



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet  
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

2017

ISSN: 2535-2806

MINA fagrapport 39

# Paleolimnologisk undersøkelse av Hersjøen (002-4158-L)

Thomas Rohrlack  
Ståle Haaland



Rohrlack, T. & Haaland, S. 2017. **Paleolimnologisk undersøkelse av Hersjøen (002-4158-L)**. - MINA fagrapport 39. 21 s.

Ås, januar 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

FORSIDEBILDE

Hersjøen om sommeren. Foto: Helge Bjørn Pedersen

OPPDRAKSGIVER

Det interkommunale samarbeidsorganet Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma

NØKKELOD

Hersjøen, vannforvaltning, fyttoplankton

KEY WORDS

Lake Hersjøen, water management, phytoplankton

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

## Sammendrag

Hersjøen (Ullensaker kommune) oppfyller ikke vanddirektivets krav om minst god økologisk status. Det er imidlertid tilknyttet en del usikkerhet til denne vurderingen siden vanddirektivets klassifiseringssystem ikke tar hensyn til de spesielle geologiske forholdene som kjennetegner Hersjøen og dens nedbørfelt. Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma ønsket derfor en rekonstruksjon av Hersjøens utvikling gjennom de siste 200 år med hjelp av paleolimnologiske metoder, dvs. med hjelp av sedimentundersøkelser.

Til tross for at Hersjøen uten tvil har en lang historie med menneskelig påvirkning, var innsjøens algemengde og algesammensetning mer eller mindre stabil til omtrent slutten av 1950-tallet. Årene etter var preget av en økning i algemengden, en veldig kraftig økning i mengden av potensiell toksiske cyanobakterier og en mulig reduksjon i oksygenivået i bunnvannet. Denne utviklingen skyldes trolig utslipp av næringsstoffer fra private avløpsanlegg, Settefiskanlegget ved Elstad, Dønnum limfabrikk og/eller Dal/Bjørtomthagen pleiehjem. Innsjøens tilstand bedret seg etter disse utslipp ble fjernet/reduert.

En kraftig forverring i vannkvalitet etter år 2000 skyldes trolig hundreårsflommen høsten 2000. Det anses som sannsynlig at flommen har tvunget Hersjøen over terskelen for interngjødsling. Dette og det varme og våte klimaet på Østlandet etter år 2000, kan forklare den langvarige økning i algemengden og mengden av cyanobakterier. Resultatene tyder på store variasjoner i algemengden, algesammensetningen og betydningen av interngjødsling etter år 2000. Dette er trolig et tegn på at innsjøens nåværende tilstand er ustabil og at Hersjøen kan være på vei mot en mer naturlig tilstand.

I den nåværende situasjon anses det som lite hensiktsmessig å sette i gang tiltak for å redusere algemengden. Innsjøens aktuelle tilstand er ustabil og trolig preget av innsjøinterne prosesser. Forvaltningen burde derfor fokusere på å overvåke næringsstoff- og algesituasjonen.

Prosjektet ble finansiert av det interkommunale samarbeidsorganet Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma, med økonomisk støtte fra Fylkesmannen i Oslo og Akershus, Akershus fylkeskommune og Vannregionmyndigheten for Glomma.

## Summary

Lake Hersjøen (Ullensaker) does not satisfy the criteria for good ecological state set by the Water Framework Directive (WFD). However, this conclusion is somewhat uncertain because the classification system of the WFD does not consider the unique geological conditions that are typical for Lake Hersjøen and its catchment. The present project therefore aimed to reconstruct the development of Lake Hersjøen during the last 200 years, utilizing paleolimnological methods.

There is little doubt that Lake Hersjøen has a long history of human impact. Despite this, phytoplankton concentration and phytoplankton composition remained more or less constant until the end of the 1950ies. The following decades brought an increase in phytoplankton concentration, a strong increase in the amount of toxigenic cyanobacteria and a possible reduction in the hypolimnion's oxygen level. This deterioration of water quality was probably caused by nutrient input from private waste water tanks, a local fish production facility (Elstad), Dønnum glue factory

and/or a Dal/Bjørtomthagen nursing home. The water quality improved after these point sources were removed/reduced.

A second reduction in water quality after the year 2000 was probably due to the dramatic flooding in autumn 2000. It seems likely that this event initiated leakage of phosphorus from the lake's sediment. This and the wet and warm climate in Eastern Norway after the year 2000 probably led to a high concentration of phytoplankton and toxigenic cyanobacteria. Considerable variations in these parameters and in the extent of phosphorus leakage from the sediment suggest that the lake's current ecological state is unstable and that water quality may improve in the near future. Water management should therefore focus on monitoring water quality rather than on initiating abatement measures.

The current project was initiated by the Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma, with financial support from Fylkesmannen i Oslo og Akershus, Akershus fylkeskommune and Vannregionmyndigheten for Glomma.

## 1. Hvorfor paleolimnologi?

Med vedtak av «Forskrift om rammer for vannforvaltning» (Kgl. res. 15.12.2006) ble EUs rammedirektivet for vann, heretter kalt vanddirektivet, implementert i Norge. Vanddirektivet 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 støtteparametere.» (Vannforskriften § 5 og vedlegg V samt klassifiseringsveileder 02:2013-revidert 2015, Miljødirektoratet 2015).

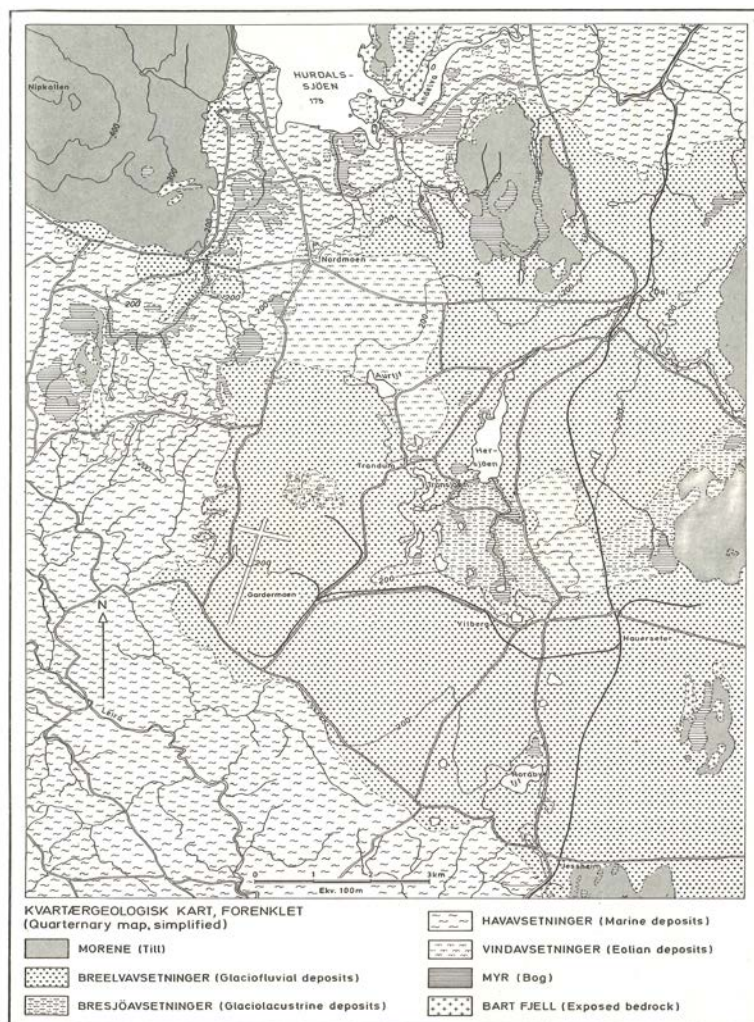
Naturtilstanden, også kalt referansetilstanden, har dermed blitt et sentralt element i norsk vannforvaltning. Det samme gjelder for grensen mellom god og moderat økologisk tilstand, som avgjør om en vannforekomst krever tiltak. Å bestemme referansetilstand og grensen mellom god og moderat tilstand for en vannforekomst, krever informasjon om hvordan tilstanden til vannforekomsten var før en mulig menneskelig påvirkning begynte. Denne informasjonen mangler for de fleste vannforekomster i Norge.

Vanddirektivet 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 gjør at vurderingene kan være usikre. Et annet og hittil uløst spørsmål er hvordan en skal 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 historiske utvikling med hjelp av paleolimnologiske metoder. Paleolimnologi er studiet av innsjøenes historie, hvordan de har utviklet seg over tid og hvilken informasjon de kan gi om miljøet rundt seg. 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.

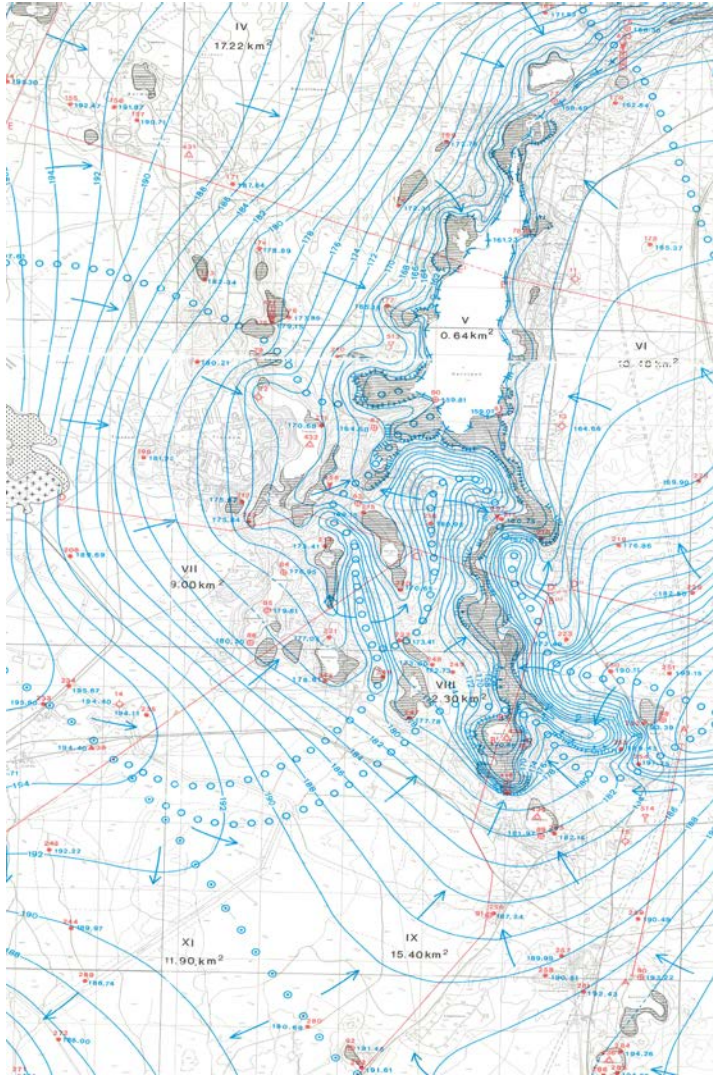
## 2. Beskrivelsen av Hersjøen

Hersjøen ligger i et område med unik geologi og hydrologi. Innsjøens nedbørfelt er preget av avsetninger av breelver, bresjøer og vind. I tillegg forekommer marine avsetninger av jernholdig sand og grus (figur 1).



Figur 1: Kvartærgeologisk kart over nærområdet til Hersjøen (omtrent i midten av kartet) (Østmo 1975)

Disse forholdene har konsekvenser for Hersjøen. Innsjøen mottar lite vann gjennom bekker eller elver. Den største tilførselen er grunnvann fra kilder og sandskrånninger rundt Hersjøen (Lindstrøm & Brettum 1985, figur 2). Det har vært mange hydrologiske og kjemiske undersøkelser i dette området som viser at infiltrasjon i løsmassene og veien til grunnvann endrer ionesammensetningen i vannet (Skarstad 1996). Vannet anrikes med metallioner, bikarbonat og sulfat. Nitrat fra jordbruksarealer og andre kilder brytes ned når vannet trenger dypere inn i løsmassene og utsettes for anoksiske forhold (Sørli & Høysæter 1994). Dette forklarer det høye jern- og kalkinnholdet i Hersjøen og det lave innholdet av plantetilgjengelig nitrogen.

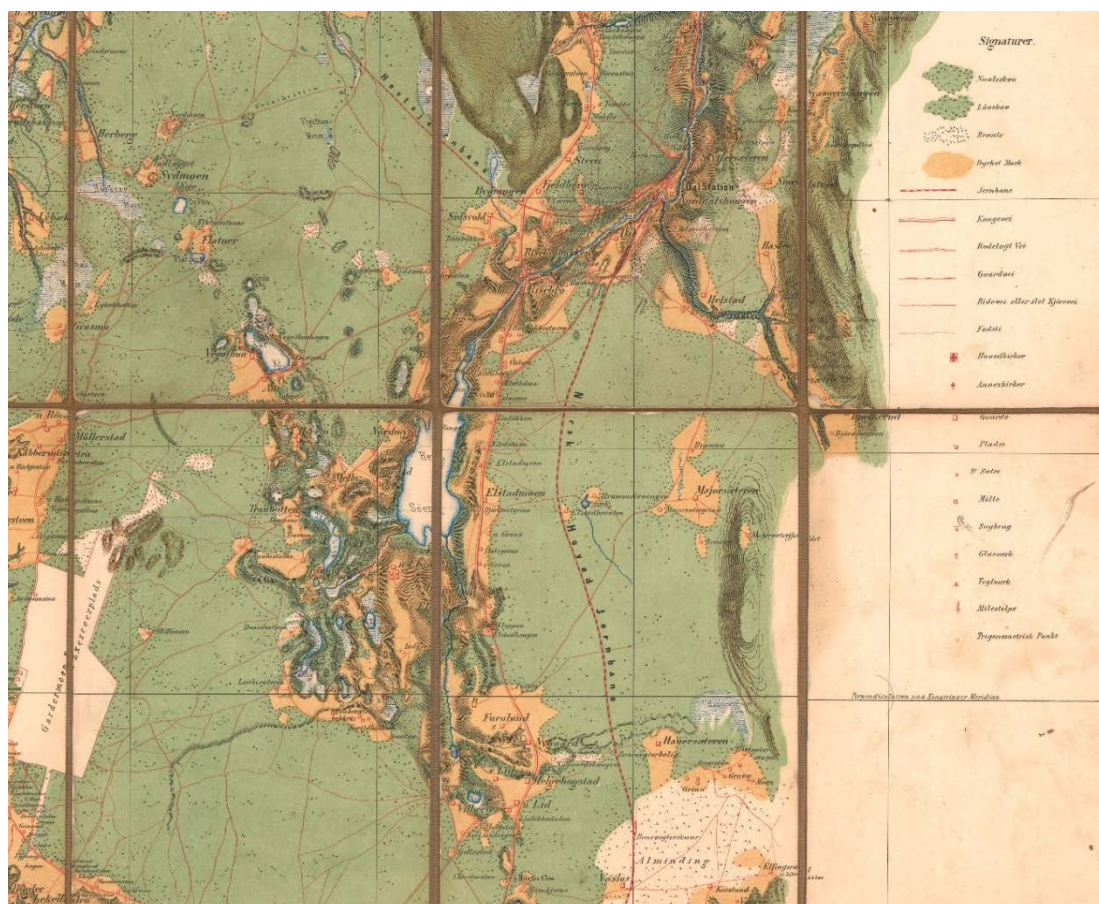


Figur 2: Grunnvannssituasjon i nedbørfeltet til Hersjøen (etter Østmo 1975)

Hersjøen har en maksimal dybde på 16,8 m og en forholdsvis kort oppholdstid på 2,5 måneder. Historiske (1962, 1983/84 - Lindstrøm & Brettum 1985) og nyere undersøkelser viser at innsjøen er termisk sjiktet hver sommer. I perioder med termisk sjiktning er anoksiske forhold i bunnvannet vanlig og det er derfor mulighet for fosfatutslipp fra sedimentet og nedbryting av nitrat i innsjøens bunnvann.

Miljøtilstandsvurderinger som er utført i regi av Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma viser at vanddirektivets krav om minst god økologisk status ikke er tilstede i dag (Lindholm 2015), blant annet pga. en for høy konsentrasjon av alger. Det er imidlertid tilknyttet en del usikkerhet til denne vurderingen. Vanddirektivets klassifiseringssystem klassifiserer ikke grunnvannspåvirkete grytehullsjøer som Hersjøen som en egen vanntype. På denne måten tar ikke vanddirektivet hensyn til de spesielle geologiske forholdene. I tillegg har forekomsten av naturlig eutrofe innsjøer i samme område ført til spørsmålet om de høye fytoplanktonkonsentrasjonene i Hersjøen kan være et resultat av naturlige prosesser. Hvis dette var tilfelle ville den høye algekonsentrasjonen gjenspeile innsjøens naturlige tilstand.

På den andre side ligger innsjøen i et område med en lang landbruks- og urbaniseringshistorie, noe som er typisk for det norske kulturlandskapet. Det er i samsvar med historiske kart som viser dyrket mark, bebyggelse, veier og militær infrastruktur i nærheten av innsjøen (figur 3, flere kart for perioden 1780 til i dag på <http://www.kartverket.no/kart/historiske-kart/>). Spørsmålet er derfor ikke om innsjøen er påvirket av mennesker, men om påvirkningen var/er kraftig nok til å endre innsjøens tilstand.



Figur 3: Kart over Hersjøens nedbørfelt anno 1859 (Statens Kartverk, lastet ned fra <http://www.kartverket.no/kart/historiske-kart/>)

Ifølge informasjon fra Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma, Fortidsminneforeningen og fra Ullensaker kommune var landbruk frem til i hvert fall 1854 preget av produksjon til lokalt forbruk. Senere førte tilgang til bedre infrastruktur og gjødsel til en intensivering av landbruket. I tillegg til landbruk har det opp gjennom tiden vært flere andre mulige kilder for menneskelig påvirkning:

- Etter etableringen av jernbanestasjonen på Dal i 1854, finnes det historiske nedtegninger om at avfall fra private eiendom (utedo) ble kjørt fra Oslo og spredd ut som jordforbedring på jordene.
- Trandum militærleir ble etablert i 1914 og ble etter 2004 (delvis) brukt som politiets utlendingsinternat. Det antas som forholdsvis usannsynlig at leiren har påvirket Hersjøen mye. Militærleiren skal ha hatt eget renseanlegg med utslipp til Transjøen. Transjøen er koblet til Hersjøen via det lokale bekkesystemet som også vil gi en ytterligere selvrensingseffekt. Det antas derfor at kloakpåvirkning fra leiren har vært av mindre betydning.



- Sessvollmoen militærleir har også vært en kilde til forurensning. De hadde et eget kloakkrenseanlegg med overløp og «renset avløp» direkte ut i Hersjøen. Det pågikk trolig fram til ca. 1982, da det ble koblet videre på offentlig kloakknnett.
- I Elstaddalen, sør for Hersjøen lå Vestlunds Fiskeoppdrett som drev med produksjon av yngel og settefisk av ørret og regnbueørret. Anlegget var i drift fra ca. 1950 til 1985. Dels var produksjonen i egnede kar og dels i jorddammer. Til tross for jevnlig slamsuging og løpende kontroller (vann) kan noe avfalls- og næringsstoff ha blitt med bekken ned mot Hersjøen, særlig mot slutten av driftsperioden.
- Dønnum limfabrikk ble etablert i begynnelsen av 1960-tallet og ble nedlagt 1995. Fabrikken lå på østsiden av innsjøen. Fabrikken anses som en mulig kilde til næringsstoffer som kan ha nådd Hersjøen, særlig før 1980. Mellom 1980 og 1988 ble avløpsvannet infiltrert i sand/silt i lokalområdet. Deretter ble avløpsvannet samlet og kjørt til renseanlegg.
- Før 1980 gikk avløpsvannet fra Dal/Bjørtomthagen pleiehjem direkte og uten nevneverdig rensing til Hersjøen. I 1980 fikk pleiehjemmet utslippstillatelse til infiltrasjon i grunn for 40 personekvivalenter. Senere ble pleiehjemmet tilknyttet kommunalt avløpsnett.
- Kloakkutslipp fra bebyggelsen i området og Hersjøen camping var en kilde til næringsstofftilførsel i sjøen spesielt i perioden ~1950- ~1990 da det ble økt bebyggelse i området (Lille Østli) og campingen ble etablert. I midten av 1980 til midten av 1990-tallet ble området (vest, nord og øst) rundt Hersjøen kloakert.
- Invasjon av vasspest kan ha gitt en nettotransport av næringsstoffer fra sediment til vann. Dette er beskrevet for Steinsfjorden i Buskerud som en mulig grunn til økning i algemengden (Rørslett og medforfatter 1984). Det er ukjent når vasspesten kom til Hersjøen, men det antas at dette har skjedd på midten av 1990-tallet.

### 3. Formål

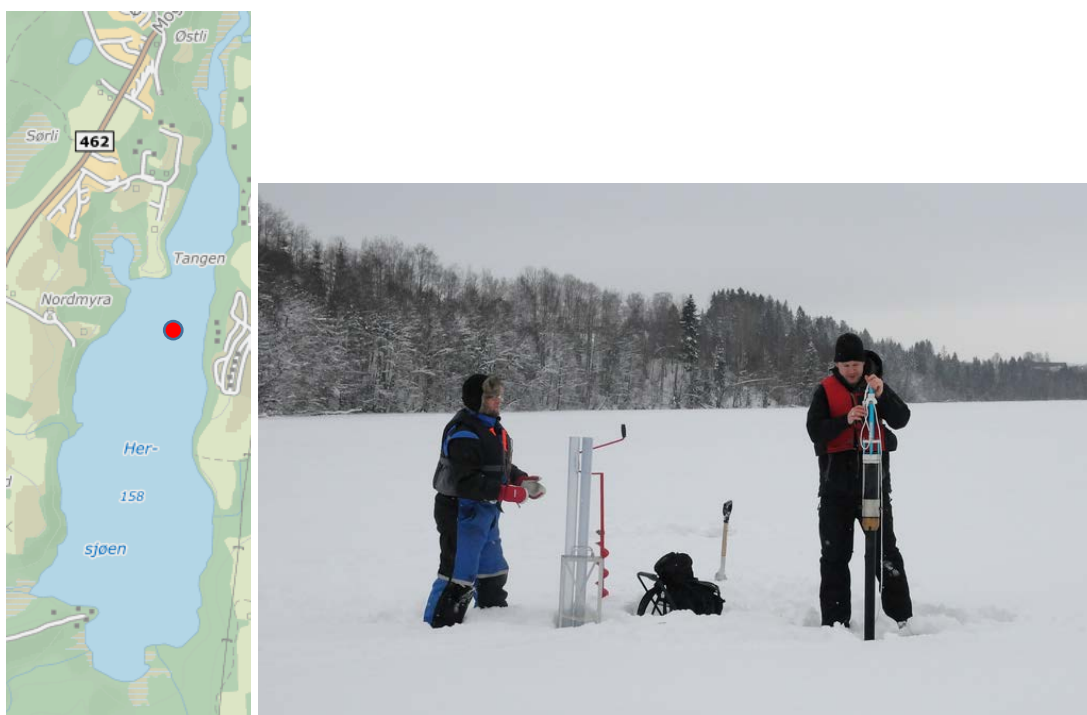
Prosjektet har hatt som hovedformål å rekonstruere Hersjøens utvikling fra 1800 og frem til i dag. Det må understrekes at det har vært menneskelig aktivitet i nedbørfeltet lenge før 1800. Men, aktiviteten var trolig lav og konstant inntil området ble utsatt for intensivering av landbruk og urbanisering. Prosjektet skulle også undersøke om mulige variasjoner i innsjøens algemengde skyldes menneskelig påvirkning som ikke kan reduseres med tiltak i nedbørfeltet (særlig global oppvarming), lokale menneskelig inngrep (urbanisering, landbruk, oppdrettsanlegg for fisk, industri) eller at det skyldes naturlige prosesser. Videre skulle det vurderes om dagens tilstand avviker fra den tilstand innsjøen hadde for omtrent 200 år siden. Hvis ikke, skulle det gis anbefalinger for en forvaltning av Hersjøen i fremtiden.

### 4. Metodikk

Det ble samlet inn 2 sedimentsøyler fra Hersjøen med en Uwitec sedimentprøvetaker. Prøvetakingsstasjonen og selve prøvetaking (12.1.2016 fra is) er vist i figur 4. Dybden ved prøvetakingsstasjon var 16,8 m. De to sedimentsøylene ble delt i sjikt på 1 cm tykkelse. Alle prøvene ble overført til plastbegre med skrulokk. Deretter ble de frysetørket. Prøver av sedimentsøylen 1 ble analysert for innhold av klorofyll og dets nedbrytningsprodukter (markør for totalmengden av alger). Andre pigmenter ble også kvantifisert for å kunne rekonstruere algesammensetningen. Metoden for

pigmentanalysen er beskrevet i Thrane et al. (2015). Her finnes det også en validering av metoden samt en usikkerhetsanalyse. Prøvene ble også analysert på fosfor (tilgang til fosfor, mulighet for utslipp fra sediment).

For å tidfeste prøvene må mengden av sedimentet som ble avsatt årlig kvantifiseres. Den ble fremskaffet ved å kvantifisere radioaktivt Cesium (Cs-137) og Americium (Am-241) i prøvene av sedimentsøyle 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 1860 og i dag. Resultatene fra analysene ble benyttet til å utvikle en matematisk modell som benyttes 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).



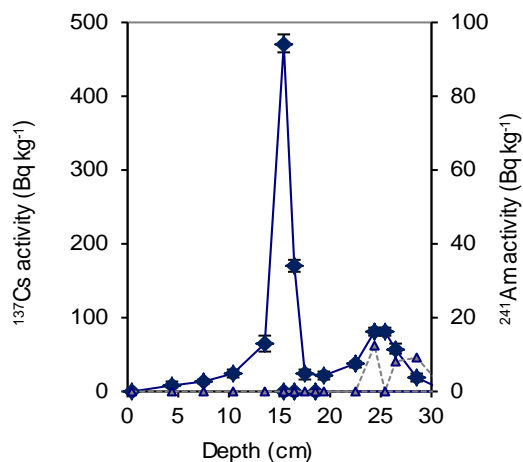
Figur 4: Prøvetakingstasjon og selve prøvetaking i Hersjøen 12.1.2016. Foto viser Ståle Haaland (til venstre, NMBU) og Thomas Rohrlack (med Uwitec sedimentprøvetaker og sedimentsøyle 1). Foto ble tatt av Helge B. Pettersen. Kartet over Hersjøen ble lastet ned fra [www.finn.no](http://www.finn.no).

## 5. Resultater

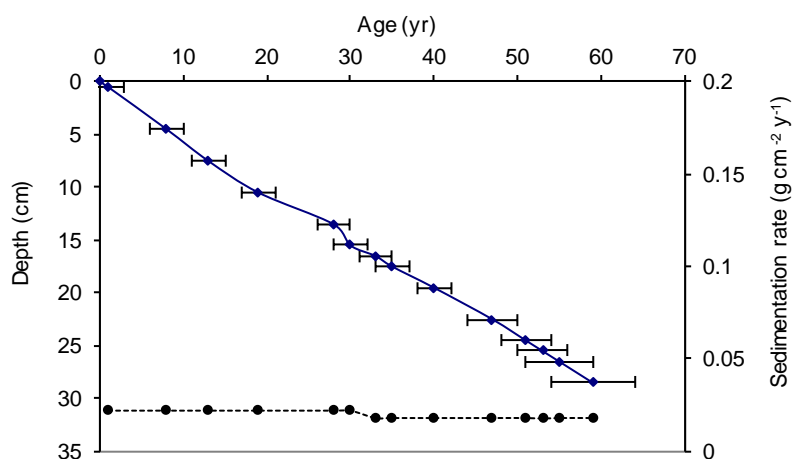
### 5.1. Dateringen av sediment prøver

Cs-137 og Am-241 analysene ga veldig gode og tydelige resultater (figur 5). Analysen av Pb-210 ble gjennomført, men ga ikke noen brukbare resultater. Grunnen er en høy radonkonsentrasjon i sedimentet til Hersjøen som forstyrrer analysen av Pb-210. Mer informasjon om dette finnes i vedlegg 1. Etter anbefaling fra ekspertene fra UCL, ble Cs-137 og Am-241 benyttet til å utarbeide et matematisk modell for beregning av alderen av sedimentprøvene, som en funksjon av avstand fra sedimentets overflate. Modellen er vist i figur 6. Modellen gir nøyaktige resultater for sedimenter som ble avsatt etter 1962/63. For eldre sedimenter øker usikkerheten av dateringen

med avstand fra 1963. Tidsaksen som ble brukt for å fremstille resultatene i denne rapporten må derfor anses som noe usikker når det gjelder tidsperioden før 1962/63.



Figur 5: Resultater av Cs-137 og Am-241 analysen. X-aksen viser avstand fra sedimentets overflate. Y-aksene viser mengden av stoffene målt i radioaktivitet per kg sediment. Toppene representerer Tsjernobyl-ulykken (15cm) og de siste nukleære prøvesprengninger i atmosfæren (23/24 cm). Resultater fra UCL.



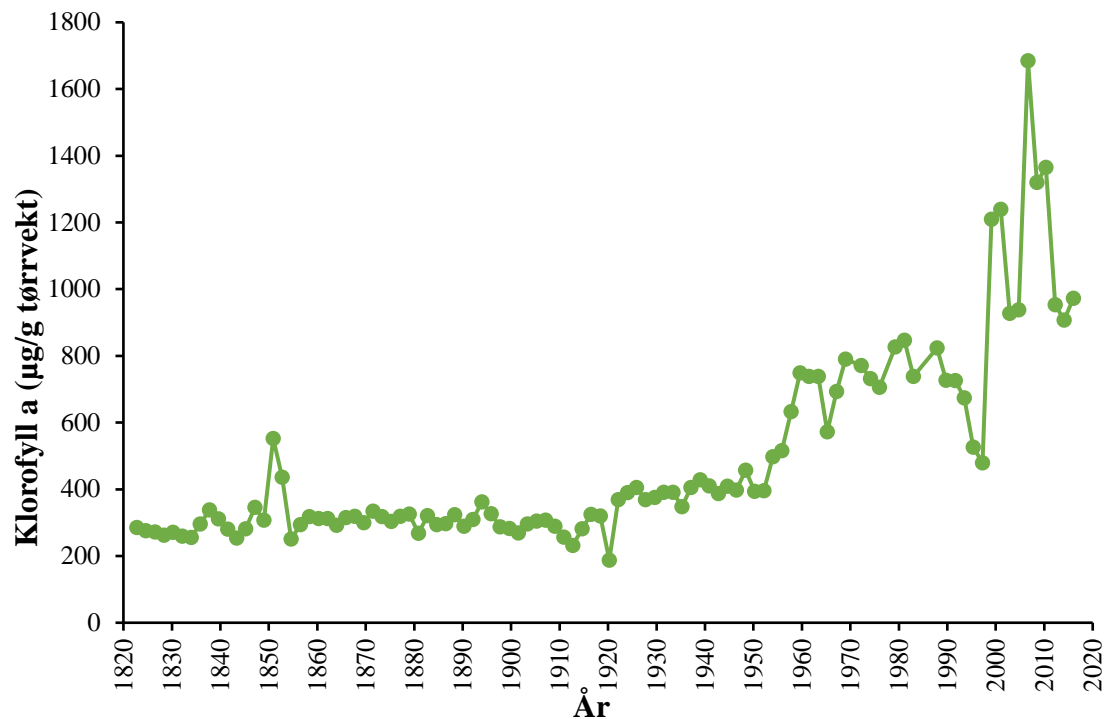
Figur 6: Modell som beregner alderen av sediment som funksjon av avstand fra sedimentets overflate. I tillegg er sedimentasjonsraten vist. Resultater fra UCL.

## 5.2. Algemengden og - sammensetningen i Hersjøen

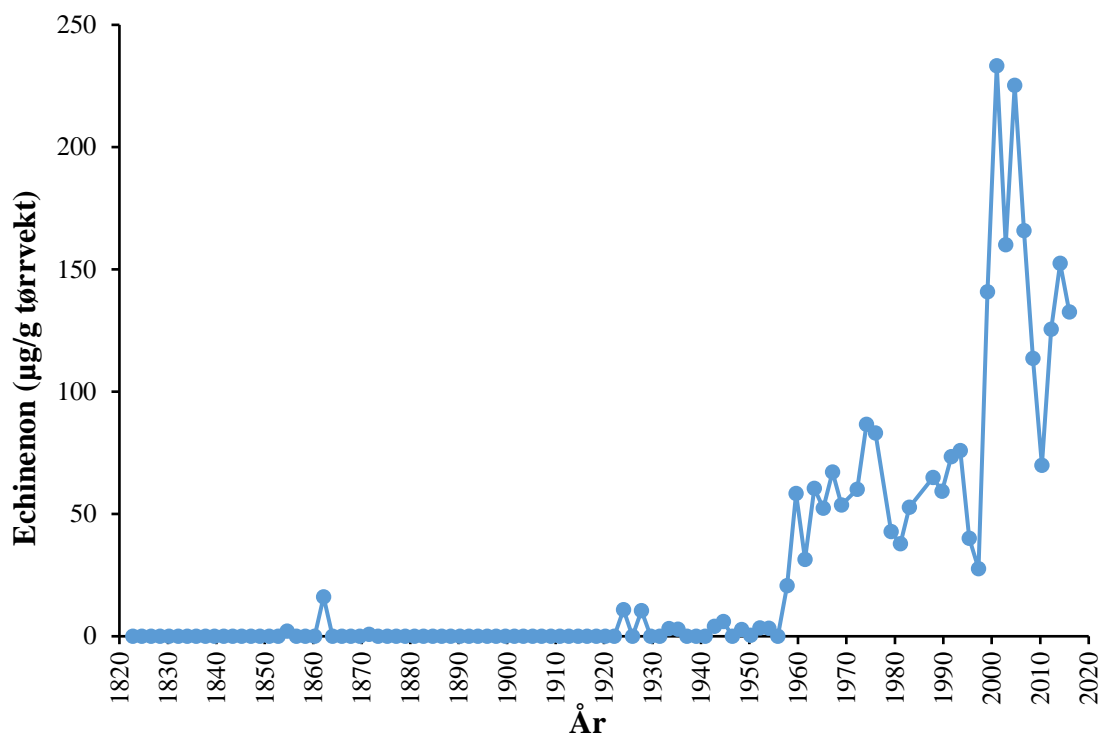
Sedimentprøvene tillater å rekonstruere algemengden i Hersjøen for perioden 1820 til 2016. Den totale algemengden ble målt som klorofyll a-konsentrasjon i sedimentet (beregnet som summen av klorofyll a og dets nedbrytningsprodukt pheophytin a). Resultatene er vist i figur 7. Det er tydelig at konsentrasjon av alger var omtrent konstant mellom 1820 og 1950. En økning etter 1950 og forholdsvis høye konsentrasjoner mellom 1960 og begynnelsen av 1990-tallet tyder på en menneskelig påvirkning i denne perioden. Lavere verdier i de påfølgende år antyder at denne påvirkning var midlertidig. År 2000 markerer en kraftig økning i algemengden og begynnelsen av en periode med store variasjoner på et høyt nivå.

Perioden etter 1960 var ikke bare preget av en forhøyet totalmengde av alger, men også av en endret algesammensetning. Dette underbygges av store forskjeller i

mengden av pigmenter som produseres kun av visse algegrupper (se vedlegg 2). Viktigst i denne sammenhengen er den kraftige økningen i mengden av echinenon, som produseres av visse potensielt toksiske cyanobakterier (figur 8). Denne økningen etter 1960 støtter påstanden at menneskelig påvirkning av innsjøen var kraftig nok til å endre dens økologisk tilstand.



Figur 7: Rekonstruksjon av algemengden i Hersjøen mellom 1820 og 2016. Algemengden ble målt som klorofyll a-konsentrasjon i sedimentprøvene.



Figur 8: Forekomsten av cyanobakterier (blågrønne alger) i Hersjøen. Her målt som mengden av pigmentet echinenon i sedimentprøvene. Pigmentet forekommer kun i cyanobakterier.

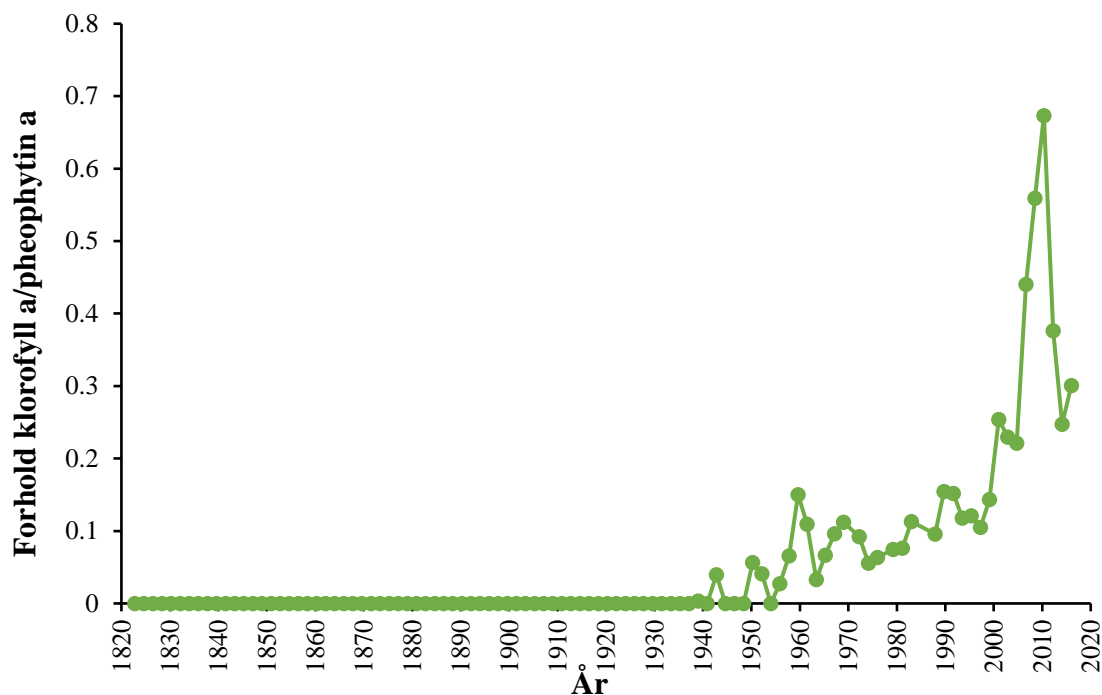
### 5.3. Mulig interngjødsling i Hersjøen

Som nevnt er Hersjøen termisk sjiktet om sommeren. I en slik situasjon er bunnvannet avskåret fra atmosfæren og får ikke tilført oksygen. I innsjøer med mye alger kan nedbrytning av organisk substans derfor føre til at bunnvannet tømmes helt for oksygen, særlig når bunnvannet samtidig tilføres jernrikt grunnvann. Slike anoksiske forhold kan sette i gang utslipp av algetilgjengelig fosfat fra sediment. Dette kan føre til en økning i mengden, noe som ytterligere øker sannsynlighet for fosfatutslipp fra sediment. Denne selvforsterkende prosessen er kjent som interngjødsling. Den gjør algene mindre avhengig av fosfortilførsel fra nedbørfelt og dermed reduserer muligheten for å kunne påvirke mengden med tiltak utenfor innsjøen.

Anoksiske forhold påvirker pigmentsammensetningen i sedimentet. Når algeceller dør, begynner nedbrytningen av klorofyll a til pheophytin a, og denne prosessen forsetter i sedimentet inntil klorofyll a er fullstendig omdannet. Hastigheten av nedbrytningen øker med tilgang til oksygen i bunnvann. Mengden av klorofyll a i sedimentet i forhold til mengden av pheophytin a kan derfor benyttes til å estimere betydningen av anoksiske forhold i bunnvannet.

Sedimentprøver fra perioden 1960 til i dag er forholdsvis rike på klorofyll a (figur 9). Forholdet mellom klorofyll a og pheophytin a viser store svingninger med høye verdier særlig etter 2000. Dette tyder på at anoksiske forhold i bunnvann var vanlig etter 1960 og særlig viktig etter 2000. En uvanlig lav konsentrasjon av fosfor i sediment tyder på at anoksiske forhold i bunnvann kan ha ført til utslipp av fosfat fra sediment fra 2000 til omtrent 2010. Resultatene i figur 9 og 10 antyder en bedring

etter 2010, men det er vanskelig å fastslå den aktuelle betydningen av interngjødslingen.



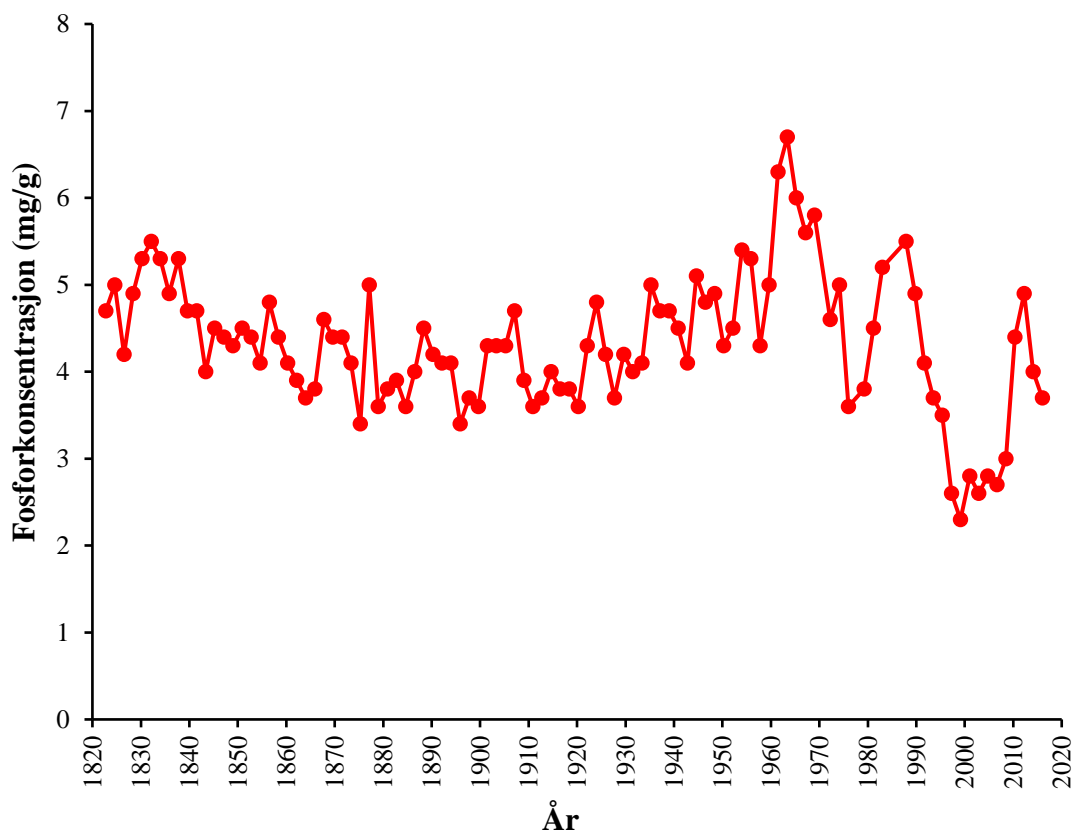
Figur 9: Forholdet mellom klorofyll a og dens nedbrytningsprodukt pheophytin a, som kan benyttes til å estimere sannsynligheten for at bunnvann var utsatt for anoksiske forhold.

## 6. Konklusjoner og anbefalinger

Resultatene av den paleolimnologisk undersøkelsen av Hersjøen viser tydelig at innsjøens nåværende tilstand avviker fra dens naturlige tilstand.

Til tross for at innsjøen uten tvil har en lang historie med menneskelig påvirkning, var algemengde og algesammensetning mer eller mindre stabil til omtrent slutten av 1950-tallet. Årene etter var preget av en økning i algemengden, en veldig kraftig økning i mengden av potensiell toksiske cyanobakterier og en mulig reduksjon i oksygenivået i bunnvannet. Situasjonen var forholdsvis stabil til begynnelsen av 1990-tallet. Mellom 1990 og 2000 var det en kort periode med lavere mengder av alger og cyanobakterier. Dette mønster forklares best med næringsstofftilførsel fra en eller flere punktkilder som oppstod sent på 1950-tallet, og som ble fjernet/reduert tidlig på 1990-tallet. Ut fra tidsforløpet er det mest sannsynlig at tilførsler må ses i sammenheng med utslipp fra private avløpsanlegg, Settefiskanlegget ved Elstad, Dønnum limfabrikk og/eller Dal/Bjørtomthagen pleiehjem.

Den kraftige økning i mengden av alger og cyanobakterier i omtrent år 2000 og de høye konsentrasjonene i de påfølgende årene, er vanskelig å forklare med menneskelig aktiviteter i nedbørfelt til Hersjøen. Åpningen av Gardermoen flyplass passer tidsmessig. Men, all tilgjengelig informasjon fra Ullensaker kommune og flere geologiske undersøkelser, tyder på at manipulasjon av grunnvannssituasjon har ført til at flyplassen nå ligger utenfor Hersjøens nedbørfelt. Det er derfor lite sannsynlig at Hersjøen påvirkes av flyplassen. Det støttes også av målinger i perioden 2012-2014 som viste svært god vannkjemisk tilstand i Elstadbekken (Lindholm 2015).



Figur 10: Konsentrasjon av fosfor i sediment.

Det er mer sannsynlig at endringene i innsjøens tilstand etter omtrent år 2000, skyldes hundreårsflommen høsten 2000. En slik flom øker næringsstofftilførsel og kan føre til en langvarig økning i mengden (beskrevet for eksempel for Vansjø i Østfold, se Skarbøvik og medforfatter 2009). Det er mulig at flommen har tvunget Hersjøen over terskelen for interngjødsling. Dette og det varme og våte klimaet på Østlandet etter år 2000, kan forklare den langvarige økning i mengden og mengden av cyanobakterier. Resultatene tyder på store variasjoner i mengden, algesammensetningen og betydningen av interngjødsling etter år 2000. Dette er trolig et tegn på at innsjøens nåværende tilstand er ustabil og at Hersjøen kan være på vei mot en mer naturlig tilstand.

Prosjektet har ikke funnet bevis for at innsjøens tilstand ble eller er påvirket av utslipp fra tilgrensede landbruksarealer i stor grad. Med sikte på et fremtidig klima med mer nedbør, og ditto mer utvasking av næringsstoffer fra nedbørfeltet, bør bruken av gjødsel likevel begrenses og tilførsler av næringsstoffer fra landbruk holdes lave. Målinger av både vannkjemi og biologi viser at det kommer litt for mye næringsstoffer til Hersjøen via Bjørtombekken, som er i «moderat» økologisk tilstand (Lindholm 2015, Norconsult unpubl. data ) og derfor krever oppfølgende tiltak uansett.

Resultatene avklarer ikke om invasjon av vasspest har hatt effekt på mengden og algesammensetningen i Hersjøen. Invasjonen av Hersjøen koinciderte omtrent med økning i mengden etter året 2000. Men ut fra undersøkelser i Steinsfjorden må det antas at det kreves ekstremt store mengder av vasspest for å gi en merkbar økning i vannets mengden (Rørslett og medforfatter 1984). Det er uklart om mengden av vasspest i Hersjøen er stor nok til å påvirke mengden.

I den nåværende situasjon anses det som lite hensiktsmessig å sette i gang tiltak for å redusere algemengden. Innsjøens aktuelle tilstand er ustabil og trolig preget av innsjøinterne prosesser. Forvaltningen burde derfor fokusere på å overvåke næringsstoff- og algesituasjonen. Intergjødsling og klimaendringer har en stabiliserende effekt på cyanobakterier. Det kan derfor ikke garanteres at innsjøen vender tilbake til dens naturlige tilstand på lenge ennå. Faren for oppblomstringer av toksinproduserende cyanobakterier er derfor gitt også i fremtiden og det anbefales at algetoksinet microcystin måles i perioder med mye cyanobakterier i vannet.

De her foreliggende paleolimnologiske undersøkelser og vurderingen av innsjøens tilstand som ble utført med hjelp av Vanndirektivets klassifiseringssystem kom frem til at Hersjøen ikke er i sin naturlige tilstand. Dette tyder på at Vanndirektivets klassifiseringssystem kan brukes i forvaltning av Hersjøen. På den andre siden omfatter Vanndirektivets klassifiseringssystem ikke vanntypen «sterkt grunnvannspåvirkede grytehullsjøer» eller noe lignede. Det anbefales derfor at Vanndirektivets klassifiseringssystem anvendes på en omtentksom måte som også ta hensyn til den spesielle geologien av innsjøen.

## 7. Referanser

- Lindholm, M. (2015) Tilstandsklassifisering av vannforekomster i Vannområde Hurdalsvassdraget/Vorma 2011, 2012 og 2014. NIVA RAPPORT L.NR. 6814-2015
- Lindstrøm, E.A., Brettum, P. (1985): Hersjøen og Risa i Akershus - Biologisk begrunnet vannkvalitetsvurdering 1983-84. NIVA-rapport 1751
- Miljødirektoratet (2015): Klassifisering av miljøtilstand i vann. Klassifiseringsveileder 02:2013 – revidert 2015
- Rørslett, B., Berge, D., Erlandsen, A., Johansen, S., Brettum, P. (1984): Vasspest i Steinsfjorden, Ringerike. Innvirkning på vannkvalitet 1978-83 og behov for tiltak. NIVA-rapport;1582.
- Skarbøvik, E. og medforfatter (2010): Overvåking Vansjø/Morsa 2008-2009: Resultater fra overvåking av innsjøer, elver og bekker i perioden oktober 2008 - oktober 2009. Bioforsk Rapport Vol. 5 Nr. 12 2010.
- Skarstad, B. (1996): Undersøkelse av løsmassene på Moreppen, Gardermoen – fysisk sammensetning, mineralogi og vannkjemi. Hovedoppgave NLH
- Sørli, K., Høysæter, T. (1994): Gunnvannsforurensning og arealbruk på Gardermoen – spesielt med hensyn på nitratforurensning. Hovedoppgave NLH
- 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.
- Østmo, S.R. (1976): Hydrologisk kart over Ovre Romerike: grunnvann i løsavsetninger mellom Jessheim og Hurdalssjøen. – M. 1:20000, Norges geologiske undersøkelser



## 8. Vedlegg – Dateringsrapport UCL London

### Report on the Radiometric Dating of Lake Sediment Cores HESN Taken from Hersjoen, 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  $^{210}\text{Pb}$ ). Cesium-137 (half-life is 30 years) and  $^{241}\text{Am}$  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 lake sediment core taken from Hersjoen were analysed for  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{241}\text{Am}$  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 (Appleby et al, 1986). Lead-210 was determined via its gamma emissions at 46.5keV, and  $^{226}\text{Ra}$  by the 295keV and 352keV gamma rays emitted by its daughter isotope  $^{214}\text{Pb}$  following 3 weeks storage in sealed containers to allow radioactive equilibration. Cesium-137 and  $^{241}\text{Am}$  were measured by their emissions at 662keV and 59.5keV. 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*

$^{226}\text{Ra}$  activities are unusually high in the sediments of the core. In sediments below 50 cm, mean total  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{226}\text{Ra}$  activities are 2109 Bq kg<sup>-1</sup> and 1805 Bq kg<sup>-1</sup>, respectively, where total  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{226}\text{Ra}$  activities should be in equilibrium based on the  $^{137}\text{Cs}$  record. The total  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{226}\text{Ra}$  data suggest that there may be problem in efficiency calibration with the high  $^{226}\text{Ra}$  activities, or a small  $^{222}\text{Rn}$  leak. Therefore, the total  $^{210}\text{Pb}$  and/or  $^{226}\text{Ra}$  data may not be right.

##### *Artificial Fallout Radionuclides*

The  $^{137}\text{Cs}$  activity versus depth profile shows two well resolved peak at 15.5 and 25.5 cm (Figure 1c), which were derived from the 1986 Chernobyl accident fallout and the 1963 maximum fallout of the atmospheric testing of nuclear weapons,

respectively. detected  $^{241}\text{Am}$  activities between 24 and 29 cm confirm the small  $^{137}\text{Cs}$  peak at 25.5 cm was from nuclear bomb testing.

### **Core Chronology**

Since the current measured unsupported  $^{210}\text{Pb}$  activities of the core may not be right, it is not proper to use the data for  $^{210}\text{Pb}$  dating. The  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{241}\text{Am}$  records of the core provide two dating markers for 1963 and 1986. Chronologies and sedimentation rates were calculated based on these two time markers and it is assumed that sedimentation rates are constant within these two individual periods (i.e. 1963-1986 and 1986-2016), and the results are given in Table 2 and shown in Figure 2.

### **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, Richardson, N, Nolan, P J, 1992. Self-absorption corrections for well-type germanium detectors. *Nucl. Inst. & Methods B*, 71: 228-233.
- Appleby, P G, Nolan, P J, Gifford, D W, Godfrey, M J, Oldfield, F, Anderson, N J & Battarbee, R W, 1986.  $^{210}\text{Pb}$  dating by low background gamma counting. *Hydrobiologia*, 141: 21-27.
- Appleby, P.G. & Oldfield, F., 1978. The calculation of  $^{210}\text{Pb}$  dates assuming a constant rate of supply of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  to the sediment. *Catena*, 5:1-8.

Table 1. Artificial fallout radionuclide concentrations in core HESN taken from Hersjoen, Norway.

Depth cm	Dry mass g cm <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>	Cs-137		Am-241	
		Bq Kg <sup>-1</sup>	±	Bq Kg <sup>-1</sup>	±
0.5	0.018	0	0	0	0
4.5	0.17	7.86	4.08	0	0
7.5	0.2955	12.67	3.44	0	0
10.5	0.429	22.85	5.25	0	0
13.5	0.567	63.72	9.84	0	0
15.5	0.6605	469.67	12.26	0	0
16.5	0.708	168.98	7.14	0	0
17.5	0.7555	22.71	6.51	0	0
19.5	0.842	20.47	6	0	0
22.5	0.959	35.53	4.59	0	0
24.5	1.033	79.41	4.97	12.06	2.73
25.5	1.068	79.35	5.35	0	0
26.5	1.103	56.53	7.23	7.92	4.15
28.5	1.173	17.3	5.42	8.69	3.74
31.5	1.291	0	0	0	0
34.5	1.4155	0	0	0	0
37.5	1.582	0	0	0	0
40.5	1.7575	0	0	0	0
43.5	1.943	0	0	0	0
46.5	2.1395	0	0	0	0
49.5	2.3255	0	0	0	0
54.5	2.631	0	0	0	0
58.5	2.8833	0	0	0	0
62.5	3.1505	0	0	0	0
67.5	3.5	0	0	0	0
72.5	3.8636	0	0	0	0
75.5	4.081	7.74	1.53	0	0
80.5	4.4323	0	0	0	0
85.5	4.7776	0	0	0	0
90.5	5.1331	0	0	0	0
95.5	5.502	0	0	0	0
99.5	5.7979	0	0	0	0

Table 2.  $^{137}\text{Cs}$  chronology of core HESN taken from Hersjoen, Norway (assuming constant sedimentation rates within  $^{137}\text{Cs}$  dated sections).

Depth cm	Drymass $\text{g cm}^{-2}$	Chronology			Sedimentation Rate	
		Date AD	Age yr	$\pm$	$\text{g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	$\text{cm yr}^{-1}$
0	0	2016	0			
0.5	0.018	2015	1	2	0.022	0.56
4.5	0.17	2008	8	2	0.022	0.58
7.5	0.2955	2003	13	2	0.022	0.54
10.5	0.429	1997	19	2	0.022	0.4
13.5	0.567	1988	28	2	0.022	0.45
15.5	0.6605	1986	30	2	0.022	0.6
16.5	0.708	1983	33	2	0.018	0.4
17.5	0.7555	1981	35	2	0.018	0.43
19.5	0.842	1976	40	2	0.018	0.42
22.5	0.959	1969	47	3	0.018	0.45
24.5	1.033	1965	51	3	0.018	0.5
25.5	1.068	1963	53	3	0.018	0.5
26.5	1.103	1961	55	4	0.018	0.5
28.5	1.173	1957	59	5	0.018	0.48

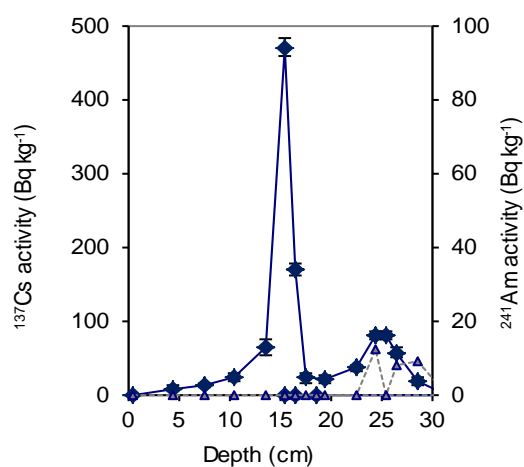


Figure 1. Fallout radionuclide concentrations in core HESN taken from Hersjoen, Norway, showing  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{241}\text{Am}$  concentrations versus depth.

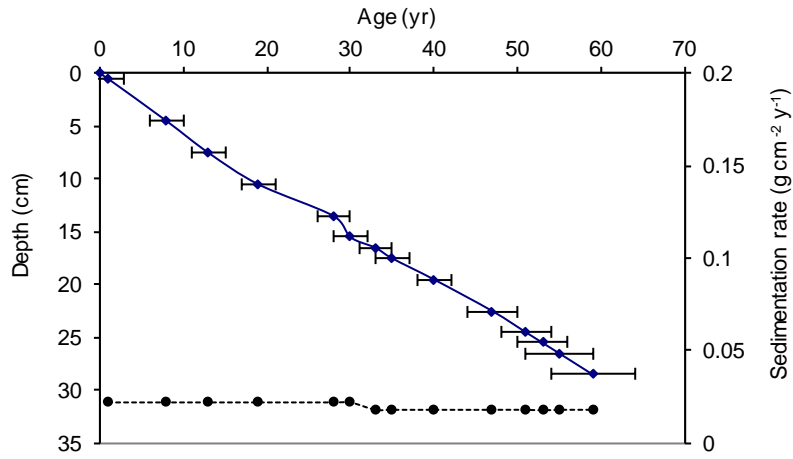


Figure 2. <sup>137</sup>Cs chronology of core HESN taken from Hersjoen, Norway (assuming constant sedimentation rates within <sup>137</sup>Cs dated sections). The solid line shows age while the dashed line indicates sedimentation rate.