



Skillnad i surhet och försurning mellan sjöar 1-4 ha och sjöar 4-10 ha

av

Jens Fölster och Anders Wilander

Institutionen för Miljöanalys
SLU
Box 7050 SE 750 07 Uppsala



Skillnad i surhet och försurning mellan sjöar 1-4 ha och sjöar 4-10 ha

ISSN 1403-977X

Sammanfattning

- Miljötillståndet i Sveriges sjöar beskrivs utifrån resultaten från Riksinventeringar som under ett par decennier genomförts med 5 års mellanrum. Från 1995 begränsades Riksinventeringen till att bara omfatta sjöar > 4 ha. Ungefär hälften av sjöarna i SMHI's sjöregister, som omfattar sjöar > 1 ha, kom därmed att uteslutas. De minsta sjöarna anses vara surare och mer försurade än de större sjöarna. Om miljömålet "Bara naturlig försurning" ska omfatta alla sjöar >1 ha, innebär det i så fall att resultatet från de senaste två Riksinventeringarna ger en underskattning av försurningsproblemet.
- Vi jämförde vattenkemin med avseende på surhet och försurning i sjöar större och mindre än 4 ha i storleksklass E (1-10 ha) i Riksinventeringen 1990. Jämförelsen gjordes uppdelat på fem regioner. Försurningspåverkan baserades på ett förslag till nya bedömningsgrunder för försurning. En motsvarande jämförelse gjordes för Riksinventeringen 2000 i Västra Götalands län där även sjöar 1-4 ha ingick, till skillnad från resten av landet. En lokal sjöinventering i Södermanlands län 1999 användes också för att studera skillnader. Data för referenssjöar användes för att studera skillnaden mellan vinter- och höstprov eftersom Riksinventeringen 1990 provtogs på vintern till skillnad från senare Riksinventeringar som provtogs på hösten.
- Sjöarean beräknades utifrån digitala kartor för samtliga sjöar i storleksklass E i Riksinventeringarna. Det gjorde att antalet sjöar med ytor 1-4 ha i Sverige kunde uppskattas med större precision än tidigare. Enligt den nya uppskattningen är 45 000 av drygt 100 000 sjöar i Sverige 1-4 ha, vilket är fler än enligt tidigare uppskattningar.
- Riksinventeringen 1990 visade att de små sjöarna, 1-4 ha, i genomsnitt var surare och brunare än de något större sjöarna, 4-10 ha. Alkaliniteten var i genomsnitt 39 $\mu\text{ekV/l}$ lägre, pH 0,24 enheter lägre och AbsF var 0,048 enheter högre i småsjöarna jämfört med de något större. Dessa skillnader var alla statistiskt signifikanta med 5% signifikans. Spridningen var även större i småsjöarna jämfört med de större. Det fanns även indikationer på att småsjöarna var mer försurningspåverkade än de större.
- Uppdelning i regioner visade att det bara var i södra Sverige som småsjöarna var surare och mer försurade jämfört med de större. I Norrlands kustland var de minsta sjöarna till och med mindre försurade jämfört med de större. I Länssjöinventeringen i Södermanlands län 1999 var småsjöarna brunare än de större, men skillnaderna i pH och alkalinitet var obetydliga mellan storleksklasserna.
- Vid en jämförelse mellan små och större sjöar i Västra Götaland visade det sig att skillnaderna mellan storleksklasserna minskat från 1990 till 2000, både med avseende på vattenkemi och försurningspåverkan.
- Ett försök till att räkna om resultaten från Riksinventeringen 2000 till att gälla för alla sjöar >1 ha antydde att andelen försurade sjöar var upp till en procentenhet högre jämfört med om man bara tog med sjöar > 4 ha.

Bakgrund

Miljötilståndet i Sveriges sjöar kan beskrivas med resultat från Riksinventeringar inom den nationella miljöövervakningen. Riksinventeringarna har sedan 1990 utgjorts av slumpade urval av sjöar ur SMHI:s sjöregister (jmf SMHI, 1996), efter stratifiering på län och storleksklass (Bernes, 1991). Den minsta storleksklassen enligt sjöregistret är klass E, som omfattar sjöar < 10 ha med en nedre avgränsning på ca 1 ha. Fram till och med 1990 omfattade Riksinventeringarna sjöar i hela storleksklass E, men i och med Riksinventeringen 1995 gjordes en begränsning neråt i storlek så att endast sjöar > 4 ha ingick i urvalet. Anledningen till det var en samordning med övriga nordiska länder, där man uteslöt de minsta sjöarna till förmån för de större (Henriksen, *et al.*, 1998). Sedan 1990 har vi alltså inte haft någon rikstäckande beskrivning av sjöar mellan 1 och 4 ha, vilka antas utgöra ca. 40 000 i antal.

I dagsläget speglar den nationella övervakningen alltså inte den stora andelen sjöar mellan 1 och 4 ha, samtidigt som dessa ofta inkluderas vid formulerandet av regionala miljömål. I försurnings-sammanhang har det framförts att små sjöar ofta är både surare och mer försurningspåverkade än stora sjöar. Kalkningsverksamheten omfattar även sjöar < 4 ha. Vid Riksinventeringen 2000, gjordes en utökning av urvalet sjöar i Västra Götalands län med 50 sjöar mellan 1 och 4 ha. Det visade sig då att dessa, som väntat, var betydligt surare än större sjöar i den regionen (Ingvarsson, 2002).

Naturvårdsverket har därför gett oss i uppdrag att klargöra om detta gäller för fler regioner i Sverige än bara för Västra Götalands län. Vidare gäller uppdraget att utvärdera om det utifrån nuvarande miljöövervakning går att uttala sig om försurningstillståndet i sjöar 1-4 ha, eller om den nationella miljöövervakningen behöver förändras för att försurningstillståndet i alla Sveriges sjöar >1 ha ska kunna beskrivas.

I det här redovisade projektet har undersökts hur sjöar av storleken 1 - 4 ha förhåller sig till sjöar av storleken 4 - 10 ha med avseende på försurning och försurningsrelaterade kemiska parametrar. Undersökningen omfattar resultat från Riksinventeringarna 1990 och 2000, samt en regional sjöundersökning i Södermanlands län 1999. Projektet syftar till att avgöra vilket av följande 3 alternativ som ska gälla för sjöar 1-4 ha:

1. Försurningstillståndet i små sjöar är samma som i större sjöar som ingår i de senare riksinventeringarna i storleksklassen 4–10 ha.
2. Försurningstillståndet i små sjöar kan beräknas utifrån tillståndet i de större sjöarna.
3. Den nationella miljöövervakningen måste förändras till att omfatta även sjöar 1-4 ha.

Material och metoder

Dataunderlag

Vi har valt att bara studera sjöar inom storleksklass E, dvs. 1-10 ha uppdelat på de två underklasserna 1-4 ha (E_b), och 4 - 10 ha (E_a). Dataunderlaget hämtades från följande undersökningar.

Riksinventeringen 1990

Vid Riksinventeringen 1990 (RI90) slumpades ca 4000 sjöar i alla storleksklasser ner till 1 ha. Av dessa tillhörde 1136 sjöar storleksklassen E, vilka användes för analysen. I SMHI:s sjöregister finns sjöarealen angiven bara för en mindre andel sjöar. Vi tog därför fram sjöarealerna för samtliga sjöar i RI90 i storleksklass E ur Röda eller Blå kartan med GIS-verktyg.

Riksinventeringen 2000

Riksinventeringen 2000 (RI00) omfattade 3464 sjöar varav 2974 utgjorde ett stratifierat slumpvis urval på nationell nivå och de övriga var regionala tillägg. Vid urvalet av sjöar i det nationella urvalet gjordes avgränsningen neråt i storlek till att bara omfatta sjöar > 4 ha, men i de regionala tilläggen ingick även en del mindre sjöar. Eftersom exakta areauppgifter bara finns för en mindre andel av sjöarna i SMHI:s sjöregister, gjordes den ursprungliga avgränsningen i det nationella urvalet utifrån en grov uppskattning från kartor. När exakta sjöareor senare togs fram med GIS-verktyg ur Röda eller Blå kartan, visade det sig att många sjöar i det nationella urvalet hade en area något under 4 ha. Tillsammans med de regionalt utvalda små sjöarna utgjordes 504 sjöar av sjöar mellan 1 och 4 ha (E_b). 846 sjöar hade en sjöarea mellan 4 och 10 ha (E_a).

Regionalisering

Det är rimligt att anta att förhållandet mellan sjöar i storleksklasserna E_a och E_b kan vara olika i olika delar av landet. Vi delade därför upp materialet i 5 regioner:

1. Fjällen (Boreala höglandet enligt Illies (Illies, 1966))
2. Norrlands inland (Fennoskandiska skölden enligt Illies, över högsta kustlinjen)
3. Norrlands kustland (Fennoskandiska skölden enligt Illies, under högsta kustlinjen)
4. Sydöstra Sverige (Centralslätten enligt Illies, mynnande till Östersjön enligt uppdelningen i vattendistrikt. Omfattar även Skåne)
5. Sydvästra Sverige (Centralslätten enligt Illies, mynnande till Östersjön enligt uppdelningen i vattendistrikt.)

Referenssjöar

Riksinventeringen 1990 gjordes under vårvintern medan senare Riksinventeringar utfördes under hösten. För att undersöka om detta har betydelse för en eventuell skillnad i vattenkemi mellan storleksklasserna E_a och E_b valdes vinterprov och höstprover ut ur resultaten från tidsserierna i Referenssjöarna för en analys.

Sjöinventeringen i Södermanlands län 1999

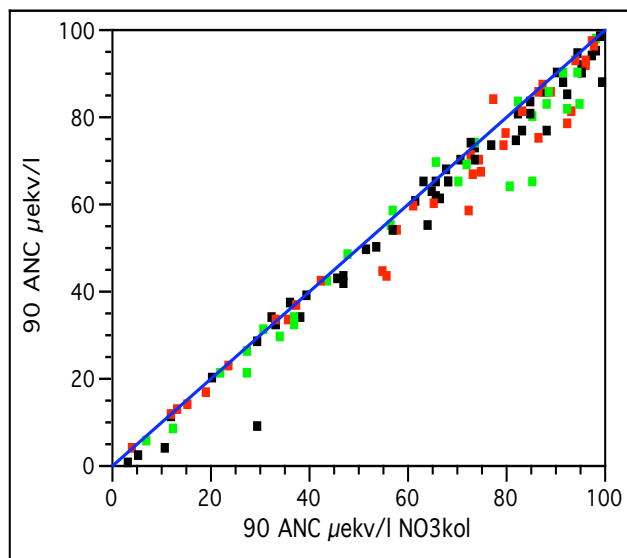
Under 1999 genomfördes en inventering av samtliga sjöar i Södermanlands län som omfattade 608 sjöar bland vilka även ingick sjöar < 1 ha. De kemiska analyserna omfattade

variablerna pH, konduktivitet, Tot-N, Tot-P, alkalinitet och absorbans. För 333 av sjöarna fanns uppgifter om sjöarealen. Av dessa tillhörde 154 sjöar storleksklass E.

Vattenkemiska variabler som utvärderades

Följande kemiska variabler utvärderades: pH, alkalinitet/(aciditet), ANC (baskatjoner - starka syror anjoner), AbsF (absorbans vid 420 nm på filtrerat prov i 5 cm kyvett), BC* (Icke marina baskatjoner), SO₄* (Icke-marint sulfat) och NO₃.

Vid RI90 bestämdes NO₃ med den osäkrare metoden jonkromatografi (IC) för huvuddelen av proven. I 30% av sjöarna gjordes även en analys av NO₃ + NO₂ med standardmetod (kolorimetrisk). IC-metoden gav 7 µekv/l högre värden som medianvärde. För beräkningar av ANC har detta oftast inte någon större betydelse eftersom NO₃ sällan utgör någon större andel av ANC. Det är bara för sjöar med lågt ANC och hög NO₃-halt som NO₃-halten har någon betydelse för surhetstillståndet. Det var ingen systematisk skillnad mellan sjöar 1-4 ha och sjöar 4-10 ha med avseende på de två metoderna för NO₃, så för vårt syfte har bristen i metodik för NO₃ ingen betydelse (Figur 1).



Figur 1. ANC beräknat med NO₃ (IC) mot ANC beräknat med NO₃(kol). Linjen anger förhållandet 1:1. Gröna punkter anger sjöar <4 ha, röda punkter sjöar 4-10 ha och svarta punkter sjöar >10 ha.

Försurningspåverkan beräknades enligt ett förslag till nya bedömningsgrunder där referensvärdet för ANC₀ beräknades enligt Erlandsson m.fl. (Erlandsson, *et al.*, 2007). Försurningspåverkan uttrycktes som förändring i pH, ΔpH, beräknat ur ΔANC under antagande av konstant TOC och kolsyratryck.

Statistiska metoder

De vattenkemiska variablerna uppvisar ofta en skev fördelning långt ifrån normalfördelning. För jämförelser mellan grupperna har vi därför valt att presentera skillnader som skillnad i median. Skillnad i medianvärden testades med Mann-Whitney test. I vissa fall kan det vara en skillnad i fördelning mellan två grupper utan att det är en skillnad i centralvärden. Så är fallet

om värden för t ex. små sjöar har en större spridning än de för större sjöar för en viss variabel. Därför testade vi förutom skillnad i median även skillnaden i fördelning med Kolmogorov-Smirnovs test.

Resultat och diskussion

Hur många är sjöarna mellan 1-4 ha i Sverige?

Sjöarna mellan 1 och 4 ha utgör en betydande andel av Sveriges sjöar, men exakt hur stor del finns det ingen säker uppgift om. I SMHI:s sjöregister saknas uppgifter om sjöarean för de flesta sjöar, framför allt för mindre sjöar. Det finns endast angivet vilken storleksklass de tillhör. I samband med att sjöarna för RI95 slumpades ut gjordes en grov skattning av sjöarean utifrån gröna kartan för att kunna utesluta sjöar < 4 ha. Det visade sig att ungefär hälften av sjöarna i storleksklass bedömdes som < 4 ha och därmed uteslöts enligt riktlinjerna för Riksinventeringen. Det innebar att antalet sjöar 1-4 ha kom att uppskattas till ca. 40 000 st. Inför denna undersökning togs mer exakta uppgifter om sjöarean fram för samtliga sjöar i storleksklass E i RI90, RI95 och RI00. Eftersom en del av sjöarna som tidigare bedömts vara > 4 ha, i själva verket var något mindre, underskattades antalet sjöar 1 - 4 ha. Enligt den nya bestämningen av sjöarean var 59% av de provtagna sjöarna i RI90 i storleksklass E mellan 1 och 4 ha (Tabell 1). Totalt finns det 76 181 sjöar i storleksklass E enligt SMHI:s sjöregister från 2002, vilket innebär att över 45 000 av Sveriges sjöar är mellan 1 och 4 ha. Även detta är förmodligen en underskattning. 1990 omfattade SMHI:s sjöregister bara 83 000 sjöar. Sedan dess har sjöregistret utökats med ytterligare ca. 20 000 sjöar, varav de flesta är småsjöar. Det är därför troligt att antalet sjöar 1-4 ha är fler än 45 000.

Fördelningen småsjöar är ungefär lika stor i hela Sverige, med undantaget för fjällen där andelen småsjöar är något mindre (Tabell 1).

Tabell 1. Andel sjöar inom storleksklass E i RI90 med arean 1-4 ha.

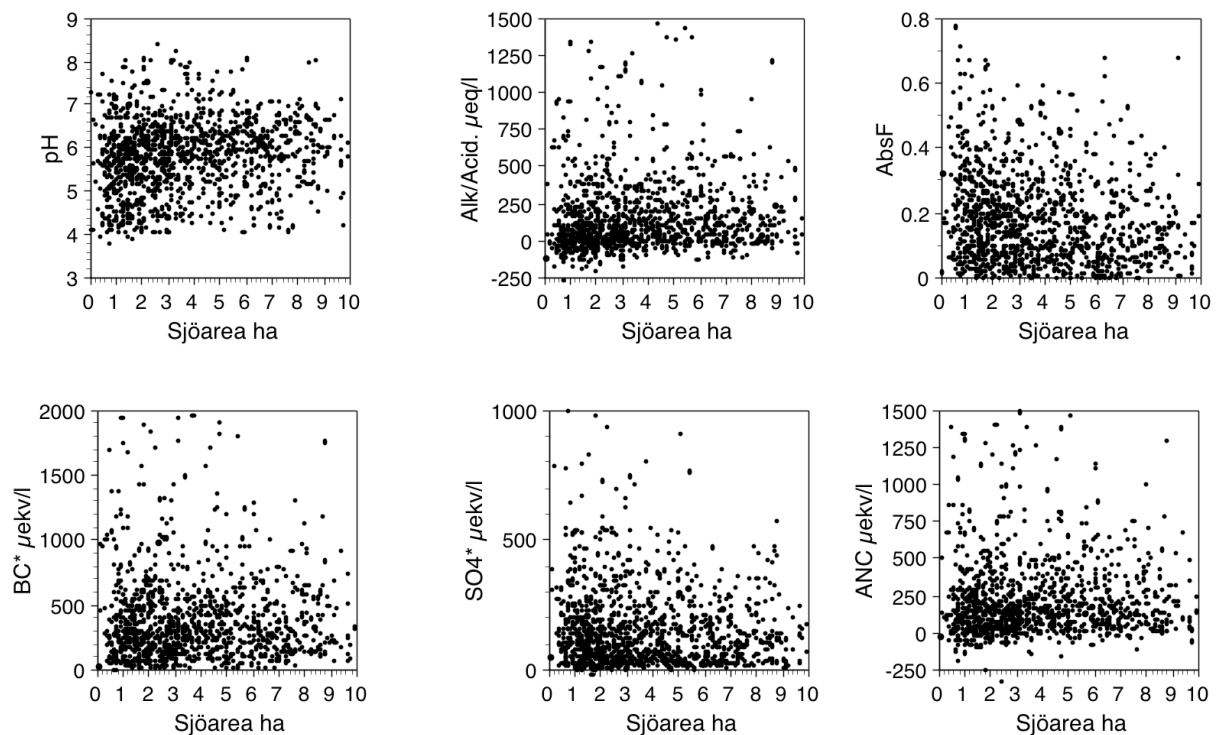
Region	Andel sjöar 1-4 ha
Fjällen	49%
Norrlands inland	63%
Norrlands kustland	57%
Sydöstra Sverige	60%
Sydvästra Sverige	61%
Hela Sverige	59%

Är sjöarea en bra prediktor av sjökemin?

Antagandet att små sjöar är surare än större sjöar bygger på att det finns ett samband mellan sjöarea och vattenkemi. En studie av sambandet mellan omgivningsfaktorer och pH i Riksinventeringen 1995 visade att sjöarea var en av de faktorer som hade högst förklaringsgrad (Göransson, 2003). Samtidigt var det bara en liten del av variationen i pH som kunde förklaras av omgivningsfaktorer. Vi kan alltså förvänta oss att det är en skillnad mellan två olika storleksklasser med avseende på pH, men att överlappet mellan de två klasserna är stort. Detta kan illustreras av plottar med pH mot sjöarea för RI90 (Figur 2a), där man bara kan skönja ett svagt samband mellan pH och storlek. Detsamma gäller övriga variabler (Figur 2b-f). Typiskt är också att variationen minskar med ökande sjöarea.

Andra faktorer som i Göranssons studie visade sig ha betydelse för pH var avrinningsområdets storlek och markanvändning. Förhållandet mellan sjöarean och avrinningsområdets storlek kan också förväntas ha betydelse. Om sjöandelen i

avrinningsområdet är stor kan direktdepositionen av sur nederbörd förväntas ha stor betydelse för försurningspåverkan. Inom ramen för vårt projekt kunde vi inte utvärdera dessa faktorer eftersom vi inte hade tillgång till avrinningsområden för alla sjöar.



Figur 2. Vattenkemi mot sjöarea för sjöar < 10 ha i Riksinventeringen 1990.

Skillnad i vattenkemi mellan små och större sjöar i hela Sverige

Skillnaderna mellan sjöar i de två storleksklasserna 1-4 ha och 4-10 ha testades med avseende skillnaderna mellan grupperna. De små sjöarna, 1-4 ha, var i genomsnitt surare och brunare än de något större sjöarna, 4-10 ha (tabell 2). Alkaliniteten var i genomsnitt 39 $\mu\text{ekv/l}$ lägre, pH 0,24 enheter lägre och AbsF var 0,048 enheter högre i småsjöarna jämfört med de något större (Tabell 2). Dessa skillnader var alla statistiskt signifikanta med 5% signifikans som gränsvärde. Det fanns även tendenser till lägre halter av Ca och högre halter av Cl och SO_4 även om dessa skillnader inte var statistiskt säkerställda. Generellt sett fanns även tendenser till större spridning i vattenkemin i de minsta sjöarna. Detta visade sig som lägre p-värden för Kolmogorov-Smirnovs test, vilket testar skillnad i fördelning, jämfört med p-värden för Mann-Whitneys test, som testar skillnad i median. För ANC var skillnaden mellan de två sjögrupperna signifikant med avseende på fördelning (tabell 2).

Tabell 2. Jämförelse i vattenkemi mellan sjöar i klasserna 1-4 ha respektive 4-10 ha i RI90. p M-W (Mann-Whitney) anger signifikans för skillnad i median, och p K-S (Kolmogorov-Smirnov) anger signifikans för skillnad i hela fördelningen. P-värden < 0,05 markeras med fet stil.

Parameter	Median		Skillnad i median	p (M-W)	p (K-S)
	1-4 ha	4-10ha			
pH	5,82	6,07	0,24	<,0001	<,0001
NO3-N_IC µg/l	163	147	-16	0,5	0,3
Kond. mS/m25	6,20	5,95	-0,25	0,13	0,06
Ca mekv/l	0,207	0,232	0,025	0,3	0,2
Mg mekv/l	0,097	0,091	-0,006	0,3	0,14
Na mekv/l	0,111	0,098	-0,012	0,2	0,3
K mekv/l	0,016	0,016	0,000	0,9	0,6
Alk. mekv/l	0,082	0,122	0,039	0,003	0,0013
Cl mekv/l	0,092	0,084	-0,008	0,10	0,4
Abs._F 420/5	0,176	0,128	-0,048	<,0001	<,0001
BC* µekv/l	318	336	18,5	0,5	0,4
SO4* µekv/l	125	120	-4,5	0,2	0,2
ANC µekv/l	159	179	20	0,054	0,044

Det fanns även indikationer på att små sjöar var mer påverkade av försurning jämfört med de något större. I RI90 klassades 37 % av sjöarna 1-4 ha som försurade jämfört med 31 % i storleksklassen 4-10 ha (Tabell 3). Skillnaden är ännu tydligare om man jämför andelen i den mest försurade klassen 5. Av småsjöarna tillhörde 17% av klass 5 jämfört med 12% av de större sjöarna.

Tabell 3. Fördelning av sjöar i olika påverkanssklasser för försurning enligt ett förslag till nya bedömningsgrunder i två storleksklasser av sjöar i RI90.

Påverkansklass	4-10 ha	1-4 ha
1	69%	63%
2	10%	9%
3	5%	6%
4	3%	5%
5	12%	17%

Regionala skillnader

Delar man upp materialet i regioner ser man att det bara är i södra Sverige som det är tydliga skillnader mellan små och större sjöar. I sydöstra Sverige var pH-värdet 0,33 enheter lägre i de minsta sjöarna och i sydvästra Sverige så mycket som 1,09 enheter lägre (Tabell 4). I båda fallen var dessa skillnader statistiskt signifikanta. Även i Norrlands inland var de minsta sjöarna statistiskt signifikant surare, men bara med 0,12 pH enheters skillnad. I södra Sverige var också alkaliniteten lägre i små sjöar; 50 µekv/l lägre i sydöstra och 63 µekv/l lägre i sydvästra Sverige (den senare signifikant). Den största skillnaden i AbsF mellan storleksklasserna förekom i sydöstra Sverige, där de minsta sjöarnas absorbans var 0,091 enheter lägre jämfört med de större sjöarna. Sydvästra Sverige var den enda region där de två storleksklasserna skiljde sig åt signifikant med avseende på BC*, med 43 µekv/l lägre halter i genomsnitt i de minsta sjöarna.

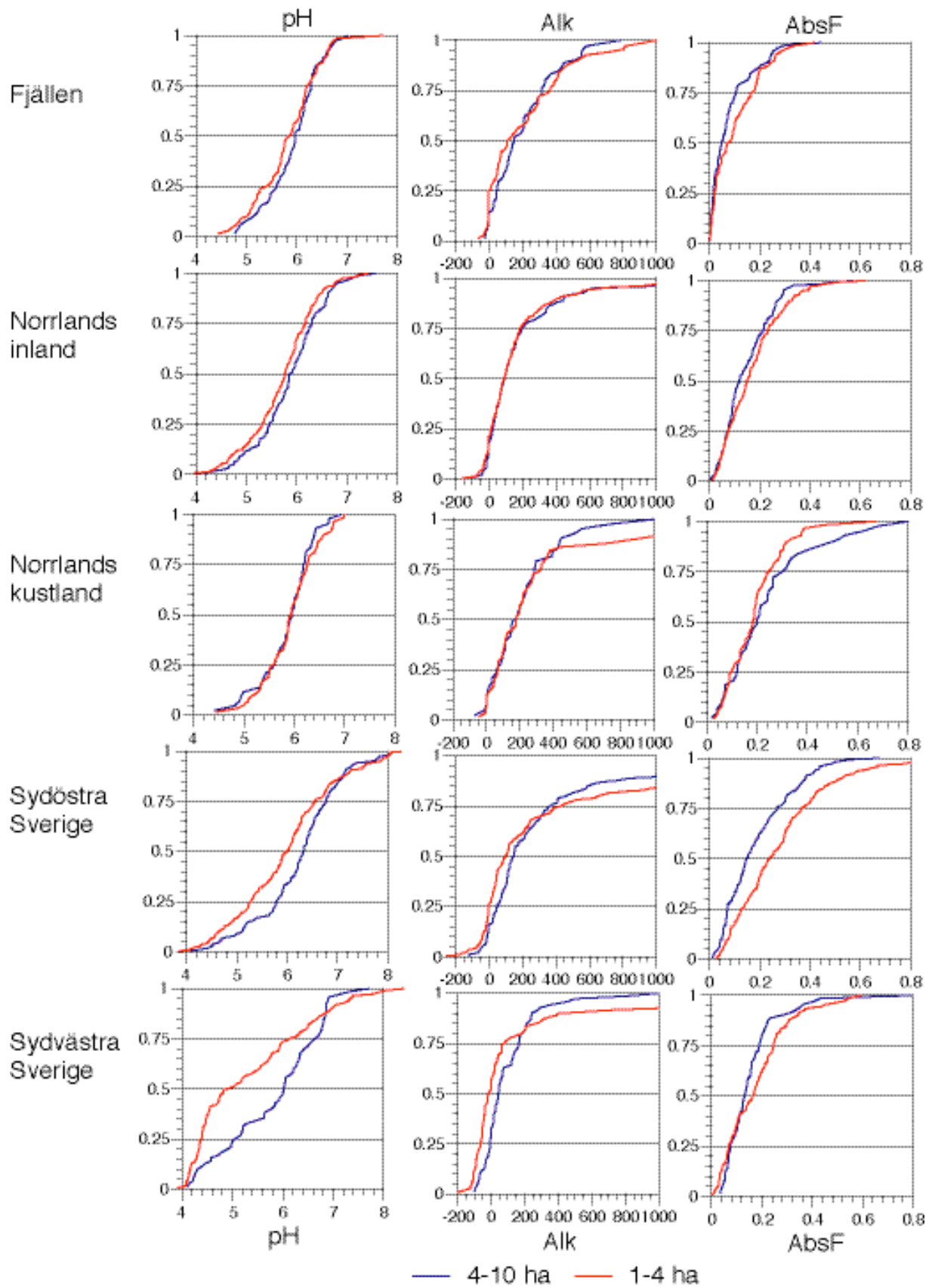
Även tendenserna till större spridning för mätvärdena bland de minsta sjöarna var tydligast i södra Sverige. Detta syns i fördelningsdiagrammen för vattenkemiska variabler (Figur 3). Fördelningskurvorna för den minsta storleksklassen är ofta flackare jämfört med de större

sjöarna, vilket leder till att kurvorna korsar varandra. I den mån de två storleksklasserna skiljer sig åt i de norra regionerna är det till största delen genom att de mest alkalina vatten återfinns i den minsta storleksklassen, även om medianen avspeglar ett obetydligt surare tillstånd.

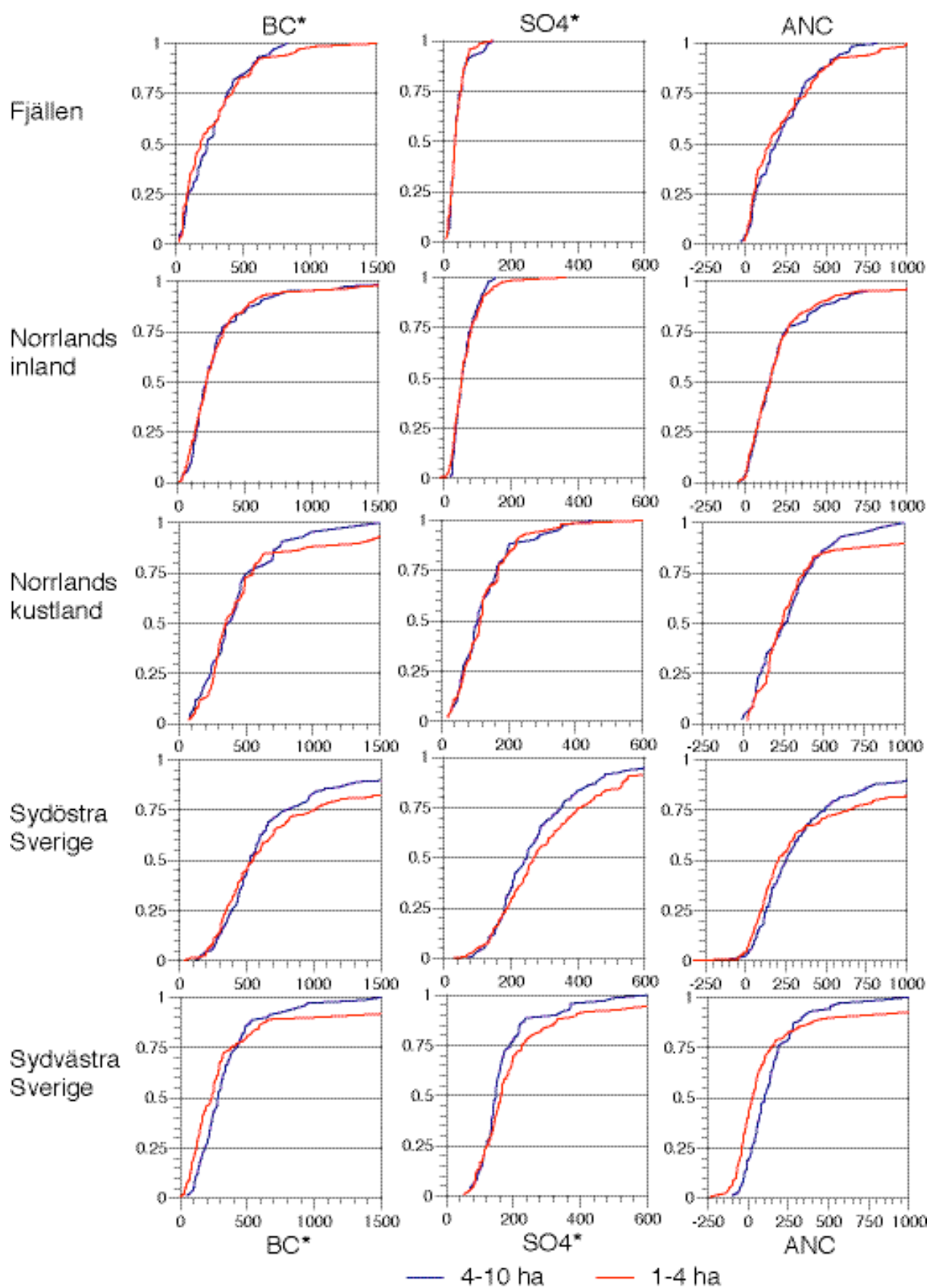
Skillnaderna mellan regionerna stärks när man tittar på försurningspåverkan beräknat enligt ett förslag till nya Bedömningsgrunder (se metodavsnittet). I södra Sverige var ca 10% fler sjöar försurade i den minsta storleksklassen jämfört med den större (Tabell 5). I Fjällen och Norrlands inland var skillnaderna mellan storleksklasserna obetydliga. I Norrlands kustland, däremot, var de minsta sjöarna istället något mindre försurade jämfört med de större.

Tabell 4. Jämförelse i vattenkemi mellan sjöar i storleksklasserna 1-4 ha respektive 4-10 ha i RI90 fördelade på regioner (1= Fjällen, 2=Norrl. Inland, 2=Norrl. kustland, 4=SÖ Sverige, 5= SV Sverige). p M-W (Mann-Whitney) anger signifikans för skillnad i median, och p K-S (Kolmogorov-Smirnov) anger signifikans för skillnad i hela fördelningen. P-värden < 0,05 markeras med fet stil.

Variabel	Region	Median		Skillnad i median	p M-W	p K-S
		1-4 ha	4-10ha			
pH	1	5,88	5,98	0,11	0,3	0,4
	2	5,77	5,89	0,12	0,03	0,2
	3	5,94	5,94	0,00	0,7	1,0
	4	6,00	6,33	0,33	0,0012	0,0005
	5	4,94	6,03	1,09	0,0008	0,0006
Alk µeq/l	1	119	150	32	0,5	0,5
	2	90	91	1	0,6	1,0
	3	179	180	2	0,9	1,0
	4	99	149	50	0,07	0,004
	5	-18	45	63	0,002	0,0003
Abs_F 420/5	1	0,079	0,048	-0,031	0,12	0,2
	2	0,150	0,118	-0,032	0,11	0,15
	3	0,184	0,198	0,014	0,3	0,6
	4	0,240	0,149	-0,091	<,0001	<,0001
	5	0,165	0,131	-0,034	0,3	0,08
BC* µekv/l	1	185	235	51	0,6	0,6
	2	214	216	3	0,8	0,5
	3	352	384	33	0,8	1,0
	4	548	529	-20	0,8	0,4
	5	240	283	43	0,06	0,06
SO4* µekv/l	1	34	34	1	0,9	1,0
	2	54	56	2	0,8	0,4
	3	116	108	-8	0,8	1,0
	4	269	248	-21	0,08	0,14
	5	163	148	-15	0,14	0,2
ANC µekv/l	1	153	189	36	0,6	0,8
	2	154	153	-1	0,8	1,0
	3	245	278	34	0,9	0,8
	4	204	254	50	0,4	0,2
	5	30	106	76	0,002	0,004



Figur 3a. Fördelning av pH, Alkalinitet och AbsF i sjöar < 10 ha i RI90, fördelade på regioner och storleksklasser, Blått anger fördelningar för sjöar 4–10 ha och rött för 1–4 ha.



Figur 3b. Fördelning av BC*, SO₄* och ANC i sjöar < 10 ha i RI90, fördelade på regioner och storleksklasser, Blått anger fördelningar för sjöar 4–10 ha och rött för sjöar 1–4 ha.

Tabell 5. Andel försurade sjöar < 10 ha i RI90 fördelade på storleksklasser och regioner.

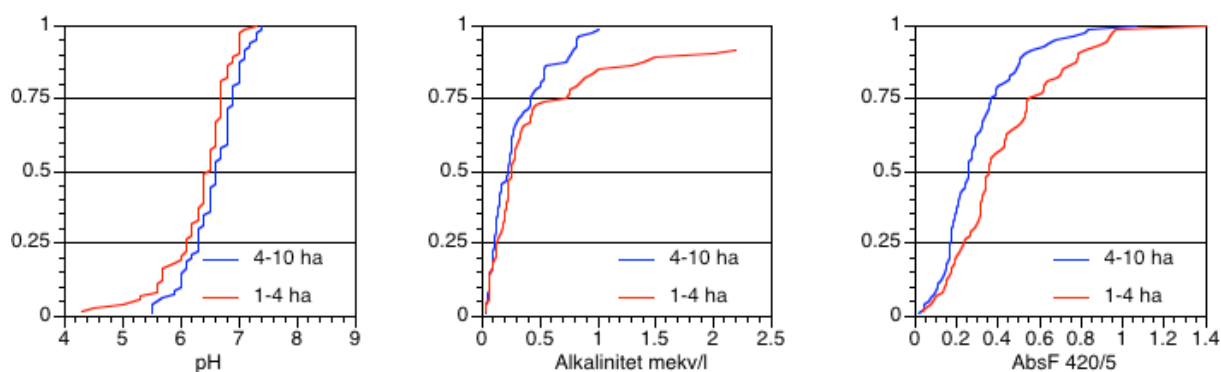
Region	4-10 ha	1-4 ha
1. Fjällen	7%	9%
2. Norrlands inland	23%	22%
3. Norrlands kustland	23%	19%
4. Sydöstra Sverige	37%	48%
5. Sydvästra Sverige	61%	69%

Länssjöinventeringen i Södermanlands län 1999

Fördelningen på storleksklasser skiljer sig för sjöarna i Länsinventeringen 1999 i Södermanlands län jämfört med sjöarna i RI90 i hela sydöstra Sverige. Bara 47% av de provtagna sjöarna i klass E var < 4 ha i Länsinventeringen jämfört med 60% av hela populationen i sydöstra Sverige. Småsjöarna var brunare jämfört med de större i samma utsträckning som i övriga sydöstra Sverige (Tabeller 4 och 6). Småsjöarna hade även lägre pH, men inte i samma utsträckning i Södermanland som i övriga sydöstra Sverige. För alkaliniteten var det ingen skillnad mellan storleksklasserna i de sörmländska sjöarna i motsats till för övriga sydöstra Sverige. Fördelningar mellan de två storleksklasserna för tre parametrar framgår av figur 4. Diskrepansen mellan pH och alkalinitet i de sörmländska sjöarna kan bero på högre pCO₂ i de mindre sjöarna vilken i sin tur är kopplat till de högre halterna organiskt material. Det gör att pH i genomsnitt är lägre utan att alkaliniteten samtidigt är lägre i småsjöarna jämfört med de större.

Tabell 6. Jämförelse i vattenkemi mellan sjöar i klasserna 1-4 ha respektive 4-10 ha i länssjöinventeringen i Södermanlands län 1999. p M-W (Mann-Whitney) anger signifikans för skillnad i median, och p K-S (Kolmogorov-Smirnov) anger signifikans för skillnad i hela fördelningen. P-värden < 0,05 markeras med fet stil.

Parameter	Median		Skillnad i median	p (M-W)	p (K-S)
	1-4 ha	4-10ha			
pH	6,50	6,60	0,10	0,016	0,037
Alkalinitet mekv/l	220	220	0,000	0,36	0,40
AbsF 420/5	0,357	0,260	-0,097	0,0007	0,0005



Figur 4, Fördelning av pH, alkalinitet och AbsF i sjöar < 10 ha i länssjöinventeringen i Södermanlands län (D), fördelade på storleksklasser, Blått anger fördelningar för sjöar 4–10 ha och rött för sjöar 1–4 ha.

Resultaten bekräftar delvis slutsatserna från RI90 att sjöar 1-4 ha är brunare och surare jämfört med sjöar 4-10 ha. Samtidigt visas att fördelningen mellan storleksklasserna och skillnaden i alkalinitet inte är samma i Södermanland som i övriga sydöstra Sverige. Vi kan alltså förvänta oss betydande olikheter i förhållandet mellan små och större sjöar inom regionerna.

Skillnader mellan höst- och vinterprover i referenssjöarna

De presenterade resultaten om skillnaderna i vattenkemi mellan storleksklasser av sjöar bygger på resultat från RI90. Det faktum att dessa prover togs på vintern gör att det inte är helt självklart att resultaten kan tillämpas på de senare riksinventeringarna, eftersom proverna då togs på hösten. För att undersöka skillnaden mellan höst- och vinterproven har vi använt resultat från tidsseriesjöar och jämfört höstproven med det nästkommande vinterprovet. I genomsnitt hade vinterprovet lägre pH och buffertkapacitet samt högre AbsF, BC* och SO₄* (Tabell 7). Alla skillnader var statistiskt signifikanta (Wilcoxon signed rank) men det berodde i de flesta fall bara på det att så många prover ingick i jämförelsen att även små skillnader kunde säkerställas statistiskt trots en stor spridning. Det var bara för pH och SO₄* som skillnaden 0 hamnade utanför 25 och 75 percentilerna. Det faktum att pH, alkalinitet och ANC var lägre och SO₄* var högre på vintern jämfört med hösten i referenssjöarna tyder på att försurningspåverkan är större på vintern än under hösten. Detta styrks av att fler referenssjöar klassades som försurade under vintern, 59%, jämfört med 53% under hösten.

Det är alltså klart att det är genomsnittliga skillnader mellan höst och vinterprover med avseende på försurning. Däremot går det tyvärr inte att ge något säkert svar på om skillnaden mellan små och större sjöar är olika under hösten jämfört med vintern. Bland de 172 tidsseriesjöarna som ingick i undersökningen var bara 4 stycken mellan 1 och 4 ha och det är alltför få för att man ska kunna dra några säkra slutsatser med den stora spridningen (Tabell 7).

Tabell 7. Skillnaden i vattenkemi mellan höstprov och det nästföljande vinterprovet i 172 referenssjöar vid 1651 tillfällen mellan 1985 och 2002 fördelade på tre storleksklasser. Positivt värde anger att höstprov hade högre värde av variabeln jämfört med vinterprov.

Variabel	Alla storlekar	1-4 ha	4-10 ha	>10 ha
n sjöar	172	4	15	153
n obs	1651	37	105	1509
ΔpH	0,27	0,16	0,4	0,27
ΔAlk, μeq/l	5	10	7	5
ΔAbsF	-0,011	0,017	-0,008	-0,012
ΔBC* μeq/l	-6	0	-14	-6
ΔSO ₄ * μeq/l	-7	-20	-9	-7
ΔANC μeq/l	6	32	8	5

Var skillnaderna mellan storleksklasserna samma 2000 som 1990? Test på sjöar i Västra Götaland

Resultaten från RI90 visade att småsjöar är surare och mer försurade än de större sjöarna i södra Sverige. Om den skillnaden är stabil i tiden skulle vi kunna korrigera resultaten från senare Riksinventeringar, som endast omfattade sjöar > 4 ha, för att beskriva tillståndet i alla sjöar > 1 ha. Tack vare att Västra Götaland kompletterade RI00 med sjöar 1-4 ha har vi en möjlighet att testa om sambandet mellan små och större sjöar är konstant, eller om det förändras med tiden (Ingvarsson, 2002). I Tabell 8 redovisas en jämförelse mellan små och större sjöar i Västra Götaland från RI90 och RI00. Ser man till pH var det nästan exakt samma skillnad mellan storleksklasserna 1990 och 2000. Ser man däremot till övriga variabler så har skillnaderna minskat. En förklaring till den minskade skillnaden mellan storleksklasserna kan vara att de mest försurade sjöarna har återhämtat sig snabbast (Data från Miljöövervakningen).

Tabell 8. Skillnad i vattenkemi i sjöar i Västra Götaland i Riksinventeringarna 1990 och 2000 mellan sjöar 1-4 ha respektive 4-10 ha. Negativt värde anger att sjöar 1-4 ha hade lägre värde. Fet stil markerar att p-värdet är < 0,05.

	RI90			RI00		
	Skillnad i median	p M-W	p K-S	Skillnad i median	p M-W	p K-S
pH	-0,74	0,046	0,04	-0,73	0,002	0,04
Alk/Acid, $\mu\text{ekv/l}$	-77	0,11	0,047	-66	0,02	0,4
Abs	-0,032	0,12	0,3	0,016	0,8	0,09
BC* $\mu\text{ekv/l}$	-75	0,20	0,03	-60	0,02	1
SO4* $\mu\text{ekv/l}$	11	0,11	0,5	2	0,8	1
ANC $\mu\text{ekv/l}$	-88	0,06	0,005	-54	0,02	0,03

Eftersom de mindre sjöarna är mer försurade har dessa också återhämtat sig mer och så att säga närmat sig de större sjöarna till viss del. Detta bekräftas av att andelen försurade sjöar minskat i större utsträckning i små sjöar jämfört med större sjöar mellan 1990 och 2000 (Tabell 9). Det är rimligt att anta att skillnaderna mellan de två storleksklasserna E_a och E_b i södra Sverige som påvisades i materialet från RI90 har jämnats ut även i resten av södra Sverige liksom i Västra Götaland, men förmodligen inte i samma utsträckning. Västra Götaland tillhör det mest försurningsdrabbade området i Sverige, där vi också erfarit den största återhämtningen. Vi kan därför också förvänta oss att förändringen i skillnad mellan små och större sjöar varit störst där.

När det gäller skillnaderna i vattenfärg (AbsF) kan förändringen i förhållandet mellan sjöklasserna hänga samman med att delar av Västra Götaland var översvämningdrabbat vid RI00. Samtidigt kan det också vara en slumpeffekt, eftersom p-värdena är höga.

Tabell 9. Andel försurade sjöar i Västra Götaland i Riksinventeringarna 1990 och 2000 i sjöar 1-4 ha respektive 4-10 ha,

Areaklass	% Försurade sjöar	
	RI90	RI00
4-10 ha	42	24
1-4 ha	64	30
Relativ skillnad (%)	52	21

Reviderad utvärdering av RI00

I de ovanstående avsnitten har visats att surhetstillstånd och försurning kan vara olika i de två storleksklasserna E_a och E_b, men att förhållandena mellan klasserna är olika i olika regioner, och att de kan antas ha förändrats med tiden. Den avgörande frågan är om det spelar någon roll för miljömålsuppfyllnaden, dvs om uppskattningen av andel försurade sjöar blir annorlunda om vi tar med sjöar 1-4 ha eller ej. I utvärderingen av RI00 antogs hälften av sjöarna i storleksklass E vara < 4 ha vilket gjorde att det totala antalet sjöar i Sverige avgränsades till ca 60 000. Samtliga 3464 sjöar Riksinventeringen togs med i utvärderingen, även om det senare visade sig att en del hade sjöareor något under 4 ha. Resultaten från Riksinventeringen räknades om till att gälla för alla 60 000 sjöar genom att varje sjö viktades utifrån förhållandet mellan antal provtagna sjöar och antal sjöar i SMHI:s sjöregister för varje storleksklass och län (Wilander, *et al.*, 2003). Om vi räknar på samma sätt med förslaget till nya BG leder det till att 5,8% av Sveriges sjöar är försurade (Tabell 10). Om vi istället även tar med alla ca 100 000 sjöar > 1ha och antar att alla sjöar i klass E är lika försurade blir siffran i stället 6,2%. Anledningen till den något högre siffran är att sjöar i klass E får större vikt när de representerar ett större antal sjöar, och att sjöar i klass E är mer försurade än större sjöar. Om man dessutom antar att förhållandet mellan antal försurade sjöar i klasserna E_a och E_b var samma vid RI00 som RI90 blir så mycket som 6,9% försurade. Vi visade tidigare att i Västra Götaland var skillnaden mellan sjöarna i klasserna E_a och E_b mindre vid RI00 jämfört med RI90, men vi kan inte avgöra om detta gäller för hela Sverige. Försöket till omräkning av resultaten från RI00 till att gälla alla sjöar > 1 ha som presenteras i tabell 10 får därför ses om ytterst osäkra och bör ses som en fingervisning till hur bedömningen av andelen försurade sjöar i Sverige kan påverkas om vi tar med sjöar 1 - 4 ha eller ej.

Tabell 10. Andel försurade sjöar i RI00 enligt ett förslag till BG med olika sätt att hantera sjöar 1-4 ha.

	%försurade
Sjöar > 4 ha	5,8
Sjöar > 1 ha, okorr	6,2
Sjöar > 1 ha korr	6,9

Slutsatser och rekommendationer

- Vi har visat att sjöar 1-4 ha i genomsnitt var surare och mer försurade än sjöar 4-10 ha i Riksinventeringen 1990. De mindre sjöarna har ofta dessutom en större variation i vattenkemin jämfört med de större.
- Storleken hade endast signifikant betydelse i södra Sverige. I norra Sverige var det oftast ingen skillnad mellan de två storleksklasserna, och i Norrlands kustland var de minsta sjöarna i stället mindre försurade än de större.
- Länsjöinventeringen i Södermanlands län 1999 och den utökade Riksinventeringen i Västra Götalands län 2000 visade att det även kan vara en variation inom regionerna med avseende på förhållandet mellan surhet och försurning i små och större sjöar, samt att förhållandet kan förändras med tiden.
- En grov uppskattning antyder att antalet försurade sjöar i Sverige kan vara i storleksordningen 20% fler om man inkluderar sjöar 1-4 ha mot om man bara tar med sjöar > 4 ha.

Referenser

Bernes, C. (1991), Försurning och kalkning av svenska vatten, *Naturvårdsverket, Solna*.

Erlandsson, M., K. Bishop, J. Fölster, and A. Wilander (2005), A meta-model based on MAGIC to predict the pre-industrial acidity status of surface waters, *Manuscript*.

Göransson, E. (2003), Variation in Lake Water Chemistry and Spatial Scale. Analysis of the Swedish National Lake Monitoring Programme, Doctoral Thesis, SLU, Uppsala.

Henriksen, A., B. L. Skjelkvale, J. Mannio, A. Wilander, R. Harriman, C. Curtis, J. P. Jensen, E. Fjeld, and T. Moiseenko (1998), Northern European Lake Survey, 1995 - Finland, Norway, Sweden, Denmark, Russian Kola, Russian Karelia, Scotland and Wales, *Ambio*, 27, 80-91.

Illies, J. (1966), Verbreitung der Süßwasserfauna Europas., *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 16, 287-296.

Ingvarsson, M. (2002), Riksinventering 2000. Utvärdering av vattenkemisk provtagning i Västra Götalands län. *Publikation 2002:19, 66 pp, Länsstyrelsen Västra Götalands län, Göteborg*.

SMHI (1996), Svenskt sjöregister. Volym 1 och 2. *SMHI Svenskt Vattenarkiv. Nr 71*.

Wilander, A., R. K. Johnson, and W. Goedkoop (2003), Riksinventering 2000, *Institutionen för Miljöanalys, SLU. Rapport 2003:1*.