

Bærumsbassenget

Et naturlig anoksisk basseng?



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Bærumsbassenget et naturlig anoksisk basseng ?	Løpenr. (for bestilling) 5735-2009	Dato 1-3.2009
	Prosjektnr. Undernr. 27188	Sider Pris 30
Forfatter(e) Elisabeth Alve, UiO Aud Helland Jan Magnusson	Fagområde MØ	Distribusjon Fri
	Geografisk område Akershus	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Bærum kommune	Oppdragsreferanse B. Aase
-----------------------------------	------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Formålet med undersøkelsen var å få kartlagt hvorvidt Bærumsbassenget er naturlig anoksisk og i så tilfelle i hvilken grad.</p> <p>Aldersdatering av sedimentkjerner samt analyser av foraminiferer tyder på at Bærumsbassenget er et naturlig anoksisk basseng. På 25 meters vanddyb til bunn var det overveiende anoksiske forhold på midten av 1700-tallet, men forholdene har siden forverret seg med overveiende anoksiske forhold opp til 20 m i begynnelsen av 1800-tallet. Foraminiferfaunaen avspeiler at bunnforholdene på 16 m vanddyb var godt oksygenerte på begynnelsen av 1900-tallet. Hydrografiske tidsserier viser at forholdene på 16 meters dyp har vært overveiende oksiske (70 % av året) og overveiende anoksiske på 20 meters dyp (ca. 65 % av året) siden 1960-tallet. Den negative utviklingen på intermediære vanddyb i første halvdel av 1900-tallet kan være en fortsettelse av den negative utviklingen som bassenget har gjennomgått de siste to til tre hundre år. Utviklingen mot dårligere oksygenforhold kan også ha blitt forsterket av forurensning.</p> <p>Bassengets naturtilstand (ofte definert som forholdene på 1800-tallet) er således oksygenfritt vann fra ca 20 meters dyp til bunn, unntatt i kortere perioder etter dypvannsfornyelser (vinterstid). Bare "fjordforbedringstiltak" kan endre denne situasjonen. Derimot kan oksygenforholdene sannsynligvis bli noe bedre fra omkring 16 meters dyp til bassengets terskeldyp (ca. 13 m). Det er i dag uklart om det er nok med lokale tiltak eller om den dårlige situasjonen på 16-20 m vanddyb skyldes forhold utenfor Bærumsbassenget.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Oksygenforhold Sedimenter Foraminiferer Miljøstratigrafi 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Oxygen conditions Sediments Foraminifera Environmental stratigraphy
--	---



Jan Magnusson
Prosjektleder



Dominique Durand
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

Bærumsbassenget et naturlig anoksisk basseng ?

Prosjektleder: Jan Magnusson

Medarbeidere: Elisabeth Alve, UiO
Aud Helland, NIVA (nå Rambøll AS)

Norsk institutt for vannforskning

Forord

Denne rapport er utarbeidet etter forespørsel fra Bærum kommune v. Brit Aase. Arbeidet er gjennomført av NIVA i samarbeid med Universitetet i Oslo. Finansieringen av arbeidet er delt mellom Bærum kommune, NIVA og UiO.

På feltarbeidet i 2007 ble Universitetets forskningsfartøy ”FF Trygve Braarud” brukt. Vi takker skipper Sindre Holm og mannskap for godt samarbeid.

Aud Helland, Rambøll AS (tidl. NIVA) har hatt ansvaret for aldersdatering og feltarbeid. Elisabeth Alve (UiO) har hatt ansvaret for feltarbeid og foraminiferanalyser og har sammen med Helland vurdert sedimentene.

Oslo, 1.3.2009

Jan Magnusson

Innhold

1. Innledning	5
1.1 Bakgrunn for undersøkelsene	5
1.2 Formål	5
1.3 Områdebeskrivelse	5
1.4 Miljøstratigrafiske analyser og bentiske foraminiferer	11
2. Materiale og metoder	12
2.1 Feltarbeid	12
2.2 Analyser	17
3. Resultater og diskusjon	17
3.1 Aldersdatering basert på ^{210}Pb og ^{137}Cs	17
3.2 Tolkninger basert på foraminiferfauna	19
4. Konklusjoner og anbefalinger	22
4.1 Utvikling av oksygenforholdene over tid	22
4.2 Årsaken til anoksia og vurderinger av tiltak	22
5. Referanser	23
6. Vedlegg	24
6.1 Vanninnhold kjerne St. 2 og St. 3	24
6.2 Aldersdatering basert på ^{210}Pb og ^{137}Cs	25
6.3 Faunadata	36

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for undersøkelsene

Bærumsbassenget (Figur 1) er i dag et delvis anoksisk basseng, og det er bare i forbindelse med dypvannsfornyelser vinterstid det observeres oksygen helt til bunnen. Hvert år er det normale at oksygenet mellom ca. 12 og 16 meters dyp og bunnen blir brukt opp og det dannes hydrogensulfid i vannmassene. Hydrogensulfid er en dødelig gift for de fleste høyere marine organismer, dvs. det finnes normalt sett ikke noe dyreliv på disse dypene.

Bærumsbassenget er et av de områdene i indre Oslofjord som har hatt den klart mest positive utviklingen siden midten av 1980-tallet, da det ble bygget avskjærende tunneler langs sjøen for transport av avløpsvann til VEAS. Forbedringen kan ses i overflatelaget med økt forekomst av planter og dyr i gruntvannsområdene, bedre siktdyp og mindre planteplanktonbiomasse sommerstid. Imidlertid er det ikke mulig å se en tilsvarende forbedring i dypvannet, noe som for eksempel er tilfellet i Vestfjorden. Årsaken kan være at belastningen på tross av reduserte forurensningstilførsler fra den kommunale kloakken fortsatt er for stor, alternativt at Bærumsbassenget er så innelukket at det av naturlige årsaker ikke blir bedre. Sett ut fra mulighetene for ytterligere tiltak, spesielt i forbindelse med Vanddirektivet, er det viktig å få kjennskap til om årsaken til situasjonen er naturlig eller menneskeskapt.

1.2 Formål

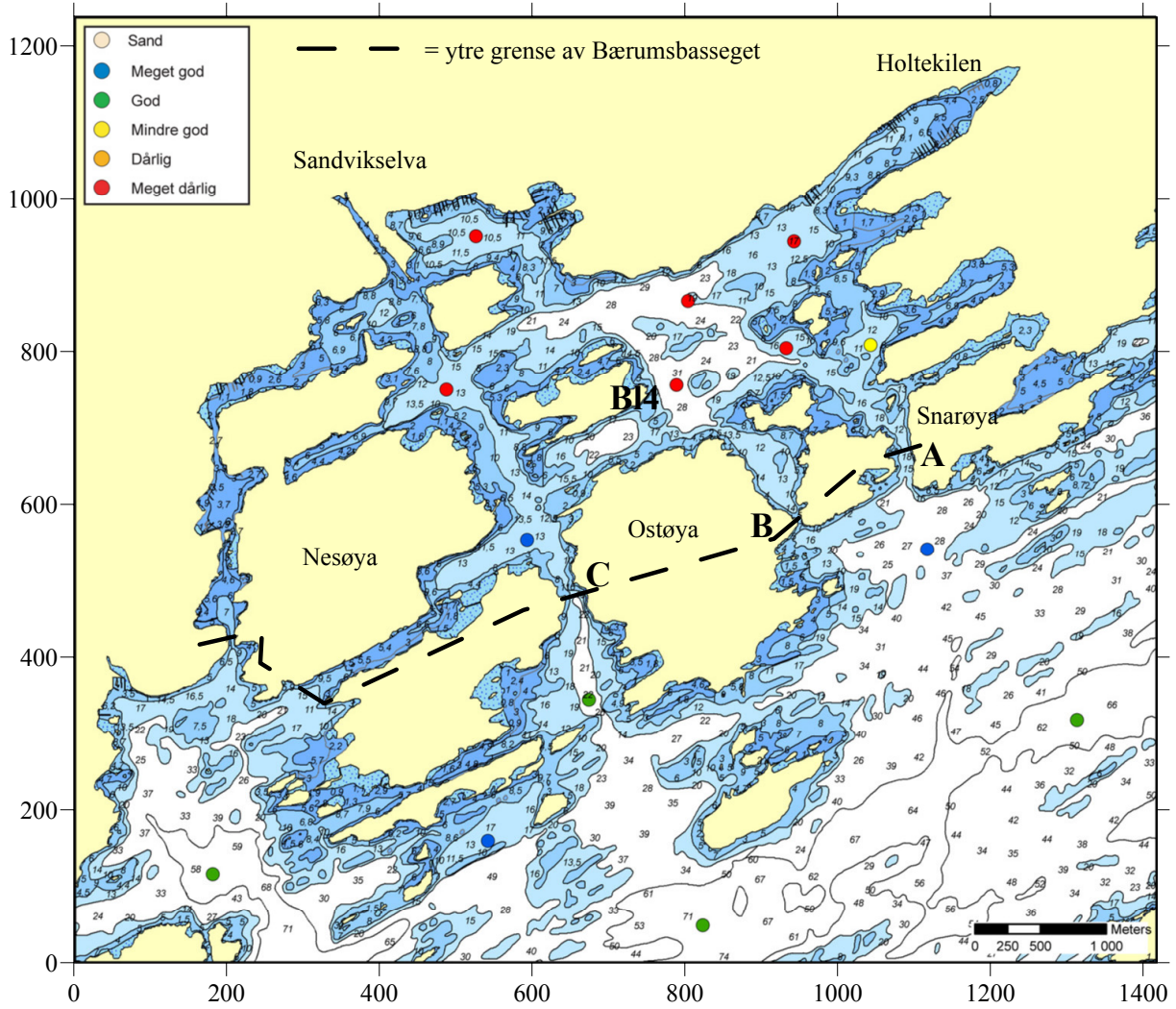
Formålet med undersøkelsen var å få kartlagt hvorvidt Bærumsbassenget er naturlig anoksisk og i så tilfelle i hvilken grad, dvs kan hele eller deler av dagens oksygensituasjon i bassenget forklares med dagens belastning? Med kjennskap til Oslofjordens forurensningshistorie var målet å skaffe til veie minst en sedimentkjerne som ville gi informasjon om oksygenforholdene tilbake til slutten av 1800-tallet.

1.3 Områdebeskrivelse

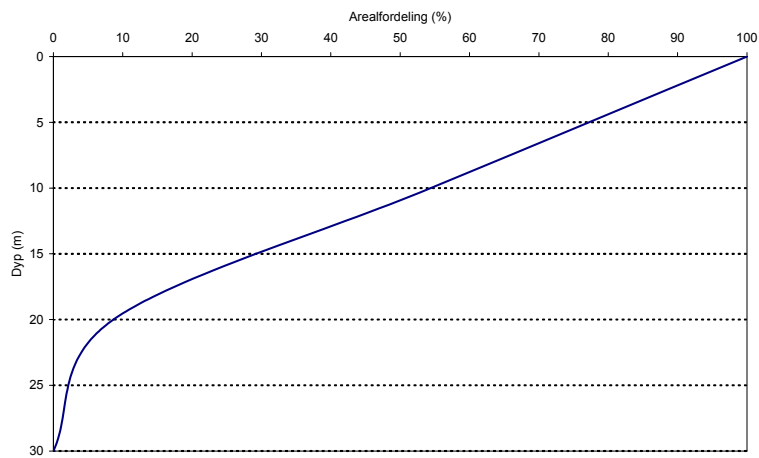
Bærumsbassenget har et volum på $102.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ og et areal på $9.12 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ (Munthe-Kaas, 1967). Største dyp er ca. 31 m og ligger i et dypdeområde nord for Ostøya (**Figur 1**). Bassenget er avgrenset fra Vestfjorden ved trange sund med flere grunne terskler (Snarøsundet (A), lille Ostsund (B) og store Ostsund (C)). Dypeste terskel er i Snarøsundet på 13.5 m mens store Ostsundet har et terskeldyp på 11 m (Sætre, 1969). Lille Ostsund er bare ca 5 meter dypt. Øvrige sund inn til Bærumsbassenget har mindre terskeldyp eller tilsvarende terskeldyp som lille Ostsund.

Middeldypet i bassenget er ca. 10 m, dvs bassenget domineres av relativt grunne områder (**Figur 2**). Vanddyp på mer enn 20 meter omfatter bare ca. 10 % av bassengets areal og ca. 4 % av bassengets volum.

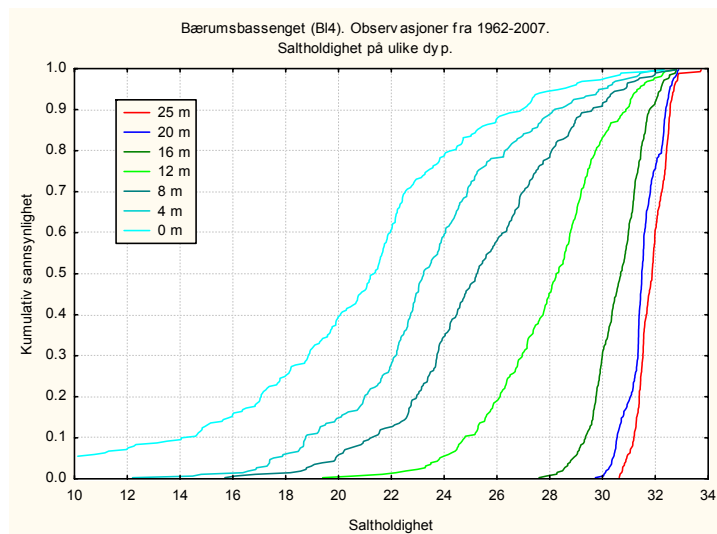
Sandvikselven påvirker saltholdigheten i overflatelaget (**Figur 3**), men på 4-12 meters dyp er den ofte i samsvar med saltholdigheten i Vestfjorden (Sætre, 1969). Fra ca 16 meters dyp til bunn er saltholdigheten regulert ved innstrømming av tyngre vann fra Vestfjorden, noe som er vanlig om vinteren. Den kan variere fra 5 til 32 i overflaten til mellom 30-33 i dypvannet (**Figur 3**). Årstidsvariasjonen av temperatur, saltholdighet og oksygen er vist i **Figur 4 - Figur 6**.



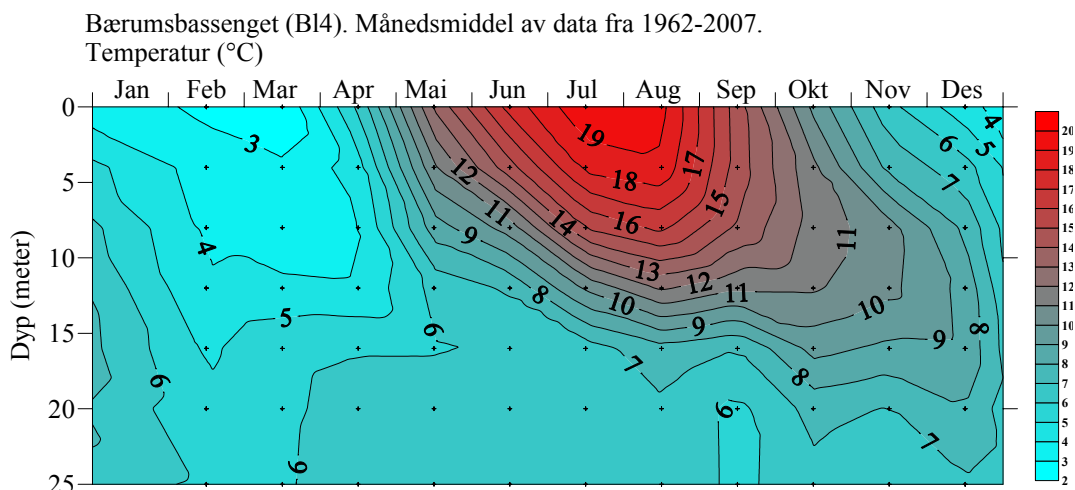
Figur 1. Bærumssjøen med avgrensninger. På figuren er det også lagt inn bløtbunnstasjoner for bilder tatt med Sediment Profile Imaging (SPI)-kamera. Farveskalaen gir miljøtilstanden for 2005 i bunnsedimentene basert på forekomsten av bunnfauna (Nilsson pers. med.). Stasjon B14 er hovedstasjonen for overvåking av oksygenforholdene i Bærumssjøen.



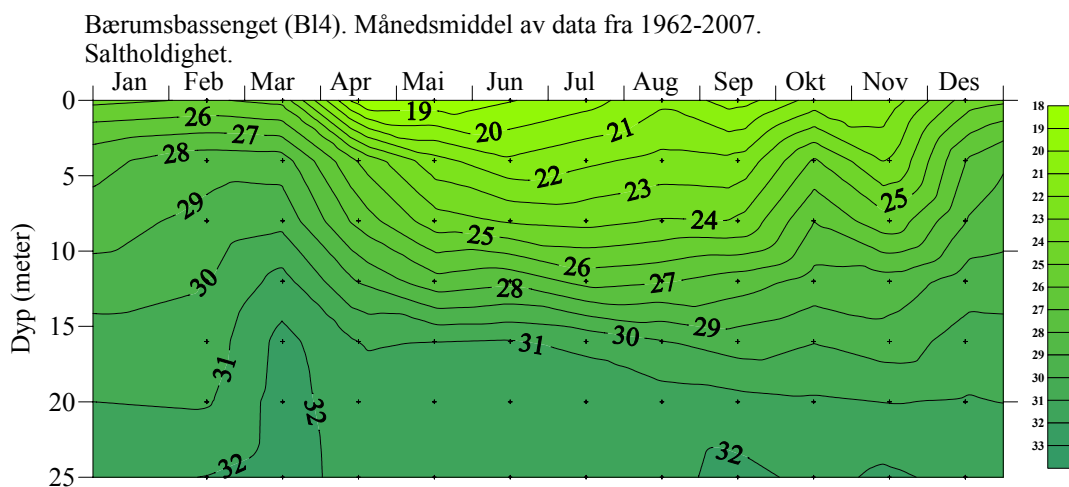
Figur 2. Fordeling av arealer på ulike dyp i Bærumssjøen.



Figur 3. Saltholdighetsfordeling på ulike dyp i Bærumsbassenget (B14). Figuren baserer seg på observasjoner i tidsrommet 1962-2007 (230-249 observasjoner pr. dyp).



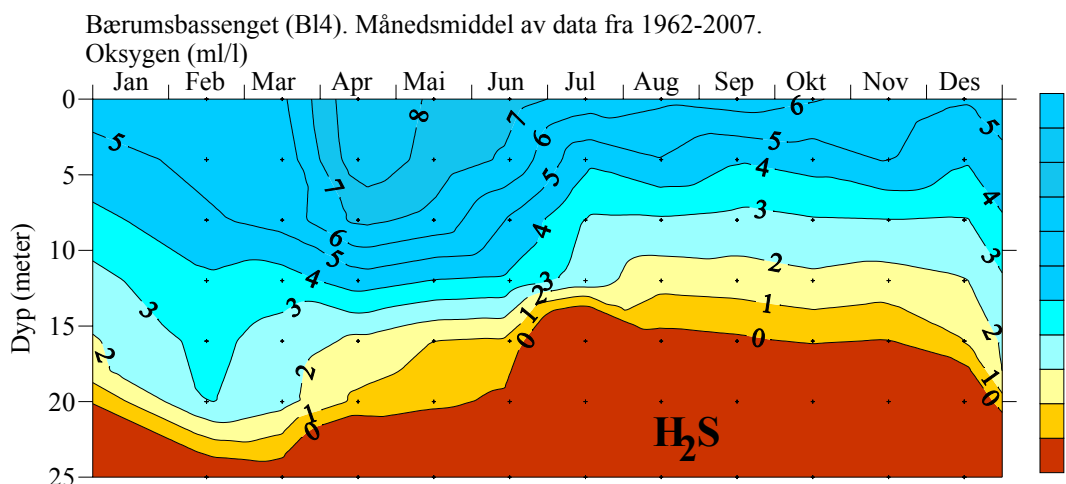
Figur 4. Midlere månedstemperatur i Bærumsbassenget (B14). Figuren baserer seg på observasjoner fra tidsrommet 1962-2007.



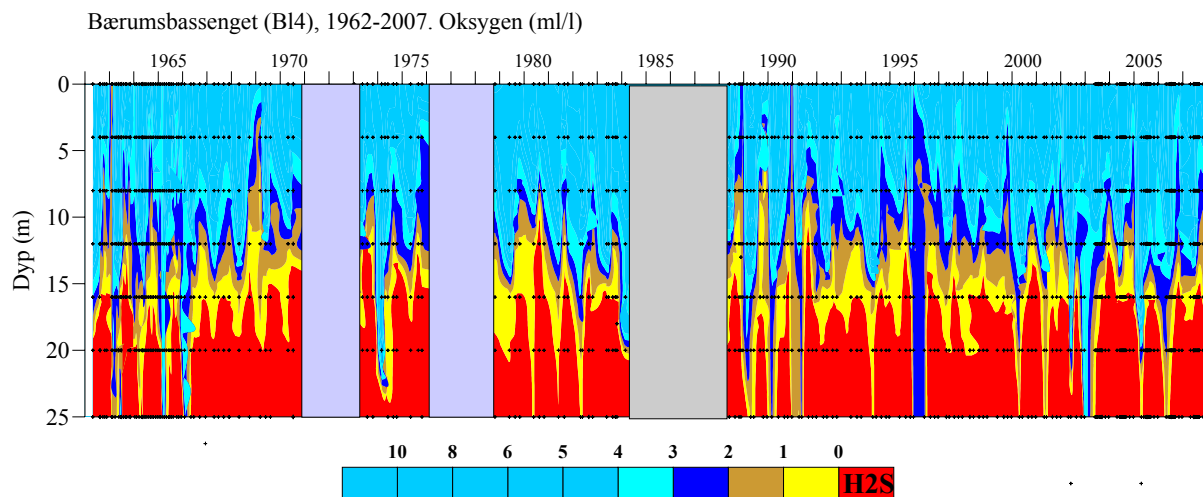
Figur 5. Månedsmiddel av saltholdighet i Bærumsbassenget (B14). Figuren baserer seg på observasjoner i tidsrommet 1962-2007.

Mens mellomlaget (ned til ca. 16 meters dyp) i bassenget fornyes flere ganger pr. år er fornyelsen av dypvannet (20 meter til bunn) mer sjelden. Normalt skjer det en større utskiftning vinterstid, men det kan også bli flere utskiftninger i denne perioden. Ved en dypvannsfornyelse strømmer oksygenrikt vann fra Vestfjorden inn i Bærumsbassenget og synker til bunns. I stagnasjonsperioden frem til neste dypvannsfornyelse belastes dypvannet av lokalt produsert organisk stoff (for eksempel sedimenterende planteplankton) eller organiske stoff fra andre kilder (for eksempel fra Sandvikselven). Ved nedbrytningen av det organiske stoffet blir oksygenet i vannmassene brukt og oksygenkonsentrasjonen avtar med tiden. I tillegg til at oksygen forbrukes ved nedbrytningen av det organiske materialet som befinner seg i vannmassene, er det også et forbruk ved nedbrytningen av organisk materiale som har akkumulert i sedimentene over tid (sistnevnte representerer det vi kaller "oksyngjelden" i sedimentene). Hvis stagnasjonsperioden til neste dypvannsfornyelse er lang nok eller belastningen av organisk stoff er tilstrekkelig stor, vil alt oksygen i dypvannet bli brukt opp og det dannes hydrogen sulfidholdig vann (råttent vann). Hydrogen sulfid er en dødelig gift for de fleste organismer.

Figur 6 viser månedsmiddel av oksygenkonsentrasjonen i Bærumsbassenget basert på observasjonene fra **Figur 7**. De høyeste oksygenkonsentrasjonene observeres vinterstid når vann fra Vestfjorden strømmer inn i bassenget. Normalt er bassenget islagt og det er derfor få observasjoner fra januar og februar. Dette betyr en underrepresentasjon av observasjoner i en årstid hvor sannsynligheten for dypvannsfornyelse og derved oksygenholdig bunnvann er som størst. Derfor viser middelverdien hydrogen sulfid på 25 meters dyp. Flere observasjoner i denne perioden hadde sannsynligvis kunnet vise oksygen på dette dypet i disse månedene. Fra juni til november er det hydrogen sulfid i bassengets dypvann, og oksygenkonsentrasjonen er lav, men relativt konstant mellom 10 og 15 meters dyp. I dette mellomstjiktet strømmer av og til vann inn fra Vestfjorden og balanserer forbruket av oksygen i bassenget. Innstrømningen vil også gi litt ekstra oksygen til vannmassene under terskeldyp i Bærumsbassenget ved turbulent diffusjon.



Figur 6. Månedsmiddel av oksygen (ml/l) i Bærumsbassenget (B14). Figuren baserer seg på observasjoner i tidsrommet 1962-2007.



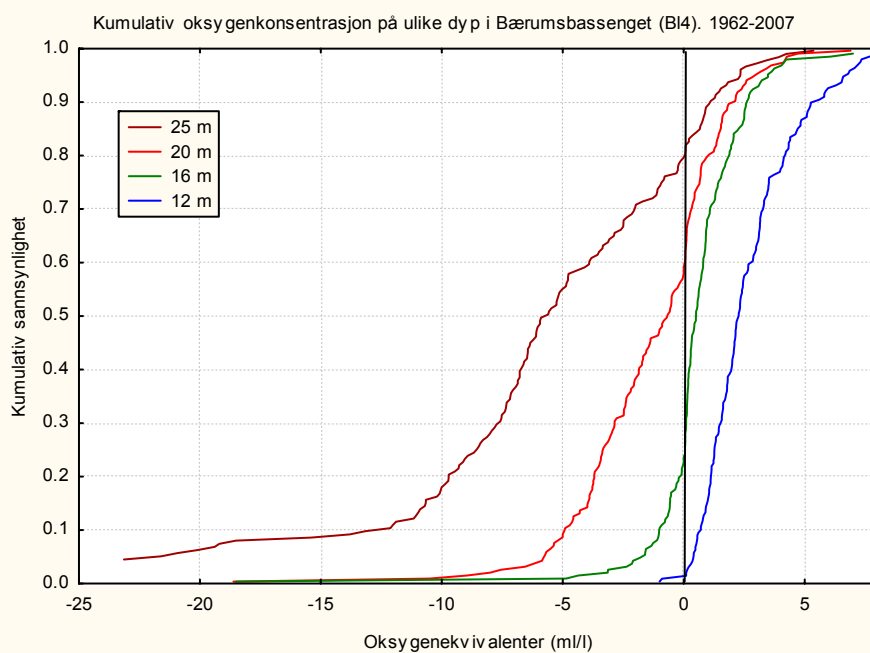
Figur 7. Oksygenkonsentrasjonen i Bærumsbassenget (B14) 1962-2007.

Figur 8 viser at det på 12 meter stort sett er oksygen hele året, mens det på 16, 20 og 25 meter bare er oksygen henholdsvis 70, 40 og 20 % av året. Således dominerer det anoksiske miljøet fra ca 20 meters dyp til bunn.

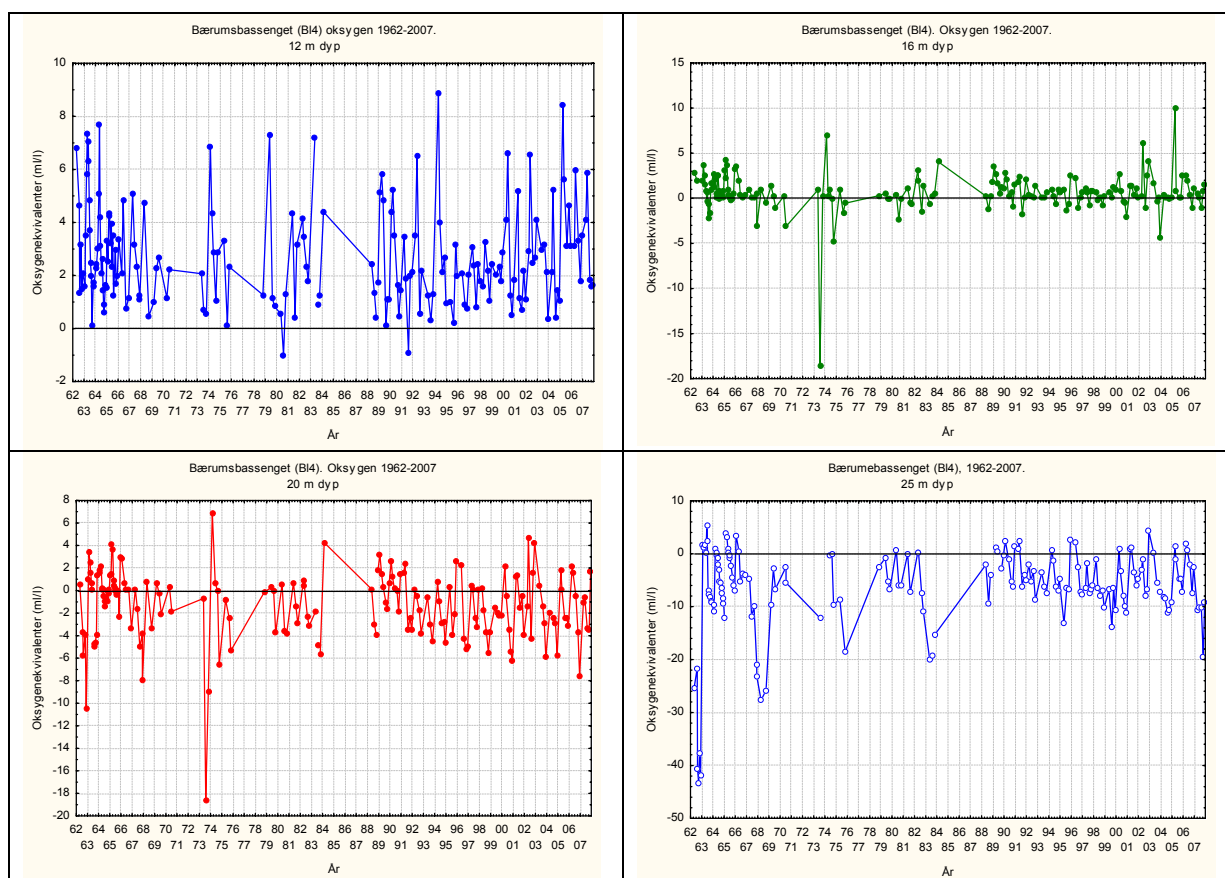
Figur 9 viser alle observasjoner av oksygen og hydrogensulfid fra 1962 til 2007 på 12-25 meters dyp i bassenget. Det er ikke noen trender i materialet som tyder på at utviklingen har endret seg etter at den store avlastningen av avløpsvann til bassenget ble gjennomført (VEAS) i 1982. Muligens kan datamaterialet tyde på en forbedring på 12 meters dyp fra ca år 2000 sammenlignet med tidligere observasjoner og at forholdene på 1970-tallet var dårligst også på 16 meters dyp (**Figur 10**). Midlere oksygenkonsentrasjoner (ekvivalenter) i ulike tidsrom på 12 og 16 meters dyp i august og oktober måneder. Dette betyr at det kan ha blitt noe bedre på 12 meter, men foreløpig vil en bare kunne konstatere at det ikke skjedde noen signifikant forbedring i bassengets oksygenforhold.

De riktig dårlige forholdene på > 16 meters vanddyb er begrenset til et relativt lite areal (ca 20 % av bassenget) og vannvolum (ca. 18 %). Med beskjeden vannfornyelse behøver ikke belastningen være stor for at det skal dannes hydrogensulfidholdig dypvann. Det er mulig å beregne hva som skal til for å forbedre oksygenforholdene i bassenget ved å ta i bruk matematiske modeller, f.esk. NIVA's fjordmodell (Bjerkeng, 1994).

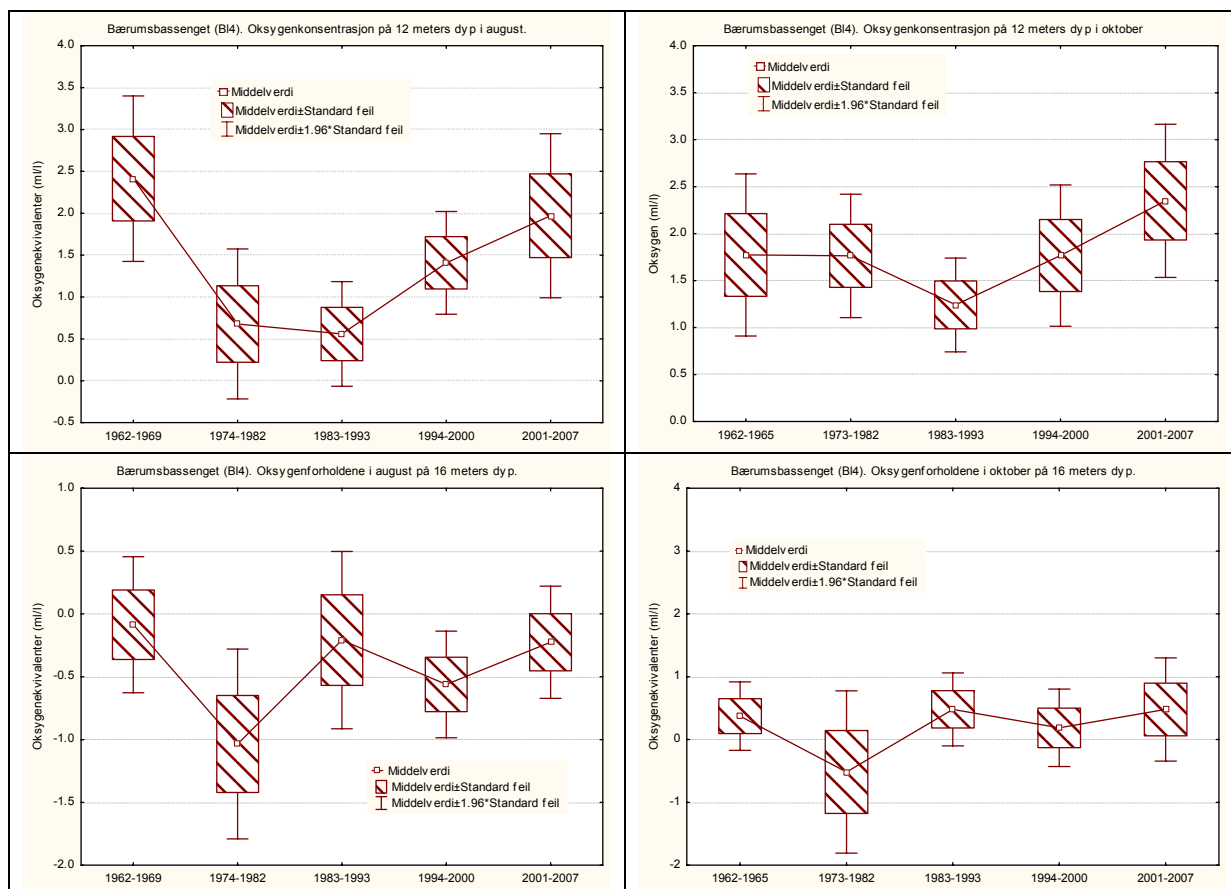
Det er vanligvis ikke store horisontale forskjeller i bassengets sjiktning (Sætre, 1969) og derfor er stasjon B14 representativ for oksygenforholdene i hele det sentrale bassenget. Imidlertid vil denne situasjon ikke gjelde ved vannfornyelser, hvor vann fra Vestfjorden strømmer inn over tersklene. Det gamle hydrogensulfidholdige vannet blir løftet opp og blandes med andre vannmasser. I slike tilfeller kan hydrogensulfidholdig vann forårsake fiskedød. En slik episode er dokumentert fra Holtekilen (**Figur 1**) i begynnelsen av oktober 1976 (Kirkerud og Magnusson, 1976). En vannutskiftning hadde ført til at hydrogensulfidholdig vann strømmet inn i Holtekilen og drepte omtrent alle organismer i området. Slike episoder ved vannfornyelser er også observert andre steder i indre Oslofjord.



Figur 8. Kumulativ fordeling av oksygen/hydrogensulfid på ulike dyp i Bærumsbassenget (B14) basert på observasjoner fra 1962-2007.



Figur 9. Observasjoner av oksygen/hydrogensulfid på 12, 16, 20 og 25 meters dyp i Bærumsbassenget (B14) 1962-2007.



Figur 10. Midlere oksygenkonsentrasjoner (ekvivalenter) i ulike tidsrom på 12 og 16 meters dyp i august og oktober måneder.

1.4 Miljøstratigrafiske analyser og bentiske foraminiferer

De miljøstratigrafiske analysene (dvs analyser av sedimenter avsatt over et bestemt tidsintervall) som presenteres her er i hovedsak basert på tolkninger av foraminiferinnholdet i utvalgte sedimentkjerner. Dette innebærer analyser av tomme, "døde" skall (mikrofossiler) som er akkumulert i sedimentene i løpet av det tidsrommet som er representert ved de innsamlede sedimentkjernene.

Bentiske foraminiferer er skallbærende protister (encellede organismer) som lever i de aller fleste marine- og brakkvannsmiljøer. De fleste foraminiferer i sørnorske fjorder har en størrelse på < 300 µm og de som er aktuelle i forbindelse med denne undersøkelsen har skall som enten består av kalsiumkarbonat (kalkskall) eller av sammenkittede sedimentkorn (agglutinerte skall). Skallene bevares i sedimentene etter organismenes død - vi finner dem i sedimenter avsatt for flere hundre millioner år siden og frem til i dag. Som de fleste andre organismer er foraminiferer avhengig av oksygen for å leve. Noen foraminiferarter er mer tolerante for lave oksygenkonsentrasjoner i bunnvannet enn andre. Forekomst og artsammensetning av foraminiferer i marine sedimenter kan derfor benyttes som metode for å vurdere både dagens oksygenforhold og utvikling gjennom tid. Tolkning av den miljøhistoriske utviklingen baseres på analyser av faunaen i daterte sedimentkjerner. Vi kjenner i dag over 2.000 levende arter med hardt skall (Murray, 2007), og de har vist seg å være gode miljøindikatorer både når det gjelder naturlige svingninger (Murray, 2006) og miljøendringer

forårsaket av menneskelig aktivitet (Alve, 1995). De kan også benyttes til å spore transport av sedimenter i grovsilt- og sandfraksjonen vekk fra opprinnelsesstedet. I Oslofjorden endres sammensetningen i foraminiferfaunaene betydelig med økende vanddyb (e.g., Risdal, 1964; Alve og Nagy, 1990). Dette medfører at det går an å spore gruntvanns-sedimenter (som inneholder gruntvannsarter) på større vanddyb hvis de er blitt fraktet ut dit (f. eks. ved oppvirvling og transport av gruntvannssedimenter eller som følge av dumping). I miljøer med aktiv karbonatoppløsning (kjemisk oppløsning av karbonat) vil kalkskallene løses opp, men eksperimentelle undersøkelser har vist at den agglutinerte faunaen som blir igjen etter en eventuell karbonatoppløsning likevel kan bidra med betydelig økologisk informasjon (Alve og Murray, 1995).

Et problem som kan være aktuelt ved miljøstratigrafiske analyser er bioturbasjon (forårsaket av gravende organismers aktivitet) som fører til en fysisk, vertikal blanding av sedimentene. Det er imidlertid vist at når det gjelder Cesiumisotopens (^{137}Cs) topper i sedimenter, fjerner ikke bioturbasjonen disse signalene. De blir bare svekket ved at de får en større vertikal utbredelse (Kaciszczenko og Banasik, 1981). Det er rimelig å anta at det samme gjelder for foraminiferskall. Følgelig kan bioturbasjonen svekke den detaljerte kronologien i kjernene og derved muligheten for å knytte én spesiell hendelse (faunaendring) til et bestemt årstall. Hovedtrenden i faunautviklingen vil likevel bevares. Bioturbasjon er antakeligvis ikke noe stort problem i forbindelse med undersøkelsene i Bærumsbassenget, da sedimentene der har et høyt organisk karboninnhold og redoksgrensen sannsynligvis har ligget nær sediment-vannkontakten i lengre tid. Dette begrenser drastisk de fleste gravende dyrs vertikale aktivitet i sedimentene (Pearson og Rosenberg, 1976), når de kommer ned i oksygenfrie / H_2S -holdige sedimenter på noen få millimeters sedimentdyb.

Vi begynner etter hvert å få et omfattende datagrunnlag fra en rekke forskjellige marine miljøer som viser at bentiske foraminiferanalyser er godt egnet til å foreta miljøtolkninger bakover i tid. På denne måten bidrar de med informasjon som representerer et betydelig supplement til mer tradisjonelle biologiske, fysio-kjemiske, sedimentologiske og geokjemiske analyser. Slike mikropaleontologiske undersøkelser setter dagens miljøsituasjon inn i en historisk sammenheng. De gjør oss i stand til å sammenlikne dagens miljøforhold med forholdene slik de var i vår ikke altfor fjerne fortid, med det som i Vanddirektivet betegnes "naturtilstanden" for bløtbunn, selv i områder hvor biologiske og hydrografiske tidsserier mangler.

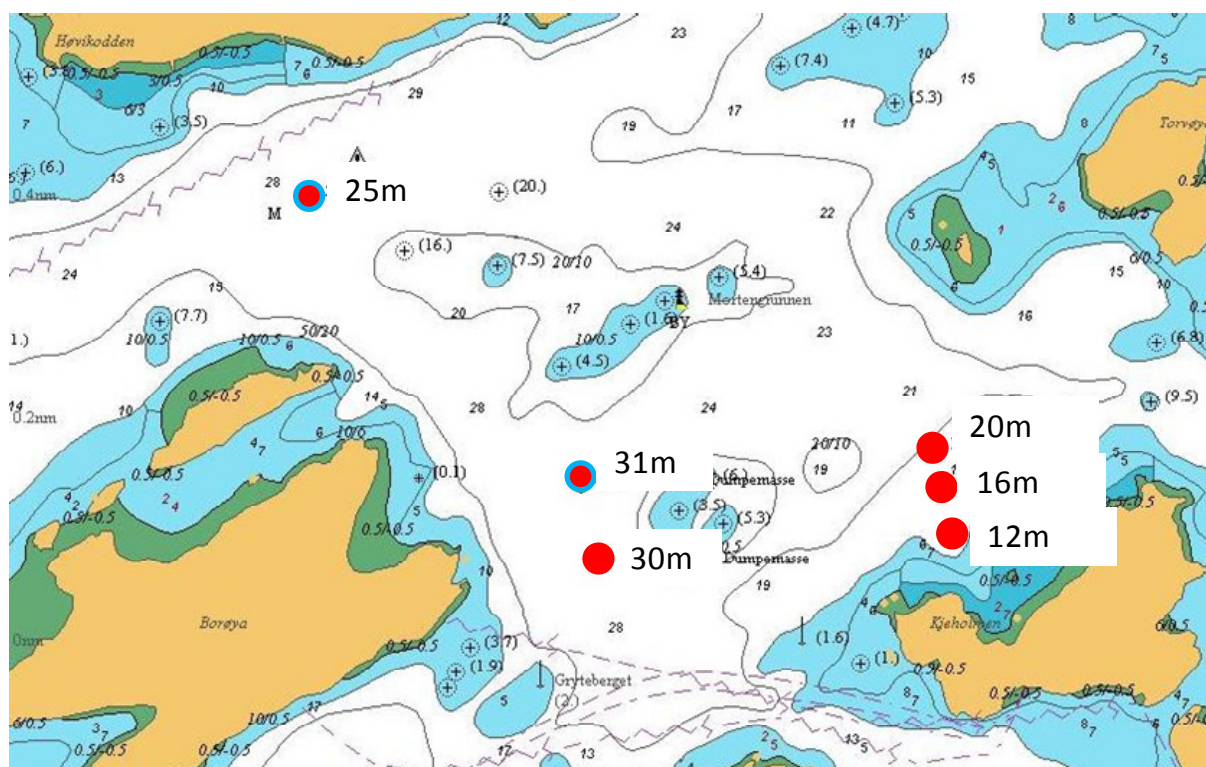
2. Materiale og metoder

2.1 Feltarbeid

Innsamlingen av sedimentkjerner i Bærumsbassenget (**Figur 11**) ble gjennomført 17. april 2007 fra F/F Trygve Braarud tilhørende Universitetet i Oslo. For å optimere mulighetene for gode dateringer og stratigrafiske analyser var det i prosjektbeskrivelsen foreslått å analysere to sedimentkjerner. Kjernene skulle fortrinnsvis samles inn fra de dypeste delene av bassenget for å få innblikk i om oksygenforholdene hadde vært gode helt ned til bunnen av bassenget da forurensningsbelastningen startet å påvirke Oslofjorden i negativ retning ved overgangen fra 1800- til 1900-tallet. Det ble hentet opp 3 sedimentkjerner fra de dypeste delene av Bærumsbassenget ved hjelp av en Niemistö kjerneprøvetaker (Niemistö, 1974) for aldersdatering og foraminifer-analyser. Denne prøvetakeren tar kjerner med 5,0 cm diameter og maksimal lengde på 70 cm. Med unntak av stasjonene 1-3 (se Figur 11 og Tabell 1) hvor kjerner ble samlet inn for datering, avspeiler stasjonsnumrene stasjonens vanddyb.

Bortsett fra øvre del, bar kjerne St 1 fra stasjon 31 i den dypeste delen av bassenget (31 m, Tabell 1) tydelige tegn på forstyrrelse av den naturlige lagdelingen. Sedimentene ned til ca 14 cm besto av sort, løst slam. Under dette var det sandige horisonter med innslag av mursteinsbiter og leirklumper

(sannsynligvis dumpemateriale) og fra ca 40 cm og ned til bunnen av kjernen var det innslag av brunlige horisonter i den ellers grå leiren. Kjerne St 1 egnet seg følgelig ikke til datering. Stasjonen på 30 m vandndyp ble også forkastet som dateringsstasjon da det ble foretatt to bomskudd her som følge av at prøvetakingsutstyret traff på stein. Kjerne 30B kom i imidlertid trygt om bord. De øvre 19 cm av denne kjernen besto av svarte, løse sedimenter, deretter fulgte et sedimentintervall ned til 47 cm bestående av lysegrå leirlag og brungrå, sandige horisonter, samt lysere leire med sorte felt (sannsynligvis dumpet materiale). De nedre 25 cm av kjernen (dvs 47-72 cm) besto av mer homogene, mellomgrå sedimenter. Sedimentprøver til foraminiferanalyser ble tatt fra utvalgte horisonter (Tabell 1). Dybbassenget var tydeligvis så preget av resedimentert (dumpet?) materiale at det ikke egnet seg for stratigrafiske analyser. I stedet ble en stasjon på 25 m vandndyp (**Figur 10**) valgt. Kjerne st. 2 og 3 ble samlet inn på stasjon 25 og snittet for videre analyser og datering. Sedimentene var grå-sorte, med noen lysere horisonter (**Figur 11**). Kjernene til aldersdatering ble seksjonert i 1 cm tykke skiver fra sedimentoverflaten ned til 20 cm og deretter i 2 cm skiver i resten av kjernens lengde. Sedimentskivene ble bevart i fryser til senere behandling.



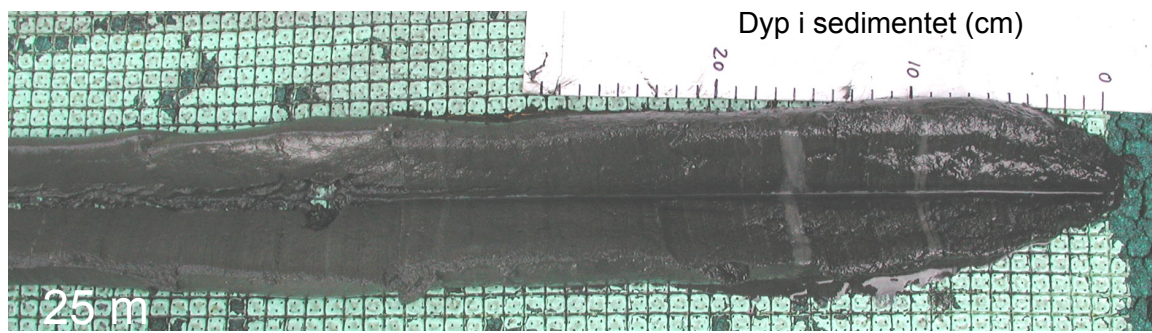
Figur 11. Plassering av stasjoner for sedimentprøvetaking i Bærumsbassenget 17.4.2007. Røde symboler med blå ring indikerer posisjon hvor det i tillegg til faunaprøver ble tatt prøver for ^{210}Pb - og ^{137}Cs -datering.

I tillegg til kjerner for aldersdatering ble det samlet inn 6 sedimentkjerner fra grunnere områder (Tabell 1), for analyser av levende foraminiferfaunar. Denne innsamlingen var primært ment for andre formål enn den foreliggende retrospektive studien, men har også gitt verdifull informasjon til denne undersøkelsen. Kjernene ble samlet inn med en noe lettere prøvetaker (tilhørende Universitetet i Oslo) som tar kjerner med 67 mm diameter og maksimalt ca 60 cm lengde. Innsamlingen foregikk langs et transekt på 12-20 meters vandndyp øst for de dypere liggende stasjonene (**Figur 10**). De øverste 0-1 og 1-2 cm av sedimentet i hver kjerne ble preservert i 70 % etanol tilsatt bengalrosa (1 g/l) for å skille levende og død fauna. Fra kjerne 16A og 20 A (Tabell 1) ble det også tatt ut prøver til analyser av døde (fossile) foraminiferer.

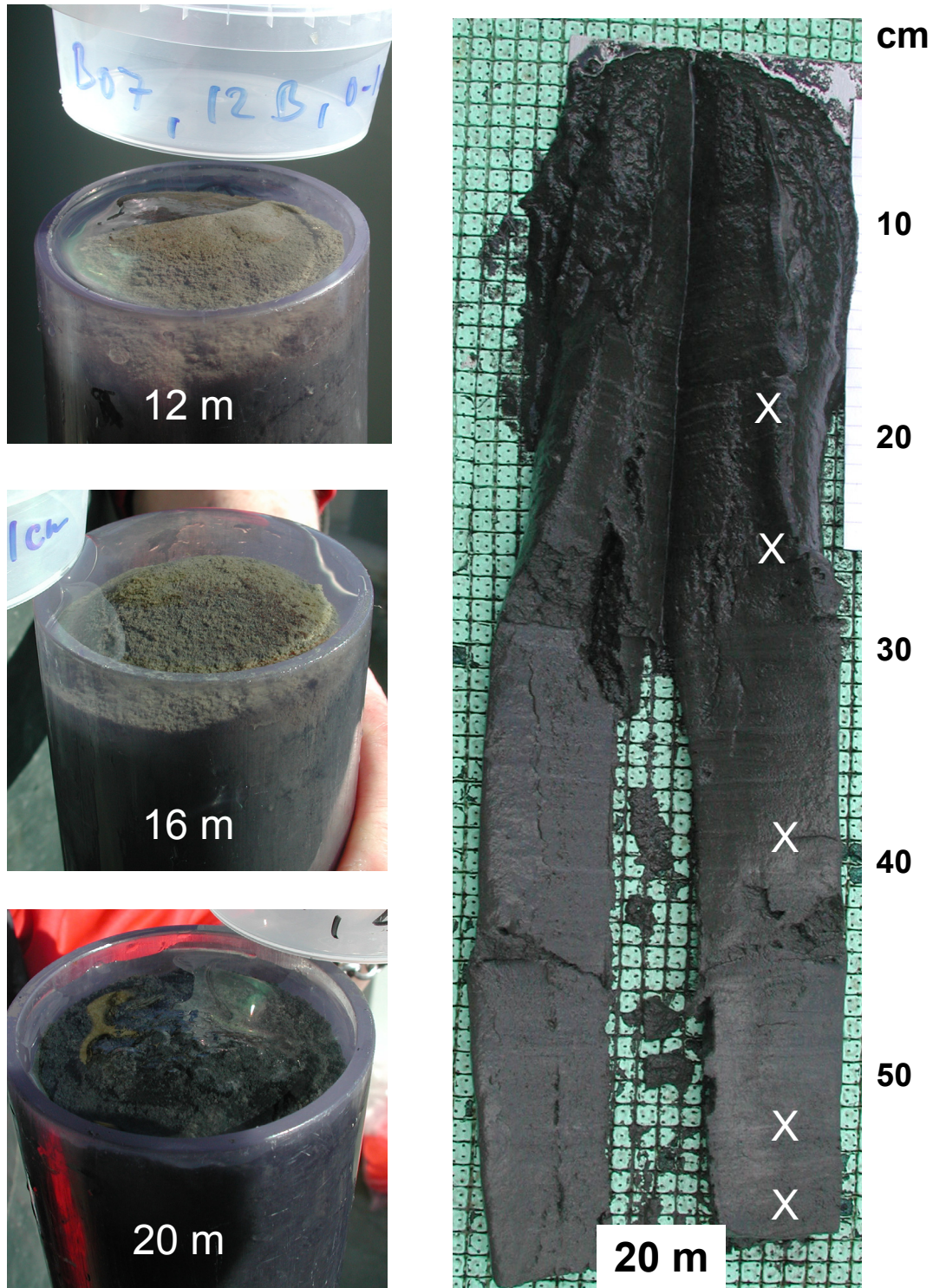
Kjernen fra 20 m vanddyb (20A, Tabell 1) var 58 cm lang og hadde en jevn, sort sedimentoverflate. Etter at de øvre 2 cm var snittet av og preservert i etanol, ble kjernen skjøvet ut på dekk (**Figur 12**). De øvre ca 30 cm besto av sorte, løse sedimenter med lysere, varvaktige laminae. Fra ca 30 cm og nedover viste sedimentene en gradvis overgang fra sort til grå farge og ble noe fastere. De lysere sjiktene fortsatte ned til > 40 cm kjernedyp. På 16 og 12 m vanddyb hadde de øvre hhv 1-2 mm og 1-2 cm av sedimentet en lys brun farge (**Figur 12**). På 16 m var det en overgang til grå-svart slam rett under det tynne, brunlige overflatelaget. Videre nedover i kjernen gikk det grå-svarte slammet over til fastere, lysere grå leire på 15-17 cm. På 12 m vanddyb besto sedimentene av homogen, grå leire under det øvre, brune laget.

Tabell 1. Informasjon om sedimentkjerner fra Bærumsbassenget (17.04.2007) og prøveuttak til foraminiferanalyser. Med unntak av kjernene St. 1-3, avspeiler kjernenummeret vanddybet kjernene er samlet inn på, mens A, B osv er replikatkjerner fra de respektive stasjonene. * = Prøver tatt ut om bord i tillegg til materialet fra de aldersdaterte kjernene. Overflateprøver (0-1 & 1-2 cm) til foraminiferanalyser ble tilsatt 70 % etanol om bord.

Vanddyb (m)	Kjerne	Prøvetaker	Kjernelengde (cm)	Kjernedyp (cm) for ekstra-prøver*	Kommentar	
12	12 A	Liten gravity corer (UiO)	20	0 – 1 1 – 2	Ujevn, lys brun overflate. Homogen grå leire under.	
	12 B		20	0 – 1 1 – 2	Jevn, lys brun overflate. Homogen grå leire under.	
16	16 A		25	0 – 1 1 – 2	Noe ujevn, lys brun overflate, mye pellets. Grå-svart under, med overgang til fastere grå leire på 15 – 17 cm.	
	16 B		25	24 – 25	Relativt fast, lys grå leire.	
20	20 A			58	0 – 1; 1 – 2	Jevn, sort overflate, fnokker, løs. Gradvis overgang fra svart til grått sediment. Fastere fra 30 cm. Varvige sedimenter, lyse sjikt i det svarte i de øvre 30 cm.
					18 – 20	
					24 – 26	
					38 – 40	
					52 – 54	
25	25 C				0 – 1; 1 – 2	Noe ujevn overflate, sort.
	St 2	64			Aldersdatering	
	St 3			62	Aldersdatering	
30	30B	Niemistø	72	16 – 18	Nedre del av svart lag	
				20 – 22	Midtre del av lyst leirlag	
				30 – 32	Midtre del av brungrå sandig sone	
				44 – 46	Midtre del av lyst leirlag	
				48 – 50	Øvre del av mellomgrå sone	
				58 – 60	Midtre del av mellomgrå sone	
31	31 C			0 – 1; 1 – 2	Sort sedimentoverflate	
	31 D			0 – 1; 1 – 2	Sort sedimentoverflate	
	St 1			68	Planlagt aldersdatering (forkastet grunnet betydelig innslag av dumpet materiale)	



Figur 11. Lengdesnitt av kjerne fra 25 m vanddyb i Bærumbassenget.



Figur 12. Venstre: Bilder av sedimentoverflaten på 12, 16 og 20 m vanddyb i Bærumsbassenget. Høyre: Lengdesnitt av sedimentkjerne 20A fra 20 m vanddyb etter at øvre 0-2 cm er snittet av. Hvite X = nivå for prøver til foraminiferanalyser. Tallene til høyre viser dyb i sedimentet (cm).

2.2 Analyser

Prøvene fra kjernene St. 2 og St. 3 som skulle dateres, ble frysetørket, vanninnholdet bestemt for de fleste sedimentsnitt og egenvekt beregnet. Aldersdateringen ble utført av Thorbjørn J. Andersen ved Universitetet i København basert på isotopene ^{210}Pb og ^{137}Cs . Etter datering ble prøvene sendt til Universitetet i Oslo for foraminiferanalyser.

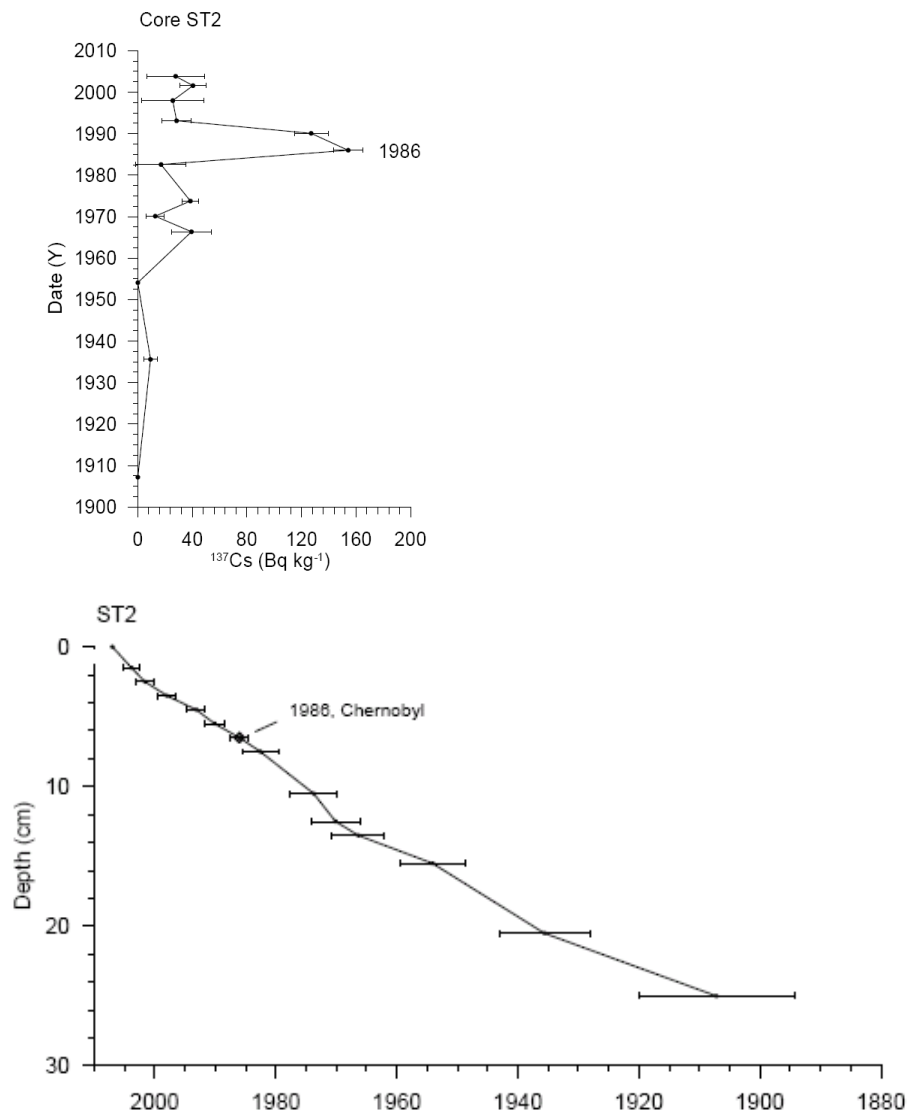
Dateringene viste at kjerne St 2 var best egnet til stratigrafiske analyser (se under). Følgelig ble prøver fra denne kjernen hovedfokus for foraminiferanalysene. På toktet var det blitt tatt ut prøver fra strategiske sedimentnivå i flere av de andre kjernene i tillegg til det som var beskrevet i prosjektforslaget. Dette viste seg å være meget gunstig da St 2 nærmest ikke inneholdt foraminiferer. For å forklare dette fraværet ble prøver fra de andre kjernene også analysert. Ved opparbeiding av prøvene til fossile foraminiferanalyser ble < 2 gram tørt sediment nøyaktig veid, blandet ut i vann, vasket gjennom en 63µm sikt og den grovere fraksjonen ble analysert under en binokular-lupe. Alle individer ble talt og bestemt til art. Individtettheten i prøvene ble standardisert til antall foraminiferskall per 1 g tørt sediment. I tillegg ble innholdet av ostracoder (muslingkreps), samt juvenile muslinger og gastropoder (snegler) og organiske foringer fra oppløste kalkskall etter gruntvannsforaminiferer talt. Til sammen ble det foretatt kvantitative foraminiferanalyser av den døde (fossile) faunaen i 17 prøver.

3. Resultater og diskusjon

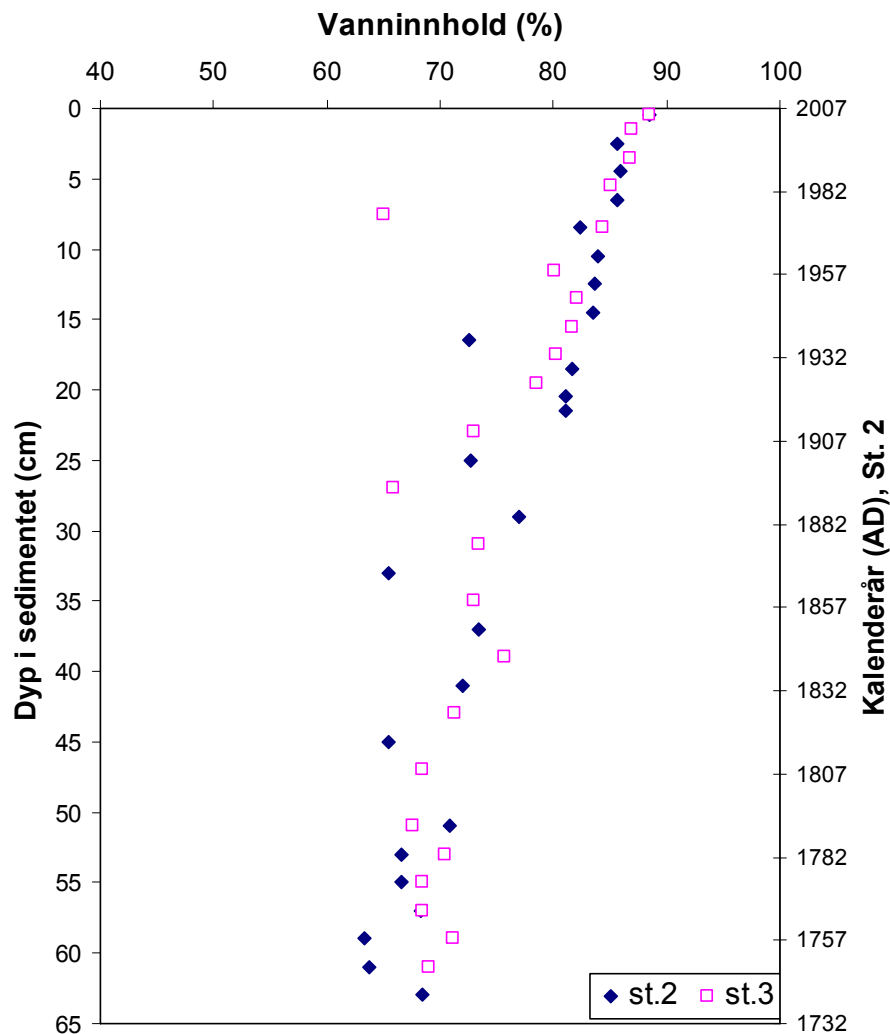
3.1 Aldersdatering basert på ^{210}Pb og ^{137}Cs

For aldersdatering ble det først samlet inn en kjerne, St. 1, fra den dypeste delen av Bærumsbassenget (31 m) i samme posisjon som benyttes til langtidsovervåkingen av oksygensituasjonen i bassenget (stasjon B14). Det viste seg imidlertid at denne posisjonen var benyttet som dumpeplass for en del år siden. Ved ca 20 cm sedimentdyp ble det registrert sedimenter med en helt annen karakter enn over og under, bl.a. ble det funnet rester av murstein. Denne kjernen ble derfor forkastet for datering. I stedet ble kjernene St 2 og St 3 fra 25 m vanddyb, noe lenger nordvest (**Figur 10**), samlet inn for vanninnholdsbestemmelse (vedlegg 6.1) og datering (vedlegg 6.2).

Dateringene av kjerne St. 3 indikerte at kjernen manglet noe materiale i toppen, mens dateringene av kjerne St 2 ble vurdert å være god (vedlegg 6.2). *Følgelig er dateringsresultatene for St. 2 lagt til grunn for den tidsmessige tolkningen av miljøutviklingen i Bærumsbassenget.* Avsetningene på 5-6 cm sedimentdyp i kjerne St. 2 hadde et høyt innhold av ^{137}Cs , hvilket kan settes i sammenheng med atomsprengningen i Chernobyl i 1986 (**Figur 13**). Sedimentene fra 25 cm sedimentdyp ble beregnet til å være avsatt i 1907. Den totale kjernelengden var 64 cm. Akkumulasjonsraten i den øvre delen av kjernen er beregnet til 0,4 kg/m²/år. Antar man at akkumulasjonsraten i de nedre 10 cm av det daterte kjerneintervallet er representativ for sedimentene avsatt dypere i kjernen (m.a.o. har vært konstant gjennom dette tidsrommet) kan man, ved ekstrapolasjon, si at sedimentene på 64 cm sedimentdyp ble avsatt i ca. 1740 (**Figur 14**). Dette gir sannsynligvis for unge aldre på de nedre delene av kjernen pga lavere vanninnhold/kompaksjon, så de må betraktes som minimumsverdier (dvs de nederste kjernesjiktene er sannsynligvis noe eldre enn angitt i **Figur 14**). For mer informasjon om datering, se vedlegg 6.2.



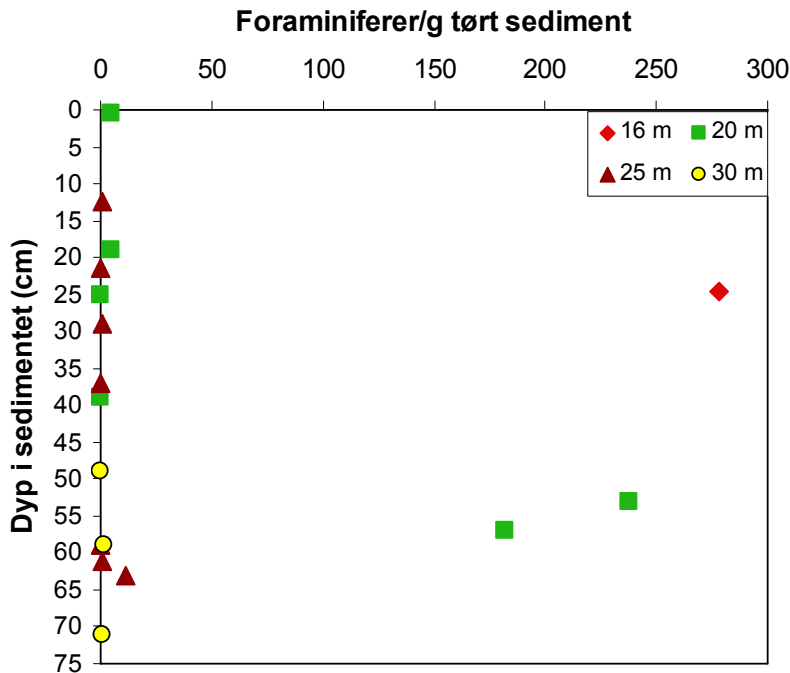
Figur 13. Datering av sedimentkjerne St. 2 fra 25 m vanddyb i Bærumsbassenget (innsamlet 17.4.2007). Øverst: Aktiviteten av ^{137}Cs med økende alder og dyp nedover i kjernen viser en klar topp som avspeiler Chernobyl-ulykken i 1986. Nederst: Forholdet mellom kjernedyp (y-aksen) og kalenderår (x-aksen).



Figur 14. Vanninnhold, kjerne st. 2 og st. 3 fra 25 m vanddyb i Bærumsbassenget, plottet mot sedimentdyb. Basert på dateringene av kjerne St. 2 er kalenderår for denne kjernen vist på høyre y-akse. Merk at årstall eldre enn 1907 er ekstrapolert basert på akkumulasjonsrater i de nedre 10 cm av det daterte kjerneintervallet. Dette gir sannsynligvis for unge aldere i nedre del av kjernen.

3.2 Tolkninger basert på foraminiferfauna

Kjerne 30B fra 30 m vanddyb i Bærumsbassenget besto av sorte, organisk rike, løse sedimenter ned til 19 cm sedimentdyb. Ved å anta samme sedimentakkumulasjonsrate på denne stasjonen som på stasjonen fra 25 m vanddyb (den daterte kjerne St. 2), representerer dette sedimenter avsatt siden 1920-tallet. Sedimentene fra 19 til 47 cm dyb bærer tydelige preg av resedimentasjon (dumping?), mens de nedre 25 cm av kjernen ser ut til å ha vært avsatt på stedet. Ved å anta samme akkumulasjonsrate her som i de dypere deler av kjerne St 2, trenger den dypeste delen av kjerne 30B ned i sedimenter avsatt på begynnelsen av 1800-tallet. De tre analyserte sedimentnivåene i nedre del (48-72 cm) av kjerne 30B viser et tilnærmet fravær av bentiske foraminiferer (**Figur 15**, vedlegg 6.3).



Figur 15. Konsentrasjonen av fossile skall etter bentske foraminiferer i fire sedimentkjerne fra hhv 16, 20, 25 og 30 m vanndyp i Bærumsbassenget (Stasjon nr. 16, 20, 25 og 30, vedlegg 6.3).

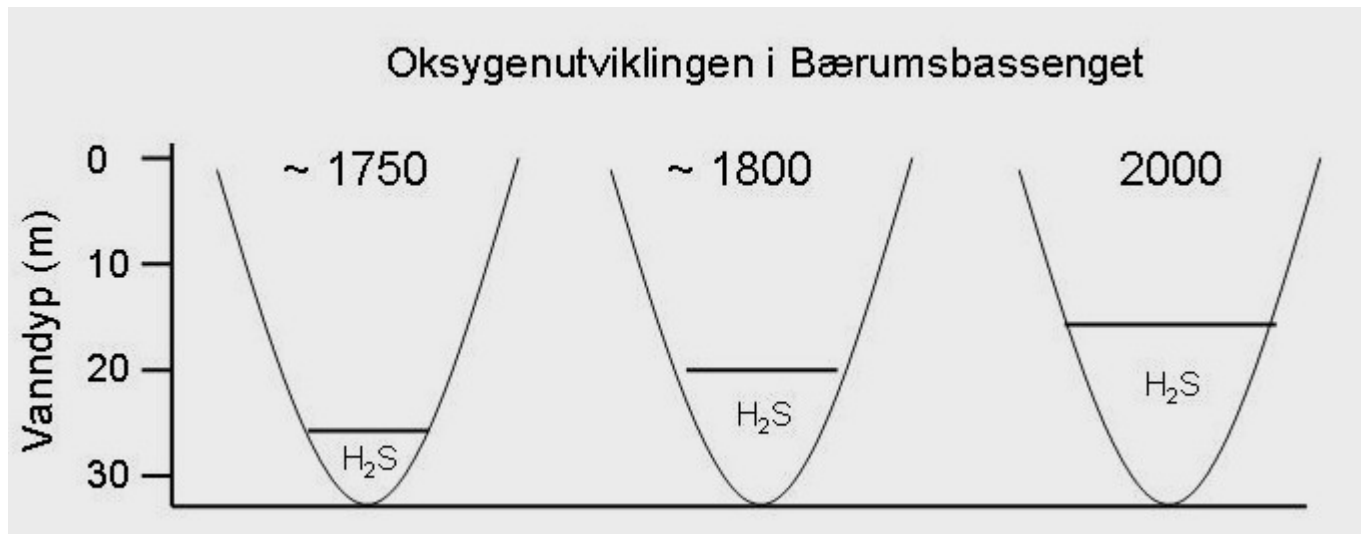
Visse arter av bentske foraminiferer kan overleve noen få uker til vel 2 måneder under anoksiske forhold (Alve og Bernhard, 1995; Moodley et al., 1997), men de overlever ikke i fjordområder hvor bunnforholdene er dominerende anoksiske (Alve, 1995). Hvis sedimentenes porevann er undermettet på karbonat, kan dette føre til at kalkskall løses opp. Under slike forhold får man ikke bevart skall fra kalkdannende foraminiferer i sedimentene. Det er ingen grunn til å anta at dette er årsaken til fraværet av bentske foraminiferer i kjerne 30B fordi 1) prøvene inneholdt godt bevarte skall etter ostracoder (muslingkreps med kalkskall) samt juvenile muslinger og gastropoder (snegler). Disse ville ikke blitt bevart hvis det hadde foregått karbonatopløsning i sedimentene; 2) Så sant oksygenforholdene på bunnen muliggjør tilstedeværelse av bentske foraminiferer, inneholder foraminiferfaunaene på alle vanndyp i Oslofjorden både kalkarter og arter med agglutinerte skall (dvs skall bestående av sammenkittede sand og siltkorn). Hvis karbonatopløsning var årsaken til fraværet av foraminiferer i kjerne 30B, ville agglutinerte arter vært til stede. Det er de ikke. Fraværet av foraminiferer i de nedre deler av kjerne 30B indikerer følgelig at oksygenforholdene på 30 m vanndyp i Bærumsbassenget har vært dominerende anoksiske i hvert fall siden begynnelsen av 1800-tallet.

På samme måte som for kjerne 30B, var det nærmest ikke spor av bentske foraminiferer i kjerne St. 2 fra 25m vanndyp. Unntaket var den dypeste (eldste) prøven på 62-64 cm dyp i sedimentet som inneholdt en meget individ- og artsfattig fauna (**Figur 15**, vedlegg 6.3). Den dominerende arten, *Stainforthia fusiformis* (Williamson), er den mest karakteristiske lav-oksygenarten i våre fjordområder. Individkonsentrasjonen er imidlertid så lav at det er usikkert om foraminiferene i prøven virkelig representerer faunaen som levde på stedet da sedimentene ble avsatt, eller om de er blitt transportert inn fra noe grunnere områder i forbindelse med for eksempel en dypvannsfornyelse. Dessverre har vi ingen prøver fra dypere sedimentlag til å utrede dette nærmere. Hvis individene avspeiler faunaen som levde på stedet, indikerer dette at overgangen fra dominerende oksiske til anoksiske bunnforhold på 25 m vanndyp skjedde rundt 1740. Hvis individene er transportert inn fra noe grunnere områder, viser det at dominerende anoksiske bunnforhold har rådet på 25 m vanndyp siden før 1740.

I motsetning til kjernene fra 30 og 25 m vanddyb har de dypere delene (52-58 cm) av kjerne 20A fra 20 m vanddyb en fauna med en individkonsentrasjon som er på linje med det man finner i pre-industrielle avsetninger, for eksempel i Bunnefjorden (Alve et al., akseptert). Artsantallet er lavt (7-8) og faunaen sterkt dominert av *S. fusiformis* (86-92%), så den avspeiler stressende lavoksygenforhold. Høyere opp i kjernen, fra 40 cm (avsatt ca 1830) og opp er det igjen en mangel på foraminiferer (**Figur 15**, vedlegg 6.3). Da kjernen viser en lavoksygenfauna i de dypere (eldste) lagene som tilsvarer siste halvdel av 1700-tallet og faunaen har forsvunnet i lagene som tilsvarer 1830, antas det at etableringen av dominerende anoksiske forhold (som drepte faunaen) på 20 m vanddyb skjedde tidlig på 1800-tallet (**Figur 16**).

Fra kjerne 16A (16 m vanddyb) var det kun en prøve, på 24-25 cm sedimentdyb, tilgjengelig. Ved å anta tilsvarende sedimentakkumulasjonsrate som for kjerne St. 2, representerer denne prøven avsetninger fra overgangen 1800- til 1900-tallet. Faunaen i disse sedimentene er individrik, på linje med den på 20 m vanddyb fra slutten av 1700-tallet, men i motsetning til 20 m-faunaen er denne 16 m-prøven artsrik (25 arter), har kun 10 % *S. fusiformis* og avspeiler således godt oksygenerte bunnforhold.

Alle prøvene viste betydelige innslag av land-derivert plantemateriale. I tillegg har de fleste kjernene innslag av skall og organiske foringer etter gruntvannsforaminiferer (trochospirale foringer) som sannsynligvis har blitt fraktet ut og blitt avsatt på større vanddyb. Til sammen avspeiler dette at de dypere liggende delene av Bærumsbassenget fungerer som akkumulasjonsområder for materiale som vaskes ut fra de omkringliggende land- og gruntvannsområdene, noe som ikke er overraskende.



Figur 16. Skisse av den historiske oksygenutviklingen i Bærumsbassenget siden midten av 1700-tallet. Den vertikale utbredelsen av vannmasser med dominerende oksygensvikt har ekspandert i løpet av de siste to til tre hundre årene.

4. Konklusjoner og anbefalinger

4.1 Utvikling av oksygenforholdene over tid

Analysene av foraminiferfaunaen tyder på at de dypere delene av Bærumsbassenget har vært anoksiske tilbake til 1700-tallet (**Figur 16**), dvs. før den generelle forurensnings situasjonen i indre Oslofjord begynte å gjøre seg gjeldende. På 1700-tallet var det overveiende mangel på fritt oksygen i bunnvannet dypere enn ca 25 m vanddyb. Gjennom 1800-tallet flyttet redoksgrensen (dvs grensen mellom vann med og uten fritt oksygen) seg oppover i vannsøylen mot 20 m vanddyb. Målinger fra 1960-tallet og fram til i dag viser at anoksiske miljø har dominert fra noe grunnere enn 20 m dyp og ned til bunnen av bassenget de siste 45 år (**Figur 8**). Med mindre gammel næringsvirksomhet (e.g., sagbruk) i Sandvikselven har spilt en større rolle enn vi har oversikt over, kan vi derfor konkludere at Bærumsbassenget er naturlig anoksiske.

4.2 Årsaken til anoksia og vurderinger av tiltak

Årsaken til anoksia i Bærumsbassenget er delvis den generelle forurensnings situasjonen i indre Oslofjord, dels naturlige begrensninger i dypvannsfornyelsen. Elvene rundt Oslofjorden ble benyttet til sagbruksvirksomhet allerede fra 1500-tallet (Dag Nævestad, Norsk Sjøfartsmuseum pers. med). Tilførsel av organisk materiale fra denne og eventuell annen virksomhet kan ha påvirket oksygenforholdene i Bærumsbassenget. Om, og i tilfelle i hvor stor grad, slik virksomhet foregikk i Sandvikselva er vi imidlertid ikke kjent med. En vurdering av dette krever litteraturstudier av for eksempel Bygdebøker. Mer omfattende felt- og analysearbeid med innsamling av lengere kjerner fra de dypeste områdene opp til og med dagens redoksgrense på ca 16 m vil klarlegge oksygenutklengen mer fullstendig.

Vannmassene høyere opp mellom terskeldyp (ca 13 m) og ca. 16 meters dyp har vært overveiende oksiske og er det til dels også i dag. I disse grunnere områdene er det mulig at rensetekniske tiltak kan forbedre situasjonen noe. Ettersom oksygenkonsentrasjonen i vannet ikke bare er følsom overfor lokale tilførsler, men også overfor kvaliteten på vannet i Vestfjorden er det ikke sikkert at kun lokale tiltak vil gi ønsket effekt. Det vil følgelig være en fordel å vurdere effektene av de ulike transportene (tilførslene) ved å sammenlikne lokale tilførsler av næringssalter og organisk stoff med tilførslene fra Vestfjorden. En slik vurdering kan gjøres ved hjelp av NIVAs fjordmodell.

5. Referanser

- Alve, E., 1995. Benthic foraminiferal distribution and recolonization of formerly anoxic environments in Drammensfjord, southern Norway. *Mar. Micropaleontol.* **25**: 169-186.
- Alve, E. og Bernhard, J.M., 1995. Vertical migratory response of benthic foraminifera to controlled oxygen concentrations in an experimental mesocosm. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **116**: 137-151.
- Alve, E., Lepland, A., Magnusson, J. og Backer-Owe, K. Monitoring strategies for re-establishment of ecological reference conditions: possibilities and limitations. Akseptert for trykking i Marine Ecology.
- Alve, E. og Murray, J.W., 1995. Experiments to determine the origin and palaeoenvironmental significance of agglutinated foraminiferal assemblages. I: Kaminski, M.A., Geroch, S. og Gasinski, M.A., (red.), Proceedings of the Fourth International Workshop on Agglutinated Foraminifera, Kraków, Poland, September 12-19, 1993. *Grzybowski Found. Spec. Publ.* **3**: 1-11.
- Alve, E. og Nagy, J., 1990. Main features of foraminiferal distribution reflecting estuarine hydrography in Oslo Fjord. *Mar. Micropaleontol.* **16**: 181-206.
- Bjerkeng, B., 1994. Eutrofimodell fort indre Oslofjord. Rapport 1: Praktisk utprøving på indre Oslofjord. NIVA-rapport nr. 3112.
- Kacieszczenko, J. og Banasik, Z., 1981. An effect of bioturbation on the results of the ¹³⁷Cs dating technique used for lacustrine sediments. *Ekologia Polska* **29**: 615-623.
- Kirkerud, L. og Magnusson, J., 1976. Undersøkelse av de hydrografiske og biologiske forhold i Indre Oslofjord. Overvåkingsprogram. Toktrappert V. Fiskedød i Holtekilen. NIVA-rapport 0866.
- Moodley, L., van der Zwaan, G.J., Herman, P.M.J., Kempers, L. og van Breugel, P., 1997. Differential response of benthic meiofauna to anoxia with special reference to Foraminifera (Protista: Sarcodina), *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **158**: 151-163.
- Munthe-Kaas, H., 1967. Fjordens topografi. Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. I Undersøkelsene 1962-1965. NIVA-rapport nr. 0191-P.
- Murray, J.W., 2006. *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge: Cambridge University Press, 426 s.
- Murray, J.W., 2007. Biodiversity of living benthic foraminifera: How many species are there? *Mar. Micropaleontol.* **64**: 163-176.
- Niemistö, 1974. A gravity corer for studies of soft sediments. Havforskningsinst. Skr. Helsinki.238. 33-38.
- Pearson T.H. og Rosenberg, R., 1976. A comparative study of the effects on the marine environment of wastes from cellulose industries in Scotland and Sweden, *Ambio* **5**: 77-79.
- Risdal, D., 1964, Foraminiferfaunaenes relasjon til dybdeforholdene i Oslofjorden, med en diskusjon av de senkvartære foraminiferer. *Nor. Geol. Unders.* **226**: 5-142.
- Sætre, H.J., 1969. En undersøkelse av de hydrografiske forhold i Bærumsbassenget. Hovedfagsoppgave i geofysikk. Universitetet i Oslo.

6. Vedlegg

6.1 Vanninnhold kjerne St. 2 og St. 3

Kjerne	Kjernerdyb (cm)	Vanninnhold (%)	Kjerne	Kjernerdyb (cm)	Vanninnhold (%)
st.2	0-1	88,5	st.3	0-1	88,5
st.2	2-3	85,6	st.3	1-2	86,8
st.2	4-5	85,9	st.3	3-4	86,8
st.2	6-7	85,6	st.3	5-6	85,1
st.2	8-9	82,4	st.3	7-8	65,0
st.2	10-11	84,0	st.3	9-10	84,3
st.2	12-13	83,7	st.3	11-12	80,1
st.2	14-15	83,5	st.3	13-14	82,2
st.2	16-17	72,5	st.3	15-16	81,6
st.2	18-19	81,6	st.3	17-18	80,2
st.2	20-21	81,1	st.3	19-20	78,6
st.2	21-22	81,1	st.3	22-24	73,0
st.2	24-26	72,7	st.3	26-28	65,9
st.2	28-30	77,0	st.3	30-32	73,4
st.2	32-34	65,5	st.3	34-36	73,0
st.2	36-38	73,4	st.3	38-40	75,6
st.2	40-42	71,9	st.3	42-44	71,2
st.2	44-46	65,5	st.3	46-48	68,5
st.2	50-52	70,8	st.3	50-52	67,6
st.2	52-54	66,6	st.3	52-54	70,4
st.2	54-56	66,5	st.3	54-56	68,4
st.2	56-58	68,3	st.3	56-58	68,4
st.2	58-60	63,2	st.3	58-60	71,1
st.2	60-62	63,8	st.3	60-62	69,1
st.2	62-64	68,5			

6.2 Aldersdatering basert på ^{210}Pb og ^{137}Cs

Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, 11 November 2007

Thorbjørn J. Andersen
Institute of Geography
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@geogr.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01

Dating of core ST2

Dating of core ST2

Methods

The samples have been analysed for the activity of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs via gamma spectrometry at the Gamma Dating Center, Institute of Geography, University of Copenhagen. The measurements were carried out on a Canberra low-background Ge-detector. ^{210}Pb was measured via its gamma-peak at 46,5 keV, ^{226}Ra via the granddaughter ^{214}Pb (peaks at 295 and 352 keV) and ^{137}Cs via its peak at 661 keV.

Results

The core showed a non-monotonically decrease of unsupported ^{210}Pb downcore. The top layer showed hardly any unsupported ^{210}Pb , the reason for this is unknown and that layer has been excluded from the preceding calculations. So has also two layers (16.5 and 17.5 cm) which are related to a layer of higher dry density and absence of unsupported ^{210}Pb . This layer may have been dumped on the site. The calculated flux of unsupported ^{210}Pb is $145 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ which is about twice the estimated local atmospheric supply (based on Appleby, 2001) and shows that the site is subject to sediment focussing.

The content of ^{137}Cs showed a peak at about 6 cm depth. This peak is without doubt related to the accident at Chernobyl in 1986 as this peak is generally very visible in sediments from the Oslo Fjord.

CRS-modelling has been applied on the profile using a modified method (Appleby, 2001) where the layer with the highest activity of ^{137}Cs (6.5 cm) is ascribed to 1986 (based on the ^{137}Cs -profile). Below this depth the dating is based solely on the ^{210}Pb -profile and the regression shown in fig 2. For this part of the calculations the layers at 16.5 and 17.5 cm have been omitted. The result is given in table 2 and fig 3 and 4.

The dating for the upper 15 cm of the core (approximately 50 years) is considered to be reasonable precise, mainly due to the distinct peak in ^{137}Cs . Below this level the dating is much less reliable due to the higher-density layer at about 17 cm.

11 November 2007

Thorbjørn J Andersen

Reference:

Appleby, P.G. (2001): Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M & Smol, J.P. (eds) Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin analysis, coring and chronological techniques. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Table 1. Core ST2

Depth	Pb-210tot	error Pb-210 tot	Pb-210 supupp 210Pb	error Pb-210 sup	Pb-210 unsup	error Pb-210 unsup	Cs-137	error Cs-137
cm	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1
0.5	5	1	0	50	5	50	30	19
1.5	315	49	41	5	274	49	28	21
2.5	140	22	44	43	96	49	40	10
3.5	348	55	0	17	348	57	26	23
4.5	169	25	3	31	166	40	28	11
5.5	105	16	2	32	103	36	127	12
6.5	236	29	26	3	210	30	154	11
7.5	113	25	1	36	112	44	17	18
10.5	83	12	25	7	58	14	39	6
12.5	46	10	10	18	36	21	13	11
13.5	164	31	27	56	137	64	39	14
15.5	116	24	41	2	75	24	0	0
16.5	34	8	41	11	0	13	5	4
17.5	0	11	0	27	0	29	0	0
20.5	61	12	20	10	40	15	9	5
25.0	40	7	30	6	10	9	0	0
31.0	11	4	48	5	0	6	5	4
35.0	62	12	50	0	12	12	8	4
37.0	30	8	42	3	0	9	0	0

Table 2, Core ST2

Depth	Age	error age	Date	acc rate	error rate
cm	y	y	y	(kg m-2 y-1)	(kg m-2 y-1)
0.0			2007		
1.5	3	1	2004	0.4	0.1
2.5	5	1	2002	0.5	0.2
3.5	9	2	1998	0.3	0.0
4.5	14	2	1993	0.3	0.1
5.5	17	2	1990	0.4	0.1
6.5	21	1	1986	0.3	0.0
7.5	24	3	1983	0.4	0.1
10.5	33	4	1974	0.6	0.1
12.5	37	4	1970	0.9	0.4
13.5	41	4	1966	0.4	0.2
15.5	53	5	1954	0.3	0.1
20.5	71	7	1936	0.3	0.1
25.0	100	13	1907	0.4	0.2

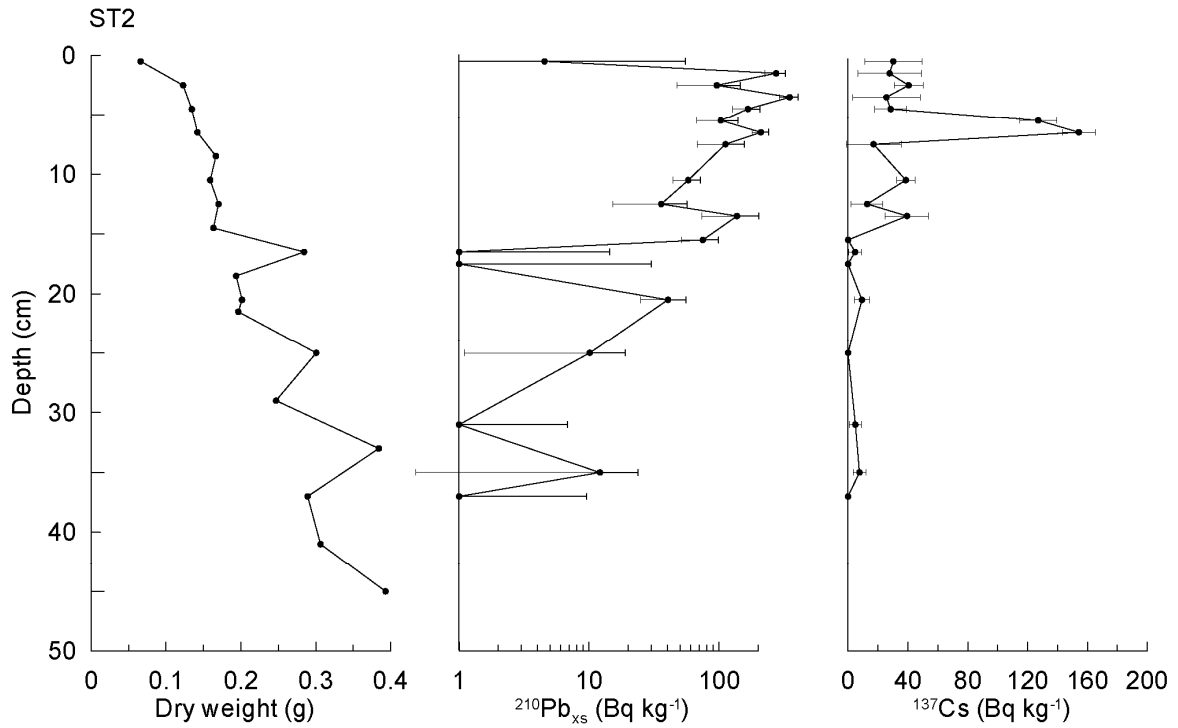


Fig 1

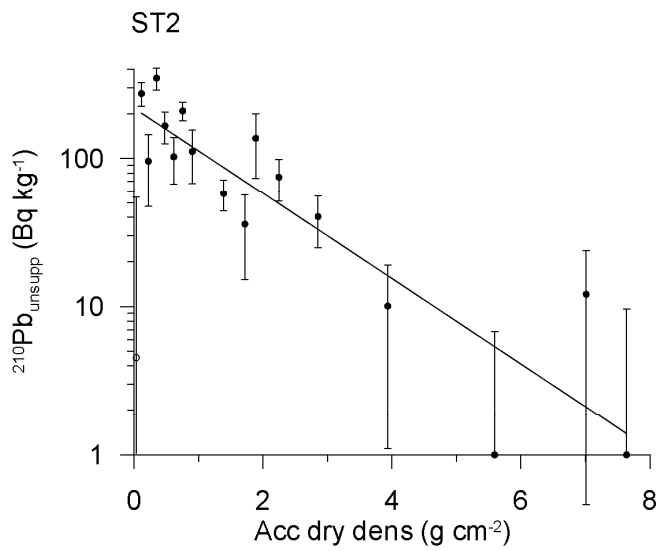


Fig 2

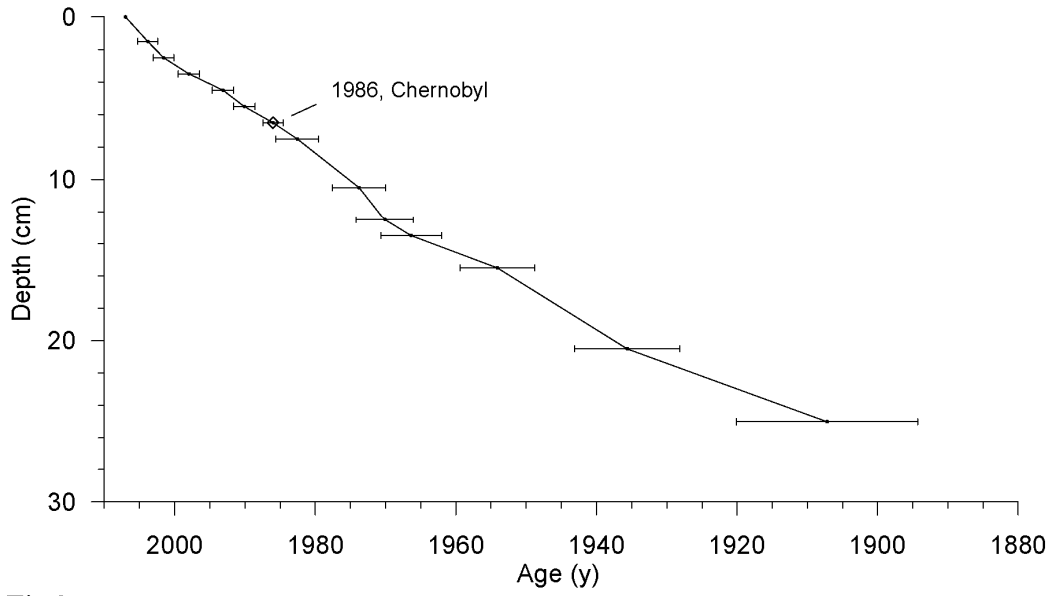


Fig 3

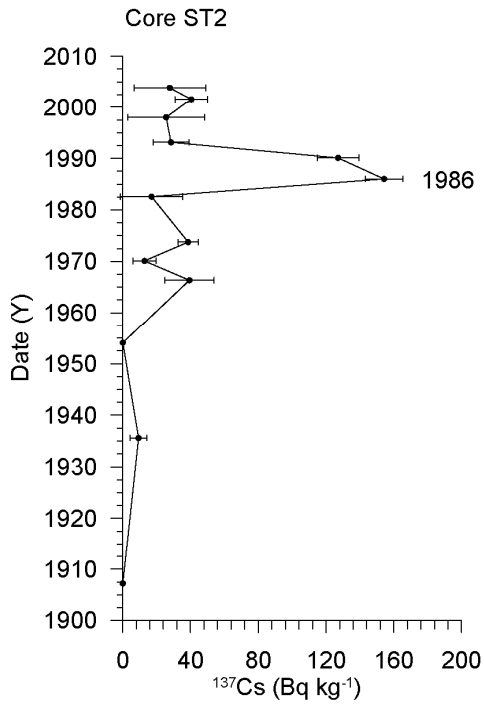


Fig 4

Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, 11 November 2007

**Thorbjørn J. Andersen
Institute of Geography
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@geogr.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01**

Dating of core ST3

Dating of core ST3

Methods

The samples have been analysed for the activity of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs via gamma spectrometry at the Gamma Dating Center, Institute of Geography, University of Copenhagen. The measurements were carried out on a Canberra low-background Ge-detector. ^{210}Pb was measured via its gamma-peak at 46,5 keV, ^{226}Ra via the granddaughter ^{214}Pb (peaks at 295 and 352 keV) and ^{137}Cs via its peak at 661 keV.

Results

The core showed generally low contents of unsupported ^{210}Pb and a non-monotonically decrease downcore. The calculated flux of unsupported ^{210}Pb is only $49 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ which is slightly less than the estimated local atmospheric supply (about $70 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, based on Appleby, 2001). This indicates that the site could be subject to minor erosion events at times or alternatively that some of the top of the core was lost during sampling.

The content of ^{137}Cs showed a peak at about 3 cm depth. This peak is without doubt related to the accident at Chernobyl in 1986 as this peak is generally very visible in sediments from the Oslo Fjord.

CRS-modelling has been applied on the profile using a modified method (Appleby, 2001) where the layer lowermost layer with high activity of ^{137}Cs (3.5cm) cm is ascribed to 1986 (based on the ^{137}Cs -profile). Below this depth the dating is based solely on the ^{210}Pb -profile and the regression shown in fig 2. The result is given in table 2 and fig 3 and 4.

A simple CRS-model dates the lowermost layer with high activity of ^{137}Cs (3.5cm) to 1998 which is obviously far too young. This indicates that some material from the top of the core may have been lost during sampling. This is also indicated by the low flux of unsupported ^{210}Pb . Consequently, the dating in the upper part is only indicative. Furthermore, the low levels of unsupported ^{210}Pb decreases the general precision of the dating.

11 November 2007

Thorbjørn J Andersen

Reference:

Appleby, P.G. (2001): Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M & Smol, J.P. (eds) Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin analysis, coring and chronological techniques. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Table 1. Core ST3

Depth cm	Pb- 210tot Bq kg-1	error Pb- 210 tot Bq kg-1	Pb-210 supupp 210Pb Bq kg-1	error Pb- 210 sup Bq kg-1	Pb-210 unsup Bq kg-1	error Pb- 210 unsup Bq kg-1	Cs-137 Bq kg-1	error Cs- 137 Bq kg-1
0.5	149	26	45	9	104	27	21	11
1.5	123	20	43	31	80	37	31	9
2.5	148	21	29	13	119	25	102	13
3.5	165	24	31	16	134	29	88	9
4.5	109	20	31	6	78	21	14	17
5.5	81	14	36	9	46	17	16	7
6.5	152	26	26	20	127	32	23	14
7.5	56	10	36	0	20	10	22	6
8.5	37	8	21	38	16	39	12	13
9.5	91	15	28	11	63	18	0	0
10.5	93	17	24	9	69	19	0	0
11.5	91	14	41	15	50	21	0	0
12.5	70	13	41	10	29	16	9	7
14.5	59	11	52	4	7	11	0	0
16.5	37	7	27	23	10	24	16	12
17.5	37	6	31	15	6	16	0	0
18.5	53	10	39	8	14	13	0	0
19.5	25	5	40	5	0	7	0	0
21.0	55	9	38	2	17	9	0	0
23.0	35	6	24	8	10	10	0	0
25.0	73	13	42	4	30	14	0	0
29.0	11	2	38	0	0	2	0	0
31.0	30	5	43	4	0	7	0	0
33.0	40	7	38	1	3	7	0	0
37.0	42	7	28	10	13	12	0	0
47.0	28	5	38	2	0	5	2	2

Table 2, Core ST3

Depth cm	Age y	error age y	Date y	acc rate (kg m ⁻² y ⁻¹)	error rate (kg m ⁻² y ⁻¹)
0.0			2007		
0.5	2	2	2005	0.2	0.1
1.5	6	3	2001	0.3	0.1
2.5	11	3	1996	0.2	0.0
3.5	21	4	1986	0.4	0.1
4.5	24	4	1983	0.4	0.1
5.5	26	4	1981	0.7	0.3
6.5	30	5	1977	0.4	0.1
7.5	34	5	1973	0.4	0.1
9.5	41	6	1966	0.5	0.2
10.5	46	7	1961	0.4	0.1
11.5	51	8	1956	0.3	0.2
12.5	55	9	1952	0.5	0.3
14.5	59	10	1948	0.9	1.3
16.5	62	10	1945	1.6	3.7
17.5	63	9	1944	1.6	3.9
18.5	65	9	1942	1.3	1.2
19.5	66	9	1941	1.6	10.3
21.0	69	10	1938	1.3	0.7
23.0	77	11	1930	0.7	0.6
25.0	97	18	1910	0.3	0.2

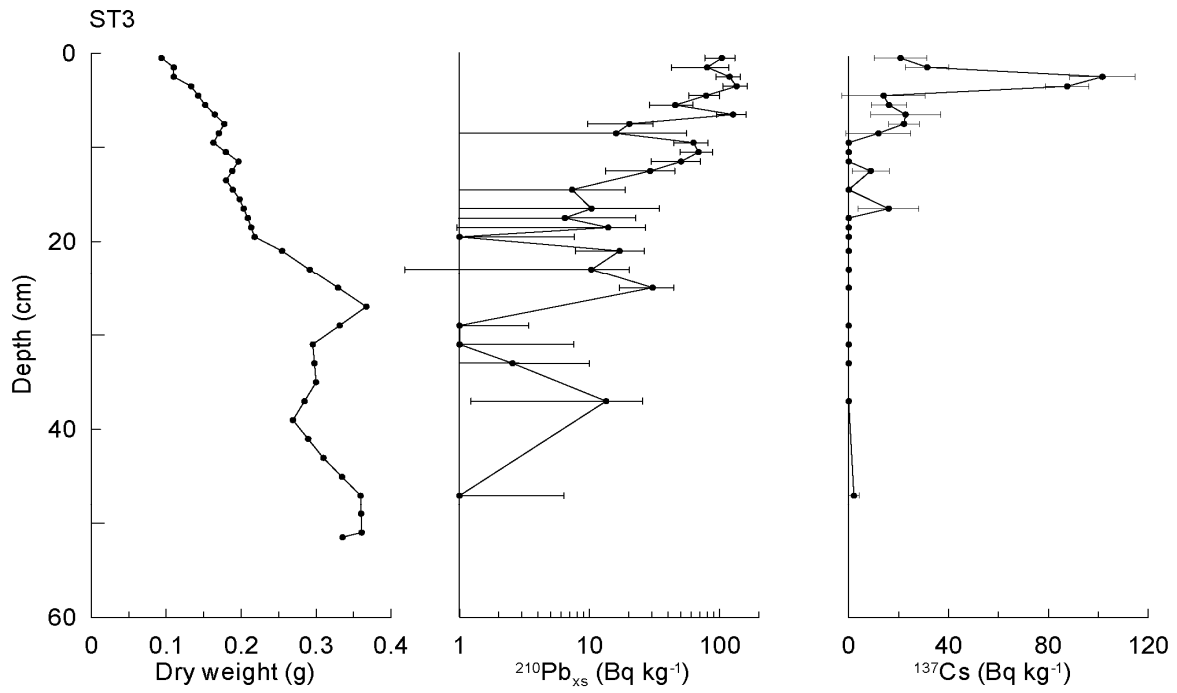


Fig 1

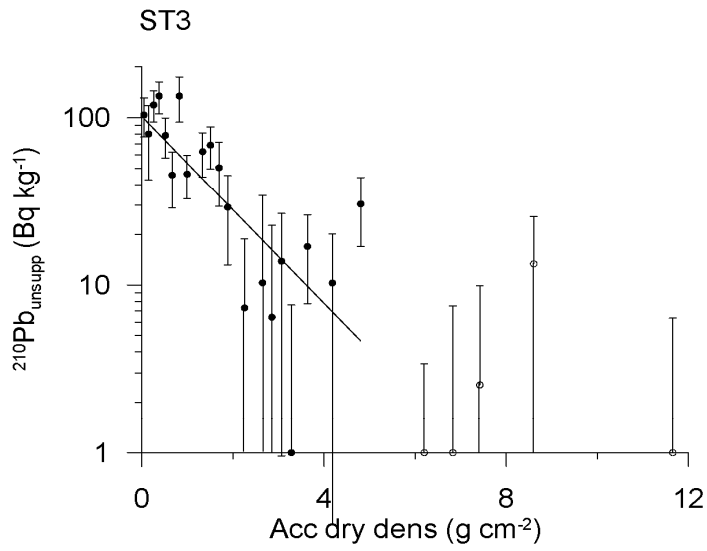


Fig 2

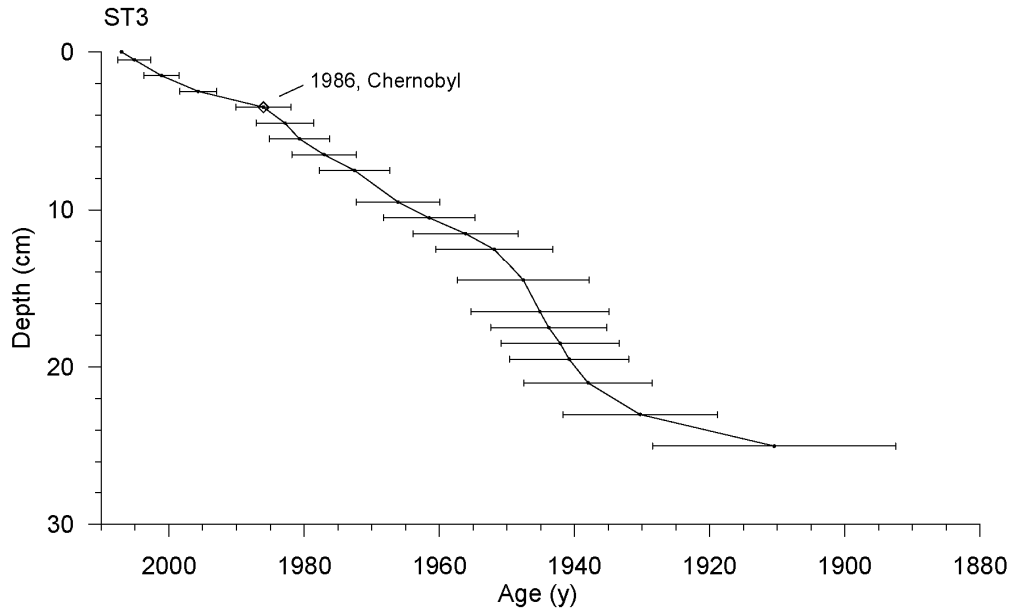


Fig 3

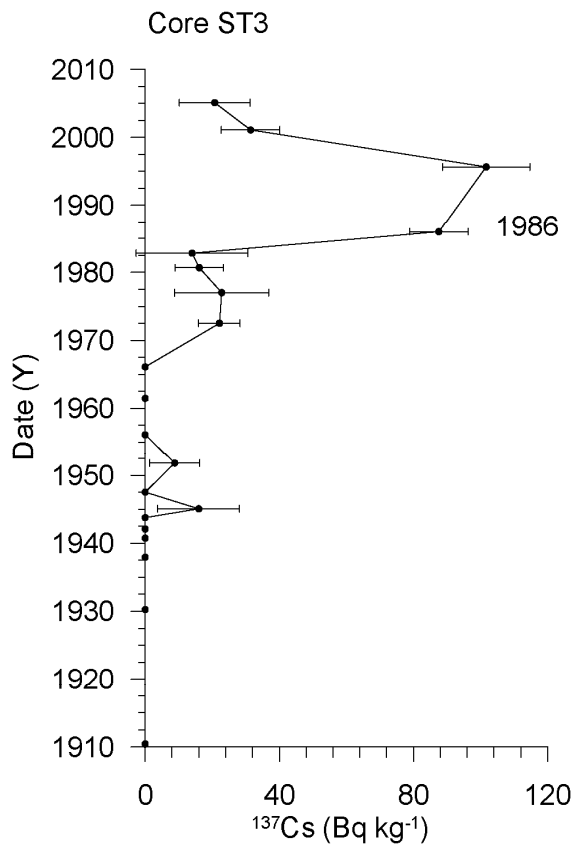


Fig 4

6.3 Faunadata

Telledata. Døde, *in situ* foraminiferer

Kjerne (vanndyp)	30A (30m)			St. 2 (25m)						20A (20m)						16A (16m)			
	48-50	58-60	70-72	12-13	21-22	28-30	36-38	58-60	60-62	62-64	0-1	18-20	24-26	38-40	52-54	56-58	0-1	0-1 L	24-25
<i>Adercotryma glomeratum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
<i>Ammoscalaria pseudospiralis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
<i>Ammodiscus gullmarensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	12	2	0
<i>Ammotium cassis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Cuneata arctica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Eggerelloides scaber</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	3	103
<i>Leptohalysis catella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	2	24	11	3	3
<i>Leptohalysis gracilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Leptohalysis scottii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	1
<i>Reophax subfusiformis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Reophax scoriurus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Saccamina</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1
<i>Spirolectamina bififormis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	14	6	21	16	16
<i>Textularia earlandi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	1	1	1
<i>Textularia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Trochammina</i> sp1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Trochammina</i> sp2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trochammina</i> sp3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	1	0	2
<i>Ammonia beccarii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0
<i>Bulimina marginata</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	5	15	2	8	25	25
<i>Buliminella elegantissima</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	3	3
<i>Cibicides lobatulus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cibicides</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Elphidium albiumbilicatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	0	23	4	26	12	4	4
<i>Elphidium excavatum</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	5	3	22	21	18	18
<i>Elphidium incertum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	4	0	0
<i>Elphidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	11	1	1
<i>Epistominella vitrea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
<i>Fissurina</i> sp.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lagena cf elongata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Nonionellina labradorica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Stainforthia fusiformis</i>	0	1	1	1	0	1	0	0	1	16	5	3	0	0	429	243	34	82	28
<i>Stainforthia loeblichii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Antall talte individer	0	3	2	1	0	1	0	0	2	23	35	8	0	0	468	283	155	188	271
Antall foraminiferarter	0	3	2	1	0	1	0	0	2	5	10	4	0	0	7	8	18	15	25
Antall døde/g tørt sediment	0	2	1	1	0	0	0	0	1	11	5	4	0	0	238	182	nd	nd	278
1/2 juvenile muslingskall	3	18	noen	3	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	3	0	0	0	0
1/2 ostracodeskall	2	25	0	0	0	0	0	0	0	0	38	4	0	0	11	1	1	0	2
juvenile gastropoder	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
trochospirale foringer	12	7	noen	16	4	22	17	10	4	21	119	25	5	4	10	6	13	-	76
planspirale foringer	2	2	0	5	0	8	1	2	3	5	63	12	3	2	2	2	10	-	13
Gruntvannsforaminiferer	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	84	8	1	3	7	0	2	3	2

L (kjerne 16A, 0-1 cm) = levende (fargede) individer

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no