



Undersøkelser av den historiske oksygenutviklingen og naturtilstanden i Horten Indre Havn

Silvia Hess og Elisabeth Alve, oktober 2014

Forord

Institutt for geofag, Universitetet i Oslo (UiO) har, på oppfordring fra Samordningsgruppen i Horten Indre Havn, utført analyser av sedimentkjerner med sikte på å beskrive naturtilstanden samt oksygenutviklingen på ulike vanddyp i Horten Indre Havn, Vestfold. Forsvarsbygg har vært formell samarbeidspartner på vegne av samordningsgruppen. Arbeidet er utført som et ledd i instituttets utvikling av overvåkningsmetoder som gjør det mulig å definere miljøendringer over tid, fra naturtilstanden til i dag (jf. EUs Vannrammedirektive, 2000/60/EF), ved hjelp av miljøstratigrafiske undersøkelser.

Feltarbeidet ble gjennomført 27. mars 2014 med Universitetets forskningsfartøy 'F/F Trygve Braarud'. Vi takker Sindre Holm og hans mannskap for god hjelp med prøveinnsamlingen. Tore Joranger (Forsvarsbygg) og Christopher Duffield (UiO) takkes for hjelp med oksygenmålingene og prøvetaking om bord.

Elisabeth Alve har vært UiOs prosjektleder og Silvia Hess har hatt ansvaret for foraminifer- og sedimentanalysene samt rapporteringen. Aldersdateringene (^{210}Pb og ^{137}Cs) ble utført av Thorbjørn J. Andersen ved Universitetet i København. Kjemiske analyser av utvalgte miljøgifter (metaller og organiske miljøgifter) ble gjennomført av ALcontrol Laboratories (Linköping), TOC- og N- analyser ble utført ved hjelp av Mufak Naoroz og Berit Kaasa (begge UiO).

Forsvarsbygg, og spesielt Tore Joranger, takkes for godt samarbeid ved gjennomføringen av et meget interessant prosjekt.

Oslo, oktober 2014

Silvia Hess & Elisabeth Alve

Hess, S., Alve, E., 2014. Undersøkelser av den historiske oksygenutviklingen og naturtilstanden i Horten Indre Havn. Institutt for Geofag, Universitetet i Oslo

ISBN 978-82-91885-44-5

Innhold

Sammendrag	3
1 Innledning	4
1.1 Bakgrunn for undersøkelsene	4
1.2 Bentiske foraminiferer og miljøstratigrafiske analyser	4
1.3 Formål.....	5
2 Horten Indre Havn	6
3 Materiale og metoder	7
3.1 Feltarbeid	7
3.2 Analyser.....	8
4 Resultater og diskusjon	10
4.1 Stasjon HIH-4 (20 m vanndyp)	10
4.2 Stasjon HIH-2 (16 m vanndyp)	14
4.3 Stasjon HIH-1 (12 m vanndyp)	16
4.4 Stasjon HIH-3 (8 m vanndyp)	20
5 Avsluttende diskusjon	26
5.1 Historiske forandringer i miljøgiftkonsentrasjoner i HIH	26
5.2 Historiske forandringer i tilførsel av organisk materiale til HIH	28
5.3 Historisk oksygenutvikling i HIH.....	29
6 Konklusjon	33
7 Referanser	34
8 Vedlegg	37

Sammendrag

Formålet med denne undersøkelsen var å rekonstruere den historiske oksygenutviklingen i Horten Indre Havn (HIH) over en lengre tidsperiode (noen hundre år) for å vurdere naturtilstanden på forskjellige vanddyb i bassenget. Undersøkelsen baserer seg på data fra fossile foraminiferfaunaer, samt geokjemiske og sedimentologiske analyser av daterte sedimentkjerner fra 8, 12 og 20 m vanddyb. Slike miljøstratigrafiske undersøkelser gjør det mulig å vurdere lokale, historiske forandringer i miljøtilstanden.

I denne rapporten definerer vi 'naturtilstanden' som tidsrommet før konsentrasjonene av total organisk karbon i sedimentene i HIH begynte å øke relativt til bakgrunnsnivået (stort sett tiden frem til midten av 1800-tallet). Foraminiferfaunaene og aldersdateringene tyder på at naturtilstanden i dypere deler av HIH-bassenget (≥ 12 m vanddyb) var 'dårlig' til 'svært dårlig' allerede i løpet av 1600-1700-tallet, dvs. at oksygenkonsentrasjonene i bunnvannet var kritisk lave før den generelle, industrielle forurensningsperioden startet. På 8 m vanddyb var naturtilstanden 'moderat' til 'dårlig' som følge av brakkvannsforhold, noe som karakteriseres av lavt artsmangfold. I løpet av 1980-tallet har tilstanden på 8 m vanddyb forandret seg til 'svært dårlig', sannsynligvis som følge av oksygensvikt i forbindelse med økt næringstilførsel.

Tilførselen av organisk materiale og miljøgifter til bassenget begynte å øke fra stabile bakgrunnsverdier da skipsbyggingsaktiviteten tok til på 1820-tallet. I motsetning til konsentrasjonen av miljøgifter som nådde maksimumsnivåer på 1960- og 1970-tallet for deretter å avta, forble TOC og oksygenforholdene 'dårlige' frem til i dag. Årsaken til dagens anoksiske forholdene i de dypere deler av HIH bassenget antas å være en kombinasjon av forurensningsbelastningen siden midten av 1800-tallet og de naturlige geomorfologiske og hydrografiske forholdene (nærmest innelukket basseng med grunne terskler og begrenset dypvannsfornyelse). Med dagens tilførsel av organisk materiale kombinert med begrenset dypvannsutskifting, er det ikke rimelig å anta at oksygenforholdene i HIH vil bedre seg på naturlig vis.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for undersøkelsene

En rekke tidligere undersøkelser har dokumentert at bunnsedimentene i Horten Indre Havn (HIH) er betydelig forurenset med metaller og organiske miljøgifter (f. eks., Øxnevad et al. 2011a, b). Det er utarbeidet en tiltaksplan for HIH (DNV 2014) som identifiserte behov for supplerende undersøkelser for å sikre et bedre beslutningsgrunnlag for å definere behovet for tiltak. Som en del av dette arbeidet besluttet samordningsgruppen i Horten å gjennomføre undersøkelser for å få kunnskap om utviklingen av de historiske miljøforholdene i bassenget.

I dag er oksygenforholdene i de dypere (> 10 m dyp) delene av bassenget overveiende så dårlige (Lund 2013, Joranger 2013) at det ikke finnes levende høyere marine organismer der (Saunes & Konieczny 2013).

For å vurdere om de dårlige oksygenforholdene i HIH er et resultat av menneskelig aktivitet og forurensningstilførsler fra lokale kilder, er det nødvendig å ha kjennskap til de naturlige oksygenforholdene i bassenget fra perioden før menneskelig aktivitet startet (dvs. å bestemme referansetilstanden/naturtilstanden i området, jf. EUs Vannrammedirektive, 2000/60/EF). I følge den nye veilederen for klassifisering av miljøtilstand i vann er referansetilstanden (også kalt naturtilstand) trolig den største usikkerhetskilden ved klassifisering av økologisk status. Foreløpig brukes lik referansetilstand i alle økoregioner og vanntyper. Dette er spesielt problematisk i områder som har vært naturlig anoksiske selv før menneskelig aktivitet gjorde seg gjeldende. I slike områder anbefaler den nye veilederen å benytte 'den retrospektive foraminifermetoden' (Veileder 2:2013, kap. 8.6.7 og V8.4.10). Dette er en miljøstratigrafisk analysemetode basert på tolkninger av fossile bentiske foraminiferer (encellede organismer) i marine sedimentkjerner og tilhørende geokjemiske støtteparametere.

I denne rapporten definerer vi 'naturtilstanden' som tidsrommet før konsentrasjonene av total organisk karbon i sedimentene begynte å øke i HIH-området (stort sett tiden frem til midten av 1800-tallet).

1.2 Bentiske foraminiferer og miljøstratigrafiske analyser

Bentiske foraminiferer er små (< 0,5 mm), skallbærende protister som lever i de aller fleste marine- og brakkvannsmiljøer. De foraminiferartene som er relevante i forbindelse med denne undersøkelsen har skall som enten består av kalsiumkarbonat (kalkskall) eller av sammenkittede sedimentkorn (agglutinerte skall). Tomme, 'døde', skall bevares som mikrofossiler og disse akkumuleres i sjøbunnsedimentene.

På samme måte som makroinvertebrater, reflekterer foraminiferene miljøforholdene på bløtbunn, og nyere studier har vist at foraminiferer og makroinvertebrater klassifiserer miljøtilstanden likt (f.eks., Dolven et al. 2013). Selv om noen foraminiferarter kan overleve kortere tid (uker) under anoksiske forhold (f.eks., Moodley et al. 1997), overlever de ikke i områder hvor bunnforholdene er dominerende anoksiske (Alve 1995). Følgelig kan endringer i deres forekomst, artssammensetning og samfunnsstruktur i ulike sedimentlag reflektere lokale miljøendringer som har foregått i det tidsrommet som er representert ved de innsamlede sedimentene (Alve et al. 2009, Dolven & Alve 2010, Dolven et al. 2013). Til denne type undersøkelser benyttes daterte sedimentkjerner fra bassenger med netto sediment-akkumulasjon hvor bunnen har vært minst mulig utsatt for fysisk forstyrrelse. Sedimentene dateres ved hjelp av radioaktive isotoper som ^{210}Pb og ^{137}Cs . I tillegg benyttes analyser av miljøgifter og organisk karbon fra ulike sedimentlag som støtteparametere og til korrelasjon mellom kjernene. Ved hjelp av denne metoden kan man kvantifisere om, og eventuelt i hvor stor grad, dagens tilstand skiller seg fra naturtilstanden. Foraminiferer kan også benyttes til å vurdere vellykketheten av miljøtiltak som tildekking av forurenset sjøbunn med rene masser eller eventuell re-oksygenering av tidligere anoksiske basseng (Hess et al. 2014).

1.3 Formål

Hovedformålene med denne undersøkelsen er å rekonstruere oksygenutviklingen i HIH i løpet av en lengre tidsperiode (noen hundre år) og å foreta en vurdering av naturtilstanden på forskjellige vanddyp. Fordi det ikke forelå noen informasjon om sedimentasjonshastigheten i HIH før undersøkelsen ble gjennomført, var det uvisst hvilken alder ulike sedimentdyp på ulike stasjoner representerte. Det var, med andre ord, usikkert hvor lange sedimentkjerner som måtte analyseres for å skaffe tilveie materiale avsatt i løpet av de siste par hundre år. Følgelig ble det samlet inn minst så lange sedimentkjerner som benyttet i andre deler av Oslofjorden hvor sediment-akkumulasjonsraten er kjent. For å kunne følge utviklingen av en eventuell oppgrunning av 'dårlige' oksygenforhold over tid, ble kjernene samlet inn på ulike vanddyp. Områder hvor vi antok at sedimentene var påvirket av båtpropeller ble unngått. Dette optimerte mulighetene for å velge kjerner fra uforstyrrede avsetningsområder hvor sedimentene representerer kontinuerlige tidsserier og derved avspeiler den temporære utviklingen av miljøforholdene på hver enkelt stasjon.

Undersøkelsen baserer seg på data fra fossile foraminiferfaunaer og geokjemiske analyser (TOC, N, samt utvalgte metaller og organiske forbindelse) av daterte (^{210}Pb og ^{137}Cs) sedimentkjerner fra 8, 12 og 20 m vanddyp. To kjerner fra 16 m ble også samlet inn og analysert for vanninnhold, men resultatene indikerte forstyrrelser i stratigrafien så stasjonen ble forkastet.

2 Horten Indre Havn

Horten Indre Havn (HIH) er et lite, grunt basseng på vestsiden av Breianger i ytre Oslofjord med et maksimalt vanddyb på 27 m. Bassenget er stort sett omgitt av fastland og øyer og en utskifting av vannmassene med ytre Oslofjord er bare mulig via en grunn terskel (ca. 9 m) og trange sund med < 6 m vanddyb (Fig. 1).

Vannmassene i HIH er inndelt i sjikt basert på saltholdighet. Målinger gjennomført med CTD på 'F/F Trygve Braarud' 26. mars og 27. mai 2014 viste et øvre brakvannslag (saltholdighet < 16) med ca. 5 m tykkelse. Under dette, ned til ca. 10–14 m, økte saltholdigheten til ca. 33 hvoretter den holdt seg stabil ned til bunnen i det dypeste området. I det innestengte HIH-bassenget med sine grunne terskler og sund fornyes dypvannet meget sjeldent (hvor sjeldent er ikke dokumentert).

Hele HIH er et bruksområde med stor aktivitet. Det finnes flere småbåthavner og båttrafikken er preget av fartøyer knyttet til Forsvaret, lokal industri og friluftsliv. Horten Industripark ligger i SØ og omfatter i dag industri og teknologiske virksomheter. HIH har i mange år vært belastet med utslipp av organisk materiale (fra by-, industri- og renseanlegg) og forurensning (hovedsakelig fra deponier og verftsvirksomhet). Bunnsedimentene i HIH er betydelig forurenset med metaller og organiske miljøgifter og oksygenforholdene i bunnvannet er veldig dårlig med delvis totalt oksygenvinn i dypvannet (f. eks., Øxnevad et al., 2011a, b, Walday et al. 2012, Lund 2013). Grensen mellom oksygenfritt og vann med oksygen varierer gjennom året, og fra år til år (Lund 2013). Hvorvidt de dårlige oksygenforholdene skyldes naturlige eller menneskeskapte forhold har vært ukjent frem til utarbeidelsen av denne rapporten.

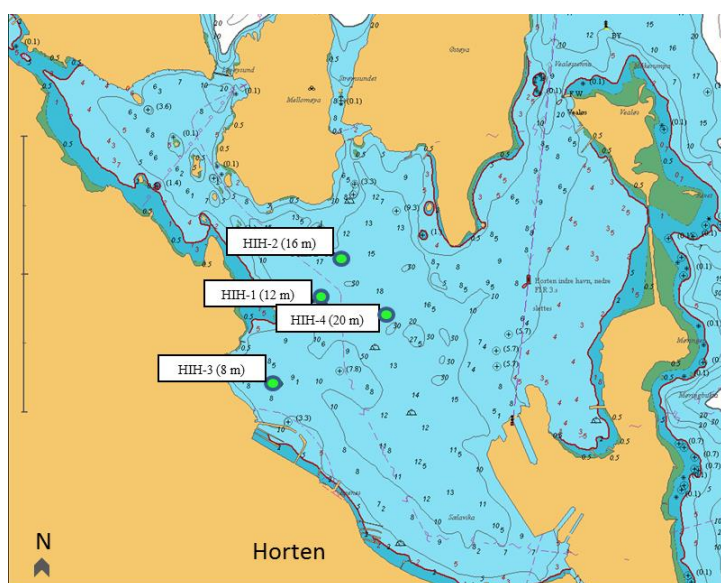


Fig. 1. Kart over Horten Indre Havn (HIH) med prøvestasjoner.

3 Materiale og metoder

3.1 Feltarbeid

Feltarbeidet i HIH ble utført 27. mars 2014 med Universitetets forskningsfartøy 'F/F Trygve Braarud'. Da de laveste oksygenkonsentrasjonene forekommer på >10 m vandndyp ble sedimentkjerner tatt på fire stasjoner fra 8, 12, 16 og 20 m vandndyp for å dekke oksygengradienten i bassenget best mulig. Posisjoner og stasjonsinformasjon er gitt i Tabell 1. For å kunne sammenlikne sedimentakkumulasjonsratene basert på sedimentdateringen med ratene beregnet fra sedimentfelledata ble en av stasjonene lagt i nærheten til NGIs dobbelt-sedimentfelleinstallasjon (stasjon HIH-1, Fig. 1). De øvrige stasjonene ble lagt til områder med antatt minimal fysisk forstyrrelse (f. eks., propelloppvirvling) og med kontinuerlig sedimentakkumulasjon.

Stasjon (UiO)	Lengdegrad (Ø)	Breddegrad (N)	Vandndyp (m)	Kjerne (UiO)	Prøvetaker	Kjerne-lengde (cm)	Prøvetatt (cm)	Antall prøver	Antall prøver brukt for analyser				
									Vanninnhold	Datert	C/N	Miljøgifter	Forams
HIH-1	10.464967	59.435234	12	A	Gemini	63	0 - 59	40	x			20	
				B		62	0 - 2	2				1	
				C		59	0 - 2	2				1	
				D		60	-	-					
				E		68	0 - 66	43	x	x	40		18
				F		64	0 - 2	2					1
				G		-	-						
				H	Abdullah	89	-	-					
HIH-2	10.466884	59.437199	16	A	Abdullah	97	70 - 97	7	x				
				B	Gemini	60	-	-					
				C		70	0 - 68	44	x				
				D		77	-	-					
				E		58	-	-					
				F		59	0 - 56	38	x				
HIH-3	10.461062	59.431877	8	A	Gemini	32	-	-					
				B		32	0 - 2	2				1	
				C		33	-	-					
				D		31	0 - 2	2				1	
				E		32	0 - 2	2				1	
				F		39	0 - 38	29	x			15	
				G		40	0 - 40	30	x	x	30		13
HIH-4	10.470629	59.434834	20	A	Abdullah	80	52 - 80	7	x				3
				B	Gemini	55	0 - 52	36	x		3	19	
				C		58	0 - 54	37	x	x	33	4	20

Tabell 1. Oversikt over stasjoner, kjerner og analyser foretatt på sedimenter fra Horten Indre Havn samlet inn i mars 2014.

Ved hjelp av en Gemini- (indre diameter 8 cm) og/eller Abdullah- (indre diameter 5,6 cm) kjerneprøvetaker ble minst tre sedimentkjerner samlet inn på hver stasjon. For at en kjerne skulle godkjennes til videre bearbeiding og analyser, måtte den komme om bord med klart bunnvann og uforstyrret sedimentoverflate. Ved bruk av en YSI Pro ODO optisk oksygenmåler ble temperatur og oppløst oksygen i vannet over sedimentoverflaten målt i én kjerne fra hver stasjon. I tillegg ble oksygenkonsentrasjonen i en sedimentkjerne fra stasjon HIH-3 (8 m vanddyb) målt med en Unisense 100µm Oxygen Microsensor. To av de lengste og beste Gemini-kjerner fra hver av de fire stasjonene ble plukket ut som potensielle kandidater for de retrospektive studiene. Sedimentkjernene ble snittet i 1 og 2 cm tykke skiver (0-20 cm i 1 cm skiver og resten i 2 cm skiver). På stasjon HIH-1 (12 m vanddyb) og HIH-3 (8 m vanddyb) ble toppen (0-2 cm) fra tre kjerner prøvetatt for analyser av levende (fargede) foraminiferfaunaer. Disse prøvene ble preservert i 70 % etanol tilsatt fargestoffet Bengalrosa (1 g/L). De resterende kjernene og de lange Abdullah-kjernene ble skjøvet ut på dekk, vertikalt splittet i to og brukt til sedimentprofilbeskrivelse. På stasjon HIH-4 (20 m vanddyb) ble de nederste 28 cm av Abdullah-kjernen prøvetatt og brukt som en forlengelse av Gemini-kjernene.

3.2 Analyser

Ved laboratorieopparbeidingen ble prøvene fra 8 Gemini- og 2 Abdullah-kjerner (Tabell 1) frysetørket, tørrvekt saltkorrigert og vanninnholdet i sedimentet beregnet. Basert på resultatene fra vanninnholdsanalysene ble det besluttet å datere en Gemini-kjerne fra hver av stasjonene HIH-1 (12 m vanddyb), HIH-3 (8 m vanddyb) og HIH-4 (20 m vanddyb) da disse viste minst tegn til fysisk forstyrrelse. Prøvene fra disse kjernene ble datert ved å analysere aktiviteten av de radioaktive isotoper ^{210}Pb og ^{137}Cs på Gamma Daterings Sentret på Universitetet i København, Danmark. Alderen til nivåer under eldste daterte nivå ble beregnet ved ekstrapolasjon av aldersmodellen nedover i kjernene. Da ekstrapolasjonen er basert på en konstant sedimentasjonsakkumulasjonsrate, er disse beregnede årstallene skrevet i *kursiv* for å vise at det er usikkerhet knyttet til dem.

For foraminiferanalysene ble ca. 5 gram tørt sediment fra utvalgte nivåer i de tre daterte kjernene benyttet. Subprøvene ble våtsiktet gjennom en 63 µm sikt og den tørkede fraksjonen >63 µm ble analysert med et binokulærmikroskop. Hvis mulig ble ca. 250 foraminiferindivider plukket, talt og bestemt til art. Individtettheten i prøvene ble standardisert til antall foraminiferskall per 1 g tørt sediment. Basert på individtettheten og sedimentakkumulasjonsraten ble akkumulasjonsraten av bentiske foraminiferer, BFAR (Benthic Foraminiferal Accumulation Rate; Herguera 1992)

beregnet. I tillegg ble artsantall bestemt. I prøver hvor individtettheten var høy nok (dvs. > 50, resp. >100 individer) ble diversitetsindeksene Shannon-Wiener ($H'_{\log 2}$) og Hurlberts (ES_{100}) beregnet ved hjelp av programmet PRIMER versjon 6.1.6 (Clarke & Gorley 2006). Disse to indeksene er brukt i det norske biologiske klassifiseringssystemet for miljøtilstand som er basert på makrofauna (Veileder 01:2009, Veileder 02:2013). Den samme klassifiseringen er benyttet i denne rapporten basert på foraminifer- i stedet for på makrofauna. Dersom diversitetsindeksene ($H'_{\log 2}$ og ES_{100}) for en og samme prøve ikke falt innenfor samme tilstandsklasser ble, i hht. 'det verste styrer' prinsippet (Veileder 02:2013), den dårligste av de to brukt til å bestemme miljøtilstanden. Likheten mellom foraminiferfaunaene i prøvene ble beregnet ved Bray-Curtis likhetsindeks og plottet som dendrogram ved bruk av programmet PRIMER versjon 6.1.6 (Clarke & Gorley 2006).

Fordelingen av innholdet av leire/silt (< 63 μ m) og sand (> 63 μ m) ble bestemt utfra vekten av foraminiferprøvene. Utvalgte prøver fra de daterte kjernene ble analysert mht. innhold av total organisk karbon (TOC) og nitrogen (Flash EA 1112 NC Analyser) og C/N-forholdet, som indikerer om det organiske materialet i sedimentene hovedsakelig stammer fra marine eller terrestriske kilder (Meyers 1994), ble beregnet. Basert på TOC-innholdet og sedimentakkumulasjonsraten ble akkumulasjonsraten av organisk karbon bestemt. Fra parallelle kjernene ble materiale tatt for kjemiske analyser av utvalgte miljøgifter (metaller og organiske miljøgifter) og sent til ALcontrol Laboratories i Linköping. Utvalget av miljøgifter ble foretatt i samråd med Tore Joranger (Forsvarsbygg). Da vanninnholdsresultatene viste meget god overensstemmelse mellom parallellkjernene fra hver av de 3 utvalgte stasjonene, ble det ansett som faglig forsvarlig å benytte parallellkjernene til dette formål.

For klassifiseringen av den kronologiske utviklingen av miljøtilstanden i kjernene ble klassifikasjonssystemet med fargekoder i henhold til Vanddirektivet (Veileder 97:03, SFT 2007a, Veileder 02:2013) anvendt (Vedlegg 8.1). Dersom miljøgiftkonsentrasjonen av forskjellige parametere for en og samme prøve falt innenfor forskjellige tilstandsklasser ble, i hht. 'det verste styrer' prinsippet (Veileder 02:2013), den dårligste klassen benyttet til å beskrive miljøtilstanden.

4 Resultater og diskusjon

Resultatene i dette kapitlet er presentert fra den dypeste (20 m vanddyb) til den grunneste (8 m vanddyb) stasjonen. Alle analyseresultater finnes i kapittel 8 som Vedlegg.

4.1 Stasjon HIH-4 (20 m vanddyb)

Stasjon HIH-4 ligger i det dypeste bassengområdet (Fig. 1). Salinitet i bunnvannet var ca. 33. Bunnvannets temperatur målt på toktet var 8,6 °C og oksygen-konsentrasjonen var lav med 0,57 mgL⁻¹ (5,9 % oppløst oksygen).

Fra bunnen og opp til ca. 30 cm kjernedyb var sedimentene i HIH-4 kjernene mellomgrå med spredte, små, hvite skallfragmenter. Noen nivåer var litt sandigere enn lenger opp i kjernen. Sedimentene ble gradvis løsere og mørkere oppover. I de øverste 20 cm i kjernene var sedimentene løse, mørke/sorte og luktet H₂S opp til overflaten (Fig. 2). På overflaten til HIH-4 kjernene ble det ikke observert noe tegn til liv. I tillegg til prøvene fra Gemini-kjernene HIH-4-B og C ble det analysert tre prøver fra den mellomgrå, dypeste delen (52-75 cm) av Abdullah-kjernen HIH-4-A (Tabell 1).

Sandinnholdet (> 63 µm) var generelt lavt; 0,5–5,5 %. Vanninnholdet var tilsvarende høyt, spesielt i øvre del (54–89 %) og verdiene for de to parallellkjernene var meget like, nærmest overlappende (Fig. 2).

Mikroskoperingsanalysene viste at små (noen mm) skallfragmenter (fra muslinger) var hyppige i de nedre ca. 25 cm av kjernen HIH-4-C. Plantefiber og –fragmenter ble observert i de øverste ca. 45 cm. Mellom 14-25 cm forekom det kull og slagfragmenter.

I følge rapporten fra dateringssenteret i København er kvaliteten på ²¹⁰Pb-dateringen av kjerne HIH-4-C ikke optimal og bør bare betraktes som veiledende. Sedimentakkumulasjonsraten var ikke konstant og daterings-resultatene tyder på at den var høyere på 3-5 cm kjernedyb (i perioden 2006-2001) i forhold til nivåene over og under. Den høyere sedimentasjonshastighet henviser til at kanskje noe re-sedimentasjon skjedde tidvis i dette intervallet, men dette påvirket verken vanninnholdet eller metallkonsentrasjonen da de i stor grad følger det samme mønster som i kjernen fra stasjonen HIH-1 (12 m vanddyb). Dateringen av kjerne HIH-4-C viste en klar ¹³⁷Cs-topp på 8,5 cm kjernedyb hvilket sannsynligvis markerer en alder på 1986 (Chernobyl-ulykken) og ble følgelig brukt som en referansealder i aldersmodellen. Utover dette er daterings-resultatene for usikre til at det er faglig

forsvarlig med en ekstrapolering av resultatene nedover i kjernen. Resultatene fra metallanalysene tydet på at det nederste kjerneintervallet representerer referansetilstanden, dvs. sedimentene viser en klar topp i metallkonsentrasjonene på rundt 14-20 cm kjernedyp, med en fordelingsprofil som viser stor likhet med den i kjernen fra 12 m vanndyp. Sistnevnte viste en meget vellykket datering (se kapittel 4.3). Da det er rimelig å anta at tilførslene av metaller til HIH forgikk på samme tidspunkt på 20 m og på 12 m vanndyp, antar vi følgelig at nivået der metallkonsentrasjonene øker fra bakgrunnskonsentrasjonene representerer samme alder. Dette medfører at det nederste kjerneintervallet i kjerne HIH-4 representerer sedimenter avsatt på 1800-tallet og eventuelt tidligere.

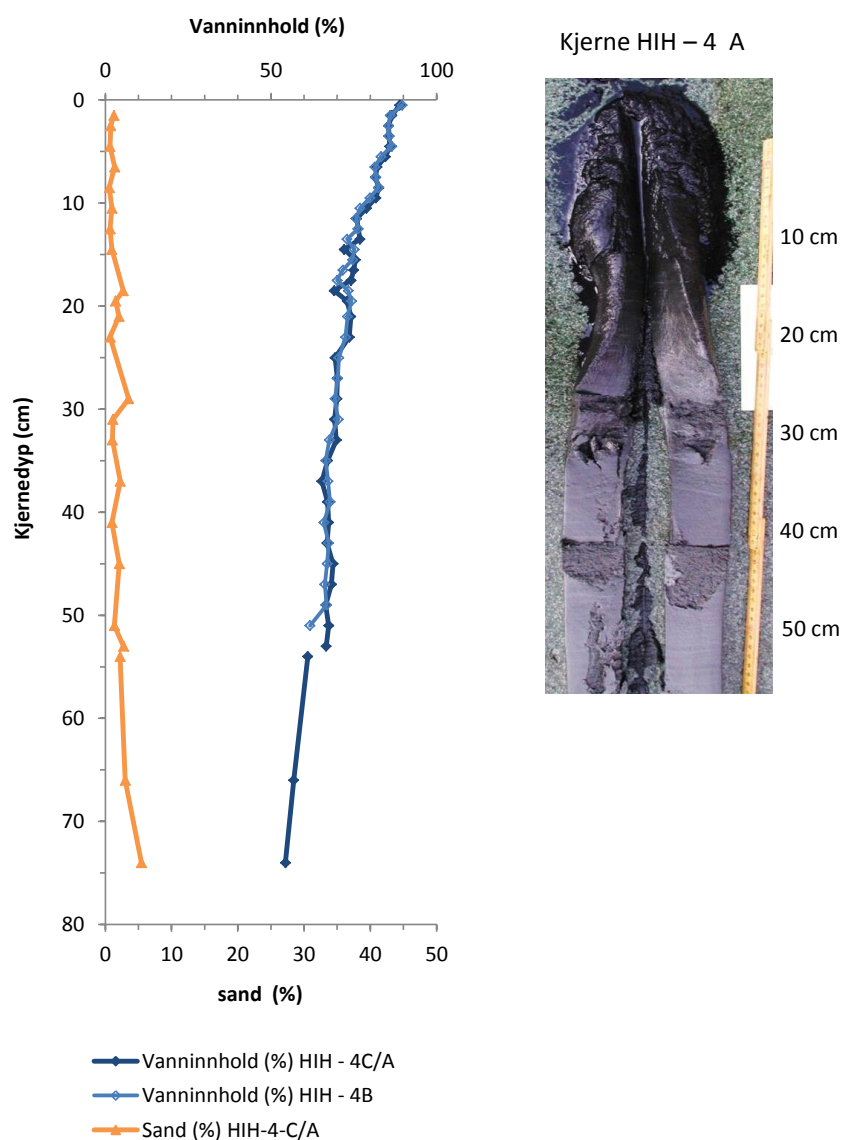


Fig. 2. Venstre: Vann- og sandinnhold (> 63 µm) i sedimentene fra stasjon HIH-4 (20 m vanndyp). Høyre: Lengdesnitt av de øverste 55 cm til kjernen HIH-4-A.

Konsentrasjonene av TOC i kjerne HIH-4-C (20 m vandndyp) var tydelig lavere i de dypere/eldre sedimentene enn i de øverste/ynge og økte kontinuerlig oppover i kjernen (Fig. 3). Miljøtilstanden for TOC-verdiene indikerte ‘god’ til ‘moderat’ tilstand fra bunnen og frem til ca. 30 cm kjernedyp. Deretter fortsatte utviklingen til vekslende ‘dårlig’ og ‘svært dårlig’ frem til prøvetakingstidspunktet (Fig. 3). I kjerne HIH-4-C er C/N-verdiene relativt stabile på 9-10 frem til ca. 30 cm kjernedyp for deretter å nå maksimumsverdier på 11-12, på mellom 12 og 29 cm kjernedyp, hvor relativ tilførsel av terrestrisk organisk materiale var størst. Deretter reduseres verdiene igjen og når minimumsverdier på 7-8 i øvre del av kjernen (Fig. 3). Dette avspeiler at tilførselen av organisk materiale til sedimentene har blitt stadig mer dominert av marint fytoplankton i løpet av de siste årtiene.

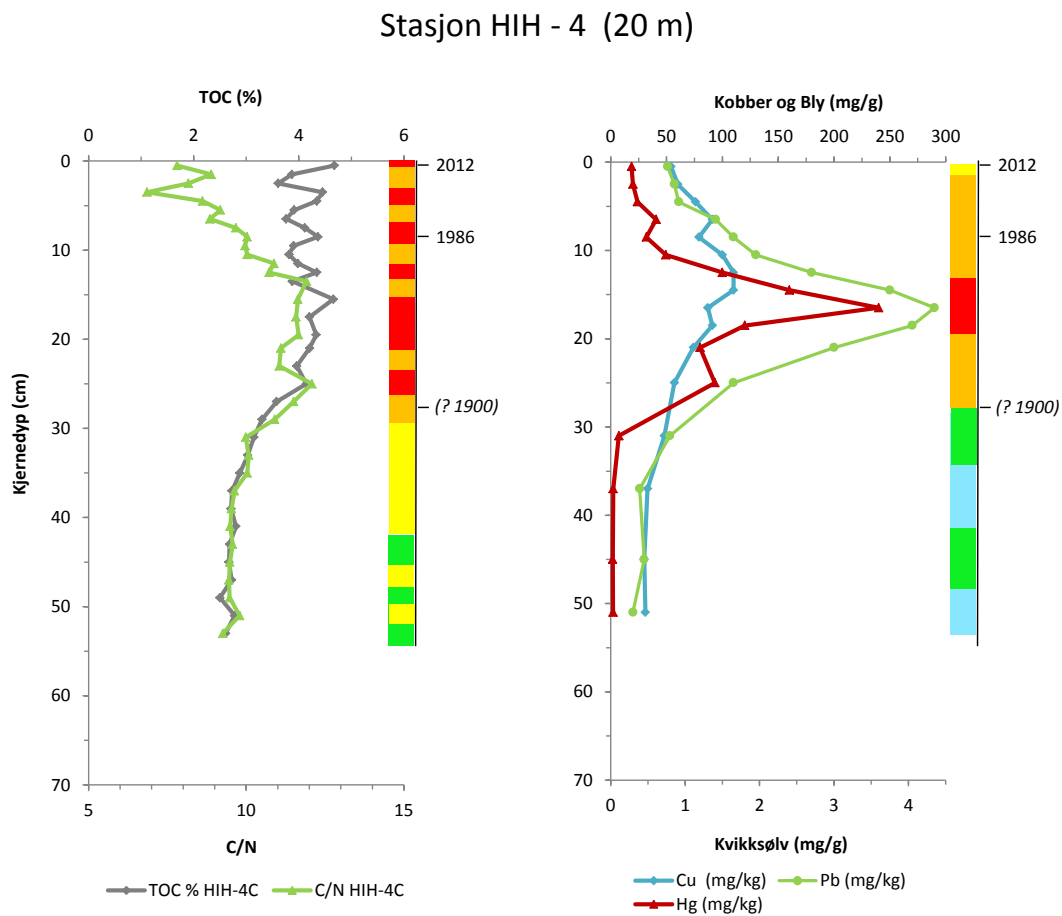


Fig. 3. TOC, C/N-forhold, kobber-, bly- og kvikksølvkonsentrasjoner i sedimentene fra HIH-4 (20 m vandndyp). Metallklassifiseringen følger ‘det verste styrer’ prinsippet. Miljøtilstandsklassifiseringen følger fargekodene i vedlegg 8.1.

De laveste metallkonsentrasjonene forekom i de nedre deler av kjernen og opp til ca. 30 cm kjernedyp (Fig. 3, Vedlegg 8.2). Fra dette nivået økte metallkonsentrasjonene

til de nådde maksimumsverdier tilsvarende 'svært dårlig' miljøtilstand for kvikksølv på mellom 14 og 20 cm kjernedyp (Fig. 3). Bly nådde toppverdier i den samme perioden, mens kobber viste høyeste konsentrasjoner mellom 6 og 18 cm kjernedyp (Fig. 3). I motsetning til TOC, avtok metallkonsentrasjonene frem til i dag og kun kopperkonsentrasjonen er fremdeles i 'moderat' tilstand (Vedlegg 8.2).

Konsentrasjonene av tributyltinn (TBT) ble målt i de øverste 10 cm av kjernen. Resultatene av alle tre prøver viste 'svært dårlig' tilstand med hensyn på TBT og stemmer overens med observasjoner fra Øxneved et al. (2011a). Konsentrasjonene av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH-16) er lave (klasse 3, 'moderat') i de nederste/eldste sedimentene, men øker betydelig frem til de nådde sin maksimumsperiode mellom 16 og 20 cm kjernedyp, med 'dårlig' tilstand. Deretter avtok konsentrasjonen i sedimentene kontinuerlig (Vedlegg 8.2). Det ble observert lave konsentrasjoner av polyklorerte bifenyler (PCB-7) fra bunnen av kjernen frem til 20 cm kjernedyp. Konsentrasjonen var høyest mellom 12 og 15 cm ('dårlig' tilstand) og avtok deretter kontinuerlig oppover i kjernen (Vedlegg 8.2).

Stainforthia fusiformis, *Bulimina marginata*, *Elphidium excavatum* og *Haynesina germanica* var de hyppigste artene i HIH-4 kjernene (Fig. 4). Faunasammensetningen i de eldste sedimentene fra kjerne HIH-4-C og HIH-4-A var dominert av *S. fusiformis* og *B. marginata* og avspeilet normalmarine forhold. De to artene er kjent for å trives i organisk rike fjordsedimenter og kan tolerere lave oksygenkonsentrasjoner (Alve et al. 2009). *Haynesina germanica* og *E. excavatum* er typiske for grunnere, brakkvannsområder og *H. germanica* lever sannsynligvis ikke på 20 m vandndyp. Artsfordelingen i kjernen HIH-4-C viste en relativt høyre andel av *H. germanica* på 28 til 32 cm og 40 til 42 cm kjernedyp. I tillegg til gruntvannsforaminiferer ble mye terrestrisk plantemateriale observert, noe som indikerer at materialet sannsynligvis var blitt transportert inn i de dypere bassengområder. Ved beregning av foraminiferakkumulasjonsraten (BFAR) ble gruntvannsforaminiferartene ekskludert. Foraminiferakkumulasjonen og artsantallet var lavt allerede i den nedre delen av kjernene og reflekterer 'svært dårlig' miljøtilstand. Mellom ca. 6 og 50 cm kjernedyp inneholdt sedimentene få eller ingen foraminiferskall og de øverste 6 cm var tomme for foraminiferer (Fig. 4, Vedlegg 8.4). Den økologiske miljøtilstanden var allerede 'svært dårlig' før metallforurensingen begynte å gjøre seg gjeldende. Disse resultatene indikerer at de dypere deler av HIH-bassenget har vært anoksiske i flere hundre år, dvs. naturtilstanden på 20 m vandndyp er 'svært dårlig'.

Stasjon HIH - 4 (20 m)

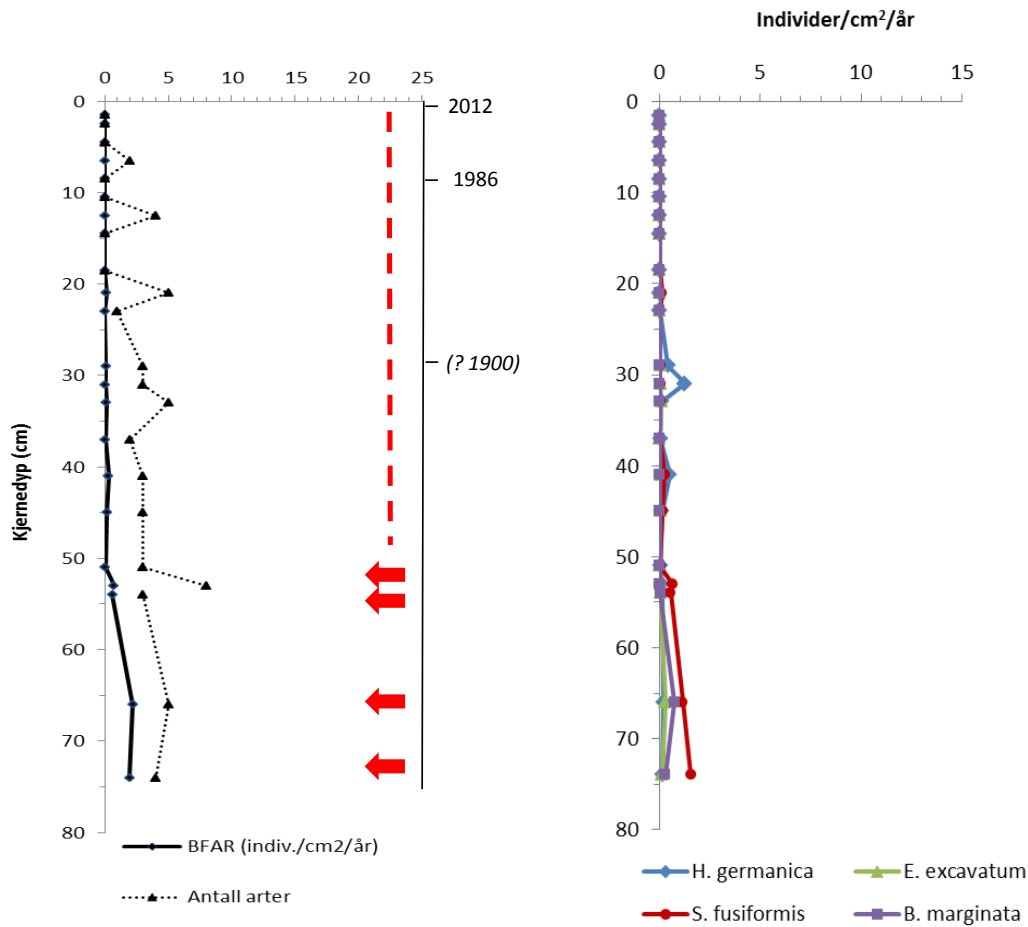


Fig. 4. Venstre: Foraminiferakkumulasjon og artsantall i sedimentene fra kjernene HIH-4-C/A (20 m vandndyp). Fargede piler viser miljøtilstanden basert på foraminiferfauna (vedlegg 8.1). Røt stiptet linje indikerer perioder uten eller med sterkt redusert bunnfauna ('død' periode), tilsvarende 'svært dårlig' tilstand. Høyre: Akkumulasjonsraten av de mest hyppige artene i kjernene HIH-4-C/A.

4.2 Stasjon HIH-2 (16 m vandndyp)

Bunnvannets temperatur på stasjon HIH-2 var 11,9 °C og oksygenkonsentrasjonen var lav med 1,18 mgL⁻¹ (11,9 % oppløst oksygen). Saliniteten var ca. 32 på 16 m vandndyp.

Sedimentene nederst i kjernene og opp til ca. 33 cm kjernedyp var mellomgrå med spredte, små, hvite skallfragmenter. Deretter ble sedimentene gradvis løsere og mørkere oppover. I de øverste 20 cm var sedimentene mørke/sorte og luktet H₂S opp til kjerneoverflaten (Fig. 5). På overflaten ble det ikke observert noe tegn til liv.

Vanninnholdet i kjernene fra stasjon HIH-2 viste en generelt økende trend fra ca. 60 % i nedre til > 85 % i øvre del (Fig. 5). I motsetning til resultatene fra de andre stasjonene var det imidlertid to intervaller hvor det ikke var overlapp mellom vanninnholdskurvene til parallellkjernene. Relativt til F-kjernen, viste C-kjernen lave verdier (rundt 40 %) både på 44-48 cm og på 18-28 cm kjernedyp, noe som indikerer re-sedimenterte enheter med noe høyere sandinnhold enn enhetene over og under. Det ble følgelig besluttet å ekskludere kjernene fra stasjon HIH-2 fra videre undersøkelser.

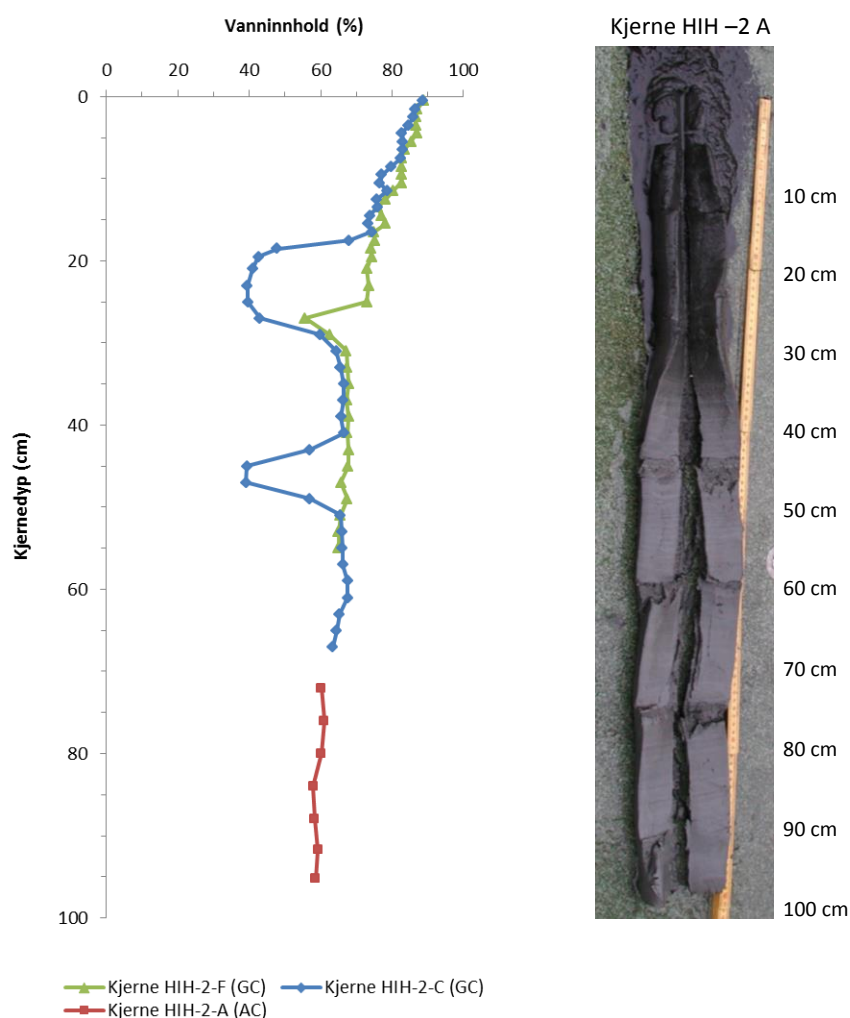


Fig. 5. Venstre: Vanninnhold i kjernene fra stasjon HIH-2. Høyre: Lengdesnitt av kjerne HIH-2-A. Tilsynelatende forstyrrelser på 45, 60 og 75 cm kjernedyp er resultat av snitteprosedyren.

4.3 Stasjon HIH-1 (12 m vanddyb)

Stasjon HIH-1 ble lagt i nærheten av NGIs dobbelt-sedimentfellestasjon 1 (Fig. 1). Bunnvannstemperaturen målt på toktet var 7,9 °C og oksygenkonsentrasjonen var lav med 0,86 mgL⁻¹ (8,6 % oppløst oksygen). Saliniteten på 12 m vanddyb var ca. 31.

Sedimentene nederst i kjernene og opp til ca. 35 cm kjernedyb var mellomgrå med spredte, små, hvite skallfragmenter. Deretter ble sedimentene gradvis løsere og mørkere oppover. I de øverste 20 cm var sedimentene mørke/sorte og luktet H₂S opp til kjerneoverflaten (Fig. 6). Det ble ikke observert noe tegn til liv på overflaten av HIH-1 kjernene. Det ble heller ikke funnet noen levende (fargede) foraminifer i overflatesedimentene (0-1 cm, 50 cm³), noe som indikerer meget stressede miljøforhold på bunnen.

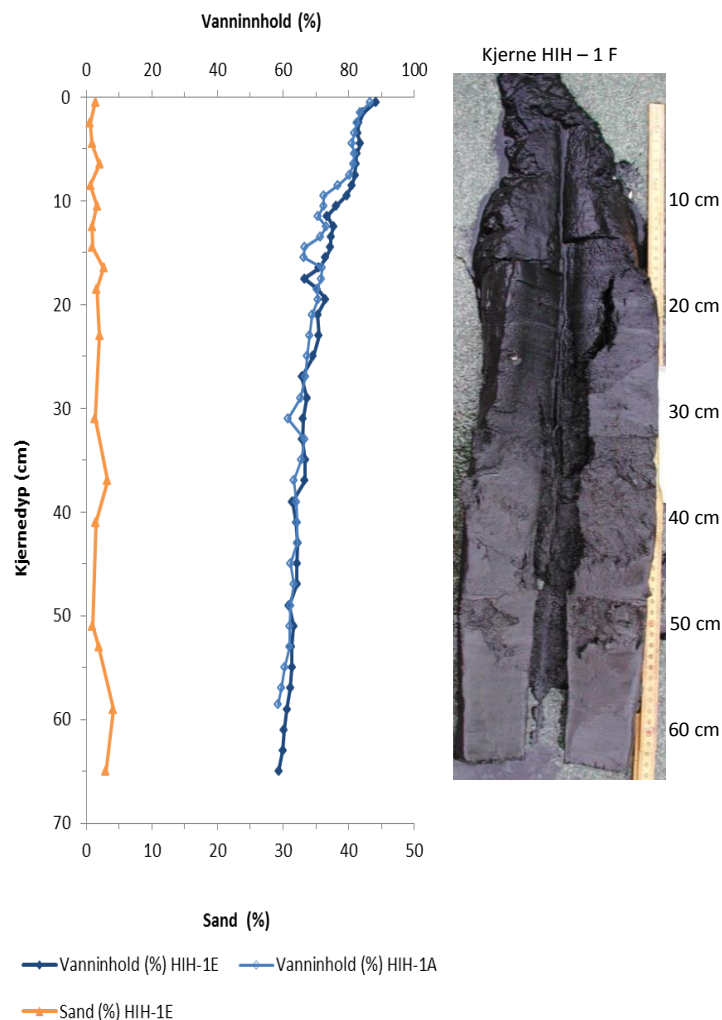


Fig. 6. Venstre: Vann- og sandinnhold (> 63 µm) i sedimentene fra stasjon HIH-1 (12 m vanddyb). Høyre: Lengdesnitt av kjerne HIH-1F etter at de øverste 0-2 cm sediment var fjernet og preservert for senere analyse av levende foraminiferfauna.

Sandinnholdet var lavt og varierte mellom 0,6 og 4,1 %. Vanninnholdet var tilsvarende høyt (58–88 %) med økende verdier mot øvre del av kjernene, og verdiene for de to parallellkjernene var meget like, nærmest overlappende (Fig. 6) noe som indikerer uforstyrrede sedimenter.

I mikroskopprøvene opptrådte små skallfragmenter (mm-størrelse, primært fra muslinger) i de nedre ca. 20 cm av kjerne HIH-1-E. Plantefiber og -fragmenter ble observert i de øverste ca. 40 cm. Kull og slaggfragmenter ble funnet på mellom 12 og 24 cm kjernedyp. Ved snitting av sedimentene om bord ble noen større blåskjellfragmenter funnet i dette sedimentintervallet i den ene Abdullah-kjernen.

Kvaliteten på ^{210}Pb -dateringen av kjerne HIH-1-E var meget god og i tillegg ble en markant ^{137}Cs topp på 8,5 cm kjernedyp observert, noe som samsvarer godt med Chernobyl-ulykken i 1986. Dateringen av kjernen (Vedlegg 8.12) ansees følgelig å være meget pålitelig. Dateringen viste at sedimentakkumulasjonsraten i de øverste 17 cm i kjernen var relativt stabil på rundt $0,5 \text{ kg m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ og den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten var ca. 2 mm år^{-1} . Basert på akkumulasjonsraten av de eldste daterte sedimentlagene er det forsvarlig å ekstrapolere dateringsresultatene nedover i kjernen til minst 37 cm (år 1800). Dateringsresultatene indikerte at sedimentene på bunnen av kjerne HIH-1-E ble avsatt på 1600-tallet.

Konsentrasjonene av TOC var tydelig lavere i de dypere/eldre sedimentene enn i de øverste/ynge og økte kontinuerlig oppover (Fig. 7). Økende konsentrasjoner avspeiler primært økende tilførsel av organisk materiale, men kan også til en viss grad forklares med overgang til anoksiske forhold på sjøbunnen, noe som bidrar til langsommere nedbrytning av karbonforbindelsene. Miljøtilstanden for TOC viste 'svært god' eller 'god' tilstand i de nederste ca. 30 cm i kjernen (før ca. år 1850), men utviklingen fortsatte til 'dårlig' og 'svært dårlig' på begynnelsen av 1900-tallet, dvs. fra 23 cm kjernedyp oppover (Fig. 7). I kjerne HIH-1-E var C/N-verdiene lavere i den dypere del og høyest i perioden mellom 1900- og 1970-tallet, før de avtok kontinuerlig frem til i dag (Fig. 7). Denne utviklingen, med både økende TOC- og C/N-verdier, indikerer at tilførselen av terrestrisk organisk materiale økte kontinuerlig fra ca. 1850 til 1950-tallet. Deretter gikk C/N-verdiene ned mens TOC viser en svak økning og indikerer at det organiske materialet avsatt siden 1970-tallet har blitt stadig mer marint dominert. De laveste C/N-verdiene opptrådte i de nyligst avsatte sedimentene.

Metallkonsentrasjonene i sedimentene viste en tilsvarende utvikling over tid (Vedlegg 8.6). Kobber (Cu), bly (Pb) og kvikksølv (Hg) nådde høyeste konsentrasjoner av alle analyserte metaller (Vedlegg 8.6). Sedimentene i de nederste 35 cm av kjernen hadde de laveste konsentrasjonene tilsvarende 'svært god' og 'god' tilstand. Konsentrasjonene begynte å øke allerede på begynnelsen av 1900-tallet (ca. 25 cm kjernedyp) og nådde maksimumsverdier med 'svært dårlig' tilstand for kvikksølv

mellom 1960- og 1970-tallet (Fig. 7). Blykonsentrasjonene nådde maksimumsverdier i den samme perioden, mens kobberkonsentrasjonen fortsatte å øke til 1990-tallet. I motsetning til TOC, avtok metallkonsentrasjonene frem til i dag og representerer nå tilstanden 'god' eller 'svært god'. Kun kobberkonsentrasjonen avspeiler fremdeles 'dårlig' tilstand (Vedlegg 8.6).

Stasjon HIH -1 (12 m)

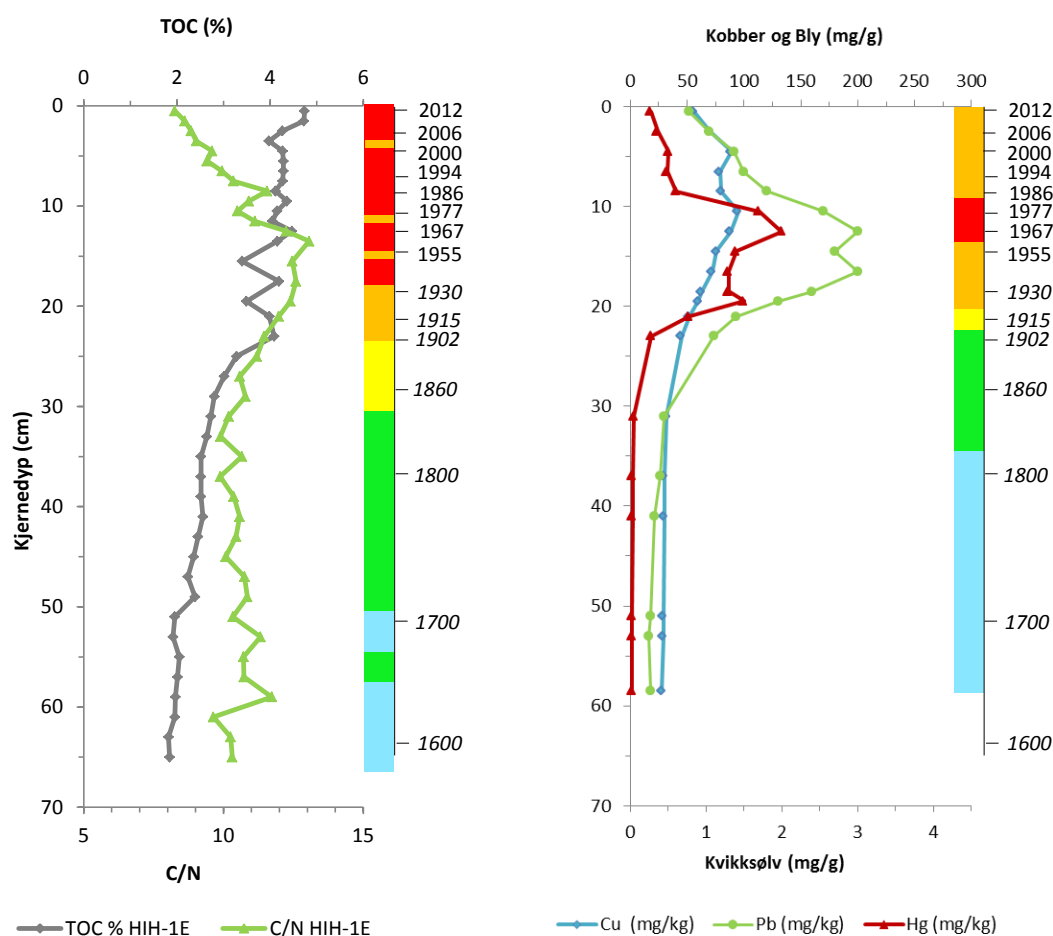


Fig. 7. TOC, C/N-forhold, kobber-, bly- og kvikksølv-konsentrasjoner i sedimentene fra HIH-1 (12 m vanddyb). Metallklassifiseringen følger 'det verste styrer' prinsippet. Miljøtilstandsklassifiseringen for TOC og metaller følger fargekodene i vedlegg 8.1.

Konsentrasjonen av tributyltinn (TBT) ble analysert i sedimenter fra de øverste 15 cm av kjerne HIH-1-A og avspeilet TBT-utviklingen fra ca. 1950 til 2010. I denne perioden ble miljøtilstanden med hensyn på TBT forverret fra 'moderat' til 'svært dårlig'. Maksimumskonsentrasjonen på 1600 µg/kg opptrådte rundt 2000-tallet (Vedlegg 8.6) og utviklingen viser en klar nedgang til 170 µg/kg i 2010.

Konsentrasjonen av PAH-16 viste de laveste verdiene i de nederste ca. 30 cm i kjernen og nådde de høyeste verdiene mellom 1900 og 1980 (25 og 10 cm kjernedyp), før de igjen avtok frem til i dag (Vedlegg 8.6). De høyeste konsentrasjonene av PCB-7 forekom på slutten av 1970-tallet (ca. 10 cm kjernedyp), før de avtok igjen i de yngre sedimentene (Vedlegg 8.6). I Norge har PCB vært forbudt siden 1980 og den avtakende konsentrasjonen oppover i sedimentet, mot dagens forhold, avspeiler at forbudet har hatt en positiv effekt på utviklingen i HIH.

På stasjon HIH-1 var foraminiferakkumulasjonsraten i den dypeste analyserte delen (65 cm kjernedyp) høyest, og individkonsentrasjonen og artsantallet er på linje med det som er kjent fra pre-industrielle avsetninger i sammenliknbare fjordmiljøer (Alve et al. 2009). Begge sistnevnte faunaparametere var betydelig lavere i de to neste prøvene (53 og 59 cm kjernedyp). Tilstandsklassen beregnet for disse tre faunaene viste en utvikling fra 'moderat' til 'dårlig' i begynnelsen av 1600-tallet (Fig. 8). Fra ca. 50 cm (begynnelsen av 1700-tallet) og oppover i kjernen var foraminifertettheten og artsantallet veldig lave (Vedlegg 8.8) og i noen prøver manglet foraminiferer fullstendig (på 6,5 og 14,5 cm kjernedyp; hhv. år 1994 og 1955). På grunn av de lave foraminifertetthetene kunne diversitetsindeksene ikke bli beregnet, men lav individtetthet og lavt artsantall indikerer i seg selv meget stressede miljøforhold, sannsynligvis på grunn av dominerende anoksiske bunnforhold. Den økologiske miljøtilstanden var allerede 'svært dårlig' før metallforurensingen begynte å gjøre seg gjeldende. Forekomsten av spredte foraminiferskall i yngre nivåer kan enten skyldes rekolonisering i korte perioder som følge av dypvannsutskiftning eller passiv suspensjons-transport av skall inn fra grunnere områder.

Stainforthia fusiformis, *Bulimina marginata*, *Elphidium excavatum* og *Haynesina germanica* var de hyppigste artene i HIH-1 (Fig. 8). Faunasammensetningen i de eldste sedimentene avspeiler normalmarine, moderat oksygenforhold. *Stainforthia fusiformis* og *B. marginata* er kjent for å trives i organisk rike fjordsedimenter og kan tolerere lave oksygenkonsentrasjoner (Alve et al. 2009). *Haynesina germanica* og *E. excavatum* er typiske brakkevannarter. Den drastisk lave individkonsentrasjonen i de øverste ca. 50 cm av kjernen indikerte at anoksiske bunnforhold har dominert på 12 m vanddyp i HIH siden 1700-tallet, dvs. naturtilstanden er 'dårlig' til 'svært dårlig' på 12 m vanddyp. Fraværet av levende foraminiferer i overflatesedimentet viste at bunnforholdene fremdeles er dominert av anoksiske bunnvann.

Stasjon HIH-1 (12 m)

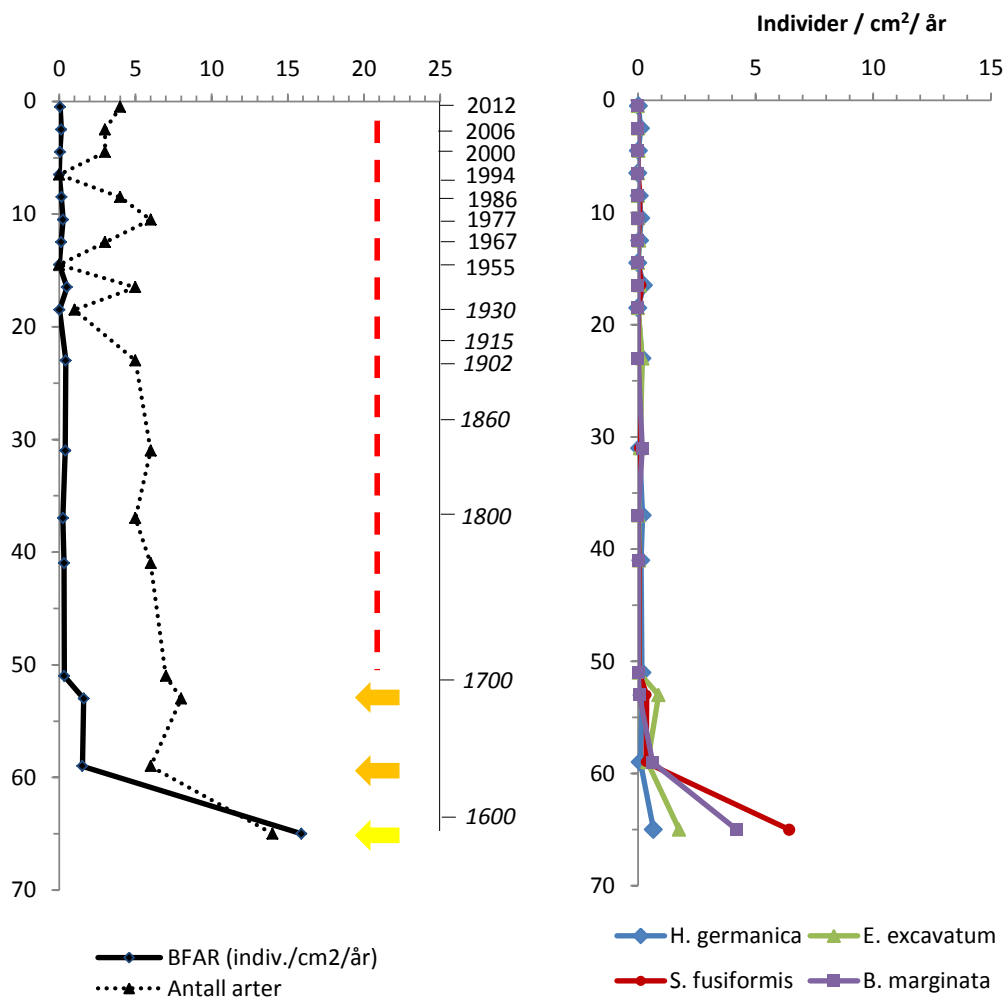


Fig. 8. Venstre: Foraminiferakkumulasjon og artsantall i sedimentene fra kjernen HIH-1-E (12 m vanndyp). Fargede piler viser miljøtilstanden basert på foraminiferfauna (vedlegg 8.1). Røt stiplet linje indikerer perioder uten eller med sterkt redusert bunnfauna ('død' periode), tilsvarende 'svært dårlig' tilstand. Høyre: Akkumulasjonsraten av de mest hyppige artene i kjernen HIH-1-E.

4.4 Stasjon HIH-3 (8 m vanndyp)

Stasjon HIH-3 på 8 m vanndyp var den grunneste stasjonen i undersøkelsen (Fig. 1) og ble samlet inn i et område med gode oksygenforhold og grunnmarint bunnliv. Bunnvannets temperatur var 5,9 °C og oksygenkonsentrasjonen var 6,94 mg L⁻¹ (66,8 % oppløst oksygen). Oksygenkonsentrasjonen målt i en kjerne viste at grensen mellom sedimenter med og uten fritt oksygen i porevannet lå på mellom 2 og 4 mm

sedimentdyp. Salinitet var ca. 26 på stasjonen HIH-3. Alle kjernene inneholdt skallfragmenter (i hovedsak fra muslinger).

Sedimentene nederst i kjernene og opp til ca. 30 cm kjernedyp var grå og sandigere enn lenger opp. Sedimentene ble gradvis løsere og brunere oppover i kjernene (Fig. 9). På sedimentoverflatene ble noen rør av flerbørstemark observert. Levende (fargede) foraminiferer forekom i overflatesedimentene (114 individer per 50 cm³) og faunadiversiteten tilsvarte tilstandsklassen 'svært dårlig'. Totalt ble det funnet 7 levende arter som alle er typiske for gruntvansområder med redusert saltholdighet.

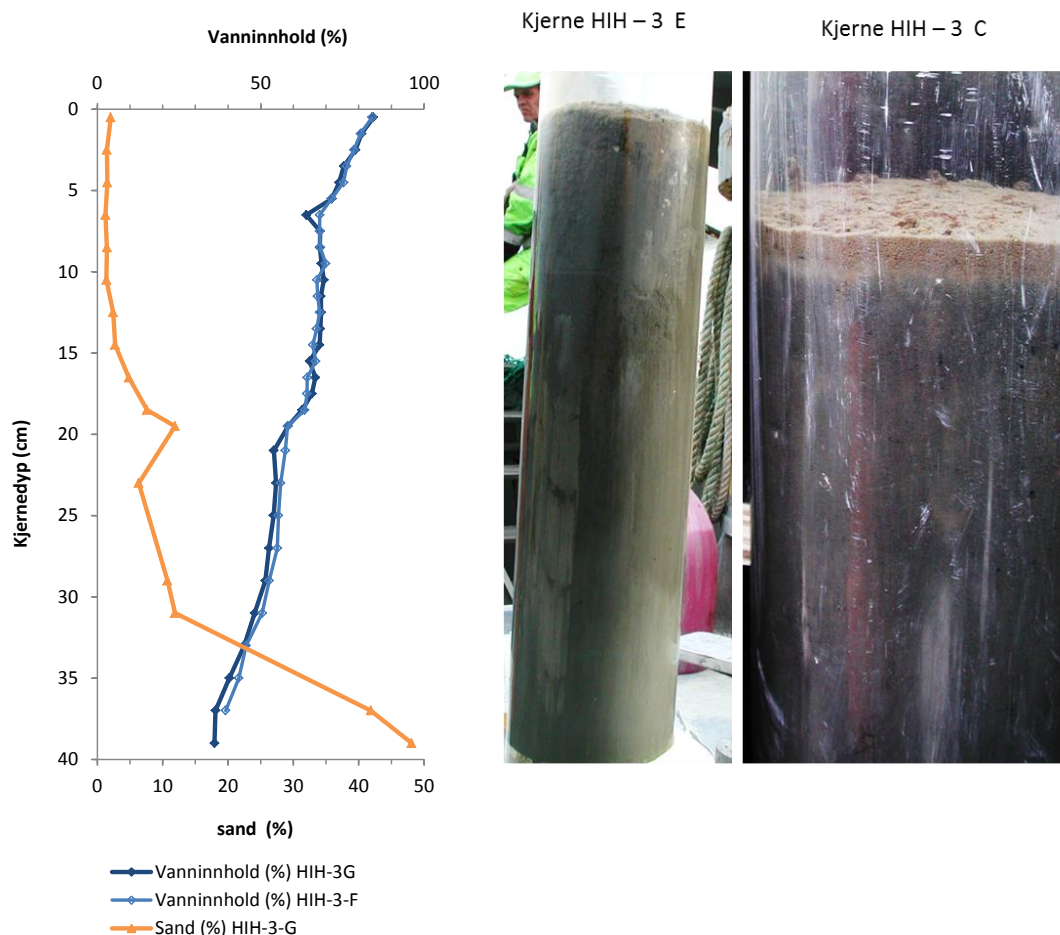


Fig. 9. Venstre: Vann- og sandinnhold (> 63 µm) i sedimentene fra stasjon HIH-3 (8 m vanddyb). Høyre: Bilder av kjerne HIH-3-E og sedimentoverflaten fra kjerne HIH-3-C.

Sandinnholdet var høyere enn på de to dypere stasjonene og viste en oppover finende tendens fra gjennomsnittlig 44 % i nedre del til ca. 9 % mellom 31 og 16 cm kjernedyp. I de øverste 15 cm lå sandinnholdet på ca. 2 %. Vanninnholdet økte

oppover fra 35 til 84 % og verdiene for de to parallellkjernene var meget like, nærmest overlappende (Fig. 9).

De radiometriske analysene av kjerne HIH-3-G viste en troverdig ^{210}Pb -dateringen, og en bred ^{137}Cs -topp på 7,5 cm kjernedyp tilsvarende ca. 1986. Dateringene viste at sedimentakkumulasjonsraten i de daterte øverste 11 cm i kjernen var gjennomsnittlig $0,7 \text{ kg m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten er beregnet til ca. 2.5 mm år^{-1} . Hele kjernen viste tegn til bioturbasjon. Følgelig var dateringsresultatene noe usikre. Ekstrapolasjonen nedover i kjernen var forbundet med stor usikkerhet spesielt da det høye sandinnholdet nederst i kjernen muligens representerte re-sedimenterte sedimenter.

Konsentrasjonen av TOC var tydelig lavere i de dypere/eldste sedimentene enn i de øverste/ynge lagene og økte kontinuerlig oppover (Fig. 10). Miljøtilstanden for TOC viste 'svært god' eller 'god' tilstand i de nederste ca. 20 cm i kjernen (på 1800-tallet), men utviklingen gikk over til 'dårlig' og har vært 'svært dårlig' siden 1980-tallet (Fig. 10). C/N-verdiene i kjerne HIH-3-G var relativt stabile med et gjennomsnitt på ca. 10 opp til begynnelsen av 1900-tallet. Verdiene lå deretter på 11-12 før de viste en jevnt avtakende trend og nådde et minimum på 8-9 i overflatesedimentet (dagens forhold) (Fig. 10). Denne utviklingen indikerer at tilførselen av terrestrisk organisk materiale var på sitt høyeste i perioden 1900 til ca. 1970, mens marint derivert organisk materiale har utgjort en stadig større andel av den organiske karbonfluksen i bassenget frem til i dag.

Konsentrasjonene av metaller i sedimentene viste laveste verdier i de nederste 15 cm i kjernen HIH-3-F (Vedlegg 8.9). En økning i konsentrasjonene begynte på ca. 22 cm kjernedyp, dvs. tidlig på 1900-tallet og nådde maksimumsverdier mellom 6 og 16 cm (mellom ca. 1930 og 1990) (Fig. 10). Deretter avtok konsentrasjonen igjen og i de øverste/ynge sedimentlagene var det, på samme måte som på 12 m vanddyp, bare kobber som reflekterte 'dårlig' tilstand. Konsentrasjonen av de andre metallene representerte tilstanden 'god' eller 'svært god' (Vedlegg 8.9). Med unntak av kobber var maksimumskonsentrasjonene i kjernen fra 8 m vanddyp gjennomgående lavere enn i kjernene fra 12 og 20 m vanddyp.

Konsentrasjonen av tributyltinn (TBT) ble analysert i de øverste 11 cm av kjernen HIH-3-F og avspeilet TBT-utviklingen fra ca. 1970 til 2009. Miljøtilstanden med hensyn på TBT forverret seg fra 'dårlig' til 'svært dårlig' i denne tidsperioden. De høyeste konsentrasjonene opptrådte i sedimentene yngre enn ca. 1990 (Vedlegg 8.9), men maksimumsverdien på $180 \mu\text{g/kg}$ er betydelig lavere enn det som ble funnet på 12 m vanddyp. Man må her ta i betraktning at kun 3 sedimentsjikt ble analysert i kjernen fra 8 m vanddyp. Konsentrasjonen av PAH-16 var lav i de nederste ca. 15 cm (i 1800-tallet) og nådde de høyeste verdiene på 1900-tallet, før de igjen avtok frem til i dag (Vedlegg 8.9). Konsentrasjonen av PCB-7 reflekterte 'moderat' tilstand

gjennom hele det analyserte sedimentintervall (dvs øvre 17 cm). De høyeste konsentrasjonene ble målt mellom 1950 og 1960 (ca. 12-14 cm kjernedyp), før de avtok kontinuerlig i de yngre sedimentene (Vedlegg 8.9).

Stasjon HIH-3 (8 m vanddyp)

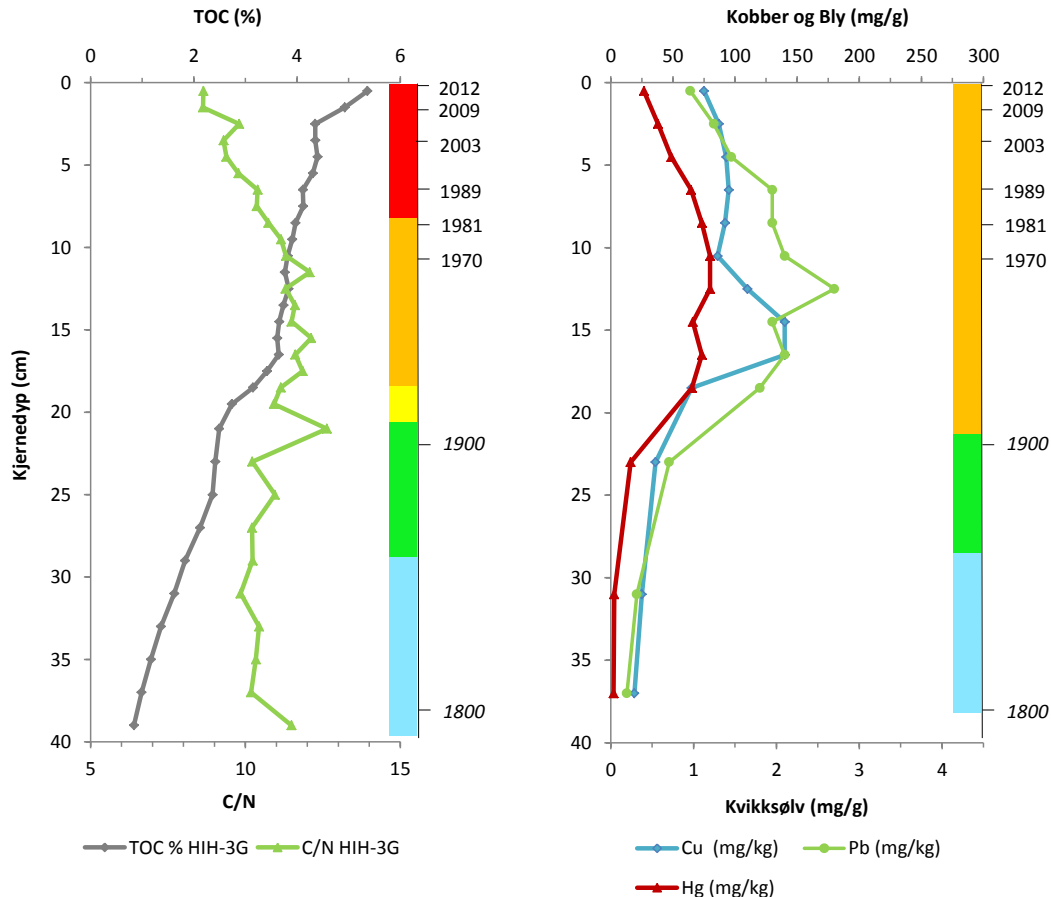


Fig. 10. TOC, C/N-forhold, kobber-, bly- og kvikksølv-konsentrasjoner i sedimentene fra HIH-3 (8 m vanddyp). Metallklassifiseringen følger ‘det verste styrer’ prinsippet. Miljøtilstandsklassifiseringen for TOC og metaller følger fargekodene i vedlegg 8.1.

På stasjon HIH-3 varierte foraminiferakkumulasjonsraten stort sett mellom 10 og 20 individer $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ frem til ca. 1980 hvorefter faunaen nærmest forsvant (Fig. 11). I sedimentene yngre enn 1990 var BFAR veldig lave (< 1 individer $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$) for deretter å vise en økning under dagens forhold. Tilsvarende viste økologisk tilstand basert på foraminiferfaunaene en utvikling fra ‘moderat’ til ‘svært dårlig’.

Faunasammensetningen i de eldste sedimentene fra 1800- og 1900-tallet var, med artene *Haynesina germanica*, *Eggerelloides scaber* og *Elphidium excavatum* (Fig. 11), typisk for et brakkvannsmiljø og artsdiversiteten reflekterte ‘moderat’ til ‘dårlig’

økologisk tilstand. En annen art som forekommer i varierende antall på denne stasjonen var *Stainforthia fusiformis*. Den er kjent for å forekomme i stort antall under ekstremt lave oksygenforhold (og for kortere tidsrom klare seg uten oksygen).

Stasjon HIH-3 (8 m vanddyp)

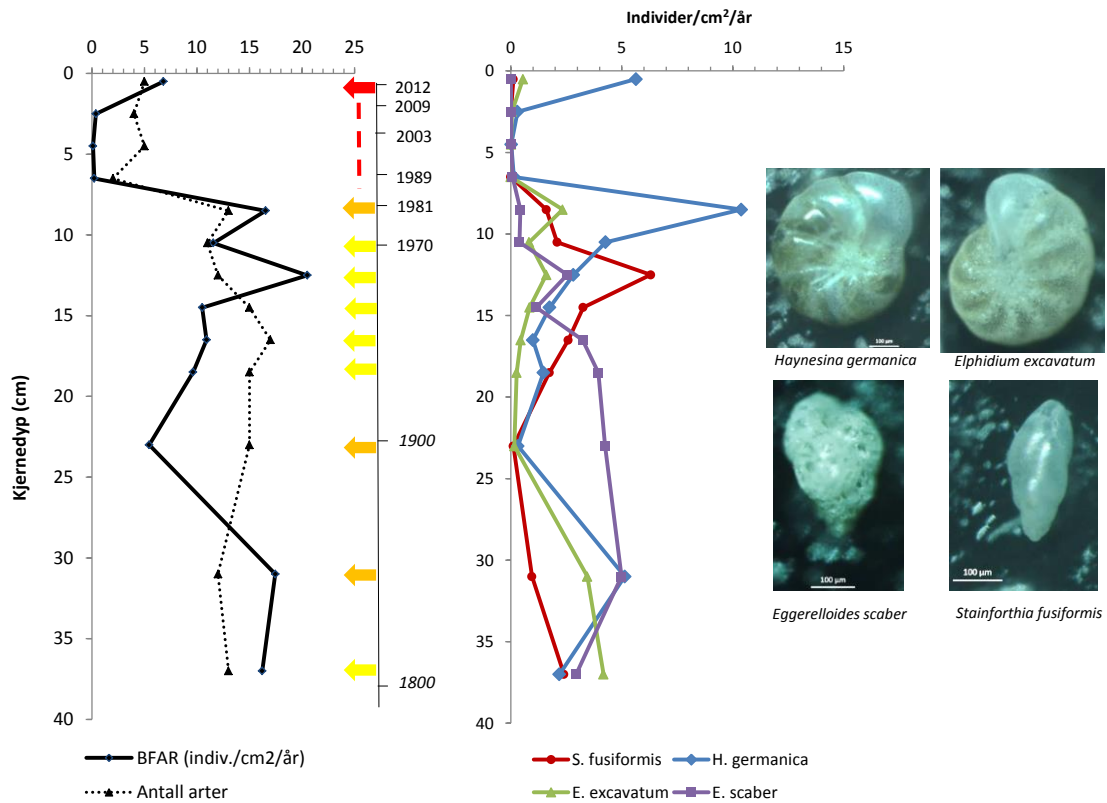


Fig. 11. Venstre: Foraminiferakkumulasjon og artsantall i sedimentene fra kjernen HIH-3-G (8 m vanddyp). Fargede piler viser miljøtilstanden basert på foraminiferfauna (vedlegg 8.1). Røt stiplet linje indikerer perioder uten eller med sterkt redusert bunnfauna ('død' periode), tilsvarende 'svært dårlig' tilstand. Høyre: Akkumulasjonsraten av de mest hyppige artene i kjernen HIH-3-G og bilder av disse.

Hyppig forekomst av denne arten forutsetter imidlertid at saliniteten er $> ca. 28$ (Alve 2003). Videre er gjerne artsdiversiteten lav i miljøer med redusert salinitet (sammenliknet med åpne marine miljøer), så lav artsdiversitet trenger ikke bety at de økologiske forholdene var dårlige. Hydrografiske data fra HIH har vist salinitetsverdier på rundt 26 på 8 m vanddyp, noe som er for lavt for de fleste normal-marine foraminiferarter. Det vil si at miljøforholdene på 8 m vanddyp representerer et grenseland for hvor lave salinitetsverdier *S. fusiformis* kan tolerere. Variasjonen i forekomsten av *S. fusiformis* på 8 m stasjonen kan således like gjerne skyldes redusert salinitet som endringer i oksygenforholdene. I dette tilfellet avspeiler følgelig

‘moderat’ til ‘dårlig’ økologisk tilstand at miljøet var brakkvannspåvirket heller enn at miljøbetingelsene var dårlige som følge av menneskelig påvirkning. I løpet av 1980-tallet ble faunaen nærmest borte og avspeilet ‘svært dårlig’ tilstand. Dette skyldtes sannsynligvis oksygensvikt da de høyeste miljøgiftkonsentrasjonene forekom i tidsrommet mens faunaen viste ‘moderat’ tilstand. Det er følgelig ikke rimelig å anta at det var miljøgiftene som førte til den negative faunautviklingen. I dette grunne området representerer m.a.o. ‘moderat’ til ‘dårlig’ tilstand naturtilstanden, mens ‘svært dårlig’ tilstand avspeiler menneskelig påvirkning. Det at en fauna dominert av *H. germanica* ble observert på prøvetakingstidspunktet (Fig. 11) kan reflektere en positiv utvikling i nyere tid. Hvor sensitiv *H. germanica* er overfor oksygensvikt er ikke kjent, men det er gode indikasjoner på at den lever i symbiose med diatomeer og sannsynligvis ernærer seg av disse (Knight & Mantoura 1985, Austin et al. 2005). Dominansen av denne arten kan følgelig tolkes som et eutrofieringssignal. Det drastisk reduserte artsantallet (fra gjennomsnittlig 13 til 5) i de øverste ca. 7 cm av kjernen (siden ca. 1980) kombinert med meget lav individtetthet avspeiler svært dårlige miljøbetingelser i perioden som følge av oksygensvikt snarere enn miljøgifter, men med tilløp til forbedring ved prøvetakingstidspunktet.

5 Avsluttende diskusjon

5.1 Historiske forandringer i miljøgiftkonsentrasjoner i HIH

Utslipp av miljøgifter fra industrien (spesielt verftsvirksomhet), deponier, småbåthavner og avløp til havnebassenget over lang tid er hovedårsakene til høye konsentrasjoner av miljøgifter i HIH (Lund 2013). Deler av forurensningen kan sees i forbindelse med bunnstoffbehandlingen av skrog (Helland et al. 2006). I tidligere tider var tjærebreing (som medfører PAH belastning) med tilsetning av Hg vanlig i bunnstoff. Senere ble Cu- og deretter TBT-holdige bunnstoff benyttet. Resultatene fra de daterte sedimentkjernene viste at miljøgiftkonsentrasjonen i HIH økte allerede på begynnelsen av 1900-tallet, dvs. på et tidspunkt da menneskelig aktivitet (inklusive verftsbedrifter) hadde vært i full gang i nesten ett hundre år.

Metallkonsentrasjonene i alle de tre daterte sedimentkjernene fulgte nesten det samme historiske utviklingsmønster. Tilstanden utviklet seg fra 'svært god' på 1700- og første halvdel av 1800-tallet, til 'dårlig' på begynnelsen av 1900-tallet og 'svært dårlig' på 1960- og 1970-tallet, før den i senere år har begynt å nærme seg bakgrunnsnivå (Fig. 12).

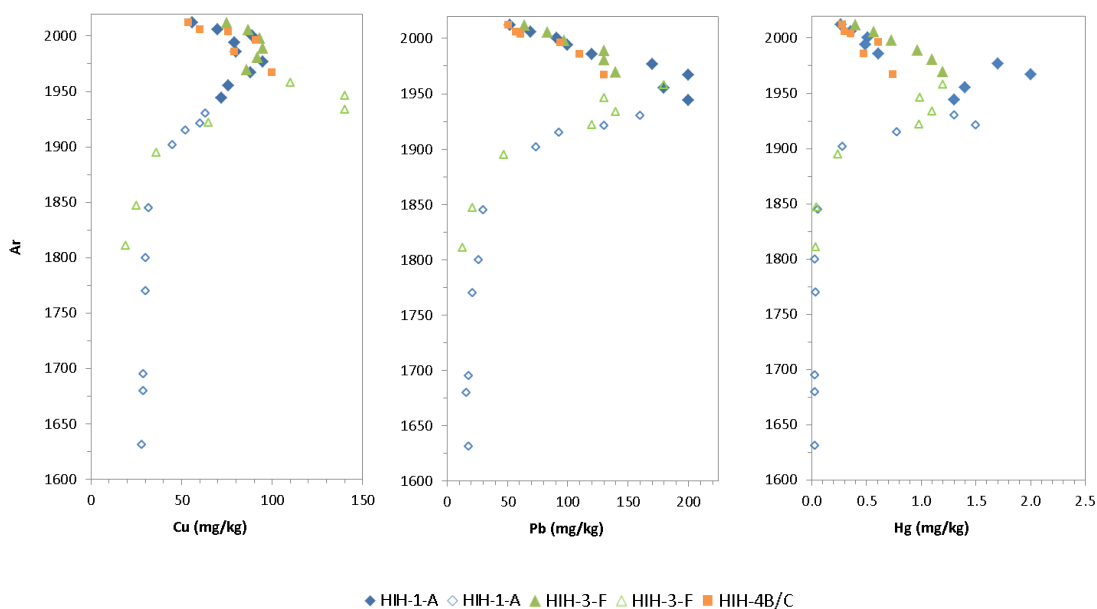


Fig. 12. Endringer i konsentrasjonen av kobber (Cu), bly (Pb) og kvikksølv (Hg) i de tre daterte sedimentkjernene fra HIH. Orange, blå og grønne symboler representerer kjerner fra hhv 20, 12 og 8 m vanddyb. Åpne symboler representerer ekstrapolerte aldre.

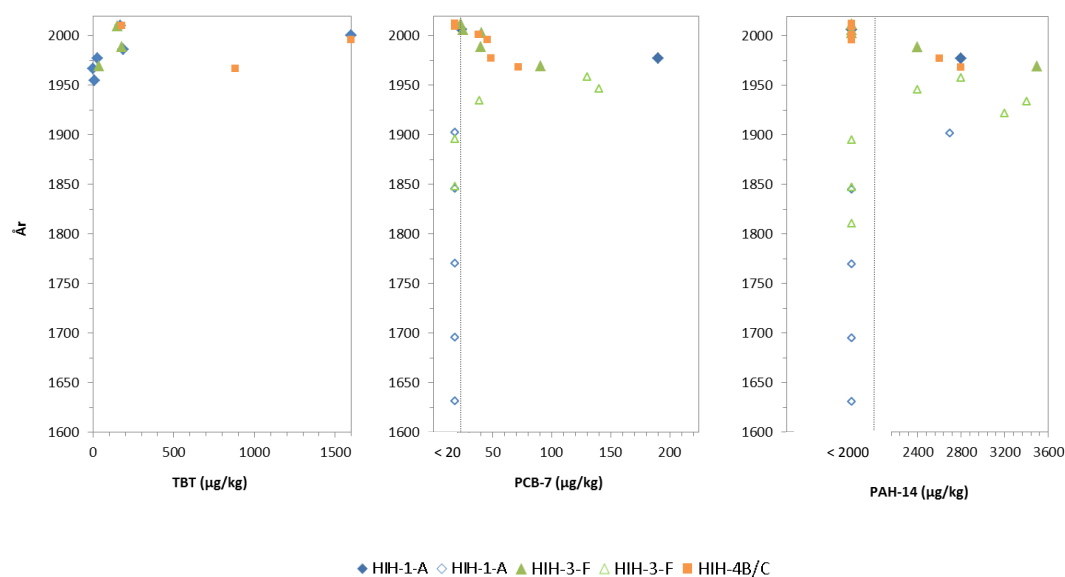


Fig. 13. Endringer i konsentrasjonen av tributyltinn (TBT), polyklorerte bifenyler (PCB-7) og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH-14) i de tre daterte sedimentkjernene fra HIH. Orange, blå og grønne symboler representerer kjerner fra hhv 20, 12 og 8 m vandndyp. Åpne symboler representerer ekstrapolerte aldre. Stiplet linjene markerer konsentrasjonene under hvilken en nøyaktig bestemmelse mangler.

Konsentrasjonen av PCB (polyklorerte bifenyler) viste maksimumsverdier fra 1940-tallet frem til slutten av 1970-tallet (Fig. 13). PCB har vært forbudt i Norge siden 1980 og kjernedataene viser helt klart at forbudet har hatt en positiv effekt på utviklingen i HIH. Konsentrasjonen av PAH (polysykliske aromatiske hydrokarboner) begynte å øke fra bakgrunnsnivå i forbindelse med skipsbyggeaktiviteten i 1900-tallet og de høyeste verdiene ble nådd mellom 1920 og 1980. PAH-forbindelser dannes ved ufullstendig forbrenning av organisk materiale (f.eks. ved, kull). Tributyltinn (TBT) ble kun analysert i de øverste sedimentlagene og avspeiler TBT-utviklingen fra 1950-tallet til 2010. Miljøtilstanden med hensyn på TBT forverret seg fra 'moderat' til 'svært dårlig' i denne tidsperioden. Høye konsentrasjoner opptrådte på slutten av 1990-tallet. TBT-forbindelser i bunnstoff på skip har vært forbudt i Norge siden 2003 og kjernedataene viser en klar nedgang i TBT-konsentrasjonen i sedimentene avsatt i senere år.

For de fleste analyserte miljøgiftene ble det observert en reduksjon i konsentrasjonen i de øverste sedimentlagene. Dette tyder på at sedimentasjonshastigheten i området med ca. 2 mm år⁻¹ er stor nok til at utslippsreduksjonene som har foregått i senere år tydelig gjør seg gjeldene ved en avtakende konsentrasjon av miljøgiftene oppover i sedimentene. Det betyr at det foregår en naturlig forbedring av sedimentene mht. miljøgifter i HIH.

5.2 Historiske forandringer i tilførsel av organisk materiale til HIIH

Basert på de geomorfologiske og hydrografiske (nærmest innelukket basseng med begrenset dypvannsutsiftning) egenskapene til HIIH, har bassenget i flere hundre år hatt et naturlig potensiale for å utvikle anoksiske forhold i de dypere områdene. Oksygenforholdene i disse områdene har følgelig vært (og er) spesielt sensitive overfor økende fluks av organisk materiale, enten det skyldes menneskeskapt eller naturlig tilførsel.

Fra 1800-tallet til 1987 var HIIH et område med skipsbyggingsaktivitet, noe som tidlig gjorde området til et attraktivt tettsted (websiteside 'borreminne'). Hus-, trebåtbygging og båtrepasjonsarbeider førte til økt tilførsel av terrestrisk organisk materiale (høvelspon, sagflis etc.) i det lille marine bassenget. Økte kloakkutslipp bidro til økt tilførsel av organisk materiale både direkte, før kloakkpumpestasjonen ved rensanlegget Falkenstein ble tatt i bruk i 1975 (Svend Å. Svendsen, Horten Kommune, pers. kom. 2014), og indirekte ved eutrofiering som følge av økt næringstilførsel. TOC- og C/N-resultatene i de undersøkte sedimentkjernene gjenspeiler denne utviklingen meget godt (Fig. 14). Resultatene viser at akkumulasjonshastigheten av organisk materiale i HIIH økte kontinuerlig fra ca. 1850, dvs. siden menneskelig aktivitet rundt HIIH virkelig begynte å gjøre seg gjeldene. I løpet av de siste ca. 40 år er tilførselen av organisk materiale fra industri og kommunale avløp redusert, men fremdeles er TOC-verdiene høye i bunnsedimentene. Dette avspeiler at det organiske materialet som har akkumulert i sedimentene over flere hundre år, fortsetter å ha negativ innflytelse på oksygenkonsentrasjonen i bassenget. En mest mulig effektiv nedbrytning av det organiske materialet krever tilgang på oksygen. Følgelig kan stadig lengre perioder med anoksiske bunnforhold, i tillegg til fortsatt tilførsel av organiske materiale (enten direkte eller indirekte), i beste fall hindre en positiv utvikling og i verste tilfelle øke akkumulasjonshastigheten av organisk karbon i sedimentene.

Den historiske C/N-utviklingen i de tre kjernene indikerer at kildene til organisk materiale har forandret seg over tid (Fig. 14). Den relative andelen av terrestrisk organisk materiale var på et maksimum fra ca. 1900 til 1970. Siden 1980-tallet har akkumulasjonen av marint organisk materiale, relativt til terrestrisk materiale, vært høyere enn ellers i hele den undersøkte perioden. Dette indikerer økt pelagisk produksjon som sannsynligvis skyldes økt tilførsel av næringsstoffer til bassenget kombinert med redusert tilførsel av terrestrisk materiale fra verftsindustrien. Dette er i tråd med den generelle status i kyst- og fjordområdene i Skagerrak som Miljødirektoratet, p.g.a. store lokale så vel som langtransporterte tilførsler av næringssalter og organisk materiale, definerer som «et såkalt eutrofipåvirket område» (Aure et al. 2014).

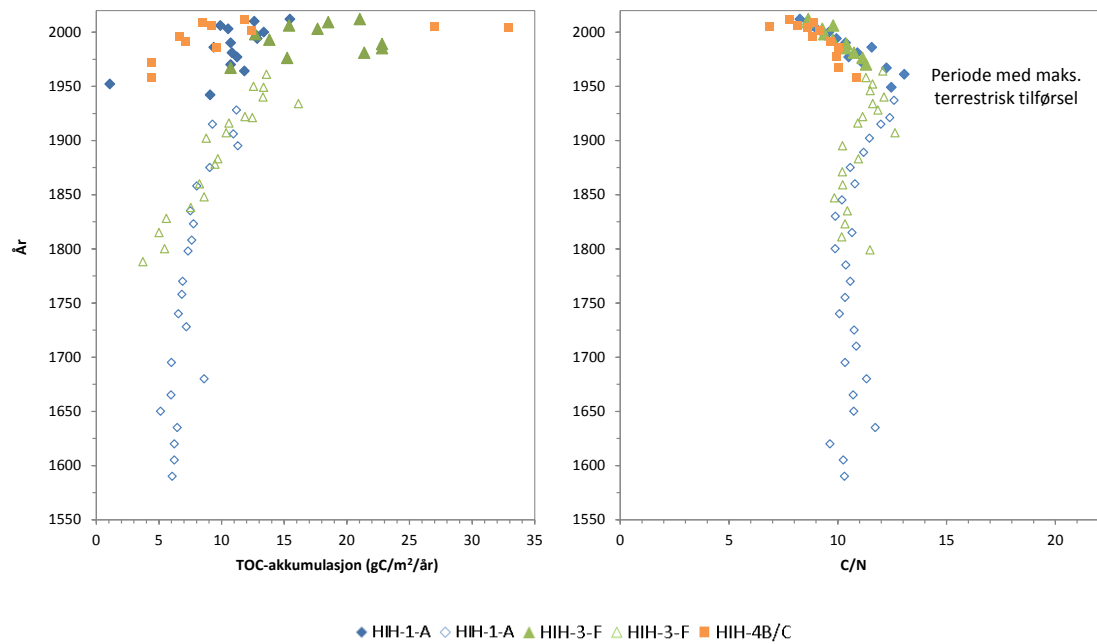


Fig. 14. Endringer i TOC-akkumulasjon og C/N i tre daterte sedimentkjerner fra HIH. Orange, blå og grønne symboler representerer kjerner fra hhv 20, 12 og 8 m vanddyp. Åpne symboler representerer ekstrapolerte aldre.

5.3 Historisk oksygenutvikling i HIH

Ut fra de foreliggende geokjemiske analysene (TOC og miljøgiftkonsentrasjoner) alene, er det ikke mulig å trekke noen slutninger om hvordan oksygentilstanden har utviklet seg over tid i HIH. Bentiske foraminiferer er de eneste bunnlevende organismer som finnes fossilt i sedimentene i et antall som gjør det mulig å tolke oksygenforholdene bakover i tid. Som for annen bunnfauna, varierer forekomsten og produksjonen av bentiske foraminiferer med næringstilgangen og oksygenforholdene.

Likhetsanalysen av foraminiferfaunaene definerer to hovedgrupper og hver av dem er igjen delt i sub-grupper (Fig. 15). Den ene gruppen omfatter prøvene fra de normalmarine, dypere delene av bassenget; HIH-1-E (12 m vanddyp) og HIH-4C/A (20 m vanddyp). Den andre gruppen inkluderer alle prøvene fra den grunne brakkvannsstasjonen HIH-3 (8 m vanddyp).

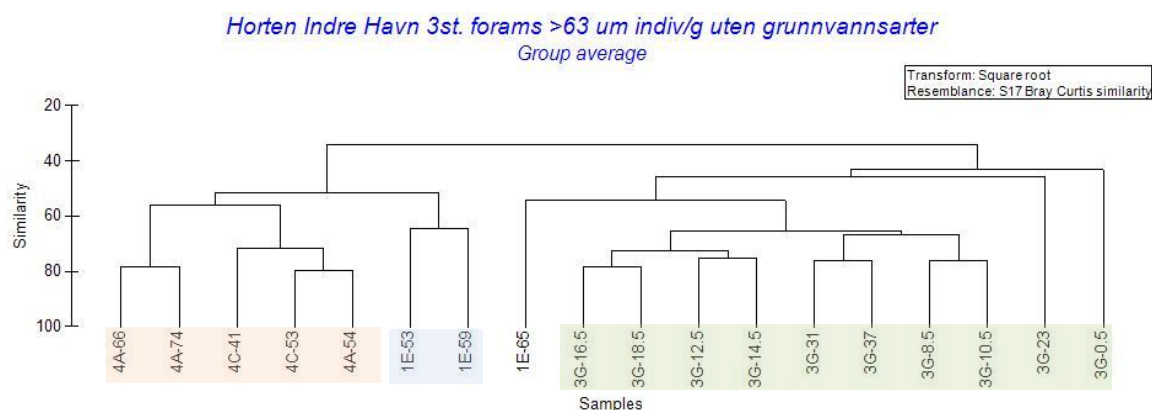


Fig. 15. Dendrogram som avspeiler innbyrdes likhet mellom foraminiferfaunaene som har levd på de tre undersøkte HIIH-stasjonene i løpet av de siste to til fire hundre år. Prøvenavn angir stasjon (første tall), kjernenummer (bokstav) og sedimentdyp (siste tall i cm); 4 = stasjon på 20 m, 1 = stasjon på 12 m og 3 = stasjon på 8 m vanddyb. Fargene indikerer de tre hovedgruppene.

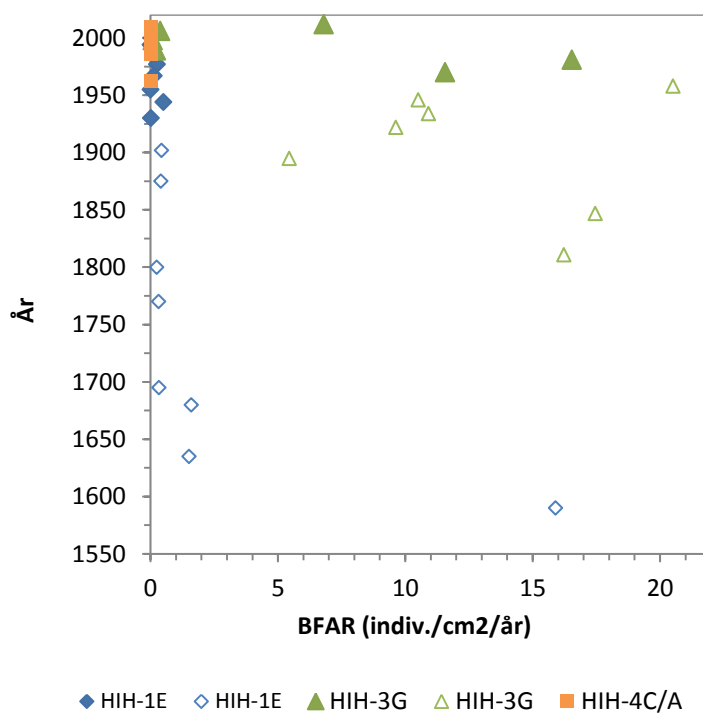


Fig. 16. Endringer i foraminiferakkumulasjonsraten (BFAR i individer/cm²/år) i tre daterte sedimentkjerner fra HIIH. Orange, blå og grønne symboler representerer kjerner fra hhv 20, 12 og 8 m vanddyb. Åpne symboler representerer ekstrapolerte aldre.

Foraminiferfaunaen fra den grunneste stasjonen skiller seg fra faunaene på dypere vann (>12 m) (Fig. 15, 16). Dette avspeiler ulik miljøutvikling i de grunnere, brakkvanns- (8 m vanddyb) og dypere, mer normalmarine (> 12 m vanddyb) områdene i HIH. På stasjon HIH-1 (12 m vanddyb) avspeiler foraminiferfaunaene at økologisk status var moderat/dårlig på 1600-tallet. Allerede siden 1700-tallet er miljøtilstanden basert på foraminiferer 'svært dårlig', hvilket kan anses som naturtilstanden på dypere vann (> 12 m) i HIH (Fig. 17). Dette samsvarer godt med faunasammensetningen i de eldste lagene på de dypere stasjonene, HIH-1 og HIH-4, hvor *Stainforthia fusiformis* og *Bulimina marginata* er hyppige arter. Begge disse er kjent for å trives i normalmarine, organisk rike fjordsedimenter og kan tolerere lave oksygenkonsentrasjoner (f.eks. Alve et al. 2009, Hess et al. 2014).

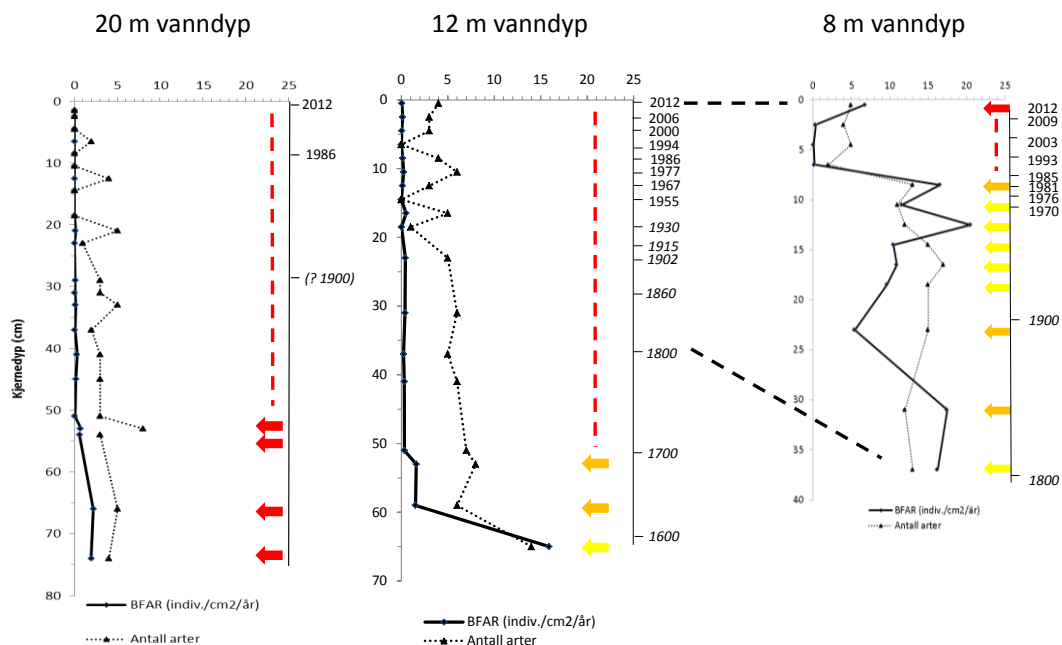


Fig. 17. Utvikling av miljøtilstanden fra dype (20 m vanddyb) til grunnere (8 m vanddyb) områder i HIH i løpet av de siste århundrene basert på foraminiferer. Pilene viser økologisk tilstandsklassen basert på benthiske foraminiferfaunaer. For fargekoder, se Vedlegg 8.1. Vertikale røde stiplede linjer indikerer perioder uten eller med sterk redusert bunnfauna ('død' periode).

På stasjon HIH-3 (8 m vanddyb) var oksygenforholdene på bunnen ikke så dårlige som i bassengets dypere områder. Stasjonen har imidlertid bunnvann med lavere salinitet (ca. 26). Dette medfører en naturlig redusert artsdiversitet (i forhold til normalmarine faunaer) og foraminifersammensetningen er sterkt preget av arter som

kan tolerere brakkvannforhold (f. eks. *Haynesina germanica*). Basert på artsdiversiteten, har miljøtilstanden vært 'moderat' til 'dårlig' gjennom hele 1800- og deler av 1900-tallet. Følgelig representerer 'moderat' til 'dårlig' miljøstatus naturtilstanden for dette grunne brakkvannsområdet. I perioden 1990 til 2006 foregikk det en overgang til 'svært dårlig' status; både diversiteten og BFAR ble dramatisk redusert (Fig. 16, 17). Faunareduksjonen avspeiler svært dårlige og meget stressede miljøforhold på bunnen (sannsynligvis oksygensvikt) i denne perioden. I de yngste prøvene ble en typisk grunnvannsfauna observert igjen. Det kan reflektere en positiv utvikling i nyere tid.

6 Konklusjon

De gjennomførte undersøkelser i HIH viser at detaljerte miljøstratigrafiske analyser av daterte sedimentkjerner kan benyttes til å rekonstruere den historiske utviklingen i et lokalt område og dermed skaffe til veie kunnskap om naturtilstanden. I denne rapporten definerer vi naturtilstanden som tidsrommet før konsentrasjonene av total organisk karbon i sedimentene begynte å øke i HIH-området (stort sett tiden frem til midten av 1800-tallet). Sedimentkjerneanalysene førte til følgende resultatene:

- Dateringene av sedimentkjerner viser at sedimentasjonshastigheten er gjennomsnittlig 2-3 mm år⁻¹ i de undersøkte områdene i HIH.
- Analysene av foraminiferer tyder på at den økologiske tilstanden i dypere deler av HIH-bassenget (≥ 12 m vanndyp) utviklet seg fra 'dårlig' til 'svært dårlig' allerede i løpet av 1600-1700-tallet. Dermed kan naturtilstanden anses å være 'svært dårlig' i disse delene av HIH (≥ 12 m vanndyp). Årsaken til utviklingen av dårlige oksygenforhold og anoksia i HIH er delvis den naturlige begrensingen i dypvannsfornyelsen og delvis den generelle forurensningssituasjonen i området.
- Kritisk lave oksygenforhold utviklet seg på stadig grunnere vanndyp og ser ut til å ha påvirket sjøbunnen opp til 8 m vanndyp i løpet av 1980-tallet.
- Resultatene fra de daterte sedimentkjernene avspeiler økt tilførsel av organisk materiale og etter hvert miljøgifter utover på 1800- og 1900-tallet.
- Miljøgiftene som nådde maksimumskonsentrasjoner på 1960-1970-tallet er betydelig redusert i senere år. Det betyr at det foregår en naturlig forbedring (mht. miljøgiftene) av sedimentene i HIH.
- Konsentrasjonene av organisk materiale i sedimentene økte kontinuerlig fra ca. midten av 1800-tallet, dvs. siden menneskelig aktivitet i HIH begynte å gjøre seg gjeldene. I motsetning til miljøgiftene er sedimentenes innhold av organisk materiale fremdeles stigende.
- Den relative tilførselen av terrestrisk organisk materiale var størst i tidsrommet 1900-1970. Siden den tid har det organiske materialet som akkumuleres i bassenget i større grad vært dominert av fytoplankton.
- Med dagens tilførsel av organiske materiale og den begrensede dypvannsutskiftingen i HIH er det ikke rimelig å anta at oksygenforholdene i bassenget vil forbedre seg på naturlig vis.

7 Referanser

- Alve, E., 1995. Benthic foraminiferal distribution and recolonization of formerly anoxic environments in Drammensfjord, southern Norway. *Marine Micropaleontology* 25, 169-186.
- Alve, E., 2003. A common opportunistic foraminiferal species as an indicator of rapidly changing conditions in a range of environments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57, 501-514.
- Alve, E., Bernhard, J. M., 1995. Vertical migratory response of benthic foraminifera to controlled oxygen concentrations in an experimental mesocosm. *Marine Ecological Progress Series* 116, 137-151.
- Alve, E., Lepland, A., Magnusson, J., Backer-Owe, K., 2009. Monitoring strategies for re-establishment of ecological reference conditions: possibilities and limitations. *Marine Pollution Bulletin* 59, 297–310.
- Aure, J., Danielssen, D.S., Naustvoll, L.J., 2014. Miljøundersøkelser i norske fjorder: Ytre Oslofjord 1937-2011. *Fiske og Havet* 5, 1-35.
- Austin H.A., Austin W.E.N., Paterson D.M., 2005. Extracellular cracking and content removal of the benthic diatom *Pleurosigma angulatum* (Quekett) by the benthic foraminifera *Haynesina germanica* (Ehrenberg). *Marine Micropaleontology* 57, 68–73.
- Borreminne. <http://www.borreminne.com/> (besøkt 2014)
- Bakke T, Breedveld G, Källqvist T, Oen A, Eek E, Ruus A, Kibsgaard, A, Helland A, Hylland K (2007). Veileder for risikovurdering av forurenset sediment (guideline for risk assessment of contaminated sediment; in Norwegian). Norwegian Pollution Control Authority SFT TA-2230/2007.
- Clark, K.R., Gorley, R.N., 2006. Primer v6: user manual/tutorial. Primer-E Ltd.
- Direktoratsgruppa_Vanndirektivet. 2009. *Veileder 01:2009 Klassifisering av miljøtilstand ivann*: Direktoratets gruppa for gjennomføring av vanndirektivet. 180pp.
- Det Norske Veritas (DNV), 2014. Tiltaksplan for Horten Indre Havn, Rapport Horten Kommune. Rapportnr. 2013-1246/DNV.
- Dolven, J.K., Alve, E., 2010. Naturtilstanden i indre Oslofjord, 86 sider. <http://www.indre-oslofjord.no/dokumenter/natur-106.pdf>.
- Dolven, J.K., Alve, E., Rygg, B., Magnusson, J., 2013. Defining past ecological status and *in situ* reference conditions using benthic foraminifera: A case study from the Oslofjord, Norway. *Ecological Indicators* 29, 219-233.

- Helland, A., Severinsen, G., Green, N., Rygg, B., 2006. Forurensning I bunnsedimenter I sjøområder med skipsverft. Norwegian Pollution Control Authority, SFT-TA-2145/2006.
- Herguera, J.C., 1992. Deep-sea benthic foraminifera and biogenic opal: Glacial to postglacial productivity changes in the western equatorial Pacific. *Marine Micropaleontology* 19, 79-98.
- Hess, S., Alve, E., Reuss, N., 2014. Benthic foraminiferal recovery in the Oslofjord (Norway): responses to capping and re-oxygenation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 147, 87-102.
- Joranger, T., 2013. Oksygenmålinger Horten indre Havn. Forsvarsbygg, Notat 13. August 2013, 8 sider.
- Knight, R., Mantoura, R.F.C., 1985. Chlorophyll and carotenoid-pigments in foraminifera and their symbiotic algae – analysis by high-performance liquid-chromatography. *Marine Ecology Progress Series* 23, 241-249.
- Lund, T.R., 2013. Indre Havn, Horten, Bruksplan. Horten commune, 19.februar 2013, 28 sider.
- Meyers, P.A., 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology* 114, 289-302.
- Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J., Sørensen, J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning 97:03. SFT-rapport TA-1467-97.
- Moodley, L., van der Zwaan, G.J., Herman, P.M.J., Kempers, L., van Breugel, P., 1997. Differential response of benthic meiofauna to anoxia with special reference to Foraminifera (Protista: Sarcodina). *Marine Ecology Progress Series* 158, 151-163.
- Saunes, H., Konieczny, R.M., 2013. Undersøkelse av biota i Horten Indre havn. Miljøteknisk rapport, COWI, rapport FBSE 2013/407.
- SFT (2007a). Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. Norwegian Pollution Control Authority SFT TA-2229/2007.
- Veileder 02:2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann - Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. 263 sider.
- Walday, M., Gitmark, J., Naustvoll, L.J., Norling, K., Selvik, J.R., Sørensen, K., 2012. Overvåking av Ytre Oslofjord i 2007-20011. 5-årsrapport. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), rapport 6352-2012.
- Øxnevad, S., Schøyen, M., Beylich, B., 2011a. Prøvetaking og kartlegging av miljøgifter i sjøsedimenter i Horten Indre Havn i 2011. Datarapport, Norsk institutt for vannforskning (NIVA), rapport FBSE 2011/20.

Øxnevad, S., Bakke, T., Beylich, B., Schøyen, M., Allan, I., 2011b.
Miljøundersøkelser og risikovurdering av bunnsedimenter i Horten Indre Havn i
2011. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), rapport FBSE 2011/21.

8 Vedlegg

Vedlegg 8.1 Tilstandsklasser med fargekoder i henhold til Vanndirektivet brukt i undersøkelsen. TOC-klassifisering i henhold til Veileder 97:03, diversitetsindeksene $H'_{\log 2}$ og ES_{100} klassifisering i henhold til Veileder 02:2013, metaller og organiske stoffer klassifisering i henhold til SFT 2007a (SFT TA-2229/2007).

	Tilstandsklasser				
	I Svært god	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
TOC (mg/g)	< 20	20 - 27	27 - 34	34 - 41	> 41
$H'_{\log 2}$	> 4.8	4.8 - 3	3 - 1.9	1.9 - 0.9	< 0.9
ES_{100}	> 34	34 - 17	17 - 10	10 - 5	< 5
As (mg/kg)	< 20	20 - 52	52 - 76	76 - 580	> 580
Pb (mg/kg)	< 30	30 - 83	83 - 100	100 - 720	> 720
Cd (mg/kg)	< 0.25	0.25 - 2.6	2.6 - 15	15 - 140	> 140
Cu (mg/kg)	< 35	35 - 51	51 - 55	55 - 220	> 220
Cr (mg/kg)	< 70	70 - 560	560 - 5900	5900 - 59000	> 59000
Hg (mg/kg)	< 0.15	0.15 - 0.63	0.63 - 0.86	0.86 - 1.6	> 1.6
Ni (mg/kg)	< 30	30 - 46	46 - 120	120 - 840	> 840
Zn (mg/kg)	< 150	150 - 360	360 - 590	590 - 4500	> 4500
PCB-7 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	< 5	5 - 17	17 - 190	190 - 1900	> 1900
PAH-16 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	< 300	300 - 2000	2000 - 6000	6000 - 20000	> 20000
TBT ($\mu\text{g}/\text{kg}$) - forvaltningsmessig	< 1	1 - 5	5 - 20	20 - 100	> 100
TBT ($\mu\text{g}/\text{kg}$) - effektbasert	< 1	< 0.002	0.002 - 0.016	0.016 - 0.032	> 0.032

Vedlegg 8.2 Analyseresultater for kjerne HIH-4-B (20m vanddyb). Klassifisering med fargekoder i henhold til Veileder 97:03 og SFT 2007a (SFT TA-2229/2007). nd = ingen data.

Kjerne HIH-4-B 20 m															
Kjerne-intervall (cm)	Kjerne-dyp (cm)	Vanninnhold (%)	TOC (%)	N (%)	C/N	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	As (mg/kg)	PCB-7 (mg/kg)	PAH-16 (mg/kg)
0-1	0.5	89.65	4.70	0.60	7.80	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	< 0.02	< 2
1-2	1.5	86.00	4.20	0.50	8.40	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	< 0.02	< 2
2-3	2.5	85.50	3.80	0.40	8.80	60	57	0.30	0.51	29	180	35	11	nd	nd
3-4	3.5	85.57	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
4-5	4.5	86.50	nd	nd	nd	76	61	0.36	0.76	29	300	35	13	nd	nd
5-6	5.5	83.21	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.038	< 2
6-7	6.5	81.39	nd	nd	nd	91	94	0.61	0.79	30	370	40	16	0.046	< 2
7-8	7.5	81.70	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
8-9	8.5	82.45	nd	nd	nd	79	110	0.48	0.81	32	280	43	13	nd	nd
9-10	9.5	79.87	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.049	2.6
10-11	10.5	76.90	nd	nd	nd	100	130	0.74	1.0	37	320	45	18	0.072	2.8
11-12	11.5	75.67	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
12-13	12.5	76.31	nd	nd	nd	110	180	1.50	1.20	33	330	54	21	0.330	2.7
13-14	13.5	72.99	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14-15	14.5	75.19	nd	nd	nd	110	250	2.4	1.2	35	370	55	25	0.200	4.1
15-16	15.5	74.63	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16-17	16.5	71.68	nd	nd	nd	87	290	3.60	1.30	35	400	47	37	nd	12
17-18	17.5	70.00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
18-19	18.5	73.32	nd	nd	nd	91	270	1.80	1	33	370	47	18	nd	9.1
19-20	19.5	74.32	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
20-22	21	73.15	nd	nd	nd	74	200	1.20	1.0	34	260	44	21	< 0.02	5.5
22-24	23	72.50	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
24-26	25	70.52	nd	nd	nd	57	110	1.4	0.81	33	240	42	15	nd	4.1
26-28	27	70.18	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28-30	29	69.33	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
30-32	31	70.30	nd	nd	nd	48	53	0.110	0.72	34	150	41	15	< 0.02	3.1
32-34	33	67.63	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
34-36	35	66.56	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
36-38	37	67.25	nd	nd	nd	33	26	0.033	0.62	36	130	43	15	nd	< 2
38-40	39	67.86	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
40-42	41	65.97	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
42-44	43	67.41	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
44-46	45	66.96	nd	nd	nd	30	30	0.028	0.5	36	120	43	13	nd	< 2
46-48	47	66.27	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
48-50	49	66.79	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
50-52	51	61.77	nd	nd	nd	31	20	0.032	0.6	37	120	43	12	< 0.02	< 2

Vedlegg 8.3 Analyseresultater for kjerne HIH-4-C (20m vandndyp). Klassifisering med fargekoder i henhold til Veileder 97:03 og SFT 2007a (SFT TA-2229/2007). nd = ingen data.

Kjerne HIH-4-C 20 m																	
Kjerneintervall (cm)	Kjernerdyb (cm)	Alder	Vanninnhold (%)	TOC (%)	N (%)	C/N	> 63 µm (%)	TBT (µg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	As (mg/kg)	
0-1	0.5	2012	88.91	nd	nd	nd	nd	nd	54	51	0.28	0.42	25	150	30	9.2	
1-2	1.5	2009	86.55	3.87	0.43	8.89	1.29	180	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
2-3	2.5	2006	85.52	3.61	0.44	8.17	0.82	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
3-4	3.5	2005	85.69	4.45	0.65	6.85	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
4-5	4.5	2004	85.87	4.34	0.50	8.62	0.7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
5-6	5.5	2001	84.58	3.91	0.43	9.18	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
6-7	6.5	1996	82.05	3.76	0.42	8.85	1.41	1600	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
7-8	7.5	1991	81.53	4.12	0.43	9.67	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
8-9	8.5	1986	82.57	4.37	0.44	10.03	0.6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
9-10	9.5	1977	81.66	3.90	0.39	9.96	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
10-11	10.5	1968	78.85	3.82	0.38	10.03	1.01	880	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
11-12	11.5	1957	75.91	3.98	0.37	10.88	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
12-13	12.5		76.34	4.34	0.40	10.73	0.72	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
13-14	13.5		76.88	3.88	0.33	11.91	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
14-15	14.5		72.16	nd	nd	nd	0.98	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
15-16	15.5		75.44	4.66	0.40	11.64	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
16-17	16.5		74.99	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
17-18	17.5		74.17	4.20	0.36	11.58	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
18-19	18.5		69.07	nd	nd	nd	2.70	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
19-20	19.5		73.02	4.33	0.37	11.66	1.56	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
20-22	21		74.13	4.21	0.38	11.10	2.07	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
22-24	23		73.66	3.96	0.36	11.05	0.73	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
24-26	25		69.37	4.14	0.34	12.08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
26-28	27		70.05	3.58	0.31	11.50	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
28-30	29		69.91	3.30	0.30	10.90	3.51	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
30-32	31		69.22	3.15	0.32	9.98	1.14	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
32-34	33		69.73	3.03	0.30	10.08	1.07	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
34-36	35		67.09	2.88	0.29	10.03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
36-38	37		65.35	2.73	0.28	9.63	2.26	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
38-40	39		67.07	2.71	0.28	9.53	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
40-42	41		67.40	2.80	0.30	9.49	1.00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
42-44	43		66.92	2.68	0.28	9.57	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
44-46	45		68.75	2.67	0.28	9.48	2.11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
46-48	47		68.25	2.72	0.29	9.45	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
48-50	49		66.54	2.50	0.26	9.47	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
50-52	51		67.45	2.78	0.28	9.79	1.36	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
52-54	53		66.66	2.61	0.28	9.26	2.76	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	

Vedlegg 8.4 Foraminiferdata for kjernene HIH-4-C/A (20 m vanddyb).

Kjerne HIH-4-C (20m)													Kjerne HIH-4-A						
Telldata bentske foraminiferer > 63 µm																			
Kjerne dyp (cm)	6 - 7	8 - 9	10 - 11	12 - 13	14 - 15	18 - 19	20 - 22	22 - 24	28 - 30	30 - 32	32 - 34	36 - 38	40 - 42	44 - 46	50 - 52	52 - 54	52 - 56	64 - 68	72 - 76
<i>Adercotryma wrightii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ammodiscus gullmarenensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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>Ammoscalaria runiana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cribratomoides crassimargo</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eggerelloides scaber</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Goesella waddensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Jadammina macrescens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leptohalysis catella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Miliammina fusca</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spiroplectammina biformis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Textularia earlandi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trochammina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ammonia beccarii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	0	0	1	0	0	0
<i>Bulimina marginata</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	71	32
<i>Buliminella elegantissima</i>	0	0	0	1	0	0	1	0	2	0	3	0	2	2	1	1	0	2	0
<i>Cibicides lobatulus</i>	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Discorbinella berthelothi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elphidium albumbilicatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
<i>Elphidium excavatum</i>	1	0	0	1	0	0	2	2	7	7	19	4	8	8	3	13	9	27	13
<i>Elphidium gerthi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elphidium incertum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elphidium williamsoni</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	3	2	19	2	9	0	0	8	3	4	0
<i>Epistominella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Fissurina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Haynesina germanica</i>	0	0	0	0	0	0	4	0	90	265	21	7	107	23	10	28	29	18	15
<i>Hyalinea balthica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Miliolinella subrotunda</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Nonionella iridea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nonionella turgida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quinqueloculina oblonga</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stainforthia fusiformis</i>	0	0	0	3	0	0	24	0	8	7	5	4	56	31	7	138	118	109	169
<i>Stainforthia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalkskallart ubestemt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
miliolid ubestemt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum talte individer	2	-	-	6	0	0	36	2	110	282	70	19	184	64	21	194	164	234	230
Individer/g tørt sediment	0.60	-	-	1.23	0	0	8	0	23	61	15	4	39	14	4	41	33	111	92
Antall arter	2	-	-	4	0	0	7	1	5	5	7	5	6	4	4	11	5	7	5
ES₍₁₀₀₎	-	-	-	-	-	-	-	-	4.99	3.85	-	-	5.58	-	-	7.61	4.93	6.38	4.43
H' _{log2}	-	-	-	-	-	-	-	-	1.01	0.43	2.24	-	1.53	1.57	-	1.48	1.27	1.92	1.25
BFAR (indiv./cm²/år)	0.02	-	-	0.05	0.00	0.00	0.53	0.03	1.57	4.06	1.01	0.27	2.62	0.91	0.30	2.75	2.32	7.46	3.25

Vedlegg 8.5 Vanninnhold for kjernene HIH-2 (16m vanddyb). GC: Gemini-prøvetaker; AC: Abdullahprøvetaker

Kjerne HIH-2-C (GC) 16 m			Kjerne HIH-2-F (GC) 16 m			Kjerne HIH-2-A (AC) 16 m		
Kjerne- intervall (cm)	Kjerne- dyp (cm)	Vann- innhold (%)	Kjerne- intervall (cm)	Kjerne- dyp (cm)	Vann- innhold (%)	Kjerne- intervall (cm)	Kjerne- dyp (cm)	Vann- innhold (%)
0-1	0.5	88.55	0-1	0.5	88.77	70-74	72	60.23
1-2	1.5	86.36	1-2	1.5	87.09	74-78	76	60.99
2-3	2.5	86.04	2-3	2.5	86.62	78-82	80	60.15
3-4	3.5	84.48	3-4	3.5	86.70	82-86	84	57.89
4-5	4.5	82.81	4-5	4.5	86.92	86-90	88	58.30
5-6	5.5	83.02	5-6	5.5	85.32	90-93.5	91.75	59.19
6-7	6.5	83.02	6-7	6.5	83.41	93.5-97	95.25	58.53
7-8	7.5	82.36	7-8	7.5	82.68			
8-9	8.5	79.75	8-9	8.5	82.57			
9-10	9.5	77.11	9-10	9.5	82.79			
10-11	10.5	76.63	10-11	10.5	82.59			
11-12	11.5	78.58	11-12	11.5	80.23			
12-13	12.5	75.72	12-13	12.5	78.17			
13-14	13.5	75.96	13-14	13.5	75.92			
14-15	14.5	73.81	14-15	14.5	77.14			
15-16	15.5	73.20	15-16	15.5	78.20			
16-17	16.5	74.31	16-17	16.5	74.91			
17-18	17.5	67.94	17-18	17.5	75.16			
18-19	18.5	47.87	18-19	18.5	74.08			
19-20	19.5	42.63	19-20	19.5	74.31			
20-22	21	40.92	20-22	21	72.96			
22-24	23	39.45	22-24	23	73.48			
24-26	25	39.57	24-26	25	73.01			
26-28	27	42.98	26-28	27	55.60			
28-30	29	59.73	28-30	29	62.51			
30-32	31	64.37	30-32	31	67.15			
32-34	33	65.59	32-34	33	67.50			
34-36	35	66.47	34-36	35	67.86			
36-38	37	66.38	36-38	37	67.25			
38-40	39	65.73	38-40	39	67.78			
40-42	41	66.47	40-42	41	67.40			
42-44	43	56.95	42-44	43	67.87			
44-46	45	39.39	44-46	45	67.75			
46-48	47	39.14	46-48	47	65.71			
48-50	49	57.03	48-50	49	67.44			
50-52	51	65.62	50-52	51	65.60			
52-54	53	65.99	52-54	53	64.98			
54-56	55	66.13	54-56	55	65.06			
56-58	57	66.25						
58-60	59	67.56						
60-62	61	67.55						
62-64	63	65.35						
64-66	65	64.54						
66-68	67	63.36						

Vedlegg 8.6 Analyseresultater for kjerne HIH1-A (12m vanddyb). Klassifisering med fargekoder i henhold til SFT 2007a (SFT TA-2229/2007). nd = ingen data.

Kjerne HIH-1-A 12 m													
Kjerneintervall (cm)	Kjernerdyb (cm)	Vanninnhold (%)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	As (mg/kg)	TBT (µg/kg)	PCB-7 (mg/kg)	PAH-16 (mg/kg)
0-1	0.5	86.63	56	52	0.27	0.54	27	170	34	<12	nd	nd	nd
1-2	1.5	83.49	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	170	nd	nd
2-3	2.5	82.41	70	69	0.36	0.66	32	210	40	13	nd	0.024	<2
3-4	3.5	81.80	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
4-5	4.5	81.05	89	91	0.51	0.90	32	290	42	14	1600	nd	nd
5-6	5.5	81.65	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
6-7	6.5	81.54	79	100	0.49	0.92	34	290	45	17	nd	nd	nd
7-8	7.5	80.28	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
8-9	8.5	76.75	80	120	0.61	0.99	36	290	46	18	190	nd	nd
9-10	9.5	72.48	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
10-11	10.5	72.46	95	170	1.7	1.2	35	320	57	19	29	0.19	2.8
11-12	11.5	70.55	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
12-13	12.5	73.15	88	200	2.00	1.10	32	300	50	18	2.6	nd	nd
13-14	13.5	71.43	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14-15	14.5	66.68	76	180	1.4	1.9	35	450	47	22	9.8	nd	nd
15-16	15.5	66.29	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16-17	16.5	71.79	72	200	1.30	0.84	33	280	45	17	nd	nd	nd
17-18	17.5	71.71	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
18-19	18.5	70.49	63	160	1.30	0.82	35	250	44	14	nd	nd	nd
19-20	19.5	70.52	60	130	1.5	0.8	32	240	41	13	nd	nd	nd
20-22	21	68.84	52	93	0.78	0.68	34	200	42	12	nd	nd	nd
22-24	23	68.17	45	74	0.28	0.67	36	170	43	12	nd	<0.02	2.7
24-26	25	67.38	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
26-28	27	66.82	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28-30	29	65.36	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
30-32	31	61.55	32	30	0.054	0.61	35	130	42	10	nd	<0.02	<2
32-34	33	66.44	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
34-36	35	65.66	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
36-38	37	63.33	30	26	0.030	0.67	35	120	42	11	nd	nd	nd
38-40	39	64.07	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
40-42	41	64.21	30	21	0.035	0.52	37	110	44	10	nd	<0.02	<2
42-44	43	64.32	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
44-46	45	62.27	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
46-48	47	63.21	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
48-50	49	62.24	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
50-52	51	62.14	29	18	0.027	0.46	38	110	45	11	nd	<0.02	<2
52-54	53	61.94	29	16	0.026	0.48	36	110	45	11	nd	nd	nd
54-56	55	60.46	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
56-58	57	59.39	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
58-59	58.5	58.50	28	18	0.029	0.36	37	110	45	11	nd	<0.02	<2

Vedlegg 8.7 Analyseresultater for kjerne HIH1-E (12m vanddyb). Klassifisering med fargekoder i henhold til Veileder 97:03. Alderen i parentes er beregnet ved ekstrapolasjon. nd = ingen data.

Kjerne HIH-1-E 12 m

Kjerneintervall (cm)	Kjerne-dyp (cm)	Alder	Vanninnhold (%)	TOC (%)	N %	C/N	> 63 µm (%)
0-1	0.5	2012	88.24	4.74	0.57	8.3	
1-2	1.5	2010	84.37	4.73	0.55	8.6	nd
2-3	2.5	2006	83.11	4.26	0.48	8.8	0.59
3-4	3.5	2003	82.70	3.98	0.44	9.0	nd
4-5	4.5	2000	83.61	4.27	0.45	9.6	0.91
5-6	5.5		82.48	4.29	0.46	9.4	nd
6-7	6.5	1994	82.16	4.29	0.43	9.9	2.01
7-8	7.5	1990	81.88	4.27	0.41	10.4	nd
8-9	8.5	1986	81.10	4.12	0.36	11.6	0.63
9-10	9.5	1981	79.39	4.36	0.40	10.9	nd
10-11	10.5	1977	76.28	4.15	0.40	10.5	1.64
11-12	11.5		73.49	4.05	0.36	11.1	nd
12-13	12.5	1967	75.38	4.47	0.37	12.2	0.88
13-14	13.5		74.58	4.16	0.32	13.1	nd
14-15	14.5	1955	74.44	nd	nd	nd	0.94
15-16	15.5		72.96	3.40	0.27	12.5	nd
16-17	16.5	1944	70.99	nd	nd	nd	2.64
17-18	17.5		66.54	4.19	0.33	12.6	nd
18-19	18.5	1930	70.40	nd	nd	nd	1.58
19-20	19.5		72.94	3.49	0.28	12.4	nd
20-22	21	1915	70.49	3.99	0.33	12.0	nd
22-24	23	1902	70.95	4.09	0.36	11.5	2.06
24-26	25	1889	69.12	3.28	0.29	11.2	nd
26-28	27		65.80	3.02	0.28	10.6	nd
28-30	29	1860	67.30	2.80	0.26	10.8	nd
30-32	31		66.08	2.73	0.27	10.2	1.33
32-34	33		65.92	2.64	0.27	9.9	nd
34-36	35		66.78	2.52	0.24	10.7	nd
36-38	37	1800	66.68	2.52	0.25	9.9	3.25
38-40	39		62.84	2.52	0.24	10.4	nd
40-42	41		64.01	2.56	0.24	10.6	1.46
42-44	43	(1755)	64.51	2.45	0.23	10.4	nd
44-46	45		64.25	2.36	0.23	10.1	nd
46-48	47		64.19	2.24	0.21	10.8	nd
48-50	49		61.86	2.39	0.22	10.9	nd
50-52	51	(1695)	63.18	1.96	0.19	10.3	0.93
52-54	53		62.61	1.92	0.17	11.3	1.89
54-56	55		62.73	2.05	0.19	10.7	nd
56-58	57	(1650)	62.22	2.01	0.19	10.7	nd
58-60	59		61.23	1.97	0.17	11.7	4.13
60-62	61		60.36	1.96	0.20	9.6	nd
62-64	63	(1605)	59.93	1.82	0.18	10.3	nd
64-66	65		58.69	1.84	0.18	10.3	2.97

Vedlegg 8.8 Foraminiferdata for kjerne HIH-1-E (12m vanndyp).

Kjerne HIH-1-E (12m)																		
Telldata bentsiske foraminiferer > 63 µm																		
Kjernerdypp (cm)	0 - 1	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	10 - 11	12 - 13	14 - 15	16 - 17	18 - 19	22 - 24	30 - 32	36 - 38	40 - 42	50 - 52	52 - 54	58 - 60	64 - 66
<i>Adercotryma wrightii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ammodiscus gullmarenensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ammotium cassis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ammoscalaria runiana</i>	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	2
<i>Eggerelloides scaber</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Goesella waddensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Jadammina macrescens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Leptohalysis catella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Miliammina fusca</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spiroplectammina biformis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	22
<i>Textularia earlandi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Trochammina sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Ammonia beccarii</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bulimina marginata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	1	1	5	57	77
<i>Buliminella elegantissima</i>	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	1	1	5	0	0	4	7
<i>Cibicides lobatulus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Discorbinella berthelothi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
<i>Elphidium excavatum</i>	0	1	1	0	0	1	4	0	7	0	16	8	2	4	3	80	37	32
<i>Elphidium gerthi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	10
<i>Elphidium incertum</i>	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elphidium williamsoni</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3	0	0	5	4	1	0	0
<i>Epistominella sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fissurina sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Haynesina germanica</i>	1	10	1	0	5	11	6	0	21	0	15	6	17	11	15	16	9	12
<i>Hyalinea balthica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Miliolinella subrotunda</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nonionella iridea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	2
<i>Nonionella turgida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quinqueloculina oblonga</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stainforthia fusiformis</i>	1	0	0	0	7	6	0	0	14	1	1	4	0	3	3	34	31	118
<i>Stainforthia sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalkskallart ubestemt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
miliolid ubestemt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Sum talte individer	4	12	3	0	14	22	11	0	44	1	38	36	22	29	30	147	139	293
Individer/g tørt sediment	0.9	3	1	0	3	5	2	0	9	0	8	8	5	6	6	31	29	303
Antall arter	4	3	3	0	4	6	3	0	5	1	5	6	5	6	7	8	6	14
ES₍₁₀₀₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.33	5.71	10.71
H'_{log2}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	1.97	2.5
BFAR (indiv./cm²/år)	0.06	0.13	0.04	0.00	0.15	0.25	0.13	0.00	0.50	0.01	0.43	0.40	0.24	0.32	0.33	1.60	1.52	15.89

Vedlegg 8.9 Analyseresultater for kjerne HIH-3-F (8m vanddyb). Klassifisering med fargekoder i henhold til SFT 2007a (SFT TA-2229/2007). nd = ingen data.

Kjerne HIH-3-F 8 m													
Kjerneintervall (cm)	Kjerne-dyp (cm)	Vanninnhold (%)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	As (mg/kg)	TBT (µg/g)	PCB-7 (mg/kg)	PAH-16 (mg/kg)
0-1	0.5	84.06	75	64	0.40	0.61	29	200	40	11	nd	0.023	< 2
1-2	1.5	80.60	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	150	nd	nd
2-3	2.5	78.55	87	83	0.57	0.77	33	240	45	11	nd	0.025	< 2
3-4	3.5	76.28	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.041	< 2
4-5	4.5	75.35	93	97	0.73	0.82	33	260	45	11	nd	nd	nd
5-6	5.5	71.69	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
6-7	6.5	68.06	95	130	0.97	0.77	35	260	52	13	180	0.04	2.4
7-8	7.5	68.05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
8-9	8.5	68.29	92	130	1.10	0.74	34	260	50	12	nd	nd	nd
9-10	9.5	69.88	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
10-11	10.5	67.26	86	140	1.20	0.74	38	250	51	22	38	0.091	3.5
11-12	11.5	67.45	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
12-13	12.5	68.07	110	180	1.20	0.81	68	240	65	56	nd	0.130	2.8
13-14	13.5	67.12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14-15	14.5	65.96	140	130	0.99	1.4	110	230	57	98	nd	0.140	2.4
15-16	15.5	66.83	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16-17	16.5	64.25	140	140	1.10	1	100	240	63	73	nd	0.039	3.4
17-18	17.5	64.16	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
18-19	18.5	63.47	65	120	0.98	0.45	41	200	47	29	nd	nd	3.2
19-20	19.5	58.25	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
20-22	21	57.55	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
22-24	23	56.12	36	47	0.24	0.30	33	140	43	13	nd	< 0.02	< 2
24-26	25	55.42	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
26-28	27	55.11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28-30	29	52.61	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
30-32	31	50.46	25	21	0.042	0.24	33	100	41	12	nd	< 0.02	< 2
32-34	33	45.52	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
34-36	35	43.31	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
36-38	37	39.26	19	13	0.034	0.16	25	75	33	9	nd	nd	< 2

Vedlegg 8.10 Analyseresultater for kjerne HIH-3-G (8m). Klassifisering med fargekoder i henhold til Veileder 97:03. Alderen i parentes er beregnet ved ekstrapolasjon.

Kjerne HIH-3-G 8 m							
Kjerne-intervall (cm)	Kjerne-dyp (cm)	Alder	Vann-innhold (%)	TOC (%)	N (%)	C/N	> 63 µm (%)
0-1	0.5	2012	84.50	5.36	0.62	8.64	2.06
1-2	1.5	2009	80.87	4.92	0.57	8.63	nd
2-3	2.5	2006	79.00	4.35	0.44	9.80	1.46
3-4	3.5	2003	75.43	4.35	0.47	9.29	nd
4-5	4.5	1998	74.02	4.40	0.47	9.38	1.54
5-6	5.5	1993	71.77	4.31	0.44	9.77	nd
6-7	6.5	1989	63.97	4.11	0.40	10.40	1.25
7-8	7.5	1985	68.17	4.12	0.40	10.37	nd
8-9	8.5	1981	68.09	3.97	0.37	10.74	1.48
9-10	9.5	1976	68.62	3.91	0.35	11.15	nd
10-11	10.5	1970	69.32	3.82	0.34	11.31	1.40
11-12	11.5		68.41	3.76	0.31	12.08	nd
12-13	12.5		68.51	3.84	0.34	11.30	2.43
13-14	13.5		68.27	3.74	0.32	11.60	nd
14-15	14.5		68.02	3.66	0.32	11.49	2.73
15-16	15.5		65.01	3.62	0.30	12.12	nd
16-17	16.5		66.71	3.64	0.31	11.61	4.82
17-18	17.5		65.67	3.42	0.29	11.85	nd
18-19	18.5		62.70	3.15	0.28	11.14	7.60
19-20	19.5		58.33	2.74	0.25	10.92	11.89
20-22	21	(1907)	54.04	2.49	0.20	12.63	nd
22-24	23		54.72	2.42	0.24	10.22	6.34
24-26	25		53.95	2.36	0.22	10.95	nd
26-28	27		52.58	2.12	0.21	10.21	nd
28-30	29		51.43	1.83	0.18	10.23	10.74
30-32	31	(1847)	48.18	1.62	0.16	9.84	11.89
32-34	33		44.93	1.36	0.13	10.44	nd
34-36	35		40.42	1.17	0.11	10.34	nd
36-38	37		36.17	0.99	0.10	10.18	41.86
38-40	39		35.90	0.84	0.07	11.49	48.10

Vedlegg 8.11 Foraminiferdata for kjerne HIH-3-G (8m vanndyp).

Kjerne HIH-3-G (8m)													
Telledata benthiske foraminiferer > 63 µm													
Kjernerdyb (cm)	0 - 1	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	10 - 11	12 - 13	14 - 15	16 - 17	18 - 19	22 - 24	30 - 32	36 - 38
<i>Adercotryma wrightii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Ammodiscus gullmarensis</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0
<i>Ammotium cassis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Ammoscalaria runiana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
<i>Eggerelloides scaber</i>	0	1	2	4	7	8	27	19	65	91	187	68	43
<i>Goesella waddensis</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Jadammina macrescens</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	7	0	1
<i>Leptohalysis catella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Miliammina fusca</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spiroplectammina biformis</i>	0	0	0	0	0	3	1	0	2	2	4	0	2
<i>Textularia earlandi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Trochammina sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Ammonia beccarii</i>	2	0	0	0	4	7	17	10	7	12	0	1	4
<i>Bulimina marginata</i>	0	0	1	0	4	13	33	29	29	11	4	3	24
<i>Buliminella elegantissima</i>	15	0	1	0	7	26	12	6	2	11	1	20	11
<i>Cibicides lobatulus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Discorbinella berthelothi</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Elphidium excavatum</i>	19	3	1	0	38	17	17	14	9	6	7	47	61
<i>Elphidium gerthi</i>	0	0	0	0	7	29	4	0	10	0	0	3	0
<i>Elphidium incertum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	11
<i>Elphidium williamsoni</i>	0	1	0	0	3	2	4	5	8	2	1	3	11
<i>Epistominella sp.</i>	0	0	0	0	1	2	5	1	6	5	2	0	0
<i>Fissurina sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Haynesina germanica</i>	195	20	2	7	169	88	30	29	20	34	14	70	32
<i>Hyalinea balthica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Miliolinella subrotunda</i>	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0
<i>Nonionella iridea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nonionella turgida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Quinqueloculina oblonga</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
<i>Stainforthia fusiformis</i>	4	0	0	0	26	43	67	54	52	40	5	13	35
<i>Stainforthia sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Kalkskallart ubestemt	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
miliolid ubestemt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum taite individer	235	25	8	11	269	238	218	174	219	222	240	238	237
Individer/g tørt sediment	88.32	5.47	1.73	2.29	168.73	206.52	320.45	164.15	170.49	150.49	85.11	272.79	253.42
Antall arter	5	4	5	2	13	11	12	15	17	15	15	12	13
ES₍₁₀₀₎	4.56	-	-	-	9.82	10.10	10.70	12.25	13.85	12.21	11.15	9.90	10.82
H' log2	0.93	-	-	-	1.93	2.71	2.92	2.91	3.00	2.68	1.50	2.54	2.96
BFAR (indiv./cm²/år)	6.80	0.38	0.10	0.22	16.54	11.57	20.51	10.51	10.91	9.63	5.45	17.46	16.22

Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, 3 October 2014

Thorbjørn J. Andersen
Department of Geosciences and Natural Resource Management
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@geo.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01

Dating of core HIH-4-C

Dating of core HIH-4-C

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 relatively low surface contents of unsupported ^{210}Pb of around 100 Bq kg⁻¹ with a tendency for exponential decline with depth (fig 1). However, a more irregular profile was found in the upper 6 cm of the core. Contents are around detection limits at depths below approximately 12 cm. The calculated flux of unsupported ^{210}Pb is 46 Bq m⁻² y⁻¹ which is only about half the expected flux for this geographical setting (based on data in Appleby, 2001). This indicates that the site may have been subject of erosion or sediment slumping at some point in time.

The content of ^{137}Cs showed a distinct peak around 8 cm depth.

Establishment of a chronology for the core is not straightforward due to the irregular profile of unsupported ^{210}Pb . The distinct ^{137}Cs peak is most likely related to the Chernobyl accident in 1986. A chronology has therefore been calculated by using this peak as a reference date (1986) and the chronology below the peak has been calculated using a CF:CS model based on the regression shown in fig 2. The chronology is given in table 2 and fig 3 and 4. The chronology should only be regarded as indicative.

Copenhagen, 3 October 2014

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. Raw data, core HIH-4-C

Depth cm	Pb-210 tot Bq kg-1	error Pb- 210 tot Bq kg-1	Pb-210 supp Bq kg-1	error pb- 210 supp Bq kg-1	Pb-210 unsupp Bq kg-1	error pb- 210 unsupp Bq kg-1	Cs-137 Bq kg-1	error Cs- 137 Bq kg-1
0.50	132	15	23	11	109	0	8	5
1.50	141	16	20	7	120	24	17	4
2.50	72	11	17	10	55	22	17	4
3.50	40	7	22	10	18	17	14	4
4.50	63	9	26	2	37	11	17	3
5.50	127	11	31	2	96	13	20	3
6.50	113	15	11	15	103	30	20	5
7.50	92	13	24	7	68	21	35	6
8.50	101	14	40	7	61	21	86	8
9.50	38	6	18	5	20	11	63	5
10.50	45	4	22	4	23	8	29	1
11.50	26	4	20	6	5	10	14	2
13.50	29	4	22	5	6	9	20	2
15.50	14	2	22	4	1	6	11	2
16.50	19	3	21	10	1	12	0	0
18.50	6	1	37	3	1	5	0	0

Table 2, Chronology core HIH-4-C

Depth cm	Age y	error age y	Date y	acc rate (kg m-2 y-1)	error rate (kg m-2 y-1)	Date acc rate (y)
0			2013			
0.5	1	2	2012	0.48	0.04	2012
1.5	4	3	2009	0.43	0.09	2010
2.5	7	3	2006	0.51	0.21	2008
3.5	8	3	2005	1.16	1.08	2006
4.5	9	3	2004	1.47	0.44	2004
5.5	12	3	2001	0.58	0.09	2003
6.5	17	3	1996	0.35	0.10	1999
7.5	22	3	1991	0.34	0.10	1994
8.5	27	4	1986	0.38	0.13	1988
9.5	36	5	1977	0.22	0.10	1980
10.5	45	7	1968	0.22	0.03	1968
11.5	56	8	1957	0.22	0.03	1956
13.5	<i>80</i>	<i>12</i>	<i>1933</i>	0.22	0.03	1942
15.5	<i>106</i>	<i>16</i>	<i>1907</i>	0.22	0.03	1925
16.5	<i>118</i>	<i>18</i>	<i>1895</i>	0.22	0.03	1913
18.5	<i>146</i>	<i>22</i>	<i>1867</i>	0.22	0.03	1906

NB: Numbers in italic are based on extrapolated ages

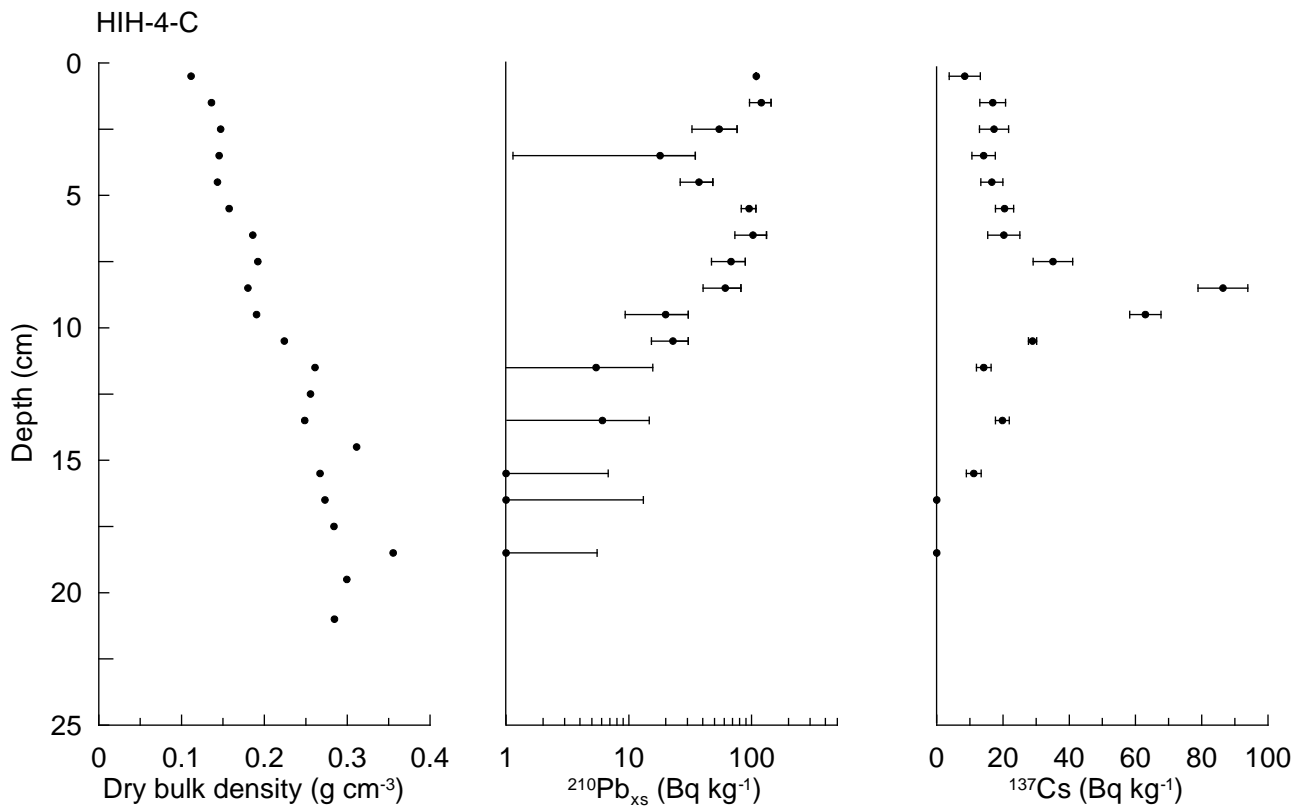


Fig 1

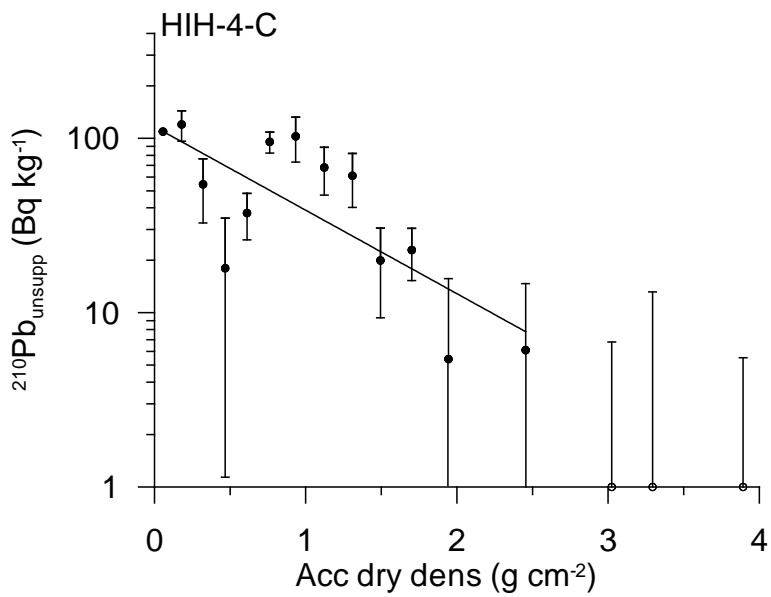


Fig 2

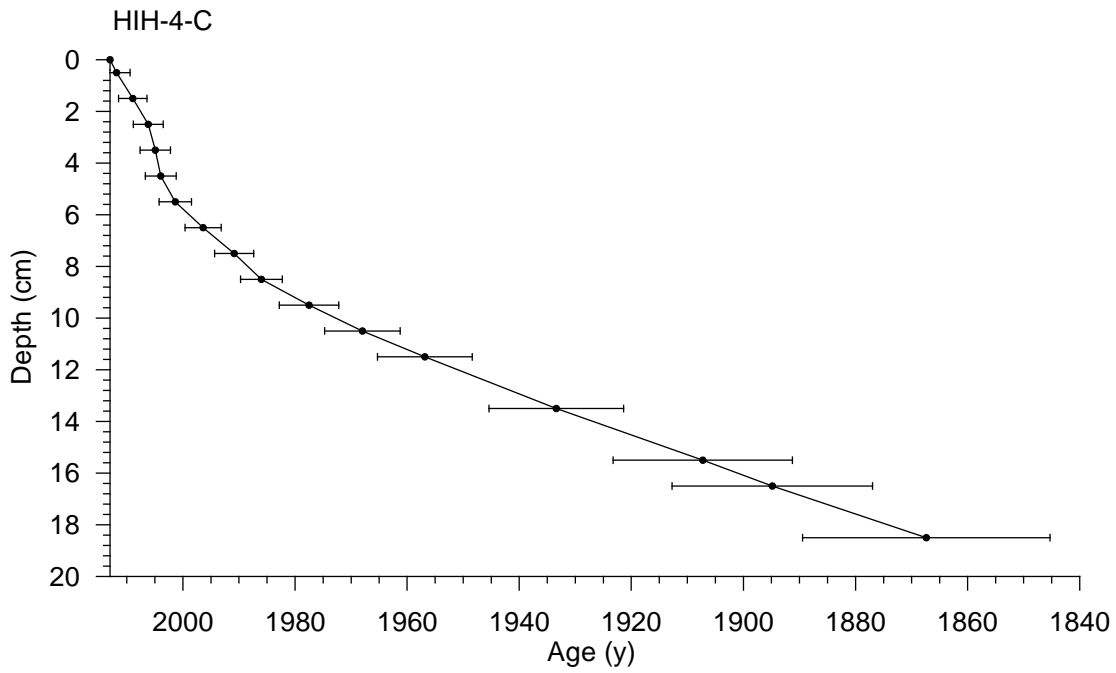


Fig 3

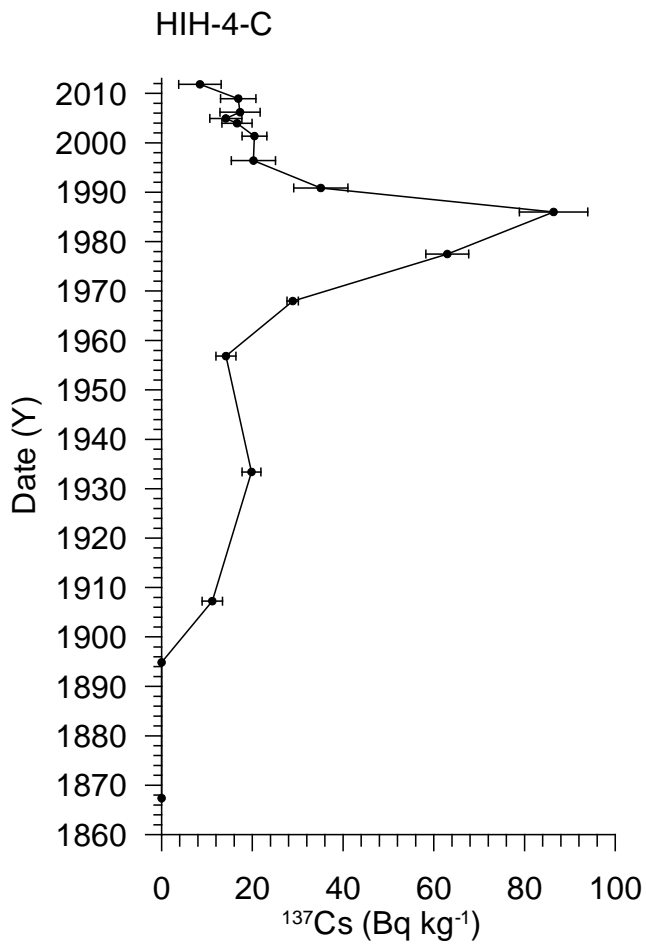


Fig 4

Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, 12 September 2014

Thorbjørn J. Andersen
Department of Geosciences and Natural Resource Management
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@geo.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01

Dating of core HIH-1-E

Dating of core HIH-1-E

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 surface contents of unsupported ^{210}Pb of around 200 Bq kg⁻¹ with a clear tendency for exponential decline with depth in the upper 15 cm (fig 1). The calculated flux of unsupported ^{210}Pb is 114 Bq m⁻² y⁻¹ which is in the range what would be expected for this geographical setting (based on data in Appleby, 2001).

The content of ^{137}Cs showed a distinct peak around 8 cm depth and a general absence below 19 cm depth.

CRS-modelling has been applied on the profile using a modified method (Appleby, 2001) where the activity below 15 cm is calculated on the basis of the regression shown in fig 2. The result is given in table 2 and fig 3 and 4.

The exponential decline in unsupported ^{210}Pb and the dating of the distinct ^{137}Cs peak to the mid/late 1980's which is in agreement with the expected Chernobyl origin (1986) of this material gives confidence in the dating result and the chronology is considered to be reliable. The extrapolated part of the chronology is of course less reliable but still considered to be relatively trustworthy.

Copenhagen, 12 September 2014

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. Raw data, core 1-E

Depth cm	Pb- 210tot Bq kg-1	error Pb-210 tot Bq kg-1	Pb-210 sup 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	196	18	21	7	174	20	11	3
1.5	255	24	18	12	236	27	17	3
2.5	219	20	22	9	197	22	18	3
3.5	158	15	22	15	136	21	21	3
4.5	154	16	24	8	130	18	20	3
6.5	142	15	24	11	118	19	39	4
7.5	153	15	25	3	128	15	93	6
8.5	134	12	22	8	112	15	110	6
9.5	109	12	22	2	87	12	36	4
10.5	96	7	25	2	71	7	19	1
12.5	81	7	27	1	55	7	18	1
14.5	67	6	25	5	43	8	10	1
16.5	55	6	31	4	24	8	4	2
18.5	46	6	20	3	26	6	4	2
21.0	54	7	25	5	29	9	2	2
23.0	50	6	28	2	22	6	0	0
25.0	54	6	28	0	26	6	0	0
29.0	32	4	32	3	0	5	0	0
37.0	23	3	35	2	0	4	0	0
39.0	34	5	29	3	5	5	0	0
41.0	40	5	37	4	3	7	0	0
47.0	48	6	36	0	12	6	0	0
51.0	52	6	43	2	9	7	0	0
55.0	34	4	34	5	0	6	0	0
59.0	42	5	33	11	9	12	3	2
65.0	51	6	41	6	10	9	0	0

Table 2, Chronology core 1-E

Depth (cm)	Age (y)	error age (y)	Date (y)	acc rate (kg m ⁻² y ⁻¹)	error rate (kg m ⁻² y ⁻¹)	Date acc rate (y)
			2013			
0.5	1	1	2012	0.67	0.08	2013
1.5	3	2	2010	0.53	0.06	2011
2.5	7	2	2006	0.46	0.05	2008
3.5	10	2	2003	0.54	0.08	2004
4.5	13	2	2000	0.62	0.10	2001
6.5	19	2	1994	0.58	0.09	1997
7.5	23	2	1990	0.50	0.08	1992
8.5	27	2	1986	0.46	0.06	1988
9.5	32	3	1981	0.49	0.09	1984
10.5	36	3	1977	0.53	0.08	1979
12.5	46	4	1967	0.53	0.10	1972
14.5	58	5	1955	0.50	0.11	1961
16.5	69	7	1944	0.53	0.12	1950
18.5	83		1930	0.524	<i>(extrapolated)</i>	
21.0	98		1915	0.524	<i>(extrapolated)</i>	
23.0	111		1902	0.524	<i>(extrapolated)</i>	
25.0	124		1889	0.524	<i>(extrapolated)</i>	
29.0	153		1860	0.524	<i>(extrapolated)</i>	
37.0	213		1800	0.524	<i>(extrapolated)</i>	

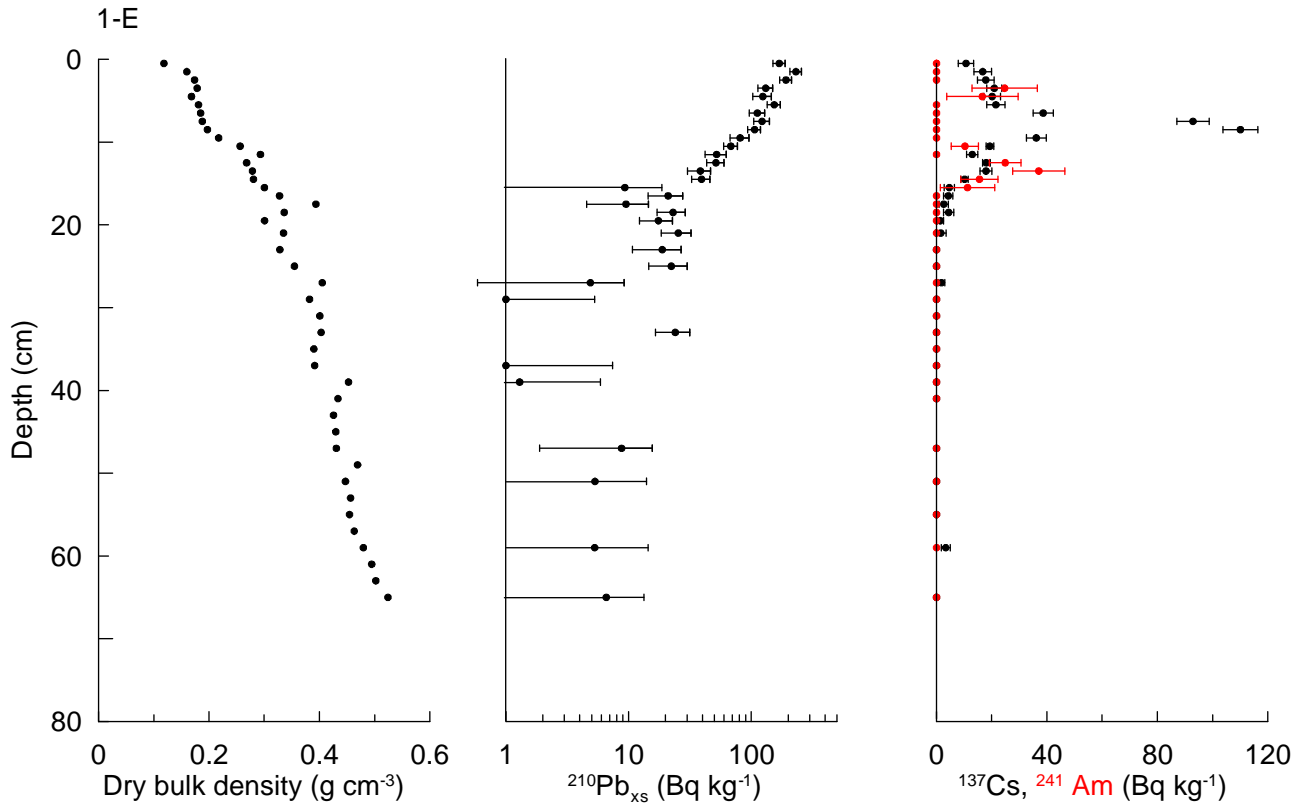


Fig 1

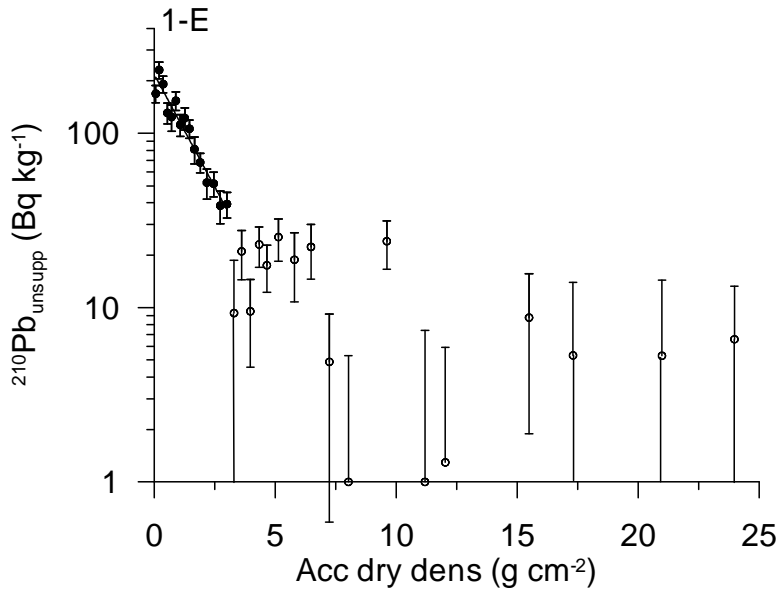


Fig 2

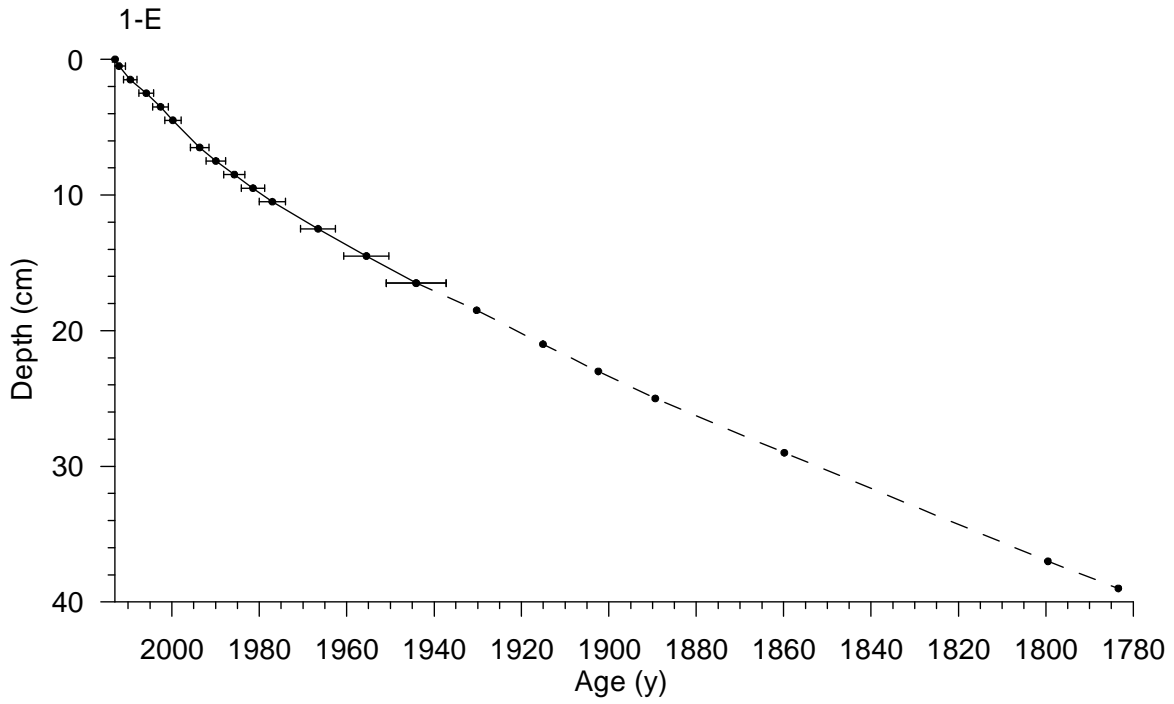


Fig 3

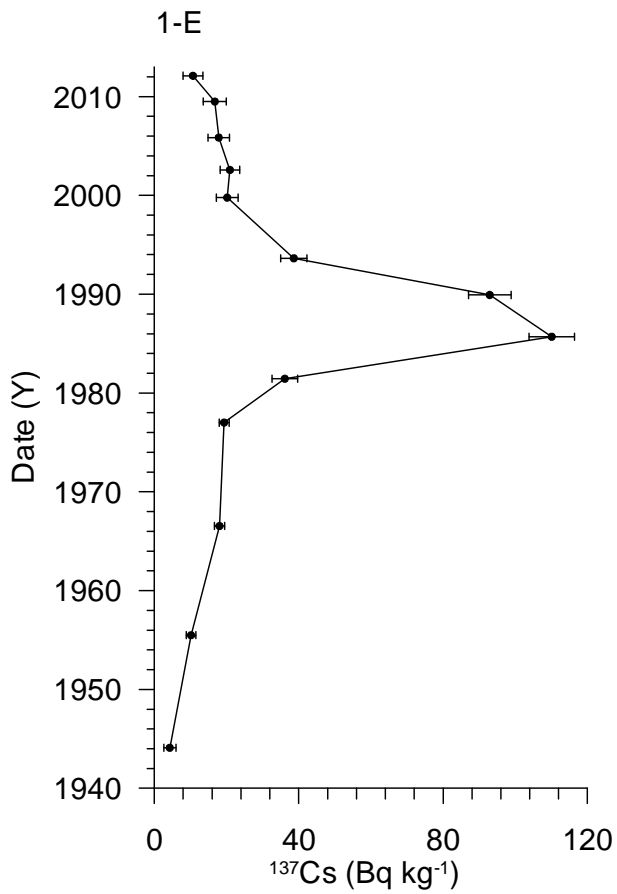


Fig 4

Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, 3 October 2014

Thorbjørn J. Andersen
Department of Geosciences and Natural Resource Management
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@geo.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01

Dating of core HIH-3-G

Vedlegg 8.14

Dating of core HIH-3-G

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 relatively low surface contents of unsupported ^{210}Pb of around 100 Bq kg⁻¹ with a tendency for exponential decline with depth (fig 1). Contents are around detection limits at depths below approximately 12 cm. The calculated flux of unsupported ^{210}Pb is 85 Bq m⁻² y⁻¹ which is in the range of what would be expected for this geographical setting (based on data in Appleby, 2001).

The content of ^{137}Cs showed a broad peak around 7.5 cm depth.

CRS-modelling has been applied on the profile using a modified method (Appleby, 2001) where the activity below 11 cm is calculated on the basis of the regression shown in fig 2. The result is given in table 2 and fig 3 and 4.

The exponential decline in unsupported ^{210}Pb and the dating of the broad ^{137}Cs peak to the mid/late 1980's which is in agreement with the expected Chernobyl origin (1986) of this material gives confidence in the dating result and the chronology is considered to be reasonably reliable. However, the broad depth range of the ^{137}Cs peak indicates that sediment mixing/bioturbation takes place at the site.

Copenhagen, 3 October 2014

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.

Vedlegg 8.14

Table 1. Raw data, core HIH – 3-G

Depth cm	Pb-210 tot Bq kg-1	error Pb-210 tot Bq kg-1	Pb-210 supp Bq kg-1	error pb-210 supp Bq kg-1	Pb-210 unsupp Bq kg-1	error pb-210 unsupp Bq kg-1	Cs-137 Bq kg-1	error Cs-137 Bq kg-1
0.50	144	17	36	4	109	21	9	4
1.50	159	16	30	1	129	17	22	4
2.50	105	14	24	12	81	25	27	4
3.50	121	10	27	0	94	10	35	2
4.50	130	13	21	5	109	18	32	3
5.50	68	8	22	7	45	15	42	3
6.50	67	8	24	1	43	9	44	2
7.50	66	9	26	11	40	21	58	4
8.50	55	7	27	8	28	15	54	3
9.50	76	7	23	1	53	8	43	2
10.50	62	8	27	3	35	10	28	2
11.50	3	1	22	11	1	12	19	3
12.50	39	6	22	4	18	10	17	4
13.50	24	4	30	2	1	6	21	5
15.50	33	5	21	5	12	10	13	2

Table 2, Chronology core HIH – 3-G

Depth (cm)	Age (y)	error age (y)	Date (y)	acc rate (kg m-2 y-1)	error rate (kg m-2 y-1)	Date acc rate (y)
			2013			
0.5	1	3	2012	0.77	0.15	2012
1.5	4	3	2009	0.66	0.10	2011
2.5	7	3	2006	0.69	0.21	2008
3.5	10	3	2003	0.74	0.11	2005
4.5	15	3	1998	0.56	0.11	2000
5.5	20	4	1993	0.64	0.22	1996
6.5	24	4	1989	0.97	0.23	1991
7.5	28	5	1985	0.91	0.47	1987
8.5	32	5	1981	0.98	0.51	1983
9.5	37	5	1976	0.72	0.16	1979
10.5	43	6	1970	0.56	0.12	1973

Vedlegg 8.14

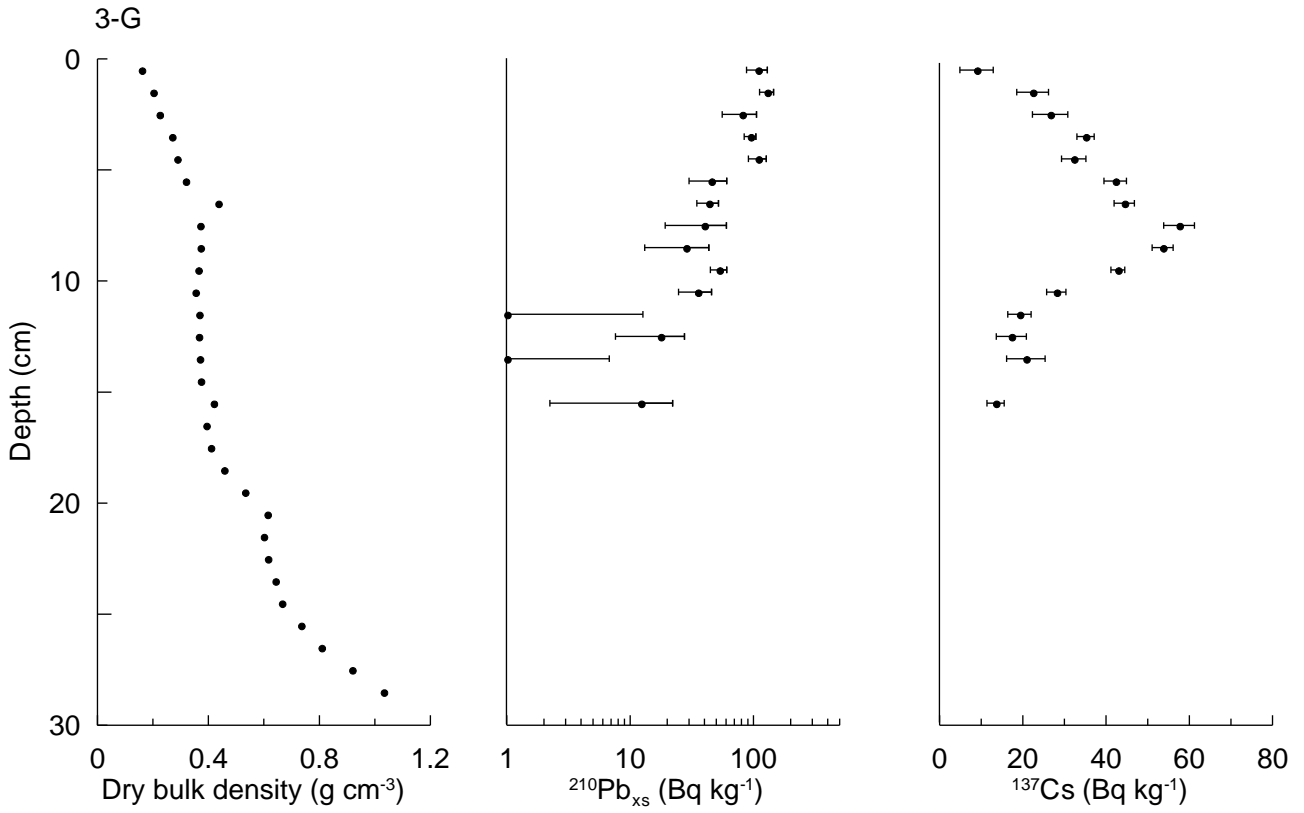


Fig 1

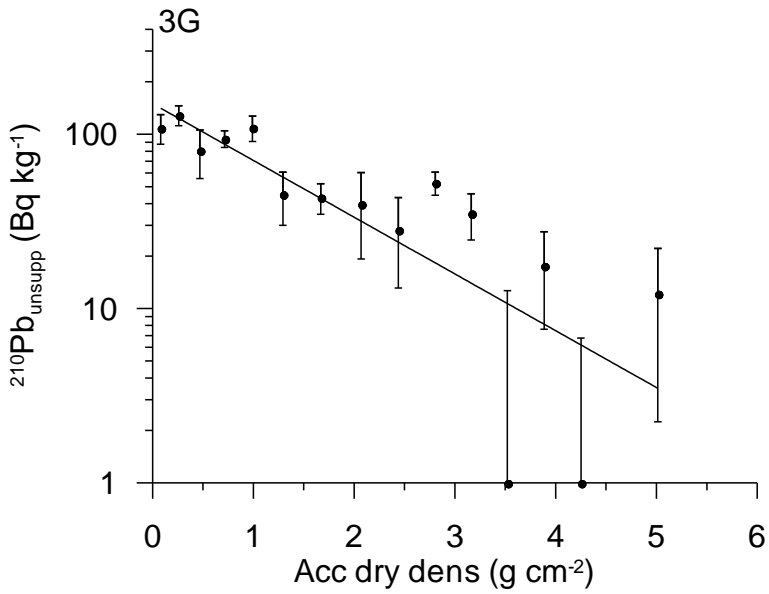


Fig 2

Vedlegg 8.14

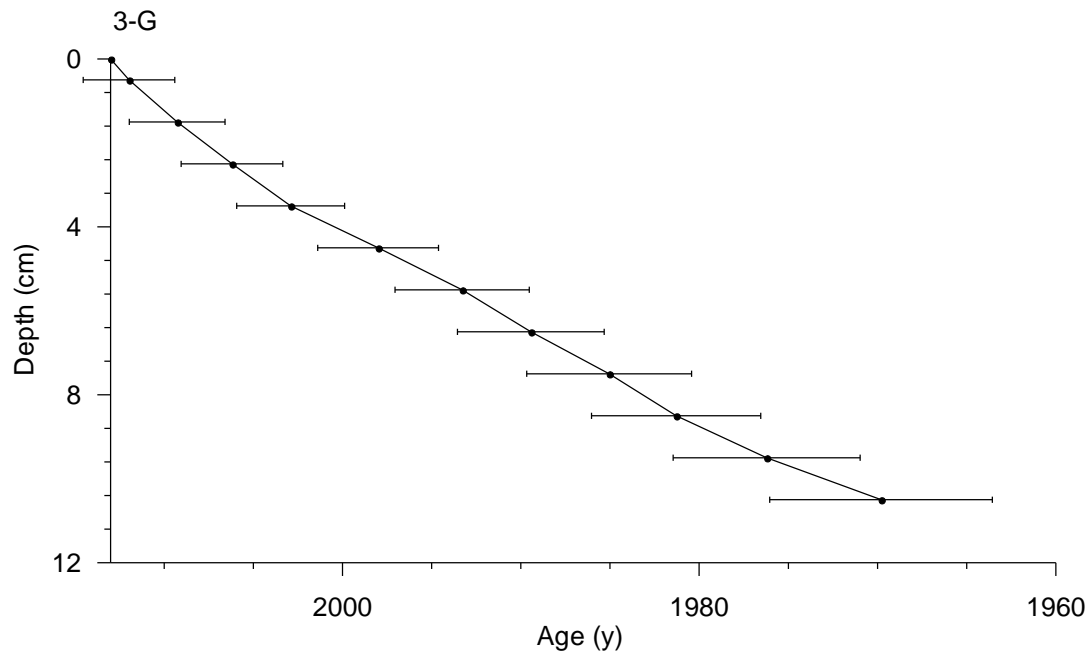


Fig 3

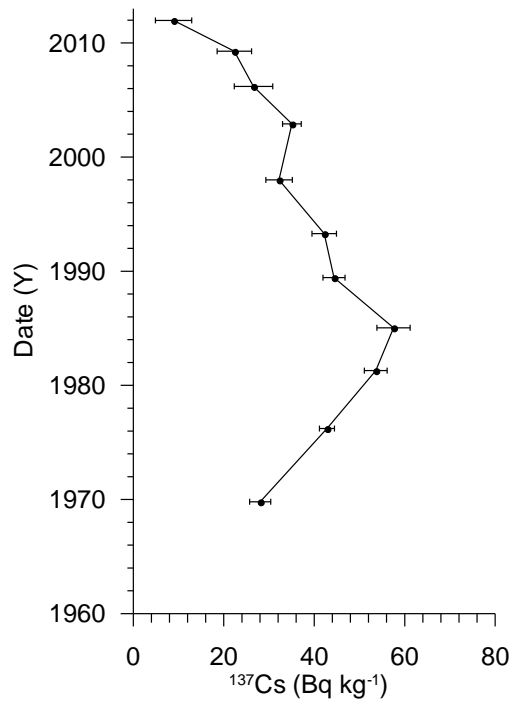


Fig 4