

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

2017

ISSN: 2535-2806

MINA fagrapport 44

Paleolimnologisk undersøkelse av Lundebyvannet i Eidsberg kommune

Thomas Rohrlack
Ståle Haaland



Rohrlack, T. & Haaland, Ståle A. 2017. **Paleolimnologisk undersøkelse av Lundebyvannet i Eidsberg kommune.** - MINA fagrapport 44. 20 s.

Ås, september 2017

ISSN: 2535-2806

RETTIGHETSHAVER

© Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Forskningsutvalget, MINA, NMBU

OPPDRAKSGIVER

Vannområdet Glomma Sør for Øyeren

FORSIDEBILDE

Lundebyvannet. Foto: Thomas Rohrlack, NMBU

NØKKELOD

Limnologi, vanndirektivet, Gonyostomum semen

KEY WORDS

Limnology, Water Framework Directive, Gonyostomum semen

Thomas Rohrlack (thomas.rohrlack@nmbu.no), Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Postboks 5003 NMBU, NO-1432 Ås.

Ståle Haaland (staale.haaland@nmbu.no), Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Postboks 5003 NMBU, NO-1432 Ås.

Sammendrag

Lundebyvannet i Eidsberg kommune oppfyller ikke Vanddirektivets krav om minst god økologisk status, særlig pga. en veldig høy konsentrasjon av algen *Gonyostomum semen*. Denne arten danner årlige oppblomstringer i perioden Juni-August med klorofyllkonsentrasjoner som jevnlig overstiger 100 µg/l. Vannområdet Sør for Glomma ønsket en vurdering om og på hvilken måte menneskelige aktiviteter har bidratt til den høye algekonsentrasjonen i Lundebyvannet. Denne vurderingen ble gjennomført på grunnlag av sedimentundersøkelser som ga detaljert informasjon om innsjøens tilstand i perioden 1700-i dag.

Til tross for at innsjøen uten tvil har en lang historie med menneskelig påvirkning, viser algemengden ingen bestemt trend for perioden 1700 til 1977. Målingene viser imidlertid store svingninger over tid, noe som kan skyldes vannstandsreguleringer i Steinborgvassdraget. Stabile fosforkonsentrasjoner i sediment tyder på at endringer i jordbrukspraksis og nyere bebyggelse i nedbørfeltet ikke hadde en betydelig effekt på algesamfunn i Lundebyvannet.

Årene etter 1977 og særlig etter 2000 var preget av dominans av *Gonyostomum semen* og en økende tendens til oppblomstringer av algen. Denne utviklingen kan trolig forklares med den globale oppvarmingen og med reduksjon i sur nedbør som førte til økt humuskonsentrasjon. Økningen i mengden av *Gonyostomum semen* etter 2000 har ført til at algemengden i Lundebyvannet i dag er betydelig høyere enn i perioden 1700-2000.

Våre resultater, samt vurderingen av innsjøens tilstand som ble utført med hjelp av Vanddirektivets klassifiseringssystem, kom begge frem til at Lundebyvannet ikke er i sin referansetilstand. Likevel er Vanddirektivets klassifiseringssystem lite egnet til forvaltningen av Lundebyvannet. Innsjøens nåværende tilstand er preget av oppblomstringer av *Gonyostomum semen* som trolig styres av drivere som ikke kan påvirkes med tiltak i nedbørfeltet til Lundebyvannet. Det anses derfor som lite meningsfullt å rette den lokale forvaltningen av Lundebyvannet mot å oppnå god økologisk status i forhold til Vanddirektivets klassegrenser. Likevel ses det muligheter for lokale tiltak mot *Gonyostomum* oppblomstringer (endringer i manøvreringsregimet oppstrøms av Lundebyvannet, reduksjon i tilførsel av nitrogen fra nedbørfeltet).

Summary

Lake Lundebyvannet does not satisfy the criteria for good ecological state set by the Water Framework Directive (WFD). This is mainly due to an unusually high abundance of the alga *Gonyostomum semen*, which forms dense water blooms during summer. The present project aimed to evaluate the role that human activities play in causing the high algal concentration in the lake. This was done based on sediment cores that gave detailed information on the lake's phytoplankton composition between 1700 and today.

There is little doubt that Lake Lundebyvannet has a long history of human impact. Despite this, phytoplankton concentration showed no clear trend between 1700-1977, although there were significant fluctuations in algal biomass during this period. These fluctuations might have been caused by man-made changes in water level upstream of

Lake Lundebyvannet. Stable phosphorus concentrations in the sediment indicate that urbanization and the introduction of modern methods in agriculture had little effect on algal density in the lake.

The years after 1977 and in particular after 2000 were characterized by the dominance of *Gonyostomum semen* and by an increasing prevalence of its summer blooms. This was probably due to the declining importance of acid rain and due to global warming. The occurrence of massive *Gonyostomum semen* blooms after the year 2000 resulted in algal densities that are unusually high for this lake.

The present study confirms that Lake Lundebyvannet has changed beyond the good ecological state defined by WFD. This deviation is probably caused by global and regional drivers rather than local human activities. Restoring good ecological state sensu WFD appears therefore to be an at least partially impossible task. There is, however, hope that a reduction in nitrogen transport to the lake and changes in water flow to and through Lundebyvannet can limit blooms of *Gonyostomum semen*.

1. Hvorfor paleolimnologi?

Med vedtak av «Forskrift om rammer for vannforvaltning» (Kgl. res. 15.12.2006) ble EUs rammedirektivet for vann implementert i Norge. Dette direktivet signaliserer «... en ny helhetlig og økosystembasert forvaltning av alt vannmiljø i Norge og resten av Europa. ... Miljømålet for naturlige vannforekomster av overflatevann (elver, innsjøer og kystvann) er at de skal ha minst god økologisk og kjemisk tilstand innen 2021. ... God økologisk tilstand er definert som ”akseptable avvik fra naturtilstanden” for de biologiske elementene, samt for de fysiske kjemiske og hydromorfologiske støtteparameterne.» (Vannforskriften § 5 og vedlegg V samt klassifiseringsveileder 02:2013-revidert 2015, Miljødirektoratet 2015).

Naturtilstanden, også kalt referansetilstanden, har dermed blitt et sentralt element i norsk vannforvaltning. Dessuten spiller grensen mellom god og moderat økologisk tilstand, som avgjør om en vannforekomst krever tiltak, en viktig rolle. Å bestemme referansetilstand og grensen mellom god og moderat tilstand for en vannforekomst, krever nøyaktig informasjon om hvordan tilstanden til vannforekomsten var før en mulig menneskelig påvirkning begynte. Denne informasjonen mangler ofte.

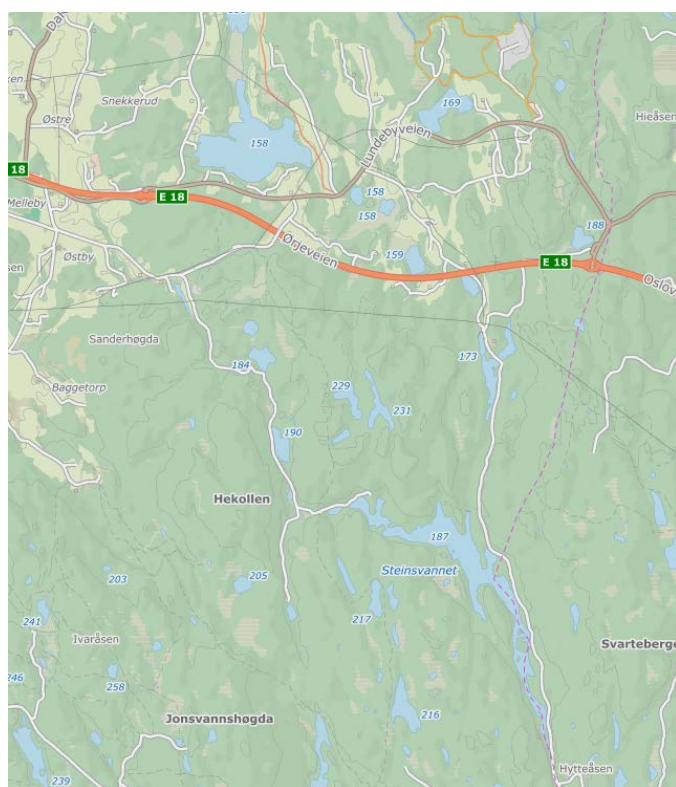
Vanndirektivet prøver å løse dette problemet ved å dele vannforekomster i vanntyper. Disse karakteriseres ved å undersøke typiske vannforekomster uten menneskelig påvirkning, såkalte referanselokaliteter. Resultatene benyttes til å utarbeide et klassifiseringssystem med referansetilstand og tilstandsklasser til enhver vanntype. Fordelen med denne fremgangsmåten er at den tillater statusvurdering av alle vannforekomster uavhengig av tilgang til historiske data. Ulempen er at det er vanskelig å ta hensyn til de mange særtrekkene som vannforekomster har, noe som gjøre at vurderingene kan være usikker. I tillegg er det ofte vanskelig å definere referansetilstand og klassegrenser til vannforekomster i et kulturlandskap med en lang historie med menneskelig påvirkning, særlig når det ikke finnes upåvirkete referanselokaliteter av samme type.

I innsjøer kan slike problemer unngås ved å vurdere vannforekomstenes tilstand individuelt ved å rekonstruere deres historisk utvikling med hjelp av paleolimnologiske metoder. Mye av paleolimnologien dreier seg om å analysere innsjøenes sediment, som brukes som kjemisk og biologisk arkiv. I innsjøer avsettes

hvert år et sjikt med sediment. Et slikt sjikt inneholder ulike typer biologisk og kjemisk materiale, som kan benyttes til å rekonstruere det akvatiske organismesamfunnet og de kjemiske forholdene i innsjøen og dens nedbørfelt på tidspunktet da sedimentet ble avsatt. Dersom sedimentet ikke forstyrres mekanisk (oppvirvling pga. turbulens, graving, mudring), representerer sedimentets overflate de yngste avsetningene og dermed den aktuelle tilstanden av en innsjø. Alderen av sedimentet øker med avstand fra sedimentets overflate. Utviklingen av en innsjø kan derfor rekonstrueres ved å ta sedimentsøyler, dele disse i sjikt og analysere sammensetningen av hver enkelt sjikt. Resultater av denne undersøkelsen kombineres gjerne med informasjon om menneskenes aktiviteter i nedbørfelt for å kunne trekke konklusjoner om antropogen påvirkning og eventuelle behov for tiltak.

2. Beskrivelsen av Lundebyvannet

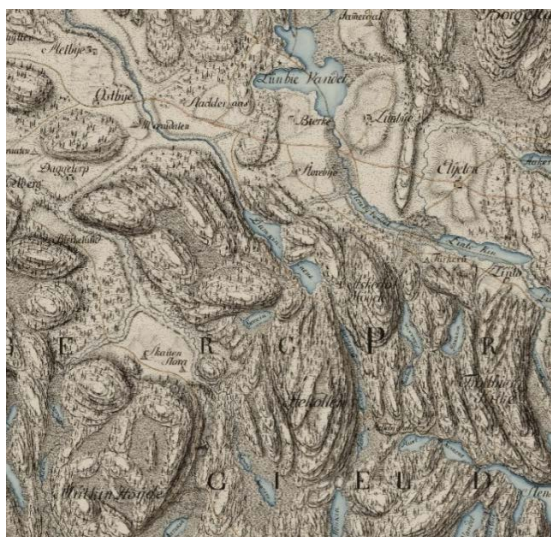
Lundebyvannet ligger i Eidsberg kommune, nord for skogsområdet «Fjella» (figur 1). Innsjøens nedbørfelt er preget av skog, landbruksarealer og noe bebyggelse. E18 og Fylkesvei 128 krysser nedbørfeltet i nærheten av innsjøen. Lundebyvannet er en del av Steinborgvassdraget og mottar vann fra Steinsvannet via Nøadammen, Lintotjern og Engatjern. Store deler av vassdraget er regulert. Selve Lundebyvannet er preget av mange grunne arealer. Maksimal dybde er 5,4 m.



Figur 1: Nedbørfeltet til Lundebyvannet (Statens Kartverk)

Nyere undersøkelser (oversikt over overvåkningsdata finnes på <http://vanmiljo.miljodirektoratet.no>) viser at innsjøen er preget av korte perioder med termisk sjiktning og perioder med sirkulasjon hver sommer. I perioder med termisk sjiktning er anoksiske forhold i bunnvannet vanlig og det er derfor mulighet for fosfatutslipp fra sedimentet. Lundebyvannet har forholdsvis høyt humusinnhold.

Miljøtilstandsvurderinger som er utført i regi av Vannområdet Glomma Sør for Øyeren viser at vanddirektivets krav om minst god økologisk status ikke er oppfylt i dag, særlig pga. en for høy konsentrasjon av algen *Gonyostomum semen*. Denne arten danner årlige oppblomstringer i perioden Juni-August med klorofyllkonsentrasjoner som jevnlig overstiger 100 µg/l. Lundebyvannet har en populær badeplass som hyppig benyttes av folk fra Indre Østfold. Denne funksjon som rekreasjonsområde trues av *Gonyostomum*-oppblomstringer som produserer en type slim som kan føre til hudutslett hos følsomme mennesker (Cronberg og medforfatter 1988). *Gonyostomum* utfører døgnvandring mellom innsjøens overflate og innsjøens bunnvann, noe som muliggjør at algen kan utnytte næringsstoffer som slipper ut fra sedimentet under termisk sjiktning (Salonen & Rosenberg 2000). Oppblomstringer av *Gonyostomum* er derfor i all hovedsak et resultat av en resirkulasjon av næringsstoffer fra innsjøinterne kilder og kan derfor trolig oppstå uten menneskelig påvirkning. For Lundebyvannet betyr det at det ikke kan utelukkes at oppblomstringer av *Gonyostomum* gjenspeiler innsjøens naturtilstand, til tross for de negative konsekvensene som slike oppblomstringer medfører for innsjøens brukere.



Figur 2: Kart over deler av Lundebyvannets nedbørfelt anno 1775 (Statens Kartverk)



Figur 3: Kart over Lundebyvannets nedbørfelt anno 1913 (Statens Kartverk)

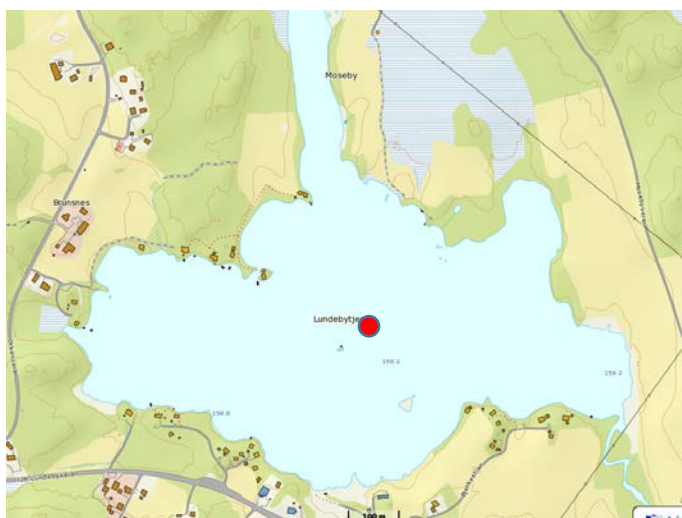
På den andre side ligger Lundebyvannet i et område med en lang landbrukshistorie, noe som er typisk for det norske kulturlandskapet. Det er i samsvar med historiske kart som viser dyrket mark, bebyggelse og veier i nærheten av innsjøen i 1775 og i 1913 (figurene 2 og 3). Spørsmålet er derfor ikke om innsjøen er påvirket av mennesker, men om påvirkningen var/er kraftig nok til å endre innsjøens tilstand.

3. Formål

Prosjektet har hatt som hovedformål å rekonstruere Lundebyvannets utvikling fra år 1800 eller tidligere og frem til i dag. Prosjektet skulle undersøke om mulige variasjoner i innsjøens algemengde og algesammensetning skyldes menneskelig påvirkning som ikke kan reduseres med tiltak i nedbørfeltet (sur nedbør, global oppvarming), lokale menneskelige inngrep (urbanisering, landbruk) eller at det skyldes naturlige prosesser. Videre skulle det vurderes om dagens tilstand avviker fra den tilstand innsjøen hadde for omtrent 200 år siden. Det skulle også gis anbefalinger for en forvaltning av Lundebyvannet i fremtiden.

4. Metodikk

Det ble samlet inn 2 sedimentsøyler fra Lundebyvannet med en Uwitec sedimentprøvetaker. Prøvetaking foregikk fra is i februar 2017. Prøvetakingsstasjonen er vist i figur 4. Dybden ved prøvetakingsstasjon var 5,4 m. De to sedimentsøylene ble delt i sjikt på 1 cm tykkelse. Alle prøvene ble overført til plastposer. Deretter ble de frysetørket. Prøver av sedimentsøylen 1 ble analysert for innhold av klorofyll a og dets nedbrytningsprodukter (markør for totalmengde av alger). Andre pigmenter ble også kvantifisert for å kunne identifisere endringer i algesammensetningen. Metoden for pigmentanalysen er beskrevet i Thrane og medforfatter (2015). Her finnes det også en validering av metoden, samt en usikkerhetsanalyse. Prøvene ble også analysert med hjelp av ICP-MS på fosfor (indikator for tilgang til fosfor, mulighet for utslipp fra sediment), bly (trafikk) og svovel (sur nedbør). Sedimentets karboninnhold ble estimert ved å anta at 50 % av glødetap er karbon.



Figur 4: Prøvetakingsstasjon i Lundebyvannet (Kart fra Statens Kartverk)

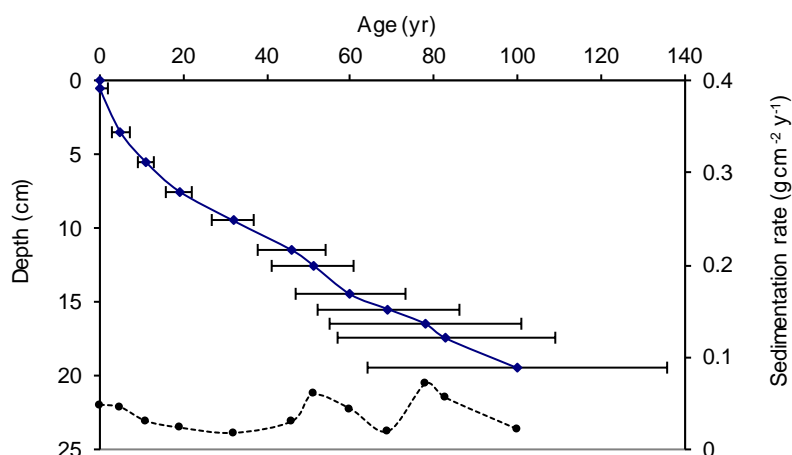
For å tidfeste prøvene må mengden av sedimentet som ble avsatt årlig kvantifiseres. Dette ble gjort ved å kvantifisere radioaktivt Cesium (Cs-137) og Americium (Am-241) i prøvene fra sedimentsøylen 2. Metoden går ut på å finne to topper som

representerer Tsjernobylulykken (april 1986) og de siste nukleære prøvesprengninger i atmosfæren (1962/63). I tillegg ble prøvene analysert på radioaktivt bly (Pb-210) som tillater datering av sedimenter som ble avsatt mellom omtrent 1900 og i dag. Resultatene fra analysene ble benyttet til å utvikle en matematisk modell som så ble benyttet til å omregne avstand fra sedimentoverflaten til tidspunkt da sedimentet ble avsatt. Analysene ble gjennomført av Dr. Handong Yang ved University College of London (UCL).

5. Resultater

5.1. Dateringen av sediment prøver

Cs-137, Am-241 og Pb-210 analysene ga gode og tydelige resultater (se vedlegg for utdypende informasjon). Disse ble benyttet til å utarbeide en matematisk modell for beregning av alderen av sedimentprøvene, som en funksjon av avstand fra sedimentets overflate. Modellen er vist i figur 5. Modellen gir nøyaktige resultater for sedimenter som ble avsatt etter 1915. For å estimere alderen til sedimenter som ble avsatt før 1915 ble det antatt at sedimentasjonshastigheten lå konstant på gjennomsnittet for perioden 1915 til i dag. Tidsaksen som ble brukt for å fremstille resultatene i denne rapporten må derfor anses som noe usikker når det gjelder tidsperioden før 1915.

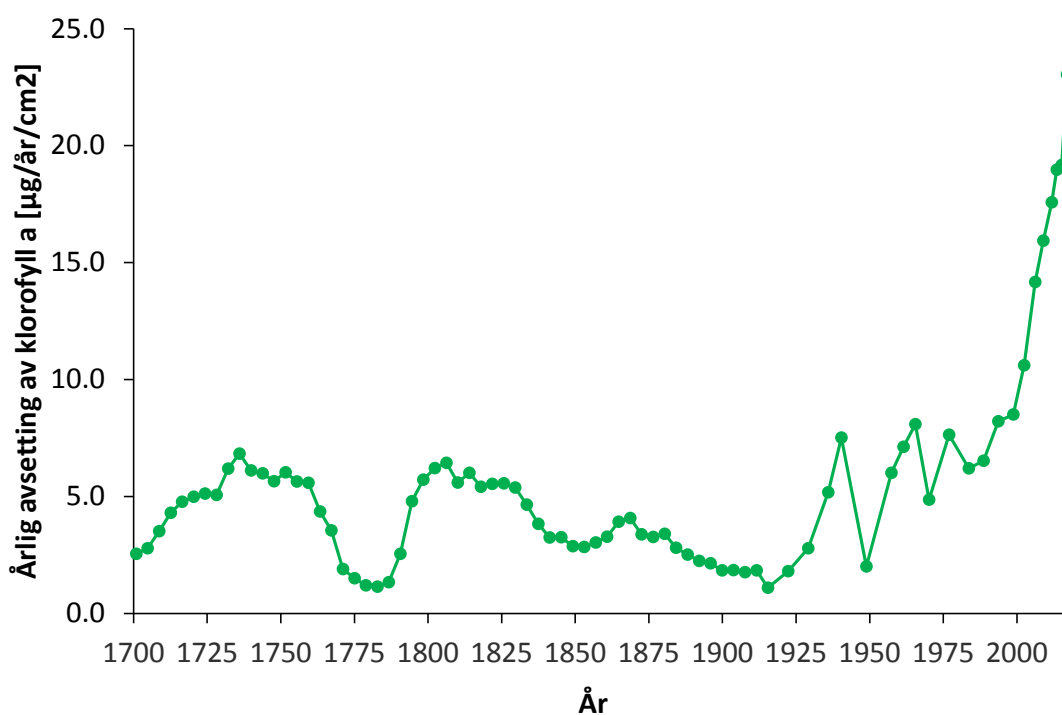


Figur 5: Modell som beregner alderen (med standardavvik) av sediment som funksjon av avstand fra sedimentets overflate. I tillegg er sedimentasjonsraten vist (nederste funksjon). Resultater fra UCL.

5.2. Algemengden og - sammensetningen i Lundebyvannet

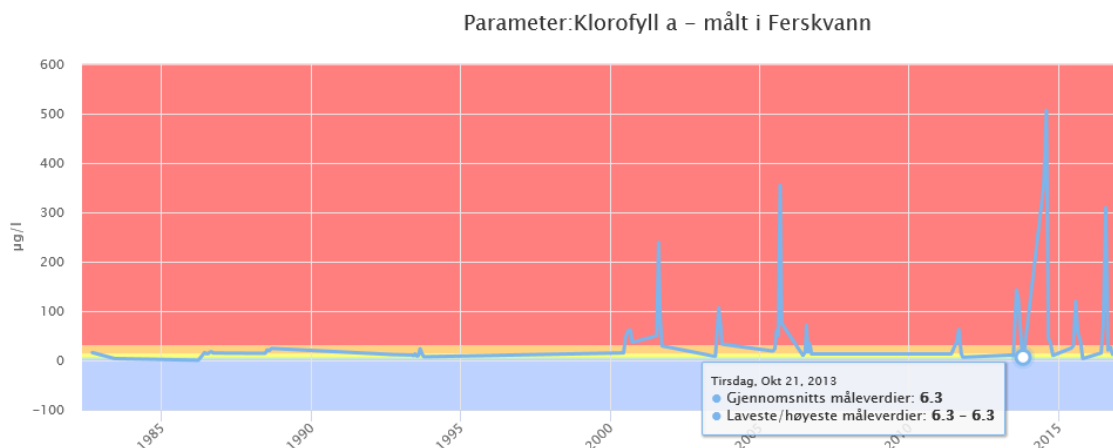
Sedimentprøvene har gjort oss i stand til å rekonstruere algemengden i Lundebyvannet for perioden ca. 1700 til 2017. Pigmentkonsentrasjonen i sedimentet påvirkes av sedimentasjonshastighet som er svært variabel i Lundebyvannet (figur 5). Algemengden ble derfor målt som årlig avsetning av klorofyll a (beregnet som summen av klorofyll a og dets nedbrytningsprodukt pheophytin a), siden denne parameteren er uavhengig av sedimentasjonshastigheten. Resultatene tyder på store svingninger i algemengden i perioden 1700-2000 med like høye verdier på midten av 1700-tallet, i begynnelsen av 1800-tallet og i perioden 1960-2000 (figur 6). År 2000 markerer begynnelsen av en periode med en markant økning i algemengden. Dette tyder på at Lundebyvannet i nyere tid har blitt til en mer produktiv innsjø og at denne trenden fortsetter. Konklusjonen støttes av klorofyll målinger i vannfasen som ble utført av ulike aktører i perioden 1982 til 2016 (figur 7).

Ifølge Bjørndalen og Løvstad (1984) var Lundebyvannet dominert av *Gonyostomum semen* allerede i 1982. Resultater av senere undersøkelser bekrefter dominansen av *Gonyostomum* i perioden 1982 til i dag (se Miljødirektoratets internettside <http://vanmiljo.miljodirektoratet.no> for måleresultater). Vi har derfor brukt pigmentsammensetningen i sedimenter som ble avsatt i 1982 eller senere som «kjemisk fingeravtrykk» for å identifisere tidligere perioder med *Gonyostomum semen* dominans. Figur 8 viser resultatene av en statistisk analyse som sammenligner pigmentsammensetningen i alle sedimentprøver. Denne analysen viser at prøvene som representerer årene med bekreftet *Gonyostomum semen* dominans, danner en gruppe som også omfatter år 1977. Denne gruppen skiller seg ut fra resten av prøvene. Vi kan derfor anta at dominansen av *Gonyostomum semen* begynte på midten av 1970-tallet. Overgangen til dominans av *Gonyostomum semen* førte trolig ikke umiddelbart til en økning i den totale algemengden, som var omtrent konstant i perioden 1977 til 2000 (figur 6). Først etter 2000 begynte den totale algemengden å øke kraftig parallell med at *Gonyostomum semen* fortsatt dominerte algesamfunnet. Det er derfor sannsynlig at økningen i algemengden skjedde pga. en økning i mengden av *Gonyostomum semen*.

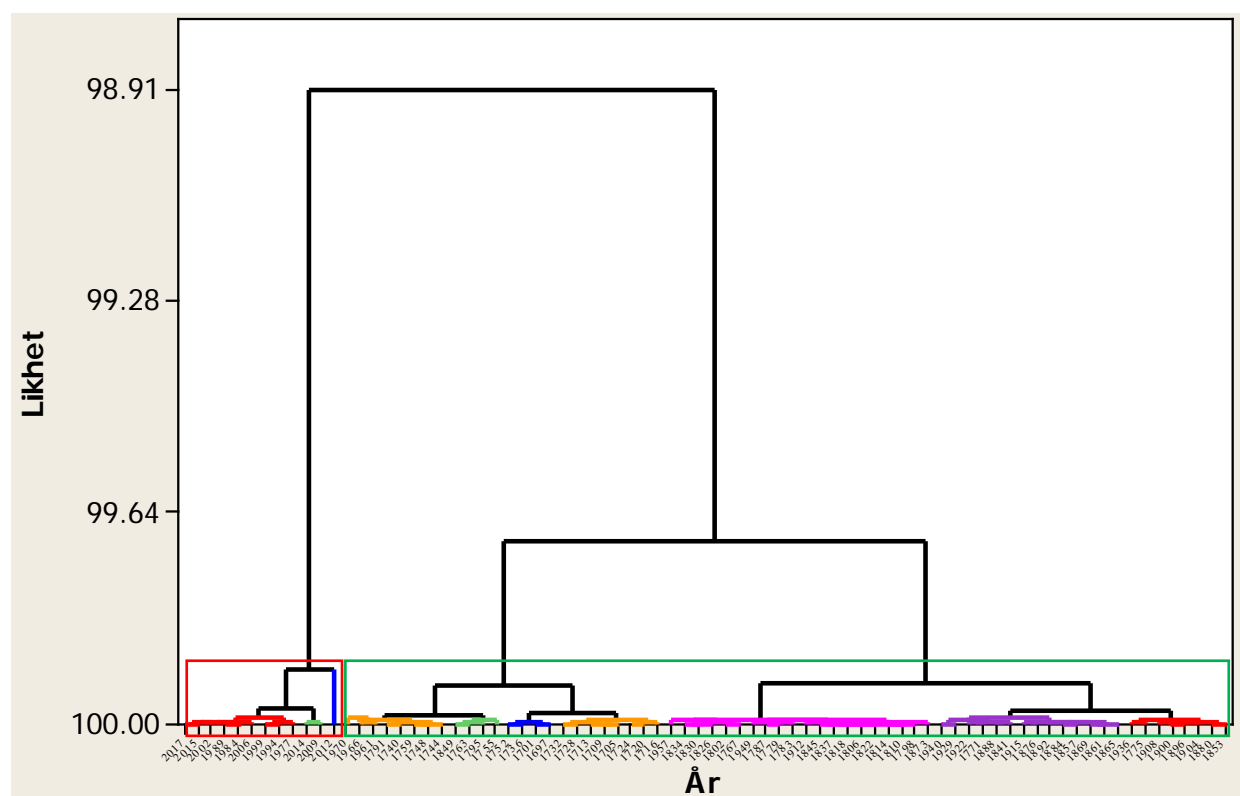


Figur 6: Rekonstruksjon av algemengden i Lundebyvannet. Algemengden ble målt som årlig avsetning av klorofyll a.

Til sammen viser pigmentanalysen altså at algesamfunnet i Lundebyvannet har endret seg betydelig etter midten av 1970-tallet og særlig etter år 2000. Dette skyldes trolig *Gonyostomum semen* som har overtatt algesamfunnet for omtrent 40 år siden og som i økende grad danner oppblomstringer med til dels ekstreme klorofyllkonsentrasjoner.



Figur 7: Klorofyllkonsentrasjon i vannfasen. Figuren er tatt fra <http://vanmiljo.miljodirektoratet.no>.

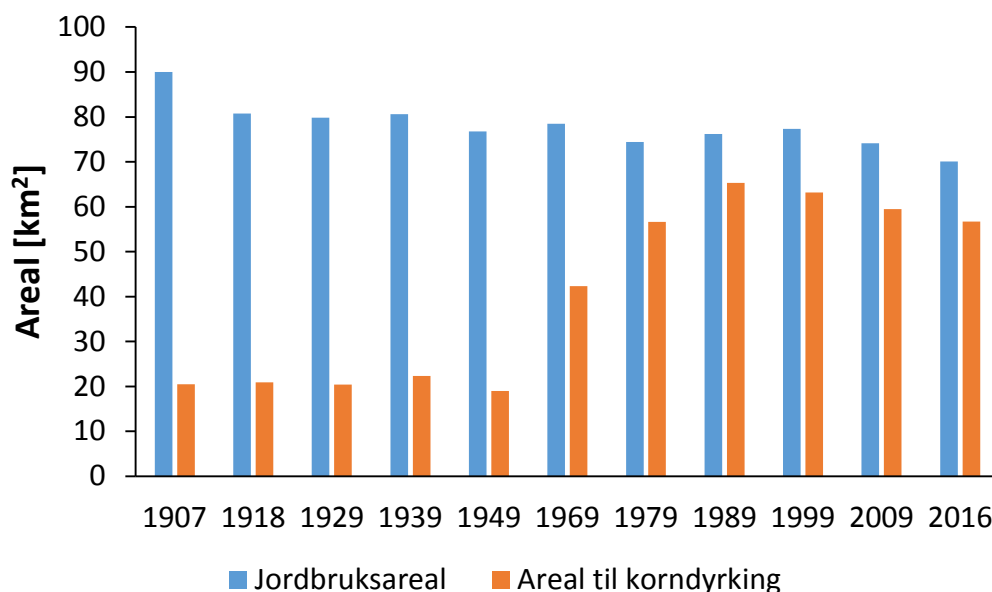


Figur 8: Hovedkomponentanalyse av pigmentsammensetning i alle prøver fra Lundebyvannet. Metoden deler prøvene i grupper med lik pigmentsammensetning. Det er tydelig at prøvene deles i 2 hovedgrupper: Gruppe 1 (markert med rød firkant) med *Gonyostomum semen* dominans; år 1977- i dag og gruppe 2 (markert med grønn firkant) uten dominans av denne algen; resten av prøvene.

5.3. Mulige effekter av lokal menneskelig aktivitet på algesamfunn i Lundebyvannet

Nedbørfeltet til Lundebyvannet og selve innsjøen har blitt påvirket av mennesker gjennom hele undersøkelsesperioden, dvs. fra 1700 til i dag (se Syversen 2005 for mer utdypende informasjon). Steinborgvassdraget har gjennomgått flere perioder med

til dels dramatiske vannstandsreguleringer, noe som dannet grunnlag for sagbruksdrift og senere for kraftproduksjon. Dette gjelder særlig perioden 1800-1900. En av de få tingene som i dag minner på disse aktivitetene er oppdemmingen av Steinsvannet og Nøadammen, som trolig påvirker Lundebyvannet også i dag. Særlig oppdemming av Nøadammen har en kraftig flomdempende effekt også i dag på Lundebyvannet og på tjernene som ligger lengre oppstrøms. Oppdemming av Steinsvannet og Nøadammen har også økt vannets oppholdstid i begge innsjøene. Dette har trolig økt retensjon av næringsstoffer og humus. Det kan derfor antas at vannstandsreguleringene oppstrøms av Lundebyvannet begrenser transport av næringsstoffer og humus fra nedbørfeltet til Lundebyvannet også i dag.

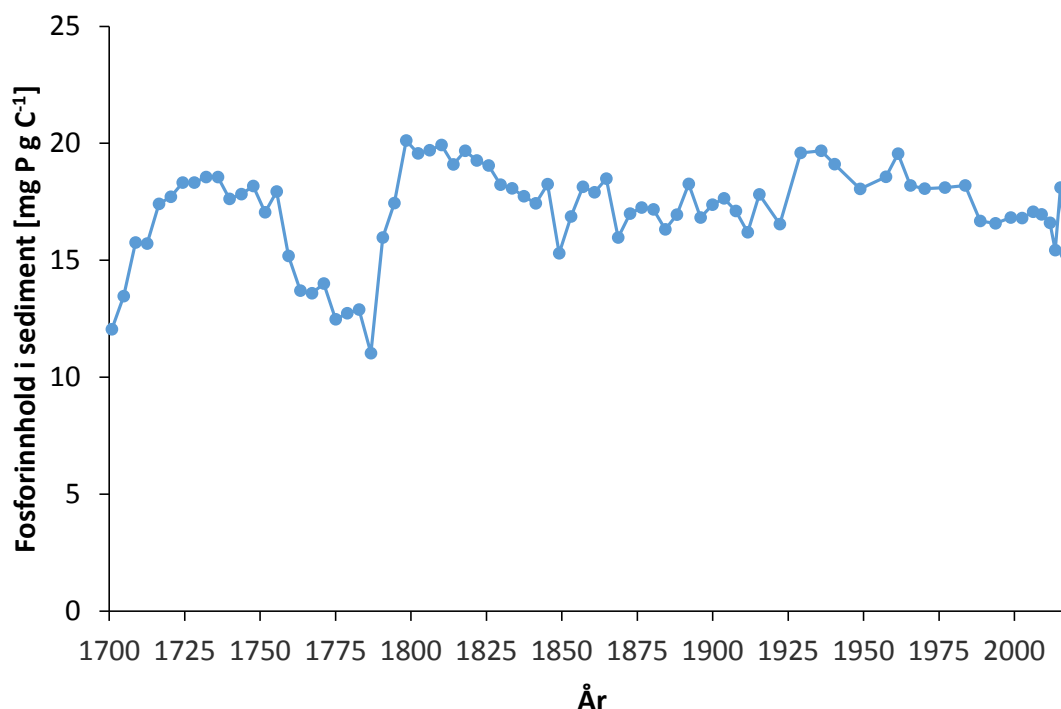


Figur 9: Jordbruksareal og korndyrking i Eidsberg kommune (Kilde: Statistisk Sentralbyrå)

Historiske kart viser jordbruksarealene i nærheten til Lundebyvannet allerede i 1775 (figur 2). Mange av disse arealene er i drift også i dag. Likevel har jordbruket endret seg betydelig opp gjennom tiden. Tradisjonelt jordbruk i Østfold var preget av produksjon til lokalt forbruk. Dette endret seg etter 1850 og særlig etter 1900 da gjødsling og bruk av landbruksmaskiner førte til økt produksjon og muligheten for å selge jordbruksprodukter. Industriell jordbruk begynte etter 1945 med bl. a. gradvis omlegging til kornproduksjon (figur 9) og intensiv bruk av kunstgjødsel. Denne utviklingen kulminerte mot slutten av 1980-tallet. Likevel tyder sedimentundersøkelsene våre på at tilførsel av fosfor til Lundebyvannet var omtrent konstant fra 1800 og frem til i dag (figur 10). Det er derfor tvilsomt at endringene i jordbrukspraksis hadde en signifikant effekt på algesamfunnet i Lundebyvannet.

Vi har ingen detaljerte opplysninger om mulig kloakkpåvirkning av Lundebyvannet. Deler av innsjøens nedbørfeltet er preget av spredd bebyggelse, noe som delvis har eksistert gjennom hele undersøkelsesperioden (figurene 1-3). Det har lenge vært vanlig praksis å benytte seg av bekker og innsjøer som resipient for kloakk. Det kan derfor antas at innsjøen har vært utsatt for næringsstofftilførsel fra bebyggelse i hele undersøkelsesperioden. Men også her må det nevnes at resultatene vist i figur 10,

tyder på at kloakkpåvirkning av Lundebyvannet, dersom den har eksistert/eksisterer, ikke har endret seg betydelig siden 1800.



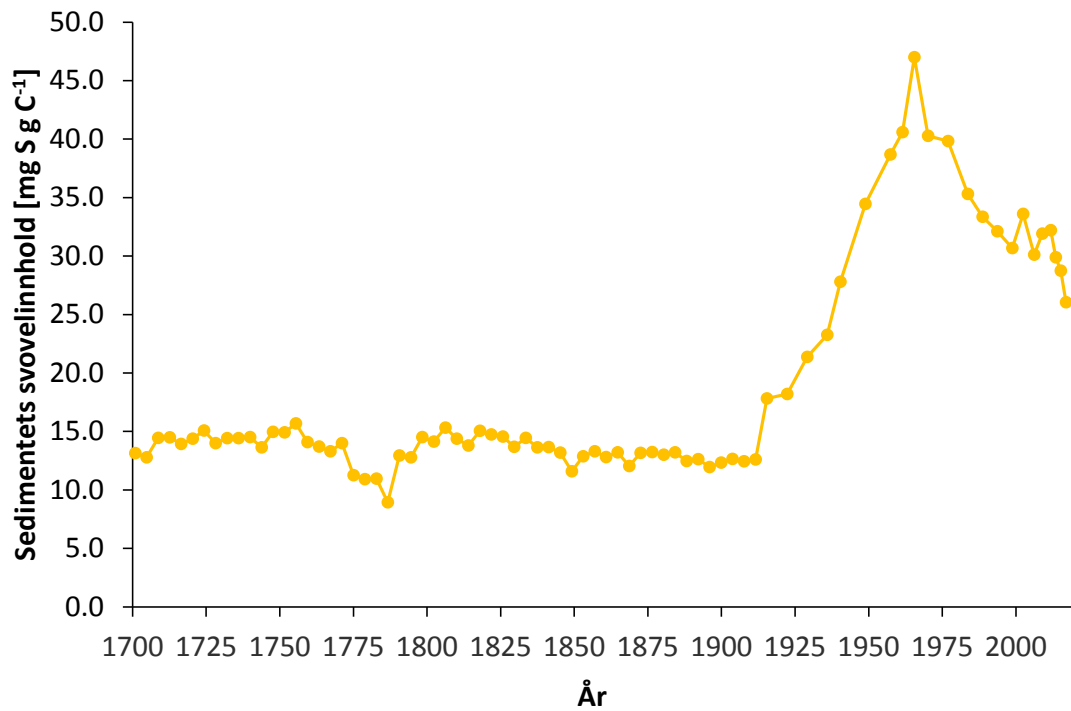
Figur 10: Fosforinnhold i Lundebyvannets sediment fra år 1700 og frem til i dag.

5.4. Mulig grunn til dominans og oppblomstringer av *Gonyostomum semen*

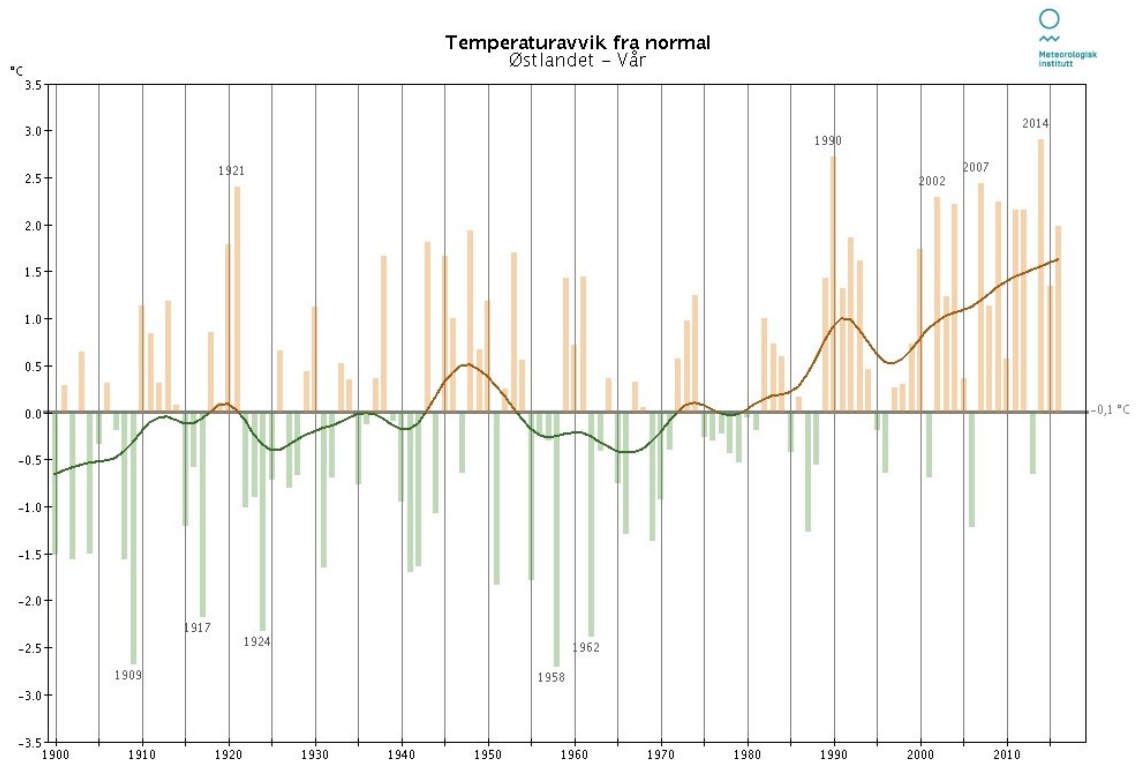
Ingen av de dokumenterte menneskelig aktivitetene i nedbørfeltet kan forklare overgangen til dominans av *Gonyostomum semen* på midten av 1970-tallet, samt den økende tendensen til masseoppblomstringer av algen etter år 2000. Oppblomstringer av *Gonyostomum semen* ble beskrevet for tyske myrområder allerede på 1850-tallet (Kusber 2003). Det er derfor tydelig at slike oppblomstringer ikke er ett nytt fenomen i Europa og trolig heller ikke i Skandinavia. Likevel tyder mye på at *Gonyostomum* har blitt mer vanlig i Skandinavia etter 1970 (Hagman og medforfatter 2015). Algen er tilpasset innsjøer med moderat til høyt humusinnhold, som fører til en rask oppvarming om våren og en skarp termisk sjikting om sommeren. Denne sjiktingen tillater *Gonyostomum* å utføre døgnvandring mellom overflaten (tilgang til lys, lite næringsstoffer) og områder som ligger under sprangsjiktet (ingen lys, mye næringsstoffer). Det er trolig denne tilpasning som gjør det mulig for algen å utkonkurrere andre arter og å danne oppblomstringer også i forholdsvis næringsfattige innsjøer (Salonen & Rosenberg 2000).

Reduksjon i sur nedbør har medført en økning i humusinnhold i mange norske innsjøer. Svovelmålingene i sediment til Lundebyvannet indikerer at denne trenden trolig begynte omtrent år 1977 (figur 11). Målinger av innsjøens farge mellom 1982 og 2016 støtter en økning i innsjøens humusinnhold særlig etter 2000 (se Miljødirektoratets nettside <http://vannmiljo.miljodirektoratet.no> for måleresultater). Økningen i innsjøens humusinnhold og en tendens til høyere vårtemperaturer på hele Østlandet (figur 12), har trolig ført til stabilere sjiktningsforhold i Lundebyvannet og dermed til bedre vekstforhold for

Gonyostomum semen. Overgangen til dominans av *Gonyostomum semen* på midten av 1970-tallet, samt den økende tendensen til oppblomstringer av denne arten etter år 2000, er derfor trolig et resultat av reduksjon i sur nedbør og klimaendringer.



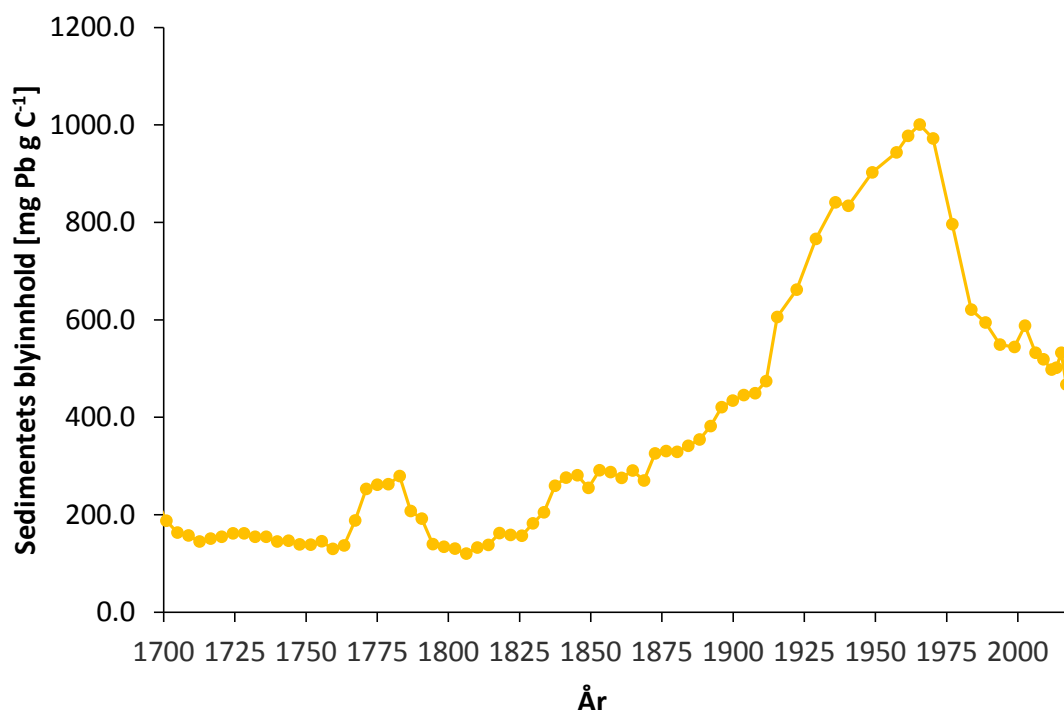
Figur 11: Svovelinnhold i Lundebyvannets sediment fra år 1700 og frem til i dag.



Figur 12: Avvik fra temperaturnormalen på Østlandet (Kilde: met.no).

5.5. Mulig belastning av sediment med bly

Selv om fokus av undersøkelsen av Lundebyvannet var på algemengde og algesammensetningen, ønsket oppdragsgiveren også å analysere sedimentet for mulig belastning med bly. Resultatene er vist i figur 13. Blyinnholdet i sedimentet viser en økende trend fra omtrent 1800 til 1900, en kraftig økning fra 1920 til slutten av 1960-tallet og en reduksjon etter midten av 1970-tallet. Dette er en vanlig utvikling som også ble observert i svenske innsjøer (Bindler og medforfatter 2009). Utviklingen er trolig et resultat av langtransportert bly fra gruver i Skandinavia (utvikling til omtrent 1900) og av bruk/forbud av blyholdig bensin. Nivåene i Lundebyvannets sediment er forholdsvis lav (50-55 mg/kg i toppsjiktet av sedimentet) og er dermed ikke av betydning for forvaltningen av Lundebyvannet.



Figur 13: Blyinnhold i Lundebyvannets sediment fra år 1700 og frem til i dag.

6. Konklusjoner og anbefalinger

Resultatene av den paleolimnologisk undersøkelsen av Lundebyvannet viser at innsjøens nåværende tilstand avviker fra tilstanden som innsjøen hadde i perioden 1700-1977.

Til tross for at innsjøen uten tvil har en lang historie med menneskelig påvirkning, viser algemengden ingen tydelig trend for perioden 1700 til 1977, selv om målinger viser til dels store svingninger over tid. Grunnen for disse svingninger er ukjent, men det kan ikke utelukkes at vannstandsreguleringer i Steinborgvassdraget har spilt en rolle. Stabile fosforkonsentrasjoner i sediment tyder på at endringer i jordbrukspraksis og bebyggelse i nedbørfeltet ikke hadde en betydelig effekt på algesamfunn i Lundebyvannet.

Årene etter 1977 og særlig etter 2000 var preget av dominans av *Gonyostomum semen* og en økende tendens til oppblomstringer av algen. Denne utviklingen kan trolig

forklares med reduksjon i sur nedbør som førte til økt humuskonsentrasjonen i vannet og den globale oppvarmingen.

De her foreliggende paleolimnologiske undersøkelser og vurderingen av innsjøens tilstand som ble utført med hjelp av Vanddirektivets klassifiseringssystem kom begge frem til at Lundebyvannet ikke er i sin referansetilstand. Likevel er Vanddirektivets klassifiseringssystem lite egnet til forvaltningen av Lundebyvannet. Innsjøens nåværende tilstand er preget av oppblomstringer av *Gonyostomum semen* som trolig styres av drivere som ikke kan påvirkes med tiltak i nedbørfeltet. Det anses derfor som lite meningsfullt å rette den lokale forvaltningen av Lundebyvannet mot å oppnå god økologisk status i forhold til Vanddirektivets klassegrenser. Det ses likevel muligheter for lokale tiltak. Humuskonsentrasjonen i Lundebyvannet kan trolig forringes ved å endre manøvreringsregimet i vassdraget oppstrøms av Lundebyvannet. Dette kan trolig redusere sannsynligheten av *Gonyostomum* oppblomstringer. Algen utnytter innsjøinterne fosforkilder til å danne oppblomstringer, men er samtidig avhengig av nitrogentilførsel fra nedbørfeltet. Det antas derfor at en reduksjon av nitrogentilførsel særlig fra landbruksarealene kan motvirke oppblomstringer av *Gonyostomum semen*. Begge strategier for tiltak må utredes grundig før tiltakene settes i gang.

Forvaltningen av Lundebyvannet bør også fokusere på å kartlegge mengden av *Gonyostomum semen*. Dette er særlig viktig med sikte på å sikre god badevannskvalitet i Lundebyvannet.

7. Referanser

- Bindler R, I Renberg, J Rydberg, T Andren (2009): Widespread waterborne pollution in central Swedish lakes and the Baltic Sea from pre-industrial mining and metallurgy. *Environmental Pollution*, 2009, Vol.157(7), p.2132
- Bjørndalen K., Løvstad Ø. (1984): En regionalundersøkelse av innsjøer i Østfold. Eutrofieringen og problemer. *Vann* 1-1984. S.123-132.
- Cronberg G, Lindmark G, Bjork S (1988) Mass development of the flagellate *Gonyostomum semen* in Swedish forest lakes - an effect of acidification. *Hydrobiologia* 161: 217-236.
- Hagman CHC, Ballot A, Hjermann DO, Skjelbred B, Brettum P, Ptacnik R (2015) The occurrence and spread of *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing (Raphidophyceae) in Norwegian lakes. *Hydrobiologia* 744: 1-14.
- Kusber WH (2003) Typification of the four European species of *Gonyostomum* (Raphidophyceae) and first records of *G. depressum* from NE Germany. *Willdenowia* 33: 467-476.
- Miljødirektoratet (2015): Klassifisering av miljøtilstand i vann. Klassifiseringsveileder 02:2013 – revidert 2015
- Salonen Kalevi, Mirja Rosenberg (2000): Advantages from diel vertical migration can explain the dominance of *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae) in a small, steeply-stratified humic lake. *J Plankton Res* (2000) 22 (10): 1841-1853.
- Syversen, S. (2005): *Fjella i Indre Østfold : naturen, historien, menneskene, friluftslivet*. NorBok. ISBN 823030582X.
- Thrane, J.E. og medforfatter (2015). Spectrophotometric Analysis of Pigments: A Critical Assessment of a High-Throughput Method for Analysis of Algal Pigment Mixtures by Spectral Deconvolution. *Plos One* e0137645.

8. Vedlegg – Dateringsrapport UCL London

Report on the Radiometric Dating of Lake Sediment Core LUNDL taken from Lundebyvannet, Norway

Handong Yang
Environmental Change Research Centre
University College London

Rationale and methodology

Lead-210 (half-life is 22.3 year) is a naturally-produced radionuclide, derived from atmospheric fallout (termed unsupported ^{210}Pb). Cesium-137 (half-life is 30 years) and ^{241}Am are artificially produced radionuclides, introduced to the study area by atmospheric fallout from nuclear weapons testing and nuclear reactor accidents. They have been extensively used in the dating of recent sediments. Dried sediment samples from Lundebyvannet sediment core LUNDL were analysed for ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs and ^{241}Am by direct gamma assay in the Environmental Radiometric Facility at University College London, using ORTEC HPGe GWL series well-type coaxial low background intrinsic germanium detector. Lead-210 was determined via its gamma emissions at 46.5keV, and ^{226}Ra by the 295keV and 352keV gamma rays emitted by its daughter isotope ^{214}Pb following 3 weeks storage in sealed containers to allow radioactive equilibration. Cesium-137 and ^{241}Am were measured by their emissions at 662keV and 59.5keV (Appleby et al, 1986). The absolute efficiencies of the detector were determined using calibrated sources and sediment samples of known activity. Corrections were made for the effect of self absorption of low energy gamma rays within the sample (Appleby et al, 1992).

Results

Lead-210 Activity

Total ^{210}Pb activity reaches equilibrium depth with the supported ^{210}Pb at a depth around 25 cm of the core (Figure 1a). Unsupported ^{210}Pb activities, calculated by subtracting ^{226}Ra activity (as supported ^{210}Pb) from total ^{210}Pb activity, decline irregularly with depth (Figure 1b). The maximum unsupported ^{210}Pb activity of the core is in the sub-surface sediments (5.5 – 9.5 cm), suggesting an increase in sedimentation rates over recent years. Dips of unsupported ^{210}Pb activities in 12.5-14.5 cm and 16.5-17.5 cm, respectively, suggest increased sedimentation rates that diluted the activities.

Artificial Fallout Radionuclides

The ^{137}Cs activity versus depth profile shows a peak at around 9.5 cm (Figure 1c), which is likely to be derived from the ^{137}Cs fallout of the Chernobyl accident in 1986.

Core Chronology

Use of the CIC (constant initial concentration) model was precluded by the non-monotonic variation in unsupported ^{210}Pb activities. ^{210}Pb chronologies were calculated using the CRS (constant rate of ^{210}Pb supply) dating model (Appleby and Oldfield, 1978; Appleby, 2001). The CRS dating model places 1986 at just around 9.5 cm, which is in agreement with the depth suggested by the ^{137}Cs record. The CRS model dates 1963 to around 12.5 cm, suggesting that the 1986 fallout has obscured the 1963 peak derived from the nuclear bomb testing in the ^{137}Cs profile. Chronologies and sedimentation rates of the core were given in Table 3 and shown in Figure 2. There are some fluctuations in sedimentation rates before the 1970s, i.e. increased rates in the 1930s and 1950s-60s, respectively. There is also an increase trend in sedimentation rates over the last about two decades.

Reference

- Appleby, P G, 2001. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In W M Last and J P Smol (eds.) *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Pp171-203.
- Appleby, P G, Nolan, P J, Gifford, D W, Godfrey, M J, Oldfield, F, Anderson, N J & Battarbee, R W, 1986. ^{210}Pb dating by low background gamma counting. *Hydrobiologia*, 141: 21-27.
- Appleby, P.G. & Oldfield, F., 1978. The calculation of ^{210}Pb dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena*, 5:1-8.

Table 1. ^{210}Pb concentrations in core LUNDL taken from Lake Lundebyvannet, Norway.

Depth cm	Dry Mass g cm ⁻²	Total		Pb-210 Supported		Unsupp		Cum Unsupported Pb-210	
		Bq Kg ⁻¹	±	Bq Kg ⁻¹	±	Bq Kg ⁻¹	±	Bq m ⁻²	±
0.5	0.012	286.5	24.08	78.5	5.98	208	24.81	24.9	2.4
3.5	0.2225	274.43	14.31	81.91	3.52	192.52	14.74	446.2	38.1
5.5	0.435	320.95	26.02	78.93	5.45	242.02	26.58	905.9	59.3
7.5	0.666	323.12	26.17	80.16	5.87	242.96	26.82	1466.1	89.1
9.5	0.919	301.5	25.9	79.96	5.93	221.54	26.57	2053.3	114.8
11.5	1.2225	162	13.49	81.58	3.39	80.42	13.91	2475.9	136
12.5	1.415	121.21	15.13	86.34	3.93	34.87	15.63	2580.9	139.6
14.5	1.875	121.33	7.59	85.43	2.13	35.9	7.88	2743.6	149.2
15.5	2.138	147.6	14.53	84.69	3.86	62.91	15.03	2870.3	152.2
16.5	2.4255	100.89	5.6	88.45	1.62	12.44	5.83	2959.8	156.8
17.5	2.7205	91.21	10.56	77.35	2.96	13.86	10.97	2998.5	158.4
19.5	3.328	97.55	13.23	76.38	3.34	21.17	13.65	3103.4	170.3
21.5	3.9215	86.25	13.78	70.01	3.47	16.24	14.21	3213.7	189.3
25.5	5.031	57.62	11.29	67.92	2.99	-10.3	11.68		
31.5	6.593	63.68	11.73	65.6	2.85	-1.92	12.07		

Table 2. Artificial fallout radionuclide concentrations in core LUNDL.

Depth cm	Cs-137		Am-241	
	Bq Kg ⁻¹	±	Bq Kg ⁻¹	±
0.5	149.8	5.52	0	0
3.5	155.73	3.46	0	0
5.5	153.81	5.89	0	0
7.5	146.98	6.1	0	0
9.5	169.26	6.52	0	0
11.5	160.4	3.57	0	0
12.5	114.96	3.58	0	0
14.5	47.16	1.4	0	0
15.5	27.37	2.21	0	0
16.5	18.66	0.82	0	0
17.5	8.34	1.19	0	0
19.5	8.72	1.57	0	0
21.5	3.82	1.65	0	0
25.5	0	0	0	0
31.5	0	0	0	0

Table 3. ^{210}Pb chronology of core LUNDL taken from Lake Lundebyvannet, Norway.

Depth cm	Drymass g cm^{-2}	Chronology			Sedimentation Rate		
		Date AD	Age yr	\pm	$\text{g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	cm yr^{-1}	$\pm \%$
0	0	2017	0				
0.5	0.012	2017	0	2	0.0482	0.758	14.5
3.5	0.2225	2012	5	2	0.0453	0.535	12.1
5.5	0.435	2006	11	2	0.0301	0.272	15.5
7.5	0.666	1998	19	3	0.0228	0.189	17.7
9.5	0.919	1985	32	5	0.0168	0.12	23
11.5	1.2225	1971	46	8	0.0298	0.18	34.4
12.5	1.415	1966	51	10	0.0594	0.273	55.9
14.5	1.875	1957	60	13	0.0436	0.181	49.3
15.5	2.138	1948	69	17	0.0186	0.068	62.8
16.5	2.4255	1939	78	23	0.0716	0.246	89.1
17.5	2.7205	1934	83	26	0.0556	0.185	116.3
19.5	3.328	1917	100	36	0.0209	0.07	165.4

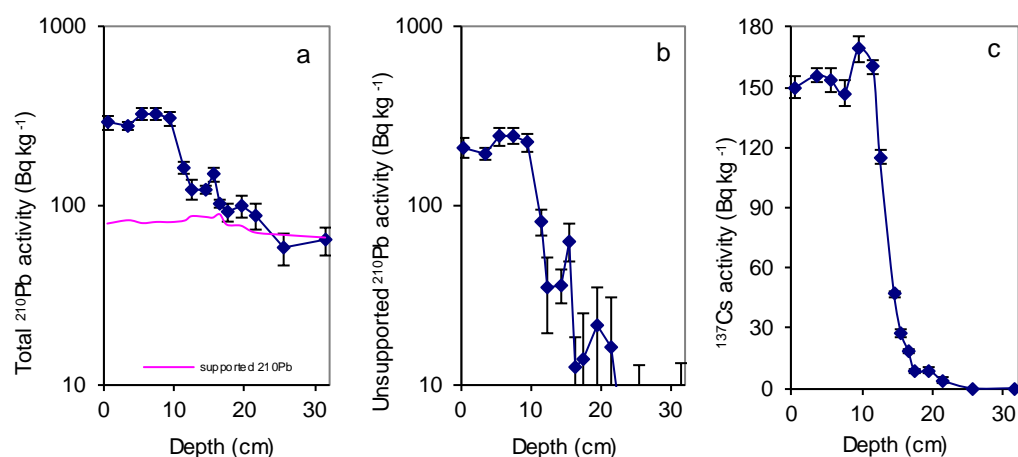


Figure 1. Fallout radionuclide concentrations in core LUNDL taken from Lake Lundebyvannet, Norway, showing (a) total ^{210}Pb , (b) unsupported ^{210}Pb and (c) ^{137}Cs concentrations versus depth.

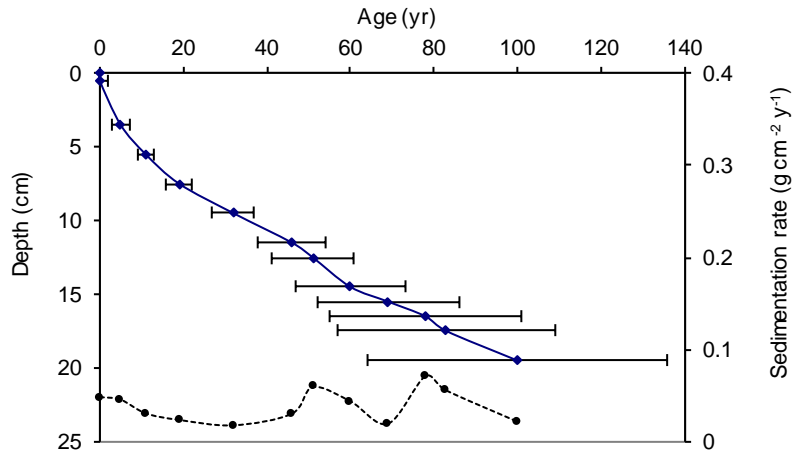


Figure 2. Radiometric chronology of core LUNDL taken from Lake Lundebyvannet, Norway, showing the CRS model ^{210}Pb dates and sedimentation rates. The solid line shows age while the dashed line indicates sedimentation rate.