

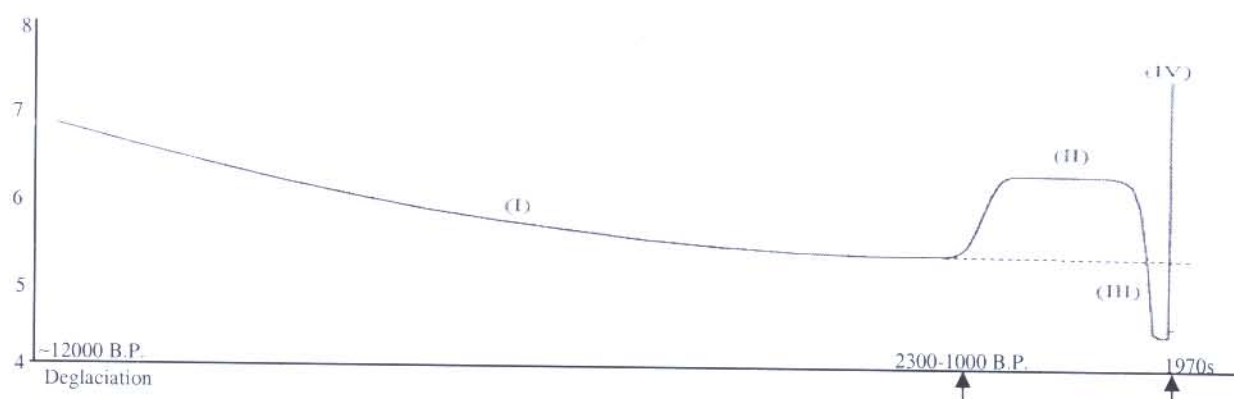
# Paleolimnologiska undersökningar av kalkade referenssjöar

Del 5.

Ejgdesjön & St. Härsjön (Västra Götalands län), Tryssjön (Dalarnas län),  
Lien & V. Skälsjön (Västmanlands län),

av

Matilda Guhrén  
Ingemar Renberg  
Jan-Erik Wallin



Miljöförändringsanalys  
Institutionen för ekologi och geovetenskap  
Umeå universitet  
901 87 Umeå

Utgiven av:  
Institutionen för ekologi och geovetenskap  
Umeå universitet  
901 87 Umeå

Matilda Guhrén  
Epost: [Matilda.Guhren@eg.umu.se](mailto:Matilda.Guhren@eg.umu.se)  
Tel: 090-786 9287

Tryckt av PR Print, Umeå, 2004  
ISBN 91-7305-679-0

# **Paleolimnologiska undersökningar av kalkade referenssjöar**

Del 5.

Ejgdesjön & St. Härsjön (Västra Götalands län), Tryssjön (Dalarnas län),  
Lien & V. Skälsjön (Västmanlands län),

av

Matilda Guhrén  
Ingemar Renberg  
Jan-Erik Wallin



Miljöförändringsanalys  
Institutionen för ekologi och geovetenskap  
Umeå universitet  
901 87 Umeå

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Sammanfattning                |    |
| Inledning.....                | 1  |
| Material och metoder .....    | 1  |
| Ejgdesjön.....                | 2  |
| Områdesbeskrivning.....       | 2  |
| Resultat.....                 | 3  |
| Sediment och provtagning..... | 3  |
| Bly.....                      | 3  |
| Flygaska .....                | 4  |
| Kiselalger .....              | 5  |
| Sammanfattad historik.....    | 5  |
| Lien.....                     | 7  |
| Resultat.....                 | 8  |
| Sediment och provtagning..... | 8  |
| Bly.....                      | 8  |
| Flygaska .....                | 9  |
| Kiselalger .....              | 9  |
| Pollen.....                   | 11 |
| Sammanfattad historik.....    | 11 |
| Tryssjön.....                 | 13 |
| Resultat.....                 | 14 |
| Sediment och provtagning..... | 14 |
| Bly.....                      | 14 |
| Flygaska .....                | 15 |
| Kiselalger .....              | 16 |
| Pollen.....                   | 17 |
| Sammanfattad historik.....    | 17 |
| Västra Skälsjön.....          | 19 |
| Resultat.....                 | 19 |
| Sediment och provtagning..... | 19 |
| Bly.....                      | 20 |
| Flygaska .....                | 20 |
| Kiselalger .....              | 21 |
| Sammanfattad historik.....    | 22 |
| Stora Härsjön.....            | 23 |
| Resultat.....                 | 23 |
| Sediment och provtagning..... | 23 |
| Bly.....                      | 24 |
| Flygaska .....                | 25 |
| Kiselalger .....              | 26 |
| Sammanfattad historik.....    | 27 |
| Diskussion.....               | 29 |
| Referenser.....               | 32 |
| Bilagor                       |    |

## SAMMANFATTNING

Guhrén, M., Renberg, I. & Wallin, J.-E. 2004. Paleolimnologiska undersökningar av kalkade referenssjöar. Del 5. Ejgdesjön & St. Härsjön (Västra Götalands län), Tryssjön (Dalarnas län), Lien & V. Skälsjön (Västmanlands län). Institutionen för ekologi och geovetenskap, Umeå universitet. ISBN 91-7305-679-0

I denna rapport presenteras paleolimnologiska undersökningar som har gjorts i de fem IKEU-sjöarna, Ejgdesjön, Lien, Tryssjön, V. Skälsjön och St. Härsjön. Provtagningarna av sjöarna utfördes med rysk torvborr och frysprovtagare under vårarna 2001, 2002 samt 2003. I Ejgdesjön, Lien och Tryssjön täcker det sediment som tagits hela den postglaciala tiden, medan endast de senaste 700 respektive 3 000 åren i V. Skälsjön och St. Härsjön kunde provtas. Sjöarna är analyserade med avseende på föroreningshistoria (flygaska och bly), vegetationshistoria (pollen) samt utvecklingen av pH och artsammansättningen hos kiselalger med fokus på försurning och kalkning.

Föroreningsutvecklingen vad gäller bly och flygaska följer i alla fem sjöarna i stort den tidstrend som är känd sedan tidigare (Brännvall et al. 2001). En påverkan från långväga luftföroreningar av bly kan detekteras från åtminstone medeltiden. I V. Skälsjön, Lien och Tryssjön finns också en påverkan av den regionala gruvverksamheten under samma period. Den industriella perioden (från mitten av 1800-talet) visar sig genom förekomst av flygaska och ökande mängder blyföroreningar. Denna period når sin föroreningskulmen under 1970-talet och en mer eller mindre stor nedgång i föroreningsbelastning följer fram till idag. Denna nedgång är minst tydligt i Ejgdesjön och St. Härsjön. Magnituden i påverkan från föroreningar skiljer sig mellan sjöarna. St. Härsjön har mycket hög föroreningsbelastning medan de övriga sjöarna ligger på måttligare nivåer.

I Tryssjön och Lien där pollenanalyser genomförts kan ungefär samma mönster identifieras i båda sjöarna. Trädsammansättningen i avrinningsområdet består i början av sjöarnas utveckling av tall och björk. För 8 500 år sedan invandrade al till området och 6 500 år senare kom även gran in. För 700 år (Tryssjön) respektive 600 år (Lien) sedan börjar kulturgynnade och odlade växter att förekomma, vilket tyder på ett öppnande av vegetationen i landskapet till följd av människans markanvändning och odling.

I Tryssjön, Lien och Ejgdesjön kan man i rekonstruktionen av pH utifrån kiselalglämningar se ett långsamt sjunkande pH-värde under den första delen av sjöarnas historia. Denna utveckling är naturlig och har sin grund i markens åldrande. Nedgången i pH pågår fram till modern tid utan några egentliga avbrott, förutom i Tryssjön där pH börjar stiga kring medeltiden som en följd av människans markanvändning. Inverkan från markanvändning på pH-värdet finns även i V. Skälsjön. I St. Härsjön ligger pH under nästan hela den förindustriella tiden över 7. Under modern tid kan en försurning av sjöarna endast detekteras i V. Skälsjön och St. Härsjön. Denna kan dock inte betraktas som allvarlig i någon av dem. I V. Skälsjön är det en relativt svag sänkning av pH-värdet och i St. Härsjön förekommer fortfarande under denna period försurningskänsliga kiselalger. I de allra översta centimetrarna av sedimentet kan man i alla fem sjöarna se en större eller mindre uppgång i pH till följd av kalkningsverksamheten. Kalkningen ger i St. Härsjön och Tryssjön upphov till en återgång i artsammansättningen av kiselalger mot tidigare tillstånd. I Lien etableras vissa arter som tidigare inte förekommit och vissa arter ökar också till att utgöra en större del av samhället än de tidigare gjort. En motsvarande ökning av vissa arter återfinns även i Ejgdesjön. Däremot sker ingen större inverkan på artsammansättningen i V. Skälsjön.

## ABSTRACT

Guhrén, M., Renberg, I. & Wallin, J.-E. 2004. Palaeolimnological assessment of limed reference lakes. Part 5. Ejdgesjön & St. Härsjön (County of Västra Götaland), Tryssjön (County of Dalarna), Lien & V. Skälsjön (County of Västmanland). Department of Ecology and Environmental Science, Umeå University. ISBN 91-7305-679-0

In this report the results of the paleolimnological studies of the ISELAW-lakes Ejdgesjön, Tryssjön, Lien, V. Skälsjön and St. Härsjön are presented. The sediment profiles from the lakes represent the whole postglacial time period in Tryssjön, Lien and Ejdgesjön, but in V. Skälsjön and St. Härsjön only 700 and 3000 years, respectively. The history of atmospheric pollution in the lakes was established with analysis of lead and fly ash particles. In Lien and Tryssjön, pollen analysis was conducted to determine the vegetation history. In both lakes pollen from culturally favoured plants were present from medieval times until today. A modern acidification due to acidic precipitation can only be detected in V. Skälsjön and St. Härsjön, but in neither one of them is it serious. In V. Skälsjön the lowering of pH is moderate and in St. Härsjön diatoms sensitive to acidification are still present during this period. In all of the lakes a rise in pH due to liming can be seen. In St. Härsjön and Tryssjön the liming causes the diatom composition to slightly return towards a previous state. In Lien some diatom species that were not found earlier in history were established, while other diatoms increased in abundance above values found in older sediments. A similar increase in abundance of some species can be found in Ejdgesjön. The liming does not give rise to any major changes in the diatom composition in V. Skälsjön. During the medieval time period a rise in pH due to agriculture can be noted in V. Skälsjön and Tryssjön. In Tryssjön, Lien and Ejdgesjön a long period of natural acidification took place in the first few thousand years of the lakes' history.

## INLEDNING

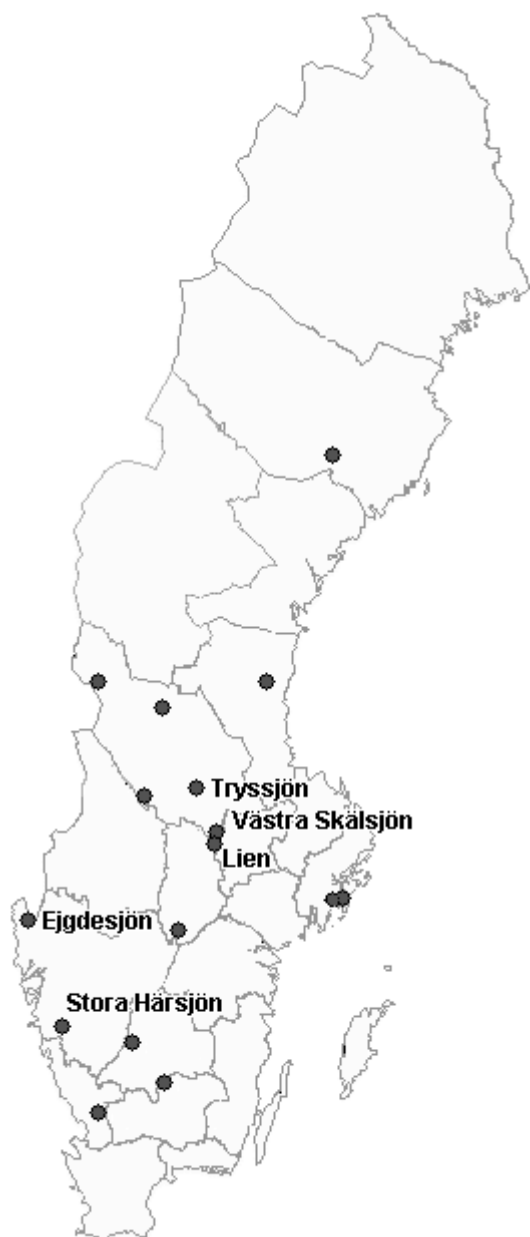
IKEU (Integrerad KalkningsEffektUppföljning) är ett program som startades 1989 för att följa upp den kalkningsverksamhet som pågått i Sverige sedan 1970-talet. Huvudsyftet med programmet är att studera den långsiktiga effekten av kalkning i försurade vatten. I studien ingår 13 sjöar och 12 vattendrag, vilka analyserats med avseende på fiskpopulation, bottenfauna, djurplankton, växtplankton och vattenkemi (Institutionen för miljöanalys 2003, Söderbäck 1997). Sedan 1999 finns även en paleolimnologisk del kopplad till IKEU för att undersöka sjöarnas utveckling från förindustriell tid fram till idag. Med paleolimnologiska undersökningar menas, i det här fallet, undersökningar där man analyserar olika lämningar i sjösedimentet för att fastställa sjöns och områdets utveckling vad gäller exempelvis vattenkemi, föroreningsbelastning och vegetation.

Tidigare har paleolimnologiska undersökningar genomförts i Källsjön (Korsman et al. 2000), Stengårdshultasjön (Gählman et al. 2000), Stensjön och Gyslättsjön (Ek et al. 2001) samt Bösjön, Gyltigesjön och Långsjön (Guhren et al. 2003).

I den här rapporten redovisas resultaten från de paleolimnologiska undersökningarna i Ejgdesjön, Lien, Tryssjön, Västra Skälsjön och Stora Härsjön (Fig. 1).

## MATERIAL OCH METODER

Provtagningen av sjöarna har utförts under våren 2001 (Ejgdesjön), våren 2002 (Lien, Tryssjön, V. Skälsjön) samt våren 2003 (St. Härsjön). De provtagare som har använts är en modifierad variant av frysprovtagare som presenteras i Renberg och Hansson (1993) för de översta ca 70 cm, samt rysk torvborr (Aaby och Digerfeldt 1986) för det djupare och kompaktare sedimentet. Proverna är tagna i sjöarnas djupaste delar, i ackumulationsbotten, för att



**Figur 1.** Karta över IKEU-sjöarnas läge. Tryssjön, Västra Skälsjön, Lien, Ejgdesjön och Stora Härsjön ingår i denna rapport, de övriga är markerade med punkter (Institutionen för miljöanalys 2003).

få så liten inverkan som möjligt från våg och strömrörelser samt bioturbation. I Figur 2 visas var proverna togs i respektive sjö.

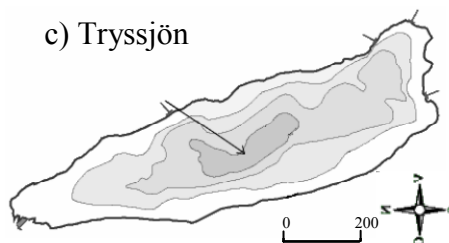
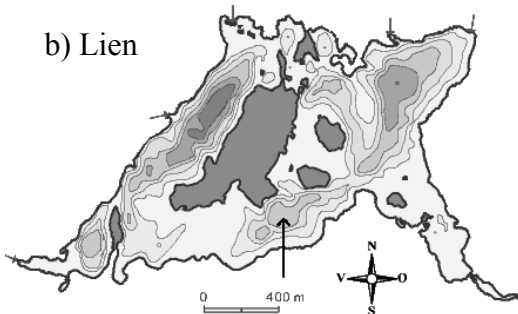
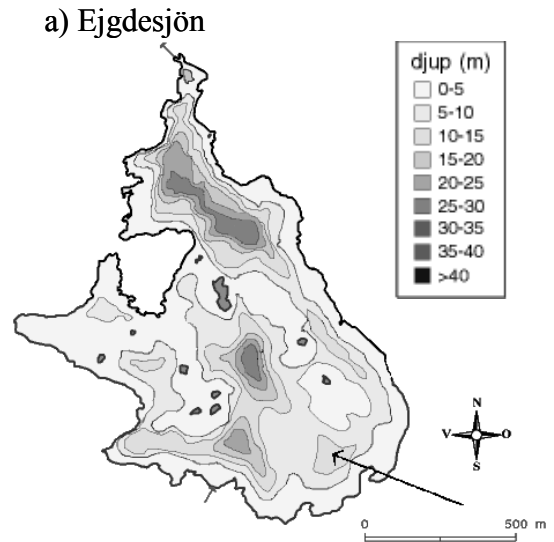
I de fem sjöar som innefattas i denna rapport har analyser av glödförlust, bly, flygaska, kiselalger samt pollen utförts. För bakgrund och prepareringsförfarande till de olika metoderna hänvisas till de fyra tidigare rapporterna i samma serie (Gählman et al. 2000, Korsman et al. 2000, Ek et al. 2001, Guhrén et al. 2003). Rekonstruktionen av pH är i alla rapportens sjöar gjord med kalibreringsdatasetet Norrset (Korsman och Birks 1996) förutom i St. Här sjön där SWAP (Stevenson et al. 1991) har använts. Informationen till områdesbeskrivningen och vattenkemidatat som presenteras för varje sjö är hämtad från hemsidan för Institutionen för miljöanalys, SLU, Uppsala (Institutionen för miljöanalys, 2003). För ytterligare information hänvisas till denna hemsida samt till Söderbäck (1997).

## EJGDESJÖN

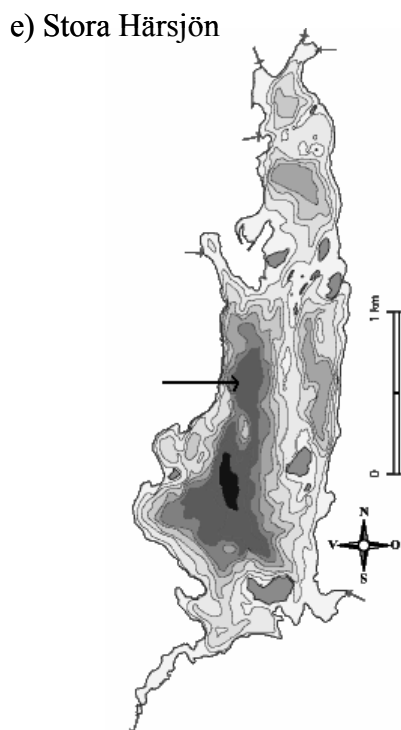
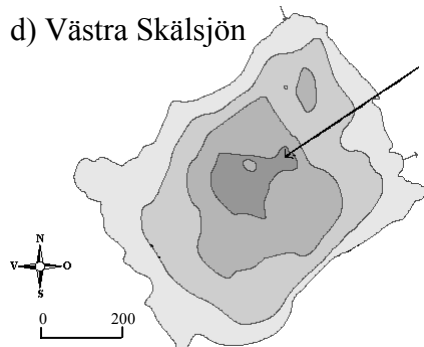
### OMRÅDESBESKRIVNING

Ejgdesjön (653737-125017) ligger i Västra Götalands län inte långt från norska gränsen. Sjön ligger på en höjd av 143 m över havet och har en yta av 0,91 km<sup>2</sup>. Vattenvolymen uppgår till cirka 5 Mm<sup>3</sup> och omsättningstiden är 2 år. Sjön har ett medeldjup på 5,9 m och är på ett flertal ställen djupare än 20 m och som djupast 28 m. Avrinningsområdet är 4,7 km<sup>2</sup> och hyser olika naturtyper. De största delarna består av barr och blandskog samt berg i dagen och vatten, däribland sjöns egen areal.

Ejgdesjön började kalkas relativt tidigt, redan 1974. Vid fyra tillfällen sedan dess har hela sjön kalkats. Dessutom har uppströms liggande sjöar och våtmarker kalkats vid 11 tillfällen. Den sista kalkningen skedde 1996 i Ringvattnet samt Norra och Södra Blötevatten uppströms Ejgdesjön. Det lägsta uppmätta pH-värdet före kalkningen var 4,3 (Söderbäck 1997). Medelvärde för pH har under åren 1989-2002 legat på 6,8. Vid tre tillfällen sedan 1989 har pH







**Figur 2.** Djupkarta över a) Ejgdesjön b) Lien c) Tryssjön d) Västra Skälsjön och e) Stora Härsjön. En pil markerar var proverna togs i sjöarna (Institutionen för miljöanalys 2003).

understigit 6, i februari 1995 (5,8), februari 1999 (5,6) samt februari 2001 (5,2). Ungefär en tredjedel av de uppmätta pH-värdena sedan 1989 är högre än 7. Halten totalt organiskt kol (TOC) har ett medelvärde av 5 mg/l, vilket enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder klassas som låg halt. Alkaliniteten i sjön varierar under perioden 1989 till 2002 mellan 0 och 300  $\mu\text{ekv/l}$ . Medelvärdet för perioden är 164  $\mu\text{ekv/l}$  vilket klassas som hög alkalinitet enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2000).

## RESULTAT

### Sediment och provtagning

Ejgdesjön provtogs under våren 2001 då två frysproppar och en propp (2,1 m) med den ryska torvprovtagaren togs i den södra djuphålan på 14,4 m djup. Hela sedimentprofilen består endast av 90 cm sjösediment ovanför den marina leran. Detta innebär att sjön har haft en mycket låg sedimentation på provtagningsplatsen under sin utveckling.

### Bly

Vid 90 cm sedimentdjup har Ejgdesjön en blyisotopkvot ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ) på 1,45 och en blykoncentration runt 9  $\mu\text{g/g}$  torrsubstans (ts) (Fig. 3). Bakgrundsvärden för blyisotopsammansättning och blykoncentration i Sverige ligger typiskt över 1,3 respektive under 10  $\mu\text{g/g}$  ts (Brännvall 2000, Renberg et al. 2001). Detta innebär att blyvärdena i den nedersta delen av Ejgdesjöns sediment motsvarar normala bakgrundsvärden. Isotopkvoten och koncentrationen bly är upp till 40 cm sedimentdjup relativt konstant. Därefter börjar  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  -kvoten sjunka och denna nedgång fortsätter upp till 2 cm sedimentdjup till värdet 1,15. Runt 24 cm sedimentdjup, ökar koncentrationen och når en kulmen på 240  $\mu\text{g/g}$  ts vid 2 cm. Från 2 cm sedimentdjup upp till ytan sker en mycket svag återgång i både isotopkvot och blykoncentration.

Den första mänskliga påverkan som återfinns i sjön är vid 30-40 cm sedimentdjup. Här sjunker isotopkvoten och koncentrationen höjs som en följd av nedfall av luftföroreningar från metallhanteringen i Europa under medeltiden (Brännvall et al. 2001).

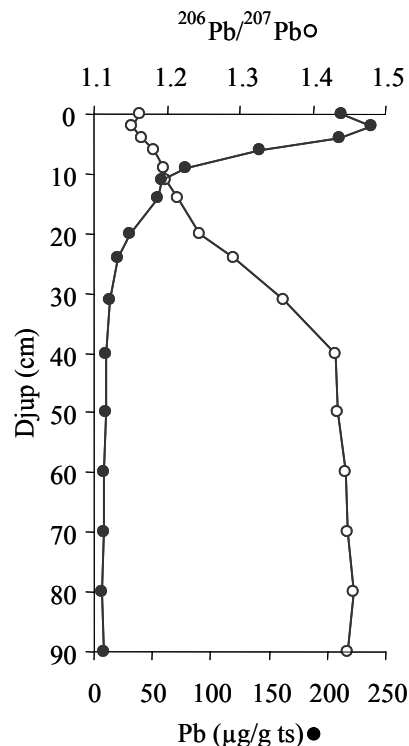
Från medeltiden och framåt i sjöns historia sker en stadig ökning av koncentrationen bly till följd av ökad föroreningsbelastning från luften. Den lägsta kvoten och högsta koncentrationen vid 2 cm motsvarar den höga föroreningsbelastningen under 1970-talet. Efter 70-talet började bly ersättas av andra ämnen i bensinen vilket resulterade i en mycket svag återgång i både kvot och koncentration i de översta cm av sedimentet. Eftersom Ejgdesjön har en mycket låg sedimentationshastighet, så är det svårt att se det tydliga blyföroreningsmönstret som återfinns i andra sjöar (Brännvall et al. 2001). Sålunda går det inte att se den lilla topp i föroreningsnedfall som det romerska rikets gruvverksamhet orsakade.

### Flygaska

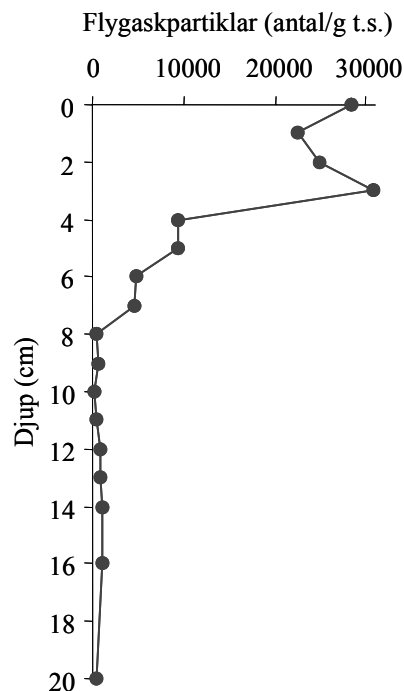
Flygaskpartiklarna i Ejgdesjön börjar förekomma i större utsträckning mellan 7 och 8 cm där en uppgång sker till 4 700 partiklar/g ts (Fig. 4). Denna ökning fortsätter sedan upp till 3 cm där den högsta noteringen på närmare 31 000 partiklar/g ts återfinns. Från 3 cm sedimentdjup upp till ytan minskar antalet partiklar även om trenden inte är entydig.

Vid jämförelse med bland annat blyanalyserna och med hänsyn till den låga sedimentationshastigheten i sjön så är det realistiskt att anta att den uppgång i antalet partiklar som sker vid 7 cm motsvarar början på industrialiseringen på 1800-talet. Vad gäller förekomsten av partiklar från 8 cm ned till 20 cm är det mindre troligt att de representerar någon tidig påverkan från förbränning av fossila bränslen, även om det förekom förbränning av kol i Storbritannien redan för 1000 år sedan (Brimblecombe 1987). I det här fallet är det dock mer troligt att det är svarta mineralpartiklar som är svåra att skilja från flygaskpartiklar.

Under den industriella perioden ökar mängden flygaskpartiklar i sedimentet. Toppen vid 3 cm motsvarar den höga belastningen av föroreningar under 1970-talet. Därefter har den förbättrade reningstekniken inom industrisektorn lett till en reduktion i antalet flygaskpartiklar i sedimentet. Skillnaden mellan bly och flygaska vad gäller dateringen av 1970-talet beror på upplösningen i de olika analyserna. Eftersom flygaskanalyserna är



Figur 3. Blykoncentration och blyisotopkvot i Ejgdesjöns sediment.

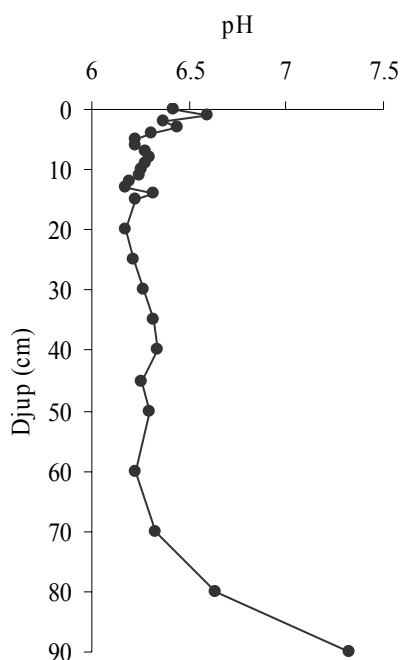


Figur 4. Antalet flygaskpartiklar i Ejgdesjöns sediment angett som antal per gram torrsubstans.

gjorda med 1 cm intervall och blyanalyserna med 2 cm så utgår vi här ifrån den indirekta dateringen från flygaska, dvs att 1970-talet återfinns vid 3 cm djup.

### Kiselalger

I botten av sedimentproppen från Ejgdesjön domineras kiselalgsfloran av *Fragilaria construens* och *F. construens* var. *venter*, vilka båda är bentiska arter som ofta återfinns strax efter att en sjö bildats (Bilaga 1). Dessa två arter minskar sedan snabbt i förekomst samtidigt som *Aulacoseira distans* var. *tenella*, *Cyclotella glomerata* och *C. kuetzingiana* agg. börjar förekomma. *A. distans* var. *tenella* och *C. glomerata* försvinner i stort sett längre upp i sedimentprofilen medan *C. kuetzingiana* agg. ökar i förekomst och är under sjöns resterande utveckling den dominerande kiselalgsgruppen. Under den största delen av sjöns utveckling sker sedan inga större förändringar i kiselalgsfloran. I de översta 5 cm av sedimentet sker en nedgång i förekomsten av *C. kuetzingiana* agg. samtidigt som *Achnanthes minutissima* agg., *Cymbella cesati* och *Pinnularia subcapitata* ökar i förekomst. Dessa förändringar visar på en kalkningspåverkan i sjön. Framför allt *A. minutissima* agg. gynnas av den förändring av vattenkvaliteten som sker i sjöar till följd av kalkning.



**Figur 5.** Rekonstruerat pH i Ejgdesjöns sediment.

Rekonstruktionen av pH i sjön visar på ett initialt högt värde (7,3) som sedan sjunker under den första perioden av sjöns utveckling (Fig. 5). pH-värdet ligger sedan relativt stabilt kring 6,3 mellan 60 och 5 cm sedimentdjup för att mellan 4 och 1 cm sedimentdjup öka med 0,3 pH-enheter. Den initiala nedgången i pH beror på markens åldrande, vilket leder till en naturlig försurning som i Ejgdesjön stabiliseras relativt tidigt. Under modern tid kan vi inte identifiera någon försurning till följd av surt nedfall. Den ökning i pH som sker i toppen av sedimentprofilen beror på kalkningsverksamheten som påbörjas 1974.

### SAMMANFATTAD HISTORIK

Ejgdesjön bildades för ungefär 12 000 år sedan (omräknat från  $^{14}\text{C}$ -år utifrån Fredén 1994) då landhöjningen ledde till att havet drog sig undan från området. I botten av sedimentproppen från Ejgdesjön hittades ett musselskal, vilket bekräftar att det

minerogena materialet i botten av proppen är havs-sediment. Då hela sedimentprofilen omfattar endast 90 cm kan vi konstatera att sjön har en mycket låg sedimentationshastighet. Med hjälp av de indirekta dateringar som gjorts kan ett grovt mått på sedimentationshastigheten för Ejdeshjön räknas ut (Fig. 6). Under den industriella perioden från mitten av 1800-talet fram till idag har sedimentationshastigheten varit kring 1 mm/år vilket är ett lågt värde för det yngre, minst kompakterade sedimentet. Från medeltiden och fram till mitten av 1800-talet har sedimentationshastigheten varit i genomsnitt 0,3 mm/år, vilket även det är ett relativt lågt värde som motsvarar näringsfattiga förhållanden och låg produktion. Från det att sjön bildades fram till medeltiden har sedimentationshastigheten haft ett medelvärde på 0,05 mm/år, vilket är extremt lågt. Av det stora antal sjöar som undersökts ur paleolimnologiskt perspektiv i Sverige finns det ingen motsvarighet till denna låga sedimentation.

Under sjöns tidiga utveckling är pH högt, artsammansättningen består av kolonisationsarter till exempel från släktet *Fragilaria*, och blyvärdena ligger kring normala svenska bakgrundsvärden vad gäller både isotopsammansättning och koncentration. Naturliga processer leder sedan till att pH långsamt sänks i sjön och artsammansättningen utvecklas i takt med att sjön och dess avrinningsområde åldras och både de fysikaliska och kemiska omgivningsfaktorerna förändras (Renberg et al. 1993). Denna utveckling har återfunnits i många av de sjöar som undersökts med paleolimnologiska metoder och representerar den normala naturliga utvecklingen i svenska sjöar. Den första påverkan från människan som kan spåras i sedimentet är luftföroreningsnedfall från medeltiden. Blyisotopkvoten sjunker och blykoncentrationen ökar i sedimentet. Det är väl dokumenterat i tidigare undersökningar från den svenska västkusten att nedfallet av föroreningar, där bly är en utmärkt indikator, har varit stort under perioden ca 1000 e.Kr. och framåt (Brännvall et al. 2001). Utifrån analyserna av flygaska dateras 7 cm sedimentdjup till mitten av 1800-talet och början på industrialismen. Samtida med den höga föroreningsbelastningen från industrin under 1970-talet syns en pH-ökning till följd av kalkningsverksamheten i sjön,

vilken påbörjades redan 1974. Kalkningsverksamheten leder till förändringar i artsammansättningen av kiselalger, vilka skiftar till förmån för kalkningsgynnade arter. Vissa av dessa arter har förekommit under sjöns hela utveckling men de utgör nu en större andel av kiselalgssamhället än vad de gjort tidigare. Enligt de rekonstruktioner av pH som gjorts i Ejgdesjön kan ingen modern försurningsperiod identifieras. I och med den låga sedimentationshastigheten i sjön kan det vara svårt att detektera en eventuell måttlig sentida pH-sänkning i sjön. Den låga sedimentationshastigheten leder till att ett uttaget prov omfattar en längre tidsperiod vilket leder till att snabba förändringar i pH blir svårare att upptäcka. I kiselalgssamhället i Ejgdesjön finns det inget som tyder på en ökning/förekomst av kiselalger som gynnas av ett lägre pH. Exempelvis finns ingen förekomst av *Tabellaria binalis* som i andra klassiskt försurade sjöar såsom Härsvattnet och Örvattnet utgör flera 10-tals procent av de räknade kiselalgsskalen under den försurade perioden (Ek och Korsman 2001).

På grund av att sedimentproppen är mycket kort och sjön har en låg sedimentationshastighet har inga pollenanalyser genomförts.

## LIEN

Lien (663216-148449) ligger i Västmanlands län på en höjd av 156 m över havet. Sjöns totala area uppgår till 1,5 km<sup>2</sup>, vattenvolymen i sjön är 11,7 Mm<sup>3</sup> och omsättningstiden är 0,5 år. Det maximala djupet är 29,2 m medan medeldjupet är 7,8 m. Avrinningsområdet är 48,8 km<sup>2</sup> och består till tre fjärdedelar av barr och blandskog. Det förekommer även inslag av till exempel hygge och myrmark.

Lien har endast kalkats direkt en gång 1983. Ett antal sjöar uppströms Lien har dock kalkats ett flertal gånger sedan 1982 och en kalkdoserare är utplacerad sedan 1983 i Haraldsjöån som mynnar i Lien. Före kalkningen var det lägsta uppmätta pH-värdet 5,5. Medelvärde för pH i sjön under perioden 1989-2002

är 6,5 och det lägsta och högsta värde som uppmätts under perioden är 5,7 respektive 7,2. Medelvärdet för TOC är 6,8 mg/l vilket klassas som låg halt enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder. Alkaliniteten har ett medelvärde för perioden på 121  $\mu\text{ekv/l}$ , vilket motsvarar en god buffertkapacitet (Naturvårdsverket 2000).

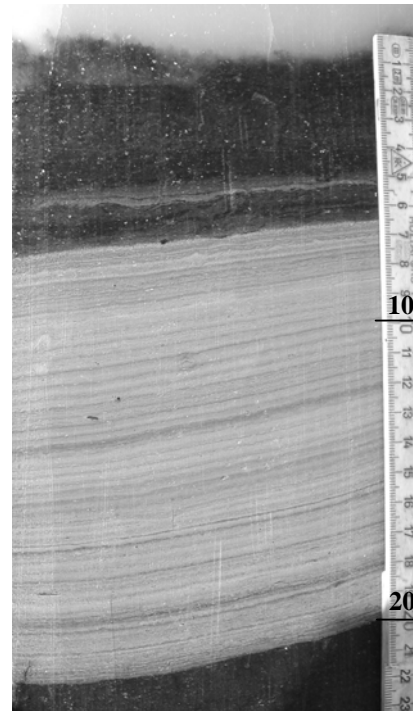
## RESULTAT

### Sediment och provtagning

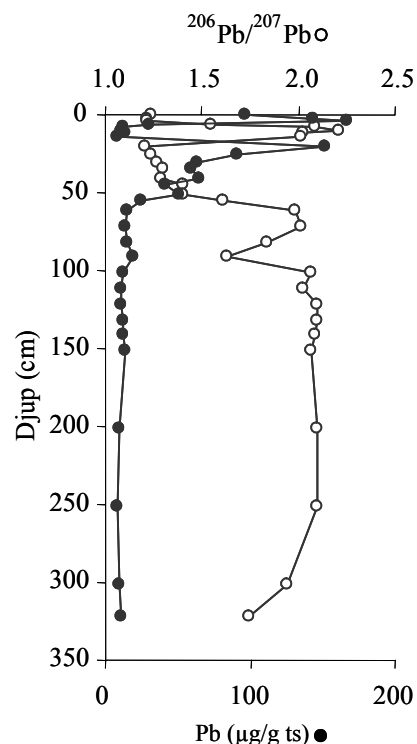
Lien provtogs under våren 2002 då två frysproppar samt en serie proppar med den ryska torvborren (3,3 m) togs på 18,5 m djup i en ackumulationsbotten i sjöns södra del. I sedimentet fanns ett tydligt mineralogent lager med lamineringar (ca 46 st) mellan 6,5 och 20 cm sedimentdjup (Fig. 7). Lagret både börjar och slutar mycket skarpt. Ytterligare ett smalt mineral-kornlager uppträder vid 5 cm sedimentdjup.

### Bly

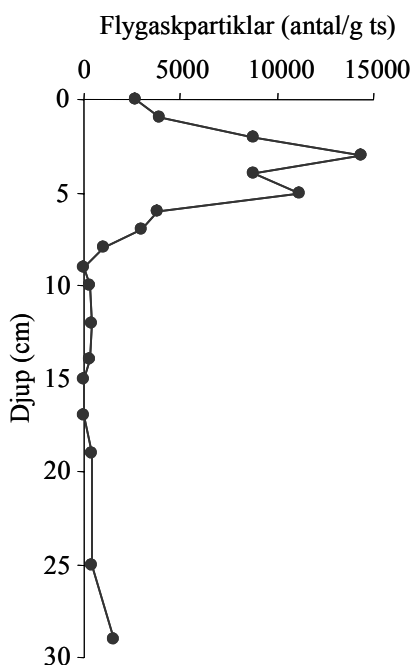
Blyisotopkvoten ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ) i botten av sedimentprofilen i Lien är 1,74 (Fig. 8). Detta värde stiger sedan något och mellan 250 och 100 cm sedimentdjup ligger det mellan 2,10 och 2,03. Den initiala höjningen av blykvoten beror troligen på att sedimentet övergår från marint till sjösediment kring 310 cm sedimentdjup. Det därefter följande värdet motsvarar bakgrundsvärdena för svenska sjöar även om det är relativt högt. Brännvall et al. (2001) fann bakgrundskvoter för  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  i Sverige i intervallet 1,28-2,04. Bakgrundsvärdet i Lien ligger alltså i den översta delen av intervallet. Koncentrationen av bly i Lien pendlar under samma period mellan 8 och 13  $\mu\text{g/g}$  torrsubstans (ts), vilket även det motsvarar bakgrundsförhållanden (Fig. 8). Vid 90 cm sedimentdjup finns en signal från romarrikets luftföroreningar med en svag uppgång i koncentration och en sänkning av kvoten. Efter en period där både kvot och koncentration återgick mot bakgrundsnivåer syns medeltidens expansion av gruvnäringen. Denna förorening härstammar från Europa men kan också ha sitt ursprung i den regionala framväxten av gruvor i bergslagen. Kvoten sjunker efter hand till som lägst 1,21 och koncentrationen stiger till 151  $\mu\text{g/g}$  vid cirka 20 cm. Denna låga kvot och höga koncentration avbryts mellan 20 och 6 cm sedimentdjup av en



**Figur 7.** De översta 20 centimeterna av sedimentet från Lien.



**Figur 8.** Blykoncentration och blyisotopkvot i Liens sediment.



**Figur 9.** Antalet flygaskpartiklar i Liens sediment angett som antal per gram torrs substans.

period där värdena återgår till bakgrunds nivåer. Detta speglar förhållandena i det minerogena lager som uppträder i sedimentet. Orsaken till att detta lager har uppkommit i sjön kan vara att anrikningsverket vid Källfallets järngruva, som låg vid Liens norra strand, har deponerat slamvatten i sjön (Geijer 1923). Anrikningsverket togs i drift 1908 och verksamheten utvidgades 1915. Därefter var det i drift fram till gruvans nedläggning 1967 (Bark 1974). Den högsta koncentrationen och lägsta isotopkvoten vid 4 cm sammanfaller väl med analysen av flygaska och dateringen av 1970-talet. I de översta nivåerna är blyisotopkvoten stabil på lite drygt 1,2 medan blykoncentrationen minskar och är i ytan 97 µg/g ts. Denna nedgång som främst har sin orsak i minskad användning av bly i bensin är typisk för svenska sjöar.

### Flygaska

Flygaskpartiklarna ligger på en låg nivå från 30 cm sedimentdjup upp till 8 cm (Fig. 9). Här sker starten på en ökning av mängden flygaska och vid 3 cm sedimentdjup når den sitt maxvärde på 14 400 partiklar/g ts. Därefter sker mot ytan av sedimentet en nedgång till strax under 3000 partiklar/g ts. Den uppgång som sker vid 8 cm sedimentdjup motsvarar den ökade förbränningen av fossila bränslen kring 1950 medan toppen vid 3 cm motsvarar 1970-talet. Nedgången i de översta nivåerna i sedimentet visar på förbättrade reningsmetoder inom industrin och följer det generella mönstret i Sverige. De partiklar som förekommer mellan 30 och 8 cm sedimentdjup är med stor sannolikhet svarta mineralpartiklar som lätt förväxlas med flygaska. Under nästan hela denna period består sedimentet av det laminerade minerogena lagret vilket ger en större osäkerhet i bestämmandet av flygaskpartiklar.

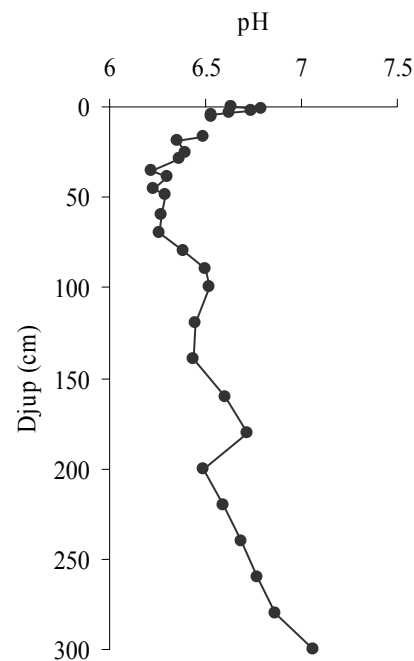
### Kiselalger

I början av sjöns utveckling finns en klar dominans i kiselalgsfloran av två arter inom det planktiska släktet *Cyclotella*, *C. kuetzingiana* agg. samt *C. glomerata* (Bilaga 2). Allteftersom sjön påverkas av vegetationsutveckling och markprocesser i avrinningsområdet ändras sammansättningen av kiselalgerna. *C. glomerata* försvinner vid 240 cm sedimentdjup medan artgruppen *C. kuetzingiana* agg.

efter en fördubbling i förekomst vid 200 cm minskar i jämn takt upp till 17 cm. Under ungefär samma period sker även en ökning i förekomst av några arter som gynnas av surare förhållanden såsom *Peronia fibula*, *Eunotia incisa*, *E. curvata*, *E. naegeli* och *E. vanheurckii* var. *intermedia*. Vid 100 cm ökar förekomsten av den planktiska arten *Aulacoseira [distans/subarctica]*. Alla dessa förändringar tyder på ett naturligt försurningslopp i sjön. I nivåerna ovanför det minerogena lagret kan vi se att vissa stora förändringar skett i artsammansättningen. *A. [distans/subarctica]* har ökat kraftigt och utgör som mest 90 % av kiselalgerna. Arten visar dock på en stor variation i de översta nivåerna där även värden runt 20 % förekommer. *C. kuetzinginana* agg. har ett pikvärde på närmare 50 % vid 4 cm sedimentdjup innan artgruppen återgår till samma nivå som före det minerogena lagret. I de översta centimetrarna börjar även *Cyclotella comta* förekomma för första gången i sjöns historia.

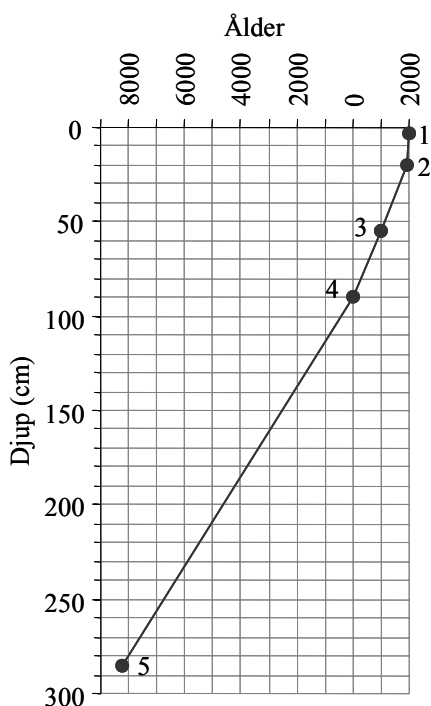
Kiselalgsanalys är inte gjord på nivåerna från 17 till och med 6 cm sedimentdjup då förekomsten av minerogent material leder till dålig bevarandegrad av kiselalgsskalen i sedimentet på dessa nivåer. I provet vid 17 cm har av samma anledning endast 200 skal räknats istället för >300 som i de övriga nivåerna.

Rekonstruktionen av pH i Lien visar på ett högt värde (7,1) vid sjöns tillkomst för ca 9 000 år sedan (Fig. 10). pH sjunker upp till 70 cm (ca 700 e.Kr.) med 0,9 pH-enheter för att sedan ligga stabilt upp till det minerogena lagret. Under nedgången i pH förekommer relativt stora variationer men den generella trenden är ett naturligt försurningsförlopp som kan kopplas till markens åldrande. Vid 5 cm sedimentdjup är pH-värdet på ungefär samma nivå som strax före det minerogena lagret. Detta värde stiger sedan något från 6,5 till 6,8 vid 1 cm sedimentdjup. Denna ökning av pH-värdet beror förmodligen på kalkningen av sjön. Vi kan här inte identifiera någon försurning men en faktor som försvårar tolkningen är det minerogena lagret i sedimentet. Enligt flygskanalyserna återfinns 70-talet vid 3 cm sedimentdjup. Detta innebär att pH-värdet i rekonstruktionen ligger kring 6,5 redan före de första kalkningarna som inleddes i början av 80-talet.



**Figur 10.** Rekonstruerat pH i Liens sediment.





**Figur 11.** Förhållandet mellan djup och ålder i Liens sediment utifrån de indirekta dateringsmetoder som redovisas i texten. 1) flygaska 2) minerogent lager 3 & 4) bly 5) sjön bildas.

## Pollen

Vid Liens bildande dominerades trädammansättningen i området kring sjön av tall och björk (Bilaga 3). Dessa fortsätter sedan att vara de dominerande trädslagen under hela sjöns historia. Vid 285 cm sedimentdjup invandrar al i sjöns närhet och den utgör sedan en liten men konstant del av de skogsbildande arterna i området. Vid 90 cm börjar gran förekomma i större utsträckning och även den utgör sedan en relativt konstant del av skogens trädslag fram till nutid. I de översta 35 cm av sedimentet förekommer pollen från odlade växter och mängden pollen från jordbruksgynnade växter ökar något tillsammans med gräs och ljung.

Invandringen av al i området skedde för 8 500 år sedan (Gillberg 1980) och den första förekomsten av gran sammanfaller med toppen för luftföroreningar från romarrikets tid, dvs. för 2 000 år sedan. Förekomsten av pollen från odlade växter och uppgången i jordbruksgynnade växter, gräs och ljung i de översta 35 cm tyder på att odling och jordbruksverksamhet i sjöns avrinningsområde har öppnat upp landskapet. Med utgångspunkt från den sedimentationstillväxt som ges av de tidigare presenterade indirekta dateringarna i Liens sediment så motsvarar detta 1400-talet (Fig. 11). Det finns också bekräftat att åtminstone sedan 1400-talet har det funnits människor som bedrivit bergsbruk i området kring sjön (Bark 1974).

## SAMMANFATTAD HISTORIK

När isen drog sig tillbaka från det landområde där Lien ligger idag så följde havet efter och under en tid låg området under havsytan. När sedan havet drog sig tillbaka, för ungefär 10 000 år sedan (omräknat från  $^{14}\text{C}$ -år utifrån Björck 1995), så bildades sjön Lien. I sedimentet från Lien kan man se en övergång från isavlagrat material till havssediment vid 327 cm sedimentdjup. 15 cm högre upp urskiljs den tydliga övergången från minerogen havslera till sjösediment.

Kiselasamhället i sjön förändras allteftersom sjön och dess omgivning åldras. Successivt byts surhets känsliga arter ut mot arter som föredrar ett lägre pH. Utvecklingen av pH i sjön följer det mönster som

återfinns även i andra undersökta sjöar (Renberg et al. 1993). Det höga värdet i de lägsta sedimentnivåerna övergår i ett långsamt sjunkande pH till följd av markens åldrande. Under denna tidiga utvecklingen av sjön kan vi även se en inverkan av luftföroreningar från romarriket och medeltidens gruvverksamhet genom en förändring i isotopsammansättning och koncentration av bly. Mellan 17 och 6 cm är kiselalgerna så eroderade på grund av det minerogena lagret att de inte går att identifiera och därför har ingen rekonstruktion av pH kunnat genomföras på dessa nivåer.

I omgivningarna kring Lien finns det många tydliga spår av bergsbruk. I direkt anslutning till sjön finns Källfallets malmfält och i utloppet av sjön finns resterna av Lienshyttan som nämns redan i uppbördslängderna från 1540 (Bark 1974). I Skinnskattebergs socken finns det enligt fornminnesregistret 190 lokaler som har en anknytning till bergsbruk, såsom gruvor, hyttor och hamrar (Skyllberg 1997). Lien är också dämmd och har varit det sedan åtminstone början på 1800-talet (Bark 1974). Människor har alltså varit aktiva i området och påverkat sjön sedan medeltiden och detta speglas också i pollendiagrammet från Lien. Här ser vi förekomst av pollen från kulturgynnade och odlade växter från sen medeltid och framåt. Någon märkbar effekt på pH-värdet i sjön har dock inte denna aktivitet gett upphov till.

Det minerogena lagret som påträffas i sjöns sediment mellan 6,5 och 20 cm sedimentdjup kan vara orsakat av att slamvatten har pumpats ut i sjön från ett anrikningsverk som låg placerat vid sjöns norra strand från 1908 fram till 1967. Denna verksamhet orsakade troligen också det låga siktdjup (0,3-0,4 m) som uppmättes i sjön 1949 (Persson och Wilander 2002). Anrikningsverket låg i anslutning till Källfallets gruva där man från slutet av 1800-talet bröt järnmalm.

Under 70-talet är föroreningsbelastningen från förbränning av fossila bränslen som störst på sjön, vilket visar sig i mängden flygaska. Från 70-talet och fram till idag minskar mängden föroreningar till följd av ökat miljötänkande och förbättrad reningsteknik,

vilket leder till sjunkande blykoncentration och minskat antal flygaskpartiklar.

I de översta 5 cm av sedimentet är pH högt och en kalkningsrespons är märkbar från 3 till 1 cm sedimentdjup. Den förändring som syns i kiselalgs-sammansättningen i de översta 5 cm av sedimentet kan kopplas dels till en effekt av att anrikningsverket vid sjöns norra strand inte längre påverkar sjön lika mycket som tidigare och dels till kalkningen. Kalkningen leder till att *Aulacoseira [distans/subarctica]* får en högre förekomst än tidigare under 1900-talet och *Cyclotella comta* börjar förekomma i synbar mängd, vilket den inte gjort tidigare under sjöns historia.

Utifrån de analyser som genomförts här kan man konstatera att Lien har påverkats påtagligt av den lokala gruvnäringen. Detta innebär att Lien inte är en typisk svensk sjö och därför bör man vara försiktig med hur den används som referenssjö.

## TRYSSJÖN

Tryssjön (670275-146052) ligger i Dalarnas län, 344 m över havet. Sjöns area är 0,302 km<sup>2</sup>, vattenvolymen är 2,18 Mm<sup>3</sup> och omsättningstiden är ett halvår. Den djupaste delen av sjön är 19,6 m och medeldjupet är 7,2 m. Tillrinningsområdet är 12,87 km<sup>2</sup> stort och består till 70 % av barr och blandskog. Resterande del består främst av myrmark och hygge.

Tryssjön har kalkats kontinuerligt mellan 1981 och 1998 med hjälp av kalkbrunn och doserare i vattendrag uppströms sjön. Före kalkningen startades var det lägsta uppmätta pH-värdet 4,2. Medelvärde för pH i sjön mellan 1989 och 2002 är 6,2 och lägsta och högsta värde under samma period är 5,5 respektive 7. Sedan kalkningarna i sjön upphörde 1998 har årsmedelvärdet för pH långsamt sjunkit från 6,3 till 6,1. Medelvärde för totalt organiskt kol (TOC) är 11,7 mg/l vilket klassas som måttligt hög halt och medelvärde för alkaliniteten är 76 µekv/l vilket mot-

svarar svag buffertkapacitet i Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2000).

## RESULTAT

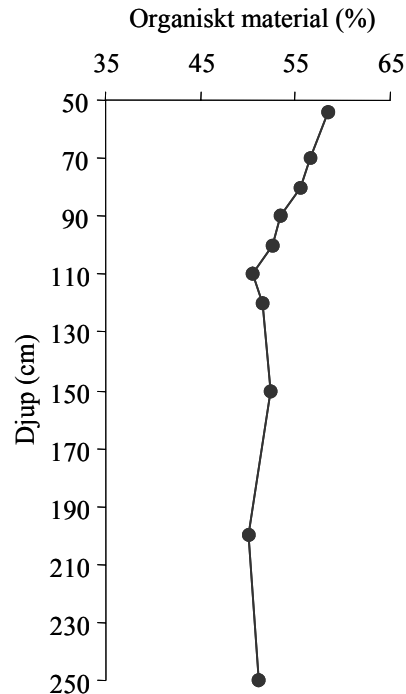
### Sediment och provtagning

Provtagningen av Tryssjön ägde rum i februari 2002 och då togs en hel sedimentlagerföljd med den ryska provtagaren (3,25 m) och två frysproppar från den övre delen av sedimentet. Provtagningen skedde på 18,5 m djup i ackumulationsbotten. I den nedersta delen av proppen övergår sedimentet från organiskt sjösediment till minerogent material, vilket visar att sjöns hela historia är representerad i sedimentproppen.

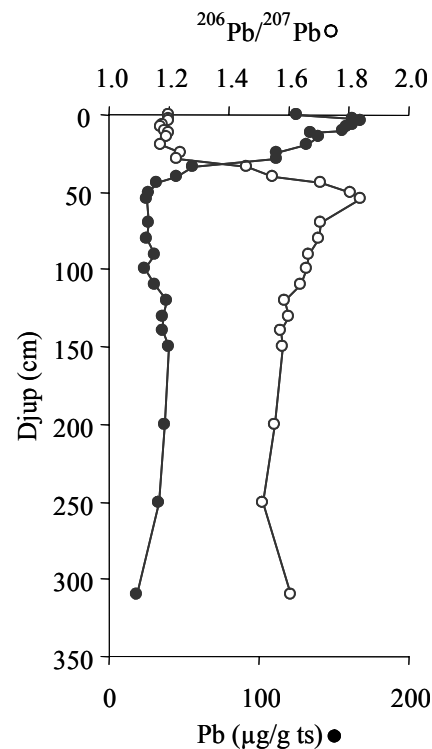
En översiktlig glödförlustanalys gjordes i Tryssjön mellan 250 och 50 cm sedimentdjup (Fig. 12). Denna visar att mängden organiskt material i sedimentet ligger stabilt strax över 50 % upp till 110 cm. Därefter ökar mängden organiskt material successivt upp till drygt 58 % vid 54 cm. Denna ökning beror troligen på ändrade hydrologiska förhållanden i avrinningsområdet.

### Bly

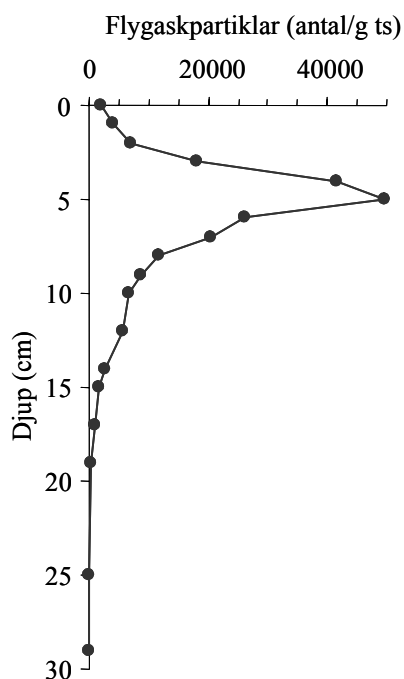
Blyisotopkvoten ( $Pb^{206}/Pb^{207}$ ) i Tryssjön är i medel 1,6 från 320 till 120 cm sedimentdjup (Fig. 13), vilket är en normal bakgrundskvot i svenska sjöar (Brännvall 2000, Renberg et al. 2001). En ökning av kvoten sker från 110 cm till 54 cm sedimentdjup och därefter sjunker den drastiskt från 1,84 till 1,18 vid 19 cm. I de översta 20 centimetrarna av sedimentet ligger den sedan stabilt kring 1,19. Blykoncentrationen har från 320 cm upp till 110 cm sedimentdjup ett genomsnitt på 36  $\mu\text{g/g}$  ts (Fig. 13). En svag förändring kan sedan noteras där koncentrationen sjunker något och mellan 100 och 50 cm är medelkoncentrationen 26  $\mu\text{g/g}$  ts. Vid jämförelse med den normala bakgrundskoncentrationen i Sverige (2-17  $\mu\text{g/g}$  ts, Brännvall et al. 2001) kan man konstatera att bakgrundskoncentrationen i Tryssjön är förhållandevis hög. Mellan 44 och 4 cm ökar koncentrationen upp till 167  $\mu\text{g/g}$  ts för att sedan sjunka i de översta centimetrarna.



**Figur 12.** Halten organiskt material (% glödförlust) i Tryssjöns sediment.



**Figur 13.** Blykoncentration och blyisotopkvot i Tryssjöns sediment.



**Figur 14.** Antalet flygaskpartiklar i Tryssjöns sediment angett som antal per gram torrsubstans.

Eftersom bakgrundskoncentrationen inte förändras nämnvärt genom de nedre delarna av sedimentet kan man anta att den relativt höga koncentrationen motsvarar naturliga förhållanden i sjöns avrinningsområde. Koncentrationen i bakgrundssediment med så hög organisk halt brukar ligga under 10  $\mu\text{g/g}$  ts och här ligger den över 30  $\mu\text{g/g}$  ts. Blyet kommer från tillrinningsområdet och jorden måste således vara relativt blyhaltig. Den höga isotopkvoten vittnar om att det inte handlar om läckage från någon blymineralisering eftersom kvoten då borde vara låg, såsom den är till exempel i malmen i Falun (1,03). Den höga naturliga blyhalten i Tryssjöns sediment gör att extratillskottet av luftburet bly från romartiden inte syns i sedimentet.

Sänkning i koncentrationen och ökningen av isotopkvoten som sker från 110 cm sedimentdjup beror troligen av ändrade hydrologiska förhållanden i sjöns avrinningsområde. Detta sker på samma djup i sedimentet som starten på ökningen av halten organiskt material i sedimentet (Fig. 12). Ursprunget till dessa förändrade förhållanden kan ligga i både mänsklig aktivitet och naturliga förändringar. En diskussion kring detta återkommer i avsnittet Sammanfattad historik för Tryssjön. Den ökning i blykoncentrationen och sänkning av isotopkvoten som sker från 50 cm sedimentdjup beror på påverkan genom långväga luftföroreningar från medeltidens gruvverksamhet i Europa och påverkan från bergsbruket i regionen. Därmed kan 50 cm indirekt dateras till cirka 1000 e.Kr. Den högsta koncentrationen bly som förekommer i sedimentet vid 4 cm sammanfaller väl med flygaskanalysens datering av 1970-talet. Eftersom analyserna av flygaska har en högre upplösning i analyserade nivåer än blyanalyserna dateras 1970-talet i första hand utifrån antalet flygaskpartiklar i sedimentet.

### Flygaska

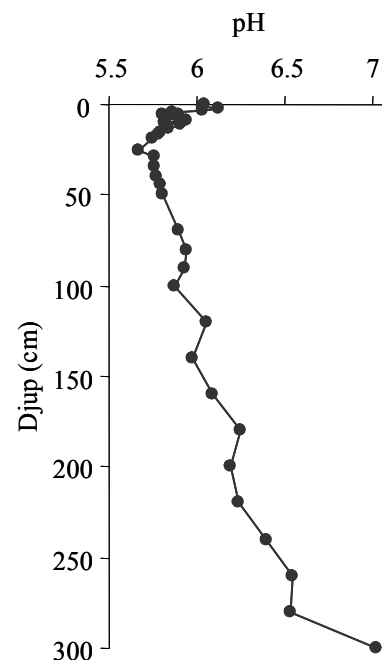
Flygaska börjar förekomma vid 17 cm sedimentdjup och stiger sedan upp till 5 cm sedimentdjup och når som högst nästan 50 000 partiklar/g ts (Fig. 14). Därefter sjunker mängden flygaska och vid ytan är antalet partiklar på samma nivå som vid 14-15 cm sedimentdjup. Med hjälp av dessa resultat kan vi indirekt datera två nivåer i sedimentet. Den första

dateringsnivån är starten på förekomsten av flygaska vid 17 cm som motsvarar mitten av 1800-talet och början på industrialismen. Den andra dateringen är toppen vid 5 cm som motsvarar 1970-talet och den högsta påverkan på sjön och dess avrinningsområde från förbränning av fossila bränslen. Det därefter sjunkande antalet flygaskpartiklar i sedimentet är ett resultat av ökat miljötänkande och förbättrade reningsmetoder inom industrin under den sista delen av 1900-talet. I ytan av sedimentet motsvarar föroreningsbelastningen mätt som mängden flygaska den som återfinns vid slutet av 1800-talet.

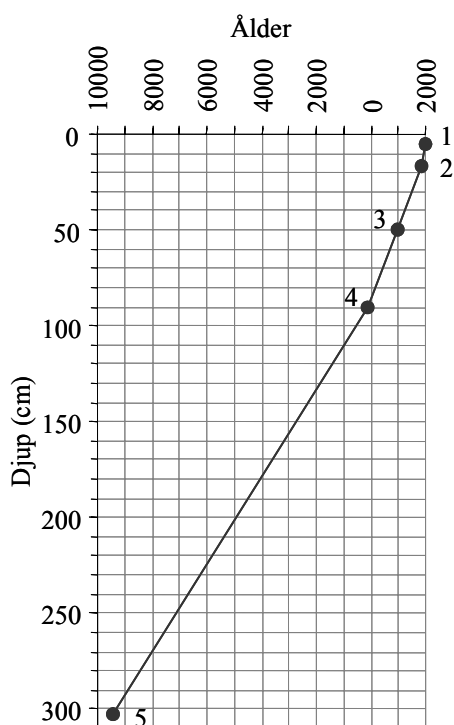
### Kiselalger

Artsammansättningen i de nedersta nivåerna i Trys-sjöns sediment domineras i första hand av den planktoniska artgruppen *Cyclotella kuetzingiana* agg (Bilaga 4). Även *Aulacoseira italica* var. *valida* förekommer i relativt stor mängd i den nedersta analyserade nivån men den minskar snabbt högre upp i sedimentet och förekommer sedan mer sporadiskt. Artgruppen *C. kuetzingiana* agg. sjunker sakta i förekomst för att försvinna vid 160 cm sedimentdjup. Från 230 cm börjar *Aulacoseira distans* var. *tenella* dyka upp. Denna art, som ofta sammankopplas med humösare vatten, förekommer sedan genom hela sedimentproppen men uppvisar stora variationer. Även *A. [distans/subarctica]* är vanlig men uppvisar stora fluktuationer genom proppen. Mellan 80 och 50 cm sedimentdjup börjar *A. distans* var. *nivalis*, *Brachysira styriaca* och *Fragilaria constricta* förekomma. Alla dessa förändringar i artsammansättningen tyder på ett sjösystem som åldras på naturligt sätt genom utlakning av baskatjoner och bildandet av sura podsoljordar i avrinningsområdet. I de översta centimetrarna av sedimentet sker vissa förändringar i kiselalgssamhället som tyder på en påverkan från kalkningsverksamheten. *C. kuetzingiana* agg. återkommer och *A. [distans/subarctica]* ökar i förekomst efter att under en period varit ovanlig.

Det högsta pH-värdet under sjöns historia (7,0) återfinns längst ned i sedimentproppen (Fig. 15). Därefter sjunker pH sakta under största delen av sjöns utveckling upp till 25 cm sedimentdjup och värdet 5,7. Denna sänkning sker i mycket långsam



Figur 15. Rekonstruerat pH i Trys-sjöns sediment.



**Figur 16.** Förhållandet mellan djup och ålder i Tryssjöns sediment utifrån de indirekta dateringsmetoder som redovisas i texten. 1 & 2) flygaska 3) bly 4) invandring av gran 5) sjön bildas.

takt och kan förklaras av naturliga processer i sjöns avrinningsområde, vilka leder till en naturlig försurning. En svagt ökande trend i pH-värdet syns därefter upp till 5,9 vid 4 cm sedimentdjup. Detta är troligen en inverkan från den jordbruksverksamhet som förekommer vid sjön från medeltiden och framåt (se pollenanalysen). I de översta centimetrarna ökar pH ytterligare till som mest 6,1, som en följd av kalkningsverksamheten.

### Pollen

I de nedersta nivåerna av Tryssjöns sediment, vilket motsvarar cirka 11 500 år sedan (omräknat från  $^{14}\text{C}$  år utifrån Fredén 1994), dominerar pollensammansättningen av tall och björk (Bilaga 5). Dessa fortsätter också att vara de dominerande trädslagen under hela sjöns utveckling. Vid 300 cm sedimentdjup börjar al förekomma i sjöns omgivning och 210 cm högre upp i sedimentet invandrar även granen. Dessa två nivåer dateras till 8 500 och 2 100 år sedan utifrån den sedan tidigare kända invandringshistoriken av al och gran (Gillberg 1980, Emanuelsson 1997). Granen utgör från denna tidpunkt och fram till idag en stor del av de skogbildande trädslagen i Tryssjöns omgivning. Från 40 cm sedimentdjup förekommer pollen från odlade växter och mängden gräs ökar något som en indikation på att ett tidigt jordbruk etablerats i sjöns avrinningsområde. På den dateringskurva som erhålls genom de indirekta dateringsmetoder som presenteras i den här rapporten motsvarar 40 cm och starten på agrar verksamhet 1300-talet (Fig. 16).

### SAMMANFATTAD HISTORIK

Tryssjön bildades när isen drog sig tillbaka från området för ungefär  $11\,400 \pm 100$  år sedan (Fredén 1994). Den sedimentprofil som är tagen från sjön täcker hela denna tidspersiod. Från början var pH i sjön relativt högt (7) för att sedan långsamt sjunka till följd av markprocesser och naturlig försurning. Artsammansättningen förändrades successivt och anpassades till de ändrade förhållandena i sjön.

För cirka 2 500 år sedan (110 cm sedimentdjup) förändrades förhållandena i Tryssjön. Halten organiskt material i sedimentet ökade tillsammans med blyisotopkvoten och en svagt sänkning av

blykoncentrationen kan identifieras. Orsaken till denna förändring är svårförklarad utifrån den information som finns tillgänglig idag. I Gagnefs socken har det funnits människor som brukat både berg och mark sedan åtminstone 1300-talet. I socknen har det funnits många områden med fåbodar och en av dessa har legat vid Tryssjöns norra ände (Forsslund 1926-1928). Denna fåbod har funnits vid sjön sedan åtminstone 1600-talet (Lindén 1974). Pollenanalysen indikerar att människans brukande av jorden i Tryssjöns avrinningsområde pågått ända sedan 1300-talet. Det finns också indikationer på att sjöar i närheten av Tryssjön använts till myrmalms-hantering (Forsslund 1926-1928). Däremot finns det inga större inmutningar för malmbrytning eller gruv-verksamhet i sjöns närområde (Bergsstaten, 2004). Det mesta av den aktivitet som pågått i näheten av sjön stammar från medeltiden och framåt. Den förändring som syns vid 110 cm sedimentdjup sker alltså långt före människan började prägla området. Här kan man säga att det med största sannolikhet är en naturlig förändring men det är svårt att närmare uttala sig om orsaken till denna.

Tryssjön är alltså påverkad lokalt av mänsklig aktivitet sedan medeltiden. Från medeltiden och framåt finns även en påverkan genom luftburet föroreningsbly från Europas gruvdrift. Dessutom finns förstås också en mera regional påverkan från den växande gruvnäringen i Bergslagen. Inflytandet av föroreningar från energiframställning syns tydligast i analysen av flygaska där partiklarna börjar förekomma i mitten av 1800-talet och mängden flygaska ökar till maximala värden kring 1970-talet. Under den senaste tiden av sjöns historia påverkas den även av kalkningsverksamheten som pågått sedan början av 1980-talet. Detta leder till att pH i sjön höjs något och att vissa arter av kiselalger som under en längre tid förekommit i mycket låg frekvens ökar i förekomst. I den pH-rekonstruktion som gjorts går det inte att se någon försurning till följd av moderna luftföroreningar i sjön.

Ca två kilometer sydost om Tryssjön ligger Stora Älgsjön och ytterligare 2-3 km i ungefär samma riktning ligger Dammsjön och Dragsjön. Dessa sjöar ligger i Gyllbergens nationalpark och ingår i en



paleolimnologisk undersökning som gjordes 1998 (Renberg och Ek 1998). Dessa sjöar är liksom Tryssjön humösa och artsammansättningen av kiselalger under de senaste 400 åren liknar till viss del den i Tryssjön före kalkningen. Liksom Tryssjön visar dessa sjöar inga tecken på modern försurning. Detta indikerar att Tryssjön inte ligger i ett område som påverkats så mycket av moderna luftföroreningar att en försurning av sjöarna ägt rum.

## VÄSTRA SKÄLSJÖN

Västra Skälsjön (664620-148590) ligger i Västmanlands län, 233 m över havet. Sjöns area uppgår till 0,4 km<sup>2</sup> och den har en vattenvolym på 2,8 Mm<sup>3</sup> och en omsättningstid på 4,9 år. Sjöns djupaste del är 19,2 m och medeldjupet är 6,8 m. Avrinningsområdet som är 1,5 km<sup>2</sup> stort består förutom av sjön själv av i princip enbart barr- och blandskog.

Västra Skälsjön har kalkats vid fem tillfällen. Vid de två första tillfällena, 1975 och 1976, användes relativt små mängder kalk. 1977 kalkades tillflöden till sjön och 1981 samt 1986 kalkades sjön direkt. Det lägsta uppmätta pH-värdet före kalkning är 4,5. Medelvärdet för pH under perioden 1989 till 2002 är 6,7. Det lägsta pH som uppmätts under samma period är 5,8 och det högsta är 7,4. Medelvärdet för TOC i sjön under samma period är 3,5 mg/l, det vill säga mycket låg halt. Medelvärdet för alkaliniteten är 120 µekv/l, vilket motsvarar god buffertkapacitet (Naturvårdsverket 2000).

## RESULTAT

### Sediment och provtagning

Provtagningen av Västra Skälsjön genomfördes i februari 2002 och på grund av kraftigt snöfall och därefter ofarbara vägar kunde endast två frysproppar tas. Dessa omfattar de översta 40 cm av sedimentet. Proverna togs i ackumulationsbotten på 18,5 m djup.

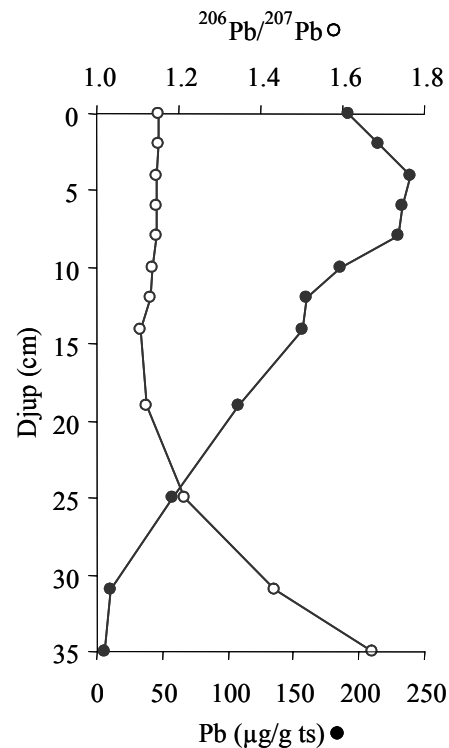
## Bly

I den nedersta analyserade nivån i V. Skälsjöns sediment återfinns förhållanden som liknar bakgrundsförhållanden vad gäller koncentrationen bly och blyisotopsammansättning. Koncentrationen är låg (6 µg/g ts) och isotopkvoten är hög (1,67) (Fig. 17). Kvoten sjunker från 35 cm sedimentdjup till ett lägsta värde på 1,11 vid 14 cm för att sedan från 10 cm ligga konstant kring 1,15 upp till sedimentytan och nutid. Samtidigt som kvoten sjunker ökar koncentrationen bly upp till 240 µg/g ts vid 4 cm sedimentdjup. En svag återgång i koncentrationen sker i de översta 4 cm av sedimentet och i ytan är värdet strax under 200 µg/g ts.

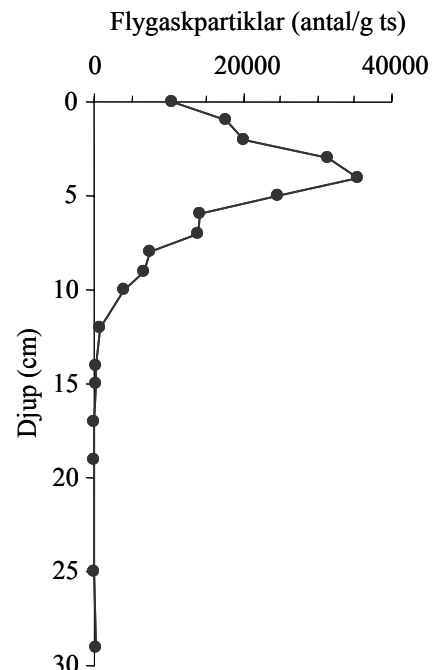
Eftersom proppen från V. Skälsjön är kort är det svårt att uttala sig om blykoncentrationen och isotopkvoten i de nedersta nivåerna motsvarar helt naturliga nivåer. Vi kan dock konstatera att vi här är före industriell tid och att värdena motsvarar bakgrundsförhållanden om man jämför med normala svenska bakgrundsvärden (Brännvall et al. 2001). Den nedgång i isotopkvoten och ökningen av koncentrationen som sker vid 30 cm sedimentdjup torde i tid motsvara medeltiden. En markant sänkning av isotopkvoten är en typisk effekt som resultat av ökat föroreningsnedfall i samband med expanderande metallhantering (jämför exempelvis Lien). V. Skälsjön ligger i bergslagsområdet som sedan tidigare har en lång historik vad gäller gruvverksamhet (Bark 1974, Ek 2000). I sjöns direkta omgivning finns dock ingen indikation på att det bedrivits någon verksamhet som anknyter till gruvdriften såsom gruvor, hyttor och hammare (Skjällberg 1997). Det maximala värdet för blykoncentrationen vid 4 cm sammanfaller väl med toppen i flygaska (1970-talet) och motsvarar den högsta föroreningsbelastningen som sjön utsatts för.

## Flygaska

Antalet flygaskpartiklar i sedimentet börjar förekomma i större utsträckning vid 10 cm sedimentdjup (Fig. 18). Från denna nivå ökar antalet partiklar upp till 4 cm sedimentdjup och drygt 35 000 partiklar/g ts. I de översta 4 cm minskar värdet och i ytprovet ligger antalet partiklar på lite drygt 10 000/g ts. Utvecklingen av antalet flygaskpartiklar i



Figur 17. Blykoncentration och blyisotopkvot i V. Skälsjöns sediment.

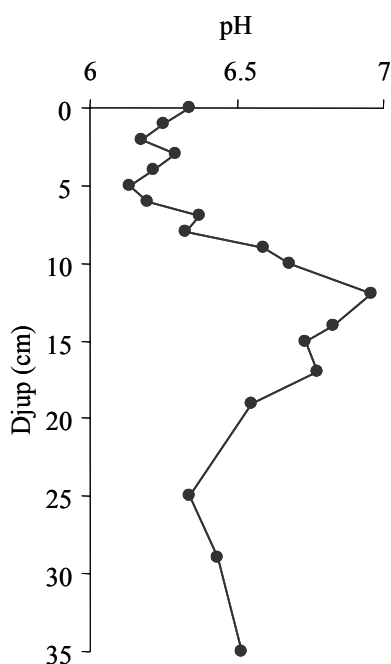


Figur 18. Antalet flygaskpartiklar i V. Skälsjöns sediment angett som antal per gram torrsubstans.

sedimentet följer den historiska utvecklingen av industrialismen. Vid 10 cm återfinns vi mitten av 1800-talet och industrialismens början. Under större delen av den industriella perioden ökar sedan föroreningsbelastningen och vid 4 cm och 1970-talet når denna utveckling sin kulmen. Förbättrade reningsmetoder under den sista delen av 1900-talet leder till att mängden flygaska minskar i de översta nivåerna av sedimentet.

### Kiselalger

I de nedersta nivåerna av sedimentproppen i V. Skälsjön domineras kiselagssammansättningen av *Aulacoseira [distans/subarctica]* (Bilaga 6). Vid 25 cm sedimentdjup börjar denna art att minska i förekomst och från 12 cm upp till sedimentytan förekommer den endast i liten utsträckning. Från 25 till 9 cm är *Cyclotella glomerata* en av de vanligaste arterna och därefter ligger den på en konstant låg nivå upp till sedimentytan. Denna planktiska art är starkt kopplad till höga pH-värden. Ett flertal förändringar i artsammansättningen sker från 10 cm och uppåt mot ytan av sedimentet. En svag ökning av *Aulacoseira lirata*, *Frustulia rhomboides* var. *saxonica* och *Eunotia naegelii* vid 9 cm följs av en ökning även hos *E. rhomboidea*, *E. tenella* och *Achnanthes marginulata*.



Figur 19. Rekonstruerat pH i V. Skälsjöns sediment.

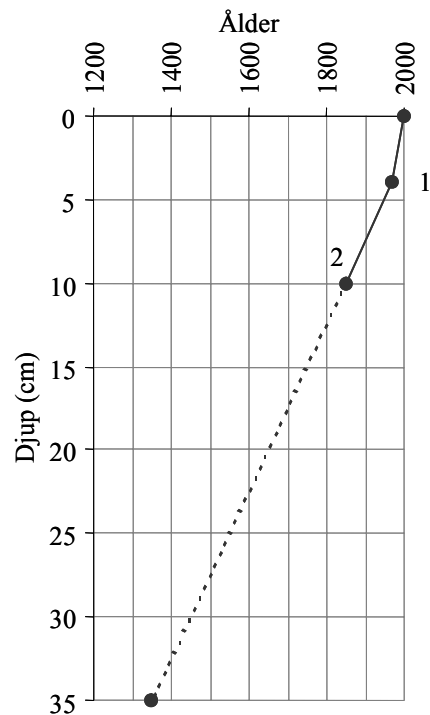
pH-värdet i de nedersta nivåerna i V. Skälsjön ligger i genomsnitt på 6,4 (Fig. 19). En period med högre pH förekommer mellan 25 och 5 cm sedimentdjup där pH är mellan 0,3 och 0,6 pH-enheter högre än i de nedersta nivåerna. I medeltal ligger pH-värdena från 7 cm och upp till ytan på 6,2, dvs på ett något lägre pH än i botten av proppen. Det går också att identifiera en svagt uppåtgående trend i pH i de översta 4 cm av sedimentet. Då vi endast har en 35 cm lång sedimentprofil från V. Skälsjön är det svårt att avgöra om pH-värdet i de nedersta nivåerna motsvarar ett naturligt tillstånd eller ej. Däremot kan vi utifrån bly och flygaskanalyserna anta att vi i botten av proppen är före industriell tid och större påverkan från luftföroreningar. Den pH-ökning som infinner sig mellan 25 och 5 cm beror av förändringar i förekomsten av en art, *C. glomerata*. Orsaken till denna uppgång är troligen att området kring sjön använts av människan. En diskussion kring detta

återkommer i avsnittet sammanfattad historik för V. Skälsjön. Den skillnad i pH som finns mellan de nedersta nivåerna och kring 5 cm sedimentdjup indikerar att en försurning kan ha skett i sjön och den svagt uppåtgående trenden från 4 cm tyder på en kalkningsrespons. Dessa skillnaden och förändringar ligger dock inom felmarginalen för rekonstruktionsmodellen och kan endast betraktas som trender.

### SAMMANFATTAD HISTORIK

I Västra Skälsjön har vi endast en kort sedimentpropp, ca 35 cm. För att få en uppskattning om hur långt tillbaka i tiden sedimentproppen sträcker sig kan vi anta samma sedimentationshastighet i den nedre delen av proppen som mellan 4 cm (70-talet) och 10 cm (mitten av 1800-talet). I detta fall skulle 35 cm representera mitten av 1300-talet. Detta är endast en beräkning som inte är verifierad med någon datering, men antagandet ger en uppskattning om vilken tidsperiod det provtagna sedimentet omfattar (Fig. 20). På grund av att proppen representerar en relativt kort del av sjöns historia så kan vi inte ge någon bild av vad som har hänt i sjön under dess tidiga utveckling. Redan i botten av denna propp har vi en tydlig påverkan från långväga luftföroreningar där blyisotopkvoten sjunker till följd av inverkan från medeltidens gruvverksamhet både i Europa och regionalt.

Den period av högre pH som syns i sjön mellan 20 och 8 cm sedimentdjup orsakas troligen av att människan brukade landskapet. Från medeltiden och framåt har bergsbruk varit vanligt förekommande inom Skinnskattebergs socken (Geijer 1923, Bark 1974). Även om det inte finns några lämningar idag kring sjön i form av gruvor, hyttor eller hamnar (Skyllberg 1997) så ledde bergsbruket till att torp och gårdar etablerades i det kringliggande landskapet och att skogen användes bland annat till att tillverka träkol. Inte långt från V. Skälsjön finns resterna av en mila som kallas Kutters mila (Fornminnesregistret, 2004) vilket tyder på att skogen i området använts till att kola trä. Vid sjöns norra del ligger idag en gård som återfinns även på häradskartor från början av 1900-talet (Lantmäteriet, 2004). Om gården funnits längre tillbaks i tiden är svårt att fastställa inom denna undersöknings ramar.



**Figur 20.** Förhållandet mellan djup och ålder i V. Skälsjöns sediment utifrån de indirekta dateringsmetoder som redovisas i texten. 1 & 2) flygaska. Den streckade linjen visar på uppskattad ålder.

Bland de arter av kiselalger som förekommer i toppen av sedimentet finns vissa arter som inte förekommit i sjön under de senaste 700 åren (exempelvis *Eunotia tenella* och *E. rhomboidea*). Dessa är framför allt förknippade med ett lägre pH-värde och utifrån pH-rekonstruktionen kan en svag försurning detekteras kring 5 cm sedimentdjup. I de översta centimetrarna sker ingen större förändring i artsammansättningen av kiselalger i sjön. Trenden i pH-utvecklingen pekar dock på att en svag effekt finns till följd av kalkningen av sjön.

## STORA HÄRSJÖN

Stora Härsjön (640364–129240) ligger i Västra Götalands län, 89 m över havet. Sjöns totala area är 2,8 km<sup>2</sup>, vattenvolymen är 40,3 Mm<sup>3</sup> och omsättningstiden är 3,2 år. Sjöns djupaste del är 47 m djup och medeldjupet är 15,2 m. Avrinningsområdet är 25 km<sup>2</sup> och består till drygt 60 % av barr och blandskog. Resterande yta upptas främst av myrmark och till drygt 20 % av vatten.

St. Härsjön har kalkats omväxlande i sjön och i uppströms liggande sjöar sedan 1977. Mellan åren 1989 och 1997 har kalkning skett varje år förutom 1991 och 1996. Före kalkningen uppmättes ett lägsta pH på 4,3. Medelvärde för pH under perioden 1989 till 2002 är 7,1. Det högsta noterade pH-värdet under perioden är 7,6 och vid två tillfällen har det understigit 6, i augusti 1989 (5,6) och i september 1999 (5,8). Mängden totalt organiskt kol (TOC) har ett medelvärde på 5,0 mg/l för perioden, det vill säga halten är låg. Medelvärde för alkaliniteten ligger på 235 µekv/l vilket klassas som mycket god buffertkapacitet (Naturvårdsverket 2000).

## RESULTAT

### Sediment och provtagning

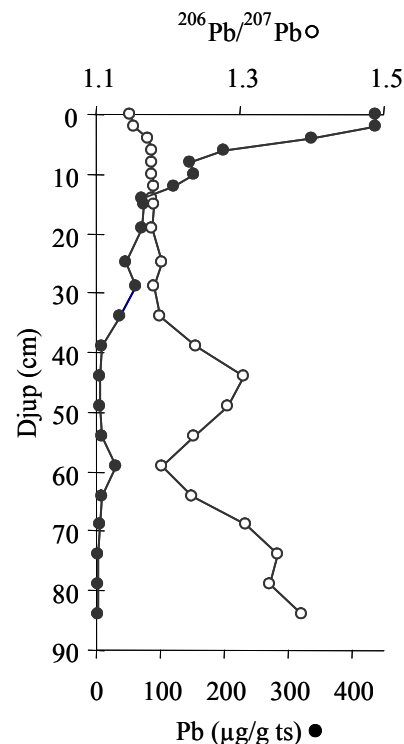
St. Härsjön provtogs i mars 2003 på ett djup av 32 m. Tre stycken frysproppar togs varav en längre (ca 85

cm lång). På grund av vattendjupet så togs ingen sedimentpropp med den ryska provtagaren.

### Bly

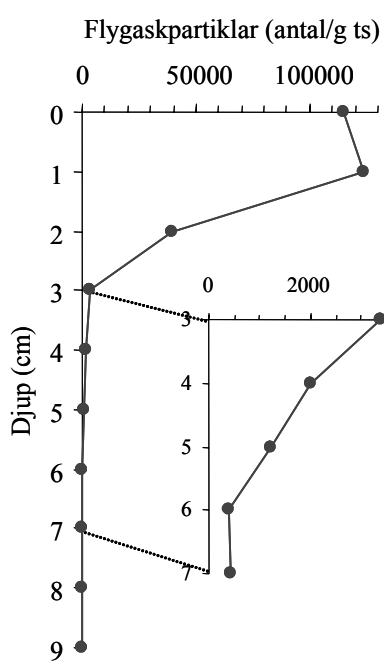
Blykoncentrationen i de nedersta nivåerna i sedimentproppen från St. Härsjön är låg, kring 3 µg/g ts (Fig. 21). En svag topp på 30 µg/g ts förekommer vid 60 cm sedimentdjup men sedan är koncentrationen bly fortsatt låg ända upp till 35 cm sedimentdjup. En ökning av koncentrationen påbörjas här och fortsätter ända upp till ytan av sedimentet, endast avbruten av en stabilisering av värdet kring 70 µg/g ts mellan 25 och 12 cm. Vid 2 cm återfinns den högsta koncentrationen av bly (440 µg/g ts) i sjöns historia. Blyisotopkvoten i botten av proppen är 1,39 (Fig. 21). Vid 60 cm noteras en dipp på 1,19 och även vid 39 cm sker en nedgång i kvoten. Mellan nivåerna 34 och 6 cm sedimentdjup är kvoten stabil kring 1,18 och i de översta 4 cm sjunker den något till 1,15.

I de nedersta proverna motsvarar blykoncentrationen normala bakgrundsvärden för en svensk sjö. Även blyisotopkvoten ligger i den nedersta analyserade nivån inom vad som anses vara en normal bakgrundskvot i svenska sjöar men kvoten når inte stabil (hög) bakgrundsnivå (Brännvall et al. 2001). Hela sedimentproppen kan antas omfatta 3 200 år (se avsnittet Sammanfattad historik för St. Härsjön). I andra sydsvenska sjöar har det tidigare visats att de första spåren av luftföroreningsbly kan dateras till 3000-4000 år sedan (Brännvall 2001). Förändringarna i blykoncentration och isotopkvot följer varandra mycket väl och det går att koppla dessa förändringar till den tidigare kartlagda föroreningsbelastningen av bly (Brännvall et al. 2001). Vid 60 cm sedimentdjup sjunker kvoten och ökar koncentrationen till följd av luftföroreningar från romarriket. När inverkan från romartiden försvinner ser vi en återgång mot tidigare nivåer i både kvot och koncentration. De förändringar som sker vid 40 cm beror på den expansion av gruvindustrin i Europa som skedde under medeltiden. Vid jämförelse med flygskanalen kan man konstatera att ökningen av bly vid 12 cm sedimentdjup inte sammanfaller med den första förekomsten av flygaska. Man kan därför anta att 12 cm sedimentdjup är före industriell tid och



**Figur 21.** Blykoncentration och blyisotopkvot i St. Härsjöns sediment.

den påverkan som förekommer beror på tidigt föroreningsnedfall från till exempel de brittiska öarna (Brimblecombe 1988). Den fortsatta ökningen av blykoncentrationen mellan 6 och 2 cm sedimentdjup beror på moderna utsläpp av bly bland annat via bly i bensin. Toppen i koncentrationen vid 2 cm representerar den högsta föroreningsbelastningen under sjöns historia och motsvarar 1970-talet. Här sjunker också isotopkvoten ytterligare. Vi kan inte se någon återgång i varken koncentration eller isotopkvot i de översta cm av sedimentet.



**Figur 22.** Antalet flygaskpartiklar i St. Härsjöns sediment angett som antal per gram torrsubstans.

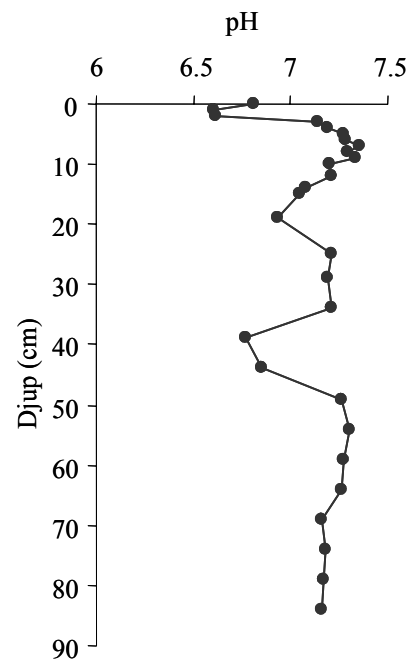
### Flygaska

Flygaskpartiklar börjar förekomma i St. Härsjön vid 7 cm sedimentdjup (Fig. 22). Mellan 6 och 3 cm ökar antalet partiklar från 400 till 3400 partiklar/g ts för att sedan öka mycket kraftigt till ett max-värde strax över 123 000 partiklar/g ts vid 1 cm. I ytprovet sjunker värdet något till knappt 115 000 partiklar/g ts. Den första förekomsten av flygaska indikerar att denna nivå i sedimentet (7 cm) motsvarar början på industrialiseringen (1800-talet). Den industriella utvecklingen accelereras under efterkrigstiden vilket visar sig genom en uppgång i antalet flygaskpartiklar i sedimentet vid 2 cm. Maxvärdet vid 1 cm kan dateras till 1970-talet och den efterföljande nedgången visar på en effekt av förbättrad reningsteknik inom industrin och minskad användning av olja. Skillnaden mellan toppen i blykoncentration (2 cm) och toppen i antalet flygaskpartiklar/g ts (1 cm) är säkert en följd av olika upplösning i analyserade nivåer och inte en reell skillnad. Även om antalet flygaskpartiklar i sedimentet minskar i det översta provet så motsvarar det fortfarande en mycket hög föroreningsbelastning. Det antal partiklar som förekommer i sedimentet i de översta cm är mycket högt och återfinns endast i ett fåtal sjöar som, liksom St. Härsjön, ligger längs den svenska västkusten (exempelvis Örvattnet och Härsvattnet, Ek och Korsman 2001). Orsaken till detta är att västkusten utsats för den högsta föroreningsbelastningen i Sverige (Wik och Renberg 1991, 1996). Det höga värdet kan även till viss del vara ett resultat av den mycket låga sedimentationshastigheten i sjön.

### Kiselalger

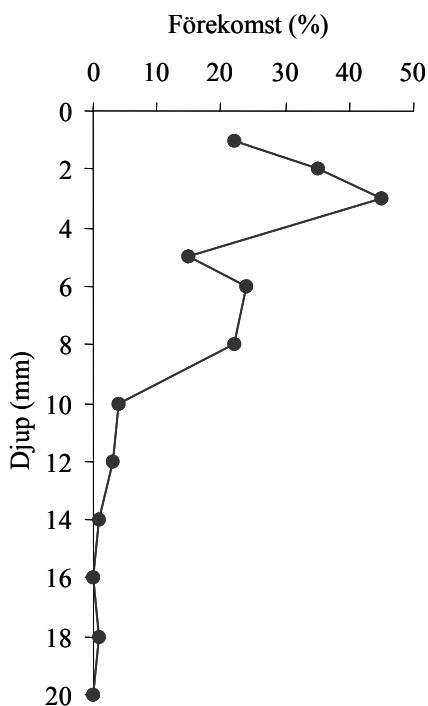
I botten av proppen från St. Härsjön dominerar *Cyclotella kuetzingiana* agg. och *C. glomerata* kiselalgssamhället (Bilaga 7). Dessa två arter (artgrupper) fortsätter sedan att dominera kiselalg-floran under hela den undersökta perioden av sjöns historia. Tillsammans ligger de upp till 4 cm sedimentdjup stabilt mellan 80 och 90 % av alla räknade kiselalgsskal. Båda dessa arter, framför allt *C. glomerata*, är försurningskänsliga och förekommer inte i försurade vatten. Mellan 49 och 34 cm sedimentdjup sker en tydlig förskjutning i förhållandet mellan dessa två. *C. glomerata* sjunker under 10 % medan *C. kuetzingiana* agg. ökar i motsvarande utsträckning. Detta sker under en begränsad tidsperiod och från 34 cm och uppåt återgår de till att utgöra i genomsnitt 40 % vardera av kiselalgssamhället även om en hel del fluktuationer sker. I de översta 3 cm av sedimentet sjunker den procentuella andelen av både *C. kuetzingiana* agg. och *C. glomerata* och i ytan utgör de tillsammans mindre än 40 % av kiselalgssamhället. Samtida med denna minskning av förekomsten inom släktet *Cyclotella* börjar arten *Asterionella ralfsii* var. *americana* förekomma i stora mängder och i de översta två centimetrarna utgör den närmare 40 % av kiselalgssamhället.

Under den största delen av den här kartlagda perioden i sjöns historia ligger pH-värdet högt, mellan 7,2 och 7,3 (Fig. 23). Mellan 49 och 34 cm samt vid 20 cm är värdet mellan 0,3 och 0,4 enheter lägre. Vid 3 cm sedimentdjup sker den största förändringen av pH under den tid som sedimentproppen omfattar. Värdet sjunker med 0,5 enheter till pH 6,6. I det översta analyserade provet sker en svag återgång till pH 6,8. Under hela den undersökta perioden, förutom i de översta centimetrarna, är det i första hand utvecklingen hos arten *Cyclotella glomerata* som styr rekonstruktionen av pH. Den sänkning av pH som sker vid 3 cm sedimentdjup sammanfaller med ökad föroreningsbelastning (se resultaten från analysen av bly och flygaska) och motsvarar en sur period i sjöns historia till följd av surt nedfall. Eftersom de försurningskänsliga *C. glomerata* och *C. kuetzingiana* agg. fortfarande är vanliga, även om de minskat i förekomst, så kan vi

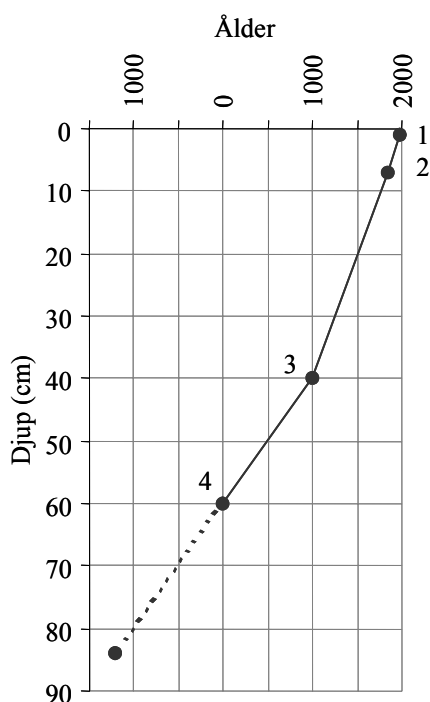


**Figur 23.** Rekonstruerat pH i St. Härsjöns sediment.





**Figur 24.** Förekomsten av *Asterionella ralfsii* var. *americana* i St. Härsjöns sediment angett som procent av totala antalet räknade kiselalgsstal.



**Figur 25.** Förhållandet mellan djup och ålder i S. Härsjöns sediment utifrån de indirekta dateringsmetoder som redovisas i texten. Den streckade linjen visar på uppskattade ålder. 1 & 2) flygaska 3 & 4) bly.

här dock inte tala om en reell modern försurningsfas. Uppgången i pH i sedimentets översta centimeter är ett resultat av kalkningarna.

I St. Härsjön har en kompletterande högupplöst analys av artsammansättningen gjorts i de översta 2 cm av sedimentet (Fig. 24). Här har 1 mm prover tagits ut och endast 100 skal per nivå räknats. Detta för att se om det går att urskilja en tydligare försurningsutveckling och kalkningsrespons. Dessa analyser visar att *A. ralfsii* var. *americana* ökar från låg förekomst vid 10 mm till att utgöra nästan 50 % av antalet räknade kiselalgsstal vid 3 mm. Därefter sjunker arten i förekomst till 20 % vid 1 mm sedimentdjup. Denna kompletterande analys visar att det i de översta 3 mm av sedimentet går att urskilja en kalkningsrespons där förekomsten av den surhetsgynnade arten *A. ralfsii* var. *americana* minskar. Den skillnad som finns mellan djupangivelserna i denna högupplösta och den ursprungliga analysen beror främst på att proverna är tagna ur olika delar av frysproppen. Framför allt i ytan av sedimentet kan denna typ av skillnader förekomma då ytan inte utgör en skarp gräns mot vattenmassan. Detta är heller inget större problem då man vanligtvis inte tar millimeterprover av sedimentet och i det här fallet används denna analys endast som ett komplement och en indikation på en förändring.

#### SAMMANFATTAD HISTORIK

Sedimentproppen från St. Härsjön omfattar inte hela sjöns historia. Den tidigaste indirekta dateringen av sedimentet består av en förändring av blykoncentrationen och blyisotopkvoten vid 60 cm sedimentdjup, vilket motsvarar år 0. Genom att anta samma sedimentationshastighet längre ned i sedimentet som vid 60 cm kan hela proppen uppskattas till att omfatta 3 200 år (Fig. 25).

Sedimentationshastigheten i St. Härsjön är mycket låg. I genomsnitt har den varit 0,3 mm/år sedan år 0 och fram till idag. Detta kan jämföras med en normal svensk skogssjö där sedimentationen i medel ligger kring 0,5 mm/år. Även i de översta centimetrarna av sedimentet där kompaktionen inte är lika stor som längre ned är sedimentationshastigheten 0,3 mm/år.

Detta tyder på att mängden material som avsatts som sediment är lägre under den senaste delen av 1900-talet än tidigare. Denna låga sedimentationshastighet leder till att snabba förändringar såsom försurning och kalkning inte syns lika tydligt i sedimentet.

pH-rekonstruktionen visar att sjön har haft ett högt pH (över 7) genom hela den undersökta perioden med undantag för en period strax före medeltiden samt under den andra hälften av 1900-talet. På västkusten har det funnits människor från det att isen drog sig tillbaka och det finns bland annat rikligt med stenåldersbosättningar kring sjön Mjörn som ligger norr om St. Härsjön. Det finns däremot idag inga arkeologiska belegg som pekar på att det under den tidigare delen av sjöns här undersökta historia skulle funnits många människor i sjöns avrinningsområde. Detta utesluter inte att en påverkan från tidig mänsklig aktivitet kan ha förekommit.

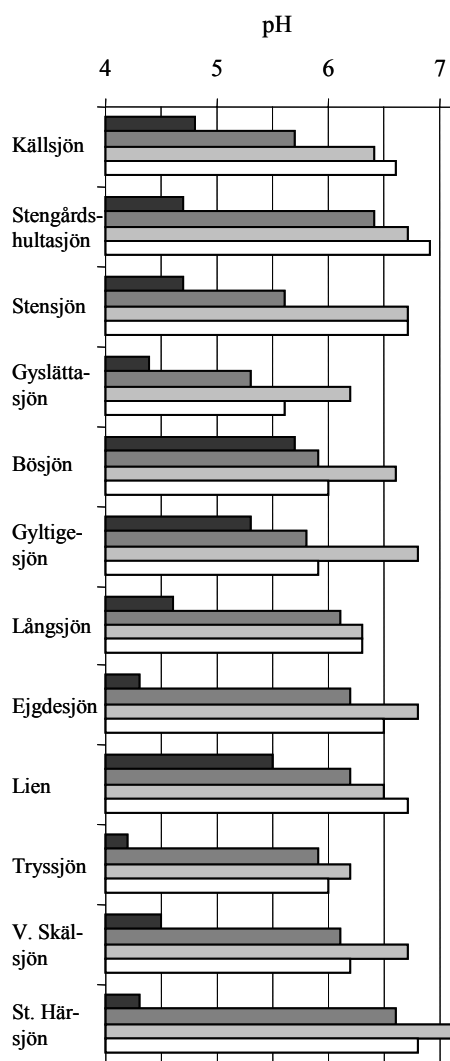
Den tidiga blyföroreningshistorien i St. Härsjön följer samma mönster som återfinns i många andra svenska sjöar. I studien som Brännvall et al. (2001) genomförde ingår ett flertal västkustsjöar, bland annat Lilla Öresjön som ligger ca 2 mil söder om St. Härsjön. De flesta av dessa sjöar visar samma föroreningsutveckling som St. Härsjön, med påverkan från långväga luftföroreningar från både romarriket och medeltiden. Även under den sentida utvecklingen under 1900-talet visar dessa sjöar samma mönster som i St. Härsjön. Koncentrationen bly ligger högt och isotopkvoten under 1,2. I jämförelse med dessa sjöar kan man se att kvoten ligger något lägre i St. Härsjön och även att koncentrationen bly är högre. Av de undersökta IKEU-sjöarna finns det ingen annan som har lika hög koncentration av bly i de översta centimetrarna av sedimentet och endast i Stensjön förekommer flygaspartiklarna i lika stort antal som i St. Härsjön. En viss effekt av den låga sedimentationshastigheten i sjön finns här men även efter man tagit detta i beaktande så är St. Härsjön den av IKEU-sjöarna som har störst påverkan av långväga luftföroreningar under modern tid. Denna påverkan syns även i utvecklingen av pH i sjön där värdet sjunker till följd av surt nedfall. Det sker ett skifte i artsammansättningen av kiselalger under denna period. De försurningskänsliga *Cyclotella*

*kuetzingiana* agg. och *C. glomerata* minskar i förekomst och istället domineras artsammansättningen av *Asterionella ralfsii* var. *americana* som trivs vid ett lägre pH. *Asterionella* var även en dominerande art i planktonprover tagna i sjön vid en undersökning som genomfördes 1976, året innan kalkningarna startade (Appelberg et al. 1990). Även om en tydlig påverkan på pH-värdet finns så måste man här påpeka att både *C. kuetzingiana* agg. och *C. glomerata* fortsätter att förekomma i sjön och utgör tillsammans närmare 40 % av de räknade kiselagsskalen. Dessa två artgrupper/arter förekommer inte i försurade vatten och man kan därför inte tala om att St. Härsjön är allvarligt försurad. Det pH-värde som erhålls i rekonstruktionen strax före 1970-talet är dock det lägsta pH-värdet som rekonstruerats under den här undersökta tusenåriga perioden av sjöns historia. Ett liknande mönster där sjön har en period av lägre pH under senare delen av 1900-talet men fortsatt förekomst av försurningskänsliga arter inom släktet *Cyclotella* finns även i den tidigare undersökta IKEU-sjön, Stengårdshultasjön (Gählman et al. 2000). Den låga sedimentationshastigheten ger låg tidsupplösning och svårigheter att tydligt urskilja förändringar till följd av kalkningen. En tendens till högre pH finns i den översta analyserade nivån även om denna ökning ligger inom felmarginalerna för rekonstruktionsmodellen. I den högupplösta analysen av kiselalger kan man konstatera att arten *A. ralfsii* var. *americana* minskar i förekomst i de översta millimetrarna av sedimentet vilket tyder på en återhämtning av artsammansättningen till följd av kalkningen.

## DISKUSSION

De fem sjöar som ingår i den här rapporten representerar två geografiska delar av Sverige. Den första gruppen (Ejgdesjön och St. Härsjön) ligger på västkusten som haft och har en hög föroreningsbelastning genom långväga luftföroreningar. Här finns också en mycket lång historik av mänsklig aktivitet. Det finns rikligt med fynd som dateras ända tillbaka till stenåldern. Den andra gruppen av sjöar

(Lien, Tryssjön och V. Skälsjön) ligger i Bergslagsområdet där bergsbruket varit omfattande under främst de senaste 1000 åren. Från den tiden och framåt finns här alltså en stor lokal mänsklig påverkan både genom bergsbruket och jordbruket. Historiken kring försurning och kalkning ser olika ut i dessa sjöar. I St. Härsjön kan vi se en försurningsperiod och i V. Skälsjön en tendens till försurning under modern tid. I de övriga tre sjöarna går det inte att utläsa någon period av modern försurning. De rekonstruktionsmodeller som används är begränsade till att endast detektera längre perioder av förändrat pH-värde. En surstöt går inte att upptäcka vilket kan vara orsaken till att vi inte ser någon försurning i varken Lien, Tryssjön eller Ejgdesjön. Dessa tre sjöar är enligt kiselalgsanalysen inte, och har inte varit, basflödesförsurade. En respons i pH-värdet när sjöarna börjar kalkas går att identifiera i alla fem sjöarna. I Lien ger kalkningen upphov till en etablering av vissa kiselalgsarter som inte tidigare förekommit i sjön. I Lien ökar även vissa arter i förekomst vid kalkningen, till att utgöra en större del av kiselalgsamhället än tidigare under sjöns historia. Detta sker också i Ejgdesjön. Däremot i Tryssjön och St. Härsjön sker en återgång mot tidigare förhållanden i vissa arters förekomst och i V. Skälsjön sker ingen större förändring i sammansättningen av arter. Både sjöarnas förutsättningar och responserna på den moderna föroreningsituationen och kalkningen ger en unik situation i varje sjö. Detta är viktigt att ta i beaktande då man hanterar frågor som gäller kalkning. Man måste vara medveten om vad man vill åstadkomma och återskapa med kalkningen. Det är också viktigt att man med säkerhet kan säga att sjön är försurad eller inte. I denna rapport visas på flera sätt hur viktigt det är att vara medveten om vilka faktorer som påverkat en sjö under dess utveckling. Till exempel har Lien haft en mycket stor påverkan från den gruvverksamhet som pågått i sjöns närhet. På samma sätt som jordbruk påverkar en sjö både när det etableras och när det försvinner från avrinningsområdet påverkas sjön då industri eller gruvverksamhet upprättas eller läggs ned i närheten. De konsekvenser som en industrinläggning leder till i en sjö kan vara nog så viktiga som det sura nedfallet.



**Figur 26.** Översikt över rekonstruerade och uppmätta pH-värden i de 12 IKEU-sjöar som undersökts med paleolimnologiska metoder. ■ = Lägsta uppmätta pH före kalkning, ■ = Lägsta rekonstruerade pH-värde under 1900-talet, ■ = Medelvärde för uppmätta pH-värden från 1989 till 1999-2002, □ = Medelvärde av rekonstruerat pH under kalkningsperioden.

I flera av IKEU-sjöarna finns en skillnad mellan det uppmätta och det rekonstruerade pH-värdet (Fig. 26). Det finns flera orsaker till att en sådan skillnad uppstår. De största skillnaderna mellan ett uppmätt och ett rekonstruerat pH-värde är att ett uppmätt värde är taget vid en specifik plats i sjön vid en viss tidpunkt medan ett rekonstruerat värde visar på hela sjöns medel-pH under den tidsperiod som provet omfattar. Detta innebär att det rekonstruerade värdet innefattar de naturliga variationer i pH som sker både över dygn, månader och år samt även de pH-skillnader som förekommer mellan olika delar av sjön. De rekonstruerade pH-värdena påverkas av alla de naturliga processer som pågår i sjön såsom omrörning av sedimentet genom vattnets rörelse (exempelvis strömmar och vågor) och bioturbation. I grundare delar av sjön sker resuspension av sedimentet och detta material omsedimenterar även i djupare delar av sjön. Dessa processer leder till att äldre material från sedimentet blandas in i de senast avlagrade materialet och kan ge en viss utslätning av signalen från större förändringar som skett under kort tid. Framför allt i sjöar som St. Här-sjön eller Ejgdesjön med mycket låg sedimentation måste man räkna med en något sämre signal på snabba förändringar. Men å andra sidan i sjöar som verkligen har en påtaglig försurning, såsom Lysevatten, ger sedimentarkivet en bra bild av tidsförloppet. Det visar den detaljjämförelse som Renberg och Hultberg (1992) gjorde mellan vattenkemi och rekonstruerade pH-värden från kiselalger i sediment. Med tanke på den låga sedimentationshastighet som konstaterats i några av de undersökta sjöarna skulle tunnare uttagna prover eventuellt ha klargjort bilden av försurningsförlopp och kalkning.

Det här är den sista i en serie av fem rapporter som behandlar de paleolimnologiska undersökningarna i IKEU-sjöarna. Dessa undersökningar har visat på skilda händelseförlopp vad gäller försurning och kalkning i de undersökta sjöarna. Med hjälp av det långsiktiga perspektiv som paleolimnologiska undersökningar kan erbjuda har försurningen och kalkningen kunnat placeras i ett historiskt perspektiv och utvärderats med kännedom om den tidiga utvecklingen i sjöarna.

**REFERENSER**

- Aaby, B., och G. Digerfeldt. 1986. Sampling techniques for lakes and bogs. Sid. 181-194 i B. E. Berglund, editor. Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. John Wiley & Sons Ltd.
- Appelberg, M., C. Ekström och E. Hörnström. 1990. Stora Härsjön - ett exempel på integrerad uppföljning av kalkningens effekter. Information från sötvattneslaboratoriet, Drottningholm 1:1-20.
- Bark, H. 1974. Ur Skinnskattebergsbygdens historia. Skinnskattebergs kommun, Skinnskatteberg.
- Bergsstaten, 2004. Luleå. Huvudkontor: Varvsgatan 41, 972 32 Luleå.
- Björck, S. 1995. A Review of the History of the Baltic Sea, 13.0-8.0 Ka BP. Quaternary International 27:19-40.
- Brimblecombe, P. 1988. The big smoke: A history of air pollution in London since medieval times. Routledge, London.
- Brännvall, M.-L. 2000. Atmospheric lead pollution history in Sweden from ancient times to the present: A paleolimnological study. Doktorsavhandling, Institutionen för ekologi och geovetenskap, Umeå universitet.
- Brännvall, M.-L., R. Bindler, O. Emteryd, och I. Renberg. 2001. Four thousand years of atmospheric lead pollution in northern Europe: a summary from Swedish lake sediments. Journal of Paleolimnology 25:421-435.
- Ek, A. 2000. Historical and modern lake acidification studied in lake sediments in Sweden, and the question of recovery after decreased acid deposition. Doktorsavhandling, Institutionen för ekologi och geovetenskap, Umeå universitet.
- Ek, A., I. Renberg, T. Korsman, och J.-E. Wallin. 2001. Paleolimnologiska undersökningar av kalkade referenssjöar. Del 3. Stensjön, Stockholms län och Gylättasjön, Kronobergs län. Institutionen för ekologi och geovetenskap, Umeå universitet, Umeå.

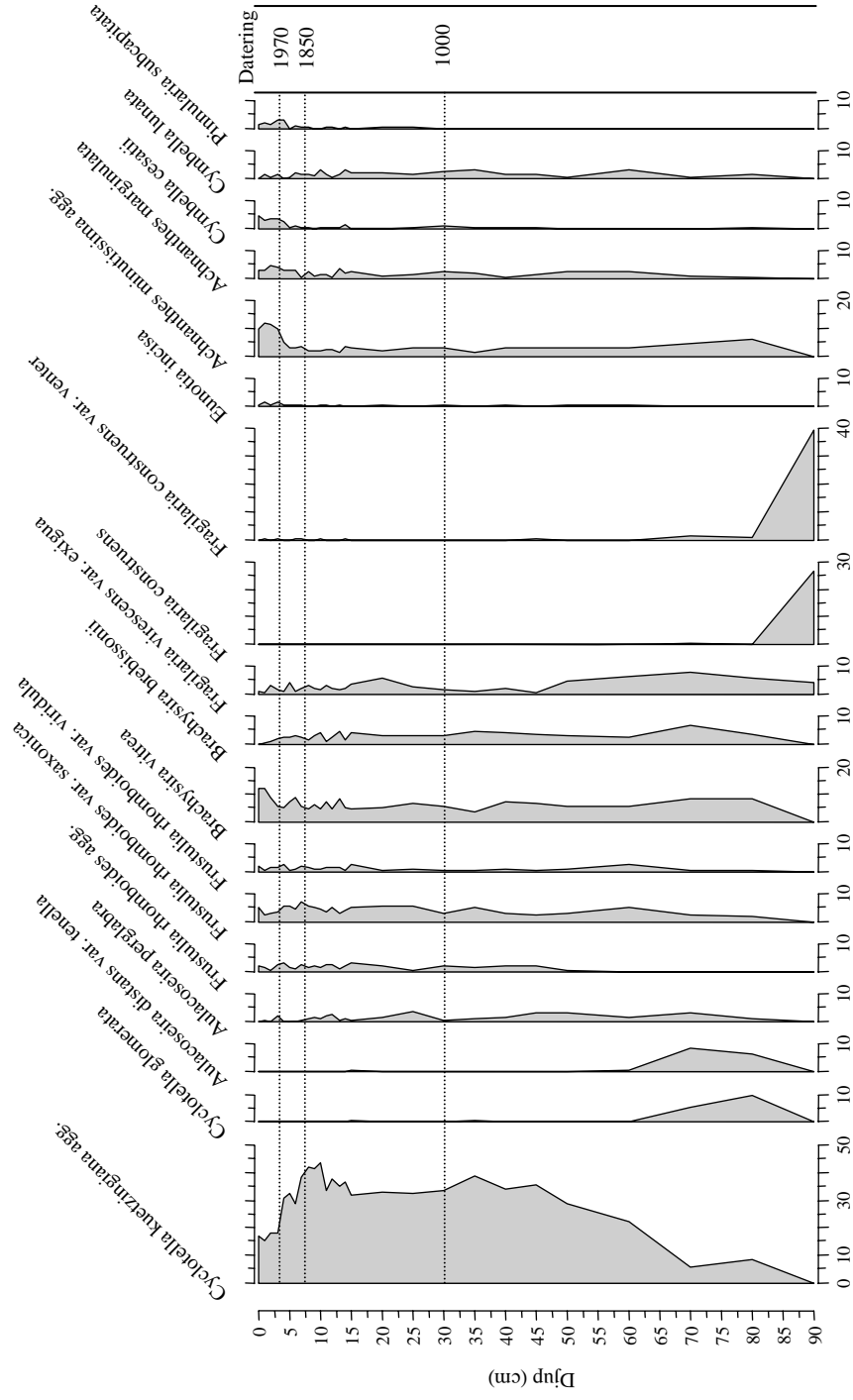
- Ek, A. S., och T. Korsman. 2001. A paleolimnological assessment of the effects of post-1970 reductions of sulfur deposition in Sweden. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58:1692-1700.
- Emanuelsson, M. 1997. Bosättning, agrarkris och fäbodväsende: vegetations- och markanvändningshistoria i Läde, Dalarna. Dalarnas forskningsråd, Falun.
- Fornminnesregistret. RAÄ-nr 164, Västmanland, Skinnskatteberg. Kutters mila. Ekonomiska kartan 11F9g SO.
- Forsslund, K.-E. 1926-1928. Med Dalälven från källorna till havet. Del 2, Väster Dalälven, Bok 6-10. Åhlén & Åkerlund, Stockholm.
- Fredén, C. 1994. Berg och jord. Bokförlaget Bra Böcker, Höganäs.
- Geijer, P. 1923. Beskrivningar över mineralfyndigheter. Nr 1, Riddarhytte malmfält i Skinnskattebergs socken, Västmanlands län. Victor Pettersons bokindustriaktiebolag, Stockholm.
- Gillberg, G. 1980. Nordens, främst Sveriges, kvartära historia 2. Societas Upsaliensis pro Geologia Quaternaria, Uppsala.
- Guhren, M., R. Bindler, T. Korsman, P. Rosén, J.-E. Wallin, och I. Renberg. 2003. Paleolimnologiska undersökningar av kalkade referenssjöar. Del 4. Bösjön (Dalarnas län), Gyltigsjön (Hallands län), Långsjön (Örebro län). Institutionen för ekologi och geovetenskap, Umeå universitet, Umeå.
- Gählman, V., I. Renberg, J.-E. Wallin, och S. McGowan. 2000. Paleolimnologiska undersökningar av kalkade referenssjöar. Del 2. Stengårdshultasjön, Jönköpings län. Institutionen för ekologi och geovetenskap, Umeå universitet, Umeå.
- Institutionen för miljöanalys, 2003. Titel på hemsidan: Institutionen för miljöanalys, SLU-Uppsala. URL: <https://www.ma.slu.se> (2003-11-01)
- Korsman, T., och H. J. B. Birks. 1996. Diatom-based water chemistry reconstructions from northern Sweden: a comparison of reconstruction techniques. *Journal of Paleolimnology* 15:65-77.

- Korsman, T., I. Renberg, och J.-E. Wallin. 2000. Paleolimnologiska undersökningar av kalkade referenssjöar. Del 1. Källsjön, Gävleborgs län. Institutionen för ekologi och geovetenskap, Umeå universitet, Umeå.
- Lantmäteriet, 2004. Titel på hemsidan: Lantmäteriet, Historiska kartor. URL: <http://gateway4.geoimager.com/histkart/hkindex.htm> (2004-03-15).
- Lindén, B. 1974. 1663-64 års inventering av fäbodrar och nybyggen, hyttor, hamrar, sågar, kvarnar, fiskerier m.m. inom Kopparbergs län : enligt i 1663 års jordebok intagna originalförteckningar. Carl Bloms boktryckeri A.-B., Lund.
- Naturvårdsverket. 2000. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, sjöar och vattendrag. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Persson, G., och A. Wilander. 2002. Allmän vattenkemi före och efter kalkning av sjöar inom Integrerad KalkningsEffektUppföljning. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Renberg, I., och H. Hultberg. 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 H. Hansson. 1993. A pump freezer-corer for recent sediments. *Limnology and Oceanography* 38:1317-1320.
- Renberg, I., och A. Ek. 1998. Försurat eller naturligt surt? - En undersökning av den historiska pH-utvecklingen i tre sjöar i Gyllbergen. Rapport 1998:7. Länsstyrelsens tryckeri, Falun.
- Renberg, I., T. Korsman, och N. J. Anderson. 1993. A temporal perspective of lake acidification in Sweden. *Ambio* 22:264-271.
- Renberg, I., R. Bindler, och M.-L. Brännvall. 2001. Using the historical atmospheric lead-deposition record as a chronological marker in sediment deposits in Europe. *Holocene* 11:511-516.
- Skyllberg, E. 1997. Skinnskattebergs bergslag : en sammanställning över de bergshistoriska lämningarna i Gunnilbo, Heds och Skinn-

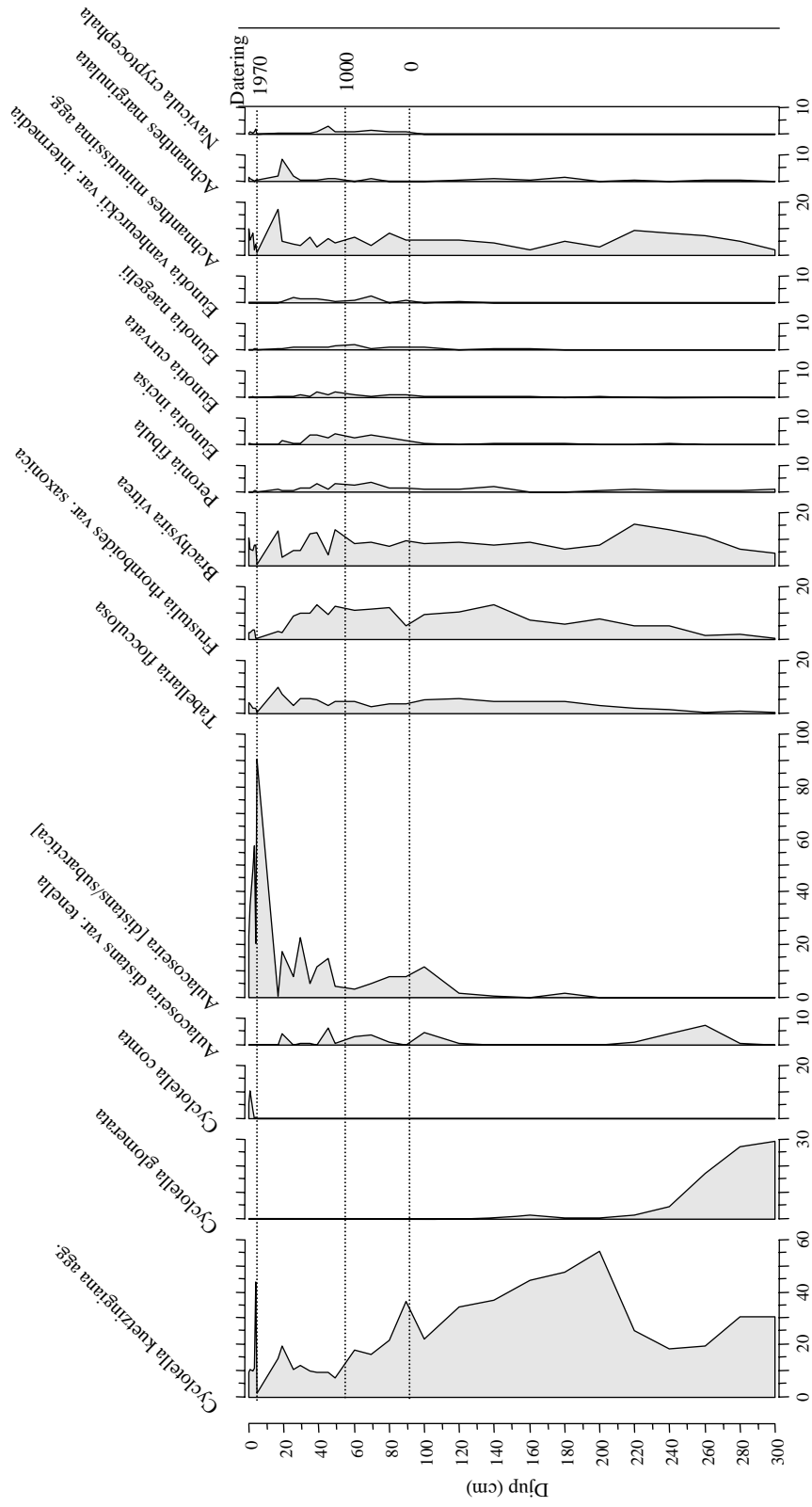


- skattebergs socknar. Jernkontoret : Riksantikvarieämbetet, Stockholm.
- Stevenson, A. C., S. Juggins, H. J. B. Birks, D. S. Anderson, N. J. Anderson, R. W. Battarbee, F. Berge, R. B. Davis, R. J. Flower, E. Y. Haworth, V. J. Jones, J. C. Kingston, A. M. Kreiser, J. m. Line, M. A. R. Munro, och I. Renberg. 1991. The Surface Waters Acidification Project Paleolimnology Programme: Modern Diatom/Lake-Water Chemistry Data-Set. ENSIS Publishing, London.
- Söderbäck, B. 1997. Biologisk mångfald i kalkade sjöar - utvärdering av IKEU-programmets sex första år. Rapport 4818, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Wik, M., och I. Renberg. 1991. Recent atmospheric deposition in Sweden of carbonaceous particles from fossil-fuel combustion surveyed using lake-sediments. *Ambio* 20:289-292.
- Wik, M., och I. Renberg. 1996. Environmental records of carbonaceous fly-ash particles from fossil-fuel combustion. *Journal of Paleolimnology* 15:193-206.

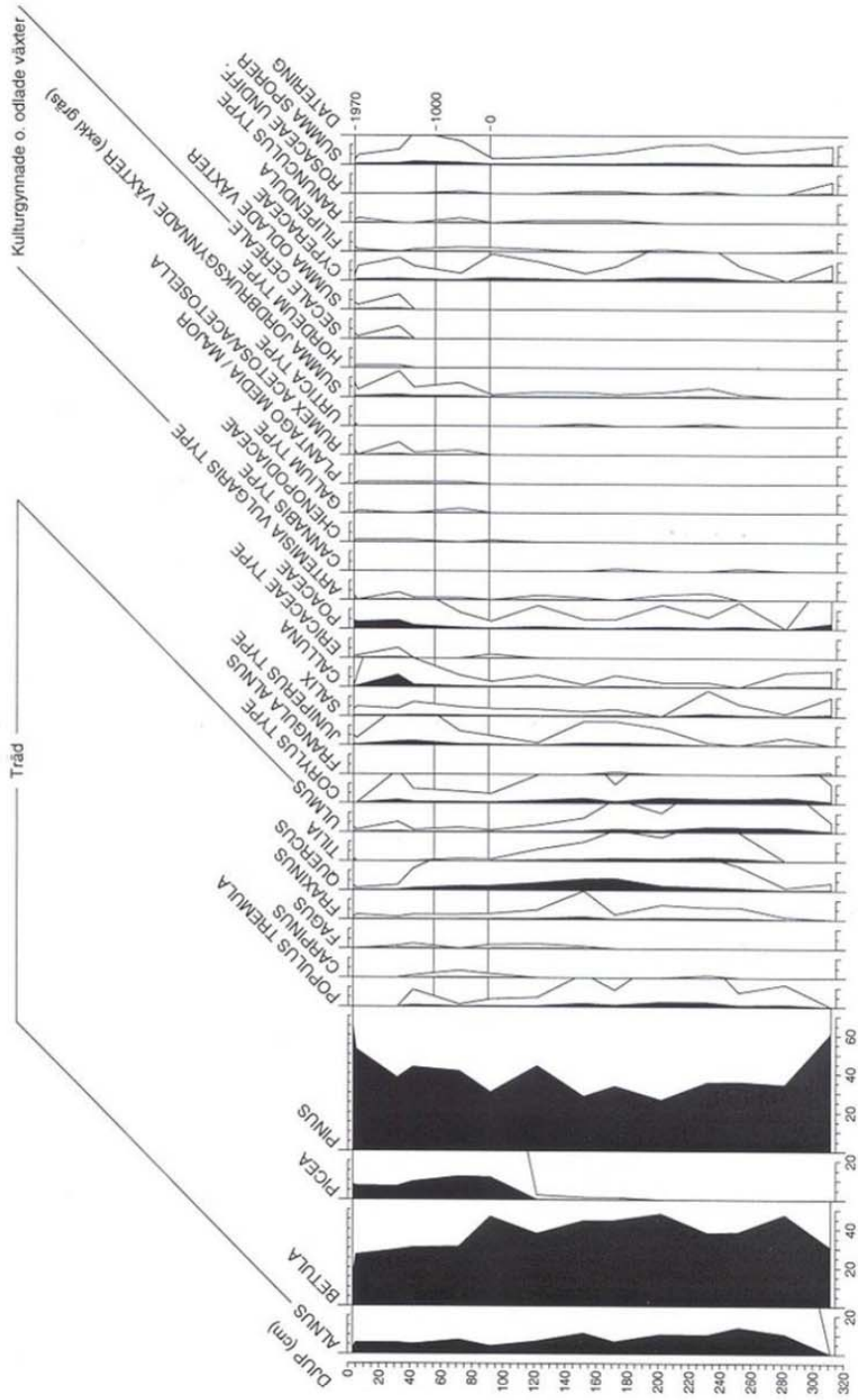
Bilaga 1. Ett urval av kiselalgerna som förekom i Ejdagesjöns sediment, anggett som % av totala antalet räknade kiselalgs skal.



Bilaga 2. Ett urval av kiselalger som förekom i Liens sediment, angett som % av totala antalet räknade kiselalger.

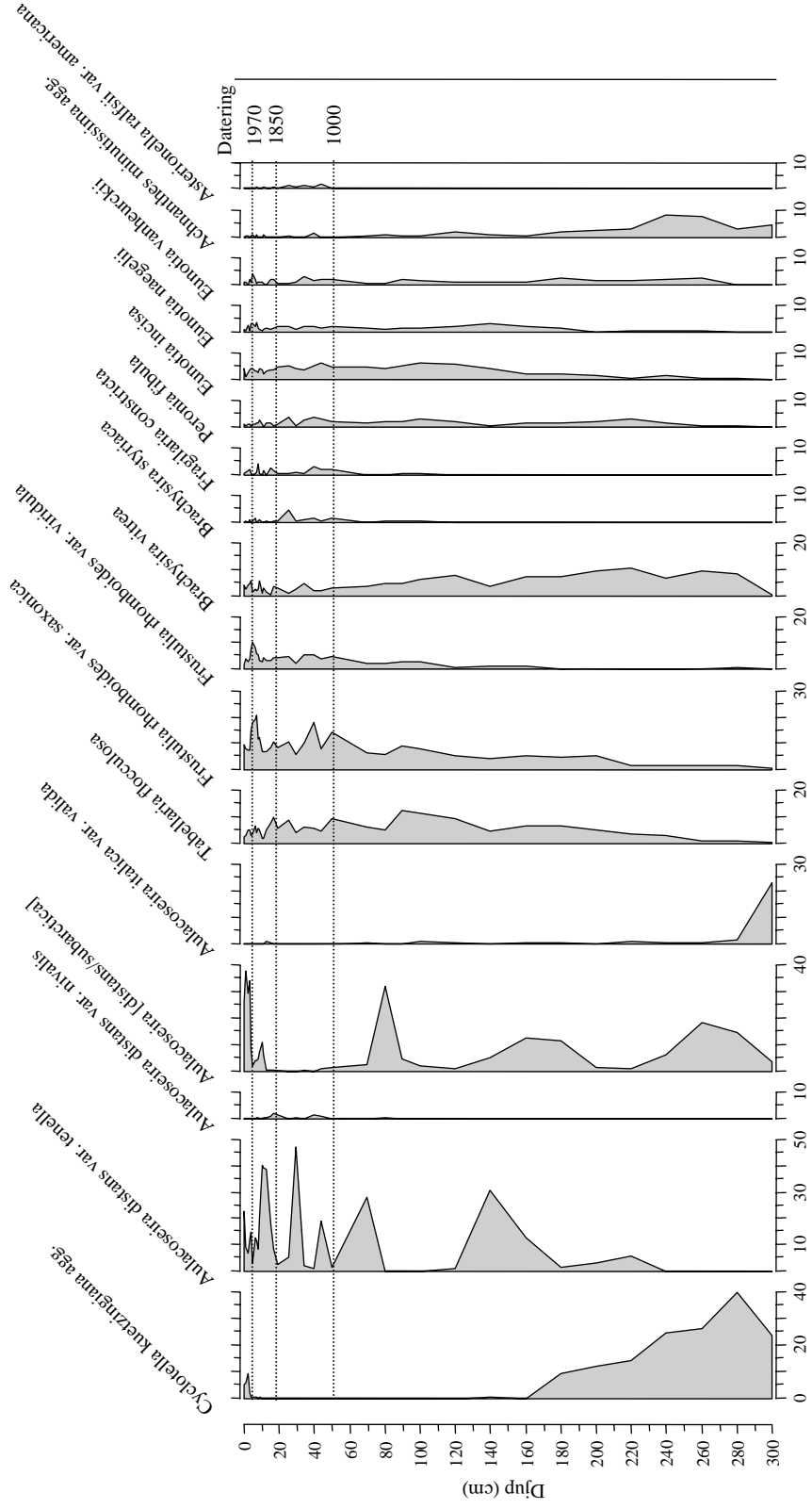


Bilaga 3. Pollendiagram från Lien visande förekomsten av pollen i procent (svart siluett) och promille (vit siluett).

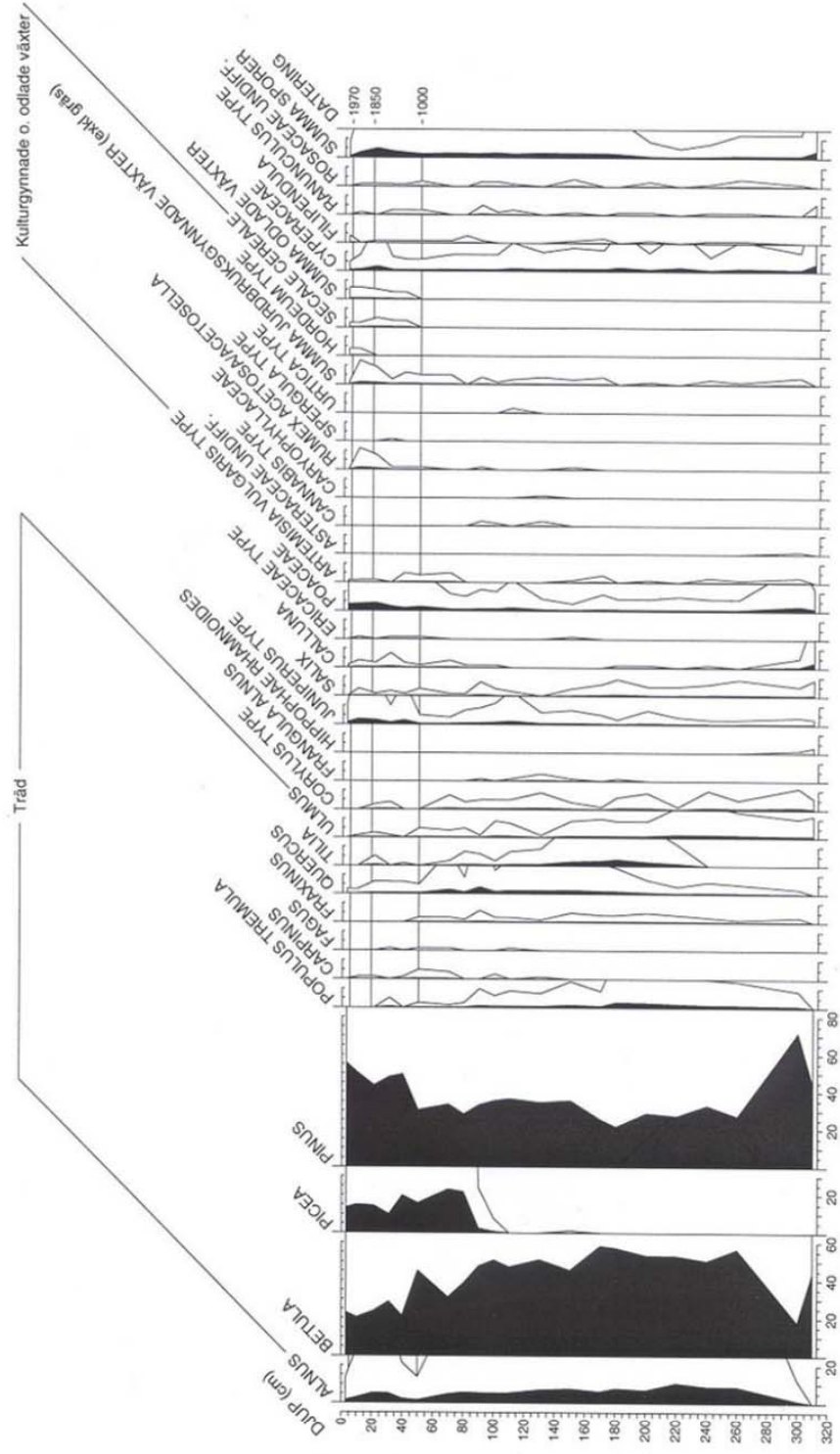


Bilaga 4.

Ett urval av kiselalger som förekom i Tryssjöns sediment, angett som % av totala räknade kiselalgsstal.

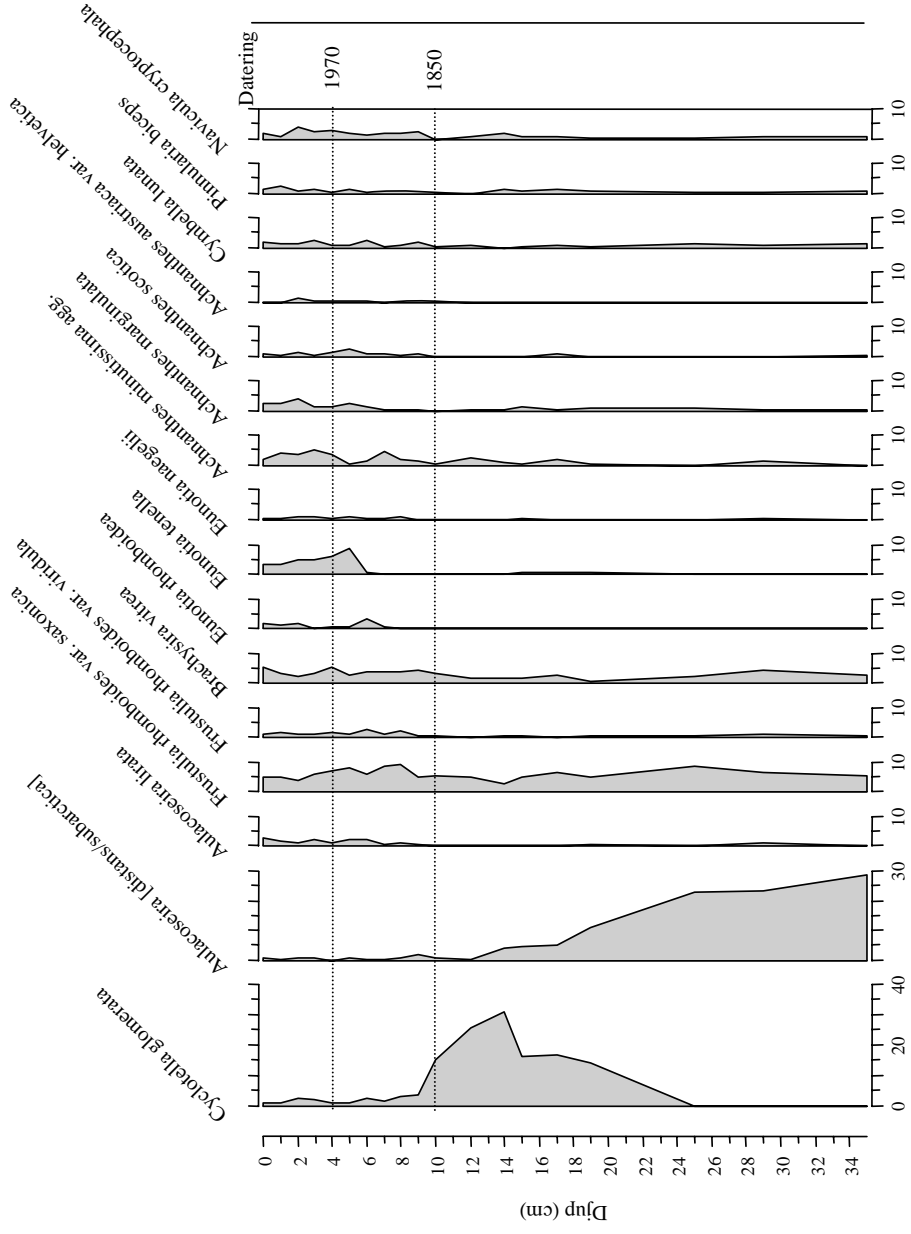


Bilaga 5. Pollendiagram från Tryssjön visande förekomsten av pollen i procent (svart siluett) och promille (vit siluett).



Bilaga 6.

Ett urval av kiselalger som förekom i V. Skälsjöns sediment, angett som % av totala antalet räknade kiselalgs skal.



Bilaga 7. Ett urval av kiselalger som förekom i S. Hårsjöns sediment, angett som % av totala räknade kiselalgsstal.

