

Biologisk och vattenkemisk variation i kalkningsverksamhetens målsjöar

-

ett förbättrat underlag för bedömning av IKEU-sjöarnas representativitet



Biologisk och vattenkemisk variation i kalkningsverksamhetens målsjöar

-

ett förbättrat underlag för bedömning av IKEU-
sjöarnas representativitet

Kerstin Holmgren* & Jens Fölster**

* Fiskeriverket, Sötvattenslaboratoriet, Stångholmsvägen 2, 178 93 Drottningholm

** Institutionen för vatten och miljö, SLU, Box 7050, 750 07 Uppsala

Institutionen för vatten och miljö, SLU

Box 7050

750 07 Uppsala

Tel. 018 – 67 31 10

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

Omslagsbild: Övre Särnmannasjön. Foto: Magnus Dahlberg

Tryck: Institutionen för vatten och miljö, SLU
Uppsala, 2010-07-09

Innehåll

Sammanfattning	4
Introduktion	5
Material och metoder	6
Identifiering av målsjöar.....	6
Vattenkemi och försurningsbedömning.....	6
Fiskarters förekomst i målsjöar.....	6
Fiskfaunans artrikedom i målsjöar.....	7
Fiskfaunans status i målsjöar.....	7
Urval och bortval av kalkade IKEU-sjöar.....	7
Målsjöarnas variation och IKEU-sjöarnas representativitet.....	8
Resultat	9
Fördelning i sjökategorier.....	9
Fiskdata i sjökategorier.....	11
Relativ förekomst av fiskarter.....	11
Fiskfaunans artrikedom.....	11
Biologiska skillnader mellan sjökategorier.....	14
Vattenkemiska skillnader mellan sjökategorier.....	19
Skillnader mellan IKEU-sjöar och resten av målsjöarna.....	21
Diskussion	23
Biologisk och kemisk variation inom och mellan målsjökategorier.....	23
IKEU-sjöarnas representativitet.....	23
Identifiering av målsjöar.....	25
Tillförlitlighet i data om fiskarters förekomst.....	25
Notiser om biologiska motiv för kalkning.....	25
Återstående frågor.....	26
Erkännande	26
Referenser	26

Sammanfattning

Syftet var att först beskriva några orsaker till biologisk och vattenkemisk variation i de sjöar som kalkas idag, för att sedan bedöma representativiteten hos det begränsade urval av 12 kalkade IKEU-sjöar som har övervakats intensivt sedan 1990-talet. Under 2007-2008 gjordes en vattenkemisk inventering av 3086 målsjöar, det vill säga sjöar i målområden för kalkning. Dessa sjöar grupperades med avseende på sjöstorlek, geografisk region eller tidsperiod för första kalkning. Biologiska analyser utgick från befintliga data om nutida och tidigare förekomster av fiskarter. Fiskfaunans nutida status jämfördes för sjöar med standardiserade provfisken 1999-2008, samt vattenkemi och försurningsstatus jämfördes med hjälp av data från målsjöinventeringen.

Det fanns uppgifter om fiskarters förekomst i 68% av målsjöarna. Dataunderlaget var mer heltäckande i större sjöar, men det fanns också skillnader mellan län och vattendistrikt. Totalt noterades 41 fiskarter, och antalet angivna fiskarter varierade från 0-21 per sjö. Artrikedomen ökade med sjöns area och den var högre i Södra Östersjöns vattendistrikt än i de övriga distrikten. Målsjöarna hade lägre artrikedomen än förväntat, utom i de allra minsta sjöarna, vilket indikerade att kalkningen inte hade återskapat den ursprungliga biologiska mångfalden. Även vattenkemi och försurningsstatus varierade mellan storleksklasser, vilket antydde att det inte bara är biologiska komponenter som behöver relateras till objekt- eller typspecifika referensvärden. Fisk-, kemi- och försurningsvariablerna varierade också signifikant mellan vattendistrikt och kalkstartsperioder. Målsjöar som började kalkas före 1986 hade större avvikelser från förväntat i artrikedomen, abundans- och biomasseviktade diversitetsindex, jämfört med sjöar med senare kalkstart. Det sammanföll med högre nutida försurning, indikerat av högre delta-pH, i målsjöar med tidig kalkstart.

IKEU-sjöarna representerade målsjöarna väl med avseende på sjöarea, men de var i genomsnitt djupare än resten av målsjöarna. IKEU-sjöar saknades i hälften av kalkningslänen, men alla IKEU-sjöar låg i de fyra sydliga vattendistrikten som representerade de flesta målsjöarna. IKEU-sjöarna hade kalkats under längre tid och höga Ca/Mg-kvoter antydde att de kalkades med högre doser än många av de andra målsjöarna. Flera kallvattenarter av fisk var överrepresenterade i IKEU-sjöarna, medan bland annat den försurningskänsliga mörten var mindre frekvent än i resten av målsjöarna.

De viktigaste slutsatserna av denna utvärdering var:

- Sjöars storlek och geografiska läge måste beaktas vid utvärdering av kalkningens effekter på både biologi och vattenkemi.
- De tolv mest välstuderade IKEU-sjöarna utgjorde inte något slumpmässigt urval av målsjöarna i dagens kalkningsverksamhet.

Skevheten i IKEU-sjöarnas fiskfauna verkade vara mer kopplad till sjöarnas djup än till skev geografisk fördelning, och sjödjupet påverkar kanske kalkningens effekter även på vattenkemi och övrig biologi. Urvalet av sjöar med speciella biologiska och kemiska förutsättningar kunde spåras till att IKEU ursprungligen ville inkludera sjöar med olika typer av fisksamhällen, snarare än att få ett slumpmässigt urval av kalkade sjöar. IKEU-sjöarnas långa provtagningsserier av kemi och biologi gör dem till unika exempel på historiska och framtida trender. För mer övergripande utvärdering av ekologisk status i kalkade sjöar behövs dock data från ett betydligt bredare urval sjöar i den svenska kalkningsverksamheten.

Introduktion

Kalkning av svenska sjöar och vattendrag är fortfarande en omfattande fiske- och naturvårdsåtgärd, även om kalkningsbehovet gradvis minskar med minskad deposition av försurande ämnen. Den statligt finansierade kalkningsverksamheten inleddes med en försöksperiod 1977-1981, med dåvarande Fiskeristyrelsen som ansvarig. Den storskaliga kalkningsverksamheten började 1982 med Naturvårdsverket som huvudansvarig. Det långsiktiga målet med kalkningen är att återställa och bibehålla biologisk mångfald så att den liknar de biologiska samhällen som fanns innan den antropogena försurningen (Naturvårdsverket 2002). I 2002 års handbok för kalkning lanserades begreppen målområde och åtgärdsområde. Ett målområde definierades som en sjö eller ett vattendrag där utförd kalkning syftar till att uppfylla de kortsiktiga vattenkemiska och biologiska målen. Åtgärdsområde är ett planeringsområde för kalkningsåtgärder, vilket omfattar både målområden och de åtgärdsobjekt där kalken sprids ut. Denna rapport behandlar kalkade sjöar, eller närmare bestämt de över 3000 sjöar som idag utgör målområden för kalkning. Därför används begreppet målsjö istället för målområde. Utöver dessa målsjöar kalkas lika många sjöar enbart för nedströms effekt, så kallade åtgärdsjöar. Dessa behandlas inte i denna rapport.

Naturvårdsverkets nationella program för Integrerad KalkningsEffektUppföljning (IKEU) innehåller omfattande kemisk och biologisk uppföljning i ett litet urval av alla sjöar och vattendrag som är målområden eller åtgärdsobjekt i den statligt finansierade kalkningsverksamheten (Naturvårdsverket 2002). Sedan övervakningen kom igång 1990 har IKEU-programmet utvidgats till att omfatta nio olika delprogram (se hemsidan, <http://info1.ma.slu.se/IKEU/>), inklusive både kalkade och okalkade vatten, samt några sjöar och vattendrag med avslutad kalkning. De kalkade IKEU-sjöarnas representativitet i förhållande till kalkningsverksamhetens målsjöar behandlades delvis i två olika utredningar under 2000-talet. Första gången beaktades avrinningsområdets storlek, sjöarnas area och arealdoser av kalkmedel (Persson & Wilander 2004). Nästa gång jämfördes kalkade IKEU-sjöar och övriga målsjöar också med avseende på några kemisk-fysikaliska parametrar (Andrén m.fl. 2009). I kalkdatabasen fanns det dock bara mätvärden för en delmängd av målsjöarna, och mätparametrarna var ofta begränsade till pH, alkalinitet, konduktivitet och vattenfärg. Slutsatsen vid ovan nämnda genomgångar blev att IKEU-sjöarna verkade täcka in en stor del av den variation som finns i den svenska kalkningsverksamhetens målsjöar. Frågan om hur väl IKEU-sjöarna representerar målsjöarnas biologiska samhällen lämnades obesvarad, beroende på att biologiska data ofta saknas i den regionala uppföljningen av kalkning. I det nationella registret över sjöprovfisken (NORS) fanns dock mer än tusen kalkade sjöar registrerade. En utgångspunkt i denna studie var att en stor andel av de provfiskade sjöarna rimligtvis borde vara målsjöar i dagens kalkningsverksamhet. Den vattenkemiska uppföljningen saknade tidigare flera variabler som behövs för bedömning av IKEU-sjöarnas kemiska representativitet. Situationen förbättrades avsevärt genom den så kallade målsjöinventeringen 2007-2008, som omfattade samtliga målsjöar och analyser av fler kemiska parametrar (Fölster opublicerat manuskript).

Vid 2008 års utvärderingar av IKEU-programmet, noterades olika typer av biologiska skillnader mellan de kalkade sjöarna och sura respektive neutrala referenser (Holmgren 2009, Persson 2009, Stendera 2009, Sundbom 2009a, b, Östlund 2009). Ibland framfördes reservationer om att sjöarna i de jämförda grupperna kanske inte har samma naturliga förutsättningar för akvatiska organismsamhällen. Till exempel var kallvattensarter som öring, röding, elritsa, sik och siklöja vanligare i de kalkade IKEU-sjöarna, än i IKEU:s och miljöövervakningens referenssjöar i motsvarande delar av landet (Holmgren 2009). IKEU:s öring-/rödingsjöar bidrog till hög heterogenitet i ekosystemstruktur, vilket försvårade jämförelser av kalkade sjöar med okalkade referenser (Sundbom 2009b). Om en del av skillnaden i biologi mellan sjögrupper fanns redan innan försurning och kalkning, så blir det svårare att separera ut kalkningens långsiktiga effekter.

En överrepresentation av kallvattensarter i IKEU:s sjöar kan försvaras om detsamma gäller landets övriga population av kalkade sjöar. Rekryteringsproblem hos mört beskrevs i flera tidiga sammanställningar av försurningseffekter på fisk (t.ex. Almer & Hanson 1980, Johansson & Nyberg 1981), men problem i sjöar med röding och öring lyftes också fram mer specifikt (t.ex. Dickson m.fl. 1976, Lindström & Andersson 1981). Därför kan sjöar med dessa kallvattensarter möjligen ha varit överrepresenterade i den tidiga kalkningsverksamhet som administrerades av Fiskeristyrelsen 1977-1981 (Fiskeristyrelsen & Statens Naturvårdsverk 1981). Det finns tyvärr ingen rapporterad beskrivning av om

och hur fördelningen av sjöar med olika fiskesamhällen ändrades när allt fler sjöar kalkades under och efter 1980-talet.

Syftet med denna studie var att beskriva några orsaker till biologisk och vattenkemisk variation i de sjöar som kalkas idag, för att sedan bedöma representativiteten hos det lilla urval av 12 kalkade IKEU-sjöar som har övervakats intensivt sedan 1990-talet. Målsjöarna kategoriserades med avseende på sjöstorlek, geografisk region och tidsperiod för första kalkning. Tyngdpunkten i arbetet låg på att sammanställa tillgängliga data om nutida och tidigare förekomster av fiskarter i kalkade målsjöar. Det motiverades av att fisk ofta ingår i de biologiska motiv som satts upp för kalkningen och att provfiske är den vanligaste biologiska uppföljningen inom kalkningsverksamheten. Kvantitativa jämförelser av fiskfaunans nutida status gjordes för sjöar där standardiserade provfisken hade utförts under 1999-2008. Jämförelser av vattenkemi och försurningsstatus gjordes utifrån data från målsjöinventeringen 2007-2008. Under arbetets gång inkluderades också en kvalitativ genomgång av de fisk- och kräftarter som länsstyrelserna hade angivit som motiv för kalkning.

Material och metoder

Identifiering av målsjöar

Första steget var att identifiera målsjöarna i dagens kalkningsverksamhet. En sammanställning av alla målsjöar inom kalkningsverksamheten gjordes inför Målsjöinventeringen 2007-2008 (Fölster opublicerat manuskript). Sammanställningen av målsjöarna gjordes av länsstyrelserna, men i samband med utvärderingen upptäcktes en del sjöar som inte var målsjöar och som därför ströks. Klassningen av storleksklass gjordes enligt SMHI:s sjöregister.

Vattenkemi och försurningsbedömning

Samtliga målsjöar provtogs för vattenkemi hösten 2007 och våren 2008. Provtagningen genomfördes med helikopter. De vattenkemiska analyserna omfattade parametrarna: pH, alkalinitet, TOC, Ca, Mg, Na, K, SO₄, Cl, F, NO₃ och Al (syralösligt). Analyserna utfördes på Institutionen för vatten och miljö, SLU, med undantag för aluminium som analyserades av ITM, Stockholms universitet. Mätningen av pH gjordes i samband med alkalinitetsmätningen, vilket ger en viss avluftning. Värdet på pH kan då vara upp till en pH-enhet högre än med den metod som används inom IKEU och den nationella miljöövervakningen. För klassificeringen av vattenkemin användes medelvärden av de två provtagningarna 2007 och 2008.

För att bedöma hur försurade sjöarna skulle vara utan kalkning gjordes en korrigering av kalkningspåverkan med Ca*/Mg* enligt Bedömningsgrunder (Fölster och Wilander 2005). Som referens för Ca*/Mg* användes okalkade sjöar utvalda av länsstyrelserna. Försurningsbedömning enligt den kalkningskorrigerade kemin gjordes med en preliminär version av MAGIC-bibliotek (se länken: <http://www.ivl.se/magicbibliotek>) som fanns tillgänglig i december (enligt Bedömningsgrunder, Naturvårdsverket 2007). För varje sjö valdes två referenser och en separat försurningsbedömning gjordes utifrån korrigering från var och en av de två referenserna. Slutligen bildades medelvärdet av de två försurningsbedömningarna för att få ett värde.

Fiskarters förekomst i målsjöar

Primärt användes fyra olika digitala källor till information om fiskarters nutida eller tidigare förekomst i enskilda målsjöar. Datakällorna var 1) Nationellt Register över Sjöprovfisken (NORS), 2) Riksfiskinventeringen 1996 (RI1996, Appelberg m.fl. 2004), Sötvattenslaboratoriets sjöarkiv med enkätuppgifter från 1930-1961 (E30tal), och 4) enkätuppgifter från 1860-1911 (E100år, Schreiber m.fl. 2003). Från dessa källor kunde kalkningens målsjöar sorteras ut via matchning mot SMHI-koordinater i listan över målsjöar. Gemensamt för de fyra fiskdataseten var att de kom från undersökningar som bland annat syftade till att beskriva vilka fiskarter som fanns eller hade funnits i respektive sjö. Varje målsjö klassades som Fiskdata = 1 eller 0, beroende på om sjön fanns eller inte fanns med i minst en av de fyra källorna.

För varje målsjö i NORS noterades vilka fiskarter som hade registrerats vid minst ett provfisketillfälle. Uppgift om förekomst eller icke förekomst i en given sjö grundades därför i praktiken

på mellan ett och 32 provfisken mellan 1955 och 2008. I datasetet RI1996 var fiskarterna i respektive sjö kategoriserade i abundans (okänd, sparsam, ordinär eller riklig), populationsförändring (ökat, minskat, försvunnet) respektive om arten var ursprunglig eller introducerad. I denna studie ignorerades kategoriseringen. Noterad förekomst innebar således att fiskarten någon gång har ansetts förekomma i sjön, men inte nödvändigtvis i självreproducerande bestånd. I E30tal-datat fanns ibland uppgift om fiskavkastning i kg, men oftast fanns bara notiser om fiskarternas förekomst. I det selekterade datasetet från kalkningens målsjöar ersattes eventuella avkastningsuppgifter med 1 för förekomst. I det äldsta av dataseten (E100år) noterades fiskarters förekomst ofta, men inte alltid, enligt en skala från sällsynt till mycket riklig. För konsekvensens skull byttes alla skalvärden ut till 1 för förekomst.

För att om möjligt få ytterligare information om fiskförekomster i målsjöar gjordes en genomgång av länsstyrelsernas uppgifter om biologiska motiv för kalkning. Dataunderlaget var en excel-fil sammanställd av Ulf Larsson på Naturvårdsverket 2004. De flesta län hade inte angivit några SMHI-koordinater som identitet för målsjöarna. Många målsjöar kunde ändå identifieras på halvmanuell väg efter att excel-filen hade sorterats efter län, samt efter sjöns namn och area. Textsträngar om motiv och biologiska mål för kalkning kopierades över till nya kolumner i sjölistan från målsjöinventeringen 2007-2008. För alla fiskarter som förekom i textsträngarna skapades nya artkolumner, där förekomst som målart markerades med 1. Bland motiven för kalkning fanns inte bara fiskarter, utan även aktiviteter som fiske och friluftsliv, liksom andra naturvärden i form av till exempel kräftor, flodpärlmusslor, sjöfåglar och utter. Parallellt med de nya kolumnerna för fiskarter, skapades även kolumner för fiske, flodkräfta, signalkräfta och ospecificerad kräfta. Via de nya variablerna beräknades antalet målfiskarter per sjö, liksom antalet främmande fisk- och kräftarter. I det totala datasetet förekom de främmande arterna bäckröding, kanadaröding, karp, regnbåge, spleik och signalkräfta.

Fiskfaunans artrikedom i målsjöar

För varje målsjö med fiskdata beräknades antalet observerade fiskarter både inom varje enskild datakälla och totalt för alla källor per sjö. Separat beräknades även antal fiskarter nämnda bland motiven för kalkning, liksom antal främmande fisk- och kräftarter. Artrikedomsvariablerna användes för att illustrera variation mellan fiskdatakällor och sjökategorier.

Fiskfaunans status i målsjöar

Som kvantitativa mått på fiskfaunans status användes fiskindexet EQR8 och de åtta samhällsindikatorer som ingår i det multimetriska indexet (Holmgren m.fl. 2007, Tabell 1). Indikatorer och index beräknades av datavärden för NORS för alla provfisketillfällen i kalkningens målsjöar. Datasetet begränsades sedan till provfisken utförda med nordiska översiktsnät enligt svensk och europeisk standard (CEN 2005) under en tioårsperiod 1999-2008. Var och en av de åtta indikatorerna uttrycktes som standardiserade avvikelser från objektspecifika referensvärden (Z-värden). Indikatorernas Z-värden omvandlades till sannolikheter att tillhöra en referensfördelning (P-värden), och indexet EQR8 beräknades som medelvärde av de 3-8 indikatorer som kan beräknas för ett givet provfisketillfälle.

Urval och bortval av kalkade IKEU-sjöar

Antalet kalkade sjöar i IKEU:s uppföljningsprogram har växlat mellan tidsperioder sedan programmet startade 1989 (Munthe & Jöborn 2009). För att återkoppla till fiskutvärderingen 2008, avgränsades gruppen ”kalkade IKEU-sjöar” till de tolv sjöar där standardiserat provfiske utfördes varje år 1994-2007 (Holmgren 2009). De utvalda sjöarna var således Gyltigesjön, Gyslättsjön, Stengårdshultasjön, Stora Härsjön, Långsjön, Stensjön, Lien, Västra skälsjön, Tryssjön, Bösjön, Nedre Särnmanssjön och Källsjön (Tabell 2). Samtliga utvalda sjöar visade sig ingå som en delmängd av det totala antalet målsjöar. Bland de resterande målsjöarna fanns ytterligare 28 sjöar från IKEU-programmet, som alltså inte särskiljdes i representativitetsanalyser. De bortvalda IKEU-sjöarna utgjordes av fem intensivsjöar med för korta tidsserier, 21 extensivsjöar och 2 sjöar i IKEU:s överdoseringsprogram.

Tabell 1: Variabler som användes för kvantitativa jämförelser av fiskfaunans status, vattenkemi och försurningsstatus.

Kod	Beskrivning (mätenhet)	Anmärkning
EQR8	Fiskindex enligt NV:s bedömningsgrunder	Ekologisk kvalitetskvot = medel av 8 indikatorers P-värden
Z(niart)	Antal inhemska fiskarter	Fiskindikatorns Z-värde när referensvärdet är 0 ± 1 SD
Z(SDn)	Artdiversitet: Simpson's D (antal)	Fiskindikatorns Z-värde när referensvärdet är 0 ± 1 SD
Z(SDw)	Artdiversitet: Simpson's D (biomassa)	Fiskindikatorns Z-värde när referensvärdet är 0 ± 1 SD
Z(lgWiart)	Relativt antal av inhemska fiskarter (antal / bottennät)	Fiskindikatorns Z-värde när referensvärdet är 0 ± 1 SD
Z(lgNiind)	Relativ biomassa av inhemska fiskarter (g / bottennät)	Fiskindikatorns Z-värde när referensvärdet är 0 ± 1 SD
Z(lgMeanW)	Medelvikt i totala fångsten (g)	Fiskindikatorns Z-värde när referensvärdet är 0 ± 1 SD
Z(andpis)	Andel potentiellt fiskätande abborrfiskar	Fiskindikatorns Z-värde när referensvärdet är 0 ± 1 SD
Z(lgAbCyW)	Kvot abborre / karpfiskar (biomassa)	Fiskindikatorns Z-värde när referensvärdet är 0 ± 1 SD
SO4 mekv/l	Sulfathalt (mekv / l)	Mätning i ytvattenprov
Ca/Mg-kvot	Kvot mellan kalcium- och magnesium (halter i mekv / l)	Mätning i ytvattenprov
TOC mg/l	Totalt organsikt kol (mg / l)	Mätning i ytvattenprov
ALNA µg/l	Syralösligt aluminium (µg / l)	Mätning i ytvattenprov
pH 1860	Uppskattat pH-värde 1860	Via Magic-bibliotek efter korrigering av kalkningspåverkan
pH 2007	Uppskattat pH-värde 2007 utan kalkning	Via Magic-bibliotek efter korrigering av kalkningspåverkan
dpH	Försurning mätt som delta-pH	Differens mellan 2007 och 1860 års pH-värden

Tabell 2: Beskrivning av de tolv utvalda IKEU-sjöarna. Identitet anges med SMHI:s utloppskoordinater. Vattendistriktet definieras i stycket efter tabellen.

Xkoor	Ykoor	Sjönamn	Län	Vatten- distrikt	Sjöarea (ha)	Maxdjup (m)	Medel- djup (m)	År för första kalkning
629489	133906	Gyltigesjön	13 (N)	5	40	20	7	1982
633209	141991	Gyslättsjön	7 (G)	4	32	10	6	1985
638317	138010	Stengårdshultasjön	6 (F)	5	489	27	6	1981
640364	129240	Stora Härsjön	14 (O)	5	257	42	7	1977
652412	143738	Långsjön	18 (T)	4	67	18	6	1987
656419	164404	Stensjön	1 (AB)	3	39	21	6	1978
663216	148449	Lien	19 (U)	3	149	29	5	1983
664620	148590	Västra Skälsjön	19 (U)	3	43	19	4	1975
670275	146052	Tryssjön	20 (W)	2	30	20	4	1978
680235	141799	Bösjön	20 (W)	2	114	17	3	1983
683421	133742	Nedre Särmanssjön	20 (W)	2	38	5	1	1972
683582	154935	Källsjön	21 (X)	2	24	17	4	1984

Målsjöarnas variation och IKEU-sjöarnas representativitet

Först illustrerades hur 12 IKEU-sjöar respektive hela målsjöpopulationen fördelades sig med avseende på sjöstorlek, geografisk region eller tidsperiod för första kalkning. För sjöstorlek användes SMHI:s areakod (AKOD) med nedre klassgräns på 10 000 ha (A), 1000 ha (B), 100 ha (C), 10 ha (D), 1 ha (E) och en restklass för sjöar < 1 ha (F). Geografiskt klassades sjöarna efter länstillhörighet och efter vattendistrikt enligt vattenförvaltningsförordningen (SFS 2004:660). Vattendistriktet numrerades, där 1 = Bottenviken, 2 = Bottenhavet, 3 = Norra Östersjön, 4 = Södra Östersjön och 5 = Västerhavet. För provfiskade målsjöar i NORS fanns det ibland uppgift om år för första kalkning, med värden från 1967 till 2003. För ytterligare några IKEU-sjöar utan provfiskedata hämtades uppgift om kalkstart från Bergquist (2008). Kalkstarten

kategoriserades i en av fyra perioder (KSperiod), före 1982 (1), 1982-1985 (2), 1986-1989 (3) respektive efter 1989 (4). Den första perioden avser tiden innan Naturvårdverket tog över administrationen av den statliga kalkningsverksamheten, och den sista perioden sammanfaller med den tid som effektuppföljning har pågått inom IKEU-programmet.

Sedan jämfördes fiskarters relativa förekomst i olika dataset. Den relativa förekomsten i de 12 IKEU-sjöarna baserades på fiskarter som fångades minst en gång per sjö vid årliga provfisker 1994-2007. Dessa värden (% av 12 sjöar) jämfördes med fiskarters relativa förekomst i de olika fiskdataseten (% av antal målsjöar som fanns med i respektive fiskdataset).

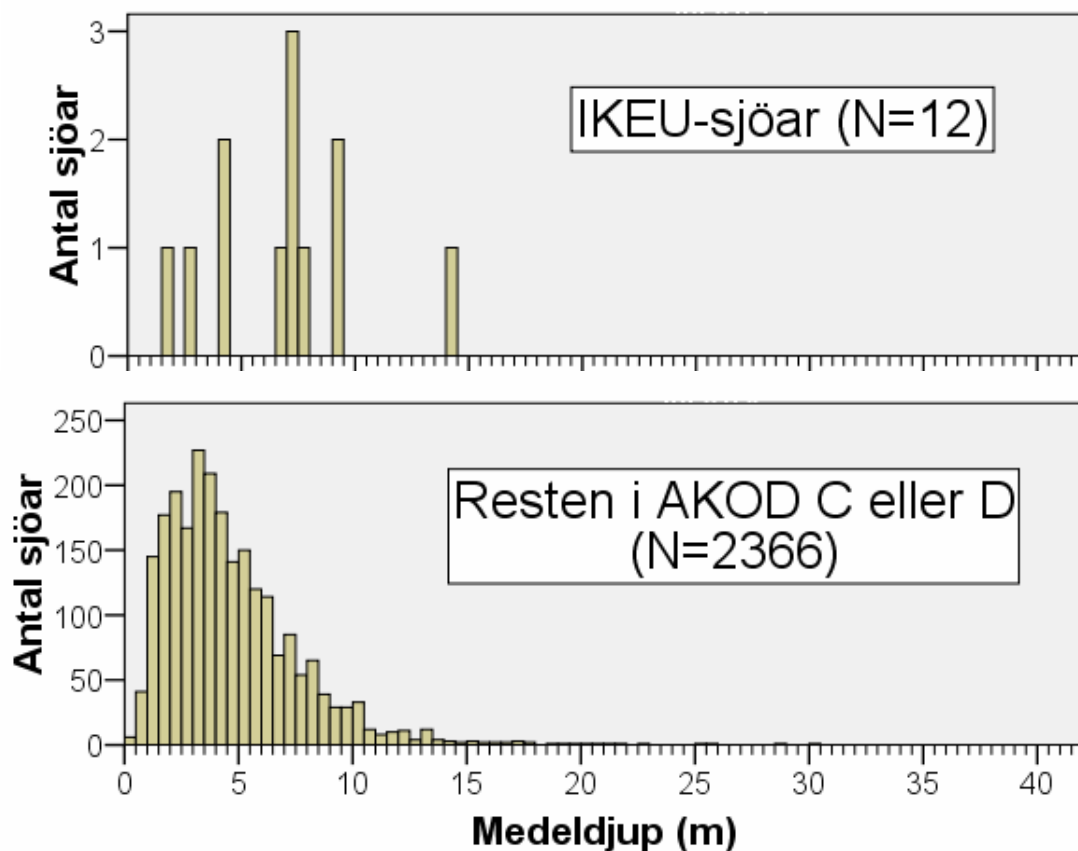
De fisk- och vattenkemivariabler som valdes ut för kvantitativa jämförelser beskrivs i Tabell 1. För sjöar med mer än ett provfiskstillfälle användes medelvärdet av indikator- och indexvärden under 1999-2008. För jämförelser av vattenkemi och försurningsstatus användes om möjligt medelvärden från två provtagningar hösten 2007 respektive 2008. För variabler som uppskattades efter Ca*/Mg*-korrigerings och via MAGIC-bibliotek togs dessutom medelvärdet av skattningar med två alternativa referenssjöar.

Kruskall-Wallis test användes för test av skillnader mellan flera grupper av sjöar med avseende på sjöstorlek, vattendistrikt eller kalkstartsperiod. Skillnader mellan 12 IKEU-sjöar och resten av målsjöarna testades med Mann-Whitney's U-test. Grafiska illustrationer gjordes med boxplottar, där boxarna visade nedre kvartil, median och övre kvartil. I plottarna visades även den totala variationen, med vertikala linjer för värden upp till tre boxlängder och med symboler för mer extrema värden.

Resultat

Fördelning i sjökategorier

De tolv utvalda IKEU-sjöarna utgjorde 0,4 % av totalt 3086 målsjöar. Med avseende på sjöstorlek representerade IKEU-sjöarna kalkningens målsjöar ganska väl, eftersom alla IKEU-sjöar fanns i de två vanligaste storleksklasserna (Tabell 3a). Medeldjupet var dock högre i IKEU-sjöarna (6,8 m) än i resten av målsjöarna inom de jämförbara storleksklasserna C och D (4,6 m, Figur 1).



Figur 1: Fördelning av målsjöarnas medeldjup i 0,5-m klasser. Överst de 12 utvalda IKEU-sjöarna, och nederst resten av målsjöar inom 10-1000 ha (AKOD C och D).

Tabell 3: Antal utvalda IKEU-sjöar och totalt undersökta målsjöar (Alla), fördelade på a) sjöstorlek, b) län (ID-nummer -bokstäver inom parentes), c) vattendistrikt och d) period för första kalkning (KSper). Dessutom visas antal målsjöar i olika dataset med fiskartsförekomster, liksom deras andel i % av alla målsjöar inom respektive sjökategori (=rad). Kolumnerna MålFiskart och MålFiske visar sjöar med minst en fiskart respektive någon form av fiske bland motiven för kalkning. För ytterligare förklaringar av kolumnrubriker se Material och metoder. Värderna på minst 75 % är gulmarkerade. Observera att uppgift om kalkstart bara fanns för 841 (27 %) av 3086 målsjöar. Sjöar utan uppgift om kalkstart finns istället med på raden "okänt". För närmare definition av sjökategorier se "Material och metoder", avsnittet "Målsjöarnas variation och IKEU-sjöarnas representativitet".

a) AKOD	IKEU		Alla		NORS		RI1996		E30tal		E100år		Fiskdata		MålFiskart		MålFiske	
	n	n	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
A	0	2	2	100	2	100	0	0	0	0	2	100	1	50	1	50		
B	0	38	26	68	17	45	19	50	16	42	36	95	25	66	18	47		
C	4	602	332	55	127	21	270	45	226	38	520	86	317	53	285	47		
D	8	1989	829	42	121	6	364	18	471	24	1345	68	1040	52	879	44		
E	0	454	115	25	29	6	14	3	46	10	187	41	211	46	245	54		
F	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100	1	100		
Sum	12	3086	1304	42	296	10	667	22	759	25	2090	68	1595	52	1429	46		

b) lnID	IKEU		Alla		NORS		RI1996		E30tal		E100år		Fiskdata		MålFiskart		MålFiske	
	n	n	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
1 (AB)	1	12	9	75	1	8	2	17	0	0	10	83	0	0	1	8		
4 (D)	0	37	23	62	2	5	0	0	4	11	25	68	5	14	3	8		
5 (E)	0	60	10	17	1	2	3	5	22	37	30	50	16	27	0	0		
6 (F)	1	216	160	74	14	6	39	18	0	0	172	80	2	1	90	42		
7 (G)	1	289	222	77	38	13	47	16	3	1	234	81	179	62	224	78		
8 (H)	0	128	76	59	11	9	3	2	14	11	85	66	1	1	84	66		
10 (K)	0	100	39	39	15	15	10	10	0	0	53	53	76	76	39	39		
12 (M)	0	50	41	82	7	14	7	14	3	6	43	86	43	86	22	44		
13 (N)	1	127	122	96	19	15	14	11	16	13	122	96	117	92	0	0		
14 (O)	1	544	130	24	56	10	178	33	251	46	376	69	494	91	254	47		
17 (S)	0	461	126	27	39	8	208	45	396	86	415	90	2	0	6	1		
18 (T)	1	192	74	39	21	11	69	36	5	3	114	59	128	67	58	30		
19 (U)	2	71	16	23	9	13	4	6	9	13	24	34	52	73	58	82		
20 (W)	3	165	97	59	20	12	7	4	0	0	109	66	97	59	56	34		
21 (X)	1	37	8	22	2	5	10	27	1	3	19	51	27	73	1	3		
22 (Y)	0	412	48	12	24	6	47	11	25	6	121	29	280	68	401	97		
23 (Z)	0	49	17	35	5	10	1	2	3	6	24	49	41	84	0	0		
24 (AC)	0	136	86	63	12	9	18	13	7	5	114	84	35	26	132	97		
Sum	12	3086	1304	42	296	10	667	22	759	25	2090	68	1595	52	1429	46		

c) VDNR	IKEU		Alla		NORS		RI1996		E30tal		E100år		Fiskdata		MålFiskart		MålFiske	
	n	n	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
1	0	79	45	57	8	10	9	11	6	8	63	80	10	13	77	97		
2	4	656	174	27	48	7	68	10	30	5	281	43	436	66	493	75		
3	3	271	103	38	16	6	47	17	28	10	143	53	138	51	108	40		
4	2	626	390	62	74	12	85	14	32	5	444	71	301	48	355	57		
5	3	1454	592	41	150	10	458	31	663	46	1159	80	710	49	396	27		
Sum	12	3086	1304	42	296	10	667	22	759	25	2090	68	1595	52	1429	46		

d) KSper	IKEU		Alla		NORS		RI1996		E30tal		E100år		Fiskdata		MålFiskart		MålFiske	
	n	n	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
1	6	94	93	99	13	14	26	28	11	12	94	100	69	73	26	28		
2	5	323	317	98	42	13	62	19	60	19	320	99	166	51	143	44		
3	1	292	291	100	30	10	47	16	28	10	291	100	138	47	141	48		
4	0	132	131	99	12	9	26	20	16	12	132	100	59	45	72	55		
Sum	12	841	832	99	97	12	161	19	115	14	837	100	432	51	382	45		
okänt	0	2245	472	21	199	9	506	23	644	29	1253	56	1163	52	1047	47		

Kalkningens målsjöar fanns i 18 län, och nio län representerades av en till tre IKEU-sjöar (Tabell 3b). Fördelningen av IKEU-sjöarna hade dock ingen koppling till antalet målsjöar i olika län. Det fanns till exempel bara två IKEU-sjöar i de fyra län som tillsammans kalkar 55 % av målsjöarna (14:Västra Götalands, 17:Värmlands, 22:Västernorrlands och 7:Kronobergs län). Alla IKEU-sjöarna låg i de fyra

sydligaste vattendistriktet (Tabell 3c), vilket var rimligt då målsjöarna i Bottenvikens vattendistrikt (VDNR 1) bara motsvarade 3 % av de kalkade målsjöarna. Uppgift om år för första kalkning fanns tyvärr bara för 841 (27 %) av 3086 målsjöar. Hälften av IKEU-sjöarna kalkades redan före 1982 (KSperiod 1, Tabell 3d) jämfört med bara 11 % av 841 målsjöar med känt år för första kalkning. Kalkstart under IKEU-tiden (KSperiod 4) förekom i ca 16 % av målsjöar med känt startår.

Fiskdata i sjökategorier

68 % av målsjöarna fanns med i minst en av de fyra källorna till fiskarters förekomst. Den vanligaste källan var NORS (42 %), följt av E100år (25 %), E30tal (22 %) och RI1996 (10%). Drygt hälften av målsjöarna hade minst en fiskart som biologiskt mål, och i nästan lika många målsjöar angavs någon form av fiske bland motiven för kalkning. Andelen målsjöar med fiskdata minskade gradvis med minskad sjöarea (Tabell 3a), medan andelen med fisk och/eller fiske som kalkningsmotiv var mer slumpvis fördelad i areaklasser. I sju av 18 kalkningslän fanns fiskdata från över 80 % av målsjöarna (Tabell 3b).

För Stockholms (1), Kronobergs (7), Skåne (12) och Hallands län (13) fanns provfisken från minst 75 % av målsjöarna i NORS, och provfisken gav också stora bidrag till fiskdata i Jönköpings (6) och Västerbottens län (24). För Värmlands län (17) var istället E100år den vanligaste källan till hög andel fiskdata. Fisk fanns med bland målarter för kalkning i mer än 75 % av målsjöarna i Blekinge (10), Västra Götalands (14) och Jämtlands län (23), trots att andelen målsjöar med fiskdata var betydligt lägre. Västmanlands (19) och Jämtlands län (23) hade höga andelar målsjöar med fiskemotiv för kalkning, jämfört med de andelar som hade fiskdata. Skillnader i andel målsjöar med fiskdata var generellt mindre mellan de fem vattendistrikten än mellan länen (Tabell 3c). Högst andel med fiskdata (80 %) noterades i distriktet med lägst och högst antal kalkade målsjöar (Bottenviken respektive Västerhavet). Fiskdata fanns som väntat i nästan alla målsjöar med känd period för kalkstart, eftersom år för första kalkning oftast hämtades ur databasen NORS. Andelen sjöar med utpekade fiskarter som kalkningsmål tenderade att vara högre än genomsnittet i de tidigast kalkade sjöarna, samtidigt som fiske verkade vara ett mindre vanligt motiv för kalkning (Tabell 3d).

Relativ förekomst av fiskarter

Vid årliga provfisken 1994-2007 fångades 19 fiskarter i de tolv IKEU-sjöarna. De vanligast förekommande arterna var abborre, gädda och mört. Dessa tre arter var ändå underrepresenterade i IKEU-sjöarna jämfört med provfiskade målsjöar och med målsjöar med minst en källa till fiskarters förekomst (Tabell 4). Samma tendens fanns för de något mindre vanliga arterna benlöja, braxen och sutare. Ett motsatt mönster med överrepresentation i IKEU-sjöarna noterades för elritsa, id, nors, röding, siklöja, stensimpa och öring, och möjligen även för bäckröding. Gers, sarv och sik förekom ungefär lika frekvent i IKEU-sjöar som i andra målsjöar. Detsamma gäller möjligen också lake och ål, två arter som var underrepresenterade i provfiskefångster generellt jämfört med andra källor till fiskdata. I det samlade datasetet från kalkningens målsjöar fanns ytterligare 22 fiskarter som aldrig påträffades vid provfisken i IKEU-sjöarna (Tabell 5). De flesta av dessa arter noterades bara i ett fåtal målsjöar, men björkna, gös, regnbåge och ruda hade uppenbarligen förekommit i minst 50 målsjöar eller minst 3 % av målsjöar med fiskdata. Den främmande arten regnbåge fanns dessutom med bland målarter i 73 sjöar, vilket motsvarade 5 % av sjöarna med minst en fiskart som motiv för kalkning. Den främmande signalkräftan fanns också med bland motiven för 50 av målsjöarna, att jämföras med flodkräfta som nämndes för 274 sjöar.

Fiskfaunans artrikedom

Antalet noterade fiskarter varierade från 0 i fyra provfiskade målsjöar i NORS till 21 i en sjö i Riksfiskinventeringen 1996. Artrikedomen per målsjö varierade både mellan fiskdatakällor och mellan sjökategorier. Medelvärde var 4,4 för 1304 sjöar i NORS, 6,3 för 296 sjöar i RI1996, 5,6 för 667 sjöar i E30tal, 5,1 för 759 sjöar i E100års, respektive 5,3 för 2090 sjöar som hade fiskdata från minst en av källorna. Artrikedomen ökade generellt när alla fiskdata beaktades, jämfört med de enskilda källorna. Vid parvisa jämförelser inom sjöar med fiskdata från mer än en källa, blev den totala artrikedomen i genomsnitt 1,5-2,4 arter fler än via enskilda källor. I de 12 IKEU-sjöarna noterades i genomsnitt 5,4 fiskarter någon gång vid provfisken, jämfört med 5,8 arter när data från fler källor beaktades.

Tabell 4: Förekomst av 19 fiskarter som fångades i minst en IKEU-sjö vid årliga provfisken 1994-2007, samt artenas förekomst i de målsjöar som fanns med i olika dataset. n är antal sjöar och % är relativ förekomst. Den relativa förekomsten baseras på totalt 12 IKEU-sjöar, respektive totala antalet målsjöar i NORS (n = 1304), RI1996 (n = 296), E30tal (n = 667) respektive E100år (n = 759), i minst ett av de fyra fiskdataseten (Fiskdata, n = 2090), eller bland målsjöar med minst en fiskart som motiv för kalkning (Målfiskart, n = 1595). Arter markerade med turkost eller gult var under- respektive överrepresenterade i IKEU-sjöarna jämfört med både NORS och Fiskdata. De grönmarkerade arterna lake och ål var snarare underrepresenterade i provfiskefångster (IKEU och NORS) jämfört med andra källor till fiskarters förekomst.

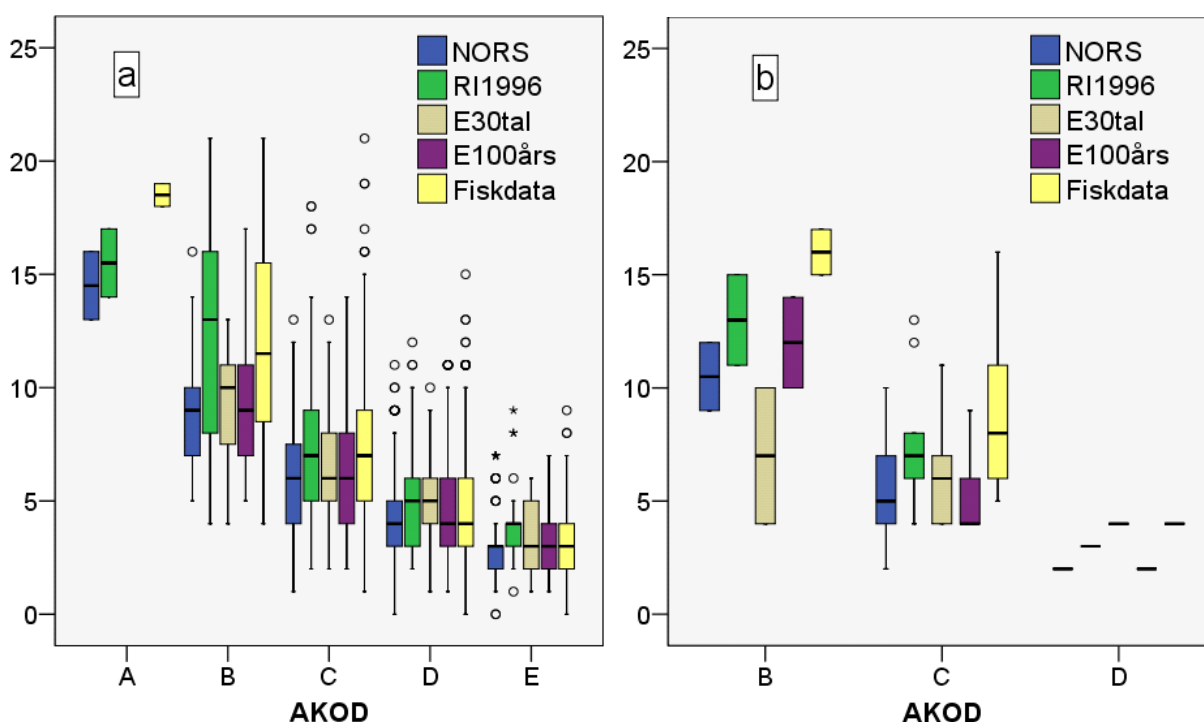
Fiskart	IKEU		NORS		RI1996		E30tal		E100år		Fiskdata		Målfiskart	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Abborre	10	83	1240	95	287	97	662	99	746	98	2019	97	639	40
Benlöja	1	8	178	14	55	19	187	28	155	20	375	18	42	3
Braxen	2	17	388	30	105	35	161	24	109	14	559	27	85	5
Bäckröding	1	8	10	1	1	0	6	1	0	0	17	1	5	0
Elritsa	4	33	50	4	35	12	53	8	135	18	228	11	46	3
Gers	3	25	360	28	69	23	97	15	92	12	492	24	35	2
Gädda	8	67	1011	78	274	93	618	93	634	84	1751	84	567	36
Id	2	17	4	0	3	1	7	1	19	3	31	1	3	0
Lake	2	17	201	15	143	48	328	49	274	36	676	32	60	4
Mört	8	67	1020	78	248	84	572	86	599	79	1705	82	1166	73
Nors	2	17	90	7	27	9	74	11	100	13	198	9	48	3
Röding	3	25	62	5	31	10	14	2	28	4	103	5	73	5
Sarv	2	17	187	14	40	14	34	5	40	5	249	12	16	1
Sik	1	8	148	11	63	21	79	12	79	10	252	12	46	3
Siklöja	3	25	170	13	74	25	86	13	85	11	301	14	52	3
Stensimpa	2	17	7	1	4	1	0	0	18	2	27	1	5	0
Sutare	1	8	242	19	101	34	85	13	0	0	363	17	78	5
Ål	1	8	16	1	85	29	464	70	462	61	777	37	234	15
Öring	6	50	143	11	111	38	179	27	262	35	536	26	326	20

Tabell 5: Förekomst av de resterande 22 fiskarter som förekom i minst en målsjö enligt någon av de använda källorna till fiskarters förekomst. n är antal sjöar med förekomst och % är relativ förekomst baserat på totalt antal sjöar i respektive dataset (se Tabell 4). Arter i turkost noterades i minst 3 % av sjöarna i minst ett dataset.

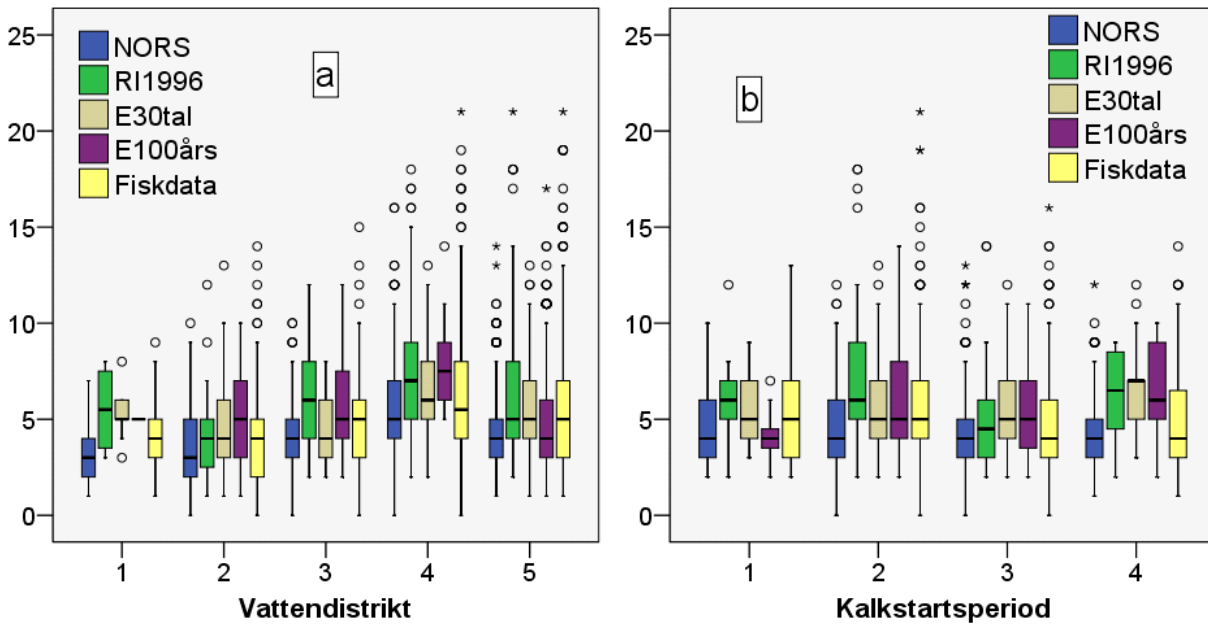
Fiskart	IKEU		NORS		RI1996		E30tal		E100år		Fiskdata		Målfiskart	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Bergsimpa	0	0	18	1	1	0	0	0	0	0	18	1	1	0
Björkna	0	0	47	4	28	9	17	3	10	1	84	4	8	1
Bäcknejonöga	0	0	0	0	2	1	4	1	9	1	15	1	1	0
Faren	0	0	11	1	6	2	3	0	0	0	11	1	13	1
Färna	0	0	1	0	4	1	0	0	6	1	11	1	1	0
Groplöja	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0
Gös	0	0	75	6	49	17	2	0	0	0	105	5	31	2
Harr	0	0	3	0	5	2	1	0	0	0	9	0	9	1
Hornsimpa	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Kanadaröding	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Karp	0	0	3	0	1	0	2	0	0	0	6	0	8	1
Lax	0	0	1	0	2	1	1	0	6	1	10	0	1	0
Mal	0	0	2	0	3	1	0	0	5	1	8	0	11	1
Nissöga	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0
Regnbåge	0	0	21	2	30	10	0	0	2	0	50	2	73	5
Ruda	0	0	17	1	27	9	19	3	13	2	70	3	3	0
Sandkrypare	0	0	5	0	2	1	0	0	0	0	5	0	2	0
Småspigg	0	0	2	0	1	0	0	0	9	1	12	1	0	0
Spleik	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Storspigg	0	0	1	0	1	0	0	0	6	1	7	0	0	0
Stäm	0	0	0	0	1	0	3	0	1	0	5	0	0	0
Vimma	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

I varje fiskdataset ökade artrikedomen med sjöns storlek, både för det totala materialet (Figur 2a) och för ett urval av 16 målsjöar med data i alla fyra källor till fiskarters förekomst (Figur 2b). Inom storleksklasser tenderade artrikedomen att vara högre i RI1996 än i de andra källorna. Oavsett datakälla tenderade artrikedomen att vara något högre i Södra Östersjön (4) jämfört med de andra vattendistrikten (Figur 3a). Däremot noterades ingen generell skillnad mellan kalkstartsperioder (Figur 3b).

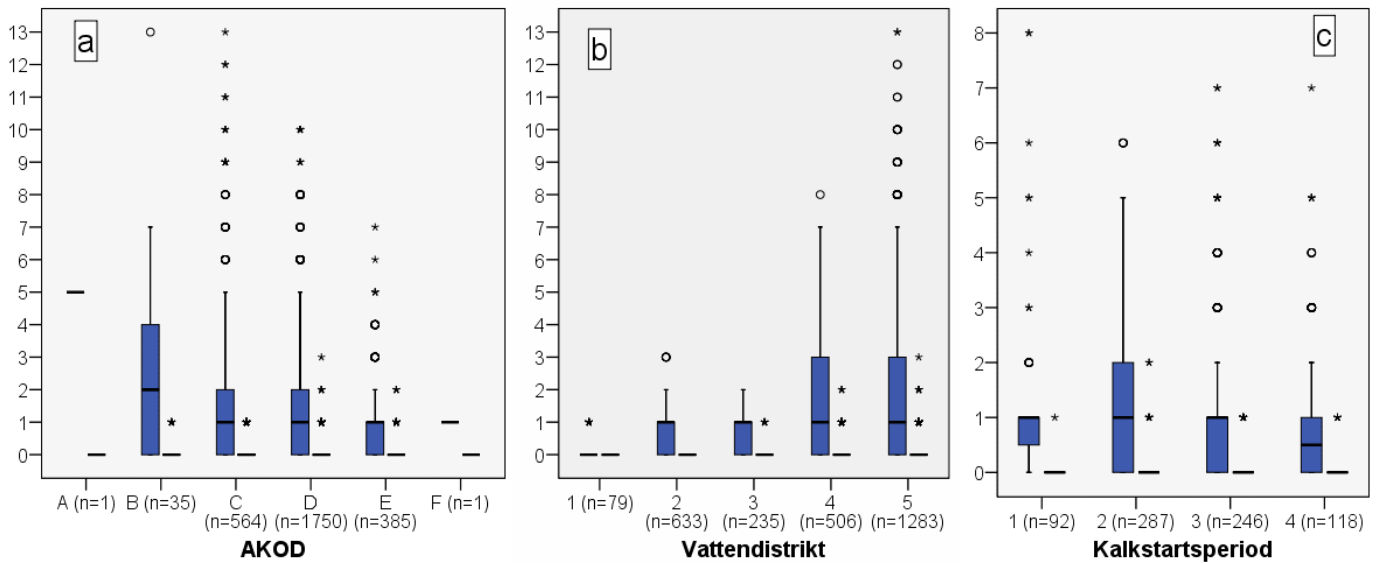
Variationen i artrikedom mellan sjögrupper återspeglades delvis i de biologiska motiven för kalkning (Figur 4). Antalet målfiskarter var högst i Södra Östersjöns (4) och Västerhavets vattendistrikt (5), och tenderade att öka med sjöns storlek. De allra flesta målsjöarna hade inga främmande fisk- eller kräftarter som motiv för kalkning. Mer än en främmande art angavs bara för några ganska små sjöar (AKOD = D och E) i vattendistrikt 4 och 5. Målsjöar med främmande målarter förkom sporadiskt i alla kalkstartsperioder. För de 12 IKEU-sjöarna angavs 0-5 målfiskarter (medelvärde 1,6), men ingen främmande fisk- eller kräftart.



Figur 2: Fördelning av antal noterade fiskarter per målsjö i olika dataset och olika kategorier av sjöarea. a) alla sjöar med fiskdata i minst en datakälla (n = 2-1345 sjöar per box). b) endast sjöar med fiskdata i alla fyra källor (n = 2 i AKOD B, 13 i AKOD C respektive 1 i AKOD D).



Figur 3: Fördelning av antal noterade fiskarter per målsjö i olika dataset och a) vattendistrikt (n = 6-1159 sjöar per box) respektive b) kalkstartsperiod (n = 11-320 sjöar per box).



Figur 4: Fördelning av antal fiskarter (vänstra boxar) respektive antal främmande fisk- och kräftarter (högra boxar) bland motiven för kalkning, i grupper av målsjöar baserat på a) areakod, b) vattendistrikt och c) kalkstartsperiod. Inom parentes anges antalet sjöar med data i respektive grupp.

Biologiska skillnader mellan sjökategori

Standardiserade provfisken hade utförts i 709 av målsjöarna under 1999-2008. Fiskindexet EQR8 hade ett medelvärde på 0,47, precis över gränsen mellan god och måttlig ekologisk status (Tabell 6). För målsjöarna som helhet fanns inga signifikanta skillnader i EQR8-värden mellan storleksklasser eller kalkstartsperioder, men däremot varierade indexvärdena mellan vattendistrikt. Majoriteten av målsjöarna i de två nordligaste distrikten hade värden under gränsen mellan god och måttlig ekologisk status, och det var tvärtom i distrikt 3 och 4 (Figur 5). De 12 IKEU-sjöarna uppvisade inga extrema värden inom respektive sjökategori.

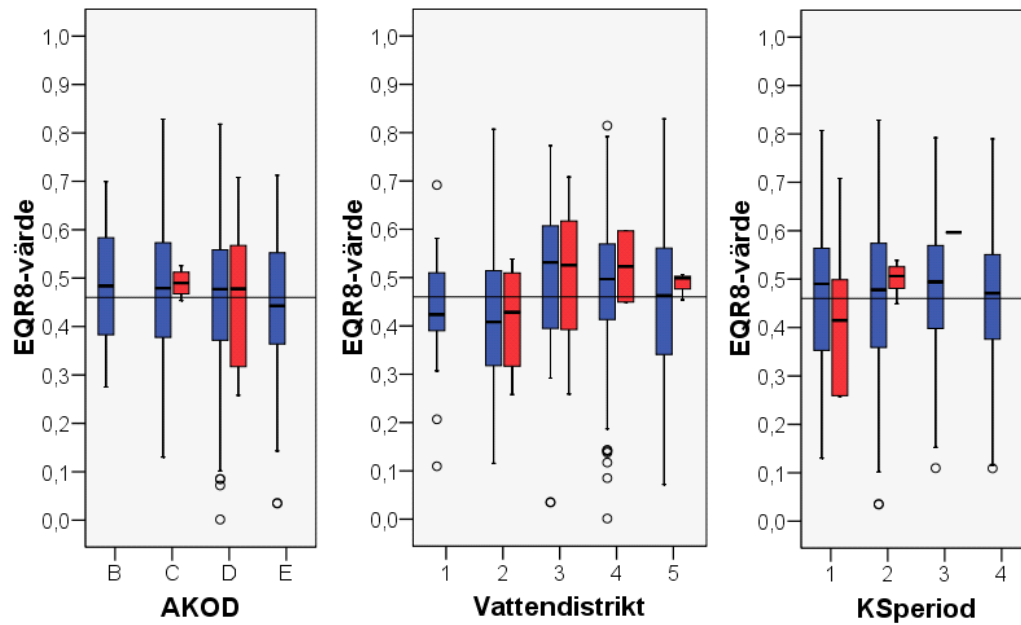
Tre av fiskindikatorerna belyste diversitet av inhemska arter ur olika perspektiv, vilket avspeglades i varierande fördelningar av standardiserade avvikelser från referensvärden (Tabell 6, Figur 6). Antalet arter (niart) avvek minst från referensvärden i de minsta sjöarna, i det nordligaste distriktet och i sjöar med senast kalkstart. IKEU-sjöarna hade störst avvikelser från referensvärden i sjöstorlek C (100-1000 ha), i Västerhavets vattendistrikt (5), och i kalkstart före 1982. När diversiteten viktades för antal individer (SDn) var avvikelsen istället minst i Södra Östersjöns vattendistrikt, och med viktning baserad på biomassa låg medianavvikelsen nära noll i både distrikt 1 och 4. Bland IKEU-sjöarna blev avvikelsen störst i de fyra sjöarna i distrikt 2 (Tryssjön, Bösjön, Nedre Särmmanssjön och Källsjön), där både antalet arter och de två diversitetsindexen hade oväntat låga värden.

Indikatorerna för fisksamhällets biomassa, abundans och medelvikt varierade signifikant mellan vattendistrikt, men inte mellan kategorier av sjöstorlek eller kalkstartsperiod (Tabell 6, Figur 7). Majoriteten av målsjöarna i distrikt 1 hade medianvärden över referensvärdena medan distrikt 4 hade en stor andel målsjöar med negativa avvikelser i både abundans och biomassa. Alla IKEU-sjöar i distrikt 4 och 5 hade lägre abundans och biomassa än de sjöspecifika referensvärdena. Medelvikten var istället lägre än förväntat i IKEU-sjöarna i distrikt 2 och 3.

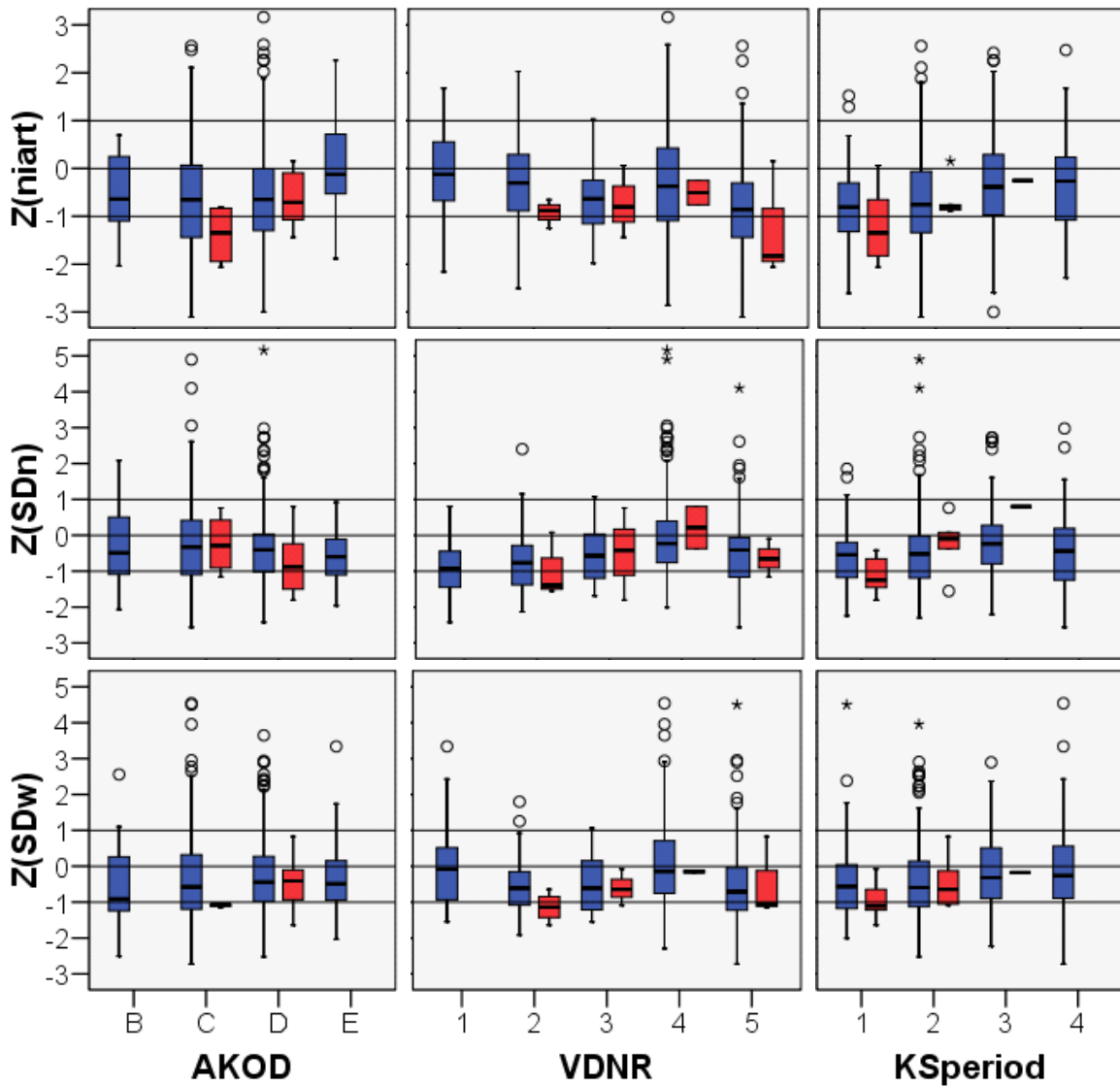
De sista två indikatorerna var bara relevanta i sjöar med abborre, respektive sjöar med både abborre och minst en art av karpfiskar. Andelen potentiellt fiskätande abborrfiskar (andpis) var generellt högre än sjöspecifika referensvärden, men avvikelsen varierade signifikant mellan vattendistrikt (Tabell 6, Figur 8). De fem IKEU-sjöarna i distrikt 4 och 5 utmärkte sig genom att de flesta hade negativa indikatorvärden. Kvoten mellan abborre och karpfiskar (AbCyW) varierade signifikant mellan både sjöstorlek, vattendistrikt och kalkstartsperiod. Den största avvikelsen från referensvärden fanns i Bottenvikens vattendistrikt (1), där kvoten i de flesta sjöar var lägre än referensvärdet. De mest avvikande IKEU-sjöarna hade extremt höga kvoter, och de fanns i Norra Östersjöns vattendistrikt (3) och bland sjöar med kalkstart före 1982.

Tabell 6: Antal målsjöar med mätvärden i olika variabler, totalt och i kategorier av sjöstorlek, vattendistrikt och kalkstartsperiod. Resultat av Kruskal-Wallis-tester för skillnader mellan kategorier visas som Chi-2-värden och asymptotiska P-värden. P-värden mindre än 0,05 är gulmarkerade. Se närmare beskrivning av variablerna i Tabell 1.

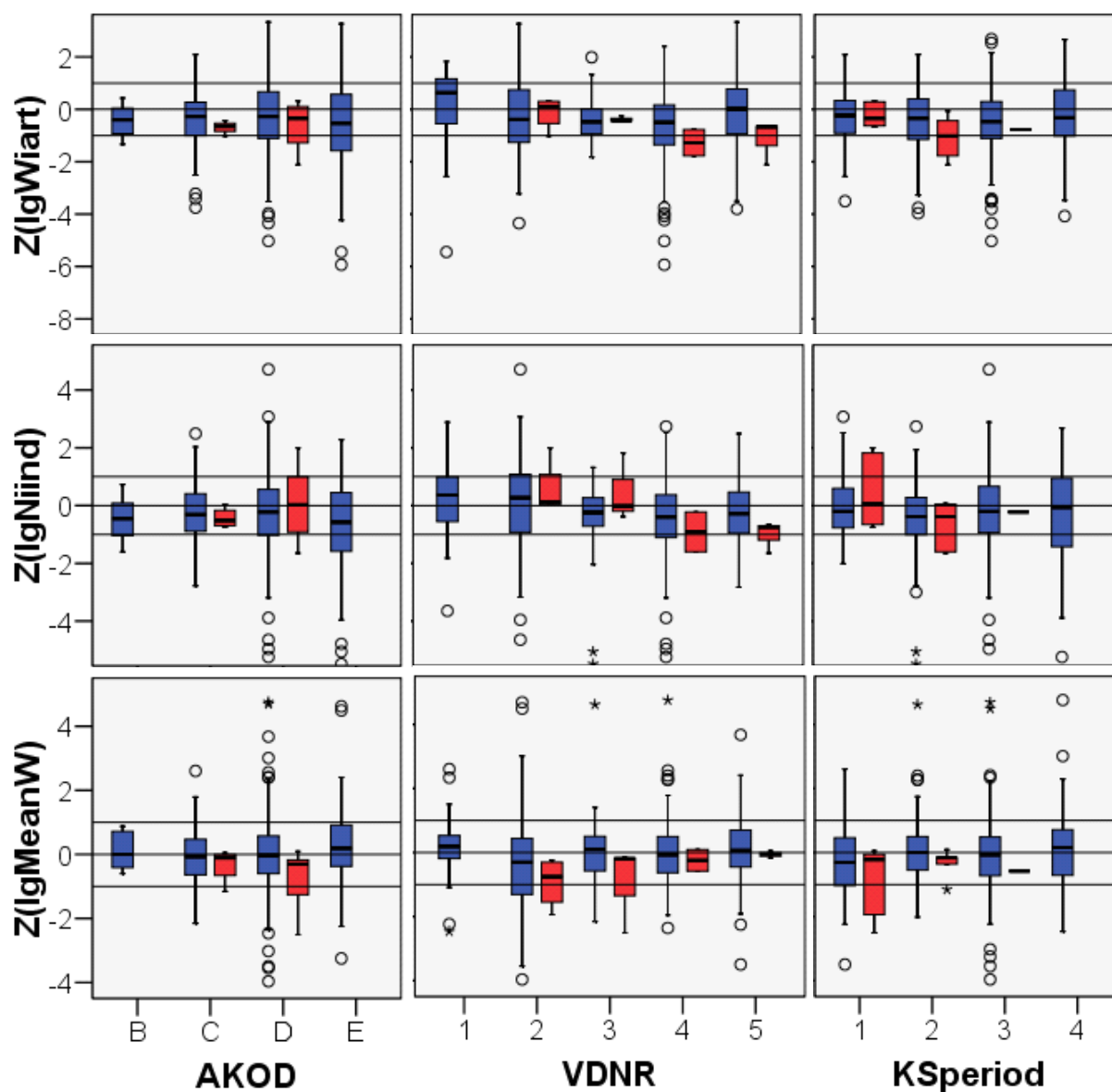
Variabel	N totalt	Sjöstorlek (AKOD)						Vattendistrikt (VDNR)						Kalkstartsperiod						
		N per kategori				K-W-test		N per kategori					K-W-test		N per kategori				K-W-test	
		A+B	C	D	E+F	Chi-2 (df=3)	Asymp. Sig.	1	2	3	4	5	Chi-2 (df=4)	Asymp. Sig.	1	2	3	4	Chi-2 (df=3)	Asymp. Sig.
EQR8	709	8	162	474	65	2,22	0,528	31	89	38	274	277	27,6	< 0,001	53	225	206	88	2,65	0,448
Z(niart)	709	8	162	474	65	24,5	< 0,001	31	89	38	274	277	46,8	< 0,001	53	225	206	88	23,7	< 0,001
Z(SDn)	706	8	162	473	63	3,85	0,278	31	88	37	273	277	49,5	< 0,001	53	224	205	88	13,8	0,003
Z(SDw)	706	8	162	473	63	2,42	0,490	31	88	37	273	277	52,4	< 0,001	53	224	205	88	11,8	0,008
Z(lgWiart)	709	8	162	474	65	2,49	0,478	31	89	38	274	277	33,5	< 0,001	53	225	206	88	2,32	0,508
Z(lgNiind)	709	8	162	474	65	4,28	0,232	31	89	38	274	277	19,6	0,001	53	225	206	88	6,75	0,080
Z(lgMeanW)	706	8	162	473	63	4,57	0,206	31	88	37	273	277	19,7	0,001	53	224	205	88	7,14	0,068
Z(andpis)	670	8	161	453	48	1,81	0,613	29	62	35	270	274	58,1	< 0,001	48	218	191	82	1,25	0,742
Z(lgAbCyW)	589	8	153	391	37	8,93	0,030	19	40	32	260	238	33,1	< 0,001	45	194	163	73	20,3	< 0,001
SO4 mekv/l	3086	40	602	1989	455	4,33	0,228	79	656	271	626	1454	1457,1	< 0,001	94	323	292	132	10,5	0,015
Ca/Mg-kvot	3086	40	602	1989	455	77,8	< 0,001	79	656	271	626	1454	411	< 0,002	94	323	292	132	8,42	0,038
TOC mg/l	3086	40	602	1989	455	49,6	< 0,001	79	656	271	626	1454	960	< 0,001	94	323	292	132	45,1	< 0,001
ALNA µg/l	3086	40	602	1989	455	110,2	< 0,001	79	656	271	626	1454	530	< 0,001	94	323	292	132	25,1	< 0,001
pH 1860	3052	40	599	1970	443	68,1	< 0,001	77	655	269	622	1429	256	< 0,001	92	323	290	131	6,16	0,104
pH 2007	3052	40	599	1970	443	60,7	< 0,001	77	655	269	622	1429	361	< 0,001	92	323	290	131	7,06	0,070
dpH	3052	40	599	1970	443	5,05	0,168	77	655	269	622	1429	689	< 0,001	92	323	290	131	8,41	0,038



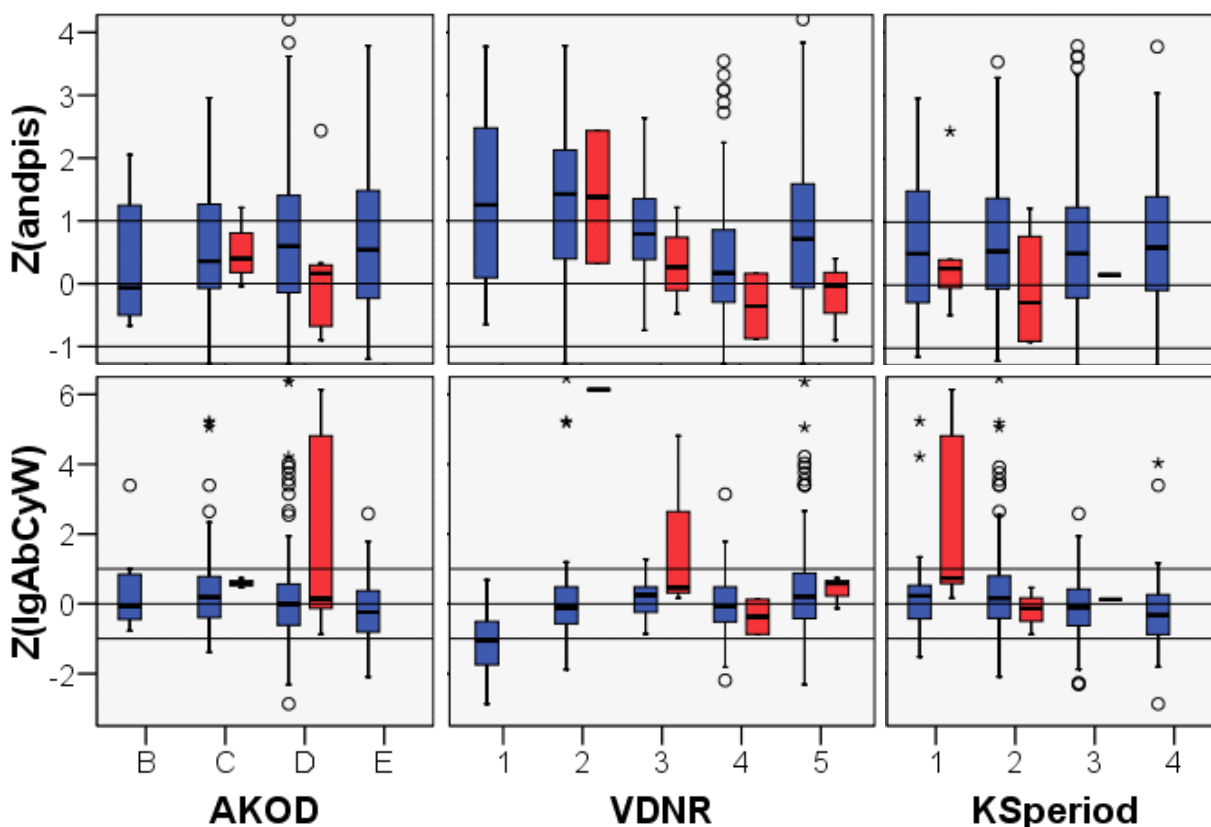
Figur 5: Fördelning av EQR8-värden i 12 IKEU-sjöar (röda boxar) och resterande målsjöar (blåa boxar) med provfiskedata från 1999-2008, inom grupper baserat på areakod, vattendistrikt och kalkstartsperiod. Den horisontella referenslinjen visar gränsvärdet mellan god och måttlig ekologisk status.



Figur 6: Fördelning av Z-värden för diversitetsrelaterade fiskindikatorer i 12 IKEU-sjöar (röda boxar) och resterande målsjöar (blåa boxar) med provfiskedata från 1999-2008, inom grupper baserat på areakod, vattendistrikt och kalkstartsperiod. De horisontella linjerna vid -1, 0 och 1 motsvarar medelvärde \pm 1 standardavvikelser i indikatorernas referensfördelningar.



Figur 7: Fördelning av Z-värden för indikatorer på fisksamhällets totala biomassa (överst), abundans (mitten) och medelvikt (nederst), i 12 IKEU-sjöar (röda boxar) och resterande målsjöar (blåa boxar) med provfiskedata från 1999-2008, inom grupper baserat på areakod, vattendistrikt och kalkstartsperiod. De horisontella linjerna vid -1, 0 och 1 motsvarar medelvärde \pm 1 standardavvikelse i indikatorernas referensfördelningar.

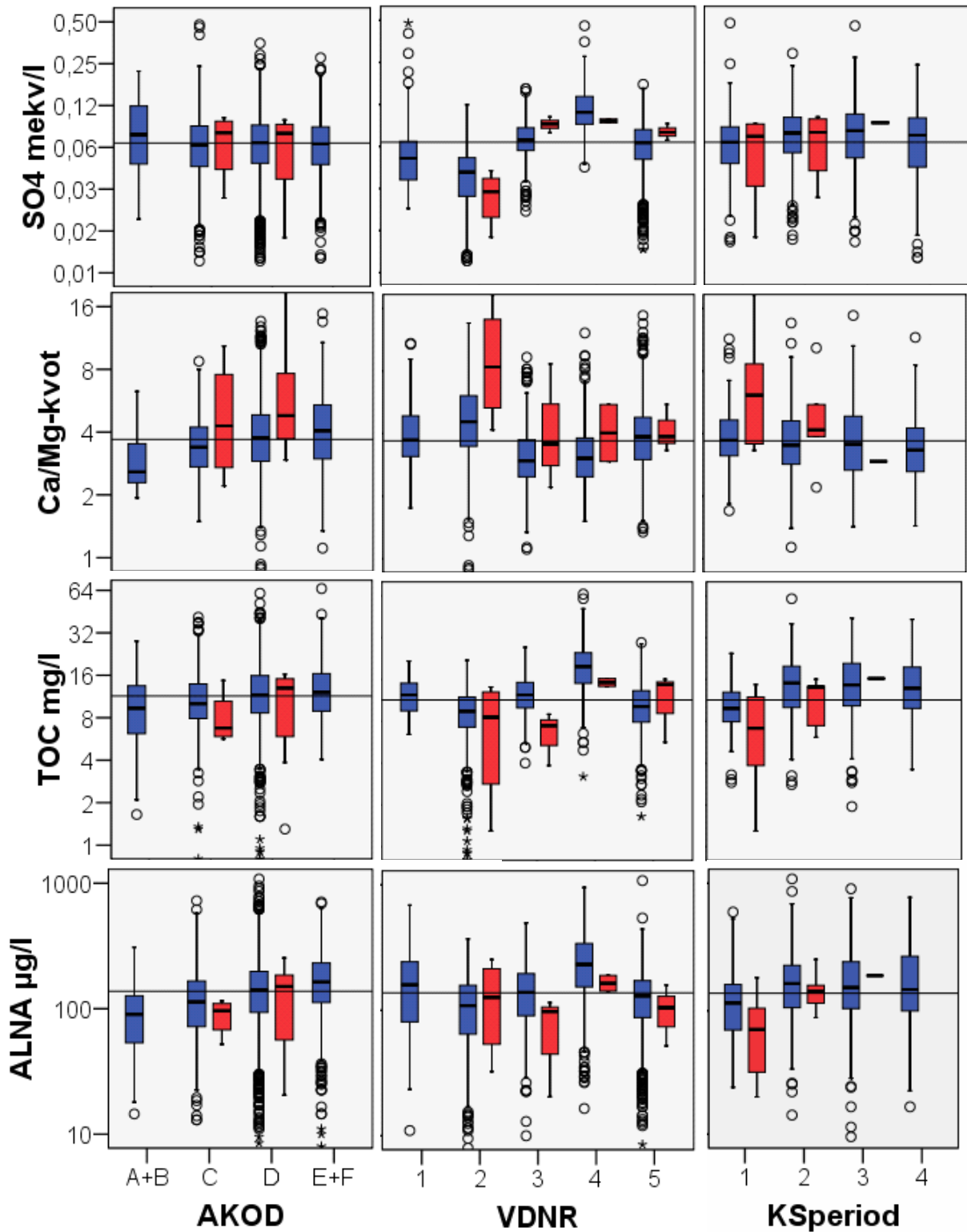


Figur 8: Fördelning av Z-värden för andel potentiellt fiskätande abborfiskar (överst) och kvoten mellan abborre och karpfiskar (nederst), i 12 IKEU-sjöar (röda boxar) och resterande målsjöar (blåa boxar) med provfiskedata från 1999-2008, inom grupper baserat på areakod, vattendistrikt och kalkstartsperiod. De horisontella linjerna vid -1, 0 och 1 motsvarar medelvärde \pm 1 standardavvikelse i indikatorernas referensfördelningar.

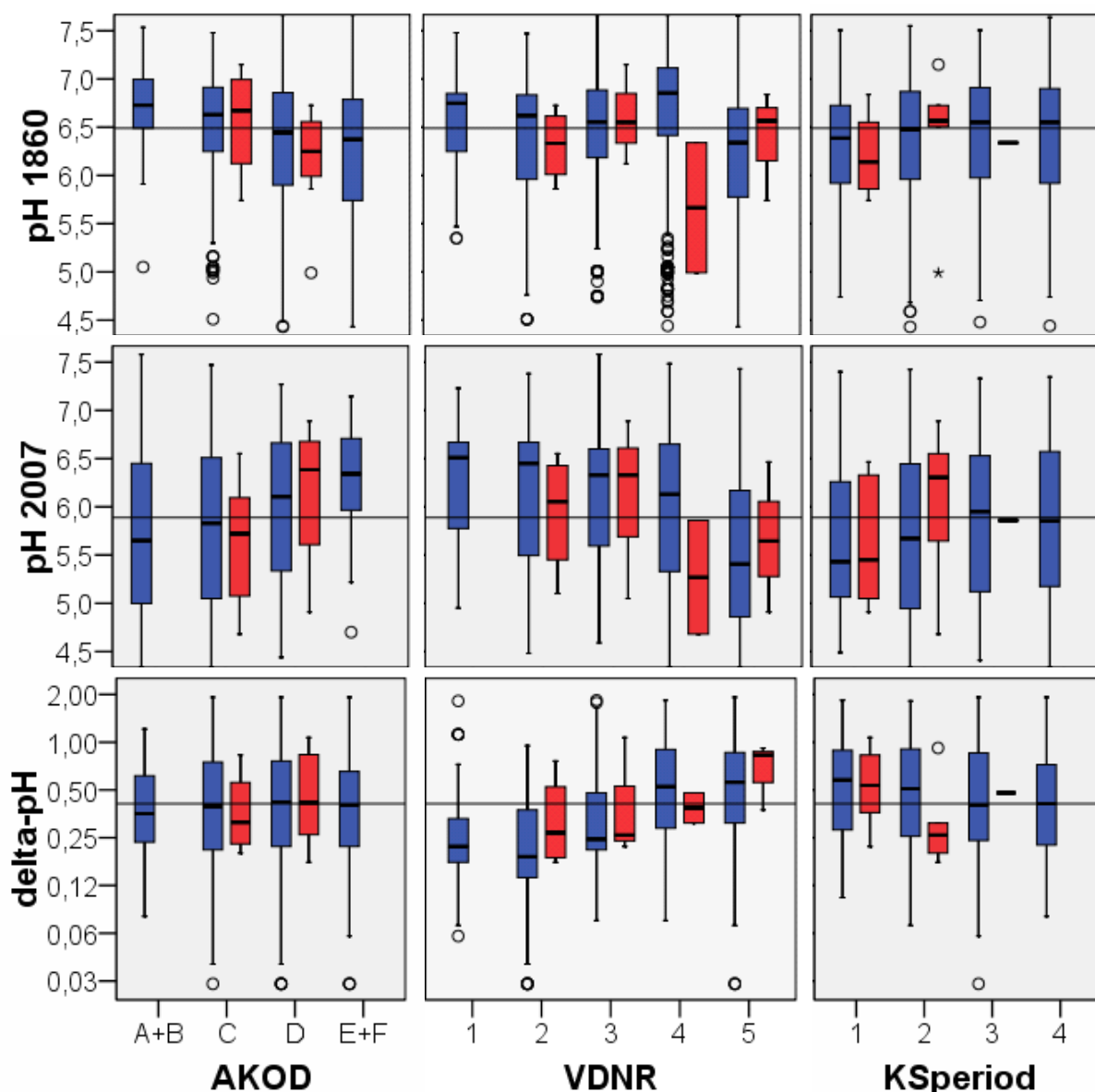
Vattenkemiska skillnader mellan sjökategorier

Målsjöarnas vattenkemi varierade, liksom fiskfaunans status, mellan vattendistrikt (Tabell 6, Figur 9). Dessutom varierade alla utvalda variabler mellan sjöstorlek och/eller kalkstartsperiod. Kalcium/magnesium-kvoten (Ca/Mg) tenderade liksom halter av totalt organiskt kol (TOC) och syralösligt aluminium (ALNA) att minska med större sjöarea. Målsjöar i Södra Östersjöns vattendistrikt (4) hade högre halter av sulfat (SO₄), TOC och ALNA jämfört med de andra distrikten. I Bottenhavets vattendistrikt (2) var Ca/Mg-kvoten generellt högre än i resten av målsjöarna, medan halterna av SO₄, TOC och ALNA var lägre, och de fyra IKEU-sjöarna var med bland de mest extrema målsjöarna i distriktet. Sjöar med uppgift om kalkstartsår hade något högre värden av SO₄, TOC och ALNA än resterande målsjöar, speciellt i sjöar med kalkstart efter 1982. Ca/Mg-kvoten var istället något lägre i de senare kalkade sjöarna. Bland de tidigast kalkade målsjöarna utmärkte sig IKEU-sjöarna med höga värden i Ca/Mg-kvot och låga halter av TOC och ALNA.

De uppskattade försurningsvariablerna varierade också mellan sjökategorier (Tabell 6, Figur 10). Det fanns ingen skillnad i försurning (delta-pH) mellan sjöarnas storleksklasser, men de uppskattade och kalkningskorrigerade pH-värdena 1860 och 2007 ökade med större sjöarea. IKEU-sjöarna passade väl in i det generella mönstret. Västerhavets vattendistrikt (5) uppskattades generellt ha haft lägre pH-värden både 1860 och 2007 än de andra distrikten. Inom alla distrikt fanns några målsjöar med extremt låga pH-värden, till exempel de två IKEU-sjöarna i Södra Östersjön (4). Delta-pH var betydligt lägre i distrikt 1-3 jämfört med distrikt 4 och 5. Medianerna av delta-pH var också högre i kalkstartsperiod 1-2 jämfört med period 3-4. Fyra av de fem IKEU-sjöarna med kalkstart 1982-1985 hade dock extremt låga värden i delta-pH.



Figur 9: Fördelning av uppmätta kemiska variabler i 12 IKEU-sjöar (röda boxar) och resterande målsjöar (blåa boxar), inom grupper baserat på areakod, vattendistrikt och kalkstartsperiod. De horisontella linjerna representerar medianvärdet för alla 3086 målsjöar. Observera de logaritmiska skalorna för kemivariablerna!



Figur 10: Fördelning av försurningsvariabler via MAGIC-bibliotek i 12 IKEU-sjöar (röda boxar) och resterande målsjöar (blåa boxar), inom grupper baserat på areakod, vattendistrikt och kalkstartperiod. De horisontella linjerna representerar medianvärdet för de 3064 målsjöar som kunde matchas mot sjöar i MAGIC-biblioteket. Observera den logaritmiska skalan för delta-pH!

Skillnader mellan IKEU-sjöar och resten av målsjöarna

Det fanns ingen signifikant skillnad i EQR8 mellan 12 IKEU-sjöar och resten av målsjöarna, men variationen var något lägre i IKEU-sjöarna (Tabell 7). De flesta av de standardiserade fiskindikatorerna (Z-värdena) uppvisade inte heller några signifikanta skillnader mellan IKEU-sjöarna och resten. Enda undantaget var fisksamhällets medelvikt (MeanW) som var signifikant lägre i IKEU-sjöarna. Den genomsnittliga avvikelser från referensvärdet noll låg oftast med god marginal inom ± 1 standardavvikelse. IKEU-sjöarna hade en medelavvikelse på +1,34 i kvoten mellan abborre och karpfiskar (AbCyW), men variationen var hög inom de nio IKEU-sjöar som hyste både abborre och karpfiskar. Därför var kvoten inte signifikant högre än i de övriga 580 målsjöar där kvoten kunde beräknas. Differensen mellan max- och minvärden var annars generellt lägre i IKEU-sjöarna än i resten av målsjöarna, både för indexet EQR8 och för enskilda indikatorer på fiskfaunans struktur och funktion.

Det fanns oftast ingen signifikant skillnad i vattenkemi- och försurningsvariabler mellan 12 IKEU-sjöar och resten av målsjöarna (Tabell 8). Enda undantaget var kvoten mellan kalcium- och magnesiumhalt, där både medel, min- och maxvärden var högre i IKEU-sjöarna. Detta indikerar att

IKEU-sjöarna kalkas mer än genomsnittet av målsjöar. För övriga variabler tenderade medelvärden, standardavvikelser och variationsbredd att vara lägre i IKEU-sjöarna än i resten av sjöarna.

Tabell 7: Deskriptiv statistik för EQR8 och fiskindikatorer, och Mann-Whitney-tester av skillnader mellan 12 IKEU-sjöar och resten av målsjöarna. Se beskrivning av variablerna i Tabell 1.

Variabel	Grupp	N	Mean	SD	Min	Max	Mean Rank	Mann-Whitney U	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
EQR8	12 IKEU	12	0,47	0,13	0,26	0,71	359	4129	-0,08	0,940
	Resten	697	0,47	0,15	0,00	0,83	355			
	Total	709	0,47	0,15	0,00	0,83				
Z(niart)	12 IKEU	12	-0,88	0,69	-2,06	0,15	287	3361,5	-1,17	0,243
	Resten	697	-0,54	1,02	-3,11	3,16	356			
	Total	709	-0,54	1,02	-3,11	3,16				
Z(SDn)	12 IKEU	12	-0,60	0,88	-1,80	0,80	314	3693	-0,67	0,501
	Resten	694	-0,39	1,00	-2,56	5,16	354			
	Total	706	-0,39	1,00	-2,56	5,16				
Z(SDw)	12 IKEU	12	-0,67	0,68	-1,64	0,82	282	3306	-1,22	0,221
	Resten	694	-0,32	1,08	-2,73	4,54	355			
	Total	706	-0,32	1,08	-2,73	4,54				
Z(lgWiart)	12 IKEU	12	-0,63	0,74	-2,11	0,32	297	3489	-0,99	0,325
	Resten	697	-0,41	1,66	-16,7	3,33	356			
	Total	709	-0,42	1,65	-16,7	3,33				
Z(lgNiind)	12 IKEU	12	-0,10	1,11	-1,64	1,99	373	3972	-0,30	0,765
	Resten	697	-0,28	1,24	-6,98	4,72	355			
	Total	709	-0,28	1,24	-6,98	4,72				
Z(lgMeanW)	12 IKEU	12	-0,60	0,83	-2,50	0,09	236	2758	-2,01	0,045
	Resten	694	0,01	1,01	-3,96	4,76	356			
	Total	706	0,00	1,01	-3,96	4,76				
Z(andpis)	12 IKEU	10	0,25	1,00	-0,90	2,44	256	2503	-1,31	0,190
	Resten	660	0,70	1,09	-1,47	4,21	337			
	Total	670	0,69	1,09	-1,47	4,21				
Z(lgAbCyW)	12 IKEU	9	1,34	2,42	-0,87	6,14	386	1794	-1,61	0,107
	Resten	580	0,08	1,08	-2,87	6,47	294			
	Total	589	0,10	1,12	-2,87	6,47				

Tabell 8: Deskriptiv statistik för några vattenkemi- och försurningsvariabler, och Mann-Whitney-tester av skillnader mellan 12 IKEU-sjöar och resten av målsjöarna. Se beskrivning av variablerna i Tabell 1.

Variabel	Grupp	N	Mean	SD	Min	Max	Mean Rank	Mann-Whitney U	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
SO4 mekv/l	12 IKEU	12	0,068	0,031	0,014	0,102	1577	18043	-0,13	0,896
	Resten	3074	0,073	0,039	0,010	0,479	1543			
	Total	3086	0,073	0,039	0,010	0,479				
Ca/Mg-kvot	12 IKEU	12	6,36	4,78	2,21	19,5	2049	12381	-1,97	0,049
	Resten	3074	4,04	1,68	0,88	14,8	1542			
	Total	3086	4,05	1,71	0,88	19,5				
TOC mg/l	12 IKEU	12	10,1	5,2	1,3	16,3	1243	14836	-1,17	0,241
	Resten	3074	12,8	6,5	0,5	65,9	1545			
	Total	3086	12,8	6,5	0,5	65,9				
ALNA µg/l	12 IKEU	12	120	69	21	254	1238	14782	-1,19	0,235
	Resten	3074	160	113	7	1702	1545			
	Total	3086	160	112	7	1702				
pH 1860	12 IKEU	12	6,30	0,58	4,99	7,15	1359	16233,5	-0,66	0,510
	Resten	3040	6,37	0,66	4,43	7,80	1527			
	Total	3052	6,37	0,66	4,43	7,80				
pH 2007	12 IKEU	12	5,80	0,73	4,7	6,89	1464	17484,5	-0,25	0,804
	Resten	3040	5,83	0,80	4,32	7,58	1527			
	Total	3052	5,83	0,80	4,3	7,58				
dpH	12 IKEU	12	0,50	0,31	0,18	1,07	1381	16488	-0,58	0,565
	Resten	3040	0,54	0,41	0,03	1,92	1527			
	Total	3052	0,54	0,41	0,03	1,92				

Diskussion

De viktigaste slutsatserna av denna utvärdering var; 1) att sjöars storlek och geografiska läge måste beaktas vid utvärdering av kalkningens effekter på både biologi och vattenkemi, och 2) att de tolv mest välstuderade IKEU-sjöarna inte utgjorde något slumpmässigt urval av målsjöarna i dagens kalkningsverksamhet. Jämförelser mellan målsjögrupper och IKEU-sjöarnas representativitet behandlas separat i den följande diskussionen. Därefter följer några avsnitt om begränsningar i de tillgängliga dataseten, samt om återstående frågor och förslag inför framtiden.

Biologisk och kemisk variation inom och mellan målsjögrupper

Den kommande rapporten om målsjöinventeringen 2007-2008 fokuserar på försurningsbedömning via alternativa dataunderlag och metoder (Fölster opublicerat manuskript). Den tidigare karaktäriseringen av kalkningens målsjöar kompletterades nu genom analyser av hur fiskdata, vattenkemi och försurningsvariabler varierade inom och mellan kategorier av sjöstorlek, vattendistrikt och år för första kalkning.

Många tidigare studier har illustrerat sjöareans betydelse för fiskfaunans artrikedom, och arean behövs därför tillsammans med andra miljöfaktorer för att uppskatta referensvärdet i en given sjö (Holmgren m.fl. 2007). Artrikedomen ökade som väntat med ökad sjöarea, även om variationen var stor inom storleksklasser, både inom och mellan olika källor till fiskarters förekomst. Fiskindexet EQR8 och de standardiserade indikatorvärdena förväntades däremot inte variera naturligt mellan storleksklasser. Den tydligaste skillnaden mellan sjögrupper fanns i antal inhemska arter. Målsjöarna tenderade att ha lägre värden än förväntat i alla utom de allra minsta sjöarna (< 10 ha). Det indikerade att kalkningen inte riktigt hade återskapat den biologiska mångfald som fanns innan försurningen. De flesta kemi- och försurningsvariablerna varierade också mellan storleksklasser, vilket antydde att såväl kemiska som biologiska komponenter behöver relateras till objekt- eller typspecifika referensvärden.

Målsjöarnas fiskartersrikedom var generellt något högre i Södra Östersjön jämfört med de andra vattendistrikten. Det sammanfaller delvis med resultat från en tidigare indelning av Sverige i fyra regioner (Schreiber m.fl. 2003). Fiskarters varierande utbredning beror delvis på skillnader i deras invandringshistoria. En hög regional artrikedom av fisk i sydöstra Sverige jämfört med andra regioner (Wallin 2002) kan därför ha bidragit till relativt hög lokal artrikedom i enskilda sjöar i Södra Östersjöns vattendistrikt. Signifikanta skillnader mellan vattendistrikt fanns också för fiskindexet EQR8 och alla de standardiserade fiskindikatorerna. Möjligen indikerar det en verklig skillnad i fiskfaunans status mellan målsjöar i olika regioner, men det avspeglar också ett behov av regional anpassning av sjöspecifika referensvärden. Nuvarande bedömningsgrunder kalibrerades utan hänsyn till region (Holmgren m.fl. 2007), men senare studier indikerade missvisande referensvärden i de nordliga distrikten (Holmgren 2007, Sairanen m.fl. 2008, Holmgren m.fl. 2010). Även kemi- och försurningsvariablerna varierade mellan vattendistrikt. Det mest påtagliga mönstret fanns för delta-pH, som ökade från Bottenviken till Västerhavet, vilket speglar det regionala mönstret i deposition av svavel och baskatjoner (Lövblad, Persson & Roos 2000).

Målsjöar som började kalkas före 1986 tenderade att ha större avvikelser från förväntat i artrikedom, abundans- och biomasseviktade diversitetsindex, jämfört med sjöar med senare kalkstart. Det sammanföll med högre nutida försurning, indikerat av högre delta-pH, i målsjöar med tidig kalkstart.

IKEU-sjöarnas representativitet

Tidigare noterades bland annat en avvikande sammansättning av fiskarter i IKEU-sjöarna jämfört med de okalkade referenssjöar som övervakas med motsvarande intensitet (Holmgren 2009). Skillnaden tolkades som att flera kallvattensarter var överrepresenterade i IKEU-sjöarna. Av denna studie framgick att IKEU-sjöarna utmärkte sig på liknande sätt även när de jämfördes med andra kalkade målsjöar med fiskdata. Genomgången av målsjöarnas fiskfauna gav därför inga belägg för att elritsa, röding, siklöja och/eller öring generellt skulle vara överrepresenterade i kalkade jämfört med okalkade sjöar, inom regioner med omfattande kalkningsverksamhet. Den försurningskänsliga och varmvattengynnade mörten var underrepresenterad i IKEU-sjöarna jämfört med andra målsjöar. Förekomst av mört i något av de historiska fiskdataseten är förstas ingen garanti för att mörten är livskraftig eller återetablerad i den

kalkade målsjön idag. Däremot verkar mört aldrig tidigare ha förekommit i någon av de fyra IKEU-sjöar som idag saknar arten enligt årliga provfisken (Reizenstein 2002).

De 12 IKEU-sjöarna hade ofta betydligt mindre variationsbredd i kvantitativa fiskindikatorer, vattenkemi och försurningsvariabler jämfört med resterande drygt 3000 målsjöar, vilket sannolikt förklaras av det lilla urval som IKEU-sjöarna utgör. Med tanke på den stora variation som fanns i målsjöarna, blir det således en närmast omöjlig uppgift att välja ut bara tolv riktigt representativa sjöar för intensivstudier.

IKEU-sjöarna representerade målsjöarna ganska väl med avseende på sjöarea, men de var djupare i förhållande till sin area jämfört med resten av målsjöarna. Skillnaden i djupförhållanden är kanske den viktigaste orsaken till både biologiska och vattenkemiska skillnader mellan IKEU-sjöarna och andra målsjöar. Sjärdjupet har ofta fallit ut som en av de viktigaste faktorerna för fisksamhällens struktur (se t.ex. Holmgren & Appelberg 2000, Mehner m.fl. 2007, Holmgren 2009). Förekomst av ett kallt och syrerikt hypolimnion ger kallvattenarter möjlighet att samexistera med varmvattenarter i sjöar med varmt ytvatten på sommaren. Det kallare bottenvattnet har oftast lägre total abundans och biomassa av fisk. Relativa indikatorer som antal och biomassa per nätansträngning får därmed lägre förväntade värden i djupare sjöar (Holmgren m.fl. 2007), eftersom bottenatta nät fördelas över hela sjön vid standardiserade provfisken. Den störande effekten av maxdjupet eliminerades när fiskindikatorerna uttrycktes som standardiserade avvikelser från referensvärden. Förhållandevis låga indikatorvärden för antal och biomassa i IKEU-sjöarna i vattendistrikt 4 och 5, antydde därför en sämre status jämfört med majoriteten av målsjöar i samma distrikt. IKEU-sjöarnas djupförhållanden kan möjligen också ha bidragit till att de avvek med låga TOC-halter jämfört med andra målsjöar i vissa kategorier av sjöstorlek, vattendistrikt och/eller kalkstartperiod.

IKEU-sjöar saknades i hälften av kalkningslänen, och förekomst av IKEU-sjöar var inte relaterat till antalet målsjöar inom respektive län. En fjärdedel av IKEU-sjöarna låg i Dalarnas län, och alla tre sjöar hyste öring och/eller röding. Dessa arter var dock bara marginellt vanligare i länets målsjöar jämfört med resten av målsjöarna. Därför verkar skevheten i fiskartssammansättning ligga i urvalet av specifika sjöar, snarare än i en skev fördelning av IKEU-sjöar mellan län eller vattendistrikt.

En annan påtaglig skillnad var att IKEU-sjöarna hade kalkats under längre tid än många av de andra målsjöarna. Det beror troligen på att IKEU-sjöarnas valdes ut bland sjöar som redan tidigare hade undersökts med avseende på försurning och/eller kalkning (Persson & Wilander 2002). En högre Ca/Mg-kvot indikerade också kalkning med högre doser jämfört med resten av målsjöarna. Det kunde inte förklaras av att IKEU-sjöarna generellt skulle vara mer försurade än andra målsjöar idag. Sjöar med delta-pH över 0,4 anses fortfarande vara försurade enligt nuvarande bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2007). I denna studie användes kalkningskorrigerade uppskattningar av delta-pH. Hälften av IKEU-sjöarna och 42 % av resterande målsjöar fick delta-pH lägre än 0,4 oavsett vilken av två referenssjöar som användes. IKEU-sjöarna i Västerhavets vattendistrikt hade relativt höga delta-pH jämfört med andra målsjöar, men bland sjöar med kalkstart 1982-1985 avvek IKEU-sjöar istället med relativt låga värden. Låga delta-pH-värden sammanfaller i flera IKEU-sjöar med att kiselalgsskal i sjösedimenten indikerar låg basflödesförsurning i modern tid (Norberg m.fl. 2008), vilket delvis står i kontrast till observerade försurningseffekter på djurplankton, bottenfauna och fisk (Persson 2001, Persson & Ekström 2001, Reizenstein 2002).

Förklaringen till IKEU-sjöarnas avvikande djupförhållanden, och därigenom speciella biologiska och kemiska förutsättningar, kan spåras till IKEU:s ursprungliga önskemål om att inkludera sjöar med olika typer av fisksamhällen (Appelberg & Aldén 1992), snarare än ett mer slumpmässigt urval av kalkade sjöar. Tanken var tilltalande, och den kunde kanske försvaras utifrån bristande dataunderlag rörande kemisk och biologisk variation i kalkade sjöar. Den valda strategin borde i så fall ha fullföljts genom att välja ut matchande okalkade referenssjöar utifrån samma kriterier. Idag ligger IKEU-sjöarnas största värde i deras långa provtagningsserier av både vattenkemi, växtplankton, djurplankton, bottenfauna och fisk. Fortsättning av det intensiva övervakningsprogrammet motiveras därför av att IKEU-sjöarna utgör unika och ovärderliga fallstudier av historiska och framtida trender (Fölster m.fl. 2009). För att i framtiden kunna göra mer övergripande utvärdering av ekologisk status i kalkade sjöar behövs dock data från ett betydligt bredare urval av sjöar i den svenska kalkningsverksamheten.

Identifiering av målsjöar

Den ursprungliga listan över målsjöar som studien baserade sig på omfattade 3109 sjöar. I ett så stort material går det naturligtvis inte att utesluta en del fel. Under utvärderingen av målsjöinventeringen gjordes en del kontroller med länsstyrelserna. Därmed kunde 23 sjöar strykas för att de felaktigt hamnat på listan eller för att kalkningen hade avslutats för länge sedan. Den återstående listan på 3086 sjöar innehöll därför, med få undantag, de sjöar som borde vara där. Däremot är begreppet målsjö i detta sammanhang ganska brett. På listan fanns till exempel en del sjöar där kalkningen har avslutats, men som ändå klassas som målsjöar med ”vilande kalkning” för att motivera en uppföljning av effekterna av kalkavslutet. Där fanns också sjöar som i första hand kalkas för nedströms effekt i vattendrag. Andra målsjöar kan ligga nedströms kalkade vattendrag som är huvudmålet och själva målsjön är eventuellt inte längre försurad. En mer detaljerad klassning av målsjöarna från länsstyrelserna skulle underlätta en fördjupad analys där man kan särskilja de sjöar som faktiskt betraktas som försurade och där man primärt kalkar för att bevara eller återställa den biologiska mångfalden i själva sjön.

Tillförlitlighet i data om fiskarters förekomst

Vid provtagning av biologiska samhällen är det lätt att missa en eller flera ovanliga arter, eller arter som inte fångas effektivt med den använda metoden. Det finns också en risk att artbestämningen inte blir helt korrekt enligt rådande taxonomiska regler. I Nationellt Register över sjöprovfisken (NORS) finns idag 44 fiskarter registrerade (www.fiskeriverket.se), vilket kan jämföras med 49 arter i Riksfiskinventeringen 1996 (Appelberg m.fl. 2004) och 41 arter i enkätmaterial från 1860-1911 (Schreiber m.fl. 2003). Fiskfaunan i svenska sjöar omfattar således relativt få arter, jämfört med till exempel växtplankton och bottenfauna. Det underlättar artbestämningen både för fältpersonal som utför provfisken, och för den fiskintresserade allmänheten. I utvärderingen av Riksfiskinventeringen 1996 ingick en kvalitetskontroll, som bland annat jämförde enkätsvar och data från standardiserade provfisken i samma sjö. Gädda, lake och ål var exempel på relativt vanligt förekommande arter som inte alltid fångades i provfiske. Den småvuxna gersen saknades ofta i enkätsvar från sjöar där arten fångades i provfiske. Samma mönster noterades vid jämförelser av arters förekomst i olika datakällor i denna studie.

En betydligt knepigare fråga är om enskilda fiskarter verkligen förekom i en given sjö vid en viss tidpunkt, och om det i så fall var under tiden före försurning, under försurning före kalkning eller efter kalkning. I enkätdatakällorna (RI1996, E30tal och E100års) finns inga ”provtagningsdatum” som anger när individer av olika fiskarter senast hade observerats i sjön. Därför kan försvunna arter ha ingått i artlistan, liksom introducerade arter som misslyckades med att etablera livskraftiga populationer. För provfisken i NORS fanns alltid provtagningsdatum, men tyvärr saknades ofta uppgift om år för första kalkning. En kvalitativ utredning av förändringar i fiskarters förekomst gjordes tidigare för var och en av de kalkade sjöarna i IKEU-programmet (Reizenstein 2002, se historiskt material på IKEU:s hemsida). En liknande genomgång av alla målsjöar skulle kräva en systematisk sökning av information i svenska fisketidskrifter och länsstyrelserapporter, och kanske bekräftande intervjuer med många olika uppgiftslämnare. Med sådana detaljerade utredningar är det kanske orimligt att täcka in alla kalkningslän samtidigt, men det kan definitivt ge värdefull kunskap i mer avgränsade regioner (se t.ex. Spens 2007)

Notiser om biologiska motiv för kalkning

Kalkningens långsiktiga mål är att återställa och bibehålla biologisk mångfald så att den liknar de biologiska samhällen som fanns före den antropogena försurningen. Därför var det överraskande att hitta främmande arter som regnbåge, bäckröding och signalkräfta bland de angivna motiven för kalkning. Kanske är det en följd av att kalkningsverksamheten har utvecklats både teoretiskt, praktiskt och administrativt sedan 1970-talets försöksverksamhet. Kravet på länsstyrelserna att ange biologiska motiv för kalkning i enskilda målområden är en ganska sen företeelse, som kom samtidigt som kravet att administrativt skilja mellan åtgärdsområden och målområden (Naturvårdsverket 2002). I denna studie användes Naturvårdsverkets sammanställda uppgifter från 2004. En varierande detaljeringsgrad i angivna kalkningsmotiv antydde att länen hade tolkat instruktionerna på olika sätt. Ibland liknade motiven listor av förekommande arter, och ibland angavs bara de mest försurningskänsliga arterna. Fiske fanns ofta med som motiv, antingen med eller utan att koppling till angivna målarter. Den tillgängliga

datasammanställningen om målsjöarnas kalkningsmotiv betraktades därför som alltför heterogen för att utgöra ett bra underlag för utvärdering av IKEU-sjöarnas representativitet.

Återstående frågor

I IKEU-utvärderingen 2008 låg fokus på att analysera fiskfaunans trender i sjöar med årliga provfisken 1994-2007, fördelat på 12 kalkade, 9 neutrala och 4 sura sjöar (Holmgren 2009). För att göra rättvisande jämförelser av fiskfaunans status mellan sjögrupper behövs betydligt fler sjöar per grupp. Antalet sjöar borde definitivt kunna ökas genom att ta med nyttillkomna sjöar i IKEU-programmet och den nationella miljöövervakningen, liksom data från regional fiskövervakning av både kalkade och okalkade sjöar. För en sådan indelning behövs vattenkemidata från både målsjöinventeringen och miljöövervakningens trend- och omdrevssjöar. Inledningsvis fanns tankar om att inkludera jämförelser av fiskfaunan mellan målsjöar och okalkade sjöar i denna studie. Tyvärr måste det prioriteras bort när sammanställningen av befintliga fiskdata för de kalkade målsjöarna visade sig ta mer tid än planerat.

Ett annan intressant erfarenhet från IKEU-utvärderingen var att flera populationer av sik, siklöja och lake minskade i abundans och biomassa (Holmgren 2009). Den parallella ökningen i vattentemperatur och färgtal under 1994-2007, antyder att syretäringen i hypolimnion kan ha ökat, och därigenom missgynnat kallvattensarter i sydliga IKEU-sjöar. Fördjupade analyser av förändringar i hypolimnion bör inkludera provfiskedata från pelagiska nät. För att undersöka om fenomenet är mer generellt bör en sådan studie även omfatta regionalt insamlade data från både kalkade och okalkade sjöar där kallvattensarterna påträffades vid upprepade provfisken.

Erkännande

Denna utvärdering finansierades av Naturvårdsverket, som ett specialprojekt inom IKEU-programmet (S6-09, Diarienumr 235-2211-NI). Vi vill rikta ett stort tack till alla som under många år har bidragit till insamling av de omfattande dataunderlagen. Tack också till Joep DeLeeuw, Björn Bergquist, Magnus Dahlberg och Tobias Vrede, som hjälpte till att förbättra tidigare utkast till rapporten.

Referenser

- Almer, B. & M. Hanson. 1980. Försurningseffekter i Västkustsjöar. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm. Nr 5: 1980, 44 sidor.
- Andrén, C., K. Holmgren & A. Wilander. 2009. 1a. Urval och representativitet. Sid. 105-116 i: Munte, J. & A. Jöborn (redaktörer). Utvärdering av IKEU 1990-2006. Syntes och förslag. Naturvårdsverket Rapport 6302.
- Appelberg, M. & Aldén, U. 1992. Integrerad uppföljning av kalkningens effekter på sjöar och vattendrag - en treårsrapport. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 1992(4), pp 1-60.
- Appelberg, M., S. Ridderborg & U. Beier. 2004. Riksfiskinventering -96. En nationell inventering av den svenska fiskfaunan 1996. Fiskeriverket Informerar 2004:1, 75 sidor.
- Bergquist, B. 2008. Sammanställning av kalkningsuppgifter för IKEU-sjöar och vattendrag. Rapport – Specialprojekt S4-07 inom IKEU-projektet 2007 (NV Dnr 235-30057-07-NI). PM 2008-04-07, 20 sidor.
- CEN. 2005. Water quality – sampling fish with multi-mesh gillnets. European Standard EN 14757:2005:E, 27 p.
- Dickson, W., E. Hörnström, C. Ekström & B. Almer. 1976. Rödingsjöar söder om Dalälven. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm. Nr 7: 1975, 138 sidor.
- Fiskeristyrelsen & Statens Naturvårdsverk. 1981. Kalkning av sjöar och vattendrag 1977-1981. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm. Nr 4: 1981, 201 sidor.
- Fölster, J., H. Borg & K. Holmgren. 2009. 5. Framtidens nationella kalkningsuppföljning. Sid. 551-558 i: Munte, J. & A. Jöborn (redaktörer). Utvärdering av IKEU 1990-2006. Syntes och förslag. Naturvårdsverket Rapport 6302.
- Fölster, J. & A. Wilander. 2005. Försurningsbedömning i kalkade vatten med kvoten Ca*/Mg*. Institutionen för Miljöanalys, SLU. Rapport 2005:3.
- Holmgren, K. 2007. Fiskfaunans variation inom och mellan sjöar av olika karaktär. Fiskeriverket Informerar 2007:1, 43 sidor.
- Holmgren, K. 2009. 2a:5. Trender i IKEU-sjöarnas fiskfauna och jämförelser med okalkade referenssjöar. Sid. 215-238 i: Munte, J. & A. Jöborn (redaktörer). Utvärdering av IKEU 1990-2006. Syntes och förslag. Naturvårdsverket Rapport 6302.
- Holmgren, K. & M. Appelberg. 2000. Size structure of benthic fish communities in relation to environmental gradients. *Journal of Fish Biology* 57: 1312-1330.

- Holmgren, K., A. Kinnerbäck, M. Olin, T. Hesthagen, F. Kelly, M. Rask & R. Saksgård. 2010. Intercalibration of fish assessments of ecological status in Northern lakes – results from a pilot study. Interkalibrering av fiskbaserade bedömningar av ekologisk status i nordiska sjöar – resultat från en pilotstudie (In English with Swedish summary). Fiskeriverket Informerar (Finfo) 2010: 1, 37 p.
- Holmgren, K., A. Kinnerbäck, S. Pakkasmaa, B. Bergquist & Beier, U. 2007. Bedömningsgrunder för fiskfaunans status i sjöar – utveckling och tillämpning av EQR8. Fiskeriverket Informerar 2007: 3, 54 sidor.
- Johansson, K. & P. Nyberg. 1981. Försurning av svenska ytvatten – effekter och omfattning 1980. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm. Nr 6: 1981, 118 sidor.
- Lindström, T. & G. Andersson. 1981. Population ecology of salmonid populations on the verge of extinction in acid environments. Reports from the Institute of freshwater Research, Drottningholm 59: 81-96.
- Lövblad, G., C. Persson & E. Roos. 2000. Deposition of base cations in Sweden. Swedish Environmental Protection Agency, Report 5119, 60 p.
- Mehner, T., K. Holmgren, T.L. Lauridsen, E. Jeppesen & M. Diekmann. 2007. Lake depth and geographical position modify lake fish assemblages of the European 'Central Plains' ecoregion. *Freshwater Biology* 52: 2285-2297.
- Munte, J. & A. Jöborn (redaktörer). 2009. Utvärdering av IKEU 1990-2006. Syntes och förslag. Naturvårdsverket Rapport 6302, 558 sidor.
- Naturvårdsverket. 2002. Kalkning av sjöar och vattendrag. Naturvårdsverket Handbok 2002:1, 96 sidor.
- Naturvårdsverket. 2007. Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Bilaga A till Handbok 2007:4, 133 sidor.
- Norberg, M., C. Bigler & I. Renberg. 2008. Monitoring compared with paleolimnology: implications for the definition of reference condition in limed lakes in Sweden. –*Environmental Monitoring and Assessment* 146: 295-308.
- Persson, G. 2001. Bottenlevande djur före och efter kalkning av sjöar inom Integrerad KalkningsEffektUppföljning. Institutionen för miljöanalys, Rapport 2001:9, 20 sidor.
- Persson, G. 2009. 2a:7. Zooplanktons individtäthet och dess förändringar med tiden i kalkade, neutrala och sura IKEU-sjöar. Sid. 259-281 i: Munte, J. & A. Jöborn (redaktörer). Utvärdering av IKEU 1990-2006. Syntes och förslag. Naturvårdsverket Rapport 6302.
- Persson, G. & C. Ekström. 2001. Djurplankton före och efter kalkning av sjöar inom Integrerad KalkningsEffektUppföljning. Institutionen för miljöanalys, Rapport 2001:6, 17 sidor.
- Persson, G. & A. Wilander. 2002. Allmän vattenkemi före och efter kalkning inom integrerad kalkningseffektuppföljning. Institutionen för miljöanalys, Rapport 2002:8, 14 sidor + 2 bilagor.
- Persson, G. & A. Wilander. 2004. Utveckling av IKEU inför 2000-talet; redovisning av ett utredningsuppdrag. Institutionen för miljöanalys, Rapport 2004:25, 50 sidor.
- Reizenstein, M. 2002. Fiskfaunans utveckling under 1900-talet i sjöar inom Integrerad KalkningsEffektUppföljning. Examensarbete 20 p. Rapport 2002:12. Institutionen för Miljöanalys, SLU, Uppsala. ISSN 1403-977X.
- Sairanen, S., M. Rask, S. Stridsman & K. Holmgren. 2008. Part II. A. Fish communities. Fish communities of 15 lakes in River Torne basin: aspects of lake typology and ecological status. Pp. 65-88 in: Luokkanen, E., Olofsson, P., H. Ville & B. Sundström (eds.). TRIWA II Management of an international river basin district – Torne River. *The Finnish Environment* 10/2008, ISBN 978-952-11-3041-0, ISSN 1238-7312.
- Schreiber, H., O. Filipsson & M. Appelberg. 2003. Fisk och fiske i svenska insjöar 1860-1911 – en analys av fiskfaunan då och dess förändring under 1900-talet. Fiskeriverket Informerar 2003:1, 83 sidor.
- Spens, J. 2007. Can historical names and fisher's knowledge help to reconstruct the distribution of fish populations in lakes? In: Haggan, N, B. Neis & I. Baird (Editors). *Fishers' knowledge in fisheries science and management*. Coastal Management Sourcebooks 4. Chapter 16. UNESCO, Paris. Pp. 329-350.
- Stendera, S. 2009. 2a:8. Status and trend analyses of benthic macroinvertebrate communities in three habitats of limed, acid and neutral reference lakes. Sid. 283-328 i: Munte, J. & A. Jöborn (redaktörer). Utvärdering av IKEU 1990-2006. Syntes och förslag. Naturvårdsverket Rapport 6302.
- Sundbom, M. 2009a. 2a:6. Kalkningseffekter på växtplankton. Sid. 239-258 i: Munte, J. & A. Jöborn (redaktörer). Utvärdering av IKEU 1990-2006. Syntes och förslag. Naturvårdsverket Rapport 6302.
- Sundbom, M. 2009b. 2a:10. Kalkningseffekter på biomassa och ekosystemstruktur i sjöar. Sid. 271-390 i: Munte, J. & A. Jöborn (redaktörer). Utvärdering av IKEU 1990-2006. Syntes och förslag. Naturvårdsverket Rapport 6302.
- Wallin, M. (redaktör) 2002. Slutrapport från projektet: Referensnät för ytvattenstationer enligt ramdirektivet för vatten. Ett samarbete mellan SLU, SMHI och Fiskeriverket, Uppsala 22 mars 2002, 62 sidor + bilagor.
- Östlund, M. 2009. 2a:9. Vattenvegetation i kalkade sjöar samt neutrala och sura referenssjöar. Sid. 329-370 i: Munte, J. & A. Jöborn (redaktörer). Utvärdering av IKEU 1990-2006. Syntes och förslag. Naturvårdsverket Rapport 6302.