

HISTORISKA REFERENSDATA

Sammanställning av befintligt historiskt referensmaterial för svenska sjöar samt en fördjupande paleolimnologisk analys



HISTORISKA REFERENSDATA

Sammanställning av befintligt historiskt referensmaterial för svenska sjöar samt en fördjupande paleolimnologisk analys

MATILDA NORBERG¹

KEVIN BISHOP²

GÖRAN ENGLUND¹

JENS FÖLSTER²

MATTIAS STERNER²

SALAR VALINIA²

ANDERS WILANDER²

¹ Ekologi, miljö och geovetenskap, Umeå universitet

² Institutionen för vatten och miljö, SLU

Institutionen för vatten och miljö, SLU

Box 7050

750 07 Uppsala

Tel. 018 – 67 31 10

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

Omslagsillustration/omslagsfoto: "Fiskafänge" av Carl Petter Hilleström

Tryck: Institutionen för vatten och miljö, SLU
Uppsala, 2011-08-26

Förord

Här redovisas resultaten av ett projekt där flera olika metoder för att identifiera ett referens-tillstånd för sjöar sammanställs i databaser samt utvärderats i en fördjupad analys. Dessa omfattar historisk och nutida fiskförekomst, försurningsbedömningar beräknade med modellen MAGIC, paleolimnologiska analyser av sjösediment, historiska kartor samt äldre kemiska data. Projektet är ett samarbetsprojekt mellan institutionen för ekologi och geovetenskap vid Umeå universitet samt institutionen för vatten och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Projektet har finansierats av Naturvårdsverket, genom delprojektet "Historiska referensdata för försurning och övergödning", Dnr 235 494109 Me, samt "Utökade paleolimnologiska analyser i 20 sjöar - En komplettering till projektet historiska referensdata för försurning och övergödning" IKEU Fokus projekt F2-11. Förutom denna slutrapport har följande tre rapporter publicerats inom projektet: (2010). *"Förändring av markanvändningen sedan förindustriell tid i avrinningsområden till sjöar"* (Sterner, M., J. Fölster and J. Nisell) Institutionen för vatten och miljö, SLU. Rapport 2010:14., *"Relation between land use change and long-term trends of organic carbon in lake water and its importance for acidification assessment"*. (Valinia, S., K. Bishop, M. Erlandsson, J. Fölster and P. Rosén) Institutionen för vatten och miljö, SLU. Rapport 2011:2 , *"Gamla vattenkemiska data Sammanställning och bakgrundsinformation"* (Wilander, A.) Institutionen för vatten och miljö, SLU. Rapport 2011:19."

SAMMANFATTNING	7
SUMMARY	8
INLEDNING.....	9
DATABASERNA	10
Historisk och nutida fiskförekomst	10
Försurningsbedömningar av sjöar	11
Paleolimnologi.....	11
Historisk markanvändning.....	11
Sammanställning av äldre kemiska data.....	12
Översikt över data för rekonstruktion av referenstillstånd för försurning.....	12
FÖRDJUPAD PALEOLIMNOLOGISK ANALYS OCH JÄMFÖRELSE MELLAN HISTORISKA ARKIV.....	16
URVAL AV SJÖAR TILL FÖRDJUPAD ANALYS.....	17
Fisk	17
Vattenkemi och försurningsbedömning	17
Nya försurningsbedömningar	18
Paleolimnologi.....	18
PRESENTATION AV UTVALDA SJÖAR	19
Fisk	20
Försurningsbedömningar.....	21
Historisk markanvändning.....	23
METOD -PALEOLIMNOLOGISK ANALYS	24
Sedimentprovtagning.....	24
Datering av sedimenten med SCP	24
Kiselalger.....	25
Glödförlust.....	25
RESULTAT PALEOLIMNOLOGISK ANALYS	25
Datering med SCP	25
Kiselalger.....	26
JÄMFÖRELSE MELLAN DE OLIKA HISTORISKA ARKIVEN	28
Styrkor och svagheter med de historiska arkiven.....	30
Fisk.....	30
Försurningsbedömningar	30
Paleolimnologi	31
Rekommendation hur historiska arkiv kan användas:.....	31
Referenser	33

SAMMANFATTNING

Samtliga vattenförekomster ska enligt europeiska och svenska bestämmelser statusklassas utifrån ett referenstillstånd. Detta ska motsvara ett förindustriellt tillstånd utan större inverkan från mänsklig verksamhet. Dessa krav har lett till ett behov av att granska befintliga referensvärden som satts upp för ekologisk status och att dessa jämförs med alternativa bedömningar av förhållanden före industrialiseringen. I detta projekt har befintliga data som visar på vattenkemiska och biologiska förhållanden i sjöar före den omfattande industrialiseringen efter 1940 sammanställts. Data omfattar fiskförekomst, försurningsbedömningar med hjälp av den biogeokemiska modellen MAGIC, paleolimnologiska undersökningar, historiska kartor samt äldre kemiska data. Data har rimlighetsgranskats, datalagts och gjorts tillgängliga. Vardera databas presenteras i korthet i rapporten. En fördjupad paleolimnologisk analys har genomförts i ett urval sjöar där tillgängliga data för fisk och vattenkemi är motstridiga. Huvudsyftet med detta har varit att öka kunskapen om de förändringar som industrialiseringen medfört och att ta fram bättre underlag för referensvärden för ekologisk status. Slutligen ges en rekommendation hur olika historiska arkiv kan användas för att identifiera ett så rimligt referenstillstånd som möjligt för en sjö.

Tjugo sjöar valdes ut utifrån kriterierna 'mört har försvunnit men vattenkemi visar inte på försurning' (grupp 1) och 'mört har inte försvunnit men vattenkemin visar på försurning' (grupp 2). Sjösedimenten har provtagits under 2009. De har indirekt daterats (1850, 1950 och 1970) med hjälp av en viss typ av flygaska (SCP –Sferoidal Carbonaceous Particles). Sammansättningen av kiselalger har analyserats och en rekonstruktion av tidigare pH i sjöarna har gjorts med hjälp av transferfunktioner. Utöver dessa 20 sjöar har undersökningen kompletterats med 6 sjöar som undersökts i tidigare paleolimnologiska studier. Under 2010 har försurningsbedömningarna som gjorts med modellen MAGIC reviderats vilket ledde till att försurningsbedömningarna för de utvalda sjöarna kom att ändras. I och med detta har 12 av de 26 sjöarna överensstämmande resultat för vattenkemi och fiskdata. Tre sjöar fördes till grupp 1, och 11 sjöar fördes till grupp 2.

De paleolimnologiska resultaten visar att det rekonstruerade pH-värdet i den tidsperiod som motsvarar mitten av 1800-talet eller tidigare är mellan 5,2 och 7 för de undersökta sjöarna. Den stora variationen mellan sjöar visar vikten av att göra en objektspecifik bedömning vid framtagandet av ett referensvärde. I 10 av sjöarna går det att identifiera en sänkning av pH i modern tid. Som mest sjunker pH-värdet 1,5 enheter och i de övriga sjöarna mellan 0,4 och 0,7 enheter. I 8 av sjöarna identifieras en mer eller mindre tydlig alkalisering under tidigt 1900-tal eller tidigare, där pH-värdet ökar och i flera fall förblir på den högre nivån under en period. Detta orsakas med största sannolikhet av tidig agrar verksamhet i avrinningsområdet. I 18 av de 26 sjöarna förekommer en respons i kiselalgsfloran i samband med kalkning.

Slutsatserna av den fördjupande analysen är att historiska fisk- och vattenkemidata i många fall stämmer överens. Av de 380 sjöar som hade uppgifter om både historisk och nutida fiskförekomst samt försurningsbedömning gjord utifrån MAGIC var data motstridiga i ett 60-tal av sjöarna. Vidare går det inte att i de resultat som presenteras i den här rapporten hitta någon gemensam faktor för de sjöar där tillgängliga data ger olika bedömningar av en sjös referenstillstånd och försurningspåverkan. Troligen är det flera olika faktorer som leder till att data inte stämmer överens. Detta diskuteras utifrån de olika dataset som använts i studien.

När ett referenstillstånd ska tas fram för en sjö bör det första steget vara att sammanställa den information som finns i de databaser som tagits fram och presenteras. Om tillgängliga data är motstridiga föreslår vi en fördjupad paleolimnologisk analys. Med hjälp av den kan man identifiera de viktigaste förändringarna i pH som skett historiskt i sjön och göra en rimlighetsbedömning av referensvärdet. Med en paleolimnologisk undersökning, och i vissa fall i kombination med historiska kartor, kan en tidig påverkan från agrar verksamhet som kan ha gett en alkalisering i sjön identifieras. I dessa fall behöver en referens från tidigare (före mitten av 1800-talet), mindre påverkade tidsperioder identifieras. Om det inte finns möjlighet att göra en paleolimnologisk bedömning bör tillgängliga data från modellering med MAGIC eller MAGICbibliotek ligga till grund för bedömningen. Om stora skillnader föreligger mellan olika försurningsbedömningar för samma sjö bör bedömningen anses vara bristfällig. Även tillgänglig information om fisk bör vägas in i bedömningen. Här är det dock viktigt att ta i beaktande effekter av mänskliga aktiviteter som inplanteringar och rotenonbehandlingar. Om en sjö bedöms vara försurad bör detta utvärderas utifrån den historiska information som finns tillgänglig. Stora förändringar i markanvändning har skett under de senaste 150 åren som ett resultat av förändringar inom jord- och skogsbruk. Även den naturliga utvecklingen av en sjö kan ge ett sjunkande pH.

SUMMARY

According to European and Swedish regulations an ecological status should be established for all waters that is defined against a reference condition. This reference condition should correspond to a preindustrial condition with only a minor influence from human activities. This requirement has led to a need to examine current definitions of reference conditions and compare these with alternative estimations of preindustrial conditions. In this study existing water chemical and biological data have been compiled, which concern lake conditions prior to the extensive industrialization after the 1940s. This includes data on fish occurrences, acidification assessments with the biogeochemical model MAGIC, paleolimnological studies, historical maps and historical chemical data. These data have been made available in databases that are presented in this report. An in-depth paleolimnological study was conducted in 20 lakes, where available fish and water chemical data are contradictory. The main aim was to increase the understanding of pH-changes induced by industrialization and to establish a better basis for defining reference conditions. Finally, a recommendation is given on how different historical archives can be used to identify reasonable reference conditions for lakes.

Twenty lakes were chosen following the criteria 'roach has disappeared but water chemical data does not indicate acidification' (group 1) and 'roach has not disappeared but water chemical data indicates acidification' (group 2). Sediment cores were collected from the lakes during 2009. Inferred dates (AD 1850, 1950 and 1970) were established based on counting of SCP. The composition of diatoms was analyzed and a reconstruction of pH using transfer functions was conducted. Six additional lakes were included, which were analyzed in previous paleolimnological studies. During 2010 the acidification estimate made with the model MAGIC was revised. Following this, 12 of the 26 lakes no longer show contradictory fish and water chemical data. Three lakes are placed in group 1 and 11 lakes in group 2.

The reconstructed pH from the paleolimnological analysis is between 5.2 and 7 in the time period corresponding to the mid 19th century or earlier. The major variation between lakes demonstrates the importance of making an object-specific estimate of the reference condition. In 10 of the lakes there has been a decrease in pH in modern time. In one lake the pH has declined by 1.5 units, and in the remaining lakes the decline has been between 0.4 and 0.7 units. In 8 lakes there was a more or less pronounced alkalization period prior to the early 20th century. This was most likely caused by early agricultural activities in the vicinity of the lake. In 18 of the lakes a response in the diatom flora caused by liming can be identified.

The main conclusion from the in-depth study is that historical fish data and water chemical data are in agreement in most lakes. Out of the 380 lakes with data on both historical and present fish data and water chemistry data, the data was contradictory in about 60 lakes. Further, there is no common factor explaining why the data are contradictory for some lakes. Probably there are several different explanatory factors, which are discussed in the report.

When a reference condition is to be defined for a lake, the first step should be to compile the information available in the databases that are synthesized here. If available data are contradictory, we suggest a paleolimnological study. With this, the most important historical changes in lake-water pH that have occurred can be identified, and a reasonable assessment of the reference condition can be made. With a paleolimnological study, and in some cases in combination with historical maps, an early impact from agricultural activity can be identified, which would likely have resulted in an alkalization of the lake. In these cases a reference condition defined from earlier (prior to mid 19th century), less-impacted time periods need to be used. If it is not possible to do a paleolimnological study, available data from modeling with MAGIC should be used for defining reference conditions. Available information on fish occurrences should also be taken into account. However, it is important to consider fish introductions and treatment with rotenone. If a lake is considered to be acidified, this should be evaluated from available historical information. Major changes in land-use have occurred in the last 150 years as a result of changed agricultural utilization and forestry. Also natural development of a lake can result in a lowered pH.

INLEDNING

Ekologisk status för vattenförekomster klassas enligt Bedömningsgrunderna i VFF (vattenförvaltningsförordningen) som avvikelser från ett referensvärde som ska motsvara ett förindustriellt tillstånd. Före 2015 ska alla vattenförekomster uppnå god status vilket motsvarar att avvikelser från referensvärdet inte är för stora. För biologiska variabler som fiskförekomst och bottenfauna finns referensvärden angivna för olika typer av vattenförekomster. Ofta är dock den naturliga variationen inom varje typ så stor att risken för felklassning är stor. Detta gäller särskilt för försurningspåverkan där många vattenförekomster är naturligt sura och med en artsammansättning som återspeglar låga pH-värden. I Bedömningsgrunderna för vattenkemiska parametrar beräknas objektsspecifika referensvärden med modeller i stället för angivna typspecifika referensvärden. För eutrofiering används en enkel regressionsformel och för försurning används den dynamiska geokemiska modellen MAGIC. Modellerna går inte att validera på vanligt sätt eftersom det med få undantag saknas vattenkemiska mätningar från förindustriell tid. Jämförelser har gjorts mellan de geokemiska modellerna och paleolimnologiska undersökningar. Dessa visar på god samstämmighet mellan metoderna vad gäller förindustriellt pH för de flesta av sjöarna, men i enskilda fall kan avvikelserna vara betydande (Erlandsson *et al.* 2008). I och med VFF ska varje enskilt objekt bedömas och åtgärder sättas in där det behövs. Detta ställer ökade krav på att Bedömningsgrunderna ska ge en korrekt bedömning av enskilda objekt. Till exempel är det i dag i många fall aktuellt att upphöra med kalkning av vatten som anses ha återhämtat sig eller som antas vara naturligt sura. Det är då viktigt att undvika att felaktigt avsluta kalkning i ett försurat vatten. Det finns följaktligen ett behov av att granska de referensvärden som satts upp för ekologisk status inom VFF och jämföra dessa med alternativa bedömningar av förhållanden före industrialiseringen.

Mätdata från förindustriell tid ger en möjlighet att validera modeller för referensvärden och kan ge en ökad förståelse för hur vattenkvaliteten har förändrats med tiden. För försurning orsakad av deposition brukar tillståndet fram till mitten av 1940-talet anses som tillräckligt opåverkat för att användas som referenstillstånd. Först efter andra världskriget ökade utsläppen av försurande ämnen från förbränning av fossila bränslen drastiskt. För övergödning i jordbrukslandskapet är det svårare att definiera en tidpunkt för ett referenstillstånd eftersom jordbruket har påverkat näringsläckaget under mycket lång tid.

Vattenkemiska analyser finns t.ex. gjorda från 1920-talet i vattendrag av J.V. Eriksson och i sjöar från 1930-talet av Lohammar (Lohammar 1938). Lohammars sjöar har utvärderats vid några tillfällen liksom de vattenkemiska analysernas tillförlitlighet, medan J.V. Erikssons data från vattendrag inte har utvärderats i samma utsträckning. Vattenkemiska undersökningar har ingått i fler historiska undersökningar som ännu inte datalagts.

Fiskförekomst i sjöar har dokumenterats med intervjuer och enkäter utförda av lokala fiskeritjänstemän sen 1890-talet. Större sammanställningar gjordes av Lundberg (1899), Cederström (1895), Holmgren (1916) och fiskeriverket (sjöinventeringar 1930-1940). I modern tid har man dokumenterat fiskförekomst med standardiserade provfisker, samlat i fiskeriverkets provfiskedatabas (NORS) och med intervjuer och enkäter, t.ex. Nordisk rådets enkätundersökning (Rask *et al.* 2000). När det gäller vattendrag finns det mycket modern information, men förhållandevis lite äldre material. Den enda större sammanställningen är Cederströms (1895) för värmländska vattendrag. Detta material är dock inte digitaliserat och det gäller huvudsakligen större vattendrag som kan antas vara relativt opåverkade av försurning.

Fiskförekomst avspeglar delvis de vattenkemiska förhållandena och en förändring i fiskförekomst kan indikera att de vattenkemiska förhållandena förändrats. Mört, elritsa och öring är exempel på arter som anses särskilt känsliga för surhet och en förlust av dessa arter kan indikera försurning. Samtidigt vet vi att dessa arter i många fall försvunnit på grund av interaktioner med andra arter. Övergödning leder ofta till att andelen av biomassan som utgörs av karpfiskar ökar. Tyvärr kan inte denna indikatorvariabel användas, då förindustriella fiskdata som beskriver abundans eller biomassa för enskilda arter i allmänhet saknas. Vi har därför inte vidare studerat eutrofieringsfrågan i det här projektet. En hypotes värd att undersöka är om antalet arter av karpfiskar förändrats i sjöar som eutrofierats. Mycket lite information, speciellt historiskt, finns angående fiskförekomst i vattendrag.

I många av objekten med förindustriella kemi- och fiskdata finns även data från senare tid vilket gör det möjligt att direkt följa förändringen och att ta fram referensvärden enligt VFF.

Ytterligare ett referensmaterial utgör paleolimnologiska undersökningar. Paleolimnologi används för att studera hur miljön förändrats av naturliga eller antropogena faktorer under tusentals år. Det ger en möjlighet att studera

miljöparametrar för en sjö och dess avrinningsområde under perioder som föregår de mätserier vi har idag samt under perioder där mätdata är sporadiskt eller saknas. En av de mest använda paleolimnologiska metoderna för miljöövervakningsändamål är rekonstruktion av pH med hjälp av kiselalgsanalyser. Detta har gjorts för ett hundratal sjöar i Sverige. Genom en ny metod, som bygger på FTIR-spektroskopi, kan även halten TOC uppskattas. Metoden har tillämpats på ett 40-tal sjöar (Rosén et al. 2010). Det finns också färskare resultat som indikerar att förekomst/frånvaro av mört kan studeras med hjälp av lämningar av planktonmygglarver i sedimenten (Palm et al. 2011). Eftersom material som avsatts utan stora störningar i ackumulationsbotten (djuphåla) används i de paleolimnologiska studierna finns det ingen möjlighet att göra paleolimnologiska studier i vattendrag. På grund av detta tillsammans med den begränsade informationen om historisk förekomst av fisk i vattendrag har vi inte vidare studerat referenstillstånd i vattendrag i detta projekt.

Vid sidan av den luftburna depositionen och användandet av mineralgödsel har förändringar av markanvändningen troligen orsakat stora förändringar av vattenkvaliteten under det senaste århundradet. Våtmarker har dikats ut och åker och ängsmarker har planterats med skog. Markanvändningens förändring kan studeras genom att jämföra historiska kartor som t ex Generalstabskartan och Häradskartorna med dagens digitala databaser över markanvändning.

Syftet med projektet är att sammanställa befintliga data som beskriver vattenkemiska och biologiska förhållanden i sjöar och vattendrag före den omfattande industrialiseringen efter 1940. Data omfattar både direkta historiska uppgifter om vattenkemi och fiskförekomst och rekonstruktioner av tillståndet från paleolimnologiska undersökningar och geokemiska modeller. Genom att jämföra de olika dataseten finns goda möjligheter att öka kunskapen om de förändringar som industrialiseringen medfört och att ta fram bättre underlag för referensvärden för ekologisk status. Databaserna har samkörts för att ta fram sjöar med flera olika typer av data för en jämförelse. Av dessa har 20 sjöar där fiskdata och vattenkemidata ger motstridiga resultat provtagits och tillsammans med 6 tidigare provtagna sjöar har en fördjupande paleolimnologisk analys genomförts. Detta kan ge oss möjligheten att förbättra kunskapen och modellerna för beräkning av referensvärden. En rekommendation hur olika historiska arkiv kan användas för att identifiera ett så rimligt referenstillstånd som möjligt för en sjö presenteras.

DATABASERNA

En sammanställning av de befintliga data som visar på vattenkemiska och biologiska förhållanden i sjöar före den omfattande industrialiseringen efter 1940 har gjorts. Data omfattar fiskförekomst, försurningsbedömningar med hjälp av den biogeokemiska modellen MAGIC, paleolimnologiska undersökningar, historiska kartor samt äldre kemiska data. Data har rimlighetsgranskats, datalagts och gjorts tillgängligt. Vardera databas presenteras i korthet nedan och en översikt över tillgängligt data samt överlapp mellan data för fiskförekomst, försurningsbedömningar och paleolimnologiska undersökningar presenteras.

Historisk och nutida fiskförekomst

En databas som innehåller modern information (efter 1960) och historisk information (före 1940) om fiskförekomst i sjöar har tagits fram. Syftet är att dessa data ska kunna användas för att studera hur olika miljöförändringar, tex försurning eller eutrofiering, påverkat olika fiskarters förekomst.

Databasen är ett utdrag ur en mer omfattande databas, PIKE, som har byggts upp vid institutionen för ekologi, miljö och geovetenskap vid Umeå universitet. PIKE innehåller bland annat information om historiska och nutida fiskförekomster, förlust av arter och allmän information om sjöar. Merparten av dessa data har insamlats av olika myndigheter och privatpersoner som har delat med sig av sina kunskaper och sina datasammanställningar. Ursprungligen kommer informationen huvudsakligen från provfisken samt intervju- och enkätundersökningar. De viktigaste källorna till kunskap om historisk fiskförekomst är inventeringarna gjorda av Lundberg (1899) och Cederström (1895) samt de sjöinventeringar som genomfördes under 1930-talet och som digitaliserats av personal på Sötvattenlaboratoriet, Drottningholm. Moderna data (efter 1960) kommer främst från fiskeriverkets nätfiskedatabas (NORS), Nordiska rådets enkätundersökning (Rask et al. 2000), och intervjuundersökningar gjorda vid institutionen för ekologi, miljö och geovetenskap, Umeå universitet.

Utifrån data i PIKE har en metadatabas skapats i ACCESS som innehåller sjöar där det finns uppgifter om fiskförekomst för perioderna före 1940 och efter 1980. Metadatabasen innehåller information om ca 2000 sjöar, och inkluderar även viktig kringinformation, som sjöyta, sjödjup, altitud, en temperatursumma baserad på

lufttemperatur, och i vilken mån sjöarna behandlats med rotenon. En manual som beskriver databasen i detalj har utarbetats (Rydberg och Englund 2011). Manualen och metadatabasen kommer att publiceras via internet genom SLU.

Försurningsbedömningar av sjöar

Försurningsbedömningar baserade på vattenkemi togs fram för 11 106 sjöar. Dessa ingick i följande undersökningar:

- Riksinventeringarna av sjöar 1990, 1995, 2000 och 2005 (RI90, RI95, RI00, RI05) (Bernes 1991, Wilander et al. 1998, Wilander et al. 2003, Wilander och Fölster 2007). Undersökningarna omfattade mellan 2000 och 4000 sjöar som valts ut genom ett stratifierat slumpat urval med syfte att representera alla Sveriges sjöar. Undersökningarna 1995 och 2000 var begränsade till sjöar > 4 ha. Anledningen var att de ingick i gemensamma nordiska undersökningar där sjöregistren endast omfattar sjöar ner till den storleken. Riksinventeringarna 1990 och 2005 hade inte dessa begränsningar utan omfattade sjöar ner till 1 ha. I Riksinventeringen 1990 togs ytvattenprov under vintern då vattnet är skiktat, vilket betyder att proverna inte representerar hela sjön. I de övriga riksinventeringarna skedde provtagningen under höstomblandningen. En större del av sjöarna ingick i flera av Riksinventeringarna.
- Sjöinventering i omdrev 2007 – 2009 (Omdr). Ett fortlöpande program med ca 800 sjöar per år utvalda enligt liknande principer som Riksinventeringarna och med ett betydande överlapp med dessa (Grandin 2007).
- Målsjöundersökningen hösten 2007 och våren 2008 omfattade samtliga drygt 3000 så kallade målsjöar (KalkMål) inom kalkningsverksamheten samt cirka 1800 okalkade referenser (MålRef) utvalda av länsstyrelserna (Fölster m. fl., 2011).
- Tidsseriesjöar omfattande 227 sjöar med tidsserieprovtagning inom nationella och regionala miljöövervakningsprogram.

Försurningsbedömningen gjordes enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Naturvårdsverket, 2007). En sjö klassas som försurad om pH är 0,4 enheter lägre än ett förindustriellt värde beräknat med den biogeokemiska modellen MAGIC (Cosby et al. 2001, Moldan et al. 2004). För de flesta sjöarna gjordes bedömningen med MAGICbibliotek (www.ivl.se/magicbibliotek). I kalkade sjöar korrigerades vattenkemin för kalkningspåverkan före försurningsbedömningen med kvoten av Ca och Mg enligt metodiken i Fölster och Köhler (2011).

Paleolimnologi

Inom forskargruppen Miljöförändringsanalys vid Umeå universitet har paleolimnologiska studier genomförts sedan 1970-talet. Jord, torv och sjösediment har provtagits i syfte att studera hur naturmiljön påverkats av naturliga processer och mångtusentårig mänsklig verksamhet. Mer än 400 sjöar har provtagits och analyserats utifrån biologiska och/eller kemiska parametrar för att undersöka och beskriva hur sjöarna och deras omgivning utvecklats sedan de bildades fram till idag. De viktigaste parametrarna för denna studie är kiselalger för pH-rekonstruktion och SCP - en viss typ av flygaska, för datering. I vissa sjöar finns hela sedimentlagerföljden provtagen och hela dess utvecklingshistoria är analyserad, medan i andra har endast ett eller ett fåtal prover tagits. Materialet har tidigare inte sammanställts i en gemensam databas.

Den paleolimnologiska databasen omfattar endast sjöar belägna i Sverige och i första hand har sjöar där kiselalger respektive SCP analyserats lagts in. Databasen är i detta första steg en översikt över vilka sjöar som provtagits och innehåller sjönamn, koordinater och referenser till publikationer där sjöarna finns med. Databasen omfattar alltså inte vilka analyser som gjorts eller vilka resultat som erhöles. Databasen kommer att presenteras på hemsidan för Institutionen för vatten och miljö, SLU

Historisk markanvändning

Två någorlunda heltäckande typer av historisk kartor som visar markanvändningen finns att tillgå – generalstabskartan samt den häradsekonomiska kartan. Generalstabskartan ritades mellan 1850 och 1910 för militära ändamål bl a med syftet att visa på framkomligheten för trupptransporter. Den är den enda historiska kartan som täcker hela landet. Den Häradsekonomiska kartan ritades mellan 1859 och 1954 med syftet att ligga till grund för beskattning. Den har därför högre detaljeringsgrad än generalstabskartan, särskilt för olika typer av odlad mark, men

detaljeringsgraden skiljer sig avsevärt mellan olika delar av landet. Den häradsekonomiska kartan omfattar Götaland, med undantag för Småland, Öland och Gotland, samt Svealand med undantag för norra och mellersta Dalarna. För Norrland finns kartan bara för kustlandet (Sterner et al. 2010).

Historisk markanvändning finns framtaget för avrinningsområdet för 85 sjöar. I första hand valdes den häradsekonomiska kartan (53 sjöar), men då den saknades användes generalstabskartan. Modern markanvändning togs fram från svensk marktäckedata. Förändringen i markanvändning analyserades, främst med avseende på andel sjöyta, våtmark och barrskog för de sjöar som ingår i den fördjupade paleolimnologiska undersökningen (Sterner et al. 2010).

Sammanställning av äldre kemiska data

Institutionen för vatten och miljö på SLU är nationell datavärd för miljöövervakningsdata för bland annat vattenkemi. Databasen för vattenkemi omfattar till största delen resultat som genererats av olika miljöövervakningsprogram i modern tid, men även äldre undersökningar har datalagts. Dessa omfattar Gunnar Lohammars undersökningar av 147 sjöar mellan 1929 och 1937, J.V. Erikssons provtagning av 71 vattendrag mellan 1909 och 1925, Sven Thunmarks provtagning i 100 sjöar 1937 och Arent Silfersparres provtagning i 214 sjöar mellan 1947 och 1951. Lohammars och Erikssons undersökningar omfattar ett stort antal vattenkemiska parametrar, medan Thunmarks och Silfersparres undersökningar är mer begränsade.

Inom ramen för detta projekt genomfördes litteraturen på flera äldre undersökningar av vattenkemi. Främst söktes data från tiden före 1940, men även en del senare material samlades in. Vattenkemiska resultat datalades och rimlighetsgranskades. I en del fall räknades mätvärdena om till enheter jämförbara med nutida data. Kvaliteten på historiska kemidata är en osäkerhetsfaktor. Många gamla analysmetoder har lika stor noggrannhet som dagens, men kvaliteten är beroende av hur noggrann och skicklig laboratoriepersonalen var. Avsaknaden av ett kvalitetssäkringssystem med ackreditering och interkalibreringar gör det svårt att bedöma pålitligheten av enskilda vattenkemiska data. Om flera parametrar analyserades på samma prov och om det tagits flera prover i samma vatten finns dock möjligheten att bedöma kvaliteten genom att jämföra förhållandena mellan olika analysparametrar och mellan prover.

Provtagningslokalerna identifierades och koordinatsattes, och för sjöar togs identiteterna i SMHI:s sjöregister fram. Slutligen sammanställdes alla data i en fil som datavärden ska kunna lägga in i den nationella databasen för vattenkemi och därmed göra dem tillgängliga. Hittills har data för ca 1450 prover från ca 640 sjöar registrerats. Arbetet dokumenterades i en rapport (Wilander 2011).

Översikt över data för rekonstruktion av referenstillstånd för försurning

Vattenkemiska data som kan användas med MAGIC-modellen finns för 11 % av Sveriges ca 100 000 sjöar (Tabell 1). Sjöarna med vattenkemidata är relativt väl utspridda i landet (Figur 1). En jämförelse med hela den svenska sjöpopulationen visar att vattenkemisjöarna är varmare och ligger på lägre höjd samt att sjöar av olika storlek är relativt väl representerade (Figur 2).

Historiska fiskdata för perioderna före 1940 och efter 1980 finns för ca 2000 sjöar, vilket utgör 2 % av den svenska sjöpopulationen. Områden med särskilt god tillgång på data är Värmland, där Carl Cederström var mycket aktiv i slutet av 1800-talet, och Västerbotten där Göran Englund's forskargrupp varit aktiv under 2000-talet. Ur försurningssynpunkt är det anmärkningsvärt att data saknas för stora delar av Halland. Vi vet att data har samlats in, bl.a. en omfattande inventering på 1980-talet, men det är oklart om dessa data finns kvar. En jämförelse med den svenska sjöpopulationen visar att de undersökta sjöarna är större, varmare och ligger på lägre höjd (Figur 2).

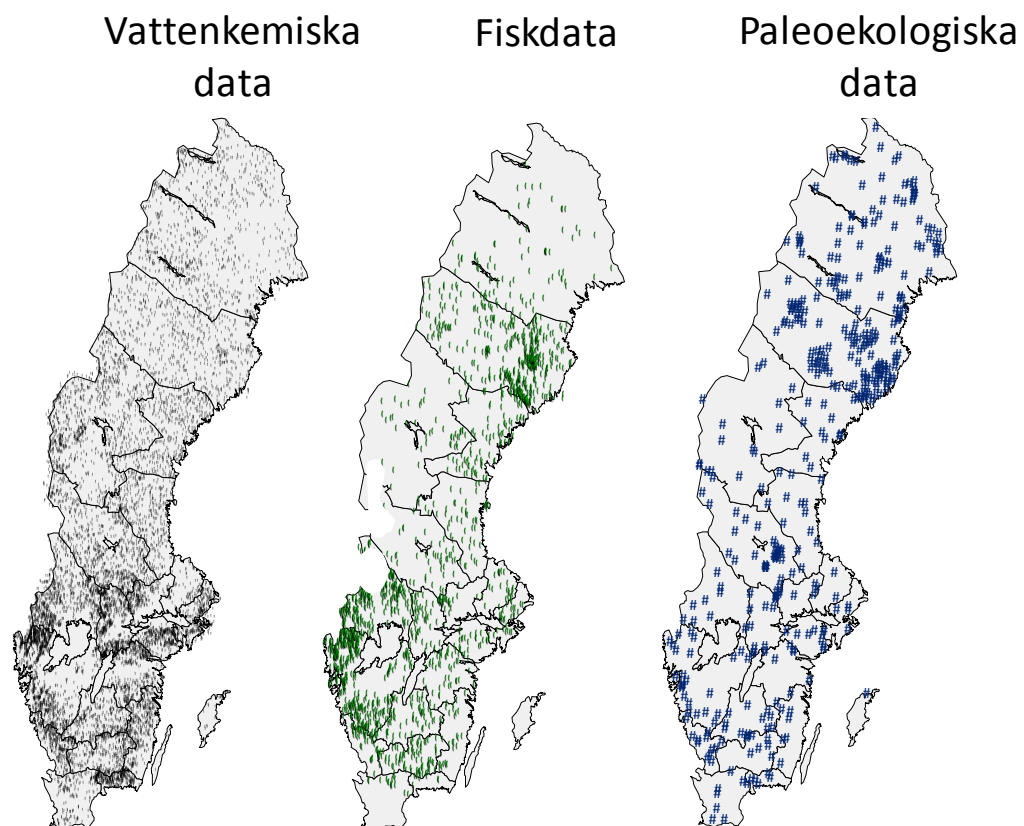
Antalet sjöar med paleoekologiska data är 427. En stor andel av de undersökta sjöarna ligger i Västerbotten, vilket återspeglar den omfattande paleoekologiska forskningen vid Umeå Universitet. Även sjöarna med paleoekologiska data är större, varmare och ligger på lägre höjd än vad som är typiskt för svenska sjöar (Figur 2).

Av särskilt intresse är sjöar där olika typer av data har samlats, eftersom detta ger möjlighet att jämföra hur väl resultaten överensstämmer när olika indikatorer används för att rekonstruera referenstillstånd. Störst överlapp är det för vattenkemi- och fiskdata, där 77 % av sjöarna med fiskdata också har kemidata, samt vattenkemi- och paleoekologidata, där 70 % av sjöarna med paleoekologiska data också har kemidata. Däremot är det en stor andel

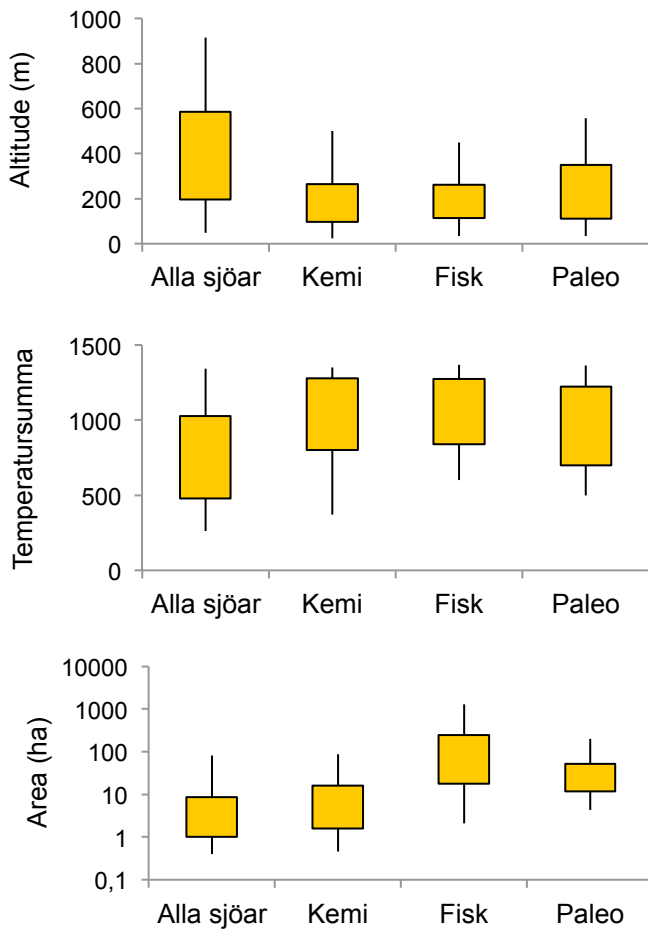
av sjöarna med paleodata som saknar fiskdata (överlappet är endast 18 %). Slutligen kan vi konstatera att alla tre typer av data endast finns för 44 sjöar.

Tabell 1. Antal sjöar där det finns data för vattenkemi, fiskförekomst, eller paleoekologisk information, som kan användas för att rekonstruera referenstillstånd för pH.

Data	Antal
Kemi	11106
Fisk	2022
Paleo	427
Kemi+Fisk	1565
Kemi+Paleo	298
Fisk+Paleo	77
Kemi+Fisk+Paleo	44



Figur 1. Kartorna visar var det finns sjöar med olika typer av data som kan användas för att rekonstruera referenstillstånd för försurning



Figur 2. Figuren visar 5%, 25%, 75% och 95% percentiler för alla svenska sjöar och sjöar där vi har vattenkemiska data, historiska fiskdata och paleoekologiska data som kan användas för att rekonstruera referensnivåer för förorening.

FÖRDJUPAD PALEOLIMNOLOGISK ANALYS OCH JÄMFÖRELSE MELLAN HISTORISKA ARKIV

Undersökningar av sjösediment kan användas för att studera hur miljön i sjöar och deras avrinningsområden förändrats genom tiden på grund av naturliga processer och mänsklig påverkan. Detta möjliggörs genom att sediment avsätts kontinuerligt under året och genom åren och därigenom bygger upp ett tidsarkiv som täcker tiden från det sjön bildades till idag. Sjösediment består av material både från avrinningsområdet, såsom vittringsprodukter och förna, och från den interna produktionen i sjön, såsom lämningar av fisk, insekter, zooplankton och alger. Dessutom avsätts material som transporterats till avrinningsområdet från närliggande och avlägsna platser, såsom föroreningar, aska och pollen, i sjöarna. Genom att analysera olika beståndsdelar av sedimentet kan man studera hur näringsgrad, pH, halter av organiskt material, klimat, markanvändning, etc., förändrats över tiden.

Paleolimnologiska studier har visat hur dynamiskt det naturliga tillståndet är, tex. hur variabelt ett naturligt pH kan vara. De har också visat att människan påverkat sjöar och deras avrinningsområden i större omfattning och långt tidigare än vad som många gånger antagits. Renberg et al. (1993a,b) visade med hjälp av kiselalgsanalyser av sedimentproppar från sura klarvattensjöar i södra Sverige att dessa genomgått fyra tydliga perioder: En naturlig försurning med gradvis sjunkande pH under flera tusen år, en period med ökat pH-värde orsakat av tidigt jordbruk, en modern försurning orsakad av surt nedfall och eventuellt också ändrad markanvändning, samt därefter ett ökat pH orsakat av kalkning. Korsman (1999) visade att det inte går att påvisa någon storskalig modern försurning i norra Sverige. I de sjöar som har ett lågt pH har detta främst orsakats av naturliga processer. Guhrén et al (2007) visade att kalkade sjöar inte alltid försurats av modernt nedfall av svavelföroreningar och att ett flertusenårigt perspektiv kan vara nödvändigt för att beskriva dagens tillstånd i en sjö och vad som orsakat det. Vidare visades att kalkningen gav olika respons i kiselalgssamhället i olika sjöar, bland annat skapades i vissa fall en kiselalgssammansättning som aldrig tidigare förekommit i sjön. Norberg et al. (2010) föreslog en modell för att definiera realistiska åtgärds mål för svenska sjöar där hänsyn tas till sjöarnas naturliga tillstånd samt historisk och nutida mänsklig påverkan. Modellen baseras på det kunskapsläge som finns idag utifrån ett flertal paleolimnologiska undersökningar, bland annat de som nämns ovan.

Ekologisk status för vattenförekomster klassas enligt Bedömningsgrunderna i VFF som avvikelser från ett referensvärde som ska motsvara ett förindustriellt tillstånd. I och med VFF ska också varje enskilt objekt bedömas och åtgärder sättas in där det behövs. Detta ställer ökade krav på att Bedömningsgrunderna ska ge en så bra bedömning som möjligt av enskilda objekt. Med syfte att förbättra kunskapen om de förändringar som industrialiseringen medfört och att ta fram bättre underlag för referensvärden för ekologisk status har 20 sjöar provtagits för att göra en paleolimnologisk analys. Dessa har valts med utgångspunkt i att försurningsbedömningen utifrån MAGIC och tillgänglig information om fiskförekomst delvis ger olika bedömningar av sjöarnas referenstillstånd vad gäller pH. Sjöarna har daterats med SCP (en typ av flygaska) och analyserats med avseende på kiselalger för att få mer omfattande information om pH-utvecklingen i sjöarna med fokus på referenstillstånd och eventuell mänsklig påverkan. Utöver dessa 20 sjöar har undersökningen kompletterats med 6 sjöar som undersökts i tidigare paleolimnologiska studier. Alla dessa 26 sjöar presenteras individuellt i bilaga till rapporten. Utifrån de resultat som erhöles ges en rekommendation hur olika historiska arkiv kan användas för att identifiera ett så rikligt referenstillstånd som möjligt för en sjö.

URVAL AV SJÖAR TILL FÖRDJUPAD ANALYS

20 sjöar skulle provtas för paleolimnologiska analys och dessa valdes utifrån kriterier satta för fiskdata, vattenkemidata och lämplighet för paleolimnologisk analys (se nedan). Inledningsvis identifierades fyra olika grupper av sjöar. I grupp 1 och 2 stämmer fisk och vattenkemidata inte överens, i grupp 3 och 4 stämmer de överens (se nedan). De 20 sjöarna för provtagning fördelades lika mellan grupp 1 och 2. Grupp 3 och 4 är vid urvalet teoretiska referensgrupper.

Grupp 1: Mört har försvunnit men vattenkemi visar inte på försurning

Grupp 2: Mört har inte försvunnit men vattenkemin visar på försurning

Grupp 3: Mört har försvunnit och vattenkemi visar på försurning

Grupp 4: Mört har inte försvunnit och vattenkemi visar inte på försurning

Sjöar i urvalet har begränsats till de geografiska områden i Sverige där belastningen av försurande ämnen varit som högst. De län som ligger inom detta område omfattar: Kronobergs län, Blekinge län, Skåne län, Hallands län, Västra Götalands län samt delar av Jönköpings län, Kalmar län, Värmlands län, Örebro län, Västmanlands län, Dalarnas län.

Fisk

I det första steget utvärderades sjöarna utifrån tillgänglig information i fiskdatabasen PIKE. Mört valdes som indikatororganism eftersom den anses vara känslig för försurning. Den är dessutom vanlig och lätt att känna igen vilket gör att underlagsdata är omfattande och tillförlitligt. Alla sjöar registrerade i PIKE med mörtförekomstdata från före 1940 och efter 1980 valdes ut. Dessa tidpunkter antas representera början och slutet på den period då många fiskpopulationer dog ut på grund av försurning i västra Sverige. Ett stort antal mörtpopulationer utrotades genom rotenonbehandlingar under perioden 1950-1970. Följaktligen uteslöts sjöar där rotenon använts. I PIKE har informationskällorna trovärdighetsklassats. Högst trovärdighet har provfisken (kategori 3) medan historiska dokument, enkätundersökningar och intervjuer klassas i kategori 2. Kategori 1 baseras på samma typ av källor som kategori 2 men har av olika anledningar ansetts vara mindre trovärdiga. I urvalet prioriterades sjöar med så hög trovärdighet som möjligt. I tabellen över de sjöar som ingår i denna studie har klassningen utökats till fem nivåer.

Vattenkemi och försurningsbedömning

I steg två valdes sjöar ut utifrån tillgängligt vattenkemidata och försurningsbedömningar.

Försurningspåverkan uttrycks som förändring av pH-värde sedan 1860 enligt modellering med den biogeokemiska modellen MAGIC. För målsjöarnas referenser finns modellering med MAGIC (MAGIC₂₀₀₇), men för de övriga sjöarna gjordes bedömningen genom matchning med MAGIC-bibliotek (www.ivl.se/magicbibliotek), ett verktyg där sjön bedöms med en likartad sjö som modellerats med MAGIC. För detta användes MAGICbibliotek version 2007-10-17 (Fortsättningsvis benämns denna som MAGICbibl₂₀₀₇).

De kalkade sjöarna korrigerades för kalkningspåverkan. Den beräknade försurningspåverkan avser därför hur försurad sjön skulle vara om den inte kalkats. För Målsjöarna gjordes två separata bedömningar baserade på korrigeringar av kemin med två olika närliggande referenser. I första hand valdes sjöar där båda korrigeringarna gav samma klassning med avseende på försurning. För MAGIC och MAGICbibliotek kan försurningsbedömningar från olika år predikteras. Tillgången på bedömningar från olika år skilde sig mellan tillgängliga dataset.

Enligt bedömningsgrunderna anses sjöarna som försurningspåverkade om pH-förändringen är större än 0,4 enheter. I datamaterialet som funnits tillgängligt vid urvalet av sjöar till den här studien, är bedömningen oftast gjord på ett fåtal prover och ibland på vattenkemi korrigerat för kalkning. Därför har ibland en säkerhetsmarginal på 0,2 enheter använts för att minska risken för felklassningar. Sjöar med dpH < 0,2 har då betraktats som icke försurade och sjöar med dpH > 0,6 som försurade (se tabell 2).

Tabell 2: I tabellen anges vilket underlag som använts för olika dataset.

Dataset	dpH för år	Kriterium för gruppen försurad	Kriterium för gruppen ej försurad
RI 95/ 00	1990	dpH > 0,6	dpH < 0,4
RI 05	2005	dpH > 0,4	dpH < 0,4
KalkMål	2007	dpH > 0,6 båda referenserna	dpH < 0,2 båda referenserna
MålRef	1980	dpH > 0,4	dpH < 0,4

Där flera värden finns har en sammanvägd bedömning gjorts. En försurningsbedömning för ett tidigare år har fått väga tyngre än från ett senare årtal eftersom det ligger närmare i tid när försurningen var som störst och har därför antagits vara mer representativt än senare bedömningar. Senare bedömningar kan återspegla att en viss återhämtning skett. Om olika bedömningar har varit motstridiga har den mest trovärdiga bedömningen fått råda som följer (i fallande skala): MålRef > RI 95/00 > RI 05, KalkMål. Sjöar där data varit mycket motstridigt eller svårtolkat har plockats bort.

Nya försurningsbedömningar

Bedömningen som användes för urvalet av sjöar för den paleolimnologiska underökningen gjordes med versionen av MAGIC och MAGICbibliotek från 2007. Vid utvärderingen av resultaten användes istället en reviderad version av biblioteket från 2010. Revideringen innebar dels att alla modelleringar gjordes om utifrån nya uppgifter om historisk deposition, och dels att biblioteket kompletterades med fler framför allt försurade sjöar. Dessa förändringar ledde till att den uppskattade försurningspåverkan i genomsnitt ökade.

Kalkade vatten korrigerades för kalkningspåverkan före försurningsbedömning genom att den okalkade halten av kalcium (Ca) beräknades ur magnesiumhalten (Mg) och kvoten mellan Ca och Mg i en okalkad referens. Även här har skett en metodutveckling. I urvalet användes kvoten mellan marinkorrigerade halter (Fölster och Wilander, 2005) medan i utvärderingen användes kvoten mellan totalhalter (Fölster et al. 2011).

För jämförelsen mellan försurningspåverkan och förlorade mörtbestånd användes försurningspåverkan 1980 som antas vara den tidpunkt då försurningspåverkan var som störst. Om samma sjö ingick i flera underökningar valdes en bedömning gjord med MAGIC före en bedömning med MAGICbibliotek. Om flera bedömningar med MAGICbibliotek fanns valdes de tidigaste resultaten d.v.s den provtagning som låg närmast i tiden till 1980. Undantaget är Riksinventeringen 1990 som valdes i sista hand eftersom provtagningen då gjordes på vintern i de fall som samma sjö har förekommit i flera undersökningar har bedömningen valts i följande ordning: RI95, RI00, RI05, KalkMål, MålRef, Omdr, RI90.

Eftersom bedömningarna utifrån MAGIC₂₀₁₀ har ett säkrare dataunderlag bedömdes sjöarna som försurade om dpH >0,4 och som ej försurade om dpH <0,4, dvs säkerhetsmarginalen som användes för den tidigare bedömningen (2007) togs bort.

Paleolimnologi

I steg tre av urvalsprocessen bedömdes sjöarnas lämplighet för paleolimnologisk provtagning. I de paleolimnologiska analyserna eftersträvas att den sedimentpropp som provtas är representativ för sjön som helhet, och att sedimentlagerföljden är så ostörd som möjligt från tex bioturbation och vatten- och vindrörelser. Av den anledningen sorterades grunda sjöar samt sjöar med komplicerad morfologi bort, i den mån det fanns utrymme till det. Av praktiska skäl togs också hänsyn till om sjöarna låg avsides eller var svåråtkomliga för fältprovtagning.

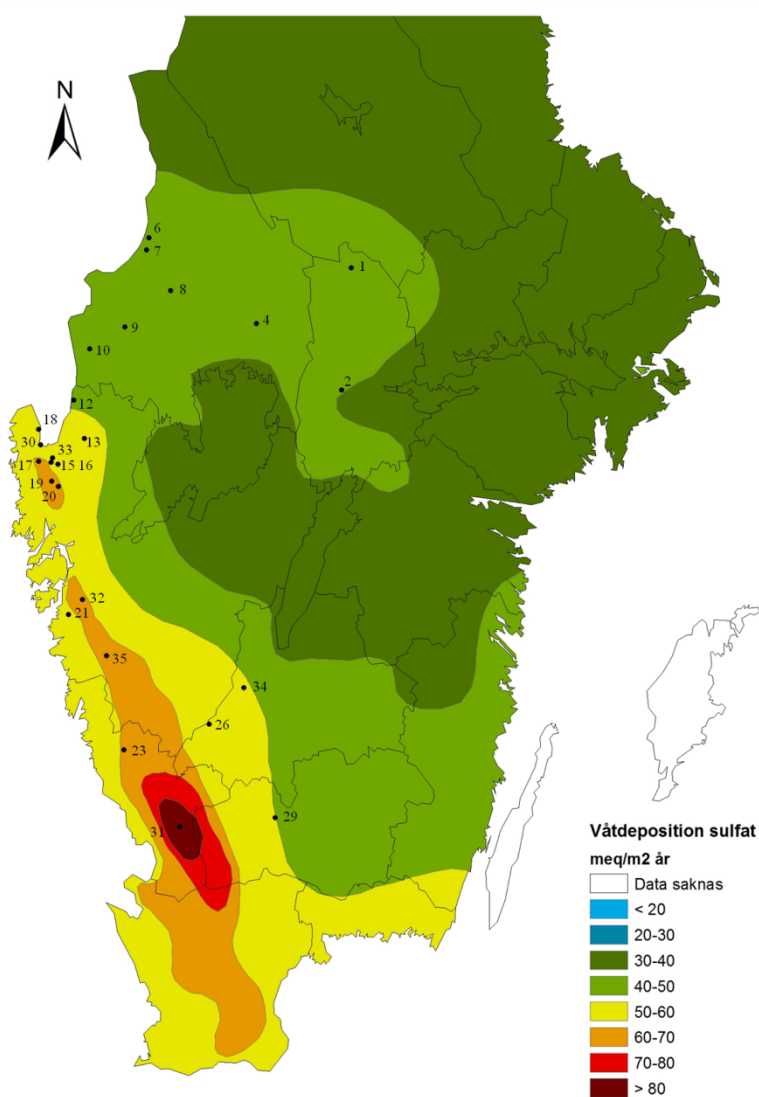
Av de sjöar där det finns tillgänglig information om både fisk och vattenkemi enligt ovanstående beskrivning har de där paleolimnologiska studier redan utförts identifierats. Detta omfattar 18 sjöar. Sex av dessa sjöar har daterats med SCP (en typ av flygaska) och analyserats med avseende på kiselalgsfloran på fler nivåer än en i sedimentet. De ligger också inom det geografiska område som utsatts för högst belastning av försurande nedfall. Dessa sex sjöar inkluderades därför i utvärderingen tillsammans med de 20 sjöar som provtagits inom det här projektet. Dessa sjöar har nummer 30-35 (Tabell 3).

PRESENTATION AV UTVALDA SJÖAR

I fiskdatabasen har 2022 sjöar data från både före 1940 och efter 1980. Efter de satta urvalskriterierna följts upp gick antalet sjöar där mört försvunnit efter 1940 till 115 sjöar och 333 sjöar identifierades där mört fanns både före och efter 1940.

Antalet sjöar där det finns vattenkemidata är 11106. Av de 115 sjöarna där mört försvunnit efter 1940 finns försurningsbedömningar för 90 stycken och av de 333 sjöarna där mört finns både före och efter 1940 finns försurningsbedömningar för 290 stycken med MAGIC₂₀₀₇ och/eller MAGICbibl₂₀₀₇.

Av de ca 380 sjöar där det finns både historiskt och nutida information om mörtförekomst samt försurningsbedömningar mötte 11 stycken de satta kriterierna för fisk och vattenkemi i grupp 1 (Mört har försvunnit men vattenkemi visar inte på försurning) och ett 50-tal i grupp 2 (Mört har inte försvunnit men vattenkemin visar på försurning). I de flesta fall stämmer alltså informationen från fisk och vattenkemi överens. Informationen om de 20 provtagna sjöarna inklusive de 6 tidigare provtagna sjöarna redovisas i tabell 3 och figur 3.



Figur 3: Karta över de 20 provtagna sjöarna inom projektet samt de 6 sjöar som provtagits tidigare. Kartan visar också koncentrationen vätdeposition av sulfat mellan åren 1983 och 1987.

Tabell 3: Information om koordinater, djup, area och kalkning för de 26 sjöarna

Sjö nr	Sjönamn	X_SMHI	Y_SMHI	Max djup (m)	Medel djup (m)	Sjöarea (km ²)	Avrinning sområdets area (km ²)	Kalkad
1	Stora Kumlan	664979	144860	21.0	9.6	2.2	33.6	Ja
2	Leken	657224	144245	8.0	3.3	1.2	9.3	Ja
4	Stora Böckeln	661431	138818	11.0		1.2	51.4	Ja
6	Kivilamp	666900	131954	18.5	6.1	0.3	59.9	Ja
7	Lilleken	666134	131800	26.0	2.5	1.2	27.8	Ja
8	Nedre Flytjärn	663534	133336	8.0	2.5	0.2	29.9	Ja
9	Gränsjön	661239	130398	35.0	2.0	2.0	17.4	Ja
10	Grässjön	659835	128156	3.6		0.1	3.1	Nej
12	Försjö/Fursjö	656576	127142	24.0		0.5	2.3	Ja
13	Bovattnet	654139	127807	21.0		0.2	0.6	Ja
15	Fisklössjön	652651	125681	9.5	3.8	0.2	1.5	Ja
16	Trantjärn	652523	126120	7.6	2.0	0.2	1.2	Ja
17	Nedre Bolsjön	652689	124892	38.7	14.0	1.2	9.1	Ja
18	Husebotjärnen	654716	124874	10.0	5.8	0.2	2.1	Ja
19	Lundetjärnet Krokstad	651426	125722	8.7	3.3	0.1	0.7	Ja
20	Långevatten	651083	126153	9.5	2.3	0.1	4.0	Ja
21	Ingetorps Sjö	642964	126794	15.2	10.0	0.2	0.6	Ja
23	Stora Neten	634378	130353	57.0	19.0	3.0	17.4	Ja
26	Mörke-Malen	636004	135778	22.0	7.7	1.0	40.8	Ja
29	Ryssbysjön	630069	140009	8.0	3.0	2.7	200.8	Ja
30	Ejgdesjön	653737	125017	29.0	7.0	0.9	4.3	Ja
31	Gyltigesjön	629489	133906	20.0	9.1	0.4	172.1	Ja
32	Härsvatten	643914	127698	26.2	5.7	0.2	1.9	Nej
33	Rotehogstjärnen	652902	125783	9.4	3.4	0.2	3.6	Nej
34	Stengårdshultasjön	638317	138010	26.8	7.1	5.0	83.5	Ja
35	Stora Härsjön	640364	129240	42.0	14.1	2.6	23.7	Ja

Fisk

Den framtagna informationen om fisk i de 20 sjöar som provtagits 2009 tillsammans med de 6 sjöar som provtagits tidigare för paleolimnologisk analys har sammanställts i tabell 4. Historisk fiskdata för de 26 sjöarna finns mellan åren 1882 och 1938. Informationen om fiskförekomst kring 1980 och senare baseras i 18 av sjöarna på provfiske. För 24 av sjöarna är bedömningen av fiskdata trovärdig och i 10 av dessa är bedömningen mycket trovärdig med tillförlitligt data från flera olika år.

Tabell 4: Översikt över den tillgängliga informationen om nutida och historisk mörtförekomst i de 26 sjöarna.

Sjö nr	Årtal historiska fiskdata	Provfiske (antal)	Enkätundersökning (fisk)	Försurningskartering 1980 (fisk)	Mört har försvunnit	Bedömning av fiskdata
1	1934	3			Ja	5
2	1933	1	Ja		Nej	3
4	1896		Ja		Nej	3
6	1896	1	Ja		Ja	1
7	1896	1	Ja		Nej	3
8	1896		Ja		Nej	3
9	1896		Ja		Nej	3
10	1882		Ja		Ja	3
12	1902		Ja	Ja	Ja	5 ⁽²⁾
13	1902			Ja	Ja	2
15	1897	1			Ja	4
16	1897	1			Ja	4
17	1897	4			Ja	5
18	1897	2			Ja	4
19	1897	2	Ja		Nej	4
20	1897	1			Ja	4
21	1897		Ja		Nej	3
23	1897	8	Ja		Nej	5
26	1938		Ja		Nej	3
29	1937	3	Ja		Nej	4
30	1897	17			Ja	5
31	1897	30			Nej	5
32	1897	10			Ja	5
33	1897	28	Ja		Nej	5
34	1935	24			Nej	5
35	1897	27	Ja		Ja	5

(2)=Uppgifter om mörttextinktion men även information om mörtförekomst under 1990-talet. Dock ingen information om att mört skall ha kommit tillbaka.

Bedömning av fiskdata

- 1: osäkerhet i data finns
- 2: något motstridiga uppgifter som behöver undersökas närmare
- 3: trovärdiga uppgifter men information endast för enstaka år
- 4: trovärdiga uppgifter från provfiske, men det finns endast information från ett år på 1970- eller 1980 talet
- 5: trovärdiga uppgifter, uppgifter från flera år inklusive uppgifter från flera år under 1970- och eller 1980 talet eller uppgifter om extinktion

Försurningsbedömningar

Den beräknade förändringen av pH-värdet utifrån MAGIC₂₀₁₀ och MAGICbibl₂₀₁₀ (dpH optimalt) för de 26 sjöarna var mellan 3.04 och 0.12 enheter (se tabell 5). I 16 av sjöarna finns ett flertal bedömningar gjorda, mellan 2 och 8 stycken. I 11 av dessa ger alla gjorda modelleringar av dpH samma bedömning av sjön som försurad eller ej försurad. I fem av sjöarna har en direkt modellering av dpH med MAGIC₂₀₁₀ gjorts, i de övriga har sjöarna matchats mot MAGICbibl₂₀₁₀. Då flera bedömningar fanns tillgängliga valdes den mest lämpliga ut enligt beskrivningen i metoddelen. De flesta bedömningar av dpH kom då att baseras på vattenkemi från riksinventeringen 1995 och Målsjöinventeringen 2007.

Revideringen av bedömningsgrunderna ledde till en viss förändring av försurningsbedömningarna efter att urvalet till provtagningen gjorts (se tabell 6 och 5). Utifrån de nya bedömningarna har 9 av de 20 provtagna sjöarna omklassificerats utifrån överensstämmelse mellan fiskdata och vattenkemidata (sjö 1, 2, 12, 13, 16, 17, 18, 20, 21).

Enligt de nya bedömningarna förs 3 av sjöarna till grupp 1 (Mört har försvunnit men vattenkemi visar inte på försurning) och 11 av sjöarna till grupp 2 (Mört har inte försvunnit men vattenkemin visar på försurning). Vattenkemi och fiskdata överensstämmer i 12 sjöar, varav 10 förs till grupp 3 (Mört har försvunnit och vattenkemi visar på försurning) och 2 till grupp 4 (Mört har inte försvunnit och vattenkemi visar inte på försurning)

Tabell 5: Översikt över tillgängliga försurningsbedömningar utifrån MAGIC/MAGIC_{bibl} 2010 för de 26 sjöarna.

Sjönr	Grupp	dpH Max	dpH Min	dpH N	dpH differens	dpH optimalt	Försurat optimalt
1	3	0.86	0.86	1	0.00	0.86	1
2	4	2.38	0.14	6	2.24	0.14	0
4	2	1.11	0.74	6	0.37	1.11	1
6	1	1.01	0.13	5	0.88	0.35	0
7	2	0.87	0.53	6	0.34	0.57	1
8	2	1.72	0.14	5	1.58	0.87	1
9	2	1.36	0.58	6	0.78	0.8	1
10	1	0.96	0.08	6	0.88	0.12	0
12	3	1.80	1.80	1	0.00	1.8	1
13	3	0.50	0.50	2	0.00	0.5	1
15	1	0.38	0.38	2	0.00	0.38	0
16	3	0.64	0.64	1	0.00	0.64	1
17	3	2.43	2.43	1	0.00	2.43	1
18	3	0.91	0.91	1	0.00	0.91	1
19	2	2.37	0.19	5	2.18	1.74	1
20	3	0.60	0.60	1	0.00	0.6	1
21	4	0.23	0.22	3	0.01	0.22	0
23	2	2.91	2.37	5	0.54	2.44	1
26	2	3.04	1.74	5	1.30	3.04	1
29	2	1.67	0.72	4	0.95	0.74	1
30	3	0.98	0.98	1	0.00	0.98	1
31	2	2.11	2.11	1	0.00	2.11	1
32	3	1.97	1.97	1	0.00	1.97	1
33	2	1.86	1.37	8	0.49	1.82	1
34	2	1.29	1.29	1	0.00	1.29	1
35	3	2.67	2.30	5	0.37	2.67	1

Tabell 6: Översikt över tillgängliga försurningsbedömningar utifrån MAGIC/MAGIC_{bibl} 2007 för de 26 sjöarna.

Sjön	Grupp	dpH Max	dpH Min	dpH N	dpH differens	dpH optimalt	Försurat optimalt
1	1	0.17	0.17	2	0.00	0.17	0
2	2	1.52	0.71	5	0.81	1.06	1
4	2	1.04	0.09	4	0.96	1.04	1
6	1	0.41	0.19	3	0.22	0.27	0
7	2	0.84	0.08	4	0.76	0.84	1
8	2	1.12	0.25	3	0.87	0.84	1
9	2	0.96	0.04	5	0.92	0.66	1
10	1	0.30	0.08	4	0.22	0.3	0
12	1	0.17	0.17	2	0.00	0.17	0
13	1	0.30	0.30	1	0.00	0.3	0
15	1	0.20	0.20	1	0.00	0.2	0
16	1	0.15	0.15	1	0.00	0.15	0
17	1	0.17	0.15	2	0.02	0.17	0
18	1	0.28	0.18	2	0.10	0.18	0
19	2	1.23	0.22	5	1.01	1.06	1
20	1	0.15	0.11	2	0.04	0.11	0
21	2	2.66	2.66	1	0.00	2.66	1
23	2	2.26	0.12	3	2.14	2.26	1
26	2	1.15	0.62	4	0.53	0.62	1
29	2	2.94	0.21	4	2.73	0.63	1
30	3	0.77	0.77	2	0.00	0.77	1
31	2	0.38	0.38	1	0.00	0.38	0
32	3	0.89	0.89	1	0.00	0.89	1
33	2	1.30	0.28	5	1.02	1.30	1
34	2	0.75	0.13	2	0.62	0.13	0
35	3	2.06	2.06	2	0.00	2.06	1

Historisk markanvändning

För 18 av de 26 sjöarna kunde den historiska markanvändningen kartläggas (tabell 7). I 7 av dessa har mängden barrskog minskat från historisk tid till nutid med mellan 7 och 20 % medan den i de övriga 11 har ökat med 6-74 %. I 12 av sjöarna har mängden öppen mark minskat med upp till 85 % medan den har ökat med upp till 13 % i de övriga 6 sjöarna. Mängden blandskog har ökat i nästan alla 18 sjöar, som mest med 19 % i sjö 21. Endast små förändringar kan noteras i mängden lövskog förutom i två sjöar. I sjö 21 har mängden ökat med 14 % och i sjö 29 har den minskat med 16 %.

Tabell 7. Sammanställning av information från historiska och nutida kartor från 18 av de 26 sjöarna där det fanns historiska kartor att tillgå. Alla siffror anges i %.

Sjö nr	Barrskog		Blandskog		Lövskog		Öppen våtmark		Sluten våtmark		Vatten		Öppen mark	
	Hist	Nu	Hist	Nu	Hist	Nu	Hist	Nu	Hist	Nu	Hist	Nu	Hist	Nu
1	67	53	0	9	1	5	8	9	0	3	7	7	17	14
2	58	45	2	13	1	4	7	4	0	2	12	12	19	21
4	75	63	0	4	1	2	12	5	0	4	10	10	2	11
9	73	58	0	5	1	3	4	1	1	1	13	13	7	18
10	58	38	0	11	6	13	0	0	0	0	13	13	24	26
12	66	48	6	11	0	3	3	0	0	3	23	21	3	15
13	68	61	0	2	0	0	0	0	0	0	25	27	7	10
15	0	49	0	1	0	0	37	36	0	0	11	11	51	3
16	4	42	0	0	0	0	12	24	0	6	18	18	67	10
17	3	66	0	7	0	1	5	4	0	0	16	16	76	6
18	0	57	0	4	0	2	0	1	0	0	26	23	74	13
19	3	65	0	4	0	5	8	4	0	0	9	12	79	10
20	1	75	0	1	0	0	4	6	0	2	3	3	91	12
21	0	32	0	19	0	14	0	2	0	0	24	27	76	6
26	47	53	0	2	10	6	14	5	1	10	9	10	18	14
29	35	48	0	7	23	7	12	4	1	7	5	4	24	22
32	0	73	0	2	0	0	3	4	0	1	12	20	85	0
33	50	59	0	5	0	1	18	16	0	0	8	5	24	14

METOD -PALEOLIMNOLOGISK ANALYS

Sedimentprovtagning

Provtagning av de 20 sjöarna utfördes under hösten 2009 med en HTH sedimentprovtagare (Renberg and Hansson 2008). En sedimentpropp som omfattar upp till ca 40 cm sediment togs. Proverna är tagna i sjöarnas djupaste delar, i ackumulationsbotten, för att få så liten inverkan som möjligt från våg och strömrörelser samt bioturbation. I djupområden kan man också få ett representativt prov som speglar hela sjön (Hilton 1985; Hilton et al. 1986). Sedimentpropparna delades upp i 0,5 cm intervall i de översta 10 cm av sedimentet, och 1cm intervall från 10 cm och nedåt.

De 6 tidigare provtagna sjöarna provtogs mellan 1997 och 2003. I sjö 32 användes en HTH sedimentprovtagare medan de övriga provtogs med en frysprovtagare (Renberg och Hansson 1993, 2010) . I övrigt hanterades proverna på motsvarande sätt som beskrevs för de 20 sjöar som provtogs 2009.

Datering av sedimenten med SCP

Vid högtemperaturförbränning av fossila bränslen bildas bland annat flygaska som kan transporteras lång väg genom luften innan den deponeras. En viss typ av flygaska - SCP (Spheroidal Carbonaceous fly-ash Particles), är lätta att identifiera i stereolupp utifrån typiska karaktäristika (bland annat är de sfäriska, svarta och ihåliga). Mängden SCP i sjösediment har visat sig ha en god korrelation med storleken på svavelnedfallet över Sverige (Wik & Renberg 1991). Genom analys av SCP i sjösediment kan oftast tre tidsperioder identifieras. Dels när förbränning av fossila bränslen kom igång på allvar under 1800-talets mitt, dels när användandet av fossila bränslen intensifierades under efterkrigstidens 1950-tal och dels när kulmen på förbränning av fossila bränslen nåddes under 1970-talet (Renberg & Wik 1985a, 1985b; Wik & Renberg 1991, 1996). I den här studien har det framför allt varit intressant att identifiera mitten på 1800-talet för att analysen av kiselalger i sedimentet och det rekonstruerade pH-

värdet ska vara jämförbart med fiskdata och vattenkemidata. Hela sedimentprofilen har därför inte analyserats i alla sjöarna.

Preparering av proverna sker genom att ett uttaget sedimentprov kokas i väteperoxid under 4-6 timmar för att oxidera bort organiskt material. Därefter tillsätts saltsyra för att avlägsna järnföreningar och eventuella kalkförekomster. Proverna tvättas i avjonat vatten (4-6ggr) och ett delprov hålls i en glaspetriskål där vattnet får avdunsta. Provet analyseras sedan under stereomikroskop, 50ggr förstoring. En utförlig beskrivning av metoden finns i Wik & Renberg (1996).

Kiselalger

Kiselalger är mikroskopiska organismer som lever i de flesta vatten, såsom sjöar och vattendrag. De är känsliga för olika miljöförhållanden, till exempel pH (Smol et al. 2010). På 1950-talet, årtiondet innan debatten om försurningen blossade upp, började kiselalger användas för att rekonstruera hur pH förändrats över tiden med hjälp av sk. transferfunktioner (Nygaard 1956). Idag är det en etablerad metod där bevarade kiselalgskal från en sjös sedimentlager ger en bild av pH-utvecklingen i sjön genom dess historia (Battarbee et al. 1999).

Kiselalger prepareras på ett liknande sätt som SCP. En liten mängd uttaget sediment kokas i 4-6 timmar i väteperoxid för att avlägsna organiskt material. Saltsyra tillsätts sedan för att lösa upp järnföreningar och kalkförekomster. Därefter tvättas proverna med avjonat vatten 4-6 gånger. Ett fåtal droppar av suspensionen appliceras på ett täckglas som efter det torkat monteras på ett objektsglas med monteringsmedium (Naphrax). Proverna räknas i faskontrastmikroskop i 1250 ggr förstoring. Ungefär 400 kiselalgskal räknas per nivå till så hög taxonomisk upplösning som är möjligt och nödvändigt för den fortsatta bearbetningen. Taxonomin följer i första hand Stevensson *et al.* (1991) och Krammer & Lange-Bertalot (1986-1997).

För att kunna översätta förekomsten av kiselalger till ett pH-värde behöver ett kalibreringsdataset byggas upp. Detta görs genom att provta många sjöar (>100) och koppla vattnets pH till förekomst av olika kiselalger i ytsedimentet med en så kallad transferfunktion. Det är grunden till att sedan kunna rekonstruera vad pH varit under tidigare tidsperioder i de sjöar som studeras (Birks et al. 1990). Det kalibreringsdataset som använts i den här studien kallas SWAP (Surface Water Acidification Project; Stevensson et al. 1991) och består av 178 sjöar i Sverige, Norge och Storbritannien. Den beräknade felmarginalen i kalibreringsdatasetet är 0,32 pH-enheter. Programmet C2 (version 1.6.7) har använts för att rekonstruera pH-värdet i de 20 sjöarna (Juggins 2010).

Glödförlust

I två av de tjugo sjöarna har sedimentets halt av organiskt material bestämts med glödförlustanalys. I vardera sjö togs ett tiotal prover ut fördelade över sedimentproppen. För varje delprov togs ca 0,2 g frystorkat sediment ut. Detta torkades i 110°C över natt och glödgades sedan i 4 timmar i 550°C.

RESULTAT PALEOLIMNOLOGISK ANALYS

Datering med SCP

De 20 sjöarna som provtagits kan delas in i två kategorier utifrån resultaten av analys av flygaska (SCP). Den första kategorin omfattar sjöar där mitten av 1800-talet kunde identifieras i sedimentprofilen. Detta gjordes genom att identifiera sjunkande nivåer av SCP i på varandra följande nivåer tills inga SCP längre kunde hittas. Detta förlopp återfanns i sjö 2, 4, 8 och 9. I ytterligare 9 sjöar (sjö 1, 6, 7, 12, 13, 15, 17, 18 och 26) sjönk koncentrationen av SCP till mycket låga nivåer men det gick inte att identifiera den nivå där SCP upphörde att förekomma. Eftersom SCP koncentrationen i dessa sjöar ligger på mycket låga nivåer i flera på varandra följande nivåer i sedimentet har dateringen av mitten av 1800-talet bestämts till där SCP koncentrationen blir stabil och tydlig. I två av dessa sjöar (sjö 12 och 15) har fler prover räknats uppåt i sedimentprofilen för att identifiera 1950-talets uppgång i SCP koncentration och toppen kring 1970-talet. På så vis har dateringen av mitten av 1800-talet stärkts.

Den andra kategorin sjöar är objekt där mitten av 1800-talet inte kunde identifieras. Här har fler prover räknats uppåt i sedimentprofilen för att identifiera 1950-talet och 1970-talet. Med hjälp av dessa dateringar och kumulativ sedimentvikt beräknades var mitten på 1800-talet kan förväntas återfinnas i sedimentet med antagandet att sedimentvikten som ackumuleras är densamma från år till år. I tre sjöar (sjö 10, 16 och 21) är resultaten från SCP-analysen otydliga och endast 1950-talet kunde identifieras. I en av dessa sjöar (sjö 16) omfattar inte

sedimentproppen mitten av 1800-talet. Uppskattat utifrån den kumulativa sedimentvikten så går denna sedimentpropp tillbaka till början på 1900-talet. I sjö 16 och 21 har även glödförlust gjorts för att se om de otydliga SCP-resultaten kunde bero på förändrade sedimentationsmönster. Några sådana hittades inte.

I en sjö kunde endast 1970-talet identifieras (sjö 29). I denna sjö går det inte att göra någon tillräckligt tillförlitlig datering av mitten av 1800-talet. Troligen har det i sjön förekommit någon förändring av sedimentationshastigheten eller ursprung för materialet som transporteras till sjön. Eftersom koncentrationen SCP sjunker mot botten av sedimentproppen omfattas troligen den intensiva industriella perioden efter världskriget och sannolikt hela 1900-talet.

I tre sjöar kunde både 1950-talet och 1970-talet identifieras (sjö 19, 20 och 23). Dessa två dateringar ger något olika beräknad sedimentackumulation i sjöarna. Detta kan förväntas pga. tex. att det i den övre delen av sedimentet förekommer en viss diagenes (nedbrytning av organiskt material). En skillnad mellan dessa kan också bero på en viss osäkerhet i dateringarna. Genom att beräkna ett medel av sedimentationen utifrån respektive datering kunde mitten av 1800-talet identifieras i två av sjöarna (20 och 23). I sjö 19 omfattar inte mitten av 1800-talet, men det nedersta provet går enligt beräkningarna nästan tillbaka till mitten på 1800-talet.

Resultaten av analys av SCP redovisas för vardera sjö i bilagan med de individuella sjöpresentationerna.

Kiselalger

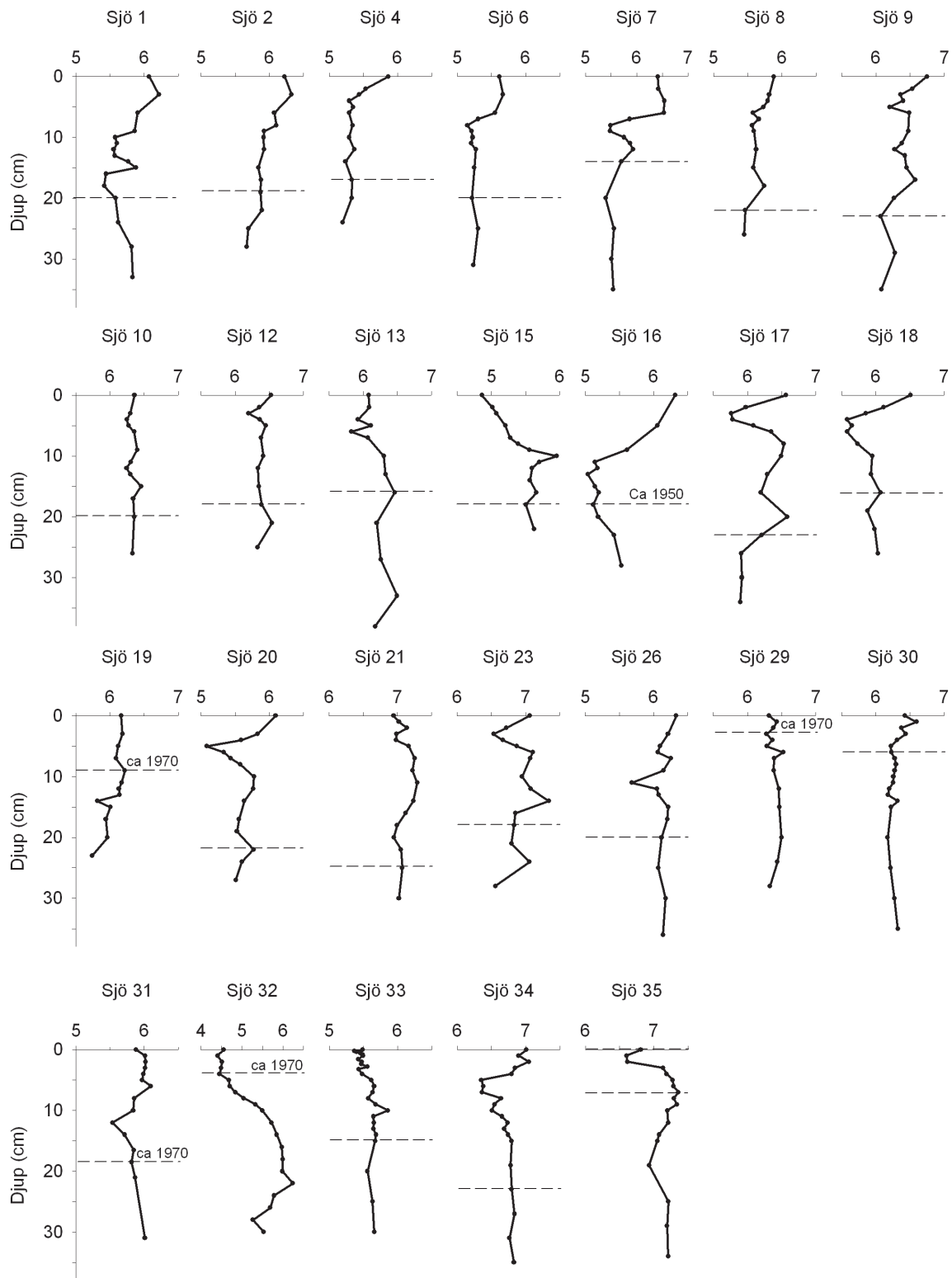
Det rekonstruerade pH-värdet för vardera av de 26 sjöarna redovisas i figur 4. I den nedre delen av sedimentproppen ligger det rekonstruerade pH-värdet i sjöarna mellan 5,2 och 7, vanligtvis mellan 5.5 och 6.5. I 12 av sjöarna är det förindustriella pH-värdet under 6 och i tre av dessa är det under 5.5. Detta motsvarar i alla sjöarna tiden före världskriget och i de allra flesta fall motsvarar det mitten på 1800-talet eller tidigare.

I de flesta av de 26 sjöarna varierar pH-värdet mycket lite under den period av förindustriell tid som täcks av sedimentproppen. Intervallet mellan högsta och lägsta rekonstruerade pH-värde från mitten på 1800-talet och bakåt i tiden till proppens botten (n=2-5 i sjö nr 1-29, n= 5-14 i sjö nr 30-35) ligger inom felmarginerna för rekonstruktionsmodellen i alla utom två sjöar. Dessa är Härsvattnet (sjö nr 32) och Stora Härsvatten (sjö nr 35), där intervallet är 0,9 respektive 0,6 pH-enheter. I tre av sjöarna gick det inte att göra en bedömning eftersom sedimentprofilerna inte omfattar mitten på 1800-talet. Nämnas bör att variationen troligen skulle vara större om sedimentprofilen varit längre och omfattat en större del av sjöarnas utveckling.

I 10 av sjöarna går det att identifiera en sänkning av pH i modern tid (sjö 7, 16, 17, 18, 20, 23, 31, 32, 34, 35). Som mest sjunker pH-värdet 1.5 enheter (sjö 32) och i de övriga sjöarna mellan 0,4 och 0,7 pH-enheter. Den sjö som uppvisar den största nedgången i pH är den tidigare undersökta Härsvatten, en klarvattensjö som är mycket känslig för surt nedfall (Renberg et al 1993b). I de övriga sjöarna är nedgången i pH inte lika stor och i flera av sjöarna är den måttlig. Detta indikerar att försurningen i dessa sjöar inte var lika omfattande som i Härsvatten. I ytterligare två sjöar finns en indikation på en eventuell nedgång i pH under modern tid (sjö 12 och 13). I sjö 12 sker en svag sänkning inom felmarginerna för rekonstruktionsmodellen som sammanfaller med dateringen för 1970-talet. I sjö 13 ligger pH i de översta proverna generellt lägre än djupare nivåer men det rekonstruerade pH-värdet varierar och ger en otydlig pH-kurva. Ingen av dessa två sjöar bedöms som försurad under modern tid utifrån det rekonstruerade pH-värdet.

Av de sjöar där en försurning under modern tid påvisas i de paleolimnologiska resultaten är de flesta belägna inom områden som har haft hög belastning av försurande ämnen (figur 3). Endast en av de sjöar som uppvisar en modern försurningsperiod är belägen inom området med lägst belastning av surt nedfall som ingår i den här studien.

I 8 av sjöarna identifieras en mer eller mindre tydlig alkalisering, där pH-värdet ökar och i flera fall förblir på den högre nivån under en period (Sjö 7, 9, 17, 21, 23, 31, 32, 34). I de tre sjöarna som provtagits tidigare omfattar det provtagna sedimentet en längre tidsföljd som omfattar flera tusen år. I dessa påbörjas alkaliseringen nedanför 30-40 cm sedimentdjup, dvs nedanför den nivå som är möjlig att ta med en HTH-provtagare, som använts i det här projektet. Det kan alltså inte uteslutas att fler sjöar uppvisar en alkaliseringsfas som påbörjades före den tid som sedimentpropparna omfattar. I fem av de alkaliserade sjöarna sker en nedgång i pH som motsvarar en försurning i modern tid (7, 17, 23, 31 och 34). Endast i en av dessa sjöar sjunker pH under den nivå som förekom före alkaliseringen.



Figur 4: Rekonstruerat pH utifrån kiselalger för de 26 sjöarna. Notera att sjö 7 och 32 har en annan skala på X-axeln än de övriga sjöarna. En streckad dateringslinje anges i vardera diagram. Där inget annat anges motsvarar denna mitten av 1800-talet.

I 18 av de 26 sjöarna förekommer en respons i kiselalgsfloran i samband med kalkning. *Achnanthes* [*minutissima* agg.] ökar i förekomst i 15 av sjöarna och i ett flertal av sjöarna ökar även förekomsten av planktiska arter som *Asterionella formosa* och arter ur släktet *Cyclotella*. Det rekonstruerade pH-värdet ökar med 0,3 till 1 pH-enhet i ytan av sedimentet i dessa sjöar. I 16 av sjöarna är det det högsta eller ett av de högsta rekonstruerade pH-värdena under den tidsperiod som sedimentpropparna omfattar.

Det totala antal kiselalgstaxa som identifierats i proverna från de 26 sjöarna är 350 stycken. Bland de vanligaste arterna förekommer *Tabellaria flocculosa*, *Tabellaria* [*flocculosa* agg.], *Frustulia* [*rhomboides* agg.], *Brachysira vitrea*, *Fragilaria virescens* var. *exigua*, *Achnanthes* [*minutissima* agg.], *Eunotia incisa*, *Aulacoseira distans* var. *tenella*, *Aulacoseira* [*distans/subarctica*], *Cyclotella* [*kuetzingiana* agg.] *C. glomerata* och *C. comensis*. Antalet identifierade kiselalgstaxa i enskilda sjöar varierar mellan 102 och 196.

I 23 % av proverna dominerar kiselalgsfloran av planktiska taxa (>50 %). Dessa prover kommer från sjö 9, 12, 13, 17, 18 (endast ytprovet), 21, 23 och 35. Den vanligaste planktonarten vad gäller både frekvens och abundans är *Cyclotella* [*kuetzingiana* agg.] (pH-optima 6,3) som förekommer i 69 % av proverna. I 37 % av proverna utgör den mer än 10 % av kiselalgsfloran. Förutom denna artgrupp är även de planktiska arterna *Asterionella formosa* (pH-optima 6,7), *Aulacoseira ambigua* (pH-optima 6,5), *Cyclotella comta* (pH-optima 6,7), *C. stelligera* (pH-optima 6,2), *C. comensis* (pH-optima 6,7) och *C. glomerata* (pH-optima 6,7) vanligt förekommande. Dessa taxa har ett pH-optima som är relativt högt och representerar en kiselalgsflora som inte förekommer när en sjö är kraftigt försurad eller naturligt sur.

I 20 % av proverna är andelen av arter med pH-optima <5 över 5 %. Störst andel av dessa arter återfanns i sjö 15, 32 och 35. I ytan av de två sistnämnda utgjordes mer än 40 % av kiselalgsfloran av arter med lågt pH-optima. Även i sjö 6 var andelen arter med lågt pH-optima relativt hög (mellan 5 och 10 %) från 9 cm och nedåt. I de flesta prover utgör dessa arter en relativt liten andel (medelvärde 2,8 % av kiselalgsfloran) även om de förekommer i 82 % av proverna. Dessa arter är tydliga indikatorer på ett lågt pH-värde oavsett om det är naturligt eller antropogent orsakat.

I 92 % av proverna låg 90 % eller mer av de räknade kiselalger till grund för rekonstruktionen av pH. I de övriga 8 % av proverna låg åtminstone 80 % av de räknade kiselalger till grund för rekonstruktionen av pH förutom i tre prov. I dessa fall beror detta på att arten *Eunotia zasuminensis*, som inte finns med i rekonstruktionsdatasetet, tillfälligt ökar till relativt höga nivåer (20-25%).

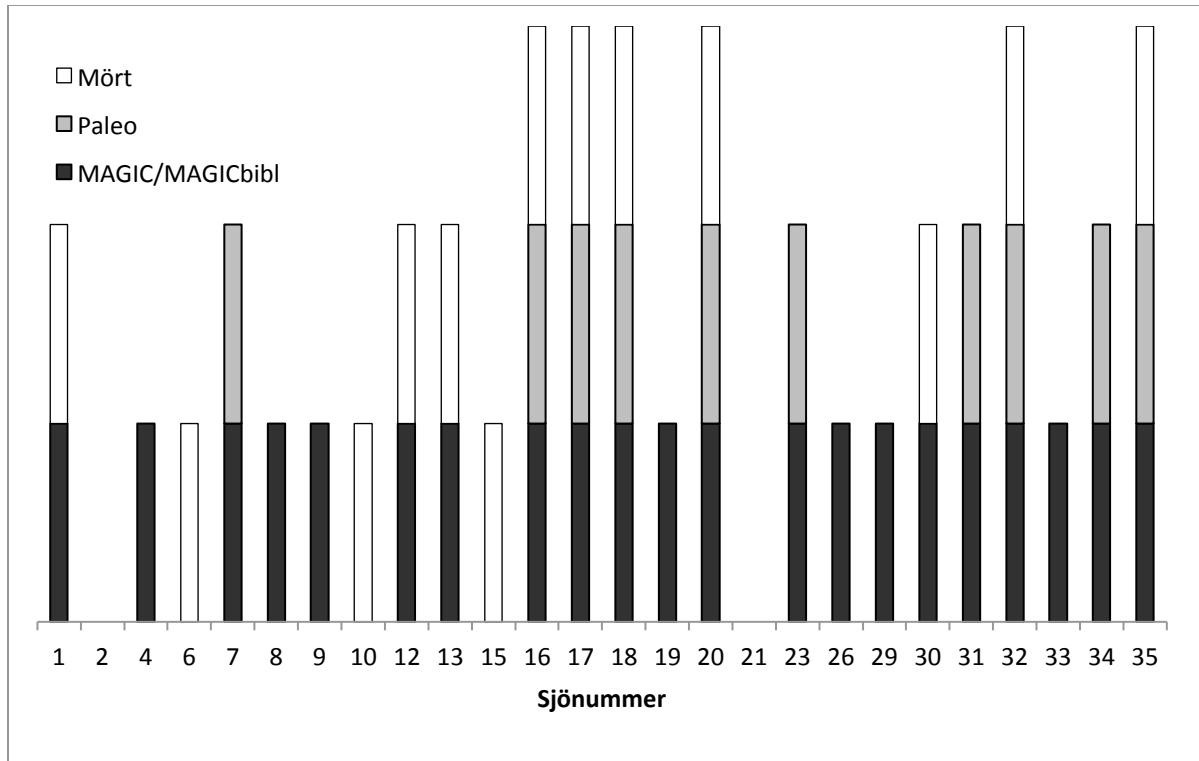
Ett urval av kiselalgstaxa samt rekonstruerat pH redovisas även för vardera sjö i bilagan med de individuella sjöpresentationerna.

JÄMFÖRELSE MELLAN DE OLIKA HISTORISKA ARKIVEN

Sjöarna är valda utifrån att modellering med MAGIC eller matchning med MAGICbibliotek och fiskdata inte stämmer överens. I och med de nya bedömningarna med MAGIC₂₀₁₀ och MAGICbibl₂₀₁₀ har vissa av sjöarna omklassificerats. Detta har lett till att 12 av de 26 sjöarna har överensstämmande resultat för vattenkemi och fiskdata (se figur 5) (grupp 3 och 4). I 8 av dessa överensstämmer även de paleolimnologiska resultaten med vattenkemi och fiskdata. Av de sjöar där data överensstämmer visar resultaten på ett försurat tillstånd i 6 av sjöarna och ett icke försurat tillstånd i 2 av dem.

I 3 sjöar (sjö 15, 10, 6) har mörten försvunnit men vattenkemi visar inte på försurning -grupp 1. Rekonstruktionen av pH utifrån kiselalger visar att ingen av dessa tre sjöar har försurats i modern tid. I två av sjöarna (15 och 6) rekonstrueras låga pH-värden (<5,5) genom stora delar av den undersökta sedimentproppen.

I 11 sjöar har mörten inte försvunnit men vattenkemin visar på försurning – grupp 2 (sjö 4, 7, 8, 9, 19, 23, 26, 29, 31, 33, 34). I fyra av dessa kan en modern försurning noteras i de paleolimnologiska resultaten (sjö 7, 23, 31, 34). I sjö 4 har pH enligt de paleolimnologiska analyserna legat lågt (<5,5) hela den tidsperiod som sedimentet omfattar, förutom i ytan där pH ökar. Informationen om fiskförekomst baseras i denna sjö på en enkätundersökning och inga provfisker har genomförts.



Figur 5: Klassning av de 26 sjöarna som försurade i modern tid eller ej utifrån resultaten av mörtförekomst och extinktioner (vit), paleolimnologisk rekonstruktion av pH (grå) samt modellering med MAGIC eller jämförelse med MAGICbibiotek (svart). Staplarna motsvarar att sjön bedömts som försurade medan frånvaro av staplar motsvarar att de bedömts som ej försurade.

De sjöar som klassas som försurade enligt den paleolimnologiska analysen har haft en relativt stor ökning av andelen barrskog i avrinningsområdet (38-74%) och en motsvarande minskning av andelen öppen mark (57-85%). Med hjälp av en logistisk regression kunde vi visa att p-värdet för sambandet mellan om sjön klassades som försurad enligt paleolimnologiska analyserna och ökningen i mängden barrskog var 0,055. Inget statistiskt signifikant samband kunde alltså fastställas, men eftersom värdet ligger nära signifikansgränsen $p=0.05$ kan detta troligen förklaras av att det är få sjöar som analyserats. Motsvarande siffra för MAGIC var 0,55 och för fisk 0,24.

DISKUSSION

När sjöarna till den fördjupade analysen valdes ut, var huvudmotivet att välja sjöar där vattenkemi och fisk gav motstridiga resultat. Av de totalt 380 sjöar där både vattenkemidata och information om fiskförekomst fanns tillgängliga, kunde ett 60-tal identifieras där data var motstridiga. Detta innebär att historiska fisk- och vattenkemidata i många fall stämmer överens.

Ett av syftena med den här studien har varit att identifiera varför data från olika arkiv inte stämmer överens. Det går inte att i de resultat som presenteras i den här rapporten hitta någon gemensam faktor för de sjöar där tillgängliga data ger olika bedömningar av en sjös referenstillstånd och försurningspåverkan. Troligen är det flera olika faktorer som leder till att metoderna inte stämmer överens.

Styrkor och svagheter med de historiska arkiven

Fisk

Enligt VFF ska i första hand biologiska parametrar användas för att bedöma referenstillstånd och status för en vattenförekomst. De data som gjorts tillgängliga i databasen för fisk ger information om biologiska förändringar i svenska sjöar i enlighet med VFF.

I denna studie har sjöarna delats upp i två grupper utifrån mörtförekomst. Dels de sjöar där mört försvunnit mellan 1940 och 1980, dels de sjöar där mört finns kvar. Det följer alltid med ett mått av osäkerhet när man ska bedöma om en art försvunnit. Ett tydligt exempel på det är sjö 23 (Stora Neten) som provfiskats regelbundet. Vid två av dessa tillfällen har mört inte fångats medan den återfanns i sjön vid de övriga tillfällena. Riskerna finns alltså att en mörtpopulation kan bedömas som utdöd i en sjö om få provfisken utförts. Det kan också vara problematiskt om informationen från fiskförekomsten kommer från enstaka källor/år. I dessa fall kan det vara svårt att avgöra om mört har försvunnit men kommit tillbaka, eller om en muntlig källa missminner sig.

Utbredningen av mört påverkas också av andra miljöfaktorer än pH. Exempelvis finns det data som tyder på att samexistens mellan mört och abborre bara är möjlig om det också finns gädda i sjön (G. Englund opublicerade data). I t.ex. sjö 20 (Krokstad Långevatten) fångades endast abborre vid provfisket 1985. Mört är också ovanlig i kalla och högt belägna sjöar, vilket indikerar att låg temperatur och spridningsmöjligheter också begränsar artens utbredning. Människan har påverkat fiskpopulationer under lång tid. Det finns uppgifter om omfattande inplanteringar av fisk under åtminstone de senaste 1000 åren (Filipsson 1994). Eftersom den känsligaste perioden för mört är ägg/smolt så kan en inplanterad population klara sig i en sjö med lägre pH, även om ingen rekrytering sker internt. Rekrytering kan också ske från omgivande, mindre påverkade vatten. Vidare har ett stort antal av de svenska sjöarna rotenonbehandlats under 1900-talet. Alla dessa faktorer behöver tas med i beaktande när försurningspåverkan på en sjö ska bedömas utifrån fiskförekomst, och i förlängningen ett referenstillstånd för fisk ska fastställas.

Försurningsbedömningar

Modellen för försurningsbedömningar utifrån vattenkemiska data, MAGIC, är ursprungligen framtagen för att användas på enskilda avrinningsområden med rikligt med mätdata från deposition, mark, vatten och hydrologi (Cosby m.fl., 2001). För bedömningsgrunderna och MAGICbibliotek har modellen använts för ett stort antal sjöar där indata till modellen hämtats från nationella miljöövervakningsprogram och kartdatabaser (Moldan m.fl., 2001). I MAGICbibliotek görs bedömningen genom att sjön som ska bedömas matchas mot en sjö i biblioteket för vilken det finns en MAGIC-körning utifrån ett fåtal vattenkemiska och geografiska parametrar. Detta gör verktyget mycket användbart och kan användas på ett stort antal sjöar. Detta är värdefullt i ett land som Sverige med 100 000 sjöar som ska klassas enligt VFF. Samtidigt medför modellförenklingarna och matchningen en osäkerhet som i enskilda fall kan ge en missvisande bedömning. Vidare utgår modellen från ett antal antaganden såsom oförändrad halt naturligt organiskt material (TOC) och oförändrad markslagsfördelning. Eftersom detta inte alltid är fallet i enskilda objekt kan det leda till ytterligare felklassningar. Modellen utgår från kemiska parametrar och ger därför ingen information om den biologiska statusen och referenstillståndet, men kriteriet för påverkan, $\text{dpH} > 0,4$, är satt för att avspegla biologisk effekt (Fölster, m. fl., 2007). MAGICbibliotek har använts vid utvärdering av bl. a. nationella miljöövervakningsprogram som t ex Riksinventeringen 2005 (Wilander och Fölster, 2007), omdrevssjöar (Fölster, 2010) och Målsjöundersökningen (Fölster, m. fl. 2011).

MAGIC₂₀₀₇/MAGICbibl₂₀₀₇ skiljer sig från MAGIC₂₀₁₀/MAGICbibl₂₀₁₀. Detta kan ha flera orsaker. Bland annat var den tidigare bedömningen ofta baserad på ett dpH från senare årtal. I och med detta kan eventuell återhämtning från försurning återspeglas i dessa bedömningar. I de bedömningarna som gjordes med MAGIC₂₀₁₀/MAGICbibl₂₀₁₀ har 1980, som är ett årtal då försurningen var som störst, använts i större omfattning. I tre av sjöarna (sjönr 10, 13 och 18), sjunker det beräknade dpH från tidigare till senare årtal och är under den satta gränsen för att klassas som försurat under de senare årtalen. I ytterligare 5 sjöar (Sjönr 1, 12, 16, 17 och 20), sjunker dpH från tidigare till senare år men värdet går inte under gränsen för att klassas som försurat. En viss överskattning av referens-pH förekommer också i MAGIC₂₀₁₀/MAGICbibl₂₀₁₀. Orsakerna till detta utreds för tillfället inom ramen för ett annat projekt.

Paleolimnologi

Paleolimnologiska har en fördel att den kan visa en tidstrend från förindustriell tid till idag. Det betyder att hänsyn kan tas till de variationer som förekommer pga mänsklig påverkan och naturliga processer vid bedömningen av en sjös tillstånd idag och vid bestämning av dess referenstillstånd. Då rekonstruktionerna av tidigare pH görs utifrån kiselalger uppfyller de också VFFs kriterium att tillståndsbedömningar bör grundas på biologiska parametrar.

I sedimentet i en sjö sker en viss omblandning av materialet, dels via bottenlevande djur men också i och med omlokalisering av material inom sjön. Detta ger en viss utjämnande effekt i analyserna. Med det rekonstruerade pH-värdet utifrån kiselalger i sedimenten kan endast basflödesförsurning upptäckas och tillfälliga episoder av lågt pH går inte att identifiera. Det dataset som har använts i den här studien (SWAP) har utvärderats i jämförelse med andra dataset i Storbritannien. Det har då visat sig att SWAP kan underskatta pH-värdet med i medeltal 0,3 pH-enheter. Detta är fallet framför allt i sjöar som rekonstruerar ett högre pH, och beror främst på att sjöar med lågt pH och försurningspåverkade sjöar är överrepresenterade i datasetet (Battarbee et al. 2008).

Alla sjöar är inte lämpliga att provta för paleolimnologisk analys. Om sedimentet av olika anledningar är mycket påverkat, tex av upprepade provtagningar av bottenfauna eller av vågor och strömmar, går det inte att urskilja en sedimentlagerföljd som speglar tidsutvecklingen. Det kan också förekomma sjöar där sedimentationshastigheten är så låg att det är svårt att identifiera händelser som omfattar några till ett tiotal år. Så är fallet i tex Ejgdesjön (sjönr 30) där hela sedimentlagerföljden omfattar 90 cm sediment från det sjön bildades till idag, vilket motsvarar ca 0,05mm sedimenttillväxt/år. Detta kan jämföras med en normal sedimentationstillväxt på ca 0.5mm/år (Guhrén et al 2004).

Historiska kartor

Historiska kartor ger en bild av hur landskapet såg ut för 100-150 år sedan, och ger därför en möjlighet att kvantifiera hur markanvändningen förändrats. De historiska kartorna har upprättats med olika syften därmed har de inte samma detaljeringsgrad för olika markslag. T. ex. skiljer de sig åt vad gäller beskrivning av våtmarker och översvämningsmarker samt i vilken omfattning skogsmarken varit av barrskogstyp eller blandskogstyp. Den mest detaljerade av dessa, den häradsökonomiska kartan, täcker heller inte hela Sverige (Sterner et al. 2010).

Rekommendation hur historiska arkiv kan användas:

I sjöar där olika metoder för att bestämma referenstillståndet ger skilda svar, bör en individuell prövning göras där tillgänglig information vägs samman. Utifrån de resultat som vi fått i denna studie föreslår vi följande:

När ett referenstillstånd ska tas fram för en sjö bör det första steget vara att sammanställa den information som finns i de databaser som tagits fram och presenteras i den här rapporten.

Om tillgängliga data är motstridiga föreslår vi en fördjupande paleolimnologisk analys, om inte en sådan redan finns. Med hjälp av den kan man identifiera de viktigaste förändringarna som skett historiskt i sjön och göra en rimlighetsbedömning av referensvärdet. I de flesta av sjöarna som analyserats i projektet har flera prover under den period i sedimentet som omfattar mitten av 1800-tal och tidigare analyserats. Dessa visar att variationen under denna period är relativt liten inom varje sjö. Däremot förekommer stora skillnader mellan sjöarna där pH varierar mellan 5.2 och 7, vilket visar vikten av att göra en objektspecifik bedömning. En liknande slutsats dras av Battarbee et al (2008) med avseende på sjöar i Storbritannien. I flera av sjöarna är pH under denna tidiga period under 6. Även om hänsyn tas till att rekonstruktionsdatasetet SWAP i vissa sjöar kan ge ett lågt rekonstruerat pH (Battarbee et al. 2008), är referens-pH utifrån de paleolimnologiska analyserna i flera fall under 6. Detta är något som bör beaktas i

utvärderingen av kalkningsverksamheten, och vid diskussioner om eventuell avslutning av kalkningen. Med en paleolimnologisk undersökning, och i vissa fall i kombination med historiska kartor, kan en tidig påverkan från agrar verksamhet som kan ha gett en alkalisering i sjön identifieras. Flera av de här undersökta sjöarna har genomgått en alkalisering någon gång under de senaste 200 åren och några av de tidigare provtagna sjöarna är alkaliserade redan i botten av den korta sedimentproppen. I alkaliserade sjöar är det viktigt att ett referensvärde från tiden före alkaliseringen kan identifieras. Detta exemplifieras med sjö 17 (Nedre Bolsjön) som verkar försurad under modern tid om man tittar på ett kortare tidsperspektiv (pH sjunker från 6.5 till 5.8). Men i ett längre tidsperspektiv är detta en återgång till ett pH som förekom före alkaliseringsfasen. I dessa fall är alltså mitten på 1800-talet inte lämpligt som referens, utan en referens från tidigare, mindre påverkade tidsperioder behöver identifieras. Förslag på hur detta kan gå till har presenterats av Norberg et al. (2010).

Om det inte finns möjlighet att göra en paleolimnologisk bedömning bör tillgängligt data från modellering med MAGIC eller MAGICbibliotek ligga till grund för bedömningen. När det finns flera försurningsbedömningar utifrån modellen bör dessa jämföras och om stor skillnad förekommer bör bedömningen anses vara bristfällig.

Även tillgänglig information om fisk bör vägas in i bedömningen, framför allt om de källor som finns är tillförlitliga. Här är det dock viktigt att ta i beaktande effekter av mänskliga aktiviteter som inplanteringar och rotenonbehandlingar. Enligt Holmgren och Buffam (2005) är gränsvärdet för att en sjö ska kunna hålla en mörtpopulation kring pH 5,85. De rekonstruerade pH-värdena utifrån kiselalger visar i flera sjöar ett pH under 5.85 och i flera av dessa till och med under 5,5 i förindustriell tid. I dessa sjöar är det rimligt att anta att sjön före tiden för modern försurning har svaga förutsättningar att hålla en mörtpopulation under en längre tidsperiod. En eventuell alkalisering i sjön, som visats i vissa av sjöarna, kan tillfälligt göra förutsättningarna i sjön fördelaktiga för mört. När sedan orsaken till alkaliseringen försvinner, är det troligt att sjön återgår till ett tidigare pH och därmed får försämrade möjligheter att hålla en mörtpopulation.

Om en sjö bedöms vara försurad bör detta utvärderas utifrån den historiska information som finns tillgänglig. Stora förändringar i markanvändning har skett under de senaste 150 åren som ett resultat av förändringar inom jord- och skogsbruk. I synnerhet om andelen barrskog har ökat, kan detta vara en alternativ förklaring till en nedgång i pH. En indikation på att ökad mängd barrskog i avrinningsområdet påverkar det rekonstruerade pH-värdet har påvisats i de sjöar som undersökts i den här studien. Det behövs dock ytterligare studier för att visa om detta samband är signifikant. Även den naturliga utvecklingen av en sjö kan ge ett sjunkande pH. Så är troligen fallet i tex sjö 15 (Fisklössjön). Denna sjö ligger i ett Natura2000 område som inrättats pga förekomsten av våtmarkstyper såsom högmossar, samt dystrofa små sjöar med lågt pH (3-6) (Länstyrelsen Västra Götalands län, 2005).

Slutligen: Det finns inget facit och i vissa fall måste man acceptera att det utifrån rådande kunskapsläge inte går att hitta ett tillfredsställande svar!

REFERENSER

- Appelberg M., Lingdell P.-E. och Andrén C. 1995. Integrated Studies of the Effects of Liming Acidified Waters (ISELAW-programme). *Water Air and Soil Pollution* 85:883-888.
- Battarbee R.W. 1999. The importance of palaeolimnology to lake restoration. *Hydrobiologia* 395/396:149-159.
- Battarbee R.W., Monteith D.T., Juggins S., Simpson G.L., Shilland E.W., Flower R.J. och Kreiser A.M. 2008. Assessing the accuracy of diatom-based transfer functions in defining reference pH conditions for acidified lakes in the United Kingdom. *Holocene* 18:57-67.
- Bernes C. 1991. Försurning och kalkning av svenska vatten. Naturvårdsverket, Monitor 12
- Birks H.J.B., Line J.M., Juggins S., Stevenson A.C. och Terbraak C.J.F. 1990. Diatoms and Ph Reconstruction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 327:263-278.
- Cederström C. 1895. Wermlands läns fiskevatten. Wermlands-Tidningens tryckeri, Karlstad.
- Cosby B. J., Ferrier R. C., Jenkins A. och Wright R. F. 2001. Modelling the effects of acid deposition: refinements, adjustments and inclusion of nitrogen dynamics in the MAGIC model. *Hydrology and Earth System Sciences* 5(3): 499-517.
- Ek A. och Korsman T. 2001. A paleolimnological assessment of the effects of post-1970 reductions of sulfur deposition in Sweden. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58:1692-1700.
- Ek A. och Renberg, I. 2001. Heavy metal pollution and lake acidity changes caused by one thousand years of copper mining at Falun, central Sweden. *Journal of Paleolimnology* 26:89-107.
- Eriksson, J.V. 1929. Den kemiska denudationen i Sverige. Meddel. fr Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt. Band 5. No 3.
- Erlandsson M., Bishop K., Fölster J., Guhrén M., Korsman T., Kronnas V. och Moldan F. 2008. A comparison of MAGIC and paleolimnological predictions of preindustrial pH for 55 Swedish lakes. *Environmental Science och Technology*, 42, 43-48.
- Filipsson O. 1994. Nya fiskbestånd genom inplanteringar eller spridning av fisk. *Information från Sötvattenslaboratoriet* 2:1-65
- 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., Köhler S., von Brömsen C., Akselsson C. och Rönnback P. 2011. Korrigering av vattenkemi för kalkningspåverkan - val av referenser och beräkning av osäkerheter. Institutionen för vatten och miljö, SLU. Rapport 2011:1.
- Fölster J, och Rönnback P. 2010. Sjöinventering i omdrev resultat från de två första åren 2007 – 2008 . Rapport 2010:17. Institutionen för vatten och miljö, SLU.
- Fölster, J., F. Moldan and J. Stadmark (2011). Målsjöundersökningen 2007–2008. Naturvårdsverket. Rapport 6412.
- Grandin U. 2007. Strategier för urval av sjöar som ska ingå i den sexåriga omdrevsinventeringen av vattenkvalitet i svenska sjöar. Institutionen för Miljöanalys, SLU. Rapport 2007:10.

Guhrén M., Bindler R., Korsman T., Rosén P., Wallin J.-E. och Renberg I. 2003. Paleolimnologiska undersökningar av kalkade referenssjöar. Del 4. Bösjön, Dalarnas län, Gyltigesjön, Hallands län, Långsjön, Örebro län. Institutionen för ekologi och geovetenskap, Umeå universitet, Umeå.

Guhrén M., Renberg I. och Wallin J.-E. 2004. Paleolimnologiska undersökningar av kalkade referenssjöar. Del 5. Ejgdesjön och St. Härsjön (Västra Götalands län), Tryssjön (Dalarnas län), Lien och V. Skälsjön (Västmanlands län). Institutionen för ekologi och geovetenskap, Umeå universitet, Umeå.

Guhrén M., Bigler C. och Renberg I. 2007. Liming placed in a long-term perspective: A paleolimnological study of 12 lakes in the Swedish liming program. *Journal of Paleolimnology* 37:247-258.

Gählman V., Renberg I., Wallin J.-E. och McGowan S. 2000. Paleolimnologiska undersökningar av kalkade referenssjöar. Del 2. Stengårdshultasjön, Jönköpings län. Institutionen för ekologi och geovetenskap, Umeå universitet, Umeå.

Hilton J. 1985. A conceptual framework for predicting the occurrence of sediment focusing and sediment redistribution in small lakes. *Limnology and Oceanography* 30:1131-1143.

Hilton J., Lishman J.P., och Allen P.V. 1986. The dominant processes of sediment distribution and focusing in a small, eutrophic, monomictic lake. *Limnology and Oceanography* 31:125-133.

Holmgren 1916. Undersökningar af fiskevatten å Dalsland, omfattande 638 sjöar och vattendrag. Vänersborg, C.W. Carlssons Efr:s Bok- och Accidenstryckeri.

Holmgren K. och Buffam I. 2005. Critical values of different acidity indices - as shown by fish communities in Swedish lakes. *Verhandlungen der Internationalen Verieinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 29:654-660.

Juggins S. 2010. C2 data analysis version 1.6.7. University of Newcastle, Newcastle.

Naturvårdsverket. 2007. Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Bilaga A till Handbok 2007:4.

Korsman T. 1999. Temporal and spatial trends of lake acidity in northern Sweden. *Journal of Paleolimnology* 22:1-15.

Krammer K. och Lange-Bertalot H. 1986-1991. Bacillariophyceae vol. 2(1-4) Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/Jenna.

Lohammar G. 1938. Wasserchemie und höhere Vegetation schwedischer Seen. *Symbolae Botanicae Upsaliensis* III:1, Uppsala.

Lundberg R. 1899. On the distribution of Swedish freshwater fishes. *Medd. Kongl. Landtbruksstyr.*, 10.

Länsstyrelsen Västra Götalands län. 2005. Bevarandeplan för Natura 2000-område. SE0520129 Bredmossarna-Fisklössjön.

Moldan F., Kronnäs V., Wilander A., Karlton E. och Cosby B. J. 2004. Modelling acidification and recovery of Swedish lakes. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 4:139-160.

Naturvårdsverket. 2007. Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Bilaga A till Handbok 2007:4.

Norberg M., Bigler C., och Renberg I. 2008. Monitoring compared with paleolimnology: implications for the definition of reference condition in limed lakes in Sweden. *Environmental Monitoring and Assessment*, 146:295-308.

- Norberg M., Bigler C. och Renberg I. 2010 Comparing pre-industrial and post-limed diatom communities in Swedish lakes, with implications for defining realistic management targets. *Journal of Paleolimnology* 44:233-242.
- Nygaard G. 1956. Ancient and recent flora of diatoms and Chrysophyceae in Lake Gribso. *Folia Limnologica Scandinavica* 8:32-94.
- Palm F., El-Daoushy F. och Svensson J.E. 2011. Fragmented subfossil Chaoborus mandibles reveal periods of cyprinid presence in lake histories. *Journal of Paleolimnology* 45:101-113.
- Rask M., Appelberg M., Hesthagen T., Tammi J., Beier U. och Lappalainen A. 2000. Fish status survey of nordic lakes. Species composition, distribution, effects of environmental changes. TemaNord edn. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Renberg I. och Hansson H. 1993. A pump freeze corer for recent sediments. *Limnology and Oceanography* 38:1317-1321
- Renberg I. och Hansson H. 2010. Freeze corer No. 3 for lake sediments. *Journal of Paleolimnology* 44:731-736.
- Renberg I. och Hansson H. 2008. The HTH sediment corer. *Journal of Paleolimnology* 40:655-659.
- Renberg I. och Hultberg H. 1992. A paleolimnological assessment of acidification and liming effects on diatom assemblages in a Swedish lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49:65-72.
- Renberg I. och Wik M. 1985. Carbonaceous particles in lake sediments - pollutants from fossil fuel combustion. *Ambio*, 14:161-163.
- Renberg I. och Wik M. 1985. Soot particle counting in recent lake sediments: an indirect dating method. *Ecological Bulletins* 37:53-57.
- Renberg I., Korsman T., och Anderson N.J. 1993a. A temporal perspective of lake acidification in Sweden. *Ambio*, 22:264-271.
- Renberg I., Korsman T., och Birks H.J.B. 1993b. Prehistoric Increases in the pH of acid-sensitive Swedish lakes caused by land-use changes. *Nature* 362:824-827.
- Rosén P., Vogel H., Cunningham L., Reuss N., Conley D.J., och Persson P. 2010. Fourier transform infrared spectroscopy, a new method for rapid determination of total organic and inorganic carbon and biogenic silica concentration in lake sediments. *Journal of Paleolimnology* 43:247-259.
- Smol J.P. och Stoermer E.F. 2010. *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences* Cambridge University Press, Cambridge.
- Sterner M., Fölster J., och Nisell J., 2010. Förändringen av markanvändningen sedan förindustriell tid i avrinningsområden till sjöar. Institutionen för Vatten och Miljö, SLU Rapport 2010:14.
- 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. och Renberg I. 1991. *The Surface Waters Acidification Project paleolimnology programme: Modern diatom/lake-water chemistry data-set* ENSIS Publishing, London.
- Thunmark S. 1937. Über die regionale Limnologie in Südschweden. *Sveriges geologiska Undersökn. Ser. C. No 410* 1-140.
- Wilander A., Johnson R., Goedkoop W. och Lundin L. 1998. Riksinventering 1995. Naturvårdsverket. Rapport 4813.

Wilander A., Johnson R., och Goedkoop W. 2003. Riksinventering 2000. En synoptisk studie av vattenkemi i svenska sjöar och vattendrag. Institutionen för Vatten och Miljö. SLU Rapport 2003:1.

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

Wilander A. 2011. Gamla vattenkemiska data - sammanställning och bakgrundsinformation. Institutionen för Vatten och Miljö, SLU. Rapport 2011:x

Wik M. och Renberg I. 1991. Recent atmospheric deposition in Sweden of carbonaceous particles from fossil-fuel combustion surveyed using lake-sediments. *Ambio* 20:289-292.

Wik M. och Renberg I. 1996. Environmental records of carbonaceous fly-ash particles from fossil-fuel combustion. *Journal of Paleolimnology* 15:193-206.

Bilaga 1

Sjööversikter

Förklaring till tabeller:

dpH Max	Den största försurningspåverkan enligt vattenkemi då samma sjö bedömts från flera provtagningar
dpH Min	Den minsta försurningspåverkan enligt vattenkemi då samma sjö bedömts från flera provtagningar
dpH N	Antal försurningsbedömningar
dpH differens	dp Mmax - dp Mmin
dpH optimal	Den försurningsbedömning som bedöms som mest relevant enligt metodavsnittet i rapporten
Försurat optimal	1 innebär att dpH optimal > 0,4
Grupp	Gruppindelning med avseende på försurning och mörtförekomst enligt metodavsnittet i rapporten

Nr 1: Stora Kumlan (664979-144860)

Örebro län, Ljusnarsbergs kommun

Max djup: 21 m; Medeldjup: 9.6 m; Area: 2.2 km²; Avrinningsområde: 33,6 km²

Kalkad: Ja, start 1978

Fisk: Mört förekom i sjön 1934. Ingen mört fångades vid 3 provfisken mellan 1978 och 1984.

Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt MAGICbibl₂₀₀₇. Sjön omklassificerades till försurad utifrån MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

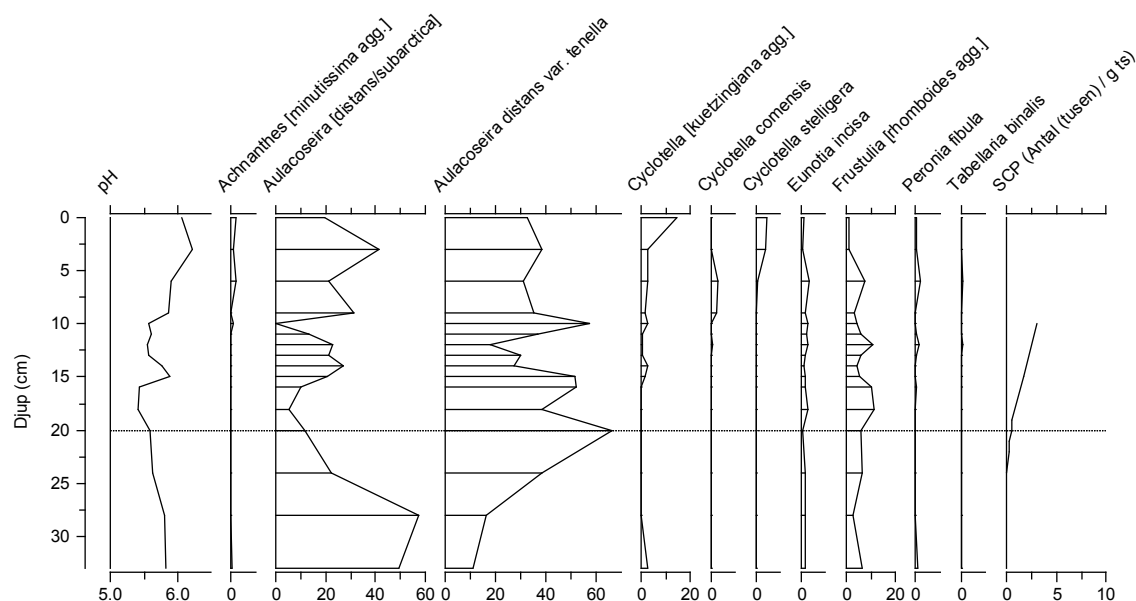
MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.17	0.86
dpH Min	0.17	0.86
dpH N	2	1
dpH differens	0	0
dpH optimal	0.17	0.86
Försurat optimal	0	1
Grupp	1	3

Paleolimnologi: Det rekonstruerade pH-värdet vid 33 cm sedimentnivå är 5.8. Därefter sjunker pH-värdet successivt till 5.4 vid 18 cm sedimentnivå. Enligt dateringen med flygaska är mitten på 1800-talet kring 20 cm sedimentdjup. Vid 15 cm

sedimentdjup ökar pH tillfälligt till 5.9 och från 10 cm sedimentdjup ökar pH-värdet till som mest 6.2 vid 3 cm sedimentdjup. Floran domineras av *Aulacoseira*. [*distans/subarctica*] samt *A. distans* var. *tenella*. Den senare visar en tillfällig ökning i förekomst kring mitten av 1800-talet. Den planktiska artgruppen *Cyclotella* [*kuetzingiana* agg.] ökar och *C. stelligera* börjar förekomma i den översta delen av sedimentproppen. Även *Achnanthes* [*minutissima* agg.], som tidigare visat sig öka i samband med kalkning (Renberg och Hultberg, 1992), börjar förekomma mot ytan. Ingen modern försurning kan påvisas i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Relativt små förändringar kan noteras i avrinningsområdet. En viss nedgång i mängden barrskog (67-53%) kan noteras och mängden blandskog har ökat (0-9%).

Övrig information: Sjön är årstidsreglerad för utvinning av vattenkraft och har reglerats under lång tid. Sjön anges som näringsfattig och humös (Länsstyrelsen i Örebro län, 2008, Sjöfaktablad: Stora Kumlan).



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen flygaska (SCP) genom sedimentproppen från Stora Kumlan. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 2: Leken (657224-144245)

Örebro län, Lekebergs kommun

Max djup: 8 m; Medeldjup: 3,3 m; Area: 1.2 km²; Avrinningsområde: 9.3 km²

Kalkad: Ja, start 1976

Fisk: Mört förekom i sjön 1933. Mört ska finnas i sjön enligt en enkätundersökning från 1994 och vid ett provfiske 2002 fångades bland annat mört.

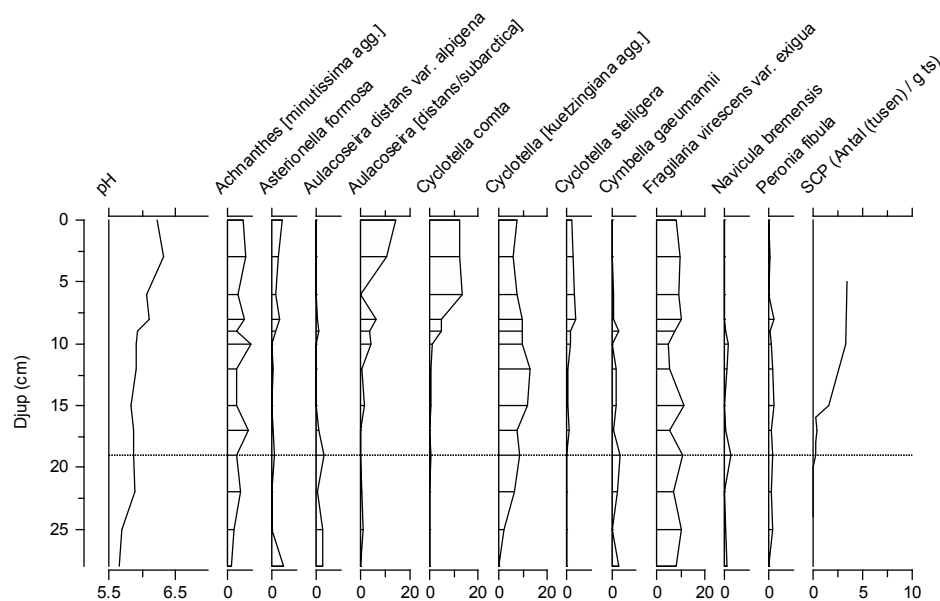
Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad enligt MAGICbibl₂₀₀₇. Sjön omklassificerades till ej försurad utifrån MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	1.52	2.38
dpH Min	0.71	0.14
dpH N	5	6
dpH differens	0.81	2.24
dpH optimal	1.06	0.14
Försurat optimal	1	0
Grupp	2	4

Paleolimnologi: I de två nedersta analyserade nivåerna av sedimentet är det rekonstruerade pH-värdet 5.7. Därefter ligger pH-värdet kring 5.9 upp till 8 cm sedimentdjup. Kring 10 cm sedimentdjup börjar den planktiska arten *Cyclotella comta* förekomma. I ytligare delar av sedimentet stiger pH ytterligare till 6.3, i samband med att *Achnanthes [minutissima agg.]* och *Aulacoseira [distans/subarctica]* ökar i förekomst. Detta sker i samband med att sjön börjar kalkas. Ingen modern försurning kan påvisas i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Inga stora förändringar har skett i avrinningsområdet. En viss ökning av blandskog kan noteras (2-13%) på bekostnad av barrskog (58-45%).

Övrig information: Leken påverkas av dämning (Länsstyrelsen i Örebro län, 2008, sjöfaktablad: Leken)



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Leken. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 4: Stora Böckeln (661431-138818)

Värmlands län, Karlstad kommun

Max djup: 11 m; Area: 1,2 km²; Avrinningsområde 51.4 km²

Kalkad: Ja

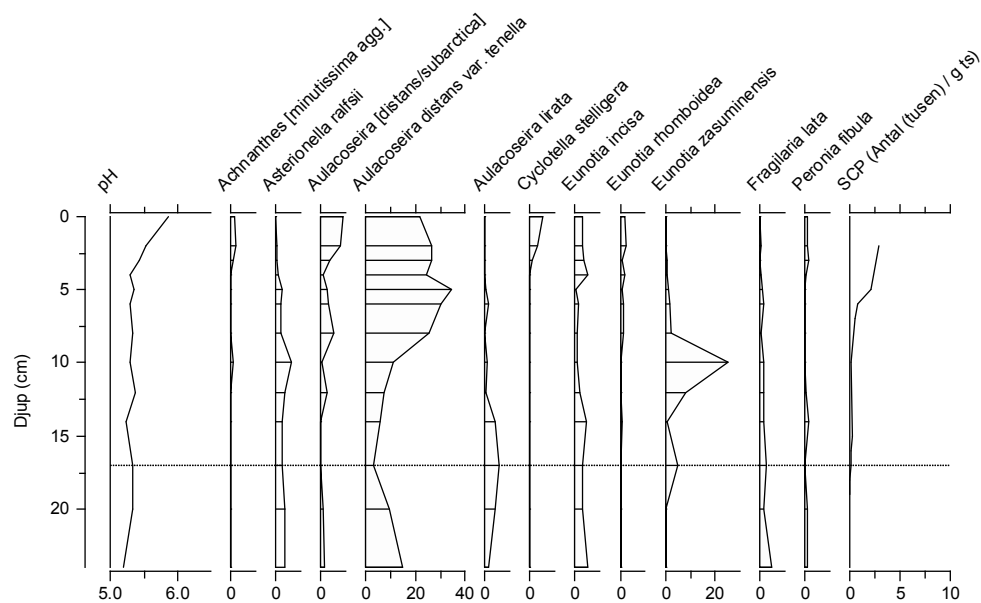
Fisk: Mört förekom i sjön 1896. Enligt en enkätundersökning 1994 ska mört finnas i sjön.

Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGICbibl₂₀₀₇ och MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	1.04	1.11
dpH Min	0.085	0.74
dpH N	4	6
dpH differens	0.955	0.37
dpH optimal	1.04	1.11
Försurat optimal	1	1
Grupp	2	2

Paleolimnologi: Det rekonstruerade pH-värdet ligger stabilt kring 5,4 genom hela sedimentproppen förutom en uppgång i ytan till 5.9. I samband med uppgången ökar *Achnanthes* [*minutissima* agg.] i förekomst och den planktiska arten *Cyclotella stelligera* börjar förekomma. Ingen modern försurning kan påvisas i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: En viss minskning av andelen öppen våtmark (12-5%) och barrskog (75-63%) och en ökning av öppen mark (1-11%) har skett i avrinningsområdet.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Stora Böckeln. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 6: Kivilamp (666900-131954)

Värmlands län, Arvika kommun

Max djup: 18,5 m; Medeldjup: 6,1 m; Area: 0,3 km²; Avrinningsområde 59.9 km²

Kalkad: Ja

Fisk: Mört förekom 1896. Vid provfiske 1991 fångades inte mört varken i Kivilamp eller Lomsen. Enligt en enkätundersökning från ca 1994 ska mört förekomma i sjön. I Kroksjön uppströms Kivilamp ska mört ha försvunnit efter 1955.

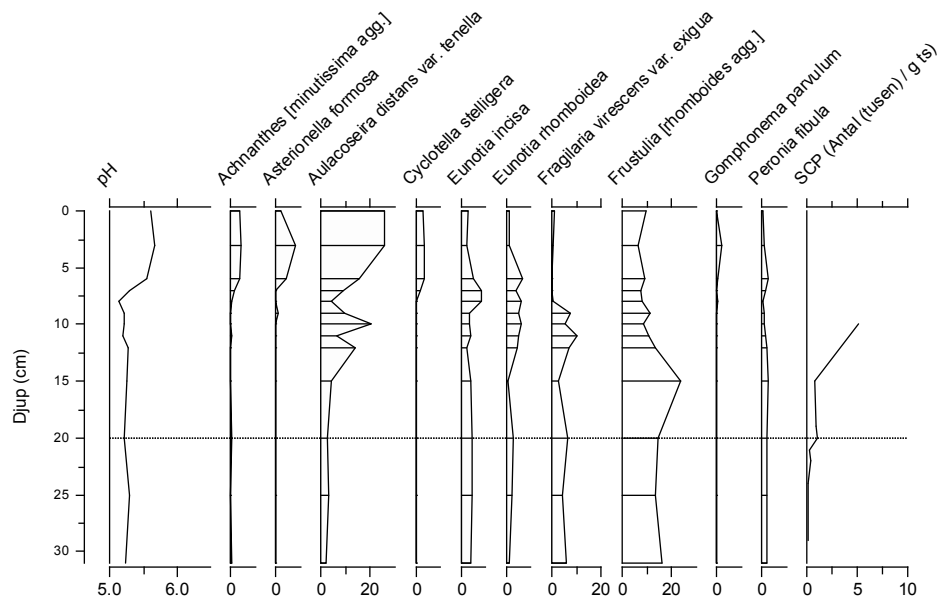
Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt varken MAGICbibl₂₀₀₇ eller MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.41	1.01
dpH Min	0.19	0.13
dpH N	3	5
dpH differens	0.22	0.88
dpH optimal	0.27	0.35
Försurat optimal	0	0
Grupp	1	1

Paleolimnologi: Upp till 8 cm sedimentdjup ligger pH kring 5.2-5.3 för att sedan stiga till 5.7 vid 3 cm. Ett flertal taxa av släktet *Eunotia* är vanliga och *Aulacoseira distans* var. *tenella* ökar mot ytan. I samband med att pH ökar till 5.7 börjar *Achnanthes* [*minutissima* agg.] och de planktiska arterna *Asterionella formosa* och *Cyclotella stelligera* förekomma, som en trolig effekt av kalkningen. Ingen modern försurning kan påvisas i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Ingen utvärdering utifrån historiska kartor har gjorts inom projektet.

Övrig information: Sjön är dämnd och sitter ihop med sjön Lomsen. Troligen har dessa två varit separata sjöar men i och med vattenregleringen blivit en sjö. Under fältarbetet uppmärksammades en grundare del (1.5-2m) 'mellan' sjöarna.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Kivilamp. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-tal utifrån datering med SCP.

Nr 7: Lilleken (666134-131800)

Värmland län, Arvika kommun

Max djup: 26 m; Medeldjup: 2,5 m; Area: 1,2 km²; Avrinningsområde 27.8 km²

Kalkad: Ja

Fisk: Mört förekom 1896. Mört fångades vid provfiske 1991 och enligt en enkätundersökning 1994 finns mört i sjön.

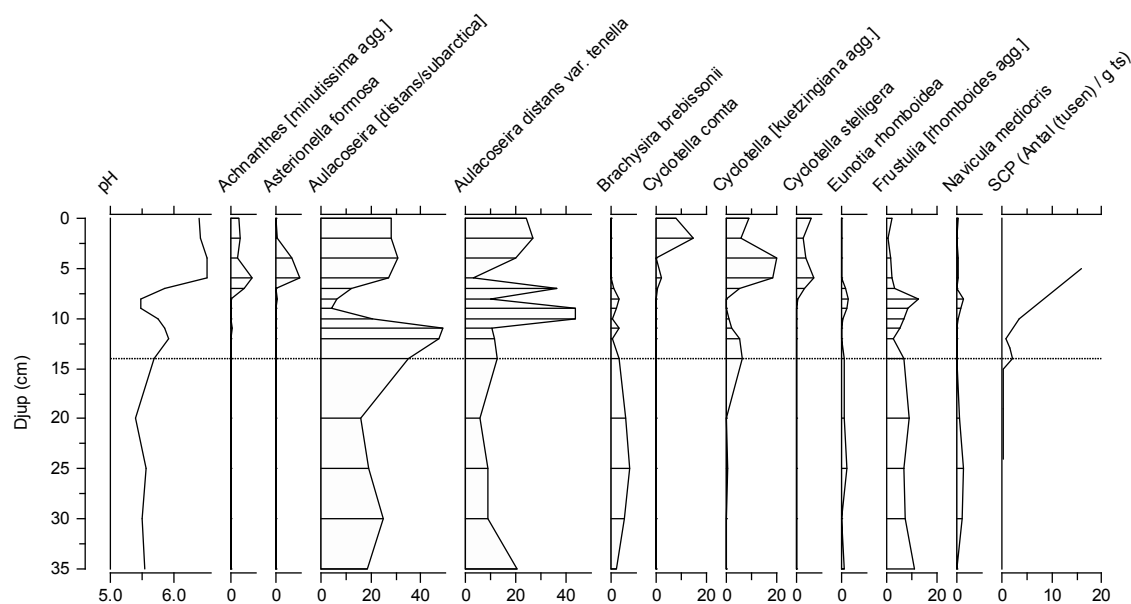
Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGICbibl₂₀₀₇ och MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.84	0.87
dpH Min	0.08	0.53
dpH N	4	6
dpH differens	0.76	0.34
dpH optimal	0.84	0.57
Försurat optimal	1	1
Grupp	2	2

Paleolimnologi: I de nedersta delarna av sedimentprofilen och upp till ca 20 cm sedimentdjup

är det rekonstruerade pH-värdet kring 5.5. Därefter sker en alkaliserings där det rekonstruerade pH-värdet som mest är 5.9, varefter det sjunker tillbaka till 5.5 vid 8-9 cm sedimentdjup. I de översta 7 cm av sedimentet ökar det rekonstruerade pH-värdet till omkring 6.5. Denna ökning sker i samband med att planktiska arter som *Asterionella formosa*, *Cyclotella comta* och *C. stelligera* börjar förekomma och är en trolig effekt av kalkningen. Nedgången i pH kring 8 cm sedimentdjup skulle kunna vara en effekt av försurande nedfall. Noteras bör dock att pH aldrig sjunker under pH-värdet före alkaliseringsperioden. Kiselalgsfloran domineras genom hela proppen av *Aulacoseira* [*distans/subarctica*] och *A. distans* var. *tenella*, som båda minskar i förekomst kring 8 cm sedimentdjup även om de inte försvinner helt. En försurning kan noteras i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Ingen utvärdering utifrån historiska kartor har gjorts inom projektet.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Lilleken. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 8: Nedre Flytjärn (663534-133336)

Värmland län, Arvika kommun

Max djup: 8 m; Medeldjup: 2,5 m; Area: 0,2 km²; Avrinningsområde 29.9 km²

Kalkad: Ja

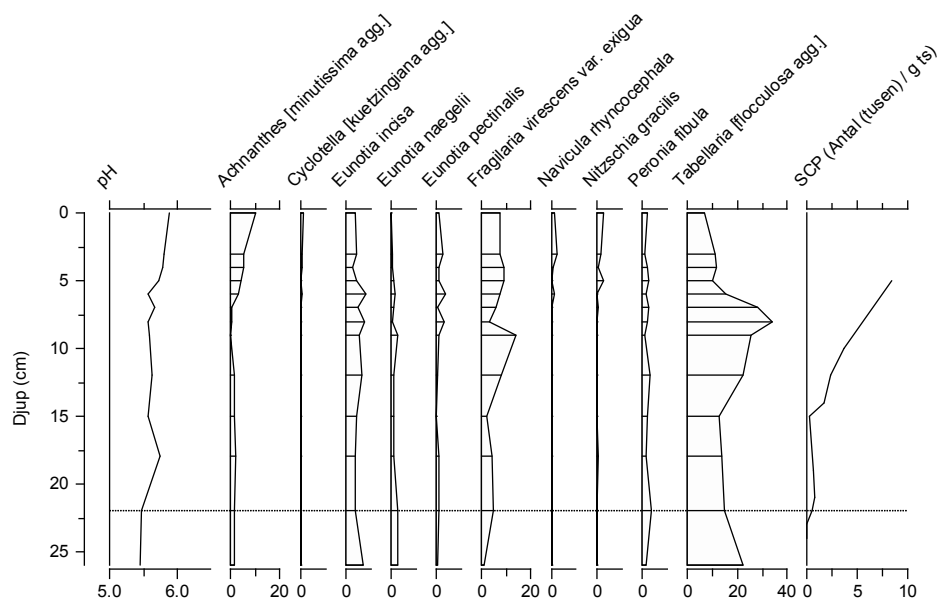
Fisk: Mört förekom 1896. Enligt en enkätundersökning 1994 förekom mört i sjön.

Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGICbibl₂₀₀₇ och MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	1.12	1.72
dpH Min	0.25	0.14
dpH N	3	5
dpH differens	0.87	1.58
dpH optimal	0.84	0.87
Försurat optimal	1	1
Grupp	2	2

Paleolimnologi: Det rekonstruerade pH-värdet ligger genom sedimentprofilen stabilt kring 5.5 -5.6 upp till 3 cm sedimentdjup där en ökning till 5.9 kan noteras. Ökningen sammanfaller med en uppgång i förekomsten av *Achnanthes* [*minutissima* agg.] och *Cyclotella* [*kuetzingiana* agg.] börjar förekomma. *Eunotia incisa*, *Peronia fibula*, *Tabellaria flocculosa* agg. och *Fragilaria virescens* var. *exigua* vanliga genom hela sedimentprofilen. Ingen modern försurning kan påvisas i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Ingen utvärdering utifrån historiska kartor har gjorts inom projektet.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Nedre Flytjärn. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 9: Gränsjön (661239-130398)

Värmland län, Arvika kommun

Max djup: 35 m; Medeldjup: 2.0 m; Area: 2.0 km²; Avrinningsområde 17.4 km²

Kalkad: Ja

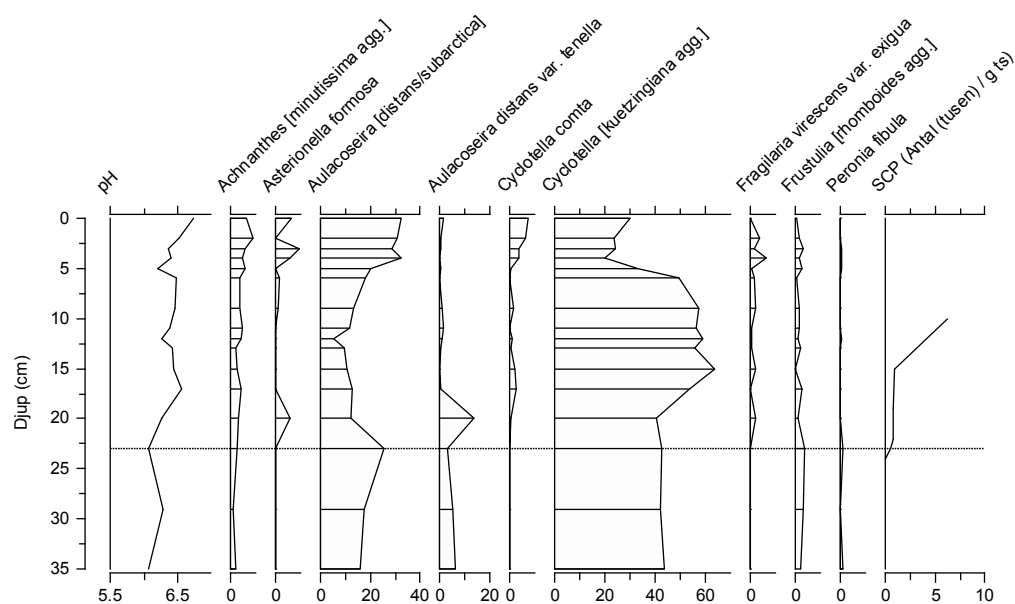
Fisk: Mört förekom 1896. Enligt en enkätundersökning genomförd 1994 ska det finnas mört i sjön.

Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGICbibl₂₀₀₇ och MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.96	1.36
dpH Min	0.04	0.58
dpH N	5	6
dpH differens	0.92	0.78
dpH optimal	0.66	0.8
Försurat optimal	1	1
Grupp	2	2

Paleolimnologi: I de nedersta delarna av sedimentprofilen ligger de rekonstruerade pH-värdena kring 6.2. En alkalinisering sker sedan från mitten på 1800-talet och det rekonstruerade pH-värdet hamnar kring 6.4 för att vid ytan öka ytterligare till 6,7. Genom hela sedimentprofilen dominerar den planktiska artgruppen *Cyclotella* [*kuetzingiana* agg.] och även *Aulacoseira* [*distans/subarctica*] är vanlig. Mot ytan kommer ytterligare planktiska arter som *Asterionella formosa* in i kiselagsfloran och *C. comta* ökar i förekomst vilket är en trolig effekt av kalkningen. Ingen modern försurning kan påvisas i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: En viss nedgång i barrskog (73-58%) och en viss motsvarande uppgång i öppen mark (7-18%) har skett i sjöns avrinningsområde.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Gränsjön. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 10: Grässjön (659835-128156)

Värmland län, Årjäng kommun

Max djup: 3,6 m; Area: 0,1 km²; Avrinningsområde 3.1 km²

Kalkad: Nej

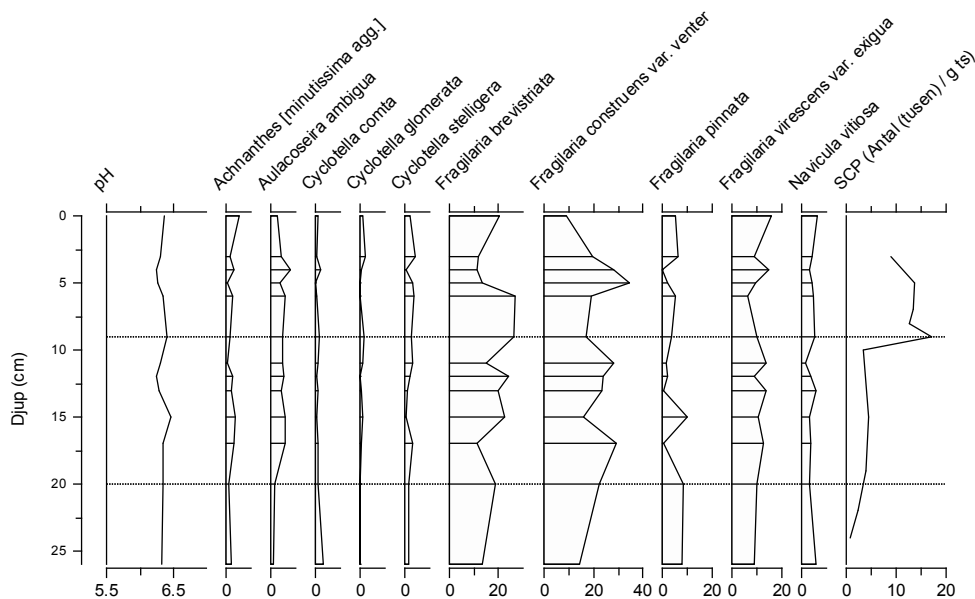
Fisk: Mört förekom 1882. Enligt en enkätundersökning genomförd 1994 finns abborre och gädda i sjön. Mört hade alltså inte noterats i sjön.

Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt varken MAGIC₂₀₀₇ eller MAGIC₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.3	0.96
dpH Min	0.08	0.08
dpH N	4	6
dpH differens	0.22	0.88
dpH optimal	0.3	0.12
Försurat optimal	0	0
Grupp	1	1

Paleolimnologi: Genom hela sedimentproppen ligger det rekonstruerade pH-värdet mellan 6.2 och 6.5. Kiselalgsfloran domineras genom hela proppen av flera taxa ur släktet *Fragilaria*, såsom *F. brevistriata*, *F. construens* var. *venter*, *F. pinnata* och *F. virescens* var. *exigua*. Ingen modern försurning kan påvisas i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Mängden blandskog och lövskog har ökat (0-11% respektive 6-13%) och barrskog har minskat (58-38%) i avrinningsområdet.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Grässjön. Den övre streckade linjen motsvarar 1950-tal utifrån datering med SCP. Den nedre streckade linjen är en beräkning av var mitten av 1800-talet kan återfinnas utifrån 1950-tals-dateringen och kumulativ sedimentvikt.

Nr 12: Försjö (656576-127142)

Västra Götalands län, Dals-Eds kommun

Max djup: 24 m; Area: 0,5 km²; Avrinningsområde 2.3 km²

Kalkad: Ja

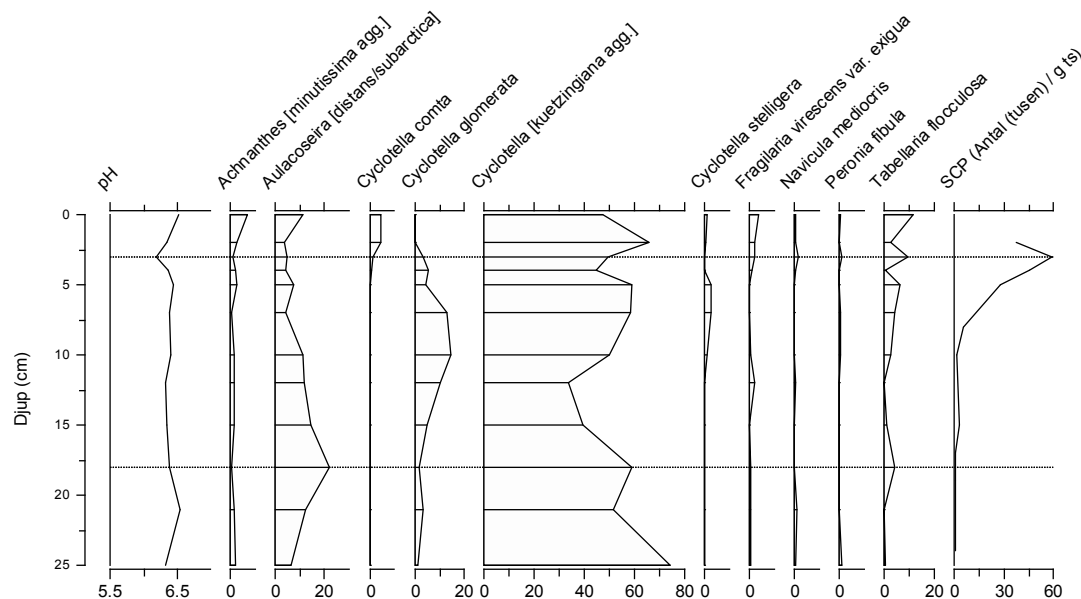
Fisk: Mört förekom i sjön 1902. Enligt försurningskarteringen som genomfördes 1980 ska mört ha försvunnit i sjön. Två referenser till provfisken har hittats, varav mört förekom i det ena men inte i det andra. Dessa två provfisken har dock inte gått att verifiera.

Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt MAGICbibl₂₀₀₇. Sjön omklassificerades till försurad utifrån MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.17	1.8
dpH Min	0.17	1.8
dpH N	2	1
dpH differens	0	0
dpH optimal	0.17	1.8
Försurat optimal	0	1
Grupp	1	3

Paleolimnologi: pH ligger kring 6.4 genom hela sedimentprofilen, förutom vid 3 cm där en svag nedgång kan noteras till 6.2. Denna sammanfaller med dateringen av 1970-talet, då belastningen från försurande nedfall var som störst, men nedgången är inom felmarginalerna för rekonstruktionsmodellen. Kiselalgsfloran domineras genom hela sedimentprofilen av den planktiska artgruppen *Cyclotella* [*kuetzingiana* agg.]. Även *Aulacoseira* [*distans/subarctica*] är vanlig. I ytan stiger pH något till 6.5 i samband med att *Achnanthes* [*minutissima* agg.] ökar i förekomst och *Cyclotella comta* och *Fragilaria virescens* var. *exigua* börjar förekomma. Detta orsakas mest troligt av kalkningen. En eventuell sänkning av det rekonstruerade pH-värdet förekommer i samband med dateringen av 1970-talet. Observera dock att detta är inom rekonstruktionsmodellens felmarginaler.

Historiska kartor: Andelen öppen mark har ökat (3-15%) och andelen barrskog har minskat (66-48%) i avrinningsområdet.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Försjö. Den övre streckade linjen motsvarar 1970-tal och den nedre mitten på 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 13: Bovattnet (654139-127807)

Västra Götalands län, Dals-Eds kommun

Max djup: 21 m; Area: 0.2 km²; Avrinningsområde: 0.6 km²

Kalkad: Nej

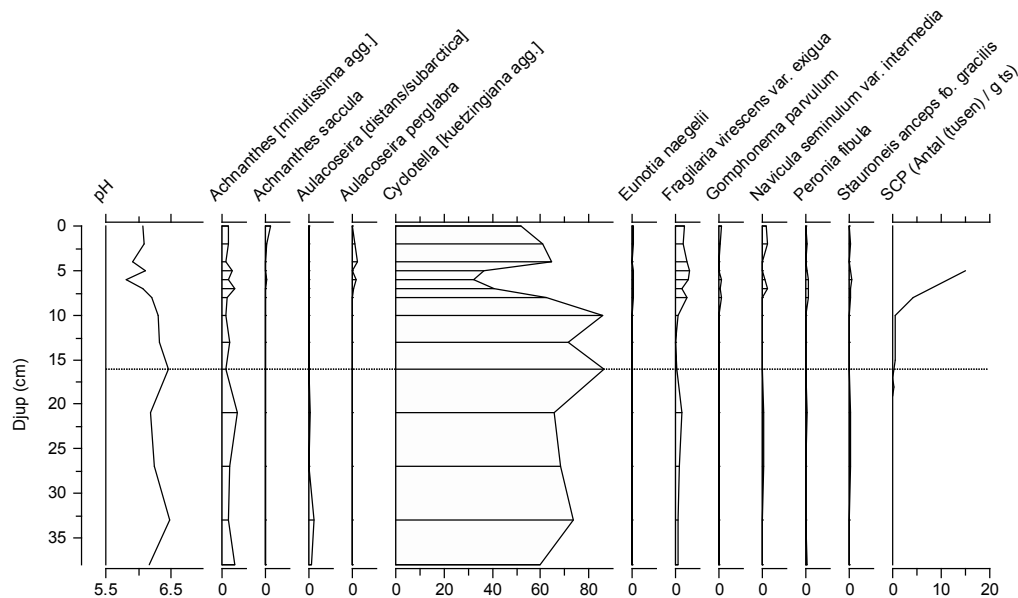
Fisk: Mört förekom i sjön 1902. Utifrån försurningskarteringen genomförd 1980 skall abborre och gädda finnas men det finns ingen notering om mört.

Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt MAGIC₂₀₀₇. Sjön omklassificerades till försurad utifrån MAGIC₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.3	0.5
dpH Min	0.3	0.5
dpH N	1	2
dpH differens	0	0
dpH optimal	0.3	0.5
Försurat optimal	0	1
Grupp	1	3

Paleolimnologi: Från det nedersta provet till 10 cm sedimentdjup ligger det rekonstruerade pH-värdet mellan 6.2 och 6.5. I de översta 7 cm av sedimentprofilen ligger det rekonstruerade pH-värdet något lägre kring 6.1, med enstaka värden kring 5.8. Floran domineras genom hela sedimentprofilen av *Cyclotella* [*kuetzingiana* agg.] även om denna minskar i förekomst i de ytligare delarna. Ingen direkt försurningsperiod kan identifieras i sjön även om det rekonstruerade pH-värdet generellt är något lägre i de övre delarna av sedimentprofilen. Orsaken till detta kan vara många och det ligger utanför projektets ramar att göra en detaljerad utredning.

Historiska kartor: Relativt små förändringar har skett i sjöns avrinningsområde. Barrskog har minskat något (68-61%).



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Bovattnet. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 15: Fisklössjön (652651-125681)

Västra Götalands län, Tanums kommun

Max djup: 9,5 m; Medeldjup: 3,8 m; Area: 0,2 km²; Avrinningsområde: 1.5 km²

Kalkad: Nej

Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Vid provfiske 1984 fångades bara gädda och abborre. Mört påträffades alltså inte.

Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt varken MAGIC₂₀₀₇ eller MAGIC₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

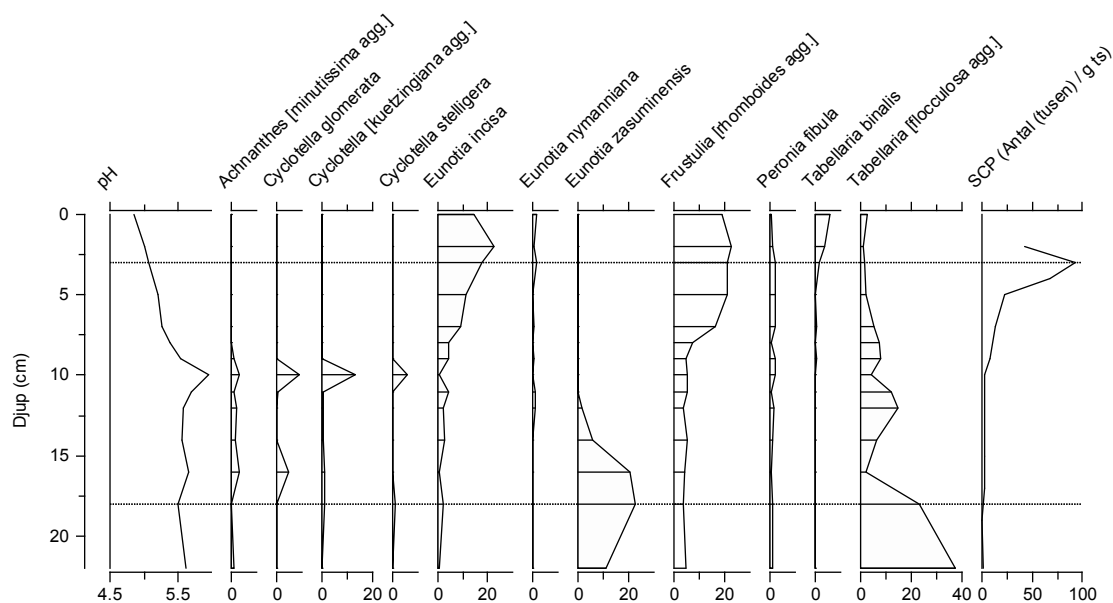
MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.2	0.38
dpH Min	0.2	0.38
dpH N	1	2
dpH differens	0	0
dpH optimal	0.2	0.38
Försurat optimal	0	0
Grupp	1	1

Paleolimnologi: Från strax före 1800-talets mitt sjunker pH långsamt från 5.6 till 4.9 i ytan. Vid 10 cm sedimentdjup ökar pH tillfälligt till 6 och

planktiska kiselalgsarter såsom *Cyclotella glomerata*, *C. [kuetzingiana agg.]* och *C. stelligera* kommer in i floran. Från denna nivå och uppåt i sedimentprofilen ökar *Eunotia incisa* i förekomst och *E. rhomboidea*, och *E. nymanniana* börjar förekomma. *Peronia fibula* förekommer genom hela sedimentprofilen. Dessa taxa föredrar ett lägre pH. Det sjunkande pH som noteras i sjön är ett naturligt förlopp och kan inte förklaras av en modern försurning orsakad av försurande nedfall. Ingen modern försurning kan påvisas i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Andelen barrskog i avrinningsområdet har ökat (0 - 49%), och öppen mark har minskat i omfattning (51-3%).

Övrig information: Sjön ligger i ett Natura 2000 område som anges vara inrättat pga förekomsten av olika våtmarkstyper såsom högmossar, samt dystrofa små sjöar med lågt pH (3-6) (Länstyrelsen Västra götalands län, 2005).



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Fisklössjön. Den övre streckade linjen motsvarar 1970-tal och den nedre mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 16: Trantjärn (652523-126120)

Västra Götalands län, Tanum kommun

Max djup: 7,6 m; Medeldjup: 2 m; Area: 0,2 km²; Avrinningsområde: 1.2 km²

Kalkad: Ja

Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Vid provfiske 1984 fångades endast gädda och abborre. Mört påträffades alltså inte.

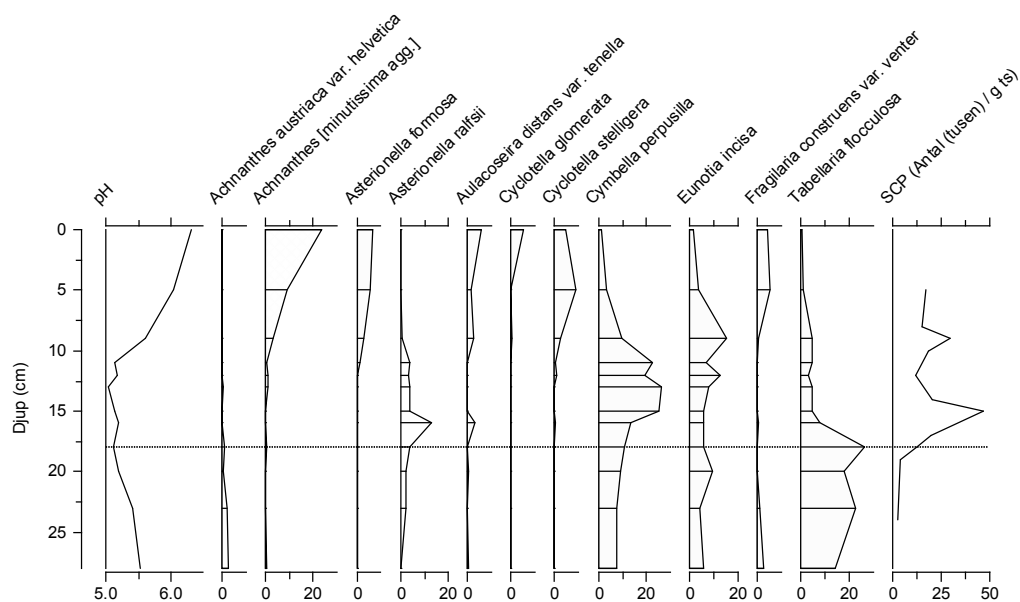
Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt MAGICbibl₂₀₀₇. Sjön omklassificerades till försurad utifrån MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.15	0.64
dpH Min	0.15	0.64
dpH N	1	1
dpH differens	0	0
dpH optimal	0.15	0.64
Försurat optimal	0	1
Grupp	1	3

Paleolimnologi: Sedimentproppen omfattar inte mitten av 1800-talet. Genom att beräkna den kumulativa sedimentvikten genom sedimentprofilen kan vi anta att det nedersta provet motsvarar början

på 1900-talet. Kring 23 cm sedimentdjup sker en nedgång i pH från 5.5 till 5.2. Under denna period med lägre pH försvinner *Fragilaria construens* var. *venter* från kiselalgsfloran, *Tabellaria flocculosa* minskar i förekomst. Från 9 cm sedimentdjup ökar sedan det rekonstruerade pH-värdet igen till som mest 6,4. I samband med denna uppgång börjar en del taxa som tidigare inte noterats i sjön att förekomma. tex de planktiska arterna *Cyclotella stelligera*, *C. glomerata* och *Asterionella formosa*. Artgruppen *Achnanthes* [*minutissima* agg.] ökar markant i förekomst under motsvarande tidsperiod. Genom hela sedimentprofilen förekommer *Eunotia incisa*, som föredrar lägre pH-värden. I ytan är det rekonstruerade pH-värdet högre än det varit under den tidsperiod som sedimentproppen omfattar. En period med försurning har troligen inträffat i sjön utifrån det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Andelen barrskog har ökat i avrinningsområdet (4 till 42%). Även andelen våtmark har ökat (12-24%) medan andelen öppen mark har minskat (67-10%).



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Trantjärn. Den streckade linjen motsvarar 1950-tal utifrån datering med SCP.

Nr 17: Nedre Bolsjön (652689-124892)

Västra Götalands län, Tanum kommun

Max djup: 38,7 m; Medeldjup: 14 m; Area: 1,2 km²; Avrinningsområde: 9.1 km²

Kalkad: Ja, start 1985

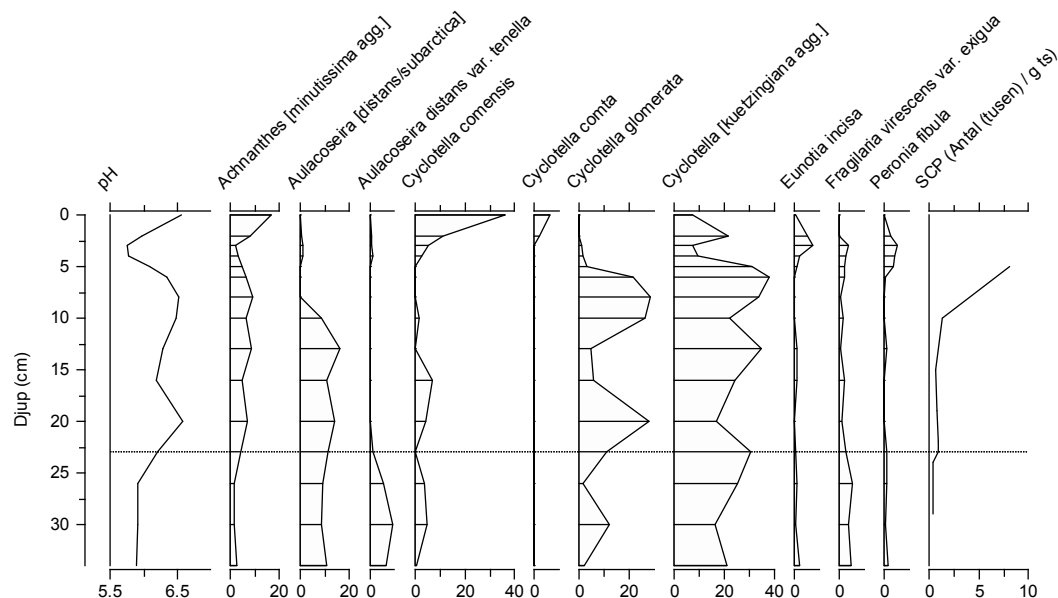
Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Vid provfisket 1971 fångades bland annat mört. Vid provfisket 1976, 1981 respektive 1983 fångades ingen mört. Däremot finns det en källa som anger att det fanns mört i provfiske 2005. Detta tolkas som att mört har försvunnit och sedan kommit tillbaka.

Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt MAGICbibl₂₀₀₇. Sjön omklassificerades till försurad utifrån MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.17	2.43
dpH Min	0.15	2.43
dpH N	2	1
dpH differens	0.02	0
dpH optimal	0.17	2.43
Försurat optimal	0	1
Grupp	1	3

Paleolimnologi: I de nedersta delarna av sedimentprofilen är det rekonstruerade pH-värdet 5.9. Därefter sker en alkalinisering där pH-värdet ökar till mellan 6.2 och 6.5 under en period. Från 6 cm sedimentdjup sjunker pH-värdet och är som lägst 5.8 vid 3 cm sedimentdjup. Mot ytan ökar sedan pH igen till som mest 6.6 vid ytan, troligen till följd av kalkningen. Floran domineras till att börja med av *Cyclotella glomerata* och *C. [kuetzingiana agg.]*. Kring 4 cm sedimentdjup sjunker andelen av släktet *Cyclotella* och tex *Peronia fibula* ökar i förekomst. Mot ytan ökar andelen *Cyclotella* igen, *C. comensis* ökar avsevärt i förekomst och *C. comta* börjar förekomma. Kalkningen leder till att pH ökar till motsvarande nivåer som under alkaliniseringsperioden. En försurningsperiod påvisas i sjön utifrån det rekonstruerade pH-värdet, även om pH sjunker endast marginellt under det pH-värde som rekonstruerats i botten av sedimentproppen.

Historiska kartor: En ökning av barrskog (0-66%) och blandskog (0-7%) och en minskning i öppen mark (76-6%) har skett i sjöns avrinningsområde.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Nedre Bolsjön. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 18: Husebotjärnen (654716-124874)

Västra Götalands län, Strömstads kommun
Max djup: 10 m; Medeldjup: 5,8 m; Area: 0,2 km²; Avrinningsområde: 1,6 km²
Kalkad: Ja, start 1985

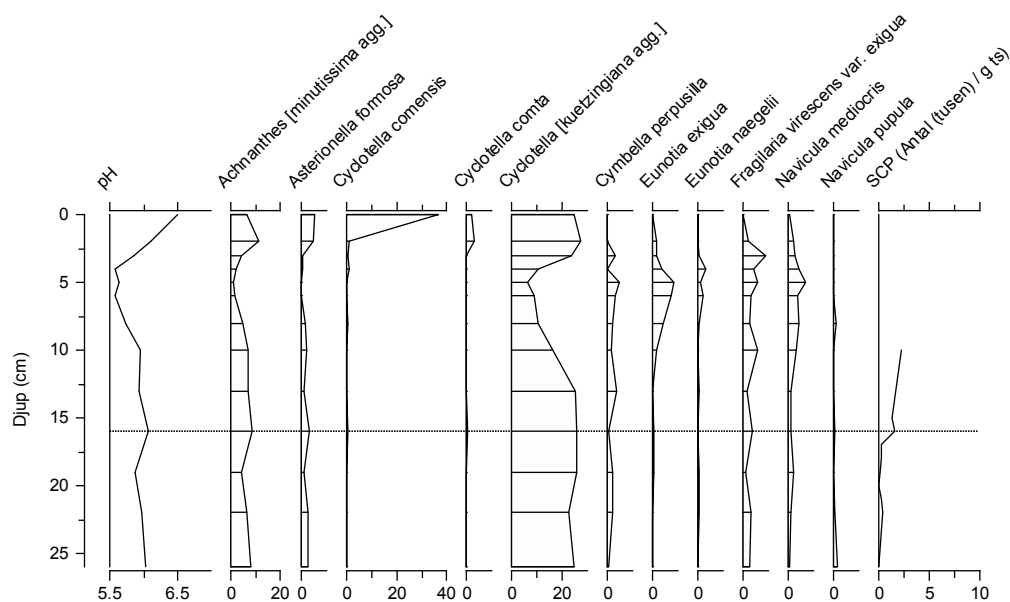
Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Vid provfisket 1983 respektive 2002 fångades ingen mört. Sjön uppströms Husebotjärnen är rotenonbehandlad, i sjön nedströms finns det mört och inga tydliga vandringshinder förekommer mellan sjöarna.

Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt MAGICbibl₂₀₀₇. Sjön omklassificerades till försurad utifrån MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.28	0.91
dpH Min	0.18	0.91
dpH N	2	1
dpH differens	0.1	0
dpH optimal	0.18	0.91
Försurat optimal	0	1
Grupp	1	3

Paleolimnologi: Det rekonstruerade pH-värdet ligger mellan 5.9 och 6.1 från botten av sedimentprofilen till 10 cm sedimentdjup. Därefter sjunker pH-värdet till 5.6 mellan 6 cm och 4 cm sedimentdjup. I samband med det ökar ett flertal taxa av släktet *Eunotia* i förekomst (vissa har inte förekommit tidigare), *Asterionella formosa* försvinner och *Cyclotella* [*kuetzingiana* agg.] minskar i förekomst. Från 4 cm sedimentdjup ökar pH till som mest 6.5 vid sedimentytan, ett pH-värde som inte återfinns tidigare under den tidsperiod som sedimentproppen omfattar. I samband med uppgången i pH återgår *A. formosa* och *C. [kuetzingiana* agg.] till tidigare nivåer, *C. comensis* och *C. comta*, som knappt förekommit tidigare, ökar och andelen *Eunotia*-arterna minskar. En försurningsperiod kan identifieras i sjön utifrån det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: En ökning av andelen barrskog (0-57%) och en motsvarande minskning i andelen öppen mark (74-13%) har skett i sjöns avrinningsområde.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Husebotjärnen. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 19: Lundetjärnet (651426-125722)

Västra Götalands län, Tanums kommun

Max djup: 8,7 m; Medeldjup: 3,3 m; Area: 0,1 km²; Avrinningsområde: 0,4 km²

Kalkad: Ja, start 1984

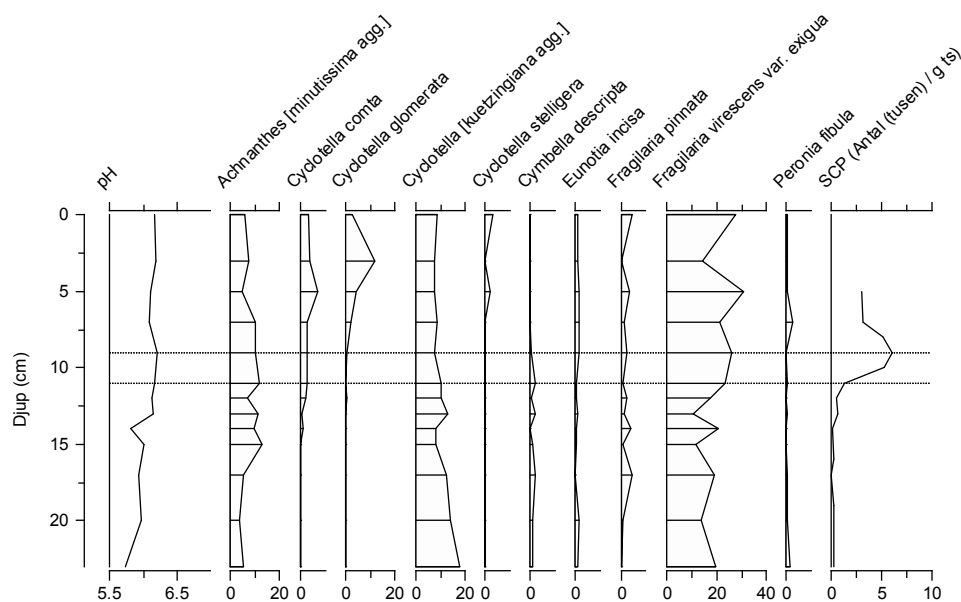
Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Information från 2 provfisker finns, 1984 och 2002. Mört fångades vid provfisker 1984 och 2002 och enligt en enkätundersökning genomförd 1994 förekommer mört i sjön. Mörtbeståndet var svagt strax efter den första kalkningen genomfördes [Edlund 2004^{\(1\)}](#). I samma källa anges det fortfarande vara ont om stora individer, vilket kan bero på att det finns mycket gädda i sjön.

Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGICbibl₂₀₀₇ och MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	1.23	2.37
dpH Min	0.22	0.19
dpH N	5	5
dpH differens	1.01	2.18
dpH optimal	1.06	1.74
Försurat optimal	1	1
Grupp	2	2

Paleolimnologi: Sedimentproppen omfattar inte mitten av 1800-talet. Genom att beräkna den kumulativa sedimentvikten genom sedimentprofilen kan vi anta att det nedersta provet går nästan tillbaka till mitten på 1800-talet. Det rekonstruerade pH-värdet är relativt stabilt mellan 5,7 och 5,9 i den nedersta delen av sedimentprofilen. Från 14 cm till 11 cm ökar pH-värdet något till 6,1-6,2. Inga ytterligare förändringar i pH går att notera upp till sedimentytan och nutid. Kiselalgsfloran domineras av *Fragilaria virescens* var. *exigua* och *Cyclotella* [*kuetzingiana* agg.] genom hela sedimentprofilen. *Achnanthes* [*minutissima* agg.] förekommer genom hela profilen och *C. comta*, *C. glomerata* och *C. stelligera* kommer in i floran vid 14 cm respektive 9 cm och 7 cm sedimentdjup. Ingen modern försurning kan påvisas i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Andelen barrskog har ökat (3-65%) och andelen öppen mark minskat (79-10%) i sjöns avrinningsområde.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Lundetjärnet. Den övre streckade linjen motsvarar 1970-tal och den nedre 1950-tal utifrån datering med SCP.

Nr 20: Krokstad Långevattnen (651083-126153)

Västra Götalands län, Munkedals kommun

Max djup: 9,5 m; Medeldjup: 2,3 m; Area: 0,1 km²; Avrinningsområde: 4,4 km²

Kalkad: Ja, start 1988

Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Vid provfiske 1985 fångades endast abborre och ingen mört.

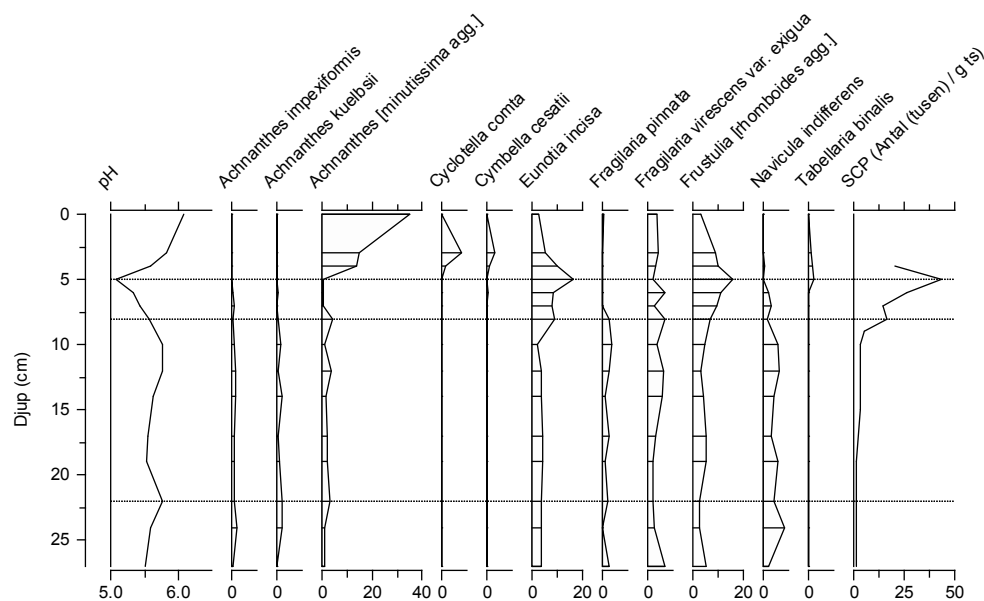
Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt MAGICbibl₂₀₀₇. Sjön omklassificerades till försurad utifrån MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.15	0.6
dpH Min	0.11	0.6
dpH N	2	1
dpH differens	0.04	0
dpH optimal	0.11	0.6
Försurat optimal	0	1
Grupp	1	3

Paleolimnologi: Det rekonstruerade pH-värdet varierar mellan 5,6 och 5,8 från botten av sedimentprofilen till 8 cm sedimentdjup (motsvarar

1950-talet). Kiselalgsfloran består under den här perioden av bland annat ett flertal taxa ur släktena *Fragilaria* och *Eunotia*. Mellan de två daterade proverna (1950- och 1970-talet) sjunker pH-värdet till 5.1. I samband med detta börjar *Tabellaria binalis* förekomma och *E. incisa* ökar i förekomst, båda dessa arter föredrar ett lågt pH-värde. pH stiger sedan till 5.8 vid 3 cm och ytterligare till 6.1 vid ytan, vilket är en trolig effekt av kalkningen. I samband med detta ökar *Achnanthes [minutissima agg.]* i förekomst och ett flertal arter som inte tidigare förekommit dyker upp, tex *Cyclotella comta*, *Cymbella cesatii* och *C. microcephala*. Det rekonstruerade pH-värdet i den översta delen av sedimentet är högre än någon gång tidigare under den period som sedimentproppen omfattar. En försurningsperiod kan identifieras i sjön utifrån det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Andelen barrskog har ökat (1-75%) och andelen öppen mark har minskat (91-12%) i sjöns avrinningsområde.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Krokstad Långevattnen. Den övre streckade linjen motsvarar 1970-tal och den mittersta linjen 1950-tal utifrån datering med SCP. Den nedre streckade linjen är en beräkning av var mitten av 1800-talet kan återfinnas utifrån 1970-tals och 1950-tals dateringar och kumulativ sedimentvikt.

Nr 21: Ingetorps Sjö (642964-126794)

Västra Götalands län, Kungälv kommun

Max djup: 15,2 m, Medeldjup: 10 m, Area: 0,2 km² Avrinningsområde: 0.6 km²

Kalkad: Nej

Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Enligt en enkätundersökning genomförd 1994 förekom mört i sjön.

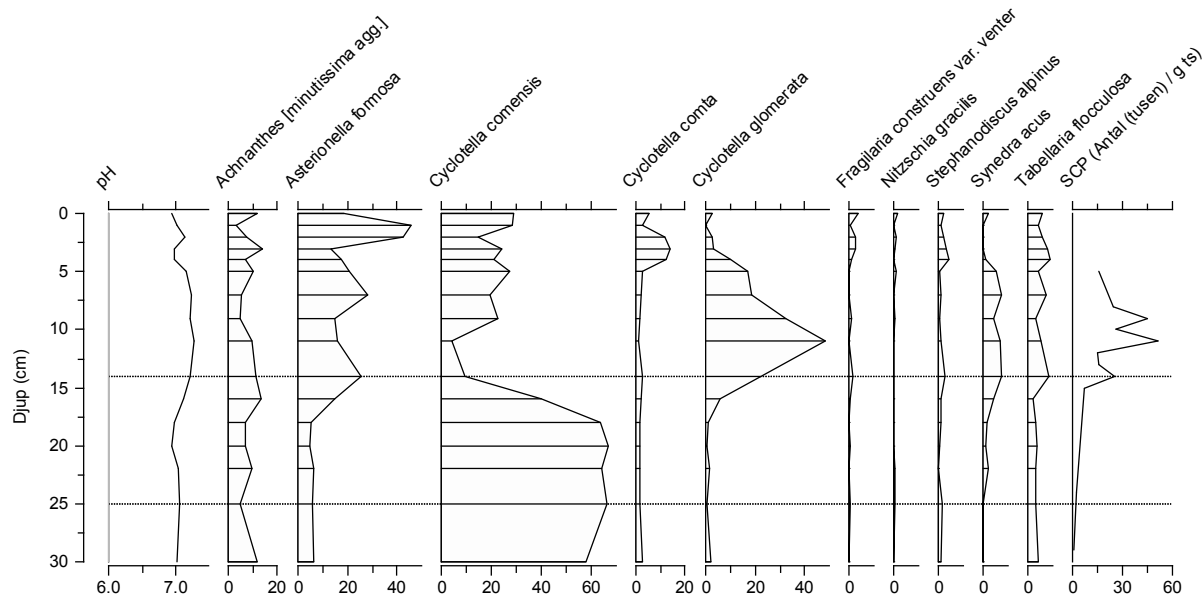
Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad enligt MAGICbibl₂₀₀₇. Sjön omklassificerades till ej försurad utifrån MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	2.66	0.23
dpH Min	2.66	0.22
dpH N	1	3
dpH differens	0	0.01
dpH optimal	2.66	0.22
Försurat optimal	1	0
Grupp	2	4

Paleolimnologi: Genom hela sedimentprofilen är det rekonstruerade pH-värdet kring 7. Mellan 16 och 5 cm (Första delen av 1900-talet) kan en alkaliserings identifieras då det rekonstruerade pH-värdet ökade något till 7.2. Kring 1950-talet skedde en förändring i florin från att ha dominerats helt av *Cyclotella comensis* till att tex *C. glomerata* och *Asterionella formosa* ökade markant i förekomst, detta skedde i samband med den svaga höjningen i pH. Ingen modern försurning kan noteras i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Mängden öppen mark har minskat (76-5%) och mängden barr-, bland- och lövskog har ökat i motsvarande omfattning (0-29%, 0-17% respektive 0-13%).

Övrig information: Sjön är en källvattensjö och sägs vara väldigt ren. Det finns sötvattensmusslor i sjön.



Figur 1: Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Ingetorps sjö. Den övre streckade linjen motsvarar 1950-tal utifrån datering med SCP och den nedre streckade linjen är en beräkning av var mitten av 1800-talet kan återfinnas utifrån 1950-tals-dateringen och kumulativ sedimentvikt.

Nr 23: Stora Neten (634378-130353)

Hallands län, Varbergs kommun

Max djup: 57 m; Medeldjup: 19 m; Area: 3,0 km²; Avrinningsområde: 17.4 km²

Kalkad: Ja

Fisk: Mört förekom 1897. Information från 8 provfiskerna finns mellan 1971 och 2000. Mört fångades 1971, 1982, 1984, 1987, 1996 och 2000. Mört fångades inte vid provfiskerna 1976 och 1981.

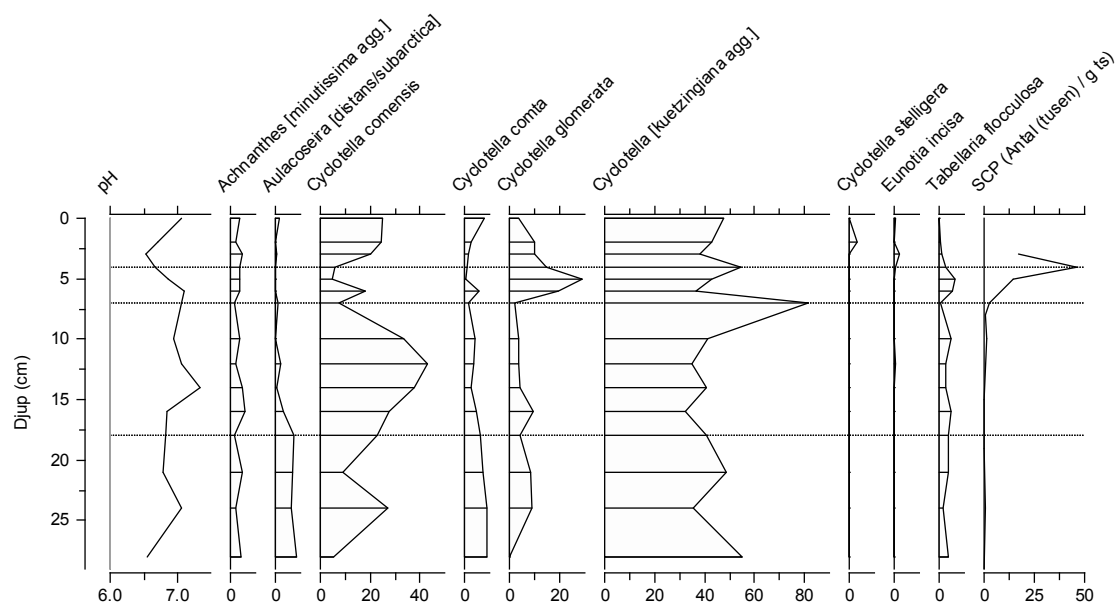
Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGICbibl₂₀₀₇ och MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	2.26	2.91
dpH Min	0.12	2.37
dpH N	3	5
dpH differens	2.14	0.54
dpH optimal	2.26	2.44
Försurat optimal	1	1
Grupp	2	2

Paleolimnologi: Det rekonstruerade pH-värdet i botten av sedimentproppen är 6,6 och det ökade sedan något till 6,8. En alkaliseringsfas inleds vid 14 cm sedimentdjup där pH stiger till över 7, för att mellan 6 och 3 cm sjunka från 7.1 till 6.5. I ytprovet stiger sedan pH till över 7 igen som en trolig effekt avkalkningen. Kiselalgsfloran domineras genom hela proppen av planktiska taxa ur släktet *Cyclotella* och då framför allt *C. [kuetzingiana agg.]*, *C. comensis*, *C. comta* och *C. glomerata*. En försurning går att identifiera i det rekonstruerade pH-värdet mellan dateringspunkterna för 1950 och 1970-talet. Taxa ur släktet *Cyclotella* förekommer inte i starkt försurade vatten. I Stora Neten fortsätter dessa taxa att förekomma även under försurningsfasen.

Historiska kartor: Ingen utvärdering utifrån historiska kartor har gjorts inom projektet.

Övrig information: Sjön är ytvattentäkt för Varbergs kommun. Anges ibland som Stora Neden.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Stora Neten. Den övre streckade linjen motsvarar 1970-tal och den mittersta linjen 1950-tal utifrån datering med SCP. Den nedre streckade linjen är en beräkning av var mitten av 1800-talet kan återfinnas utifrån 1970-tals och 1950-tals dateringarna och kumulativ sedimentvikt.

Nr 26: Mörke-Malen (636004-135778)

Jönköpings län, Gislaveds kommun

Max djup: 22 m; Medeldjup: 7,7 m; Area: 1,0 km²; Avrinningsområde: 38,3 km²

Kalkad: Ja

Fisk: Mört förekom i sjön 1938. Enligt en enkätundersökning genomförd 1994 förekom mört i sjön.

Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGICbibl₂₀₀₇ och MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen

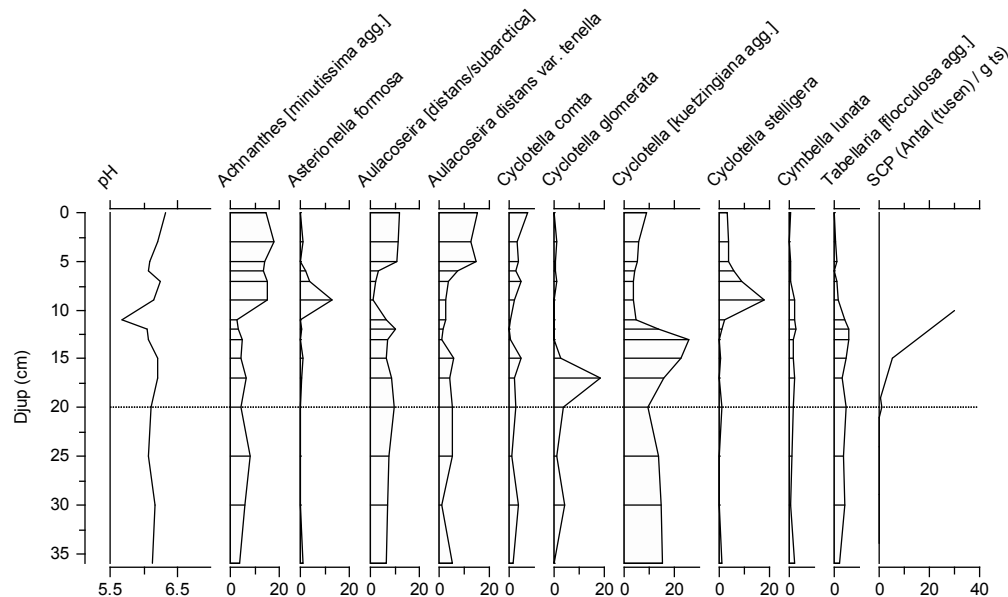
MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	1.15	3.04
dpH Min	0.62	1.74
dpH N	4	5
dpH differens	0.53	1.3
dpH optimal	0.62	3.04
Försurat optimal	1	1
Grupp	2	2

Paleolimnologi: Det rekonstruerade pH-värdet ligger från botten av sedimentproppen på 6.1 till 6.2. Vid 11 cm sedimentdjup sjunker det till 5.7. Med antagandet att sedimentationen är konstant motsvarar detta

början på 1900-talet utifrån dateringen med SCP. Med avseende på detta och att det endast är ett prov som visar ett lägre pH-värde kan det inte förklaras med den moderna depositionen av försurande ämnen. Det rekonstruerade pH-värdet stiger därefter och vid ytan är det 6.3. Vanliga taxa är *Cyclotella* [*kuetzingiana* agg.], *C. comta*, *Aulacoseira* [*distans/subarctica*], *A. distans* var. *tenella* och *Achnanthes* [*minutissima* agg.]. *A. [minutissima* agg.] och *C.stelligera* ökar något i andel från 9 cm sedimentdjup. Ingen modern försurning kan noteras i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: En viss ökning av mängden barrskog (47-53%) och en omfördelning mellan öppen (14-5%) och sluten (1-10%) våtmark har skett i avrinningsområdet.

Övrig information: Sjön är reglerad ca 1,8m. En kanal byggdes mellan Store-Malen och Mörke-Malen 1934.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Mörke-Malen. Den streckade linjen motsvarar mitten av 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 29: Ryssbysjön (630069-140009)

Kronobergs län, Ljungby kommun

Max djup: 8 m; Medeldjup: 3 m; Area: 2,7 km²; Avrinningsområde: 200.8 km²

Kalkad: Ja

Fisk: Mört förekom i sjön 1937. Mört fångades i sjön vid provfisken 1980, 1993 och 1998. Enligt en enkätundersökning genomförd 1994 förekom mört i sjön.

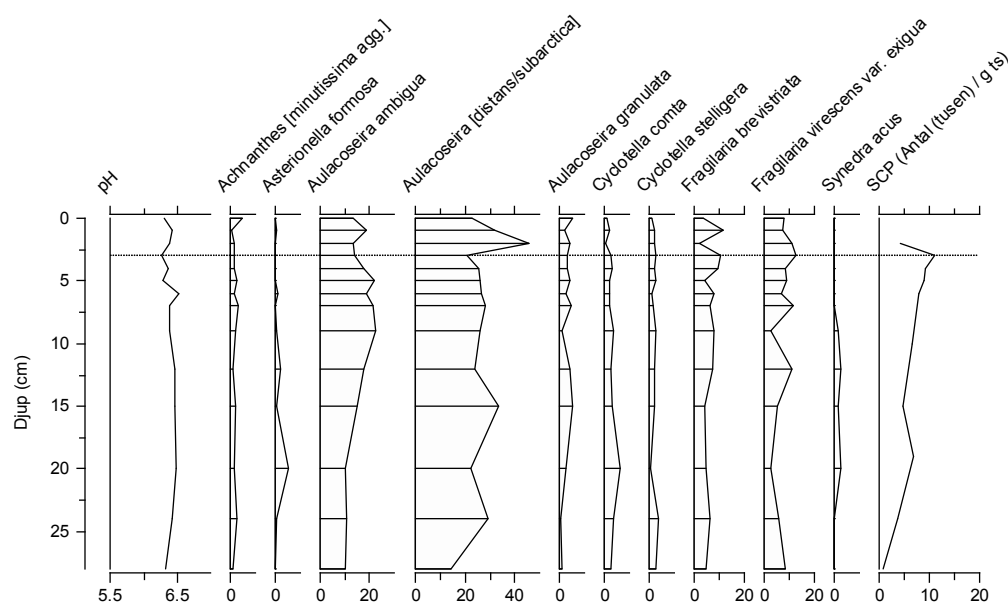
Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGICbibl₂₀₀₇ och MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	2.94	1.67
dpH Min	0.21	0.72
dpH N	4	4
dpH differens	2.73	0.95
dpH optimal	0.63	0.74
Försurat optimal	1	1
Grupp	2	2

Paleolimnologi: Utifrån datering med SCP kan endast 1970-talet dateras. Beräkningar av var det är troligt att 1800-talet kan återfinnas utifrån kumulativ sedimentvikt ger inte ett trovärdigt svar. En möjlig anledning till det är att sedimentationshastigheten har förändrats i sjön. Eftersom antalet SCP sjunker mot botten av sedimentprofilen omfattar sedimentproppen troligen den intensiva industriella perioden efter 1:a och 2:a världskriget, och möjligen hela 1900-talet.

Det rekonstruerade pH-värdet ligger relativt stabilt mellan 6.3 och 6.5 genom hela sedimentproppen. Vanliga taxa genom hela sedimentprofilen är *Aulacoseira* [*distans/subarctica*], *A. ambigua*, *A. distans* var. *alpigena*, *Fragilaria brevistriata* och *F. virescens* var. *exigua*. Ingen tydlig modern försurning kan noteras i det rekonstruerade pH-värdet.

Historiska kartor: Endast små förändringar har skett i sjöns avrinningsområde. Barrskog och blandskog har ökat (35-47% respektive 0-7%) och en förskjutning från öppen (12-4%) till sluten våtmark (1-7%) har skett.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Ryssbysjön. Den streckade linjen motsvarar 1970-talet utifrån datering med SCP.

Nr 30: Ejgdesjön (653737-125017)

Västra Götalands län, Tanum kommun

Max djup: 29 m; Medeldjup: 7 m; Area: 0,9 km²; Avrinningsområde: 4.3 km²

Kalkad: Ja, start 1974

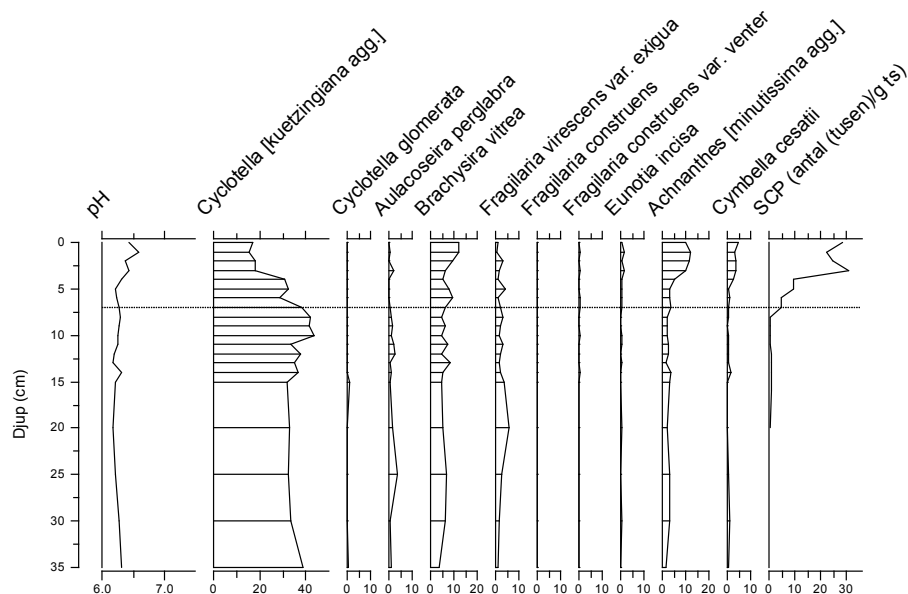
Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Mört har inte fångats i sjön vid något av de 17 provfisken som genomförts från 1990 och framåt i tiden.

Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGICbibl₂₀₀₇ och MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.77	0.98
dpH Min	0.77	0.98
dpH N	2	1
dpH differens	0	0
dpH optimal	0.77	0.98
Försurat optimal	1	1
Grupp	3	3

Paleolimnologi: Ejgdesjön är en av intensivsjöarna inom IKEU-projektet (Appelberg et al. 1995). Resultaten från de paleolimnologiska undersökningarna finns publicerade i Guhrén et al (2004), Guhrén et al (2007) och Norberg et al (2008). Sammanfattningsvis kan ingen modern försurning noteras i det rekonstruerade pH-värdet. En uppgång i pH orsakad av kalkning återfinns i ytan på sedimentet. Sjön har en mycket låg sedimentationshastighet och 7cm sedimentdjup dateras till mitten på 1800-talet med hjälp av flygaska. Den låga sedimentationshastigheten måste tas i beaktande vid tolkningen av de paleolimnologiska resultaten.

Historiska kartor: Ingen utvärdering utifrån historiska kartor har gjorts inom projektet.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Ejgdesjön. Den streckade linjen motsvarar mitten på 1800-talet utifrån datering med SCP.

Nr 31: Gyltigesjön (629489-133906)

Hallands län, Halmstads kommun

Max djup: 20 m; Medeldjup: 9.1 m; Area: 0,4 km²; Avrinningsområde: 172.1 km²

Kalkad: Ja, start 1982

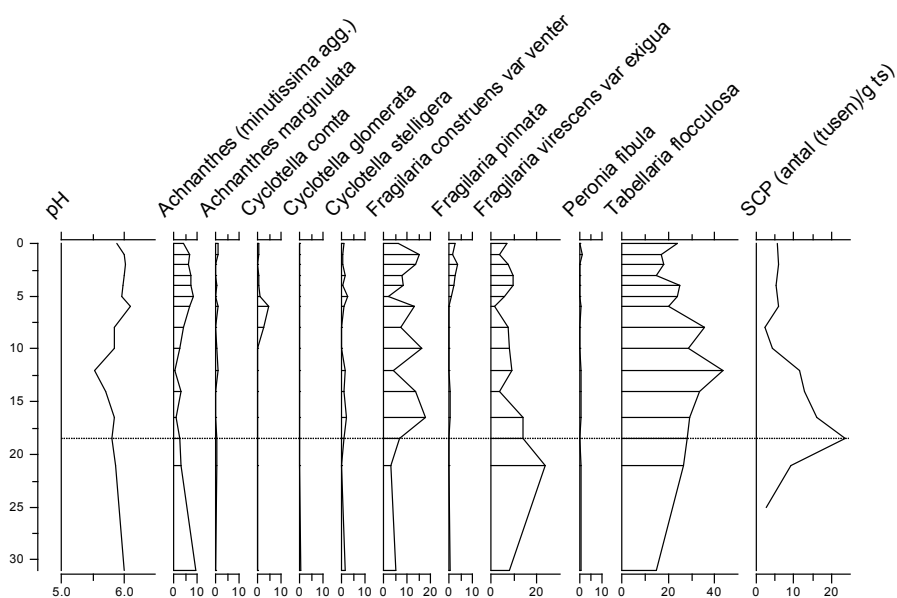
Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Mört har inte försvunnit från sjön, baserat på ett trettiotal provfischen genomförda från 1970-talet och framåt i tiden.

Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt MAGICbibl2007 men däremot bedömdes den som försurad utifrån MAGICbibl2010. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.38	2.11
dpH Min	0.38	2.11
dpH N	1	1
dpH differens	0	0
dpH optimal	0.38	2.11
Försurat optimal	0	1
Grupp	2	2

Paleolimnologi: Gyltigesjön har varit en av intensivsjöarna inom IKEU-projektet (Appelberg et al. 1995). Resultaten från de paleolimnologiska undersökningarna finns publicerade i Guhrén et al (2003), Guhren et al (2007) och Norberg et al (2008). Sammanfattningsvis kan en modern försurning identifieras i Gyltigesjön. Även en alkaliseringsperiod går att identifiera som inleds djupare ned i sedimentet än vad som redovisas i figuren nedan. I samband med den moderna försurningen sjunker pH till obetydligt under det värde som rekonstruerades före alkaliseringsperioden. Gyltigesjön har en exceptionell hög sedimentationshastighet med i genomsnitt 1.8mm sedimentationstillväxt per år och högre i det mindre kompakterade materialet i ytan. En uppgång i det rekonstruerade pH-värdet sker i samband med att sjön kalkas.

Historiska kartor: Ingen utvärdering utifrån historiska kartor har gjorts inom projektet.



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Gyltigesjön. Den streckade linjen motsvarar 1970-talet utifrån datering med SCP.

Nr 32: Härsvatten (643914-127698)

Västra götalandets län, Stenungsunds kommun

Max djup: 26.2 m; Medeldjup: 5.7 m; Area: 0,2 km²; Avrinningsområde: 1.9 km²Kalkad: Nej

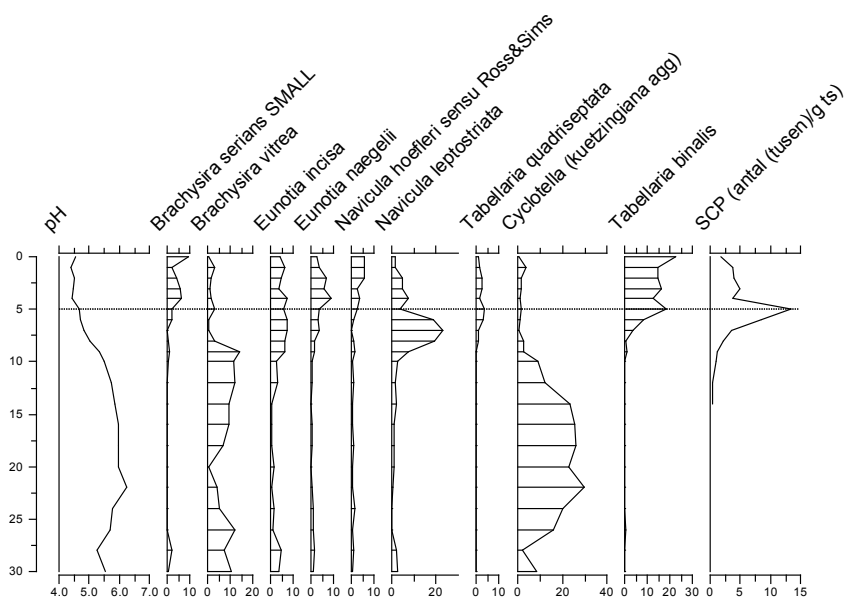
Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Ingen fisk har fångats i sjön vid ett tiotal provfiske mellan 1994 och 2003.

Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGIC₂₀₀₇ och MAGIC₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.891	1.97
dpH Min	0.891	1.97
dpH N	1	1
dpH differens	0	0
dpH optimal	0.891	1.97
Försurat optimal	1	1
Grupp	3	3

Paleolimnologi: Resultaten från de paleolimnologiska undersökningarna finns publicerade i bland annat Renberg et al (1993b) och Ek & Korsman (2001)

Sammanfattningsvis

Historiska kartor:

Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Härsvatten. Den streckade linjen motsvarar 1970-talet utifrån datering med SCP.

Nr 33: Rotehogstjärnen (652902-125783)

Västra götaland län, Tanums kommun

Max djup: 9.4 m; Medeldjup: 3.4 m; Area: 0,2 km²; Avrinningsområde: 3.6 km²

Kalkad: Nej

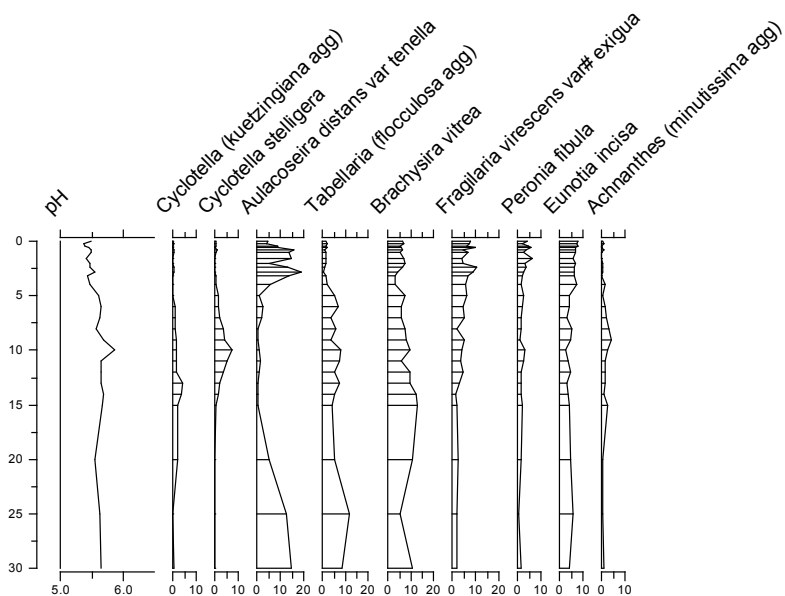
Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Under 1970-, 1980-, och 1990-talet har 28 provfisken genomförts som visar att mörten förekommer i sjön.

Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGIC₂₀₀₇ och MAGIC₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

Paleolimnologi: Resultaten från de paleolimnologiska undersökningarna finns publicerade i Ek & Korsman (2001).

Historiska kartor:

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	1.3	1.86
dpH Min	0.28	1.37
dpH N	5	8
dpH differens	1.02	0.49
dpH optimal	1.3	1.82
Försurat optimal	1	1
Grupp	2	2



Rekonstruerat pH, ett urval kiselalgsarter (%) samt koncentrationen SCP genom sedimentproppen från Rotehogstjärnen.

Nr 34: Stengårdshultasjön (638317-138010)

Jönköpings län, Gislaveds kommun

Max djup: 26.8 m; Medeldjup: 7.1 m; Area: 5.0 km²; Avrinningsområde: 83.5 km²

Kalkad: Ja, start 1981

Fisk: Mört förekom i sjön 1935. Mört har fångats vid provfischen som genomfördes under 1980-talet. Totalt har 24 provfischen genomförts i sjön.

Vattenkemi: Sjön bedömdes inte vara försurad enligt MAGICbibl₂₀₀₇ men däremot bedömdes den som försurad utifrån MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försumningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	0.75	1.29
dpH Min	0.13	1.29
dpH N	2	1
dpH differens	0.62	0
dpH optimal	0.13	1.29
Försurat optimal	0	1
Grupp	2	2

Paleolimnologi: Stengårdshultasjön är en av intensivsjöarna inom IKEU-projektet (Appelberg et al. 1995). Resultaten från de paleolimnologiska undersökningarna finns publicerade i Gählmán et al (2000), Guhren et al (2007) och Norberg et al (2008).

Sammanfattningsvis

Historiska kartor: Ingen utvärdering utifrån historiska kartor har gjorts inom projektet.

Nr 35: Stora Härsjön (640364-129240)

Västra götaland län, Härryda kommun

Max djup: 42 m; Medeldjup: 14.1 m; Area: 2,6 km²; Avrinningsområde: 23.7 km²

Kalkad: Ja, start 1977

Fisk: Mört förekom i sjön 1897. Enligt en källa dog mörten ut i sjön under 1950-talet. Mört fångades inte vid provfiske 1971, 1976 eller 1981. Däremot fångades mört vid provfiske 1984. Totalt har 27 provfisken genomförts i sjön.

Vattenkemi: Sjön bedömdes vara försurad både enligt MAGICbibl₂₀₀₇ och MAGICbibl₂₀₁₀. Se tabell för detaljer kring försurningsbedömningen.

MAGIC/MAGICbibl år	2007	2010
dpH Max	2.057	2.67
dpH Min	2.057	2.3
dpH N	2	5
dpH differens	0	0.37
dpH optimal	2.057	2.67
Försurat optimal	1	1
Grupp	3	3

Paleolimnologi: Stora Härsjön är en av intensivsjöarna inom IKEU-projektet (Appelberg et al. 1995). Resultaten från de paleolimnologiska undersökningarna finns publicerade i Guhrén et al (2004), Guhren et al (2007) och Norberg et al (2008).

Sammanfattningsvis

Historiska kartor: Ingen utvärdering utifrån historiska kartor har gjorts inom projektet.