

# Försurningsläget i Sveriges ytvatten 2010

Trender i vattenkemi samt bedömning av försurning och överskridande av kritisk belastning av försurande ämnen för ytvatten i Sverige  
—  
Underlag till utvärdering av miljömålet ”Bara naturlig försurning”





# Försurningsläget i Sveriges ytvatten 2010

Trender i vattenkemi samt bedömning av försurning och överskridande av kritisk belastning av försurande ämnen för ytvatten i Sverige

–

Underlag till utvärdering av miljömålet ”Bara naturlig försurning”

Jens Fölster och Stephan Köhler

Institutionen för vatten och miljö, SLU

Box 7050

750 07 Uppsala

Tel. 018 – 67 31 10

<http://www.slu.se/vatten-miljo>

*Omslagsfoto:* Provtagning med Helikopter. Foto: Jens Fölster

*Tryck:* Institutionen för vatten och miljö, SLU  
Uppsala, 2011-11-23

# Förord

Denna rapport utgör redovisning för två projekt utförda på uppdrag av Naturvårdsverket (Dnr-235-5622-10Me och NV-5308-11). För det senare projektet kommer en kompletterande rapport att tas fram när nytt underlag från Omdrevsinventeringen av sjöar och ett reviderat verktyg för bedömning av försurning tagits fram. Rapporten omfattar delvis en granskning av bedömningsverktyget MAGICbibliotek som tagits fram av IVL. Författarna har bara haft begränsad tillgång till bakgrundsdata och dokumentation till verktyget. IVL har beretts möjlighet att kommentera rapporten men inga synpunkter har inkommit.

Rapporten har interngranskats av Anders Düker på Institutionen för vatten och miljö, SLU



# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>6</b>
<b>Bakgrund</b> .....	<b>7</b>
<b>Dataunderlag och metoder</b> .....	<b>8</b>
<b>Trender i vattenkemin i tidsseriesjöar</b> .....	<b>10</b>
Återger MAGIC de uppmätta trenderna i vattenkemin? .....	12
<b>Trender i vattenkemin i tidsserievattendrag</b> .....	<b>15</b>
<b>Försurningsbedömning</b> .....	<b>18</b>
Matchning med MAGIC <sub>bibliotek</sub> .....	18
Andel kalkade och försurade sjöar i Sverige .....	18
<b>Regional fördelning</b> .....	<b>19</b>
Länsvis beskrivning .....	20
Vattendistrikt.....	20
Sjölimniska regioner .....	21
Förslag till regionsindelning för uppföljning av regionala mål för andel försurade sjöar .....	23
<b>Osäkerheten som beror av det slumpmässiga urvalet</b> .....	<b>24</b>
<b>Förändring i andelen försurade sjöar med tiden</b> .....	<b>24</b>
<b>Uppskattning av försurningspåverkan i vattendrag</b> .....	<b>25</b>
<b>Episodförsurning</b> .....	<b>26</b>
<b>Skillnad i bedömningen av tillståndet jämfört med bedömningen till den fördjupade utvärderingen 2007</b> .....	<b>27</b>
Skillnad i andel påverkade och den regionala fördelningen av försurningspåverkan jämfört med FU2007.....	27
Betydelsen av det nya biblioteket.....	27
Betydelsen av de nya referenserna och ny beräkning av okalkad kemi .....	38
Betydelsen av det nya dataunderlaget.....	38
<b>Andelen av de kalkade sjöarna som är försurade</b> .....	<b>39</b>
<b>Sammanfattning av försurningsbedömning av sjöar</b> .....	<b>39</b>
<b>Kritisk belastning</b> .....	<b>41</b>
Dataunderlaget.....	41
Resultat.....	41
<b>Referenser</b> .....	<b>43</b>
<b>Bilaga A</b> .....	<b>45</b>

## Sammanfattning

- Underlag till utvärderingen av miljömålet ”Bara naturlig försurning” togs fram genom trendanalys av vattenkemi i trendsjöar och trendvattendag och genom försurningsbedömning av resultat från programmet för omdrevsprovtagning av sjöar. Resultaten från försurningsbedömningen granskade kritiskt, särskilt med avseende på den förändrade bild av försurningsläget som gavs av det nya underlaget och den nya versionen av bedömningsverktyget MAGIC<sub>bibliotek</sub>.
- Återhämtningen från försurningen i form av minskande sulfathalter har fortsatt i både sjöar och vattendrag om än med svagare trender under 2000-talet jämfört med 1990-talet. Återhämtningen har delvis dämpats av minskande trender av baskatjoner och ökande trender av organiskt kol, men trots det finns tendenser till en fortsatt förbättring i vattenkvaliten i form av ökande syraneutraliserande förmåga (ANC) och pH-värde.
- Andelen försurade okalkade sjöar > 4 ha 2010 var 5,2 %, vilket kan jämföras med 3 % i Riksinventeringen 2005 som rapporterades i den förra fördjupade utvärderingen. Om försurade kalkade sjöar inkluderades och även sjöar mellan 1 och 4 ha, var andelen försurade sjöar 12 %. Detta kan jämföras med 5,2 procent som rapporterade i den förra fördjupade utvärderingen. Förändringen kunde fördelas på följande orsaker:

Det nya biblioteket	3 %
Nya referenser och korrigeringsmetod för kalkade sjöar	2 %
Uppgifter om Mg i kalkningsmedel	1 %
Nytt dataunderlag för sjökemi	1 %
- Den version av MAGIC<sub>bibliotek</sub> som utvecklades 2010 ger en överskattning av försurningspåverkan baserat på en jämförelse mellan MAGIC och paleolimnologisk rekonstruktion av förindustriellt pH. Överskattningen kan leda till en överskattning av andelen försurade sjöar med cirka fem procentenheter.
- Brist på dokumentation och dålig tillgänglighet till underlagsdata försvårar granskningen av verktyget för bedömning av försurningspåverkan – MAGIC<sub>bibliotek</sub>.
- För bedömning av enskilda sjöar tillkommer även en osäkerhet som både beror på osäkerheterna i MAGIC-modelleringarna och matchningen i MAGIC<sub>bibliotek</sub>. Osäkerheten är störst i pH-intervallet 5 – 6 där osäkerheten i pH-beräkningen är störst. Felet i försurningsbedömning var störst i södra Sverige där även försurningspåverkan är störst.
- Den kritiska belastningen för försurning av sjöar överskreds 2010 på 16 % av Sveriges yta. Om man räknar bort bidraget från internationell sjöfart är den överskridna arean bara 13 %. År 2020 förväntas den överskridna arean ha gått ner till 13 % inklusive internationell sjöfart enligt BASELINE-scenariet. Till den förra fördjupade utvärderingen 2007 beräknades den överskridna arean till 12 % 2020, vilket är inom felmarginalen jämfört med de nya beräkningarna



## Bakgrund

Försurningen av sjöar och vattendrag är ett av våra största miljöproblem. Utsläpp av framför allt svavelsyra från förbränning av fossila bränslen ledde till låga pH-värden som i sin tur orsakade fiskdöd och utslagning av många andra levande organismer (Naturvårdsverket, 1990). Sedan försurningen först uppmärksammades i Sverige i slutet av 1960-talet har utsläppen minskat dramatiskt och är i dag nere på samma nivåer som för 100 år sedan. Utsläppsminskningarna är ett resultat av ett framgångsrikt internationellt politiskt arbete där miljöövervakningsdata och forskningsresultat har kunnat omsättas till underlag för politiska beslut.

Det minskade försurningstrycket har lett till en omfattande återhämtning av försurningspåverkan i sjöar och vattendrag, men inte alls i samma omfattning som utsläppsminskningarna. Den stora mängden försurande nedfall mellan 1950-talet och slutet av 1990-talet har gjort att buffringsförmågan i marken i ytvattenavrinningsområden till ytvatten i delar av Sverige är så nedsatt att effekterna på ytvattnet kommer kvarstå en lång tid framöver, även med dagens låga deposition. I den senaste fördjupade utvärderingen av de nationella miljömålen konstaterades att miljömålet ”Bara naturlig försurning” inte skulle vara uppfyllt till mååret 2015.

Miljökvalitetsmålet omfattar bland annat att den kritiska belastningen av försurande ämnen inte ska överskridas och delmålet för sjöar och vattendrag är att mindre än 5 % av sjöarna och mindre än 15 % av rinnsträckan hos vattendrag ska vara försurade. Båda dessa indikatorer omfattar beräkningar med verktyget MAGIC<sub>bibliotek</sub> ([www.ivl.se](http://www.ivl.se)) och beräkningar av depositionen. Eftersom dessa har förändrats sedan den förra fördjupade utvärderingen finns det anledning att ta fram ett nytt underlag för den slutredovisning som ska göras i samband med den planerade revideringen av miljömålsstrukturen.

Sedan den förra utvärderingen gjordes har även nytt dataunderlag från sjöar och vattendrag tagits fram. Tidsserierna i sjöar och vattendrag har förlängts så att den fortsatta återhämtningen från försurning kan studeras. Uppföljningen av kvalitetsmål och delmål baserar sig på slumpvisa provtagningar av sjöar. Dessa har tidigare utgjorts av synoptiska undersökningar av sjöar vart femte år (Wilander och Fölster, 2007). Sedan 2007 genomförs sjöundersökningarna i stället i form av omdrev där en sjättedel av alla sjöarna i programmet (ca 800 av 2 400) provtas varje år (Grandin, 2007). På det sättet undviks att resultaten påverkas av väderförhållandena under ett enskilt år. I denna rapport baseras bedömningen av tillståndet på resultat från de första tre åren – 2007-2009.

Syftet med denna rapport är att beskriva utvecklingen och tillståndet med avseende på försurning i Sveriges ytvatten utifrån det nya underlaget samt att kritiskt granska underlaget. Rapporten ska utgöra underlag till den fördjupade utvärderingen av miljömålen som ska slutföras 2012.

## Dataunderlag och metoder

### Tidsseriesjöar

En trendanalys av surhetsparametrar gjordes på 68 sjöar provtagna fyra gånger per år (ett prov per årstid) under perioden 1990- 2010. 51 av sjöarna ingår i det nationella miljöövervakningsprogrammet för trendsjöar, två utgörs av IKEU-referenser och resterande 15 ingår i regional miljöövervakning. Medianvärdet av alkaliniteten för sjöarna låg mellan 0,06 och 0,31 mekv/l.

### Tidsserievattendrag

För vattendrag baseras trendanalyserna på 40 vattendrag med månadsvis provtagning mellan 1990 och 2010. Vattendragen ingår antingen i det nationella programmet för trendvattendrag eller i regionala miljöövervakningsprogram. Medianvärdet av alkaliniteten för vattendragen låg mellan – 0,07 och 0,29 mekv/l.

### Omdrevsinventeringen

Underlaget till bedömningen av andelen försurade sjöar i Sverige omfattar omdrevsundersökningarna av sjöar inom den nationella miljöövervakningen av sötvatten 2007, 2008 och 2009. Totalt omfattar underlaget 2010 sjöar. Sjöarna är utvalda genom slumpning av sjöar med en yta > 1 ha ur SMHI:s sjöregister. Slumpningen gjordes med en stratifiering med avseende på sjöstorlek och region med något mindre andel små sjöar i urvalet jämfört med hela populationen och med tätare provtagning i södra Sverige. För att beräkna andelen försurade sjöar i hela Sverige har sjöarna viktats utifrån sambandet mellan antal provtagna sjöar och antal sjöar i sjöregistret för en viss storleksklass och EMEP-ruta (Fölster och Rönnback 2010).

Delmålet för andel försurade sjöar avser andelen sjöar > 4 ha som försurats men inte kalkats. Ett förslag till nytt delmål föreslås omfatta sjöar > 1 ha och alla försurade sjöar, d.v.s. även kalkade efter att de korrigerats för kalkningspåverkan (Naturvårdsverket 2007a). I denna rapport redovisas därför siffror för alla fyra kombinationer av sjöstorlek och försurningsdefinition. För att beräkna vikter för sjöar > 4 ha antogs hälften av sjöarna i storleksklass E vara mellan 1 och 4 ha.

### Trendanalys

Trenderna beräknades som säsongsviss "Theil's slope", d.v.s. medianen av lutningarna för alla par av data från samma årstid eller månad för varje station. Denna icke parametriska metod valdes i stället för linjär regression för att undvika påverkan av enstaka extremvärden.

### Kalkningskorrigeringen

Kalkningskorrigeringen är gjord med Ca/Mg från närliggande okalkade referensvatten. Till skillnad från tidigare bedömningar användes kvoten utan korrigeringsfaktor för havssalter (för motivering, se Fölster m.fl. 2011). Referensmaterialet omfattar medelvärden av provtagningarna hösten 2007 och våren 2008 i ett urval av 1612 av Målsjöinventeringens okalkade referenser. För varje kalkad sjö som skulle korrigeras användes ett medelvärde av Ca/Mg för referenssjöarna inom en radie av 20 km från sjöns utlopp.

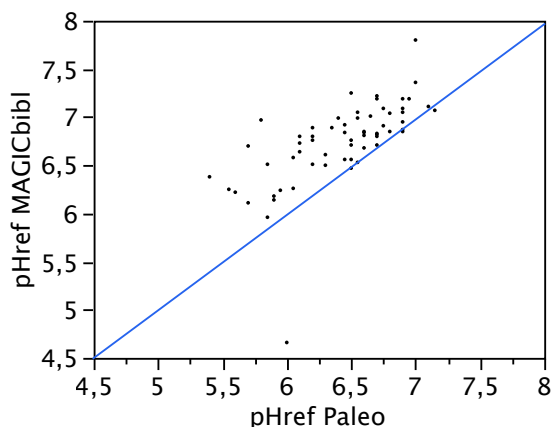
För att bedöma vilka sjöar som påverkas av kalkning beräknades mängden kalk som tillförts inom avrinningsområdet 2005–2007 enligt de uppgifter som begärdes in i samband med Målsjöundersökningen. Ur tillförd kalkmängd beräknades ökningen av ANC som kalken

orsakat. Ur detta kunde sedan pH-förändring av kalken beräknas. Om kalkningen påverkade ANC mer än 0,1 mekv/l eller pH mer än 0,1 enheter klassades sjön som kalkningspåverkad. Vattenkemin korrigerades då för kalkningspåverkan och försurningsbedömningen beräknades utifrån okalkad kemi. De övriga sjöarna bedömdes utifrån uppmätt kemi.

### MAGIC<sub>bibliotek</sub>

Försurningsbedömningen är gjord enligt Bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2007b) med versionen av MAGIC<sub>bibliotek</sub> från 2010 då inget annat nämns. Den nya versionen av MAGIC<sub>bibliotek</sub> skiljer sig från tidigare både med avseende på vilka sjöar som ingår och på modelleringarna av sjöarna. Cirka 1000 nya okalkade referenssjöar inom Målsjöundersökningen provtagna hösten 2007 har tillkommit (Fölster m.fl., 2001a). I tillägget förekommer många försurade småsjöar. Detta har gett säkrare bedömningar av försurade sjöar i regioner där sådana sjöar var underrepresenterade i det tidigare biblioteket. Underrepresentation av försurade sjöar i en region kunde bero på att nästan alla sjöar kalkats (västra Götaland) eller att försurade sjöar är ovanliga (Norrländ).

Samtliga MAGIC-modeller som ingår i MAGIC<sub>bibliotek</sub> har även körts om med bl.a. nya indata för deposition. De nya körningarna gav en sämre samstämmighet med paleolimnologisk rekonstruktion av pH med en överskattning av  $pH_{ref}$  för MAGIC jämfört med paleolimnologi (figur 1). Detta leder till en överskattning av försurningspåverkan med MAGIC<sub>bibliotek</sub> jämfört med paleolimnologi. Detta utreds närmare senare i rapporten.



Figur 1. Jämförelse mellan referensvärde för pH från MAGIC (1860) och paleolimnologisk rekonstruktion (30 cm djup). Linjen visar 1:1 linjen

### Deposition

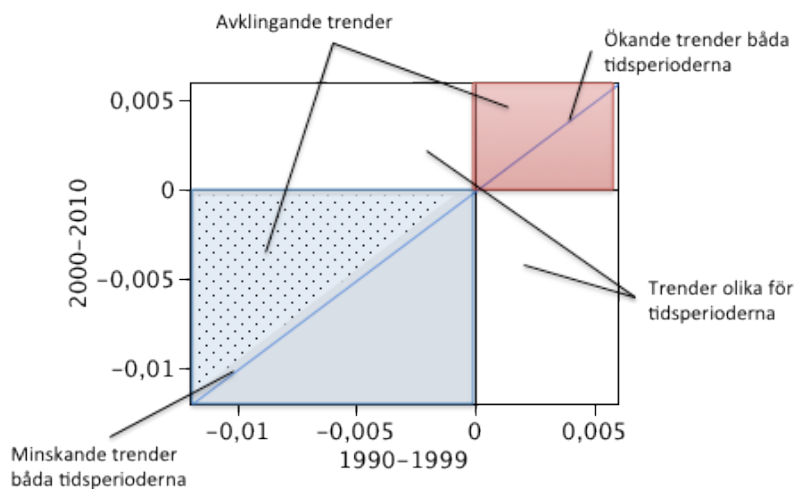
Depositionen som användes för beräkning av kritisk belastning hämtades från MATCH-modellen (Andersson, m.fl., 2011).

### Kritisk belastning

Kritisk belastning beräknades för sjöar enligt FAB-modellen (Bertills och Lövblad, 2002) men med de modifieringar som användes i beräkningarna till den fördjupade utvärderingen 2007 (Naturvårdsverket 2007c). Modifieringarna omfattar bland annat följande: Som kritiskt värde för ANC användes det värde som motsvarar en förändring i pH med 0,4 enheter jämfört med referenstillståndet. Som referensvärde för BC användes BC för år 2100 enligt MAGIC-modellering för den sjön som matchades i MAGIC<sub>bibliotek</sub>. För kväve antogs ett större långsiktigt upptag i marken jämfört med tidigare beräkningar. Vidare antogs organiskt bundet kväve i sjön vara icke försurande.

## Trender i vattenkemin i tidsseriesjöar

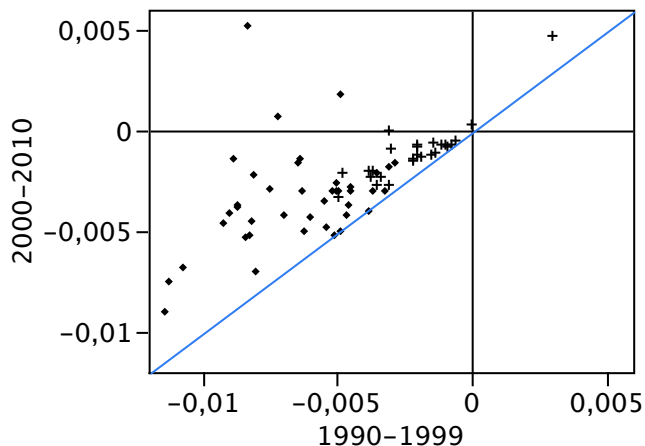
Förändringen i vattenkemi beskrivs här genom att jämföra trenderna för de två tidsperioderna 1990-1999 och 2000-2010 i följande typ av diagram (figur 2):



Figur 2. Beskrivning av figurerna y – z med trenden för perioden 2000-2010 på y-axeln plottat mot trenden för perioden 1990-1999 på x-axeln.

De flesta tidsseriesjöarna uppvisade minskande trend (figur 3). Graden av minskande halt skiljde sig genom att några sjöar hade lika eller nästan lika stor negativ trend den andra som den första tidsperioden, medan trenden hade planat ut helt för en del sjöarna (De flesta punkterna ligger i den övre triangeln av den nedre vänstra rektangeln).

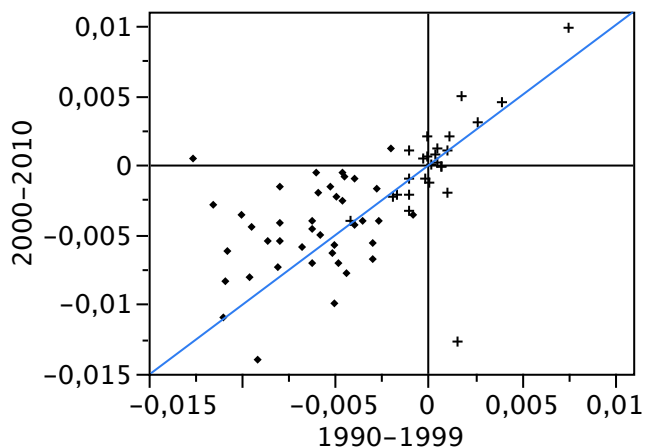
SO<sub>4</sub>-trend mekv/l år



Figur 3. Jämförelse av trenderna i sulfat 2000-2010 med 1990-1999 (mekv/l år). + anger norra Sverige och ♦ anger södra Sverige. Den diagonala linjen anger 1:1.

Minskningen i sulfat har även åtföljts av en minskning av BC-halten (figur 4). Detta var förväntat eftersom BC-halten antas ha ökat på grund av jonbyte när depositionen av svavelsyra ökade under början av försurningen. När nu depositionen minskar, minskar även jonbytet och därmed BC-halten.

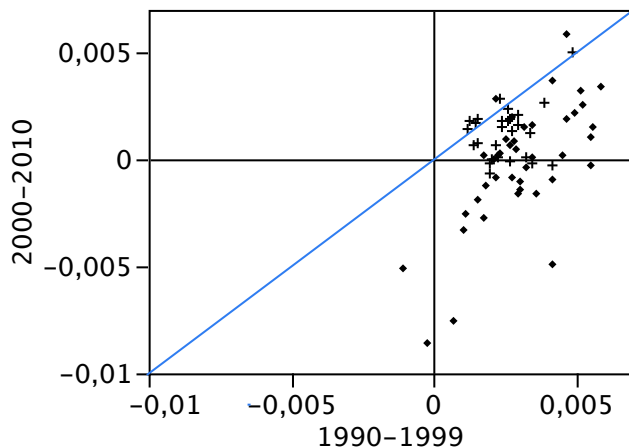
#### BC-trend mekv/l



Figur 4. Jämförelse av trender i baskatjoner (BC) 2000-2010 med 1990-1999 (mekv/l år) + anger norra Sverige och ♦ anger södra Sverige. Den diagonala linjen anger 1:1.

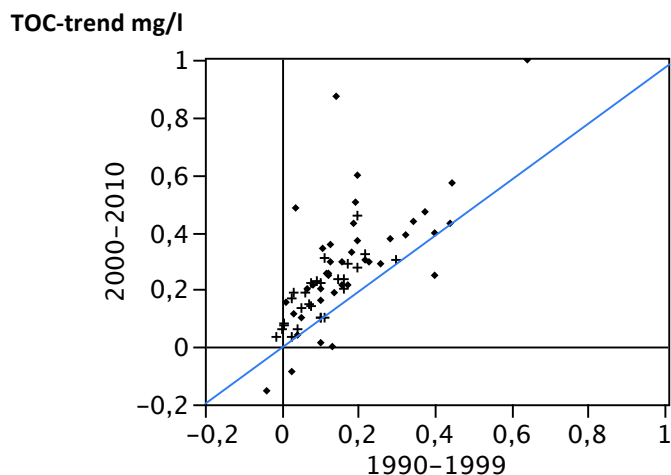
Den kemiska återhämtningen från försurning beskrivs bäst med trenden i ANC som avspeglar skillnaden mellan minskning i  $\text{SO}_4$  och BC ( $\text{ANC} = \text{BC} - (\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3)$ ). Nästan alla sjöar visade på en ökande ANC-trend under den första perioden (figur 5), men under den senare perioden återfinns allting från en fortsatt ökning med samma styrka (nära 1:1-linjen i den övre högra rektangeln i diagrammet) till minskande trender (nedre högra rektangeln). Minskningen av ANC behöver inte betyda en ökande försurning utan kan bero på den naturliga variationen som överskuggar en eventuell fortsatt eller utplanad återhämtning.

#### ANC-trend mekv/l



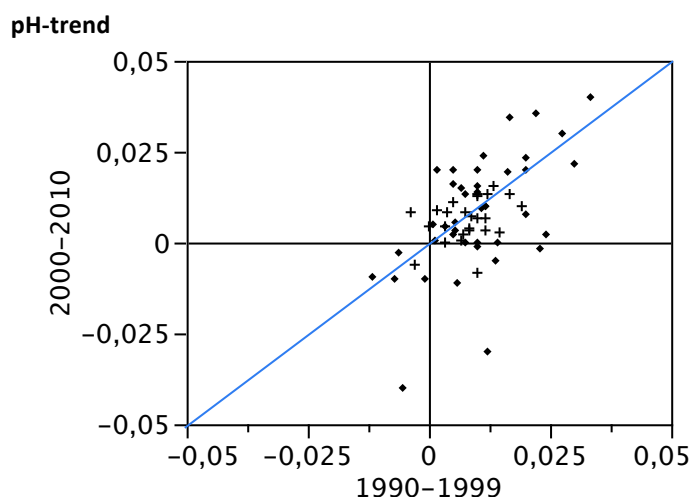
Figur 5. Jämförelse av trender i ANC 2000-2010 med 1990-1999 (mekv/l år) + anger norra Sverige och ♦ anger södra Sverige. Den diagonala linjen anger 1:1.

Halten TOC har ökat under hela perioden och visar en tendens till att öka ytterligare till skillnad från den avklingande trenden för sulfat  $\text{SO}_4$  (figur 6). De flesta punkterna i diagrammet ligger i den övre triangeln i den övre högra rektangeln.



Figur 6. Jämförelse av trender i TOC 2000-2010 med 1990-1999 (mg/l år) + anger norra Sverige och ♦ anger södra Sverige. Den diagonala linjen anger 1:1.

I de flesta sjöarna har pH ökat under båda perioderna och det finns ingen tydlig tendens till varken avklingande eller stegrande trender (figur 7). Det finns dock ett par exempel med minskande pH, Svinarydsjön (622803-144609) och Skäravattnet (624486-141154) i Blekinge.



Figur 7. Jämförelse av trender i pH 2000-2010 med 1990-1999 (mekv/l år) + anger norra Sverige och ♦ anger södra Sverige. Den diagonala linjen anger 1:1.

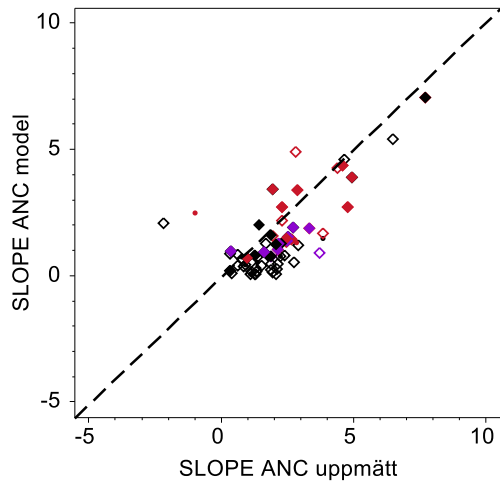
### Återger MAGIC de uppmätta trenderna i vattenkemin?

I en separat rapport jämfördes de uppmätta trenderna i vattenkemin med de modellerade trenderna i MAGIC för ANC, sulfat och pH i ett urval av tidseriesjöarna för perioden 1990-2008 (Köhler och Fölster, 2011). Här ges en kort sammanfattning av resultaten. I jämförelsen beräknades trenderna (SLOPE) för de olika parametrarna beräknades som skillnaden mellan treårsmedelvärdena för perioderna 1989-1991 och 2009-2010.

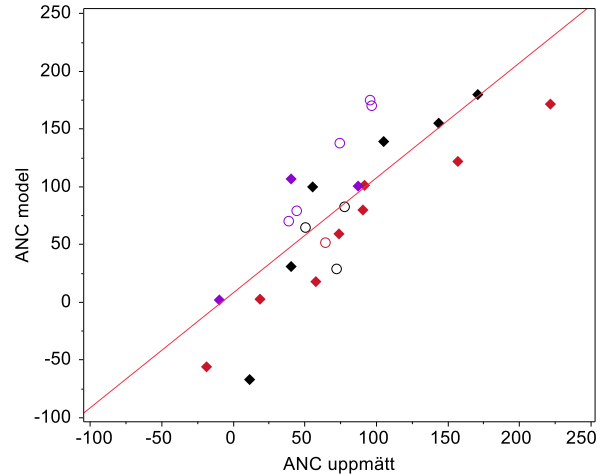
Jämförelsen mellan de uppmätta och modellerade trenderna (SLOPE) för ANC och pH kan användas för att bedöma om MAGIC-modellen med sina antaganden för depositionen och andra indata lyckas fånga de faktiska trenderna under perioden 1990-2010.

De MAGIC-beräknade trenderna för ANC ligger för de mesta inom en felmarginal av 2  $\mu\text{ekv/l}$  år under hela observationsperioden (1990-2008) (figur 8a). Bara ett fåtal sjöar visar modellerade trender som skiljer sig avsevärt från de faktiskt uppmätta trenderna. Felen är

dock tillräckligt stora, ca 33  $\mu\text{ekv/l}$  i median (figur 8b), för att dessa skillnader mellan uppmätt och MAGIC-modellerat ANC ska påverka beräknat pH avsevärt (jämför känslighetsanalysen för skattade fel av 40  $\mu\text{ekv/l}$  längre ner).

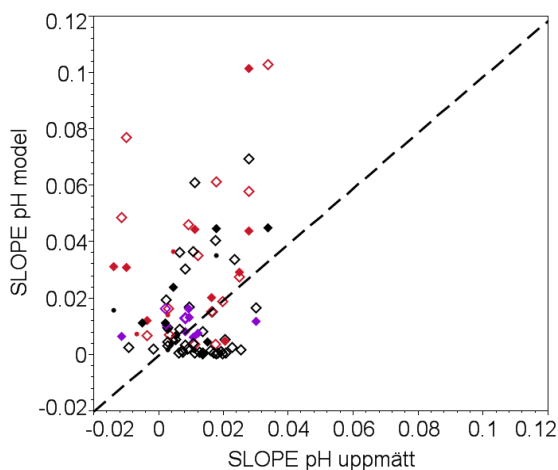


Figur 8 a. Jämförelse mellan uppmätt och MAGIC-modellerad trend av ANC (SLOPE) [ $\mu\text{ekv/l år}$ ].

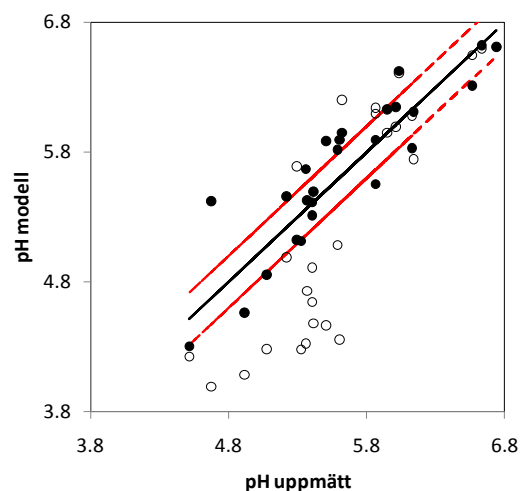


Figur 8 b. Jämförelse mellan uppmätt och MAGIC-modellerad ANC för perioden 2006-2008 [ $\mu\text{ekv/l år}$ ].

Både trenderna för pH (figur 9a) och de modellerade pH värden i 1991 (figur 9b) tyder på en överskattning av försurningen särskilt för de sura sjöarna. Det MAGIC-beräknade pH-värdet ligger runt 0,3 pH enheter för lågt jämfört med de uppmätta värdena. Dagens TOC (2007) avviker avsevärt i en del av sjöarna från värdet som bestämdes under kalibreringsåret 1997 vilket kan förklara en del men inte alla av de stora skillnaderna mellan uppmätt och MAGIC-modellerat pH (figur 10).



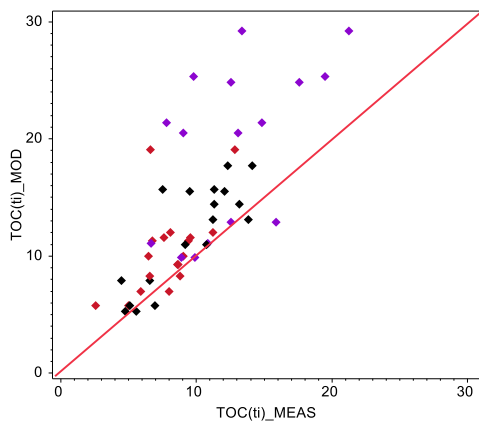
Figur 9a . Jämförelse mellan uppmätt och MAGIC-modellerad trend av pH (SLOPE).



Figur 9b. Jämförelse mellan uppmätt pH (median 1990-1992) och beräknat pH. pH har beräknats på två sätt. Dels utifrån uppmätt TOC och ANC samt  $\text{pCO}_2 = 2,8$  [●], och dels genom IVL:s beräkningar inom MAGIC<sub>bibliotek</sub>[○]

För sura sjöar ( $\text{pH} < 6$ ), ligger pH-värdena från MAGIC<sub>bibliotek</sub> mycket lägre än de uppmätta pH-värdena. De pH värden som beräknades inom detta projekt ligger däremot nästan alla inom en felmarginal av 0,2 pH-enheter (figur 9b). Detta överensstämmer med felmarginalen som anges för denna modell (Köhler m. fl. 2000). Bara en del av denna avvikelse kan förklaras av att TOC satts till konstant i MAGIC. (En del av felet i pH-beräknat ur övrig vattenkemi kan bero på att vi använde median-pH utan transformering. pH-modeller ger normalt mindre fel vid  $\text{pH} < 5,5$ )

Känsligheten i det modellerade pH-värdet för förändringar i TOC och  $\text{pCO}_2$  utvecklas vidare i bilaga A.



Figur 10. Jämförelse mellan uppmätt TOC (2007) och det som kom till användning i det nya MAGIC<sub>bibliotek</sub> (2007) [ $\text{mg L}^{-1}$ ].

De ovanstående analyserna visar att

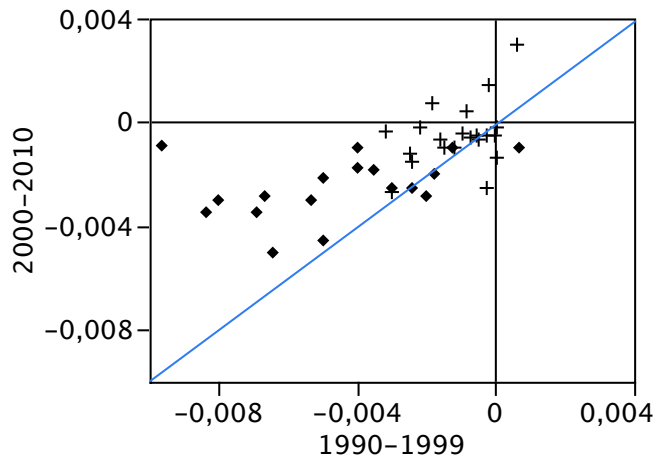
- de pH-värden som beräknats i MAGIC<sub>bibliotek</sub> är lägre än uppmätta värden, särskilt när pH är under 6.
- antagandet av ett konstant värde på TOC ger systematiska fel i pH och förmodligen även  $\Delta \text{pH}$ .
- felet i uppskattningen av ANC-trenden enligt MAGIC-beräkningar baserade på kalibreringar med 1997 års vattenkemi leder till att felet i beräkningen av dagens pH-värde i genomsnitt är 0,3 enheter.



## Trender i vattenkemin i tidsserievattendrag

Liksom för sjöarna uppvisade de flesta vattendragen minskande trender i sulfathalt med tydligast trender i södra Sverige (figur 11). Trenderna avklingade i de flesta vattendragen, men i södra Sverige var den fortsatta minskningen betydande.

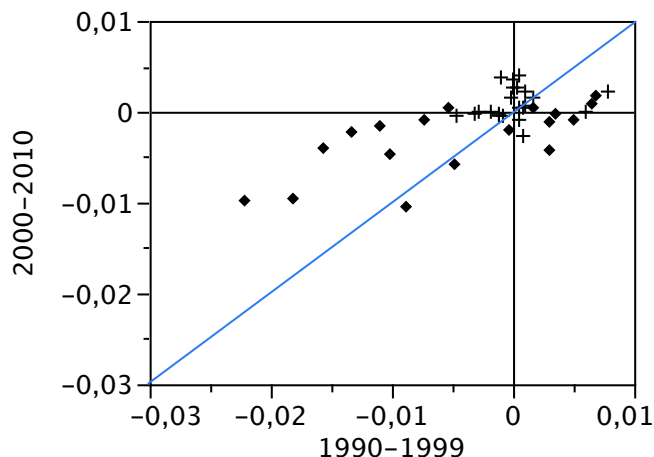
SO<sub>4</sub>-trend mekv/l år



Figur 11. Jämförelse av trender i sulfat 2000-2010 med 1990-1999 (mekv/l år) + anger norra Sverige och ♦ anger södra Sverige. Den diagonala linjen anger 1:1.

För baskatjonerna var det bara i södra Sverige som det förekom minskande trender i en del av vattendragen och även där var trenderna avklingande i de flesta fall (figur 12).

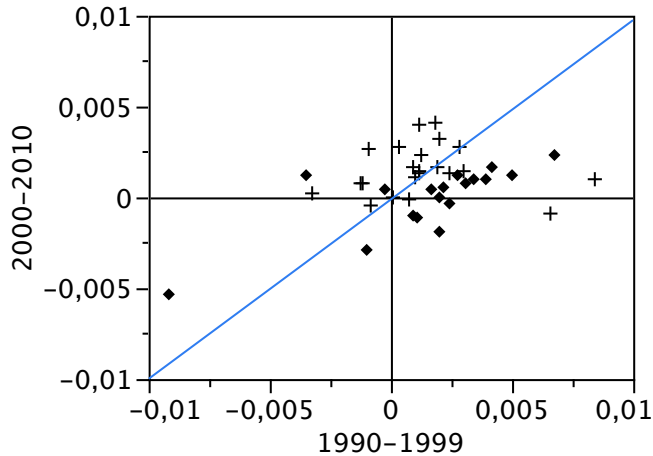
BC-trend mekv/l



Figur 12. Jämförelse av trender i baskatjoner (BC) 2000-2010 med 1990-1999 (mekv/l år) + anger norra Sverige och ♦ anger södra Sverige. Den diagonala linjen anger 1:1.

Förändringarna i ANC var små, men de positiva trenderna dominerade i hela landet (figur 13). Under den senare perioden var trenden ökande i ett flertal vattendrag i norra Sverige vilket hängde samman med ökande BC-trender (figur 12).

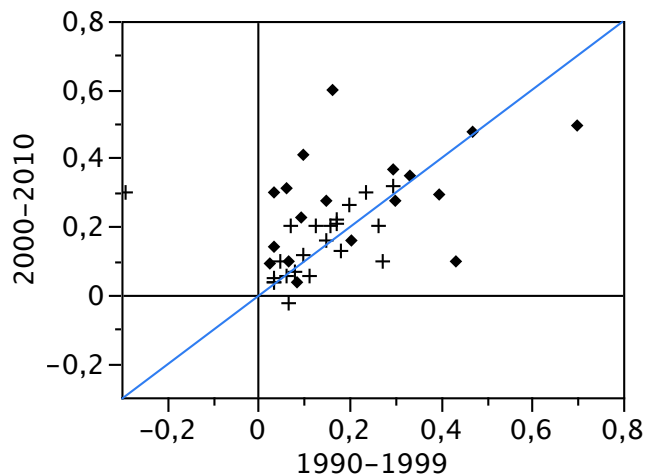
ANC-trend mekv/l



Figur 13. Jämförelse av trender i ANC 2000-2010 med 1990-1999 (mekv/l år) + anger norra Sverige och ♦ anger södra Sverige. Den diagonala linjen anger 1:1.

Halten organiskt kol (TOC) ökade generellt i hela Sverige i både södra och norra Sverige, men med de starkaste trenderna i södra Sverige (figur 14).

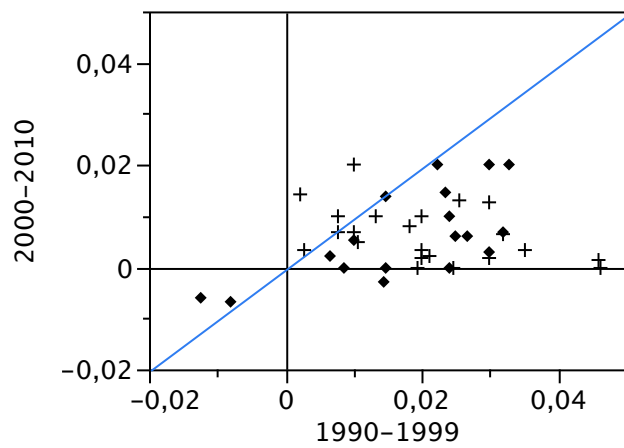
TOC-trend mg/l



Figur 14. Jämförelse av trender i TOC 2000-2010 med 1990-1999 (mg/l år) + anger norra Sverige och ♦ anger södra Sverige. Den diagonala linjen anger 1:1.

I de flesta vattendragen ökar pH under hela perioden, men med något starkare trender under den första perioden (figur 15).

pH-trend



Figur 15. Jämförelse av trender i pH 2000-2010 med 1990-1999 (mekv/l år) + anger norra Sverige och ♦ anger södra Sverige. Den diagonala linjen anger 1:1.

# Försurningsbedömning

## Matchning med MAGIC<sub>bibliotek</sub>

Av de 2410 Omdrevssjöar som försurningsbedömdes med MAGIC<sub>bibliotek</sub> kunde 2 306 sjöar matchas. Av de 104 sjöar som inte fick någon matchning hade 102 sjöar ANC > 0,2 och bedöms därför som oförsurade. En sjö utan matchning med negativt ANC låg i Norrbotten och hade höga halter av metaller och antas därmed vara påverkad av gruvavfall. Den bedömdes därmed som inte försurad eftersom Bedömningsgrunderna för försurning avser påverkan från luftdeposition och skogsbruk. Ytterligare en sjö utan matchning med negativt ANC låg i Stockholms skärgård, hade pH över 7 och mycket hög Cl-halt. Troligen rör det sig om en avsnörd havsvik. De allra flesta övriga sjöarna utan matchning låg inom kalkrika områden och samtliga var mycket välbuffrade. Mot bakgrund av detta bedömdes alla sjöar utan matchning som icke försurade.

I MAGIC<sub>bibliotek</sub> anges hur lika den matchade sjön är den som ska bedömas med vilket filter som matchningen. De flesta sjöarna (2 243) fick matchningar som passerade filter 1 eller 2 vilket är de högsta kraven på matchning (tabell 1).

Tabell 1. Matchningssäkerhet

Matchning	Antal sjöar
Filter1	1643
Filter2	600
Filter3	63
Omatchad	104

## Andel kalkade och försurade sjöar i Sverige

Andelen försurade okalkade sjöar > 4 ha 2010 var 5,2 %, vilket kan jämföras med 3 % i Riksinventeringen 2005 som rapporterades i den förra fördjupade utvärderingen.

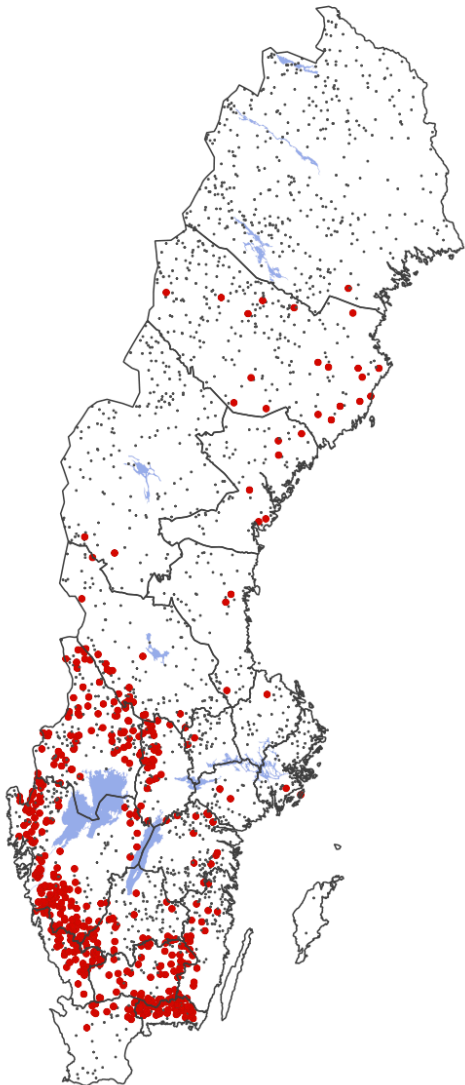
Andelen kalkningspåverkade sjöar i Sverige var 11 % för sjöarna > 4 ha. Det kan jämföras med 14 % i utvärderingen av Riksinventeringen 2005. Den minskade siffran beror delvis på en minskad kalkning sedan 2005, men också på hur påverkan av kalkning uppströms bedömdes. För Riksinventeringen 2005 bedömdes en sjö kalkpåverkad om > 20 % av avrinningsområdet utgjordes av åtgärdsområde, utan hänsyn till kalkningens omfattning eller sjöns buffringsförmåga. Det innebär att en del sjöar nedströms vilande kalkning, eller välbuffrade sjöar där kalkningens påverkan på pH är försumbar, klassades som kalkningspåverkade. Med det kriterium som satts för kalkningspåverkan i denna studie – att kalken teoretiskt ska ha höjt pH-värdet med > 0,1 enheter eller alkaliniteten med > 0,1 mekv/l – undviks denna ”överdiagnosticering” av kalkningspåverkan. Om försurade kalkade sjöar inkluderas är andelen försurade sjöar 12 % oavsett om sjöar mellan 1 och 4 hektar inkluderas eller ej (tabell 2).

Tabell 2. Andel försurade sjöar i hela Sverige år 2010

	> 4 ha	> 1 ha
Ej försurade	83,5	84,8
Försurade ej kalkade	5,4	7,0
Kalkat	11,1	8,2
Försurade inkl. kalkade	12,2	12,1

## Regional fördelning

Försurningspåverkan följer till stora delar depositionstrycket med störst andel försurade sjöar i sydvästra Sverige och minst försurning i Norrlands inland (figur 11.) I den mindre regionala skalan spelar också markens försurningskänslighet roll för hur stor andel av sjöarna som är försurade. Därför förekommer ingen försurning i t.ex. södra Skåne, Västgötaslätten och Öland och Gotland trots en relativt hög deposition (?). Även i Uppland där marken är kalkrik förekommer ingen försurning. Den Upplandsjö som ändå klassats om försurad i bedömningen, Trusksjön, kan betecknas som en felklassning. Sjön har en TOC-halt på 74 mg/l, en  $\text{SO}_4$ -halt på 0,014 mekv/l och en Ca-halt på 0,44 mekv/l. Det låga pH-värdet, 5,4, beror alltså i det fallet på organiska syror och inte på svaveldeposition. I MAGIC<sub>bibliotek</sub> matchades Trusksjön mot Brittegöl i Kronobergs län som har 8 gånger så hög sulfathalt. Matchningen passerade Filter 3, vilket är en indikation på stor osäkerhet i bedömningen. Exemplet visar att trots den omfattande utvecklingen av biblioteket kan det finnas enstaka sjöar med mycket ovanlig kemi som har svårt att hitta en relevant matchning i MAGIC<sub>bibliotek</sub>.



Figur 11. Omdrevsinventeringen 2007-2009. Röda stora punkter anger försurade sjöar enligt MAGIC<sub>bibliotek</sub> där kalkningspåverkade sjöar bedömts utifrån beräknad okalkad kemi. Kartan visar länsindelning.

### Länsvis beskrivning

I län G, K, N och O var mer än hälften av sjöarna försurade (tabell 3). I län F, H, M, S och T är mellan 20 % och 50 % av sjöarna försurade. I Norrland förekommer försurningen främst längs kusten i län Y och AC där marken är försurningskänslig och depositionen högre än övriga Norrland. Denna region ligger också under högsta kustlinjen, där det kan förekomma naturligt svavel i postglaciala sediment, vilket då kan ge en överskattning av den antropogena försurningspåverkan. I AC-län finns, förutom längs kusten, även ett antal försurade sjöar i inlandet. I W-län ligger de flesta försurade sjöarna längs den södra länsgränsen.

Tabell 3. Andel försurade sjöar fördelat på län. Bedömningar med MAGIC<sub>bibliotek</sub> av resultat från Omdrevsinventeringen 2007-2009. Kalkningspåverkade sjöar har bedömts utifrån beräknad okalkad kemi.

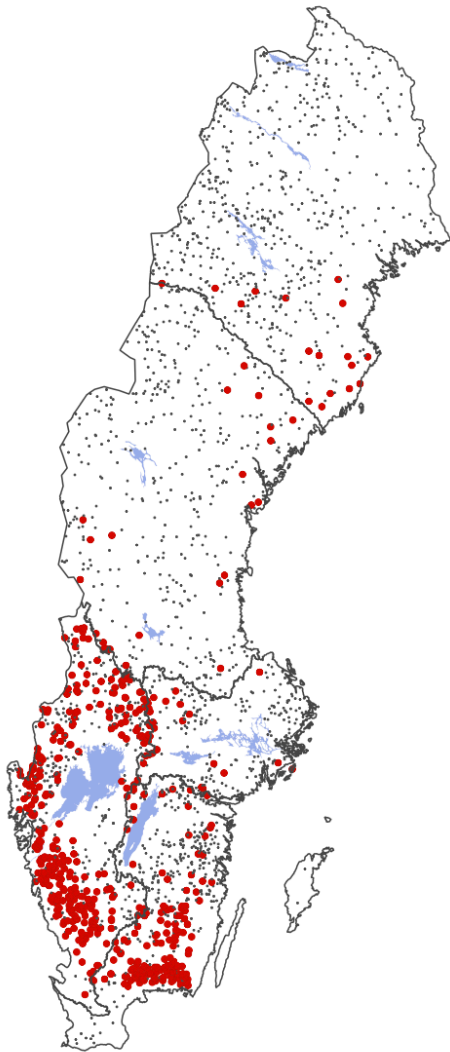
Län	Antal sjöar i underlaget	Andel försurade sjöar %	Region enligt FU2007	Ny regionsindelning
AB	71	3	ÖM	ÖM
C	36	3	ÖM	ÖM
D	33	9	ÖM	ÖM
E	136	11	ÖM	ÖM
F	118	25	SV	SV
G	95	60	SV	SV
H	89	21	ÖM	ÖM
I	6	0	ÖM	ÖM
K	62	79	ÖM	SV
M	47	46	SV	SV
N	61	83	SV	SV
O	287	58	SV	SV
S	175	32	SV	SV
T	82	36	ÖM	SV
U	53	6	ÖM	ÖM
W	128	9	ÖM	ÖM
X	61	6	N	N
Y	70	11	N	N
Z	169	1	N	N
AC	243	10	N	N
BD	388	0,4	N	N

### Vattendistrikt

Vattendistriktet ger en bra indelning av försurningspåverkan med lite försurning i de tre nordligaste distrikten och mest försurning i Södra Östersjön och Västerhavet (tabell 4). Särskilt gränsen mellan Västerhavet å ena sidan och Bottenhavet och Norra Östersjön å andra sidan sammanfaller med en tydlig gräns mellan större och mindre andel försurade sjöar (figur 12).

Tabell 4. Andel försurade sjöar fördelat på vattendistrikt. Bedömningar med MAGIC<sub>bibliotek</sub> av resultat från Omdrevsinventeringen 2007-2009. Kalkningspåverkade sjöar har bedömts utifrån beräknad okalkad kemi.

Vattendistrikt	Antal sjöar i underlaget	Andel försurade sjöar
Bottenviken	572	4
Bottenhavet	450	6
Norra Östersjön	248	8
Södra Östersjön	489	34
Västerhavet	651	51



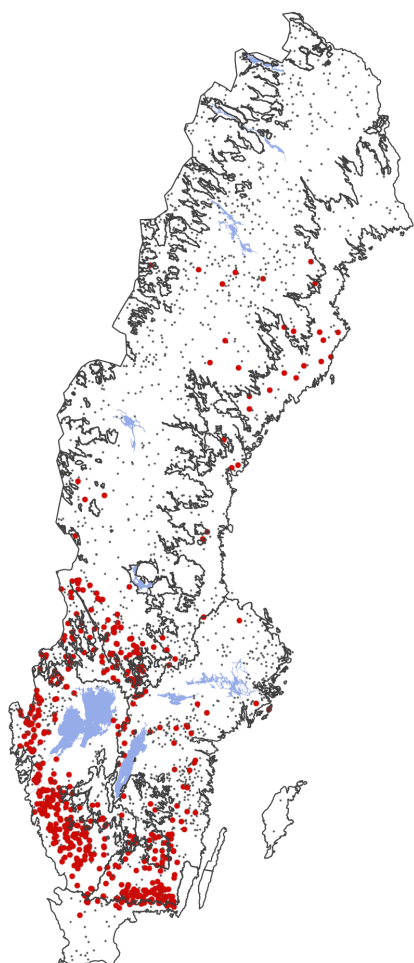
Figur 12. Omdrevsinventeringen 2007-2009. Röda stora punkter anger försurade sjöar enligt MAGIC<sub>bibliotek</sub> där kalkningspåverkade sjöar bedömts utifrån beräknad okalkad kemi. Kartan visar indelning i vattendistrikt.

### Sjölimniska regioner

För Norrland ger uppdelningen sjölimniska regioner enligt Vattenförvaltningsförordningen en delvis god beskrivning av fördelning av försurningspåverkan med den största andelen försurade sjöar under högsta kustlinjen och minst försurning i fjällregionen. Däremot skär den sydliga avgränsningen längs *limes norrlandicus* rätt genom ett område med hög försurning, vilket ger en relativt stor andel försurade sjöar i Norrlands inland (tabell 5). För södra Sverige ger de sjölimniska regionerna ingen bra beskrivning av försurningstillståndet (figur 13). Även där skär flera gränser tvärs igenom områden med stor försurning och regionen ”Sydöst” omfattar t.ex. både det oförsurade Uppland (C) och det kraftigt försurade Blekinge (K).

Tabell 5. Andel försurade sjöar fördelat på limniska regioner enligt Vattenförvaltningsförordningen. Bedömningar med MAGIC<sub>bibliotek</sub> av resultat från Omdrevsinventeringen 2007-2009. Kalkningspåverkade sjöar har bedömts utifrån beräknad okalkad kemi.

Limnisk region	Antal sjöar i underlaget	Andel försurade sjöar
Fjällen	163	1
Norrlands inland	857	5
Norrlands kust	271	16
Sydöst	556	25
Södra Sverige	47	52
Sydväst	385	61
Sydsvenska höglandet	131	29



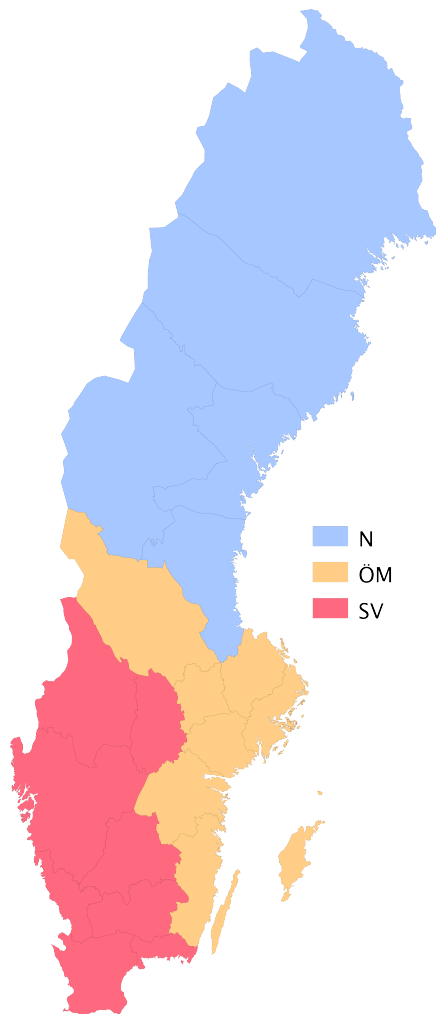
Figur 13. Omdrevsinventeringen 2007-2009. Röda stora punkter anger försurade sjöar enligt MAGIC<sub>bibliotek</sub> där kalkningspåverkade sjöar bedömts utifrån beräknad okalkad kemi. Kartan visar sjölimniska regioner enligt Vattenförvaltningsförordningen.



### Förslag till regionsindelning för uppföljning av regionala mål för andel försurade sjöar

I FU2007 gavs förslag på en indelning av Sverige i tre regioner baserad på län med olika grad av försurningspåverkan. Med det nya underlaget ser den rumsliga fördelningen något annorlunda ut jämfört med tidigare (se nedan) och ett nytt förslag till regionsindelning har därför tagits fram (tabell x och figur 14). Skillnaden mot det tidigare förslaget är att Blekinge (K) och Örebro (T) län flyttats över till den sydvästra regionen (SV) som nu omfattar län med minst 25% försurade sjöar.

Indelningen skiljer främst ut den kraftigast försurade sydvästra regionen där mer än hälften av sjöarna är försurade (tabell 6). I Norra Sverige är mindre än var tjugonde sjö försurad och i mellanregionen mindre än var tionde.



Figur 14. Förslag till regionsindelning baserat på län. N = Norra Sverige. ÖM = Östra och mellersta Sverige. SV = Sydvästra Sverige.

Tabell 6. Andel försurade sjöar fördelat på tre regioner-

Landsdel 11	Andel försurade sjöar (%)
N	4,2
ÖM	9,5
SV	50,3

## Osäkerheten som beror av det slumpmässiga urvalet

Omdrevsinventeringen utgör ett slumpmässigt urval av alla Sveriges sjöar vilket innebär att tillståndet i alla Sveriges sjöar kan beskrivas med en viss noggrannhet, men med ett visst slumpmässigt fel. Andelen försurade sjöar av de som valts ut skiljer sig alltid något från andelen för alla sjöar. Det statistiska felet blir mindre ju fler sjöar som provtas. Osäkerheten i uppskattningen av andel försurade sjöar minskar därmed för varje år som programmet fortgår. Den osäkerhet som beror på det slumpade urvalet kan uppskattas genom en så kallad "bootstrap"-simulering. För att beräkna konfidensintervallet för andel försurade sjöar i hela Sverige och de olika landsdelarna, gjordes en så kallad slumpning med återläggning av sjöar ur de första två årens omdrev. För varje EMEP-ruta och storleksklass slumpades lika många sjöar som ingick i omdrevet 2007-2009 för den klassen. Efter att en sjö tagits ut genom slumpning lades den tillbaka så att den kunde väljas igen. Sjöar slumpades i alla EMEP-rutor och storleksklasser så att ett stickprov med lika många sjöar som i den ursprungliga undersökningen erhöles. På det sättet skapades en ny "omdrevsundersökning" som gav en uppskattning av antal försurade sjöar som avvek något från det ursprungliga resultatet. Genom att upprepa detta förfarande 1000 gånger skapades en fördelning av uppskattningar av andel försurade sjöar. För dessa 1000 uppskattningar kunde median, 2,5 och 97,5 percentiler beräknas vilket gav de 95 procent konfidensintervall som presenteras i tabell 7.

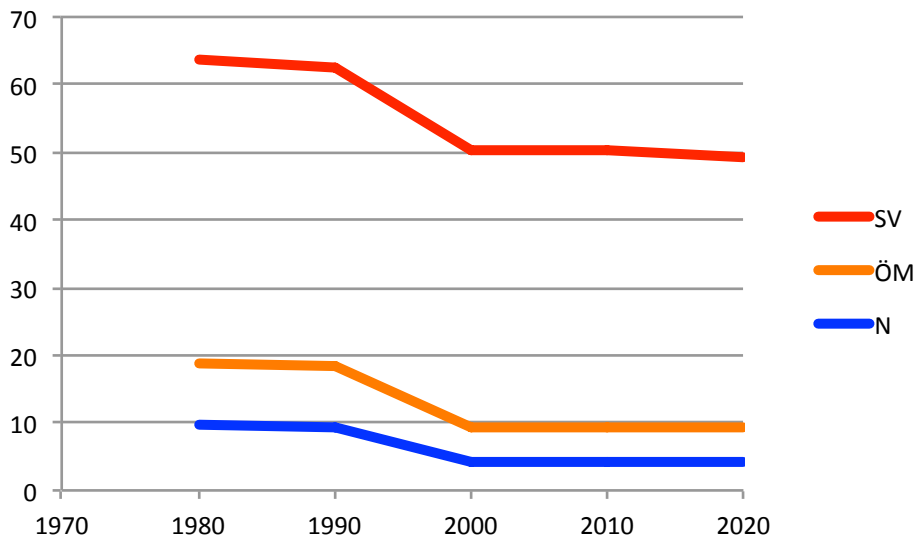
För hela Sverige är felet efter tre års omdrev +/- 1,2 procentenheter. Efter ytterligare 3 års provtagning kommer felet vara mindre än 1 procentenheter. I Norra Sverige är osäkerheten 1,5 % och för de två övriga regionerna ca. 3 %.

Tabell 7. Osäkerhetsintervall av andel försurade sjöar i Sverige uppdelat i tre landsdelar.

Region	Andel försurade sjöar Intervall	
N	2,8	5,8
ÖM	6,6	12,6
SV	46,8	53,4
Sverige	10,8	13,2

## Förändring i andelen försurade sjöar med tiden

Andelen försurade sjöar sjönk från 19,1 % 1980 till dagens 12,1 % i hela Sverige. En uppskattning av utvecklingen framåt i tiden om beslutade åtgärder genomförs (CLE) visar bara på en obetydlig fortsatt återhämtning från 12,1 till 11,9 % fram till 2020. Den största återhämtningen beräknat som andelen försurade sjöar återfinns i östra och mellersta Sverige samt Norrland där andelen försurade sjöar halverats (figur 15). I sydvästra delen av landet har andelen försurade sjöar bara minskat från 64 procentenheter till 50 procentenheter vilket innebär att antalet sjöar som klassas som försurade minskat med en femtedel. Den regionala skillnaden kan förklaras av att i de norra och mellersta delarna var många sjöar bara måttligt försurade vilket gör att det krävts en lägre grad av återhämtning för att den beräknade försurningspåverkan ska bli mindre än 0,4 pH-enheter, vilket är gränsvärdet för att klassas som försurat enligt Bedömningsgrunder. I södra Sverige har visserligen de kemiska förändringarna som orsakats av återhämtningarna varit större (se ovan), men de flesta sjöarna här är så kraftigt försurade att det inte räcker till för att försurningspåverkan ska bli mindre än 0,4 pH-enheter.



Figur 15. Utvecklingen av andelen försurade sjöar i Sverige 1980-2020 uppdelat på tre regioner: Sydvästra Sverige (SV), Östra och mellersta Sverige (ÖM) och Norra Sverige (N).

## Uppskattning av försurningspåverkan i vattendrag

Enligt det rådande delmålet för vattendrag ska inte mer än 15 % av andelen rinnsträcka vara försurad. I förra fördjupade utvärderingen precisades detta till att gälla vattendrag med avrinningsområden  $> 2 \text{ km}^2$ . Anledningen till avgränsningen är att mindre vattendrag ofta inte är permanenta och att den vattenkemiska variationen så stor att om nedströms liggande vattendrag inte är försurade så kommer en stor del av de mindre vattendragen inte heller att vara försurade. Även om en del mindre vattendrag är försurade säkerställs därmed den biologiska mångfalden på landskapsnivå.

Någon yttäckande övervakning av vattendrag förekommer inte i Sverige med undantag för flodmynningarna. I den förra fördjupade utvärderingen beräknades istället andelen försurad rinnsträcka utifrån sjökemin i Riksinventeringen 2005 (Wilander och Fölster, 2007). En sjö antas då representera ett vattendrag inom samma storleksklass och inom samma län. Andel försurad rinnsträcka beräknades med sjökemi från Omdrevsinventeringen på samma sätt, men med indelning i EMEP50-ruta i stället för län. Beräkningsmetodiken för viktningen beskrivs i Fölster m.fl., 2007 och den rumsliga fördelningen av rinnsträckor med olika storlek beräknades med VIVAN (Nisell m.fl., 2007).

Andel försurad rinnsträcka  $> 2 \text{ km}^2$  uppskattat från sjöar är 4 % om man bortser för kalkade vattendrag som utgör 16 % av rinnsträckan (tabell 8). Om man inkluderar försurade vattendrag som är kalkade så är 15 % av rinnsträckan försurad. För vattendrag  $< 2 \text{ km}^2$  är andelen försurad rinnsträcka något större om man inkluderar försurade kalkade vattendrag, men eftersom en mindre del av de små vattendragen är kalkade är andelen försurade icke kalkade vattendrag betydligt större bland de små.

Tabell 8. Andel (i %) försurad och kalkad rinnsträcka i Sverige beräknat från sjöar.

	> 2 km <sup>2</sup>	≤2 km <sup>2</sup>
Ej försurat	80	76
Försurat	4	14
Kalkat	16	10
Försurade inkl. kalkade	15	19

## Episodförsurning

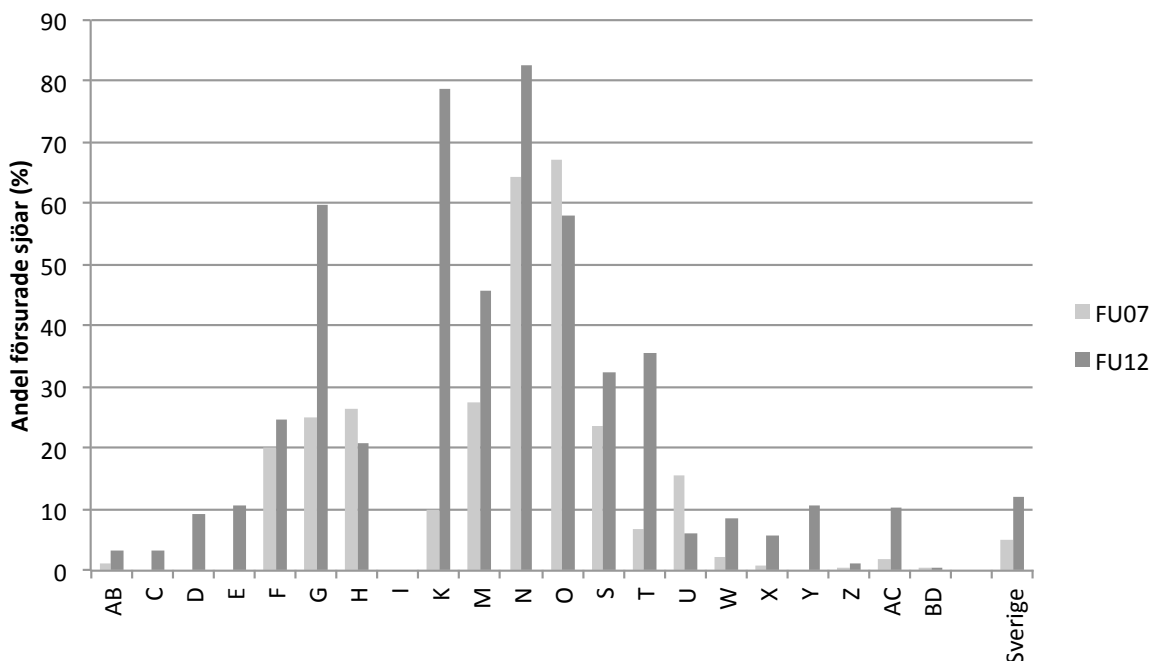
Försurningsbedömning i vattendrag görs enligt Bedömningsgrunder utifrån flödesvägda medelvärden. Ur ekologisk synvinkel är det i själva verket extrema situationer som sammanfaller med för organismer känsliga perioder som avgör hur försurningspåverkan påverkar organismsamhällena, men i praktiken är det inte möjligt att ha en miljöövervakning som prickar in dessa svåröversägliga episoder. I underlagsarbetet visade det sig att genomsnittssituationen var väl korrelerad med biota (Fölster m.fl., 2007). I norra Sverige finns möjlighet att göra en bedömning av försurning under vårfloden med episodmodellen (Boreal Dilution Model (BDM), Laudon, m.fl., 2001). Försurningen under vårflodsepisoden beror på tillskott av svavelsyra med smältvattnet under den redan naturligt sura vårflodssituationen. I takt med att depositionen minskat har även försurningen under vårfloden avtagit och inför den förra fördjupade utvärderingen av Miljömålen konstaterades att vårflodsförsurningen numera är ett litet problem (Laudon, 2007).

Förutom under vårfloden kan försurningspåverkan öka vid t.ex. havssaltsepisoder eller vid högflöden efter torka. Dessutom kan ett redan försurat vattendrag bli ännu mer försurat under högflöden då den naturliga buffringsförmågan är sänkt på grund av utspädning. I en studie av sådan försurningsepisoder analyserades tidsserier i 77 försurningskänsliga vattendrag (Erlandsson, m.fl., 2010). En försurningsepisod definierades då som att en ökad försurningspåverkan sammanföll med ett för vattendraget lågt pH-värde. I studien visades att sådana försurningsepisoder främst förekommer i vattendrag som redan är försurade vid normalsituationer. Det är däremot ovanligt att ett vattendrag som klassas som opåverkat utifrån medelsituationen blir försurat under episoder. Resultaten visar att en klassning av försurningspåverkan i vattendrag baserat på den genomsnittliga kemien i regel är rättvisande, men att graden av påverkan i försurade vatten kan underskattas.

## Skillnad i bedömningen av tillståndet jämfört med bedömningen till den fördjupade utvärderingen 2007.

### Skillnad i andel påverkade och den regionala fördelningen av försurningspåverkan jämfört med FU2007.

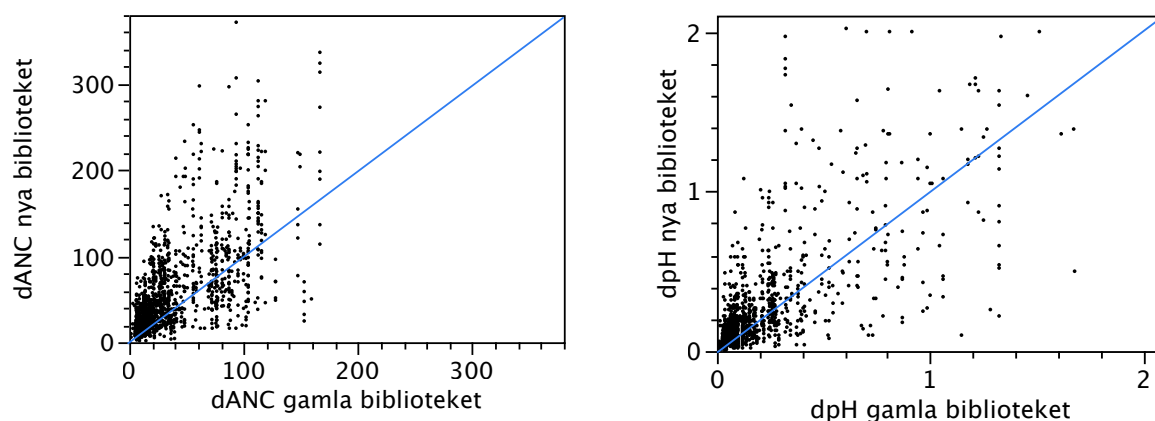
Den nya bedömningen av försurningspåverkade sjöar i Sverige skiljer sig på flera punkter jämfört med den som presenterades i Fördjupade utvärderingen 2007 (Naturvårdsverket, 2007). Dataunderlaget är nytt, beräkningen av okalkad kemi för kalkpåverkade sjöar har förbättrats och bedömningsverktyget för försurning, MAGIC<sub>bibliotek</sub>, har reviderats på flera punkter. Detta har lett till att andelen försurade sjöar har ökat från 2,8 % till 5,4 % för okalkade sjöar > 4 ha och från 5,2 % till 12,1 % om man inkluderar försurade kalkade sjöar och alla sjöar > 1 ha. Den största ökningen i procentenheter återfanns i G, K, M, N och T län (figur 16). I H, O och U län minskade andelen försurade sjöar något med det nya underlaget. Nedan följer en redovisning för hur de olika förändringarna i underlaget påverkat beskrivningen av försurningstillståndet i Sverige.



Figur 16 Länsvis jämförelse av andelen försurade sjöar mellan det underlag som ingick i den fördjupade utvärderingen 2007 (FU07) och det som nu presenteras för den fördjupade utvärderingen 2012 (FU12). Andelarna avser sjöar > 1 ha och inkluderar försurade kalkade sjöar. FU07 baserade sig på Riksinventeringen 2005 och MAGIC<sub>bibliotek</sub> från 2006(?). FU12 baserar sig på omdrevsundersökningen 2007-2009 och MAGIC<sub>bibliotek</sub> från 2010. För FU12 har korrigeringen för kalkningspåverkan förbättrats.

### Betydelsen av det nya biblioteket

De 1974 sjöarna i RI05 som användes som underlag för FU2007, matchades mot det nya biblioteket (version 2010). Korrigeringen av de kalkade sjöarna gjordes på samma sätt som i det gamla underlaget så skillnaden i försurningsbedömning beror enbart på förändringen av MAGIC<sub>bibliotek</sub>. Det nya biblioteket gav stora slumpmässiga skillnader i både  $\Delta$ ANC och  $\Delta$ pH jämfört med det gamla (version 2007) för enskilda sjöar för försurade sjöar (figur 17).



Figur 17. Jämförelse av bedömning av försurningspåverkan ( $\Delta$ pH) av RI05 gjord med MAGIC<sub>bibliotek</sub> från 2005 respektive 2010. Kalkade sjöar är korrigerade för kalkpåverkan.

Vid sidan om den slumpmässiga skillnaden ger det nya biblioteket i genomsnitt en större försurningspåverkan jämfört med det gamla. Av totalt 1974 sjöar bytte 129 sjöar klassning från ej försurat till försurat, medan bara 46 sjöar bytte från ej försurat till försurat (tabell 9). 129 sjöar bedömdes som försurade och 1661 som ej försurade oavsett version av MAGIC<sub>bibliotek</sub>. (9 sjöar kunde inte bedömas då kalkningskorrigeringen gav orimlig kemi).

Tabell 9. Antal försurade sjöar 2010 i Riksinventeringen 2005 bedömt med två versioner av MAGIC<sub>bibliotek</sub>. Kalkade sjöar är korrigerade för kalkpåverkan.

MAGIC <sub>bibliotek</sub> vers. 2007	MAGIC <sub>bibliotek</sub> vers. 2010	
	Ej försurat	Försurat
Ej försurat	1661	129
Försurat	46	129

Skillnaden mellan de två versionerna av MAGIC<sub>bibliotek</sub> visar sig också när resultaten räknas om för att beskriva andel försurade sjöar i hela Sverige. Det gäller både med och utan kalkade sjöar och oavsett om sjöar mellan 1 och 4 ha tas med (tabell 10). Skillnaden är störst för sjöar > 4 ha exklusive försurade kalkade, med en nära fördubbling. För sjöar > 1 ha inklusive försurade sjöar ökade andelen försurade sjöar med ca. 50%.

Tabell 10. Andel försurade sjöar baserat på RI05. Jämförelse av två versioner av MAGIC<sub>bibliotek</sub>.

		Andel försurade 2010	
		MAGIC <sub>bibliotek</sub> vers. 2007	MAGIC <sub>bibliotek</sub> vers. 2010
Sjöar > 4 ha	Exkl. kalkade	2,8	5,2
	Inkl. kalkade	4,9	8,0
Sjöar > 1 ha	Exkl. kalkade	3,3	5,7
	Inkl. kalkade	5,2	7,8

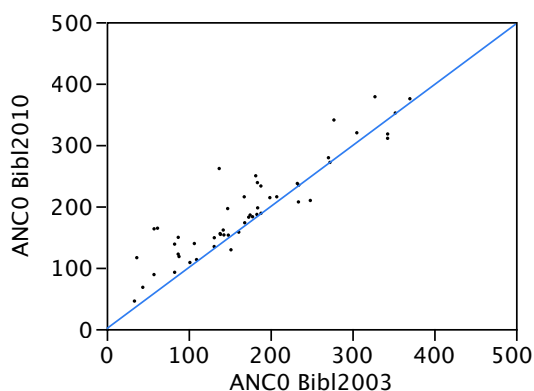
Revideringen av MAGIC<sub>bibliotek</sub> gav störst förändringar i de norra länen och de sydligaste (K, M, N). I F, S och U-län blev det något mindre försurning (tabell 11).

Tabell 11. Försurade sjöar i RI05 > 1 ha enligt MAGIC<sub>bibliotek</sub> versioner 2007 och 2010

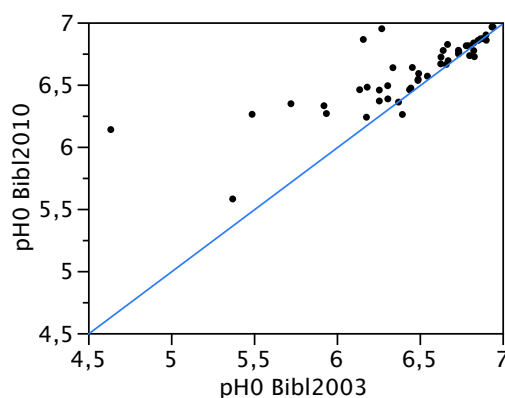
Län	Antal sjöar	Andel försurade sjöar (%)	
		vers. 2007	vers. 2010.
AB	41	1	1
C	14	0	0
D	19	0	1
E	51	0	1
<b>F</b>	<b>84</b>	<b>16</b>	<b>12</b>
<b>G</b>	<b>55</b>	<b>10</b>	<b>21</b>
H	58	4	7
I	8	0	0
<b>K</b>	<b>59</b>	<b>5</b>	<b>17</b>
<b>M</b>	<b>41</b>	<b>8</b>	<b>18</b>
<b>N</b>	<b>62</b>	<b>23</b>	<b>37</b>
O	212	71	79
S	122	17	15
T	58	4	9
U	45	5	3
<b>W</b>	<b>138</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
X	120	1	2
<b>Y</b>	<b>105</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
<b>Z</b>	<b>174</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
<b>AC</b>	<b>176</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
<b>BD</b>	<b>332</b>	<b>2</b>	<b>5</b>

### Betydelsen av de reviderade modelleringarna med MAGIC<sub>bibliotek</sub>

Modelleringarna med MAGIC till MAGIC<sub>bibliotek,2010</sub> gav högre referensvärden för ANC och pH jämfört med tidigare modelleringar för samma sjöar (figur 18). Detta leder till att förändringen från förindustriell tid fram till idag enligt MAGIC blir större med den nya modelleringen, vilket i sin tur ger en större försurningspåverkan. Då det saknas dokumentation av vad som ändrats mellan de olika modelleringarna kan här ingen analys av orsakerna till de förändrade resultaten göras.



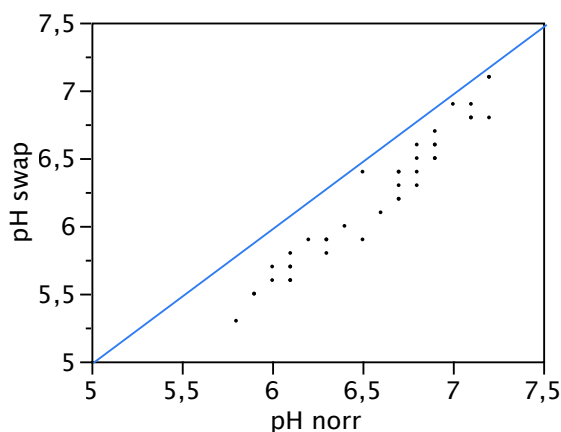
Figur 18 a. Förindustriellt ANC (1860) beräknat med två modelleringar med MAGIC 2010 och 2003. Trendsjöar.



Figur 18 a. Förindustriellt pH (1860) beräknat med två modelleringar med MAGIC 2010 och 2003. Trendsjöar.

## Jämförelse med paleolimnologi

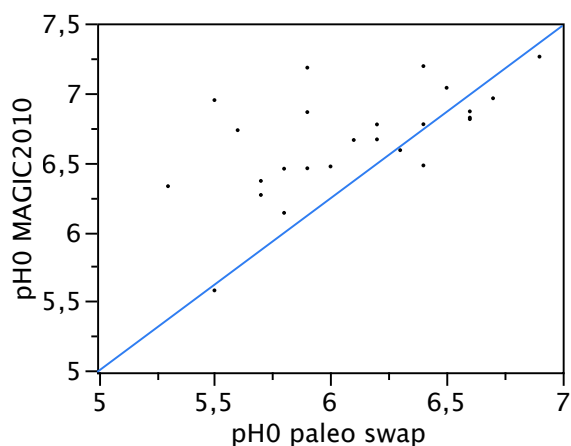
Att räkna sig tillbaka till förindustriella förhållanden innebär alltid en viss osäkerhet. En möjlighet att kontrollera beräkningarna är att jämföra med en oberoende rekonstruktion av förindustriellt pH. För 54 av sjöarna som ingår i MAGIC<sub>bibliotek</sub> finns en paleolimnologisk rekonstruktion av pH utifrån artsammansättningen av kiselalger (Guhrén, m.fl., 2003). I en publikation från 2007 visades att de gamla MAGIC-modelleringarna gav i genomsnitt samma värden på förindustriellt pH om man tog hänsyn till kolsyratrycket i varje sjö (Erlandsson m.fl., 2008a). Även de paleolimnologiska rekonstruktionerna av förindustriellt pH innehåller dock en viss osäkerhet. I studien med de svenska referenssjöarna användes två modeller för att beräkna pH ur kiselalgsammansättningen: SWAP som bygger på 178 sjöar från den svenska västkusten, Norge och Skottland (Stevenson, m.fl., 1991) samt NORR som bygger på 118 sjöar i Norra Sverige (Korsman och Birks, 1997). Tillförlitligheten i de paleolimnologiska rekonstruktionerna av pH i en sjö beror av graden av överensstämmelse (analog) av förekommande arter av kiselalger i sedimenten mellan sjön och referenssjöarna. I den publicerade jämförelsen mellan paleolimnologi och MAGIC beräknades pH enligt både SWAP och NORR och sedan valdes den modell som hade bäst analog. Om båda modellerna gav lika bra analog, valdes NORR som bedömdes som mest tillförlitlig. I ett dataset med 97 referenssjöar hade 39 sjöar bästa analog enligt en tregradig skala för båda modellerna. Man kan då jämföra dessa sjöar om de två modellerna ger likvärdiga resultat. Det visade sig då att SWAP-modellen i genomsnitt gav 0,35 enheter lägre förindustriellt pH jämfört med NORR (figur 19). I en brittisk forskningsstudie gjordes en jämförelse mellan uppmätt pH och pH rekonstruerat från kiselalger i nutid enligt tre modeller där SWAP ingick. Det visade sig då att SWAP i genomsnitt underskattade pH med 0,31 enheter (Battarbee, 2008).



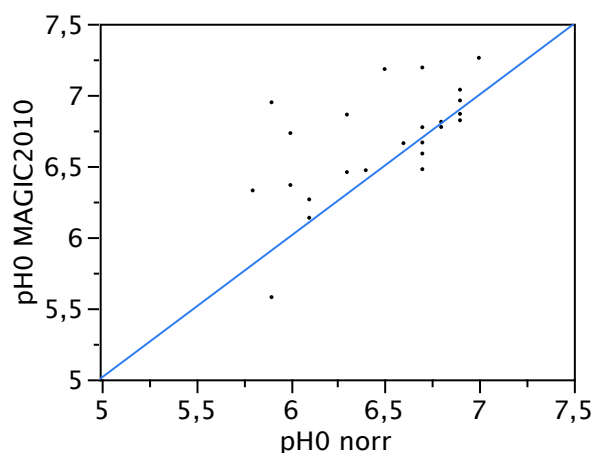
Figur 19. Jämförelse av pH beräknat ur kiselalger i sediment vid 30 cm djup i 39 referenssjöar med bra analoger för båda modellerna SWAP och NORR (en del punkter sammanfaller).

För att undersöka hur bra de nya MAGIC-modelleringarna överensstämmer med paleolimnologin har vi jämfört referens-pH beräknat ur ANC<sub>1860</sub> på samma sätt som i artikeln av Erlandsson m.fl. (2008a), men separat för de två paleo-modellerna SWAP och NORR och bara för 25 sjöar som hade bästa analogklassen för båda modellerna. Det visade sig då att de nya MAGIC-modelleringarna nu i genomsnitt ger högre referens-pH. För SWAP var medelskillnaden 0,56 pH-enheter och för NORR var skillnaden 0,19 enheter (figur 20 a,b).





Figur 20a Referensvärde för pH beräknat med MAGIC(version 2010) mot paleo-pH enligt SWAP-modellen. 25 sjöar med högsta analog för både SWAP och NORR-modellerna samt MAGIC-modellering.



Figur 20b Referensvärde för pH beräknat med MAGIC(version 2010) mot paleo-pH enligt NORR-modellen. 25 sjöar med högsta analog för både SWAP och NORR-modellerna samt MAGIC-modellering.

I MAGIC<sub>bibliotek</sub> används inte det uppmätta kolsyratrycket utan ett schablonvärde vid beräkningen av pH. Detta ger ytterligare en överskattning av pH. Skillnaden mellan detta pH-värde och det från paleolimnologi är 0,63 enheter för SWAP och 0,26 för NORR.

Om vi sammanfattar resultaten från jämförelsen mellan MAGIC och paleolimnologi samt mellan de paleolimnologiska modellerna finner vi:

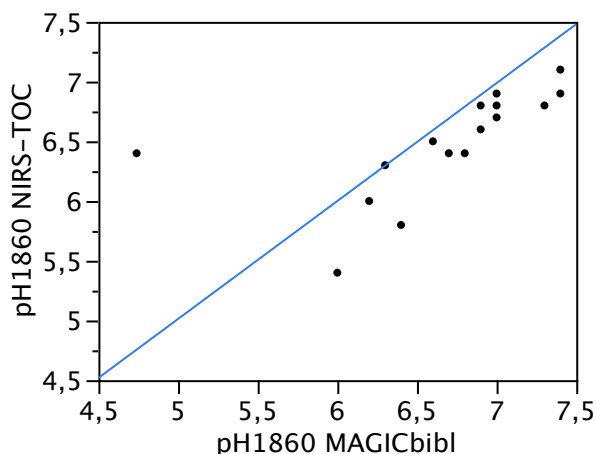
- De nya MAGIC-modelleringarna ger högre referensvärde jämfört med de tidigare modelleringarna.
- SWAP-modellen överskattar pH jämfört med uppmätta i brittiska data och jämfört med NORR-modellen
- De nya MAGIC-modelleringarna ger högre referensvärde jämfört med både SWAP och NORR
- Om vi avrundar skillnaderna mellan mätdata och de olika modellerna finner vi:
  - SWAP underskattar referens-pH med 0,3 enheter
  - NORR ger inget systematiskt fel av referens-pH
  - **MAGIC-modellerna för tidsseriesjöarna i det nuvarande biblioteket överskattar referens-pH med 0,2 enheter jämfört med paleolimnologi.**

En överskattning av  $pH_{ref}$  innebär att vi överskattar förändringen i pH sedan 1860 och därmed försurningspåverkan. Om vi korrigerar referensvärdet med 0,2 enheter sjunker andelen försurade sjöar i Sverige från 12 % till 7 % enheter (2010, > 1 ha, inkl. försurade kalkade).

#### Betydelsen av förändringar i TOC för försurningsbedömningar

En möjlig orsak till en överskattning av försurningspåverkan i MAGIC-modelleringarna är att man antar att halterna av TOC- och kolsyra varit konstant över tiden. Senare forskning har dock visat att TOC-halten, och som en följd därav troligen också kolsyrhalten, varierar ganska mycket över tiden. De senaste decennierna har TOC ökat i många sjöar vilket kan sättas i samband både med den naturliga hydrologiskt drivna variationen och med minskningen av svaveldepositionen (Erlandsson m.fl, 2008b). Med en ny paleolimnologisk metod kan man rekonstruera halten TOC i vatten ur spektrofotometrisk analys av sediment (Near-infrared spectroscopy, NIRS). Sådana studier visar på halter TOC som i vissa fall är dubbelt så höga för hundra år sedan jämfört med idag (Cunningham 2011). I en studie med 15

tidsseriesjöar som ingår i MAGIC<sub>bibliotek</sub> och för vilka det finns paleorekonstruerat TOC minskar  $\text{pH}_{1860}$  och därmed  $\Delta\text{pH}$  med 0,2 enheter i genomsnitt om man använder uppskattningar av historiska halter TOC i stället för värdet från 1997 som var kalibreringsåret för MAGIC (Valinia, 2011, figur 21). Dessa beräkningar av betydelsen av förändringar i TOC för försurningsbedömningen förutsätter dock att variationen i TOC över tiden i ytvatten främst styrs av processer i strandzoner. Om halten TOC även förändras i markvattnet i hela avrinningsområdet kommer detta påverka fler processer och effekterna på försurningsbedömningen blir mer svårbedömd. Ny forskning visar emellertid att det inte förekommit några ökande trender av TOC i markvattnet motsvarande de man uppmätt i ytvattnet i Sverige den senaste tiden (Löfgren, 2011). Detta stöder hypotesen att förändringen i TOC främst rör läckaget från strandzoner.

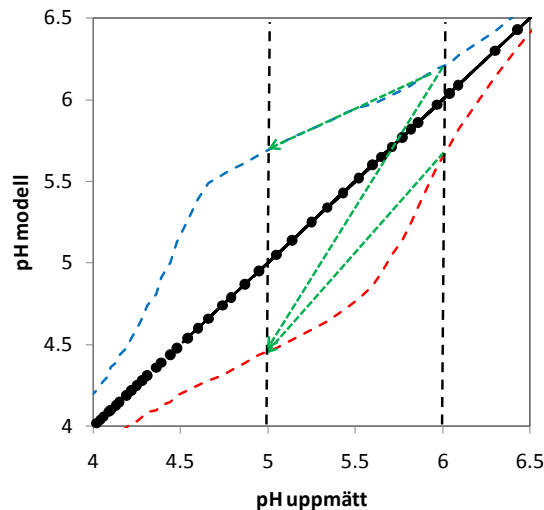


Figur 21.  $\text{pH}_{1860}$  beräknat ur ANC från MAGIC<sub>bibliotek</sub> och  $\text{TOC}_{1860}$  enligt sedimentanalys (NIRS) och uppmätt  $\text{pCO}_2$  (Y-axeln) respektive dagens TOC (x-axeln). (Från Valinia, 2011). 16 trendsjöar i den nationella miljöövervakningen.

Ovanstående resultat visar att förändringen i kol påverkar referensvärdet för pH i samma storleksordning som skillnaden mellan paleo-pH och MAGIC-pH för dessa sjöar. Man bör dock komma ihåg att de sjöar som ingick i jämförelserna utgör en liten del av biblioteket och att dessa kalibrerats med data från 1997 då halten TOC var lägre än idag.

#### Betydelsen av fel i ANC för $\Delta\text{pH}$

Systematiska fel i skattningar av ANC har en stor påverkan på pH i området 4,5 till 6,5. Nedan redovisas vilken variation av pH måste räknas med om precision av ANC ligger runt  $40 \mu\text{ekv L}^{-1}$  (figur 22).



Figur 22. Jämförelse mellan beräknade pH-värden vid systematiska skillnader i ANC av  $40 \mu\text{ekv L}^{-1}$  (högre blå linje, lägre röd linje). De tre gröna linjerna beskriver möjliga  $\Delta\text{pH}$  värden för en sjö som i verkligheten har försurats från pH 6,0 ner till pH 5,0.

Av det ovanstående diagrammet kan man även läsa ut  $\Delta\text{pH}$  för tre möjliga scenarier för en sjö som i verkligheten har försurats från pH 6 ner till pH 5. En där MAGIC överskattar ANC med  $40 \mu\text{ekv L}^{-1}$  både i förindustriell (1860) och i nutid (2010), en där den över- och sedan underskattar och en sista där den underskattar ANC i bägge perioderna. Utfallet av denna analys visar att modellberäkningen av det riktiga  $\Delta\text{pH}$ -värdet på 1,0 (0,3) kan variera mellan 0,5 (0,2) och 1,8 (1,1) (tabell 12). Ett ytvatten som har försurats med 0,3 pH-enheter skulle kunna ha klassats som mycket försurat (scenario B och C för  $\Delta\text{pH} = 0,3$ ) även om en av ANC-modelleringar hade blivit korrekt skattad.

Tabell 12: Skattningar av möjliga  $\Delta\text{pH}$  för två sjöar som har försurats med 1,0 resp 0,3 pH enheter i verkligheten men där det modellerade ANC avviker från det verkliga.

	A	B	C
ANC1860	för hög	För hög	För låg
ANC2010	För hög	För låg	För låg
$\Delta\text{pH} = 1$	$6,2-5,7 = 0,5$	$6,2-4,4 = 1,8$	$5,7-4,5 = 1,2$
pH 6,0 → pH 5,0			
$\Delta\text{pH} = 0.3$	$6,2-6,0 = 0,2$	$6,2-5,1 = 1,1$	$5,8-5,1 = 0,7$
pH 6,0 → pH 5,7			

Dessa beräkningar visar att:

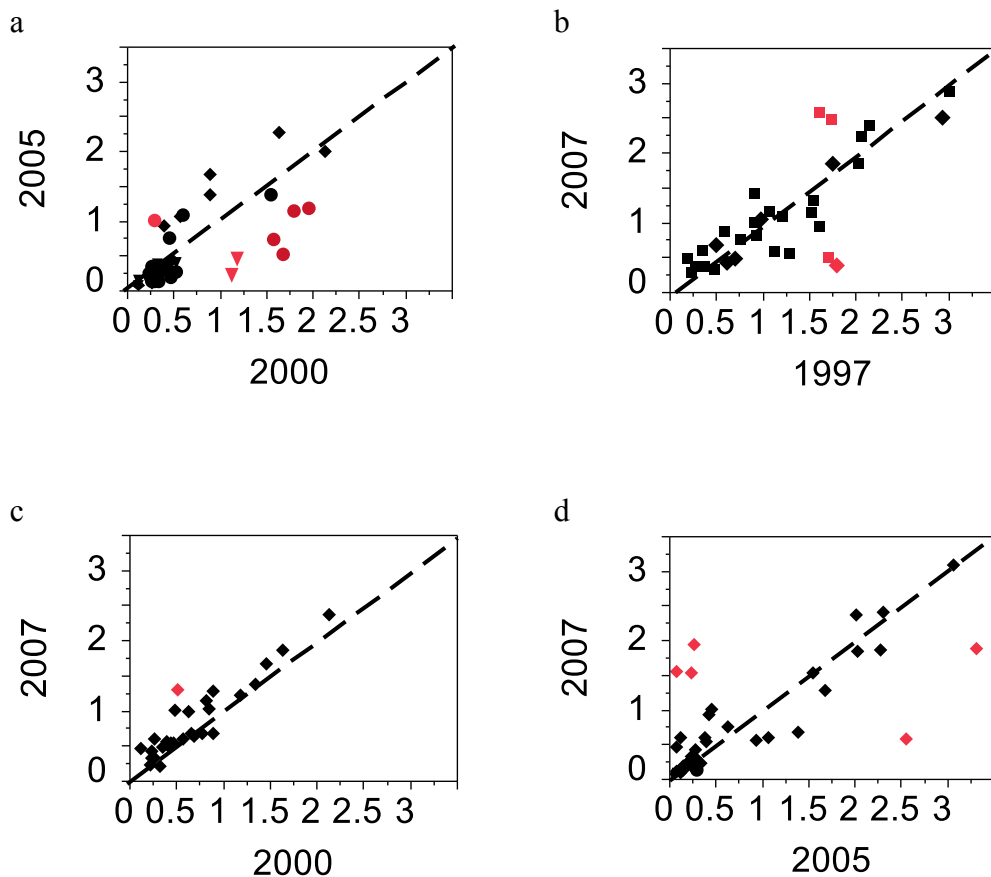
- den CBALK-baserade jämviktsmodellen kan tillämpas både på tidsseriesjöar och målsjöinventeringen.
- fel i pH-skattningarna på 0,1–0,2 pH-enheter får anses som rimliga p.g.a. osäkerheten i de underliggande analyserna.

- de största systematiska felen i beräknade pH-värden, upp till 1 pH-enhet, orsakas av fel i TOC och ANC.
- fel i kolsyrahalten har mindre betydelse och orsakar oftast fel på < 0,3 pH-enheter.

### Skillnader mellan olika MAGIC-modeller för samma sjö i nya biblioteket

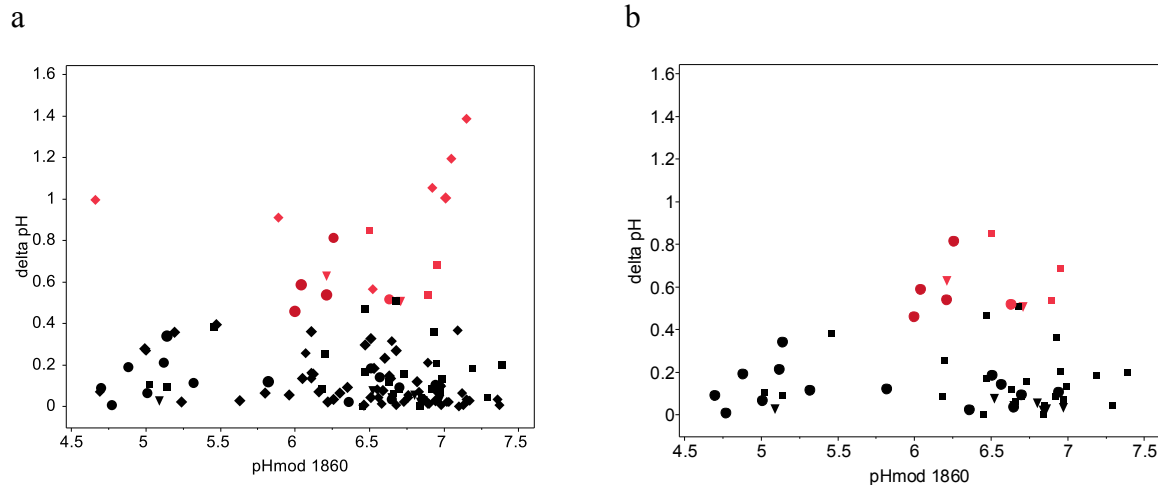
Det nya biblioteket omfattar över 2000 modelleringar av sjöar. Sjöarna har modellerats i olika omgångar för olika dataset, t.ex Riksinventeringssjöar, Målsjömdrev, Trendsjöar och regionala undersökningar. Dessa dataset har använt data från olika år för modelleringen. Riksinventeringssjöar har modellerats med vattenkemi från 2005, Målsjöreferenser från 2007 och Trendsjöar från 1997. I flera fall har samma sjö kommit att ingå i flera dataset vilket gjort att det finns flera oberoende modeller för samma sjö. Detta ger en möjlighet att testa hur säkert MAGIC-modelleringen är med tillgängliga data. I följande avsnitt jämförs försurningspåverkan ( $\Delta\text{pH}$ ) för samma sjöar beräknade med MAGIC kalibrerat med olika vattenkemidata. Jämförelsen avser versionen av MAGIC<sub>bibliotek</sub> från 2010.

Den övervägande andelen av sjöarna får likvärdiga bedömningar med en skillnad på  $\Delta\text{pH}$  inom några tiondels pH-enheter (figur 23). För ett betydande antal sjöar är dock skillnaden stor mellan de olika kalibreringarna.



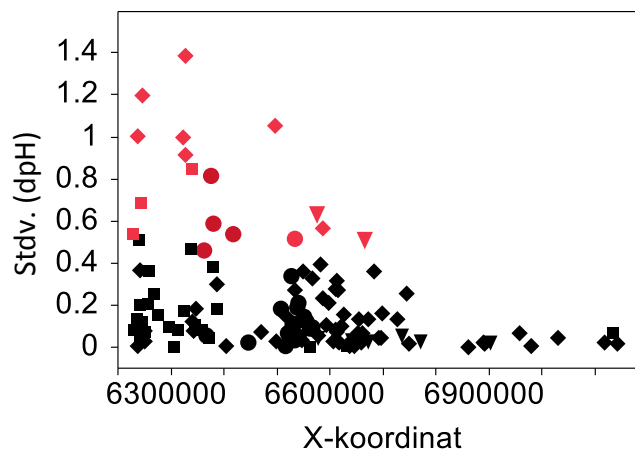
Figur 23. Jämförelse av försurningspåverkan ( $\Delta\text{pH}$ ) enligt MAGIC-modeller som kalibrerats med vattenkemi från olika år. Rödmärkade sjöar är de med stor skillnad mellan olika modelleringar.

I nuvarande MAGIC<sub>bibliotek</sub> för sjöar finns det 124 objekt som ha kalibrerats 2 eller 3 gånger. För dessa beräknades standardavvikelsen för  $\Delta\text{pH}$  för varje sjö som ett mått på spridningen mellan olika modeller för samma sjö. För huvuddelen av sjöarna ligger standardavvikelsen inom 0,4 med störst spridning för sjöar med  $\text{pH}_{1860}$  mellan 5 och 6 där känsligheten är störst (figur 24 a). Ett betydande antal sjöar med höga  $\text{pH}_{1860}$  har dock betydligt större spridning. Om man utesluter kalibreringarna med vattenkemi från 2007 minskar antalet sjöar med hög standardavvikelse avsevärt (figur 24b).



Figur 24. Standardavvikelsen av  $\Delta\text{pH}$  för sjöar som modellerats flera gånger men med vattenkemi från flera år mot  $\text{pH}_{1860}$  för 124 sjöar (a). Samma plot som figur x a, men med kalibreringarna från 2007 uteslutna..

Spridningen mellan olika modelleringar för samma sjö ökar ju längre söderut man kommer vilket delvis kan förklaras av att försurningspåverkan då är större vilket ger möjlighet till en större variation i absoluta tal (figur 25).



Figur 25. Standardavvikelsen av  $\Delta\text{pH}$  för sjöar som modellerats flera gånger men med vattenkemi från flera år mot  $\text{pH}_{1860}$  för 124 sjöar mot Nord-sydlig koordinat.

En fördjupad analys av sjöar med stor skillnad mellan kalibreringarna skulle kunna ge underlag att förbättra kommande modelleringar. Vidare bör det förklaras för användaren av MAGIC<sub>bibliotek</sub> varför samma sjö kan förekomma flera gånger i biblioteket och varför försurningspåverkan kan vara olika mellan olika modelleringar.

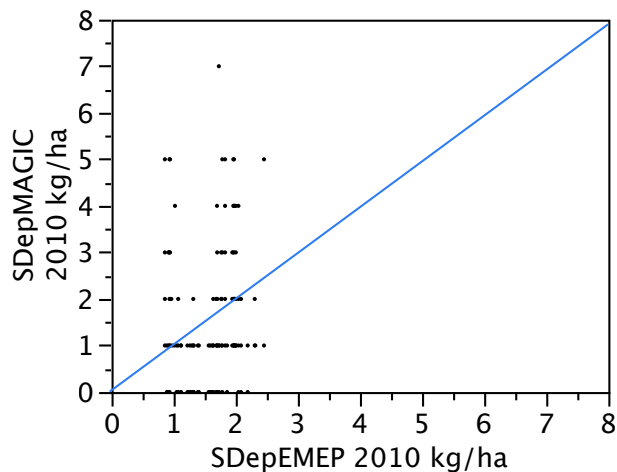
Om vi sammanfattar resultaten från jämförelsen mellan MAGIC-bedömningar från olika kalibreringsår finner vi:

- $\Delta$ pH beräknat från MAGIC-kalibreringar från olika år för en och samma sjö kan skilja med i medel 0,2-0,4 pH enheter
- Att kalibreringsåret 2007 tillförde ett större antal sjöar med en tvivelaktig bedömning
- Att osäkerheten i bedömningen är störst i södra delen av landet

#### Betydelsen av utökningen med fler försurade sjöar i biblioteket

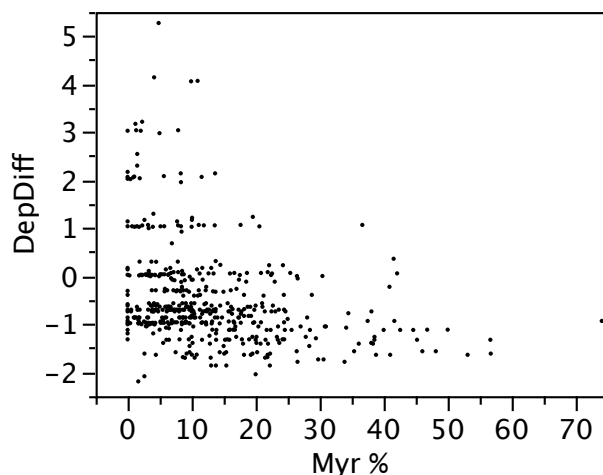
Den andra stora förändringen i MAGIC<sub>bibliotek</sub> var att cirka 1000 nya sjöar lagts till biblioteket. I samband med utvärderingen av Målsjöinventeringen 2007-2008 MAGIC-modellerades de flesta av de ca 1800 okalkade referenserna som ingick i undersökningen (Fölster, m. fl., 2011). Dessa sjöar hade valts ut av länsstyrelserna för att motsvara de kalkade sjöarna. Det visade sig att det dåvarande MAGIC<sub>bibliotek</sub> underskattade försurningen av dessa sjöar jämfört med MAGIC i flera regioner. Huvuddelen av de sjöar som då ingick i MAGIC<sub>bibliotek</sub> utgjordes av slumpvis utvalda okalkade sjöar inom Riksinventeringarna. I regioner med liten försurning eller med omfattade kalkning, fanns det inga försurade sjöar att matchas mot. Försurade sjöar kom därför felaktigt att matchas mot icke försurade sjöar. Detta föranledde att drygt 1000 av de okalkade referenserna inom Målsjöinventeringen lades till i biblioteket. Detta ökade möjligheterna väsentligt för försurningskänsliga sjöar att matchas mot likvärdiga sjöar.

Denna förändring var huvudorsaken till att fler sjöar längs norrlandskusten bedömdes som försurade. I denna region är försurningsbedömningen komplicerad. Under högsta kustlinjen förekommer postglaciala marina sediment som kan utgöra en naturlig källa till sulfat som oftast inte kunde tas hänsyn till i modelleringen. I MAGIC justeras den deposition som beräknats av EMEP så att man får jämvikt mellan depositionen och uppmätt halt i vattnet för kalibreringsåret. Om man har ett stort tillskott av svavel från marken leder detta till att depositionen får justeras upp vilket i sin tur leder till att försurningen överskattas. I en del fall var markens bidrag till vattens sulfathalt uppenbar, och då kompenseras för detta (ivl.se/MAGICbibliotek), men det framgår inte för vilka sjöar detta gjordes. För att undersöka om den ökade andelen försurade sjöar i Norrland är en artefakt orsakad av en överskattning av depositionen jämfördes den deposition som användes i MAGIC (nedladdat från ivl:s hemsida) med EMEP:s deposition. Jämförelsen mellan dessa två depositionsuppgifter visar på mycket stora avvikelser både positivt och negativt (figur 26). Detta reser frågan om dessa korrigerade värden motsvarar den verkliga depositionen och om det rimligt att depositionen varierar mer än fem gånger inom samma region?



Figur 26. Svaveldepositionen som användes i MAGIC jämfört med EMEP för sjöar i MAGIC<sub>bibliotek</sub> i Västerbotten, Västernorrland och Gävleborgs län

Ett stort antal av sjöarna i de tre norrlandslänen (75%) har i MAGIC-modelleringen fått lägre sulfatdeposition jämfört med EMEP:s för 2010. Jämför man skillnaden i deposition med andel myr finner man att för sjöar med stor andel myr var depositionen som användes i MAGIC genomgående lägre jämfört med EMEP. Sjöar med högre deposition i MAGIC jämfört med EMEP återfanns då andelen myr i avrinningsområdet var låg (figur 27). Detta antyder att det sker en långsiktig permanent fastläggning av svavel i våtmarker vilken hanterats genom att justera ner depositionen.



Figur 27. Skillnad mellan den deposition 2010 som används i MAGIC och EMEP för 627 sjöar i X, Y och AC-län, plottat mot andel myr i avrinningsområdet.

Det fanns ingen tydlig skillnad i depositionsskillnad mellan sjöar över och under högsta kustlinjen.

Trots den stora slumpmässiga skillnaden mellan EMEP:s deposition och den som använts i MAGIC, finns det inget som tyder på en systematisk överksättning av depositionen i de sjöar i Norrland som klassas som försurade. Det visar däremot på ett behov av bättre dokumentation och motivering av de stora skillnaderna i deposition som använts i MAGIC<sub>bibliotek</sub> för sjöar inom samma EMEP-ruta. Det förefaller högst osannolikt att deponitonen inom samma EMEP-ruta skulle kunna skilja med upp till fem gånger vilket nu är fallet.

### Betydelsen av de nya referenserna och ny beräkning av okalkad kemi

De nya referenserna och bytet till Ca/Mg i stället för Ca\*/Mg\* gjorde att andelen försurade sjöar inklusive kalkade försurade sjöar ökade med cirka 2 %-enheter, d.v.s. 25% fler försurade sjöar (tabell 13).

Skillnaden mellan nya och gamla korrigeringar var störst i sydvästra och mellersta Sverige. Där är andelen kalkade sjöar stor vilket gör att underlaget för beräkning av okalkad kemi är störst där (tabell 14).

Tabell 13. Andel försurade sjöar baserat på RI05. Jämförelse av två versioner av MAGIC<sub>bibliotek</sub> och med två metoder för korrigering av kalkade vatten.

Verktyg	Korrigeringsmetod	MAGICbibl	MAGICbibl vers.	MAGICbibl vers.
		vers. 2007	2010	2010
		Ca*/Mg*	Ca*/Mg*	Ca/Mg nya referenser
Sjöar > 4 ha	Exl. kalkade	2,8	5,2	5,2
	Inkl. kalkade	4,9	8,0	10,2
Sjöar > 1 ha	Exl. kalkade	3,3	5,7	5,7
	Inkl. Kalkade	5,2	7,8	9,5

Tabell 14. Andel försurade sjöar baserat på RI05. Korrigering gjord dels med Ca\*/Mg\* och referensdatasetet från 2005 och dels med Ca/Mg och referensdatasetet från Målsjöundersökningen. Uppdelat på regioner enligt FU 2007.

Region	Andel försurade sjöar	
	Ca*/Mg*	Ca/Mg nya ref
N	3,2	3,4
ÖM	9,5	12,5
SV	31,0	39,3
Hela Sverige	7,8	9,5

### Betydelsen av det nya dataunderlaget

Det nya dataunderlaget omfattar både nya data med vattenkemi från Omdrevsinventeringen och för de kalkade sjöarna uppgifter om magnesiumhalten i kalkningsmedlet. Jämför man andelen försurade icke kalkade sjöar > 4 ha enligt de två dataunderlagen RI05 och Omdrev 07-09, men bedömda med samma version av MAGIC<sub>bibliotek</sub> blir andelen försurade sjöar ungefär lika stor, d.v.s 5,2 % respektive 5,4 % (tabell 15). Om man inkluderar sjöar 1 – 4 ger däremot ger Omdrev 07-09 1,3 procentenheter större andel försurade icke kalkade sjöar, jämfört med RI2005. Skillnaden ligger inom det slumpmässiga felet i urvalet och kan förklaras av att urvalet av sjöarna 1 – 4 ha i RI05 inte var optimalt. Om man inkluderar de försurade kalkade sjöarna ger Omdrev 07-09 2,6 procentenheter större andel försurade sjöar jämfört med RI05 (sjöar > 1 ha). Eftersom skillnaden mellan de två underlagen var dubbelt så stor om man inkluderar de försurade kalkade, kan man anta att hälften av den skillnaden, d.v.s. 1,3 procentenheter, beror på det förbättrade underlaget med magnesiumhalten i kalkningsmedlet.



Tabell 15. Andel försurade sjöar baserat på Riksinventeringen 2005 respektive omdrevsinventeringen 2007-2009. Försurning är bedömd med MAGIC<sub>bibliotek,2010</sub> och kalkade sjöar är korrigerade med Ca/Mg och nya referenser.

		RI05	Omdrev 07-09
Sjöar > 4 ha	Exl. Kalkade	5,2	5,4
	Inkl. Kalkade	10,2	12,2
Sjöar > 1 ha	Exl. Kalkade	5,7	7,0
	Inkl. Kalkade	9,5	12,1

## Andelen av de kalkade sjöarna som är försurade

Den största förändringen av försurningspåverkan med det nya underlaget är för de kalkade sjöarna. I FU 2007 angavs att bara 20 % av de kalkade målsjöarna var försurade men med en reservation för att underlaget var osäkert. Resultatet bidrog till att initiera Målsjöundersökningen 2007-2008 som omfattade vattenkemisk provtagning och försurningsbedömning för samtliga ca 3000 målsjöar. Samtidigt samlades prover in från ca 1800 okalkade referenssjöar vilket gav ett betydligt bättre underlag för korrigering av kalkningspåverkan. Vidare samlades uppgifter in om magnesiumhalten i kalkningsmedlet vilket gav en mer korrekt beräkning av den okalkade kemin. Slutligen utvecklades som tidigare nämnts bedömningsverktyget MAGIC<sub>bibliotek</sub>. Efter dessa förändringar ändrades bedömningen till att 53 % av de kalkade målsjöarna var försurade där de tre angivna förändringarna bidrog med ungefär lika stor del (Fölster m. fl., 2011a).

## Sammanfattning av försurningsbedömning av sjöar

- Andelen försurade sjöar > 4 ha exklusive kalkade sjöar som det nuvarande miljömålet gäller för, beräknades till 5,4 %. Det är 2,6 procentenheter högre andel än i FU 2007.
- Andelen försurade sjöar > 1 ha inklusive försurade kalkade sjöar beräknades till 12,1 %. Detta var ca 7 procentenheter mer än i beräkningarna till FU 2007.
- Skillnaden kunde förklaras av:

Det nya biblioteket	3 %
Nya referenser och korrigeringsmetod för kalkade sjöar	2 %
Uppgifter om Mg i kalkningsmedel	1 %
Nytt dataunderlag för sjökemi	1 %

- De nya modelleringarna i MAGIC<sub>bibliotek,2010</sub> överskattar troligen referens-pH och därmed försurningspåverkan.
- En del av överskattningen av  $\Delta$ pH kan bero på att halten TOC förändrats med tiden, medan man i MAGIC-modelleringarna antagit konstant TOC.
- De största felen i skillnad mellan modellerat och uppmätt pH i nutid orsakas av felaktiga uppskattningar av trenderna i ANC och TOC medan pCO<sub>2</sub> har mindre betydelse.
- Osäkerheten i bedömningen av andel försurade sjöar som beror på det slumpmässiga urvalet ligger inom 1,2 procentenheter. Andelen försurade sjöar bör därför inte anges

med större noggrannhet än hela procentenheter. I denna rapport anges större noggrannhet för att kunna jämföra olika beräkningar.

- Fortsatt återhämtning efter 2010 förväntas vara obefintlig enligt modellberäkningarna.
- I ett urval av försurade sjöar som modellerats flera gånger med olika kemidata visar att osäkerheten i försurningspåverkan,  $\Delta\text{pH}$ , är i medel 0,2-0,4 pH-enheter.
- Osäkerheten i försurningspåverkan är störst i det känsliga pH intervallet kring 5,5. Därför skulle uppgifter om dANC ge värdefull kompletterande information.

## Kritisk belastning

### Dataunderlaget

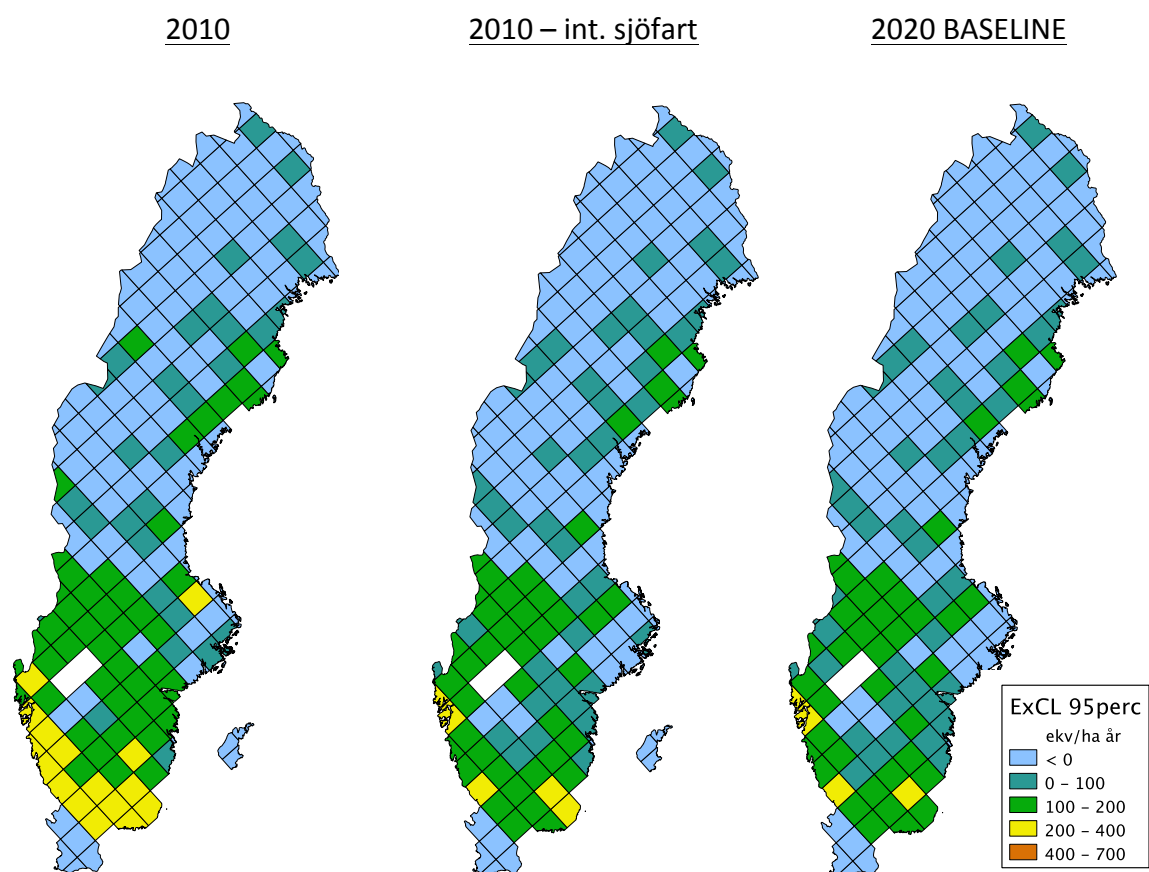
Bedömningen är gjord på Omdrevet 2007 – 2009. Nya depositionsdata för medel 2006 – 2008 enligt MATCH-modellen (Andersson m. fl., 2011). Uppskattningar för 2010 är enligt BASELINE-scenariet. Bidraget från internationell sjöfart har beräknats separat och överskridande har beräknats både med och utan internationell sjöfart.

### Resultat

Den kritiska belastningen för försurning av sjöar överskreds 2010 på 16 % av Sveriges yta (tabell 16). Fördelningen över landet motsvarar försurningstrycket (figur 27). Om man räknar bort bidraget från internationell sjöfart är den överskridna arean bara 13 %. År 2020 förväntas den överskridna arean ha gått ner till 13 % inklusive internationell sjöfart enligt BASELINE-scenariet. Till den förra fördjupade utvärderingen 2007 beräknades den överskridna arean till 12 % vilket är inom felmarginalen jämfört med de nya beräkningarna (Naturvårdsverket, 2007). Däremot är den regionala fördelningen av överskridandet jämnare över landet med den yta beräkningarna jämfört med de till fördjupade utvärderingen 2007.

Tabell 16 Överskriden area av kritisk belastning enligt Omdrevsundersökningen 2007-2009. Beräkningarna omfattar sjöar > 1 ha.

	Totalt	Utan int. sjöfart
2010	16,1	13,1
2020	12,8	12,4



Figur 27. Överskridande av kritisk belastning för försurning av sjöar baserat på omdrevsinventeringen 2007-2009. Klassningen avser 95-percentilen av överskridandet, d.v.s. överskridandet för de 5 % känsligaste sjöarna i varje ruta. Kartorna visar överskridande för 2010 med och utan internationell sjöfart samt för 2020 enligt BASELINE-scenariot.

## Referenser

Andersson, C., A. Andersson, J. Lagner and D. SegerSSon (2001). Halter och deposition av luftföroreningar. Förändring över Sverige från 2010 till 2020 i bidrag från Sverige, Europa och Internationell Sjöfart. SMHI. Meteorologi N47, 2011. ISSN: 0283-7730. : 35.

Battarbee, R. W., D. T. Monteith, S. Juggins, G. L. Simpson, E. W. Shilland, R. J. Flower and A. M. Kreiser (2008). "Assessing the accuracy of diatom-based transfer functions in defining reference pH conditions for acidified lakes in the United Kingdom." *Holocene***18**(1): 57-67.

Bertills, U. and G. Lövblad (2002). "Kritisk belastning för svavel och kväve. Naturvårdsverket Rapport 5174."

Cunningham, L., K. Bishop, E. Mettavinio and P. Rosen (2011). "Paleoecological evidence of major declines in total organic carbon concentrations since the nineteenth century in four nemoboreal lakes." *Journal of Paleolimnology***45**(4): 507-518.

Erlandsson, M., K. Bishop, J. Folster, M. Guhren, T. Korsman, V. Kronnas and F. Moldan (2008a). "A comparison of MAGIC and paleolimnological predictions of preindustrial pH for 55 Swedish lakes." *Environmental Science & Technology***42**(1): 43-48.

Erlandsson, M., I. Buffam, J. Folster, H. Laudon, J. Temnerud, G. A. Weyhenmeyer and K. Bishop (2008b). "Thirty-five years of synchrony in the organic matter concentrations of Swedish rivers explained by variation in flow and sulphate." *Global Change Biology***14**(5): 1191-1198.

Erlandsson, M., H. Laudon and J. Folster (2010). "Spatiotemporal patterns of drivers of episodic acidification in Swedish streams and their relationships to hydrometeorological factors." *Science of the Total Environment* 408(20): 4633-4643.

Fölster, J., J. Temnerud and M. Erlandsson (2007). Surhet och försurning i vattendrag i ett variabelt landskap. Institutionen för Miljöanalys, SLU. Rapport 2007:15.

Fölster, J., C. Andrén, K. Bishop, I. Buffam, N. Cory, W. Goedkoop, K. Holmgren, R. Johnson, H. Laudon and A. Wilander (2007). "A Novel Environmental Quality Criterion for Acidification in Swedish Lakes – An Application of Studies on the Relationship Between Biota and Water Chemistry." *Water, Air, & Soil Pollution: Focus***7**(1): 331-338.

Fölster, J. and P. Rönnback (2010). Sjöinventering i omdrev. Resultat från de två första åren 2007 – 2008. Institutionen för vatten och miljö, SLU. Rapport 2010:17.

Fölster, J., F. Moldan and J. Stadmark (2011a). Målsjöundersökningen 2007–2008. Naturvårdsverket. Rapport 6412.

Fölster, J., S. Köhler, C. von Brömsen, C. Akselsson and P. Rönnback (2011b). Korrigering av vattenkemi för kalkningspåverkan - val av referenser och beräkning av osäkerheter. Institutionen för vatten och miljö, SLU. Rapport 2011:1.

Grandin, U. (2007). "Strategier för urval av sjöar som ska ingå i den sexåriga omdrevsinventeringen av vattenkvalitet i svenska sjöar. Rapport 2007:10. Institutionen för Miljöanalys, SLU."

Guhren, M., P. Rosén, T. Korsman and I. Renberg (2003). Tidigare pH i Referenssjöar i Sverige. Inst. för Ekologi och Miljövård, Umeå Univeristet.

Hruska, J., S. Kohler, H. Laudon and K. Bishop (2003). "Is a Universal Model of Organic Acidity Possible: Comparison of the Acid/Base Properties of Dissolved Organic Carbon in the Boreal and Temperate Zones." *Environmental Science & Technology* **37**(9): 1726-1730.

Korsman, T.; Birks, H. J. B. Diatom-based water chemistry reconstructions from northern Sweden: A comparison of reconstruction techniques. *J. Paleolimnol.* 1996, 15 (1), 65–77.

Köhler, S.J., Fölster, J. 2011. Granskning och dokumentation av bedömningsgrunder för försurning- MAGIC modellering. Institutionen för vatten och miljö, SLU. Rapport 2011:23.

Köhler, S., H. Laudon, A. Wilander and K. Bishop (2000). "Estimating organic acid dissociation in natural surface waters using total alkalinity and TOC." *Water Research* **34**(5): 1425-1434.

Köhler SJ, Löfgren S, Wilander A, Bishop K. Validating a simple tool to predict and analyze organic anion charge in Swedish low ionic strength surface waters. *Water Air Soil Pollut Part 2* 2001;130(1–4):799–804.

Laudon, H., O. Westling, S. Löfgren and K. Bishop (2001). "Modeling preindustrial ANC and pH during the spring flood in northern Sweden." *Biogeochemistry* **54**(2): 171-195.

Laudon, H. (2007). "Försurningsläget i Norrland: En regional bedömning av situationen 1994, 2004 och 2020. Slutrapport till Naturvårdsverket dnr 235-5862-07Me."

Löfgren, S. and T. Zetterberg (2011). "Decreased DOC concentrations in soil water in forested areas in southern Sweden during 1987-2008." *Science of the Total Environment* **409**(10): 1916-1926.

Naturvårdsverket (1990). Försurning och kalkning av svenska vatten. Monitor 12. Solna.

Naturvårdsverket (2007a). "Bara naturlig försurning. Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet. Rapport 5766."

Naturvårdsverket (2007b). "Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Bilaga A till Handbok 2007:4."

Naturvårdsverket (2007c). "Bara naturlig försurning. Bilagor till underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålet. Rapport 5780."

Nisell, J., A. Linsjö and J. Temnerud (2007). "Rikstäckande virtuellt vattendrags nätverk för flödesbaserad modellering VIVAN. Rapport 2007:17. Institutionen för miljöanalys, SLU."

Stevenson, A. C.; Juggins, S.; Birks, H. J. B.; Anderson, D. S.; Anderson, N. J.; Battarbee, R. W.; Berge, F.; Davis, R. B.; Flower, R. J.; Haworth, E. Y.; Jones, V. J.; Kingston, J. C.; Kreiser, A. M.; Line, J. M.; Munro, M. A. R.; Renberg, I., The Surface Waters Acidification Project Palaeolimnology Programme: Modern Diatom/Lake-Water Chemistry Data-Set; ENSIS: London, 1991; p 86.

Valinia, S., K. Bishop, M. Erlandsson, J. Fölster and P. Rosén (2011). "Relation between land use change and long-term trends of organic carbon in lake water and its importance for acidification assessment. Institutionen för vatten och miljö, SLU. Rapport 2011:2."

Wilander, A. och J. Fölster (2007). Sjöinventeringen 2005 - En synoptisk vattenkemisk undersökning av Sveriges sjöar. Institutionen för Miljöanalys, SLU. Rapport 2007:16.

# BILAGA A

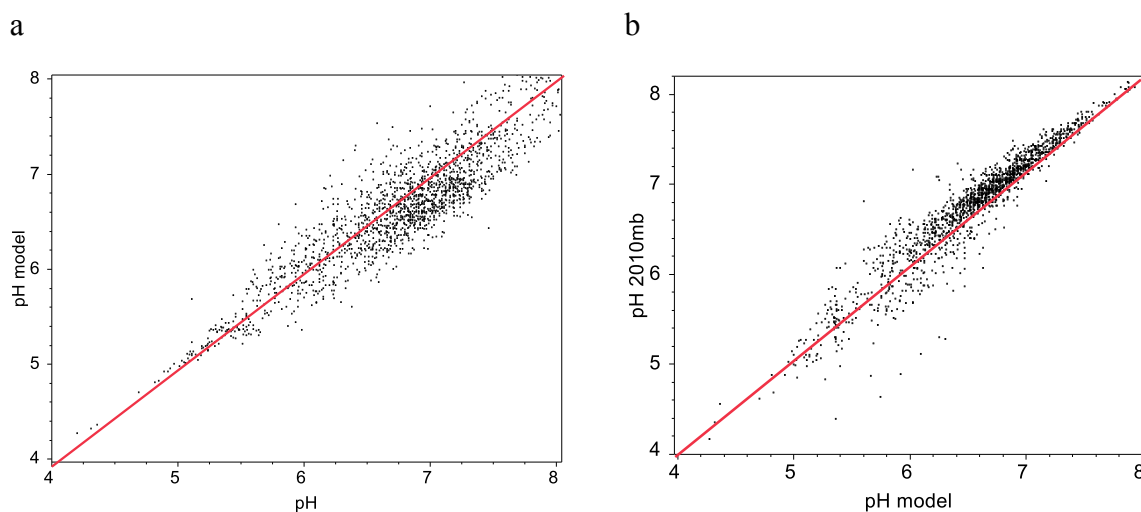
## Utvärdering av känsligheten av pH för förändringar i TOC och pCO<sub>2</sub>

I MAGIC används en triprotiskt organisk syra-bas modell för att beräkna de organiska syrnans (RCOO<sup>-</sup>) påverkan på pH. Denna modell baseras på arbeten av Köhler et al (2000) och Hruska et al. (2003). Jämviktsförhållanden i vattnet kan räknas ut med hjälp av en förenklad laddningsbalans om tre av de följande fyra parametrar är kända: pCO<sub>2</sub>, TOC, ANC och pH.

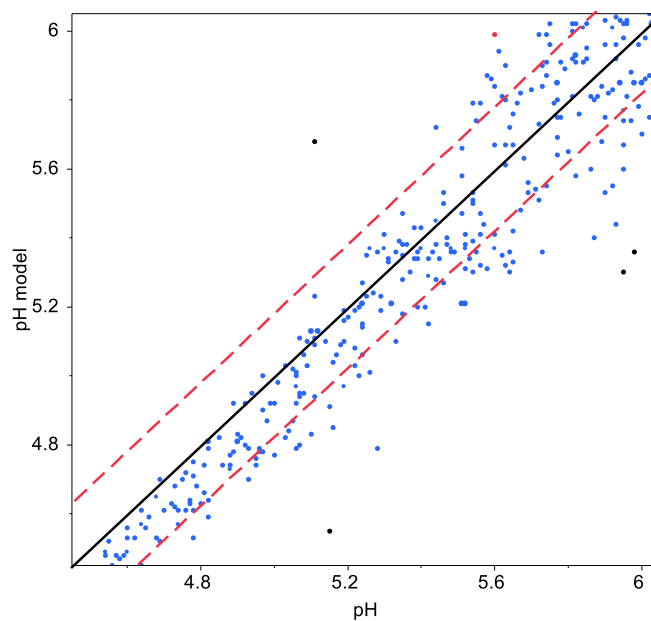
$$\sum BC^{n+} + H^+ = \sum SA^{m-} + HCO_3^- + 2CO_3^{2-} + RCOO^- \quad (\text{ekv. 2})$$

Ersätter man ANC med CBALK (ALK + beta \* TOC) öka man precisionen av modellen (Köhler m.fl. 2001). Både ANC, pCO<sub>2</sub> och TOC har stor betydelse för pH-värdet. Modellen kan användas för att studera utfallet för pH av systematiska förändringar i vattenkemin. Här redovisas hur modellen beskriver faktiskt uppmätta värden samt ett scenario där det antas att kolsyratrycket fördubblas (scenario A) och ett annat där det antas att TOC ökar med 30% (scenario B).

De flesta beräknade pH-värdena ligger inom den angivna felmarginalen av modellen av 0,2 pH-enheter. En systematisk underskattning på ca. 0,1 pH-enheter förekommer i pH området 4,5 till 5,5. Den verkliga orsaken till den avvikelser är okänd. Den kan bero på fel i modellen, felaktiga pCO<sub>2</sub> värden (se nedan) eller systematiska fel i pH mätningen. Precisionen i bedömningen av absoluta pH-värden kan således inte vara bättre än 0,2 pH-enheter. Ytvatten som har försurats från pH-värden över 6 till under 5 kan således få ett ΔpH som kan vara 0,1 pH-enheter för stor.



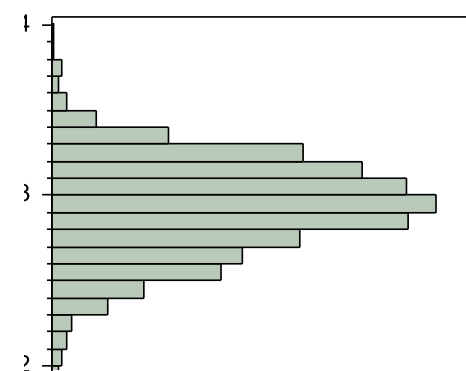
Figur A1. Jämförelse mellan modellerat(pH) och uppmätt pH (pH<sub>modell</sub>) vid pCO<sub>2</sub> = 2,8 (a) och mellan modellerat pH vid pCO<sub>2</sub> = 2,8 och modellerat pH i MAGIC<sub>bibliotek</sub>(pH<sub>2010mb</sub>) (b). Sjöar med kalkpåverkan samt sådana där modellen har beräknat orimliga värden för pCO<sub>2</sub> (> 5) har uteslutits i detta diagram.



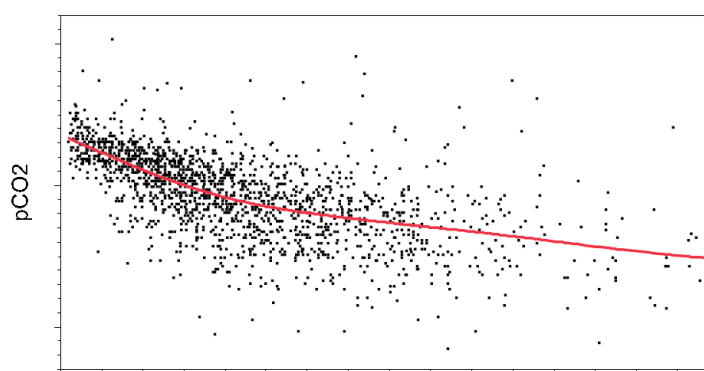
Figur A2. Jämförelse av precision och exakthet av pH-modellen för alla prover (även de kalkpåverkade och sådana där orimliga  $pCO_2$  värden förekom) i pH intervallet 4,5 till 6,0. Modellen verkar ha en liten tendens att ge pH värden som ligger ca 0,1pH-enheter under de uppmätta värdet för proverna som samlades in i målsjöundersökningen 2007/2008\*.

***\*Dessa pH-värden mättes dock ej enligt ackrediterade metoder utan är en avläsning av första pH-värdet under alkalinitetstitreringen. Vi kan därför inte utesluta små men signifikanta skillnader i metoderna för bestämning av pH .***

En del av skillnader mellan MAGIC-beräknade pH-värden och de uppmätta kan orsakas av skillnader i  $pCO_2$ . Modellen användes för att skatta vilken  $pCO_2$  som råder vid pH mätningen. Resultaten visar ett medianvärde av 2.95 [2.77-3.17 25-75% percentiler] [2.55-3.35 10-90% percentiler]. Bara 10% av prover har ett beräknat  $pCO_2$  under 2.55 (ca 10 gånger atmosfärstryck).



Figur A3 a. Fördelning av  $pCO_2$  beräknat ur uppmätt pH.



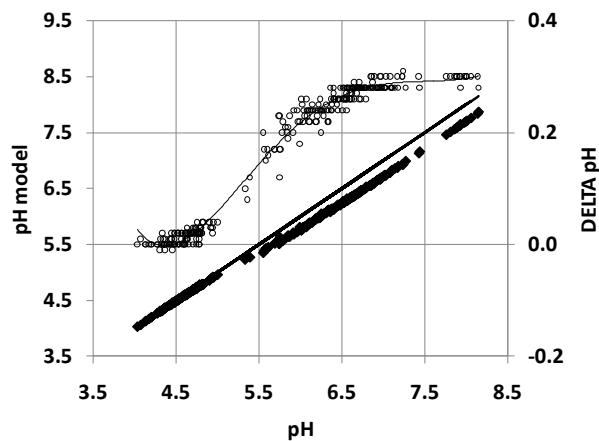
Figur A3 b. Samband mellan TOC och beräknat  $pCO_2$  som visar hur halten löst kolsyra ökar med ökande halter total organiskt kol (TOC) [ $mg L^{-1}$ ].  $pCO_2$  avser den negativa 10-logaritmen för kolsyrans partialtryck vilket gör att ett högre värde innebär ett lägre tryck. (Jfr pH.) Figuren görs om



Enligt den CBALK baserade pH-jämviktsmodellen (Köhler 2000 och Hruska 2003) så fördubblas halten löst kolsyra ( $H_2CO_3$ ) när TOC ökar från 10 till 30 ppm ( $pCO_2$  sjunker från 2,9 till 2,6). Sådana skillnader i  $pCO_2$  kan bidra till systematiska förändringar i pH.

#### Scenario A (skattning av möjliga förändringar av pH under ett förhöjt $pCO_2$ )

Eftersom MAGIC-beräkningarna inom Bedömningsgrunder räknar med ett fast  $pCO_2$  kan det vara av intresse att skatta vilka systematiska skillnader som skulle kunna uppträda om halten kolsyra underskattades med 50%. Nedan redovisas hur pH skulle förändras i ett urval av proverna ( $n=300$ ) om  $pCO_2$  sjunker från 2,8 till 2,5.

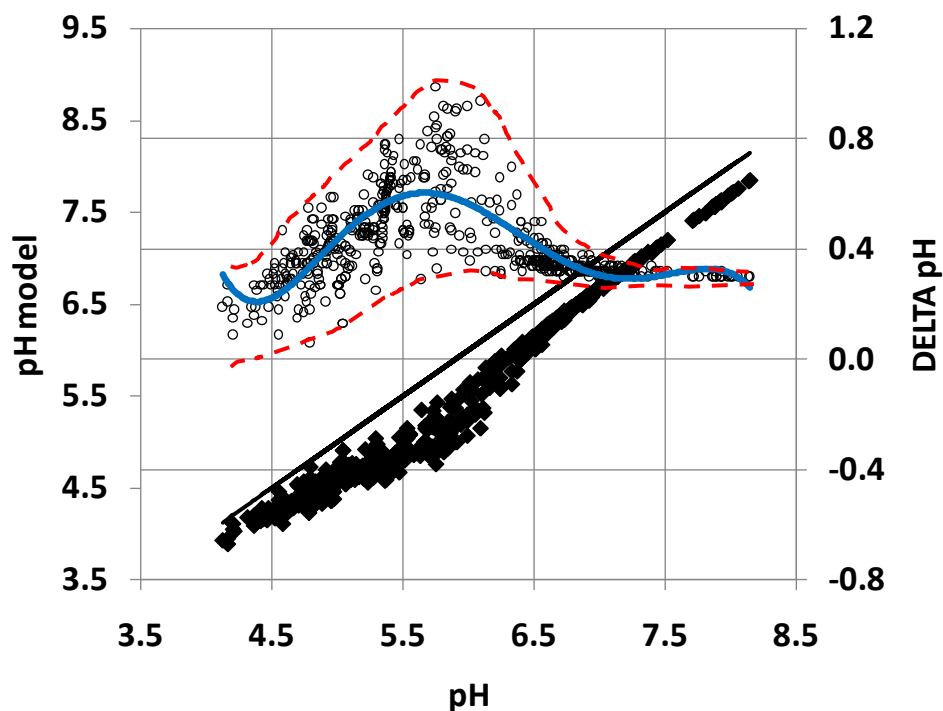


Figur A4. Jämförelse mellan modellerat pH vid  $pCO_2 = 2,8$  (genomdragen linje) och vid  $pCO_2 = 2,5$  (punkter). På högeraxeln redovisas skillnader i pH som funktion av pH (vita cirklar).

En fördubbling av halten löst kolsyra ( $H_2CO_3$ ) trycker ner pH ca 0,3 pH enheter i alla prover med pH högre än 6,5. Under pH 5 kan denna effekt anses som försumbart och mellan pH 5 och pH 6,5 kan effekten ligga mellan 0,1 till 0,3 pH enheter.

#### Scenario B (skattning av möjliga pH förändringar om TOC underskattas med 30%)

Mycket stora förändringar i pH uppstår när man antar att halten organiskt kol förändras. Här valdes det att låta TOC öka med 30 % jämfört med de uppmätta värdena. Resultaten visar att stora systematiska skillnader, 0,3–1 pH-enheter, kan uppstå i pH-intervallet 5,0 till 6,5.



Figur A5 Skillnaden i modellerat pH vid tillskott av 30 % TOC jämfört med det uppmätta värdet. På högeraxeln redovisas skillnader i pH som funktion av pH (vita cirklar) samt en spännvid av variationen i skillnad i pH som räknades fram i denna population av proverna (n= 600).

Eftersom ändringar av TOC-värden av runt 30 % har förekommit användes resultaten av denna beräkning för att ta fram möjliga förväntade felmarginaler som funktion av pH. För detta ändamål användes en icke-linjär funktion till att beskriva hur de beräknade skillnaderna i pH varierade med pH (blå linje i Fig x). De ungefärliga värdena presenteras i tabellen nedanför.

Tabell: A1 Medelskillnad i beräknat pH som funktion av pH, skattat genom att tillföra eller bortföra 30% av TOC i vattnet.

pH	4.5	4.7	5.1	5.5	5.7	6.4	7	7.5
pHfel	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.4	0.3	0.3