring 1990 och högre än ”normalt” under perioden 1995–1998. Under ungefär samma period hade sulfatdepositionen ett maximum omkring 1998–99 (jfr figur 2). Vattenföringen kan vara en annan orsak till variationen. Data för vattenföring finns inte för sjöarna, men för 28 IKEU-vattendrag finns ingen signifikant trend för vattenföring. 13 av vattendragen hade dock ett flödesmaximum år 2000, vilket kan förklara de lägre halterna under 2001 och 2002.

Den minskande sulfatkoncentrationen i alla IKEU-sjöar borde leda till en minskad kalkdosering. Det är vanskligt att i detta fall finna orsaken till trender för kalcium. Den kan bero på en ändring i kalkdos och/eller på naturlig trend. En minskning i halten kalcium (och även andra baskatjoner) har påvisats i samband med minskad försurning, beroende på att marken binder en större andel kalcium (basmättnadsgraden ökar långsamt). Men om den observerade minskningen av sulfat har lett till en motsvarande minskad kalkdos skulle förhållandet för de två ämnenas trender ske enligt en blå linjen i figuren för Ca i figur 12. Av de 16 undersökta sjöarna ökade kalciumhalterna i 5 och den förväntade minskningen syns bara i 4 av dem.



Figur 12. IKEU-sjöar. Förhållandet mellan trenden för sulfat och kalcium, TOC respektive absorbans. Trender beräknade som Theil's slope.

Både för TOC och för absorbans finns en tendens till stigande halter vid minskande sulfatkoncentrationer. Detta är i linje med en hypotes som förklarar ökningen av organiskt material som en följd av minskad sulfathalt (Monteith m.fl. 2007). En ökning av organisk material sker ju i form av sura humusämnen och därmed dämpas den förväntade ökningen av alkalinitet, men för ANC kan en ökning ske.

För IKEU-sjöarna är det möjligt att uppskatta den koncentration av sulfat som depositionen kan svara för genom att använda värden på specifik avrinning för perioden 1961-1990 (SMHI). Visserligen tas då ingen hänsyn till eventuell trend i avrinningen, men data för årlig avrinning finns inte för sjöarna. En jämförelse mellan trenden för sulfatdeposition, beräknad som potentiell koncentration, och trenden för koncentrationen i sjön visas i figur 13.

Förhållanden i IKEU-vattendrag

Liksom för sjöarna ovan presenteras vattendragens förhållanden först som tillstånd och säsongsvariation och därefter trender för sulfatkoncentrationer.

Tillstånd i vattendragen

De undersökta IKEU-vattendragens sulfathalter (som medianvärden) redovisas i tabell 8 ordnade från söder till norr.

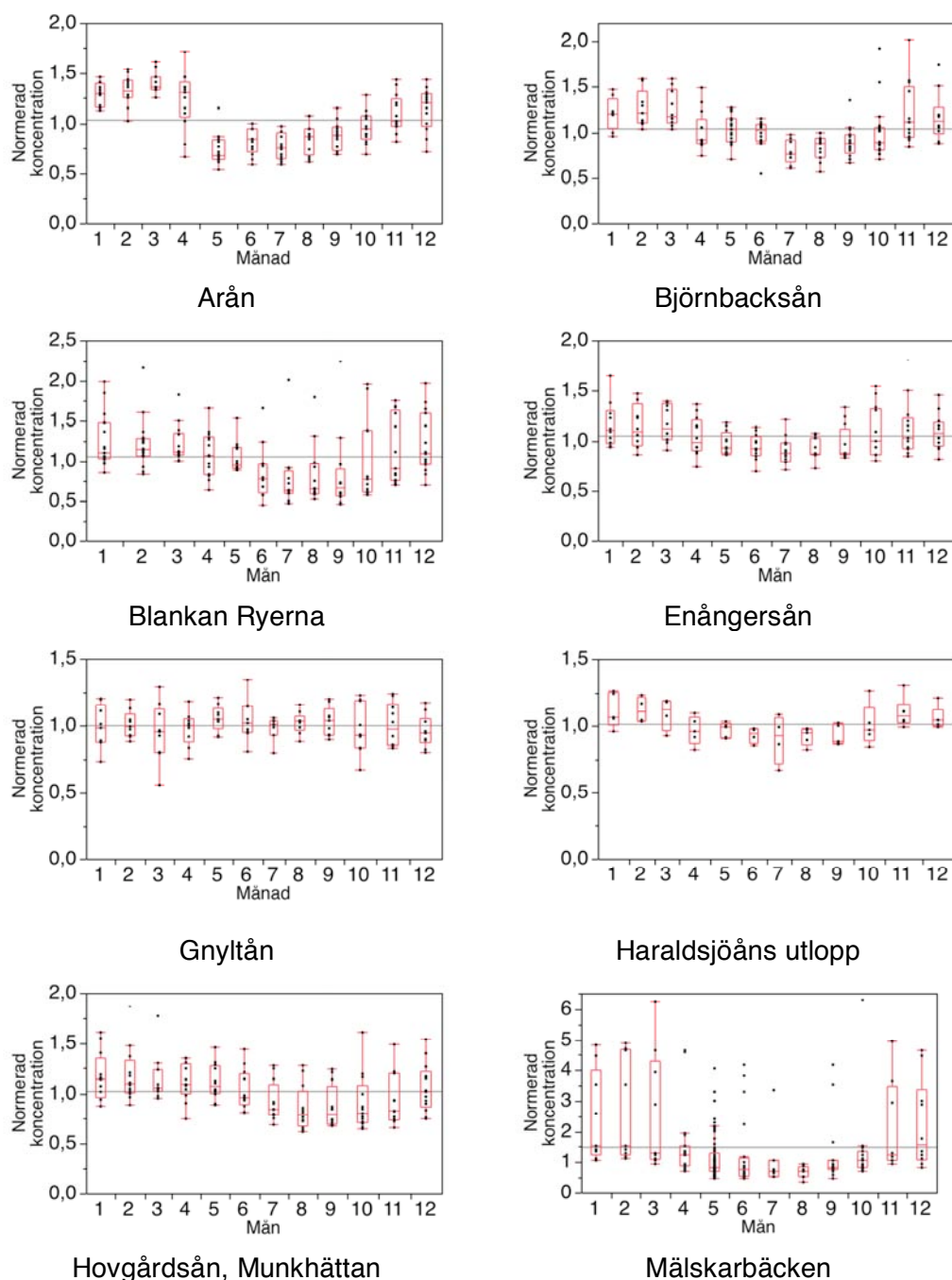
Tabell 8. Mediankoncentrationer för sulfat i IKEU-vattendrag.

Vattendrag	X_RAK	Y_RAK	SO4 mekv/l
Hörlingeån-Rökeå	623562	136656	0,183
Trollbäcken, mynningen	624715	133405	0,212
Strönhultsån G. Kvarnen	625195	141220	0,208
Blankan Ryerna	627432	134607	0,096
Lillån G:a Järnvägsbron	628975	133250	0,145
Lillån (Oskarsström)	630695	132775	0,129
Hovgårdsån Munkhättan	630960	131620	0,166
Lillån-Bosgårdsån	631840	133310	0,086
Dammån	632137	147160	0,117
Morån	634570	150290	0,143
Gnyltån	638065	139975	0,277
Hästgångsån Hästgången	638300	141085	0,171
Skuggälven Ängarna	654141	124734	0,078
Ejgstån	654552	123925	0,161
Haraldssjöån Sandån Övre	663410	148295	0,068
Laxbäcken	663718	148037	0,060
Björnbackån	673809	153401	0,051
Sörjabäcken (Lillån)	673815	153365	0,049
Enångersån V. Lövås	682605	155185	0,066
Källsjöån Källsjöklack	683563	155010	0,051
Härån (Storån)	684705	153450	0,050
Stråfulan	684875	133226	0,028
Bjässjöån	694100	156630	0,057
Ådalsån Lyckemyran (D)	696000	156850	0,041
Hornsjobäcken	697145	157980	0,065
Arån Arålund	697805	139065	0,039
Bastuån	699972	140367	0,031
Stridbäcken, E4:an	704640	167395	0,044
Lillån, E4:an	706025	169395	0,050
Storselsån Storsele	707195	161570	0,031
Mälskarbäcken	718900	154895	0,017

Precis som för sjöarna förekom de högsta halterna i de sydliga vattnen; Trollbäcken, Strönhultsån, Gnyltån och Hörlingeån. Likaledes var halterna lägst i norr.

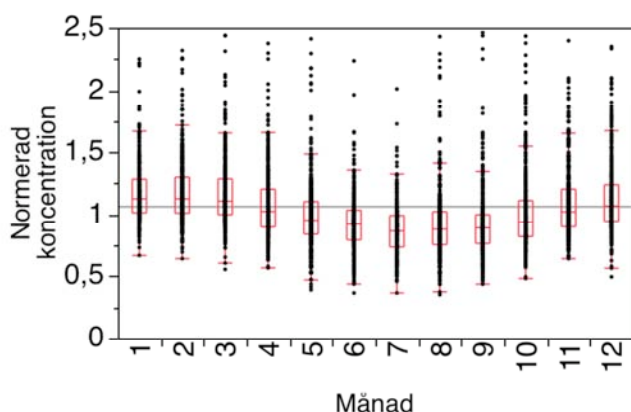
Säsongvariation i vattendrag

I vattendragen är säsongvariationen är stor jämfört med den i sjöarna (figur 14).



Figur 14. Årstidsvariation för sulfat (normerad mot mediankoncentration) i IKEU-vattendrag.

Lägst variation uppvisar Gnyltån och Haraldsjöån och den högsta förekommer i Mälskarbäcken, som också hade mycket stor variation mellan åren t.ex. i mars. Variationen redovisas för alla vattendrag sammantaget redovisas i figur 15.

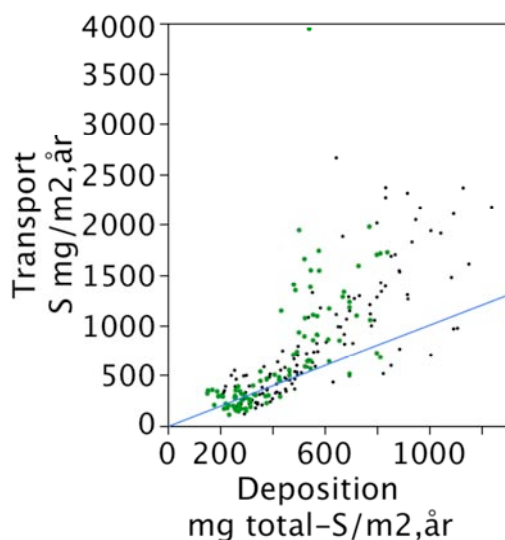


Figur 15. Årstidsvariation för sulfat i IKEU-vattendrag. Koncentrationen normerad relativt mot vattendragets mediankoncentration.

Höga koncentrationer förekommer som regel under vintern (januari–mars). Minimumvärden är vanligast under sommaren. Koncentrationen stiger generellt från augusti till januari.

Transport av sulfat i vattendrag

För de 28 IKEU-vattendragen, i motsats till sjöarna, finns värden på årlig transport beräknad med modellerade värden för vattenföring. Dessa kan direkt jämföras med den årliga depositionen (figur 16). För att vattendragen lättare skall kunna jämföras med varandra används här arealspecifik transport på samma sätt som depositionen anges av MATCH modellen.



Figur 16. Förhållandet mellan årlig deposition (MATCH) och transport av sulfat (som svavel) i IKEU-vattendragen. Gröna punkter markerar åren 2002-2005.

Flertalet vattendrag har en högre transport av sulfat än deposition. Även under de senast åren (2002–2005) är transporten framför allt i de kraftigare belastade vattendragen avsevärt större än depositionen. Kvoten transport/deposition var 1,27 för de 221 värdeparen. Det antyder att marken läcker sulfat som ökar transporten. För många vattendrag är det uppenbart att denna sulfat har deponerats tidigare vid högre deposition (jfr inledningen). En mer översiktlig bild av detta ger medianvärdena för kvoten (tabell 9).

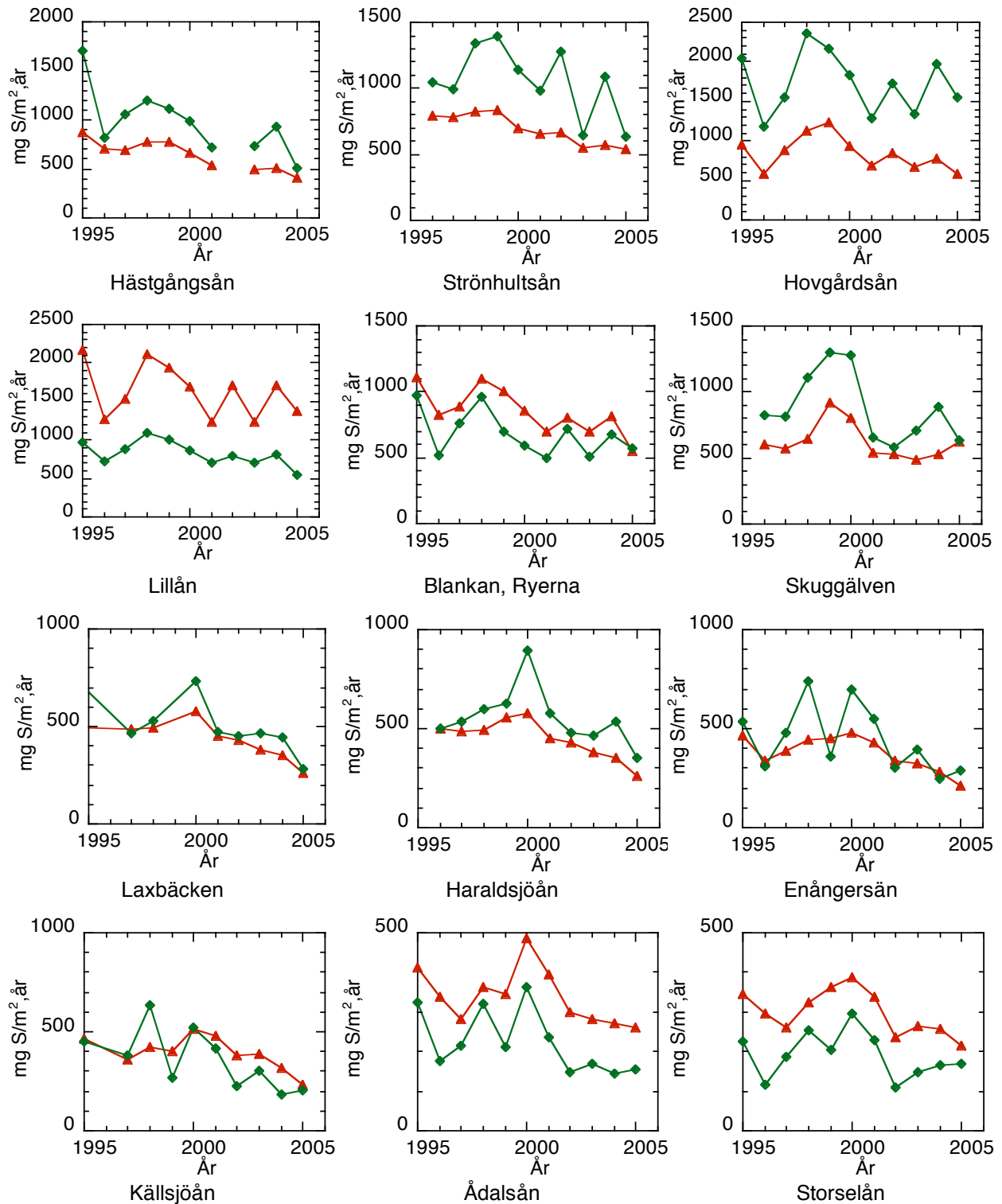
Tabell 9. Kvoten årlig transport/deposition som medianvärdet för IKEU-vattendragen.

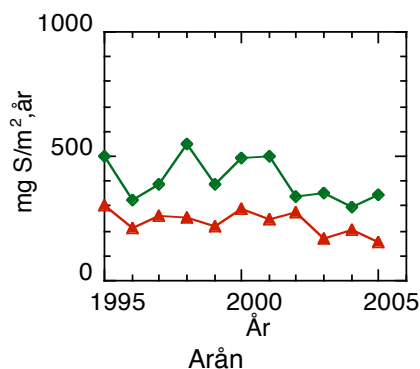
Kalkad/referens	Vattendrag, station	Antal år	Transport/deposition
K	Arån Arålund	11	1,69
K	Blankan Ryerna	11	0,83
K	Enångersån V. Lövås	11	1,21
K	Haraldssjön Sandån Övre	10	1,22
K	Hovgårdsån Munkhättan	11	2,00
K	Hästgångsån Hästgången	11	1,48
K	Källsjön Källsjöklack	10	0,87
K	Lillån G:a Järnvägsbron	11	1,92
K	Rökeån Vedema	1	1,98
K	Skuggälven Ängarna	10	1,42
K	Storselsån Storsele	11	0,66
K	Strönhultsån G. Kvarnen	10	1,57
K	Ådalsån Lyckemyran (D)	11	0,60
R	Bastuån	7	1,59
R	Ejgstån	8	2,51
R	Gnyltån	8	2,78
R	Hornsjöbäcken	8	1,20
R	Härån (Storån)	8	0,93
R	Hörlingeån-Rökeå	8	1,72
R	Laxbäcken	10	1,08
R	Lillån-Bosgårdsån	8	1,36
R	Lillån, E4:an	1	1,08
R	Morån	8	1,08
R	Stråfulan	8	0,84
R	Sörjabäcken (Lillån)	8	0,77
R	Trollbäcken, mynningen	1	3,01
R	Vingån, Vingäng	1	0,57

Fyra IKEU-vattendrag avviker med höga mediankvoter (>2); referensvattendragen Ejgstån (654552 123925), Gnyltån (638065 139975) och Trollbäcken, mynningen (624715 1334059) och den kalkade Hovgårdsån Munkhättan (630960 131620). Alla dessa vattendrag är belägna i sydvästra delen av landet med en deposition större än medianvärdet för alla IKEU-vattendragen. De höga kvoterna visar alltså på ett kraftigt läckage från marken av svavel som lagrats under tidigare ännu högre deposition.

Trender för transport av sulfat i vattendragen

Eftersom vattenföring finns för vattendragen har transporten av bl.a. sulfat kunnat beräknats och kan således jämföras med depositionen enligt MATCH modell. För att enkelt kunna jämföra de olika vattendragen är transporten beräknad som en arealkoefficient (figur 17).





Figur 17. Transport av sulfat-S i IKEU-vattendrag (—◇—) och deposition enligt MATCH modell (—△—). Areal specifika värden som svavel ($\text{mg}/\text{m}^2, \text{år}, \text{år}$).

Av figuren framgår att transporten av sulfat alltid minskar i IKEU-vattendragen, med möjligt undantag gör Hovgårdsån. Trender beräknade som Theil's lutning redovisas i tabell 10.

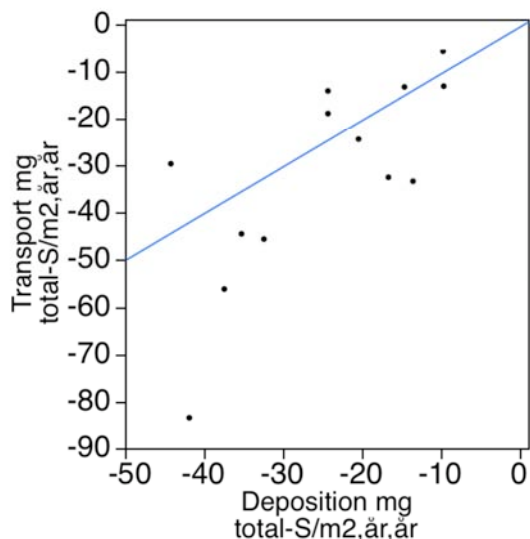
Tabell 10. Trender för deposition och transport av svavel i IKEU-vattendrag.

Vattendrag	Antal år	p-värde	Deposition $\text{mg total-S}/\text{m}^2, \text{år}, \text{år}$	Transport $\text{mg total-S}/\text{m}^2, \text{år}, \text{år}$
Hästgångsån Hästgången	11	0,002	-41,9	-83,4
Strönhultsån G. Kvarnen	10	0,006	-32,4	-45,5
Hovgårdsån Munkhättan	11	0,1	-35,3	-44,4
Lillån G:a Järnvägsbron	11	0,05	-37,4	-56,3
Blankan Ryerna	11	0,01	-44,2	-29,6
Skuggälven Ängarna	10	0,2	-13,6	-33,3
Laxbäcken	10	0,001	-24,3	-18,9
Haraldssjöån Sandån Övre	10	0,01	-24,3	-14,1
Enångersån V. Lövås	11	0,04	-20,5	-24,4
Källsjöån Källsjöklack	10	0,09	-16,7	-32,5
Ådalsån Lyckemyran (D)	11	0,05	-14,7	-13,3
Storselsån Storsele	11	0,1	-9,8	-5,7
Arån Arålund	11	0,05	-9,7	-13,1

Som medianvärde minskade depositionen med $24 \text{ mg}/\text{m}^2, \text{år}, \text{år}$ (som S) och sulfattransporten med $30 \text{ mg}/\text{m}^2, \text{år}, \text{år}$ (som S) vilket motsvarar 1,5 respektive 1,9 $\text{ekv}/\text{km}^2, \text{år}, \text{år}$.

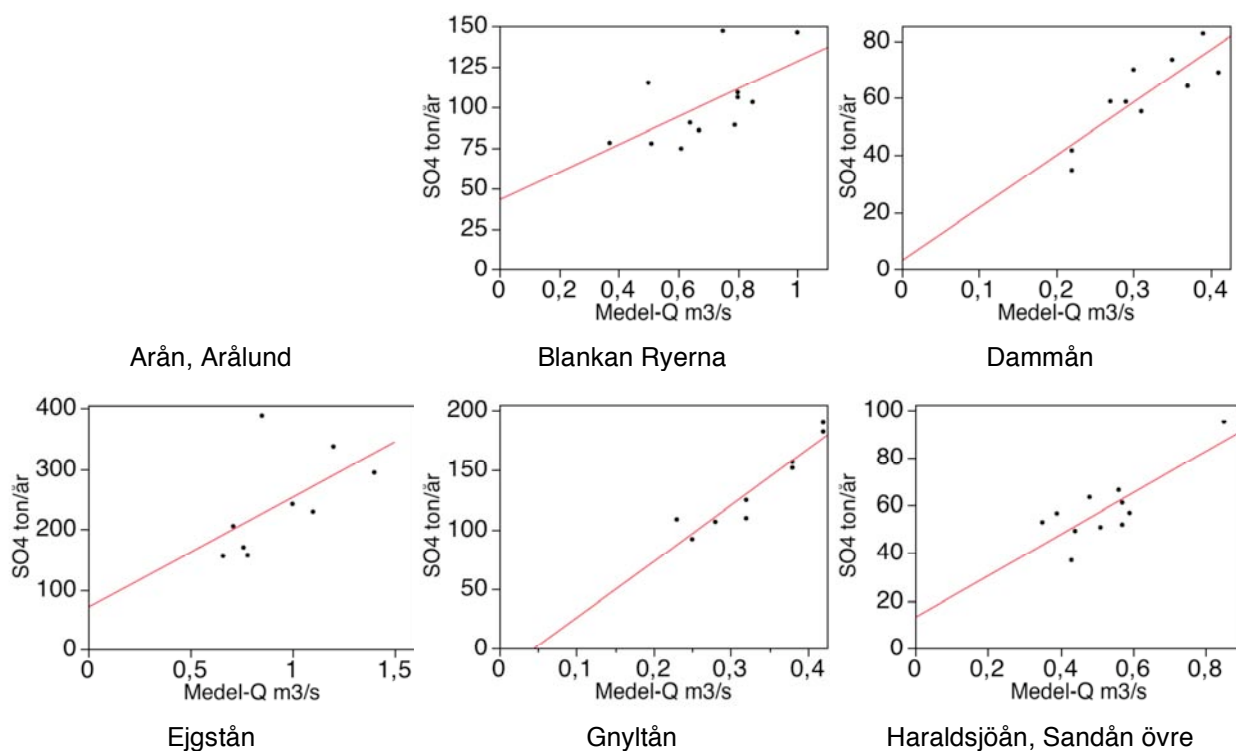
För många vattendrag minskade transporten mer än depositionen under perioden (figur 18).

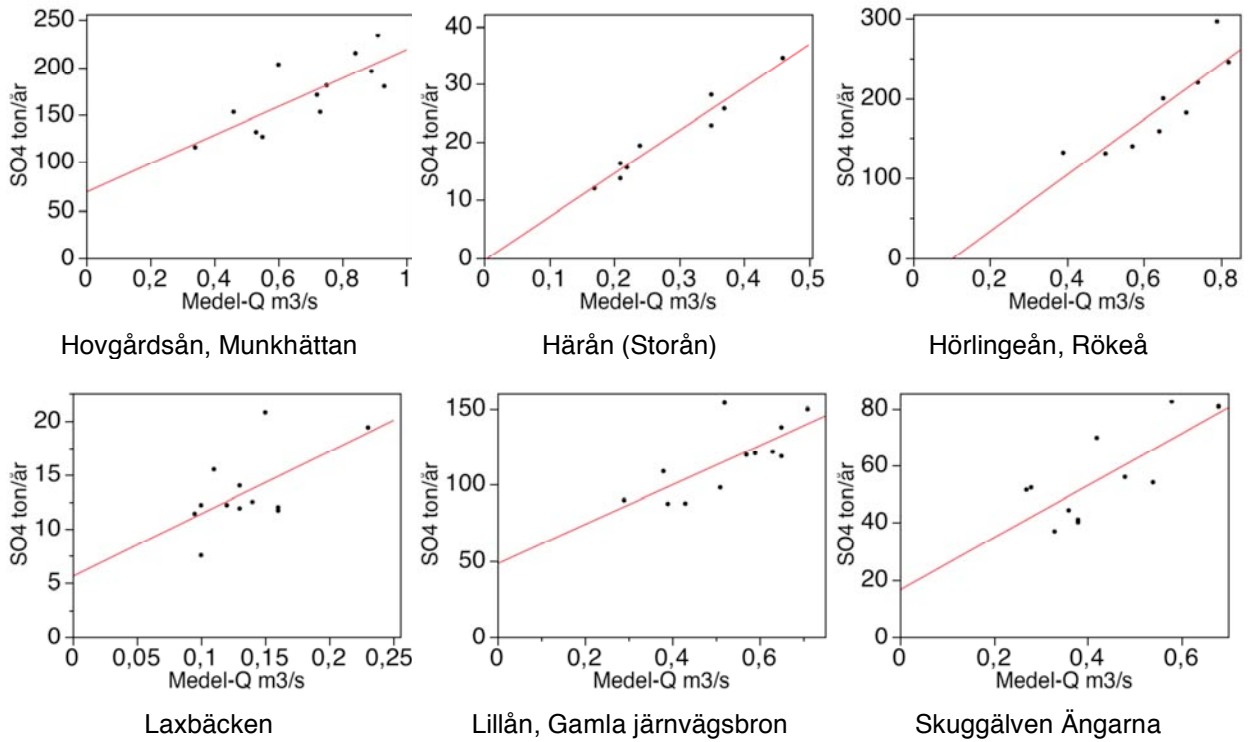
Det gäller framför allt de med stor minskning i deposition, dvs. vattendrag med hög deposition både tidigare och nu.



Figur 18. Förhållandet mellan trender för deposition och transport för IKEU-vattendrag.

Vattenföringen har stor betydelse för transporten av ämnen. Om det finns en trend för vattenföringen så kan det påverka trenden för transporten av ämnen. En genomgång av förhållandet mellan transporten av sulfat och årsvis medelvattenföring visar för många vattendrag på ett signifikant förhållande, medan andra har en svag korrelation (figur 19).

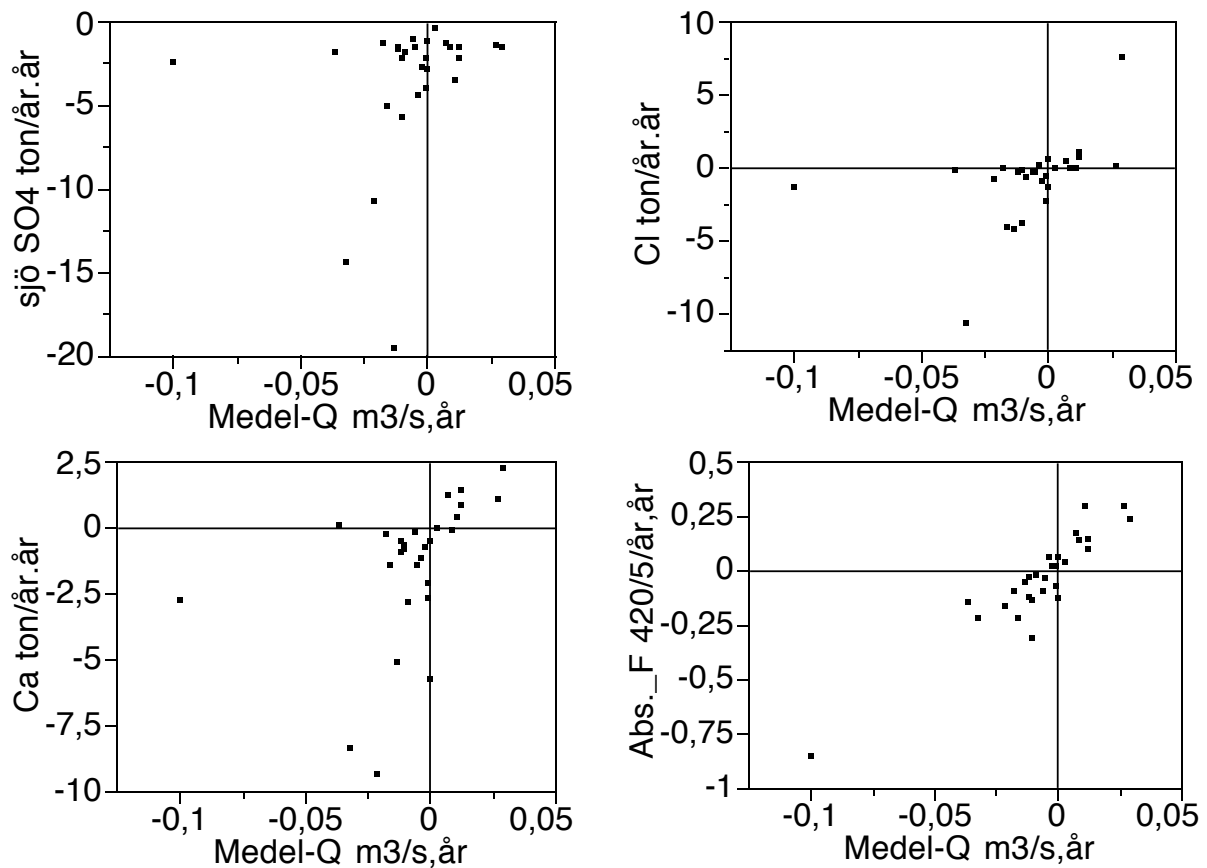




Figur19. Förhållandet mellan vattenföring och transport av sulfat i IKEU-vattendrag.

Trender för transport av andra ämnen i vattendragen

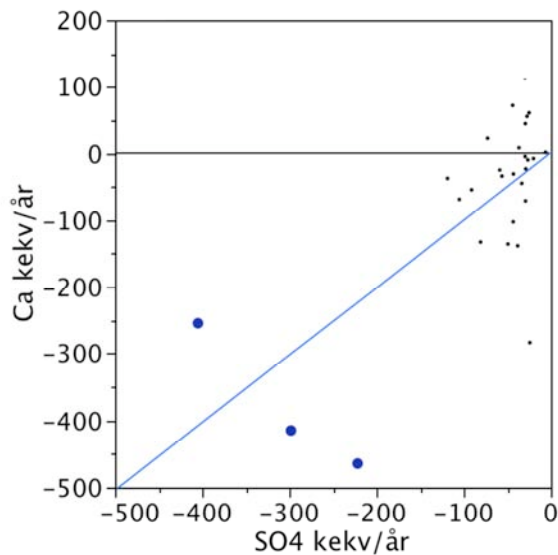
För fyra ämnen visas förhållandet i trender mellan transport och vattenföring (figur 20).



Figur 20. IKEU vattendrag. Förhållanden mellan trender i årlig transport av sulfat, klorid och kalcium (ton/år,år) samt absorbans och trenden i medelvattenföring (m³/s,år).

Även då det är en positiv trend för vattenföring så skedde en minskning av sulfattransporten och i stort oberoende av trenden i vattenföring. Trenderna för kloridtransport följer trenden för vattenföring något bättre, vilket kan bero på att tillförseln av klorid oftast sker genom nederbörd.

Samma mönster gäller även för kalcium, men det finns två naturliga källor; vittring och genom kalkning (figur 21). Relationen mellan trenden för vattenfärg (absorbans) och trenden för vattenföring är god, något som beror på läckage från omgivande mark.

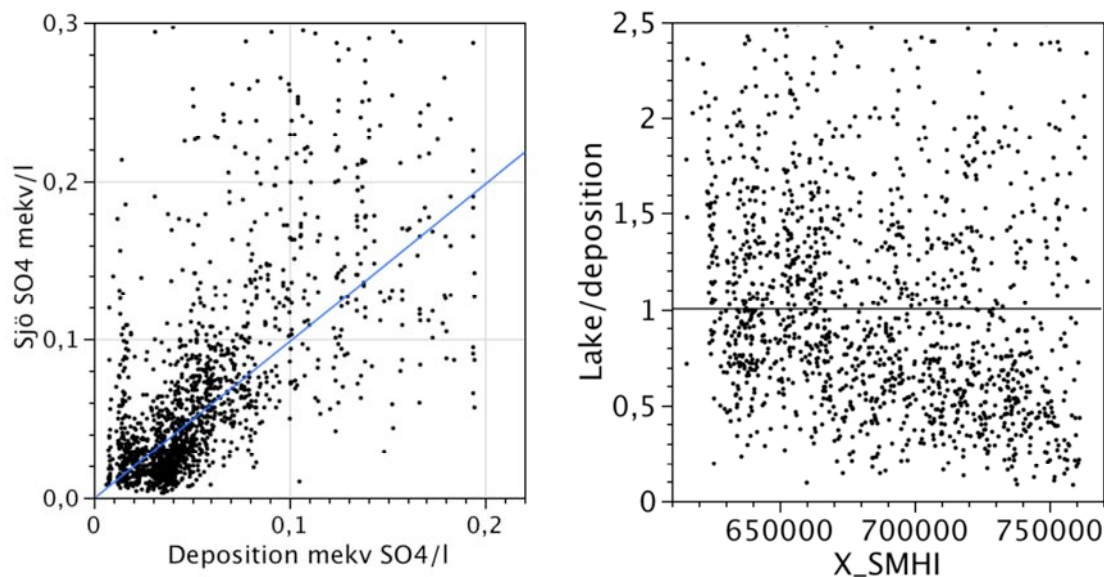


Figur 21. Förhållandet i trender mellan transport av sulfat och kalcium för IKEU-vattendragen. De markerade punkterna gäller referensvattendragen Ejgstån, Gnyltån och Hörlingeån-Rökeå. Den blå linjen anger ekvivalenta trender för sulfat och kalcium.

Kalciumtransporten minskar under perioden i 18 av vattendragen. I tre vattendrag; (markerade med blå punkter), har den kraftiga minskningen i sulfatdeposition åtföljts av en relativt ekvivalent minskning i kalciumtransport. Alla tre är dock referensvattendrag, som alltså inte kalkas. Bland de övriga vattendragen återfinns såväl sådana med en mer eller mindre ekvivalent minskning av kalcium och sådana med en beräknad ökning av kalcium trots minskning i sulfatdepositionen. Det antyder att kalkningsdosen ibland anpassas till minskad deposition, men resultaten visar inte om den mängd kalk som tillförs är anpassad.

Förhållanden vid sjöinventeringen 2005

För Sverige som helhet kan förhållandet mellan deposition och koncentration i sjöar beskrivas med hjälp av sjöinventeringen 2005 (figur 22).



Figur 22. Sjöinventeringen 2005. Förhållandet mellan deposition av total-sulfat som koncentration (beräknad från areell deposition och specifik avrinning (perioden 1961–1990) och koncentrationen i provtagna icke kalkade sjöar. Den blå linjen visar förhållanden då sjöns koncentration är lika med depositionens.

Till höger fördelningen av kvoten sjökoncentration/deposition i en syd/nordlig gradient. En kvot >1 antyder läckage av sulfat från marken och en <1 fastläggning.

Vid låg deposition tycks en stor andel av depositionens sulfat fastläggas och en mindre andel finns i sjövattnet. Sådana sjöar är vanliga längre norrut (större x-koordinat). I söder är det istället oftast ett läckage av sulfat som lagrats i marken vid tidigare, högre sulfatdeposition (kvoten >1).

Slutsatser

Depositionen av sulfat har minskat drastiskt under de senaste 15-20 åren. Den procentuella minskningen under perioden var störst i det nordligaste området med 69 % och minst i den sydvästligaste med 54 %. En anpassning av kalkningen till denna minskning i deposition skulle, om inget försurande läckage sker från sulfat som lagrats under tidigare deposition, motsvara en årlig minskning av dosen kalkstensmjöl med mellan 90 och 33 mg/m², år (0,9 resp. 0,33 kg/ha, år som CaCO₃).

IKEU-sjöarna och -vattendragen följer de mönster av minskningar i sulfatkoncentrationer som syns i andra, okalkade vatten. Såväl IKEU-sjöarna som -vattendragen täcker beträffande S-deposition väl den spännvidd som finns i landet. Minskningen i S-deposition var för sjöarna mellan 0,66 och 1,8 mekv/m²,år,år. De minskningar i sulfatdeposition som skett har givit likartade minskningar i sulfatkoncentrationerna i sjöarna. Naturligtvis kraftigast i södra Sverige där, under en 15-års period, koncentrationen i Stora Härsjön minskat med 0,085 mekv/l och i Gyslättsjön med 0,130 mekv/l. Trenden för sulfatdeposition, beräknad som potentiell koncentration, och trenden för koncentrationen i sjön är för flertalet sjöar överensstämmer förvånansvärt väl. Det kan tolkas som att knappast något läckage av tidigare markbundet sulfat numera förekommer i dessa sjöars tillrinningsområden Även om minskningen är

signifikant så finns en svag cyklisk variation med ett maximum omkring 1995 och en minimum 2001–2002.

För vattendragen visar däremot jämförelser mellan deposition och transport på en högre transport av sulfat än deposition. Även under de senaste åren (2002–2005) är transporten, framför allt i de kraftigare belastade vattendragen, avsevärt större än depositionen. Som medianvärde är transport i vattendraget ca 27% högre än deposition. Fyra IKEU-vattendrag belägna i sydvästra delen av landet med en deposition större än medianvärdet för alla IKEU-vattendragen har en transport som är dubbelt så hög som depositionen. Det visar att marken läcker sulfat som ökar transporten. Orsaker till de olika resultaten mellan sjöar och vattendrag är sannolikt att avrinningen för sjöarna gäller för en tidigare 30-årsperiod och alltså inte är användbara i detta sammanhang.

För många vattendrag minskar transporten snabbare än depositionen under perioden, vilket tyder på en påtaglig återhämtning. Som medianvärde minskade depositionen med $24 \text{ mg/m}^2, \text{år,år}$ (som S) och sulfattransporten med $30 \text{ mg/m}^2, \text{år,år}$ (som S) vilket motsvarar 1,5 respektive $1,9 \text{ ekv/km}^2, \text{år,år}$.

Kalciumtransporten minskar under perioden i 18 av vattendragen. I tre referensvattendrag åtföljs den kraftiga minskningen i sulfatdeposition av en relativt ekvivalent minskning i kalciumtransport. Bland de övriga vattendragen finns såväl sådana med en mer eller mindre ekvivalent minskning av kalcium som sådana med en beräknad ökning av kalcium trots minskning i sulfatdepositionen. Det antyder att kalkningsdosen ibland anpassas till minskad deposition, men dessa resultat visar inte om den mängd kalk som nu tillförs är anpassad. Krondroppsmätningarna (IVL) visar på en god överensstämmelse för trender mellan vätejondeposition och depositionen av såväl total-S som icke-marin S. En enkel linjär regression antyder att vätejondepositionen (kekV/ha,år) är $0,35 * \text{SO}_4\text{-S-depositionen}$ eller $0,44 * \text{icke-marin SO}_4\text{-S-depositionen}$ (kekV/ha,år), dvs. 35% respektive 44% av sulfaten kan betecknas som syra. Trädens ”neutraliserande” effekt är tydlig; 30–40% av sulfaten har H^+ som korresponderande katjon i krondroppet medan 84% har H^+ som korresponderande katjon på öppet fält.

IKEU-områdena har en blandning mellan dessa ”markslag”, men påtagligt är att svaveldepositionen överskattar depositionen av syra.

Till detta kommer naturligtvis en neutralisering, om än liten i många områden, av syra genom vittring i markprofilen.

Sulfat, vare sig total eller icke-marin, som en indikator på syratrycket på vatten ger alltså en avsevärd säkerhetsmarginal vid bedömning av försurning.

Den minskande sulfatkoncentrationen och därmed syrabelastningen bör leda till en minskad (anpassad) kalkning, men trenden för kalcium är bara negativ (dvs. minskad kalkningen) för fyra av IKEU-sjöarna.

Sammanfattningsvis synes kalkningen sällan ha anpassats till den minskande svaveldepositionen de senaste decennierna.

Referenser

- Gahnström, G. & Andersson, G. 1985. An attempt to quantify sediment processes in the acidified Lake Gårdsjön, SW Sweden. *Ecological Bull.* 37:327–336
- Karltun, E. 1995. Sulphate adsorption on variable-charge minerals in pozolized soils in relation to sulphur deposition and soil acidity. *SLU Dep. of Soil Sciences. Reports and Dissertations* 26
- Kindbom, K., Svensson, A., Sjöberg, K. & Pihl-Karlsson, G. 2001. Trends in air concentration and deposition at background monitoring sites in Sweden. *IVL report* B 1429
- Moldan, F. & Ek, A. 1999. Svenska experimentella studier. Ur Warfvinge, P. & Bertills U. (red.) Naturens återhämtning från försurning, aktuell kunskap och framtidsscenarioer. *Naturvårdsverket Rapport* 5028
- Monteith, D.T., Stoddard, J.L., Evans, C.D., deWit, H.A., Forsius, M., Høgåsen, T., Wilander, A., Skjelkvåle, B.L., Jeffries, D.S., Vuorenmaa, J., Keller, B., Kopáček, & Vesely, J. 2007. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature* 450 537–540
- Nömmik, H., Larsson, K. & Lohm, U. 1984. Effects of experimental acidification on the transformations of carbon, nitrogen and sulphur in forest soils. *Naturvårdsverket* PM 1869
- Persson, C., Langner, J. & Robeertson, L. 1996. Air pollution assessment studies for Sweden based on MATCH model and air pollution measurements. *Air Poll. Model. Applic.* 11: 127134
- Persson, C., Ressner, E. & Klein, T. 2004. Nationell miljöövervakning – MATCH-Sverige modellen. Metod och resultatsammanställning för åren 1999-2002 samt diskussion av osäkerheter, trender och miljömål. *SMHI Meteorologi* Nr 113
- Wilander, A. 2001. Effects of reduced S deposition on large-scale transport of sulphur in Swedish rivers. *Water Air Soil Poll.* 130: 1421-1426
- Wilander, A. & Fölster, J. 2007. Sjöinventeringen 2005. En synoptisk vattenkemisk undersökning av Sveriges sjöar. *SLU Inst. f. Miljöanalys, Rapport* 2007:16