



# **GEOLOGI FOR SAMFUNNET**

SIDEN 1858



**NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE**  
· NGU ·



<b>Rapport nr.:</b> 2018.007	<b>ISSN: 0800-3416 (trykt)</b> <b>ISSN: 2387-3515 (online)</b>	<b>Gradering:</b> Åpen	
<b>Tittel:</b> Sedimentasjonsmiljø og historisk utvikling i forurensningsstatus i sjøområdene i Ofot-regionen			
<b>Forfatter:</b> Jochen Knies og Sigrid Elvenes		<b>Oppdragsgiver:</b> Ofoten Regionråd, NGU	
<b>Fylke:</b> Nordland		<b>Kommune:</b> Narvik, Evenes, Tjeldsund, Tysfjord, Ballangen	
<b>Kartblad (M=1:250.000)</b> Sulitjelma, Svolvær, Narvik		<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b>	
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b>		<b>Sidetall:</b> 38	<b>Pris:</b> 140,-
		<b>Kartbilag:</b> 0	
<b>Feltarbeid utført:</b> 2017	<b>Rapportdato:</b> 23.03.2018	<b>Prosjektnr.:</b> 375900	<b>Ansvarlig:</b> <i>Reidun Bør</i>
<b>Sammendrag:</b> <p>Norges geologiske undersøkelse (NGU) har i samarbeid med SEA ECO AS fått i oppdrag av Ofoten Regionråd å utarbeide marine grunnkart over sjøområdene i kommunene Narvik, Evenes, Tjeldsund, Tysfjord og Ballangen. Som en del av kartleggingsprosjektet er de kjemiske egenskapene til sedimenter fra utvalgte avsetningsbassenger undersøkt. For å bestemme om innholdet av skadelige stoffer i overflateprøvene skyldes menneskeskapt forurensning eller ikke, er det viktig å undersøke det naturlige nivået av ulike elementer i havbunnsedimentene. I uforstyrrede avsetningsbassenger vil finkornede sedimenter samles opp kontinuerlig og danne et arkiv over variasjonene i miljøtilstanden i et område. Ved hjelp av en kjerneprøvetaker kan vi ta prøver som bevarer strukturen i havbunnsedimentene, og vi kan analysere sedimentene fra de ulike dybdeintervallene for å få fram endringer over tid. Under feltarbeid med F/F Seisma i juni 2017 hentet NGU opp sju korte sedimentkjerneprøver fra utvalgte lokaliteter i Ofot-regionen. Lokalitetene samsvarer med sju av stasjonene for overflateprøver beskrevet i Elvenes m.fl. (2018). Vi ønsket så langt som mulig å få en jevn geografisk fordeling av kjerneprøvene, og oppsøkte lokaliteter i nærheten av kjente utslippspunkter (industri og lignende) så vel som antatt uforstyrrede områder.</p> <p>Resultatene viser at den gjennomsnittlige sedimentasjonshastighet i studieområdet er på ~0.5 mm/år de siste 1300 år. I nesten alle fjorder er det rolig sedimentasjon med en høy prosentandel slam i sedimentene. Et unntak er utenfor Kjøpsvik, hvor oppstart av sementproduksjon i 1920 er klart synlig i kjerneprøven, siden innholdet av kalsiumkarbonat øker brått. Denne økningen er imidlertid ikke synlig i en annen kjerneprøve fra lengre ut i Tysfjorden. Tungmetallprofiler viser en generelt økende trend mot sedimentoverflaten, særlig etter år 1900. Dette er svært synlig i kvikksølv (Hg)- og kobber (Cu)-profilene, som viser en sterkt økende konsentrasjon mot topplagene. Likevel er forurensningsgraden i alle prøvene lav.</p>			
<b>Emneord:</b> Maringeologi	Miljøtilstand	Tungmetaller	
Organiske miljøgifter	Bunnsedimenter	Kjerne	
Forurensning	Sedimentasjonsmiljø	Datering	

## INNHOOLD

1. INNLEDNING.....	4
2. PRØVETAKING, DATA OG METODIKK.....	7
3. RESULTATER.....	7
3.1 Kronologi og sedimentasjonshastighet.....	8
3.2 Kornfordeling, svovel, organisk karbon og kalsiumkarbonat .....	13
3.3 Tungmetaller.....	17
4. OPPSUMMERING.....	22
5. REFERANSER.....	23

## VEDLEGG

Vedlegg 1. Sammendrag av analyseresultater for sju Niemistö-kjerneprøver fra Ofot-regionen.

Vedlegg 2. Innhold av kobber (Cu), bly (Pb) og sink (Zn) i sju Niemistö-sedimentkjerneprøver fra Ofot-regionen.

Vedlegg 3. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 2 (Tysfjorden – ytre), 3 (Ofoten – ytre), 5 (Ofoten – midtre) og 7 (Rombaken) plottet mot dybde i centimeter.

Vedlegg 4. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb) og As-profil fra kjerneprøve 2 (Tysfjorden – ytre), 3 (Ofoten – ytre), 6 (Ofoten – indre) og 7 (Rombaken) plottet mot dybde i centimeter.

Vedlegg 5. Sammenstilling av profiler av tungmetallene bly (Pb), kobber (Cu), sink (Zn) og kvikksølv (Hg) for alle kjerneprøver i studieområdet, plottet mot dybde i centimeter.



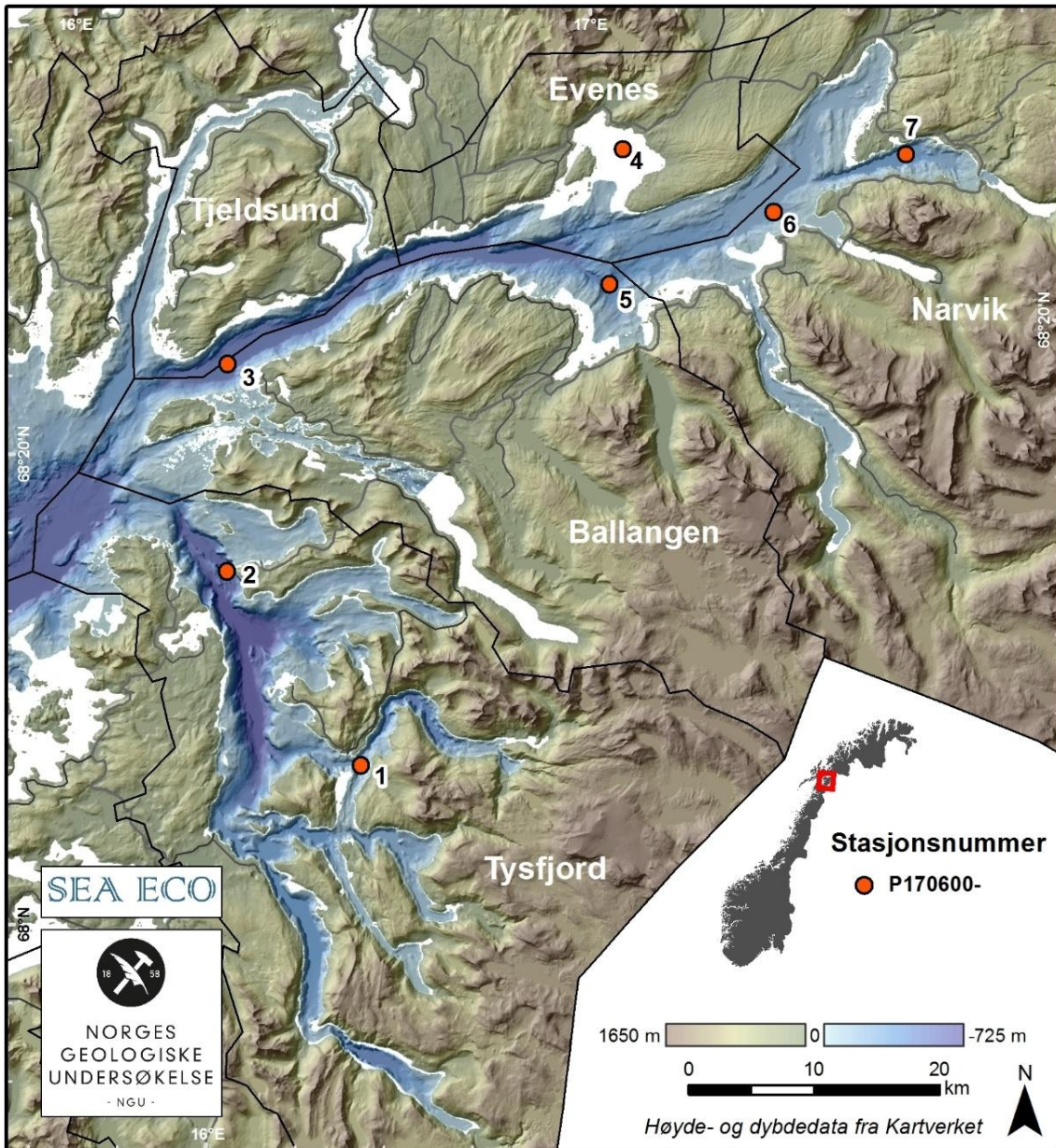
## 1. INNLEDNING

Norges geologiske undersøkelse (NGU) har i samarbeid med SEA ECO AS fått i oppdrag av Ofoten Regionråd å utarbeide marine grunnkart over sjøområdene i kommunene Narvik, Evenes, Tjeldsund, Tysfjord og Ballangen. Prosjektområdet grenser opp til Astafjordprosjektet i nord, der NGU utførte tilsvarende kartlegging i 2006–2012 (Dolan m.fl. 2012; Lepland m.fl. 2012). Som en del av kartleggingsprosjektet er de kjemiske egenskapene til sedimenter fra utvalgte avsetningsbassenger undersøkt. NGUs første analyserapport fra studieområdet (Elvenes m.fl. 2018) tok for seg analysene av overflateprøver fra 25 havbunnslokalteter fordelt på alle de fem kommunene, og ga et oversiktsbilde over dagens miljøtilstand i de ulike sjøområdene.

For å bestemme om innholdet av skadelige stoffer i overflateprøvene skyldes menneskeskapt forurensning eller ikke, er det også viktig å undersøke det naturlige nivået av ulike elementer i havbunnsedimentene. I Ofot-regionen er berggrunnsgeologien kompleks, og det er store regionale forskjeller for eksempel mellom Ofotfjorden og Tysfjorden (se for eksempel NGUs berggrunnskart på [geo.ngu.no/kart/berggrunn](http://geo.ngu.no/kart/berggrunn)). De kjemiske egenskapene til bergartene som utgjør landområdene rundt en fjord vil følge sedimentene som tilføres fjorden, og det er dermed naturlig å forvente ulike bakgrunnsverdier i ulike fjordområder.

I uforstyrrede avsetningsbassenger vil finkornede sedimenter samles opp kontinuerlig og danne et arkiv over variasjonene i miljøtilstanden i et område. Ved hjelp av en kjerneprøvetaker kan vi ta prøver som bevarer strukturen i havbunnsedimentene, og vi kan analysere sedimentene fra de ulike dybdeintervallene for å få fram endringer over tid. Organisk materiale i kjerneprøven kan dateres og gi sikre tidsrammer for når sedimentene er avsatt, eller variasjon i innholdet av ulike stoffer gjennom prøven kan korreleres med kjent miljøpåvirkning i området og med resultatene fra andre kjerneprøver.

Under feltarbeid med F/F Seisma i juni 2017 hentet NGU opp sju korte sedimentkjerner fra utvalgte lokaliteter i Ofot-regionen (Figur 1, Tabell 1). Lokalitetene samsvarer med sju av stasjonene for overflateprøver beskrevet i Elvenes m.fl. (2018). Vi ønsket så langt som mulig å få en jevn geografisk fordeling av kjerneprøvene, og oppsøkte lokaliteter i nærheten av kjente utslippspunkter (industri og lignende) så vel som antatt uforstyrrede områder. Prøvetakingen foregikk med Niemistö-prøvetaker (en liten gravitasjonsprøvetaker, Figur 2), som gir en uforstyrret kjerneprøve på opptil én meter lengde i finkornede sedimenter. Om bord på F/F Seisma ble kjerneprøvene forseglet etter at overflatevann var fjernet, og frosset ned i stående stilling i påvente av senere analyser.



Figur 1. Lokalteter for innsamling av korte sedimentkjerneprøver i Ofot-regionen.



Figur 2. A) Niemistö-prøvetaker med kjerneprøve. B) Bunnen av kjerneprøven forsegles før røret løsnes fra prøvetakeren

**Tabell 1. Stasjonsnummer, koordinater og vanddyp for Niemistö-sedimentkjerne.**

Stasjon	Fullstendig stasjonsnummer (NGU)	Tilsvarende stasjon for overflateprøver (Elvenes m.fl. 2018)	Område	Geografiske koordinater (desimalgrader)		Vanddyp (m)	Kjerne-lengde (cm)
				Nord	Øst		
1	P1706001	P1706027	Kjøpsvik	68,0840	16,3772	251	53
2	P1706002	P1706021	Tysfjorden – ytre	68,2322	16,1658	628	32
3	P1706003	P1706019	Ofoten – ytre	68,3793	16,2130	547	53
4	P1706004	P1706015	Bogen	68,4965	17,0263	61	30,5
5	P1706005	P1706014	Ofoten – midtre	68,4022	16,9661	440	57
6	P1706006	P1706013	Ofoten – indre	68,4377	17,2980	240	53
7	P1706007	P1706009	Rombaken	68,4655	17,5689	339	41

## 2. PRØVETAKING, DATA OG METODIKK

Niemistö-kjerneprøvene ble tatt i bassenger med finkornede sedimenter der avsetningsforholdene antas å ha vært stabile over lang tid. Med unntak av kjerneprøve 4 (fra 61 meters dyp i Bogen) ble alle prøvene hentet opp fra mer enn 200 meters dyp (Tabell 1).

Kjerneprøvene ble frosset i stående stilling for å bevare sedimentstrukturen og sendt frosne til NGUs laboratorium. I laboratoriet ble det tatt røntgenbilder av kjerneprøvene i frossen og opptint tilstand, før hver kjerne ble splittet på langs i to deler og åpnet. De halve kjernene ble skåret i centimetertykke skiver som så ble frysetørket, og annenhver prøve ble sendt til analyse ved NGU-Lab:

- Bestemmelse av totalinnhold av svovel (TS), karbon (TC) og organisk karbon (TOC) med Leco elementanalysator
- HNO<sub>3</sub>-ekstraksjon etter NS 4770 med påfølgende AA- og ICP-AES-analyse av 30 elementer
- Bestemmelse av kornfordeling mellom 2 mm og 0,4 µm med Coulter laserdiffraksjon

Se Elvenes m. fl. (2018) for ytterligere detaljer om analysemetoden. Analyse av kvikksølvinnhold ble utført av Analysesenteret, Trondheim Kommune. Alle dataene er tilgjengelige på våre ftp-servere og kan fås ved henvendelse til NGU.

Fire skjellfragment fra kjerneprøvene ble tatt ut for <sup>14</sup>C-datering, som ble gjennomført av CHRONO Centre ved Queen's University Belfast, Nord-Irland. Resultatene viste seg å være tilstrekkelige for å etablere en aldersmodell og dermed et estimat av sedimentasjonshastighet (se under). Det var dermed ikke nødvendig å foreta blydatering av sedimentene som tilleggsinformasjon.

## 3. RESULTATER

I denne rapporten presenterer vi resultatene fra sedimentologiske og geokjemiske analyser av sju kjerneprøver fra Ofot-regionen. Geokjemiske måleresultater angis hovedsakelig i konsentrasjonsenheten mg/kg sediment, som tilsvarer ppm (*parts per million*). Vi angir kornstørrelse i prosentvist innhold av slam og sand, mens organisk karbon, svovel og kalsiumkarbonat angis i tørrvektprosent. Samtlige analyseresultater finnes på NGUs ftp-servere og kan fås ved henvendelse til NGU. Resultatene fra tungmetallanalysene fra kjerneprøve 1–7 i er vist i Vedlegg 1. Sediment- og tungmetallprofiler for stasjoner som ikke er nærmere beskrevet i rapporten finnes i Vedlegg 2–5.



### 3.1 Kronologi og sedimentasjonshastighet

En sedimentkjerneprøve kan leses som et arkiv over de geokjemiske endringene i havbunnsedimentene over tid. For å nyttiggjøre oss den arkiverte informasjonen trenger vi imidlertid en aldersmodell som kan vise over hvilket tidsrom sedimentene i kjerneprøven er blitt avsatt. En  $^{14}\text{C}$ -datering av organisk materiale i en kjerneprøve vil gi alderen på sedimentene i et gitt nivå under sedimentoverflaten, men indirekte metoder kan også brukes til datering. For eksempel kan endringer i sedimentenes kjemiske sammensetning korreleres med kjente, daterte aktiviteter, som oppstart av bergverksdrift på land.

Siden avsetningsforholdene på bunnen varierer mellom ulike områder vil det ofte ikke være direkte samsvar mellom dyp og alder når vi sammenligner flere kjerneprøver. Ofte kan vi likevel bruke likhetstrekk mellom forskjellige profiler til å bestemme alder på en prøve der det ikke foreligger absolutte dateringer. Dette gjelder spesielt hvis geokjemiske variasjoner skyldes miljøpåvirkning som vil kunne spores i havbunnsedimentene over et større geografisk område, for eksempel atmosfærisk forurensning. Når all tilgjengelig aldersinformasjon kombineres kan vi rekonstruere sedimentasjonshastigheter over tid, og dermed få en bedre forståelse av avsetningsmiljøene i ulike bassenger i studieområdet.

I de sju kjerneprøvene fra studieområdet fant vi totalt fire muslingskallfragmenter som egnet seg for  $^{14}\text{C}$ -datering, to av disse fra samme kjerneprøve (Tabell 2). Muslingartene som ble datert var *Abra nitida* (kjerneprøve 4 og 5) og *Pseudamussium peslutrae* (kjerneprøve 1). Ved  $^{14}\text{C}$ -datering av marint materiale er det viktig å korrigere for reservoaralder. Marine organismer tar opp karbon fra sjøvannet de lever i snarere enn direkte fra atmosfæren, og dette karbonet kan være gammelt og gi et analyseresultat som er vesentlig eldre enn den reelle alderen til organismen. I studieområdet går vi ut fra en gjennomsnittlig (global) reservoaralder på 400 år, siden vi ikke kjenner de eksakte verdiene som gjelder her.  $^{14}\text{C}$ -dateringer er regnet om til kalenderår ved hjelp av programvaren CALIB 7.1 (Stuiver m.fl. 2018).

**Tabell 2.  $^{14}\text{C}$ -dateringer fra kjerneprøve 4 (Bogen), 1 (Kjøpsvik) og 5 (Ofoten - midtre)**

Prøve-nummer	Laboratorie-ID	Dyp i prøven (cm)	C-14-alder (BP)	Feil-margin	Karbonkilde	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	2s maks. alder (kalibrert)	2s min. alder (kalibrert)	Median-alder (kalibrert)	Reservoar-alder (år)
4	UBA-21641	10	460	±22	<i>Abra nitida</i>	-1,2	år 1815	år 1950	år 1889	400
4	UBA-35746	18	690	±25	<i>Abra nitida</i>	-0,4	år 1538	år 1673	år 1613	400
1	UBA-21642	26	1000	±22	<i>Pseudamussium peslutrae</i>	0,4	år 1314	år 1419	år 1365	400
5	UBA-36016	56	1666	±23	<i>Abra nitida</i>	0,2	år 670	år 778	år 717	400



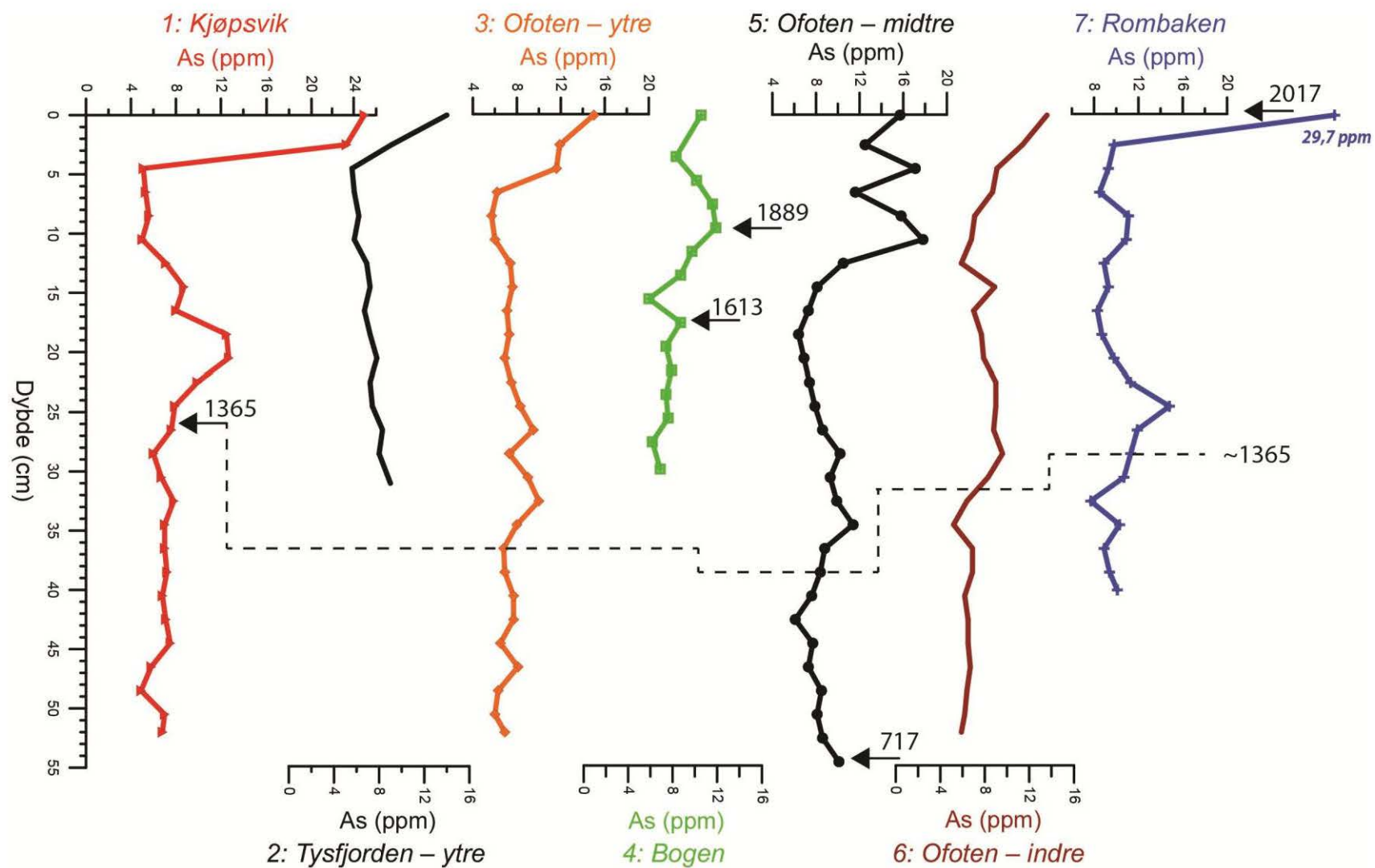
For de tre kjerneprøvene som er  $^{14}\text{C}$ -datert har vi beregnet sedimentasjonshastigheter (Tabell 3). Vi går ut ifra at toppen av hver kjerneprøve representerer status i 2017, og finner en sedimentasjonsrate på 0,40–0,78 mm/år. At sedimentasjonshastigheten ikke er lineær mot sedimentdybde blir tydelig når vi ser på de to dateringene fra kjerneprøve 4 i Bogen, der sedimentasjonen de siste 128 år tilsynelatende har gått raskere enn for gjennomsnittet av de siste 404 år. Dette gjenspeiler ikke nødvendigvis noen endring i avsetningsforhold, selv om økende menneskelig aktivitet på land vil kunne medføre økt erosjon og dermed økt sedimenttilførsel til fjorden. Havbunnssedimenter vil som regel komprimeres etter hvert som de begraves av nyere materiale, slik at egenskaper som porøsitet og vanninnhold vil være forskjellige i toppsjiktet og dypere i kjerneprøven også der avsetningshastigheten har vært stabil over tid.

**Tabell 3. Beregnede sedimentasjonshastigheter i tre daterte kjerneprøver**

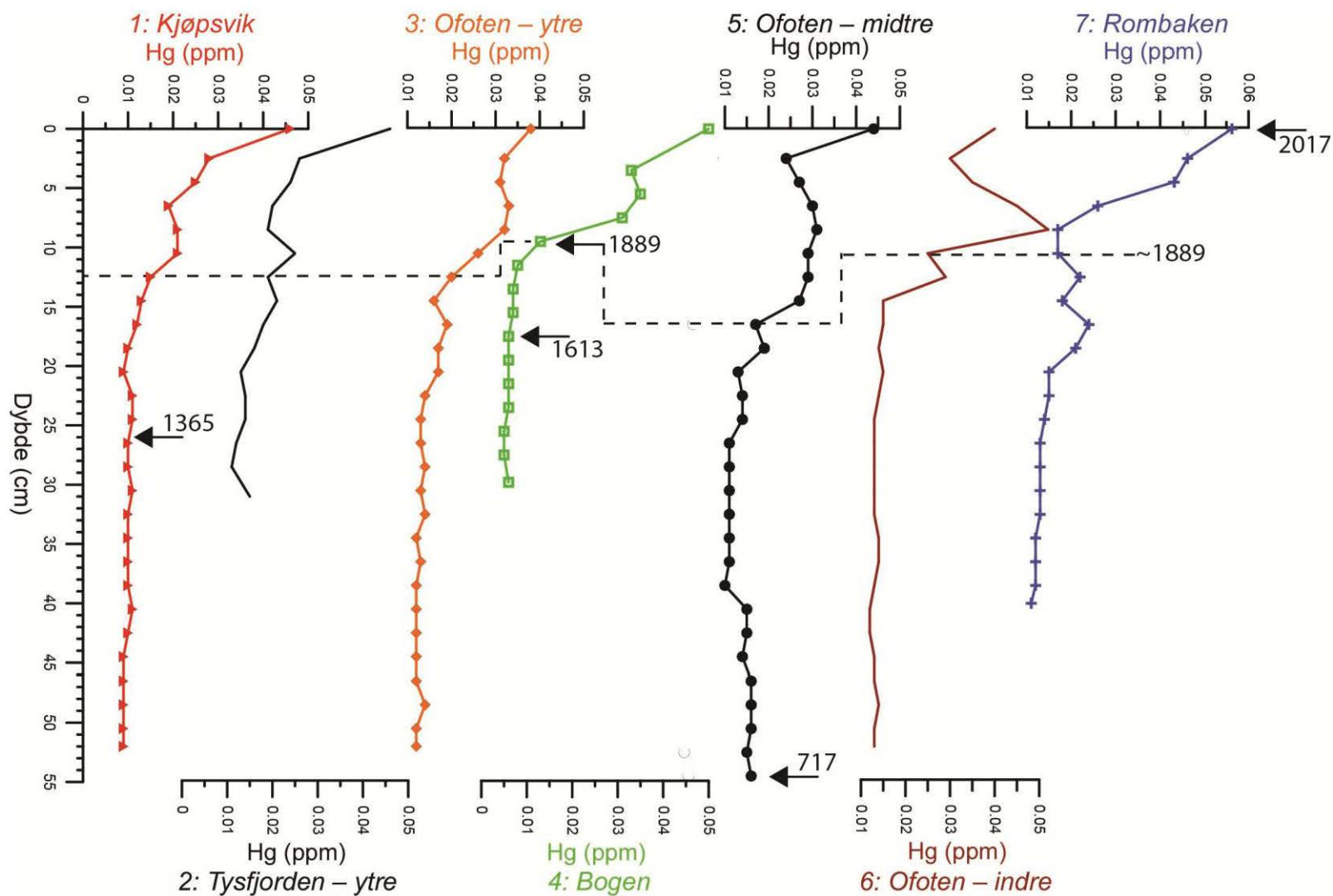
Prøvenummer	Område	Dybde til datert materiale (mm)	Alder (median kalenderår)	Sedimentasjons-hastighet (mm/år)
1	Kjøpsvik	260	652 (år 1365)	0,40
4	Bogen	100	128 (år 1889)	0,78
4	Bogen	180	404 (år 1613)	0,45
5	Ofoten – midtre	560	1300 (år 717)	0,43

Figur 3 er en sammenstilling av målt arseninnhold (As) i alt analysert materiale. Her ser vi at dateringen på år 1365 ved 26 cm dyp i kjerneprøve 1 (Kjøpsvik) sammenfaller med starten på en tydelig økning i As-innhold som kan gjenfinnes i profilene fra prøve 3, 5, 6 og 7.

Økningen inntreffer på forskjellig dyp i de ulike kjerneprøvene, men vi går ut ifra at dette signalet representerer samme tidsperiode. Med utgangspunkt i dateringen på år 1365 beregner vi en gjennomsnittlig sedimentasjonshastighet på 0,49 mm/år over de siste ca. 650 år for disse kjerneprøvene, noe som stemmer godt overens med resultatene fra de  $^{14}\text{C}$ -daterte prøvene.



Figur 3. Arsen (As)-profiler fra Niemistö-sedimentkjerneprøver i studieområdet. Dybder for  $^{14}\text{C}$ -dateringer er markert, og dateringen på år 1365 fra kjerneprøve 1 (Kjøpsvik) er korrelert til de andre profilene.



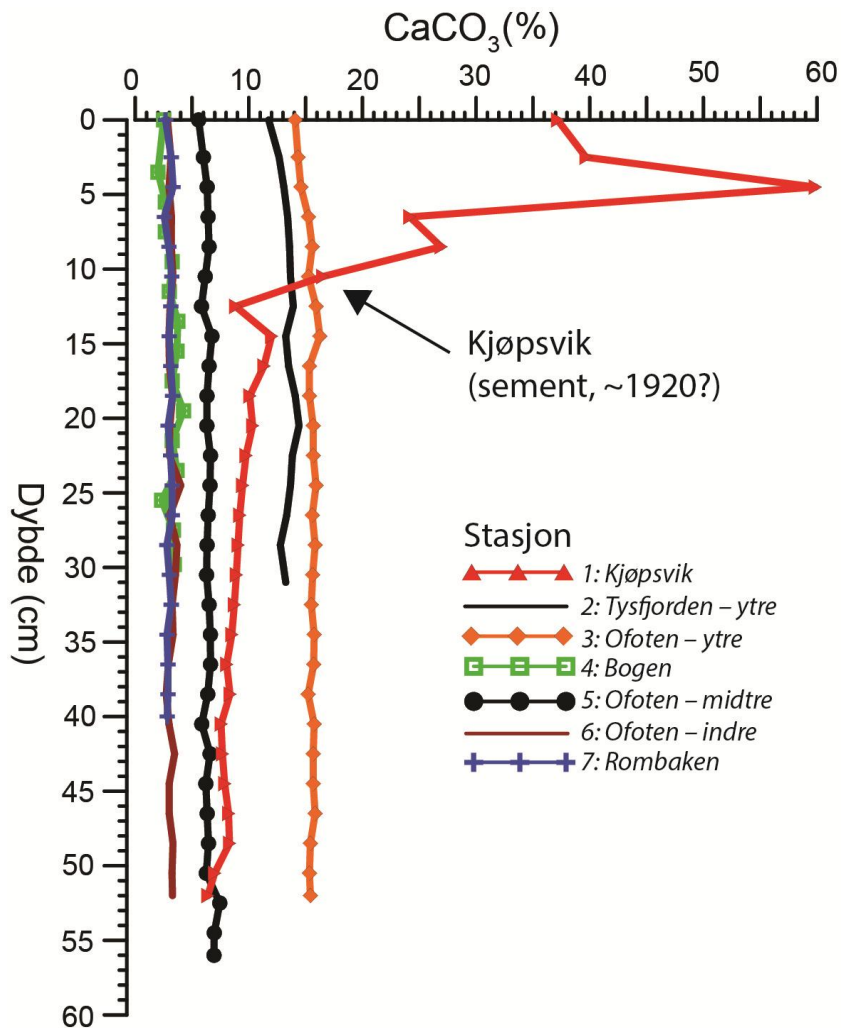
Figur 4. Kvikksølv (Hg)-profiler fra sedimentkjerneprøver i studieområdet. Posisjonene for  $^{14}\text{C}$ -dateringer er markert, og dateringen på år 1889 fra kjerneprøve 4 (Bogen) er korrelert til de andre profilene.



På samme måte som for arsen kan svingninger i kvikksølvinnhold (Hg) sammenlignes mellom forskjellige kjerneprøver. Dateringen som gir år 1889 i prøve 4 fra Bogen sammenfaller med begynnelsen av en markant økning i Hg, og i Figur 4 har vi korrelert denne dateringen over til de andre prøvelokalitetene. Med dette som utgangspunkt kan vi beregne gjennomsnittlige sedimentasjonshastigheter over de siste ca. 130 år. Disse varierer mellom 1,0 og 1,3 mm/år, altså betydelig høyere enn gjennomsnittshastigheten over de siste 650 år (0,49 mm/år). Vi antar at dette for det meste er en funksjon av endrede sedimentegenskaper ved komprimering snarere enn en indikasjon på at det er blitt avsatt mer sedimenter i nyere tid, men kan ikke utelukke at menneskelig aktivitet også spiller en rolle.

Ved Kjøpsvik, der sementproduksjon startet opp i 1920, ser vi en tydelig økning i mengden kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) i sedimentene fra ca. 10 cm dyp (Figur 5). Denne økningen gjenfinnes ikke i profilene fra de andre prøvelokalitetene, og vi antar dermed at starten på økningen i  $\text{CaCO}_3$ -innhold representerer år 1920. Dette gir en sedimentasjonshastighet på 0,88 mm/år over de siste 100 år, og det er tenkelig at industriaktiviteten i området kan ha bidratt til høyere sedimentasjon her.

Vedlegg 2 viser stratigrafiske profiler tilsvarende Figur 3 og 4 for elementene kobber (Cu), bly (Pb) og sink (Zn).



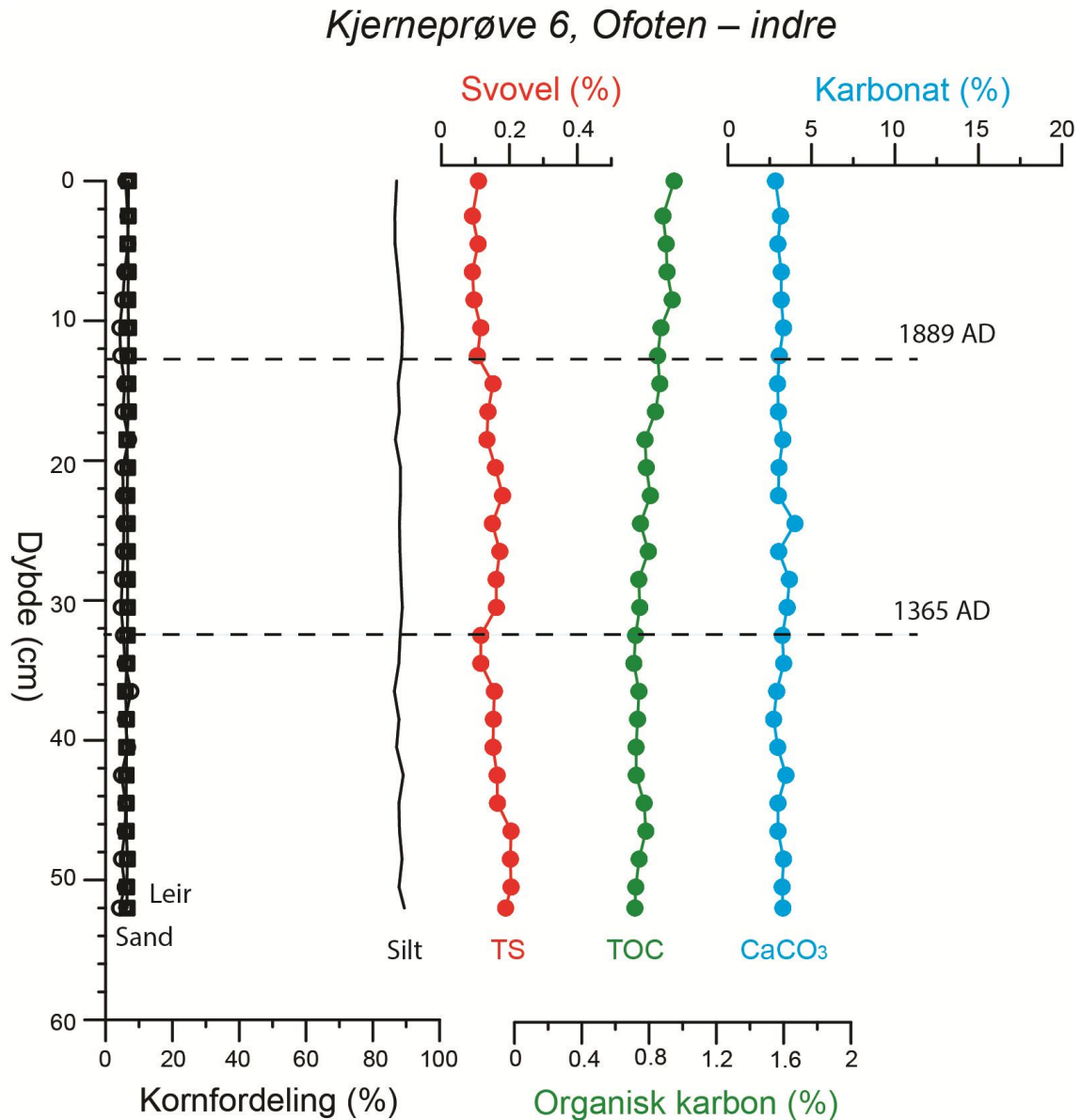
Figur 5. Kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ )-profiler fra sedimentkjerneprøver i studieområdet. Vi tolker økningen i  $\text{CaCO}_3$ -innhold i kjerneprøve 1 fra Kjøpsvik som starten på industriell sementproduksjon i år 1920.

### 3.2 Kornfordeling, svovel, organisk karbon og kalsiumkarbonat

Sedimentprofilene til de sju kjerneprøvene i studieområdet gjør det klart at de representerer ulike avsetningsmiljøer. I det følgende viser vi analyseresultater fra tre lokaliteter (indre Ofotfjord, Kjøpsvik og Bogen), mens profiler for de øvrige fire lokalitetene er vist i Vedlegg 3.

Flertallet av kjerneprøvene er hentet fra områder med typisk rolig fjordsedimentasjon, som vi for eksempel ser i indre del av Ofotfjorden (Figur 6, kjerneprøve 6). Rundt 80–90 % av sedimentene som avsettes her er silt (0,002–0,063 mm), innholdet av kalsiumkarbonat er lavt (<5 %) og nivåene av svovel og organisk karbon er mer eller mindre konstante gjennom hele

kjerneprøven. I kjerneprøve 6 fra indre Ofotfjorden ser vi en svak nedgang i svovelinnhold fra de eldste sedimentene (~0,20 %) til de nyeste (~0,10 %), mens karboninnholdet øker tilsvarende over samme tidsrom (fra ~0,7 % til ~0,9 %). Lignende sedimentprofiler finner vi igjen i kjerneprøve 2 fra ytre Tysfjorden, prøve 3 fra ytre Ofotfjorden, prøve 5 fra midtre Ofotfjorden og prøve 7 fra Rombaken (Vedlegg 3).



Figur 6. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 6 (Ofoten – indre) plottet mot dybde i centimeter. Grafene viser relativ kornfordeling av leir, sand og silt, innhold av svovel (TS), innhold av organisk karbon (TOC) og innhold av kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>). Aldersmarkører er korrelert fra <sup>14</sup>C-dateringer i kjerneprøve 1 og 4.

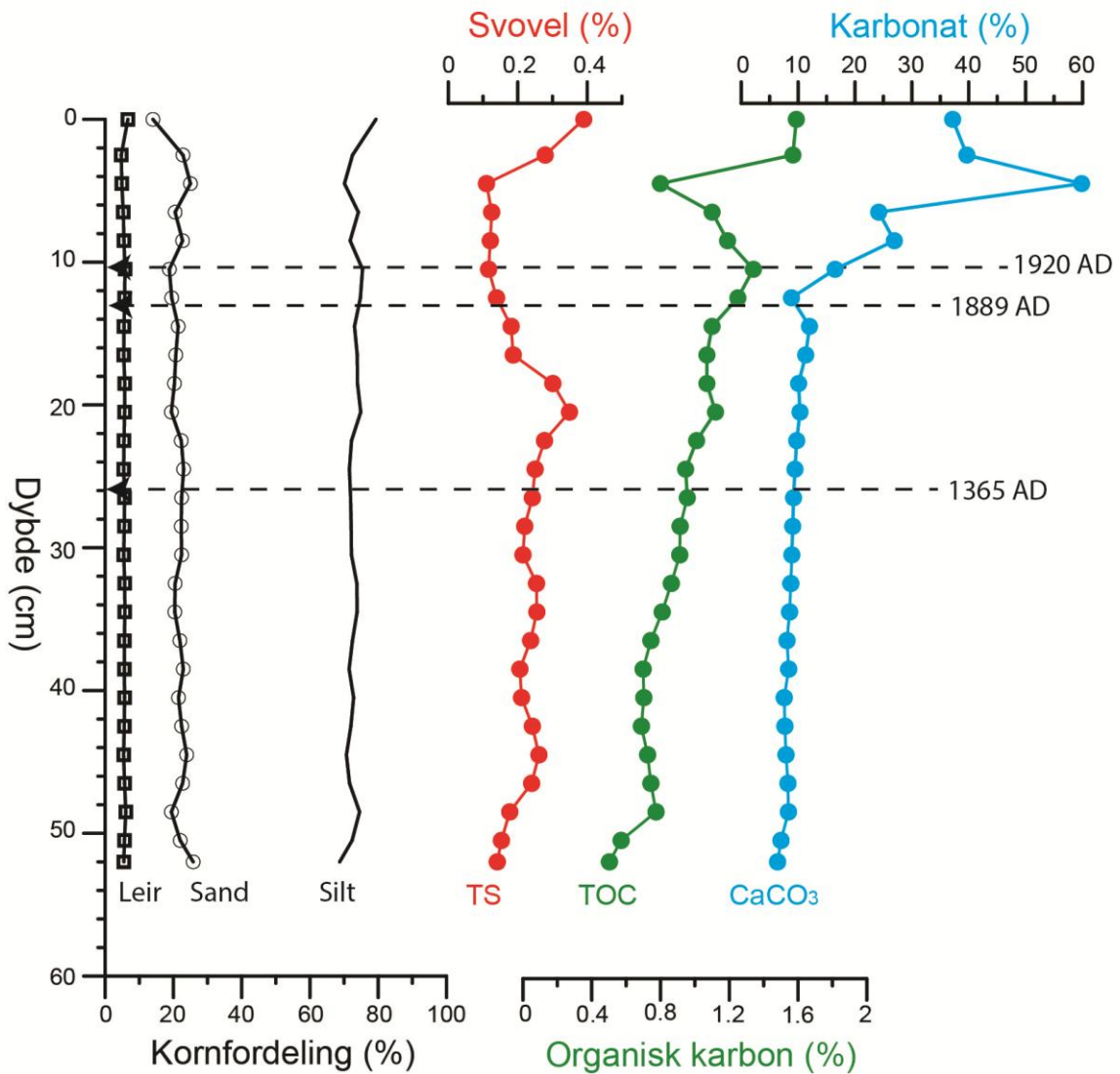


I kjerneprøve 1 fra lokaliteten ved Kjøpsvik finner vi et eksempel på at avsetningsmiljøet har endret seg i løpet av det tidsrommet som kan leses i prøven. Figur 7 viser at prøven jevnt over har et høyere innhold av sand enn det vi finner i åpnere fjordstrøk (rundt 20 %), noe som kan skyldes større tilførsel av grovere partikler fra land. Prosentandelen organisk karbon (TOC) er betydelig høyere i de nyeste sedimentene i toppen av prøven (1,4 %) enn i de eldste sedimentene 53 cm lenger ned (0,4 %). Kurven for karbonatinnhold ( $\text{CaCO}_3$ ) viser en brå økning ved ~10 cm dyp fra et sannsynlig normalnivå på rundt 8–9 % til en topp på 60 % ved 4 cm dyp, noe vi setter i sammenheng med industriell sementproduksjon i Kjøpsvik. Denne produksjonen startet i 1920, og utvikling i produksjonsmetoder og -volum kan forklare svingningene i karbonatinnhold i de øverste 10 cm av kjerneprøven. I de samme 10 cm finner vi også svingninger i innholdet av organisk karbon og svovel, og det er mulig at også disse skyldes utslipp i forbindelse med sementproduksjon. Tidligere undersøkelser i studieområdet (Faust m.fl. 2018) har vist at organisk karbon i marine prøver er av overveiende marin opprinnelse, og variasjoner i mengden organisk karbon vil altså kunne være knyttet til variasjoner i biologisk produktivitet i fjorden. I tillegg vil en brå økning i tilførsel av sediment fra land kunne gi en fortykningseffekt i signalet fra organisk karbon, hvis den biologiske produktiviteten er stabil mens sedimentasjonshastigheten øker. Dette kan være en medvirkende faktor til den tilsynelatende dramatiske nedgangen i TOC ved ~5 cm dyp.

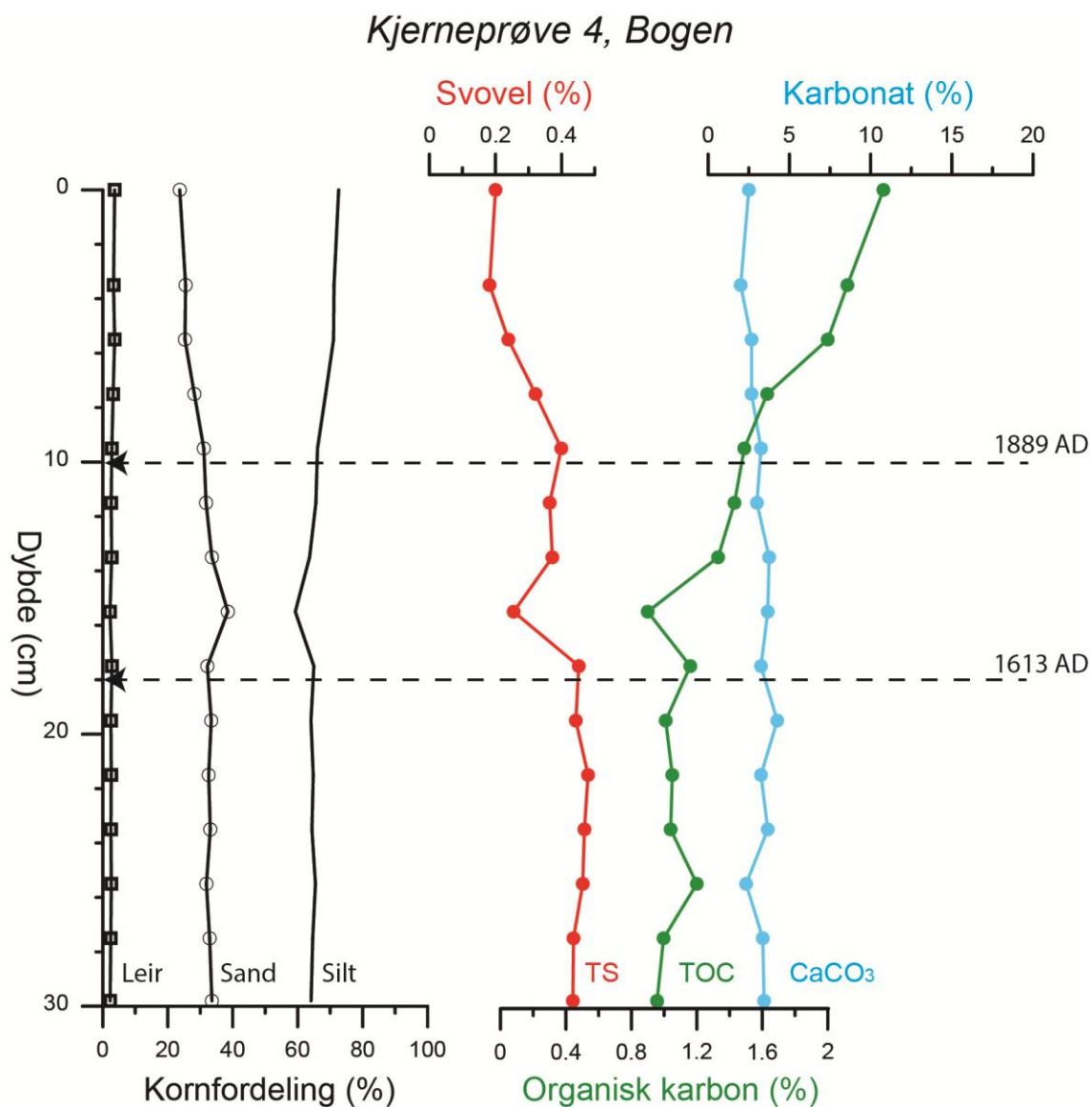
Kjerneprøve 4 er hentet fra 61 meters dyp i Bogen, en grunn sidearm til Ofotfjorden. Figur 8 viser at andelen sand i prøven er høy (opptil 38 %), og over 30,5 cm er det merkbare variasjoner i nivåene av svovel (TS), organisk karbon (TOC) og kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).  $^{14}\text{C}$ -dateringer fra to dybder gir oss en god indikasjon på sedimentenes alder, og vi ser at nivåene av svovel og organisk karbon begynner å endres fra omkring 1600-tallet. Svovelinholdet i sedimentene synker fra over 0,4 % før 1613 til rundt 0,2 % i nyere tid, med størst nedgang på 1900-tallet. For organisk karbon inntreffer det en økning på 1700- og 1800-tallet, fra et nivå på rundt 1 % før 1613 til rundt 2 % i toppen av kjerneprøven. I samme intervall viser kornfordelingsanalyser at andelen sand i sedimentene avtar til fordel for silt.

Endringer som dette kan ha sammenheng med menneskelig aktivitet, både i form av landbruk, gruvedrift og økt bosetting. Det har blitt utvunnet kobber og jern i Bogen siden sent 1800-tall, og den siste gruvedriften opphørte i 1939. Den observerte økningen i organisk karbon kan skyldes sterkere erosjon på land, og dermed større tilførsel av organisk materiale ved avrenning. I dette tilfellet er det usannsynlig at økningen i organisk karbon skyldes høyere biologisk produktivitet i havet, da dette også ville gjenspeiles i økende svovelnivåer. Når vi ser det motsatte (avtakende nivåer av svovel og kalsiumkarbonat) kan dette igjen komme av fortykningseffekten som følger høyere sedimentasjonshastighet i området.

## Kjerneprøve 1, Kjøpsvik



Figur 7. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 1 (Kjøpsvik) plottet mot dybde i centimeter. Grafene viser relativ kornfordeling av leir, sand og silt, innhold av svovel (TS), innhold av organisk karbon (TOC) og innhold av kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>). Daterte skjellfragmenter ved 26 cm gir årstallet 1365, mens brå økning i kalsiumkarbonat antas å representere starten på sementproduksjon i Kjøpsvik i 1920. Årstallet 1889 er korrelert fra kjerneprøve 4 (Bogen).



Figur 8. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 4 (Bogen) plottet mot dybde i centimeter. Grafene viser relativ kornfordeling av leir, sand og silt, innhold av svovel (TS), innhold av organisk karbon (TOC) og innhold av kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>). Daterte skjellfragmenter gir årstallene 1613 ved 18 cm og 1889 ved 10 cm.

### 3.3 Tungmetaller og arsen

Geokjemiske analyser av overflatesedimenter i studieområdet har gitt oss god oversikt over dagens nivå av tungmetaller på havbunnen i Ofot-regionen (Elvenes m.fl. 2018). For å kunne si om de verdiene vi observerer skyldes forurensning eller om de er naturlige for området er det imidlertid viktig å vite om tilførselen av tungmetaller har økt med menneskelig påvirkning. Med sedimentkjerneprøver som inneholder materiale avsatt tilstrekkelig langt tilbake i tid (før den industrielle revolusjon) kan vi avlese den geokjemiske "naturlilstanden" i de ulike delene av studieområdet.



De fleste av de sju kjerneprøvene vi beskriver i denne rapporten er lange nok til å fange opp starten på en økning i nivåene av tungmetaller i sedimentene (se for eksempel Figur 4 som viser en markant oppgang i kvikksølvinnhold i alle kjerneprøver fra ca. 1800-tallet). Dette signalet er så gjenkjennelig i alle prøvene at vi kan bruke det som en stratigrafisk markør: I kjerneprøve 4 fra Bogen har vi en  $^{14}\text{C}$ -datering som indikerer år 1889 der kvikksølvkonsentrasjonen begynner å stige fra et bakgrunnsnivå på  $<0,01$  ppm, og vi antar at denne dateringen også vil være gyldig for de andre kjerneprøvene.

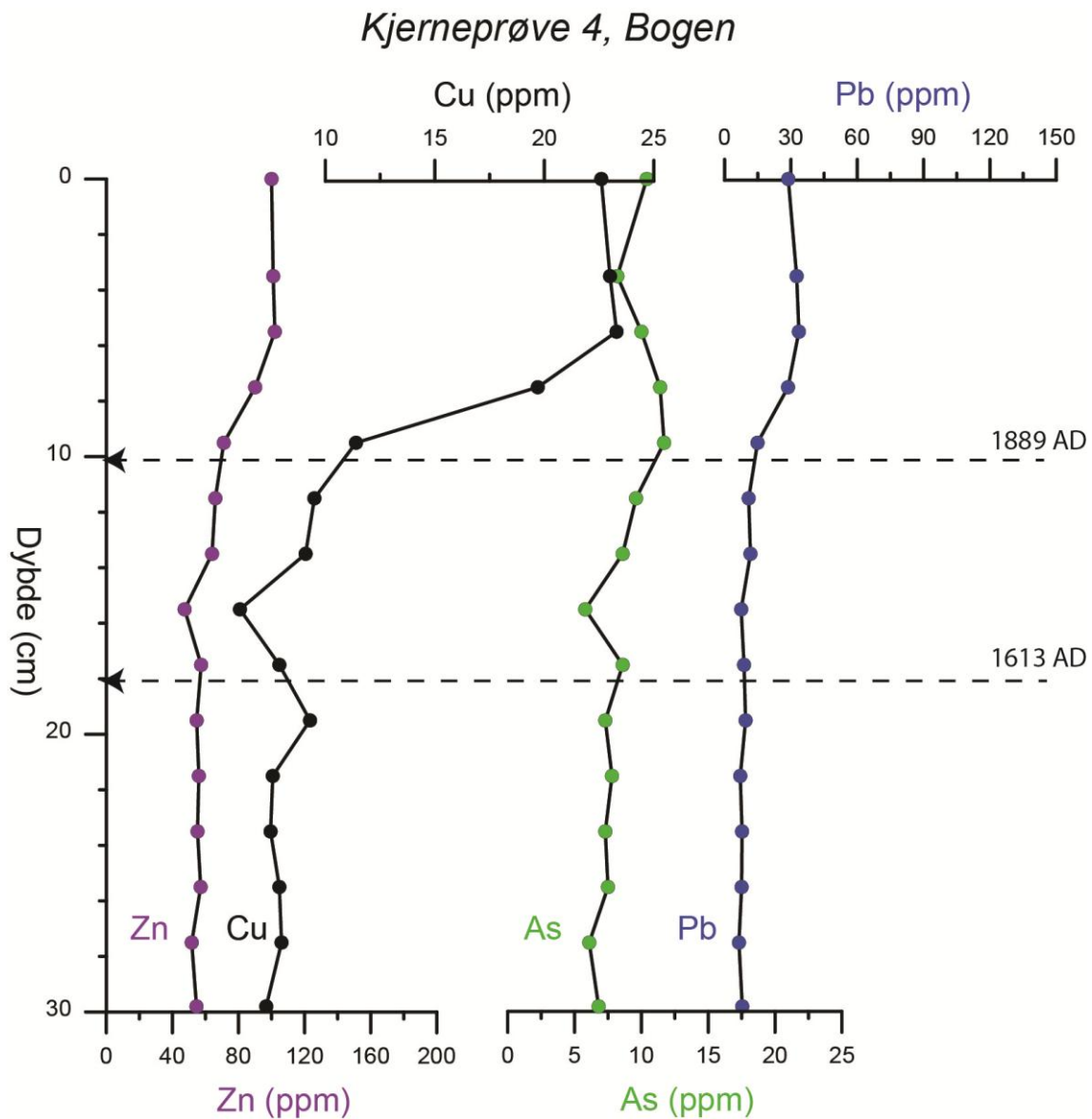
Vi viser her konsentrasjoner av tungmetallene sink (Zn), kobber (Cu) og bly (Pb) og i tillegg arsen (As) målt i de tre kjerneprøvene vi har  $^{14}\text{C}$ -dateringer fra: Prøve 4 fra Bogen, prøve 5 fra midtre del av Ofotfjorden og prøve 1 fra Kjøpsvik (Figur 9, 10 og 11). Profiler fra de øvrige tre kjerneprøvene er vist i Vedlegg 4, og i Vedlegg 5 sammenstilles verdiene for Pb, Cu, Zn og Hg fra alle sju kjerneprøver. Analyseresultater i tabellform finnes i Vedlegg 1, og alle resultater kan også fås ved direkte forespørsel til NGU.

Felles for kjerneprøvene 1, 4 og 5 er at konsentrasjonsprofilene for Zn, Cu og Pb viser stabilt lave verdier i de dypere intervallene (eldre enn år 1889) og en konsekvent økning i de øverste intervallene. Dette er aller tydeligst i profilene for kobberkonsentrasjon, spesielt i Bogen (Figur 9) og midtre del av Ofotfjorden (Figur 10), der de høyeste nivåene er å finne i sedimenter avsatt de siste  $\sim 100$  år. Dette har sannsynligvis sammenheng med gruvedrift i området. I kjerneprøve 1 fra Kjøpsvik (Figur 11) ser vi også en kraftig økning i tungmetaller i de øverste få cm av prøven, og det er naturlig å tolke dette som utslipp fra sementproduksjon. Den tilsynelatende nedgangen i Cu og Zn som sammenfaller med svært høye verdier av kalsiumkarbonat ved ca. 6 cm dyp (se også Figur 7) kan muligens forklares med fortykningseffekten som følger brå økning i tilførsel av sedimenter.

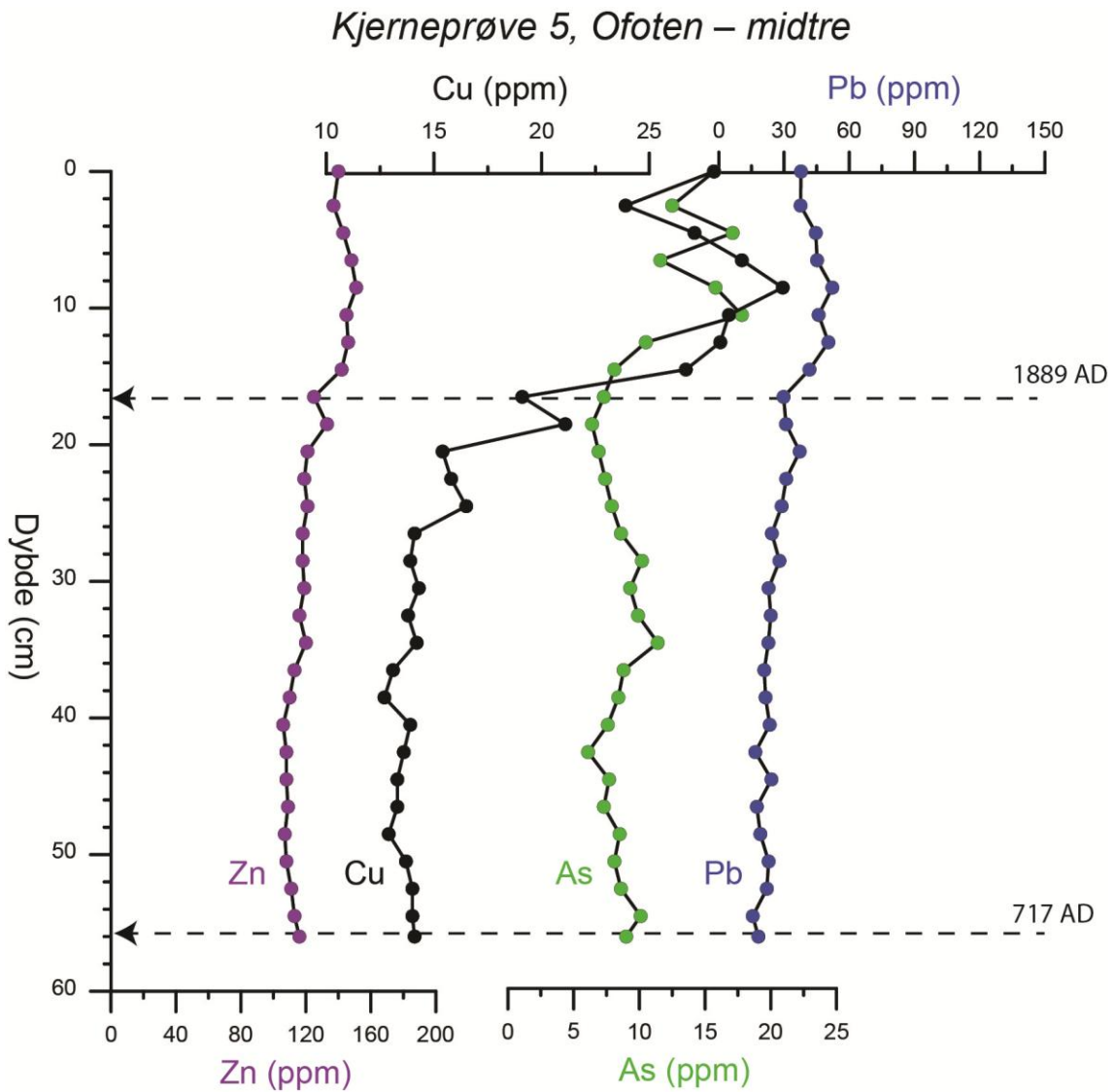
Generelt er konsentrasjonen av As og tungmetallene Zn, Cu, Pb og Hg høyest i topplagene i alle sedimentkjerner. Likheten i tungmetallprofilene fra de ulike kjerneprøvene tyder på at mye av metallforurensingen historisk har vært relativt jevnt fordelt i studieområdet. Spesielt for elementer som Pb og Hg vet vi at atmosfærisk transport over lange avstander kan være en viktig forurensningskilde. Bergindustri har vært en viktig næring i området i flere hundre år, og har gitt tydelig lokal påvirkning i enkelte avsetningsbassenger, for eksempel ved Kjøpsvik og i Bogen.

I Ofot-regionen er forurensningsgraden i sedimentene generelt lav, med enkelte lokale unntak (se Elvenes m.fl. 2018 for en mer detaljert beskrivelse av overflatesedimenter fra 25 lokaliteter inkludert de sju som beskrives her). I de analyserte kjerneprøvene overstiger konsentrasjonen av tungmetaller sjelden Miljødirektoratets grenseverdier for Klasse II – god miljøtilstand. Unntakene er arsen og sink i de øverste cm av kjerneprøve 1 fra Kjøpsvik, der konsentrasjonen tilsvarer Klasse III – moderat.

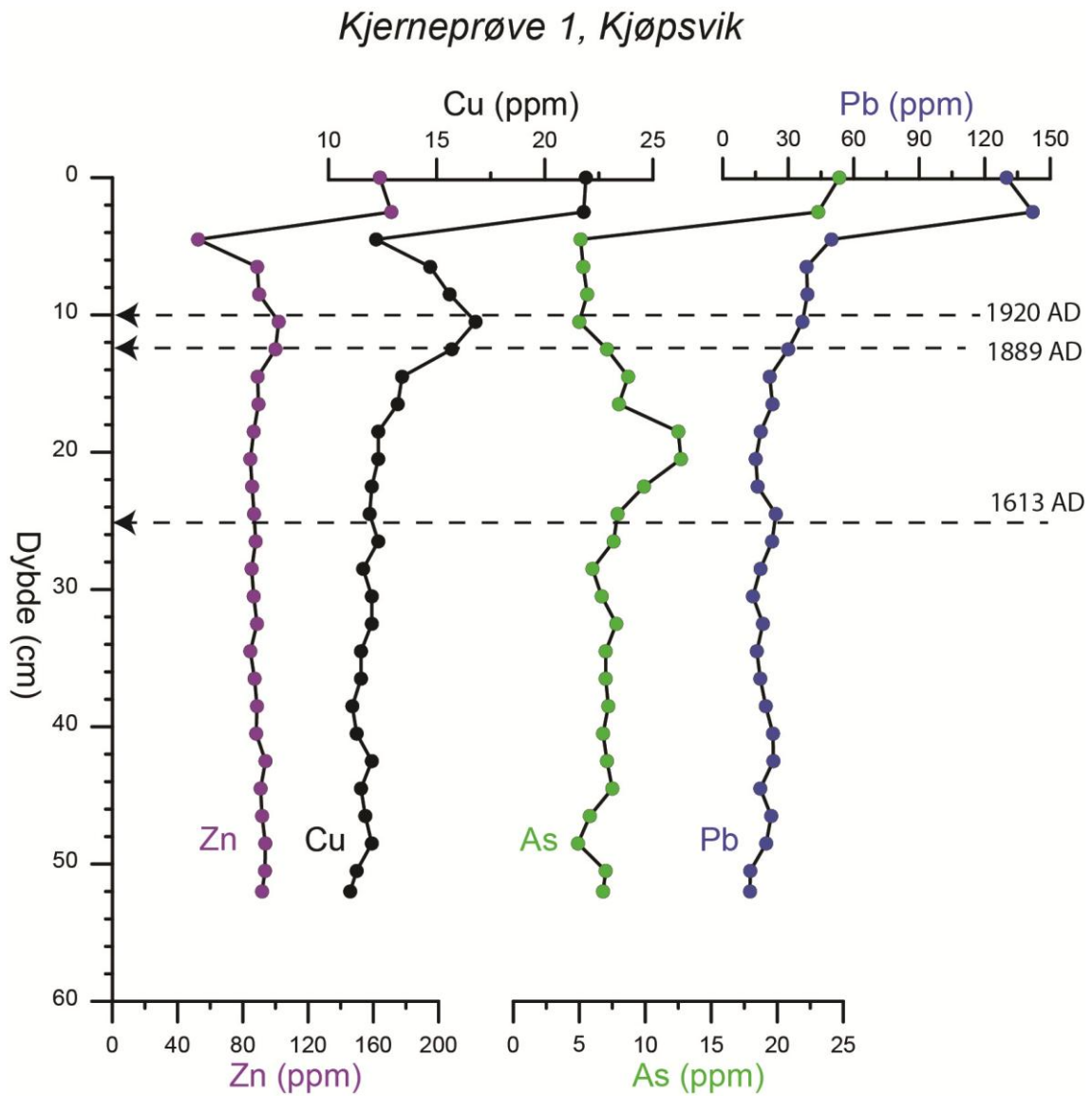
Som tungmetallprofilene i Figur 9–11 og i Vedlegg 4 og 5 viser, er ikke førindustrielle bakgrunnsnivåer identiske for de ulike lokalitetene. Dette er en naturlig konsekvens av den varierende berggrunnen i studieområdet, siden materiale som tilføres havbunnen gjennom erosjon og avrenning fra land vil være farget av lokale forhold i de ulike nedbørfeltene.



Figur 9. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb) og As-profil fra kjerneprøve 4 (Bogen) plottet mot dybde i centimeter. Merk den markante økningen i kobberinnhold etter år 1889. Aldersmarkører viser <sup>14</sup>C-dateringer av materiale i kjerneprøven.



Figur 10. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb) og As-profil fra kjerneprøve 5 (Ofoten – midtre) plottet mot dybde i centimeter. Aldersmarkører viser  $^{14}\text{C}$ -dateringer av materiale i kjerneprøven (717 AD) og korrelert fra kjerneprøve 4 (1889 AD).



Figur 11. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb) og As-profil fra kjerneprøve 1 (Kjøpsvik) plottet mot dybde i centimeter. Aldersmarkører viser  $^{14}\text{C}$ -dateringer av materiale i kjerneprøven (1613 AD) og korrelert fra kjerneprøve 4 (1889 AD).

#### 4. OPPSUMMERING

NGU har i samarbeid med SEA ECO AS utført geokjemiske og sedimentologiske undersøkelser av 7 sedimentkjerneprøver fra ulike sedimentbasseng i Ofotfjorden og Tysfjorden. Målet med undersøkelsen har vært å dokumentere sedimentasjonsmiljø og endringer i sedimentasjonshastighet og forurensningsgrad av tungmetaller over tid.

Resultatene viser at den gjennomsnittlige sedimentasjonshastighet i studieområdet er på ~0.5 mm/år de siste ca. 1300 år. Det er en tilsynelatende økning i sedimentasjonshastighet til ~1 mm/år over de siste ca. 100 år. Dette kan skyldes mindre naturlig komprimering av de øverste sedimentlagene, men også økt menneskelig aktivitet siden starten av den industrielle revolusjonen. Menneskelig aktivitet på land kan føre til økt erosjon der, og som et resultat, økt sedimentasjon i fjordene.

I nesten alle fjorder finner vi et rolig avsetningsmiljø med en høy prosentandel slam i sedimentene. Et unntak er kjerneprøve 1 utenfor Kjøpsvik hvor sedimentasjonsmønsteret viser et mer dynamisk miljø. Sandandelen her er høyere (20 %) enn i de fleste andre kjerneprøvene, noe som sannsynligvis skyldes større tilførsel av grovere sedimenter fra land enn det som er tilfelle i prøvene fra mer åpne fjordområder. Oppstart av sementproduksjon i Kjøpsvik i 1920 er klart synlig i kjerneprøven, siden innholdet av kalsiumkarbonat øker brått. Denne økningen er imidlertid ikke synlig i den andre kjerneprøven fra lengre ut i Tysfjorden (kjerneprøve 2; Figur 5 og Vedlegg 3).

Tungmetallprofiler viser en generelt økende trend mot sedimentoverflaten, særlig etter år 1900. Dette er svært synlig i profilene for kvikksølv (Hg) og kobber (Cu), som begge viser en sterkt økende konsentrasjon mot topplagene. Likevel er forurensningsgraden i alle prøvene lav i henhold til Miljødirektoratets miljøkvalitetsklassifisering.



## 5. REFERANSER

Dolan, M., Elvenes, S., Plassen, L., Lepland, A., Selboskar, O.H., Rasmussen, T., Michelsen, H., Longva, O. & Arvesen, B. 2012: Marine grunnkart i Sør-Troms: Rapport om biotopmodellering. NGU-rapport 2012.070.

Elvenes, S., Knies, J. & Rasmussen, T. 2018: Forurensingsstatus i havbunnssedimenter i Ofotfjorden, Tysfjorden, og Tjeldsundet. NGU-rapport 2017.047, 48s.

Faust, J., Scheiber, T. & Knies, J. 2018: Comparison of organic carbon sources in arctic and subarctic circum-Atlantic fjord sediments provides new implications for carbon burial rates. Continental Shelf Research, in review.

Lepland, A., Jensen, H. Plassen, L. & Longva, O. 2012: Forurensingsstatus i sjøbunnssedimenter i Astafjordområdet/Sør-Troms. NGU-rapport 2012.002, 37 s.

Stuiver, M., Reimer, P.J. & Reimer, R.W. 2018: Calib 7.1 (web-program). <http://calib.org>, besøkt februar 2018.

**VEDLEGG 1. Sammendrag av analyseresultater for sju Niemistö-kjerneprøver fra Ofot-regionen. Verdier for overflate (0,0 cm) er hentet fra analyse av materiale fra multicorer-prøver beskrevet i NGU-rapport 2017.047 (Elvenes m.fl. 2018). For geografiske posisjoner, se Figur 1 og Tabell 1.**

***Kjerneprøve 1, Kjøpsvik:***

Dybde (cm)	TS (wt.%)	TC (wt.%)	TOC (wt.%)	Karbonat (wt.%)	Leir (rel. %)	Silt (rel. %)	Sand (rel. %)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Li (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)
0,0	0,4	6,1	1,6	37,2	6,7	79,3	14,0	21,9	164,0	130,0	19,3	0,3	40,9	136,0	21,9	24,7	0,046
2,5	0,3	6,3	1,6	39,7	4,7	72,5	22,8	21,8	171,0	142,0	20,6	0,5	37,6	121,0	19,6	23,1	0,028
4,5	0,1	8,0	0,8	59,8	4,9	70,1	25,0	12,2	52,6	49,8	12,7	0,3	23,1	52,8	13,3	5,1	0,025
6,5	0,1	4,0	1,1	24,2	5,3	74,2	20,5	14,7	88,8	38,4	21,1	0,1	30,6	102,0	33,1	5,3	0,019
8,5	0,1	4,4	1,2	26,9	5,5	71,8	22,7	15,6	90,0	38,8	21,0	0,1	31,1	103,0	32,9	5,6	0,021
10,5	0,1	3,3	1,3	16,5	5,8	75,4	18,8	16,8	102,0	36,5	23,3	0,1	33,8	121,0	38,7	5,0	0,021
12,5	0,1	2,3	1,3	8,8	5,7	74,8	19,5	15,7	100,0	30,0	23,1	0,1	35,1	124,0	40,0	7,1	0,015
14,5	0,2	2,5	1,1	12,0	5,5	73,1	21,4	13,4	89,1	21,5	23,0	0,2	32,8	114,0	37,8	8,7	0,013
16,5	0,2	2,4	1,1	11,3	5,4	73,9	20,7	13,2	89,6	22,8	22,9	0,1	33,3	116,0	37,5	8,0	0,012
18,5	0,3	2,3	1,1	10,1	5,8	73,9	20,3	12,3	86,7	17,4	23,0	0,2	32,5	115,0	36,6	12,5	0,010
20,5	0,3	2,4	1,1	10,3	5,7	74,9	19,4	12,3	84,6	15,1	21,5	0,1	32,3	116,0	36,8	12,7	0,009
22,5	0,3	2,2	1,0	9,7	5,5	72,2	22,3	12,0	85,7	16,0	21,5	0,2	32,4	118,0	36,5	9,9	0,011
24,5	0,3	2,1	0,9	9,4	5,4	71,6	23,0	11,9	86,9	24,3	22,4	0,1	32,5	116,0	36,3	7,9	0,011
26,5	0,2	2,1	1,0	9,2	5,7	71,9	22,4	12,3	87,9	22,6	21,3	0,1	33,0	121,0	37,1	7,6	0,010
28,5	0,2	2,0	0,9	9,0	5,6	72,1	22,3	11,6	85,4	17,3	21,3	0,1	32,9	115,0	35,9	6,0	0,010
30,5	0,2	2,0	0,9	8,9	5,4	72,2	22,4	12,0	86,7	13,8	21,1	0,1	32,7	117,0	36,5	6,7	0,011
32,5	0,3	1,9	0,9	8,7	5,7	73,8	20,5	12,0	88,7	18,4	22,1	0,1	33,0	125,0	37,0	7,8	0,010
34,5	0,3	1,8	0,8	8,5	5,8	73,8	20,4	11,5	84,6	15,6	20,5	0,1	31,6	120,0	35,3	7,0	0,010
36,5	0,2	1,7	0,7	8,0	5,6	72,5	21,9	11,5	87,2	17,2	22,9	0,1	32,2	123,0	35,8	7,0	0,010
38,5	0,2	1,7	0,7	8,3	5,6	71,5	22,9	11,1	88,7	19,7	22,7	0,1	32,8	124,0	36,3	7,2	0,010
40,5	0,2	1,6	0,7	7,6	5,7	72,8	21,5	11,3	88,2	23,0	23,1	0,1	32,5	125,0	35,7	6,8	0,011
42,5	0,2	1,6	0,7	7,7	5,6	72,0	22,4	12,0	93,9	23,2	25,2	0,2	35,6	131,0	37,1	7,1	0,010
44,5	0,3	1,7	0,7	7,9	5,4	70,7	23,9	11,5	90,9	17,2	23,7	0,1	34,5	130,0	37,1	7,5	0,009
46,5	0,2	1,7	0,7	8,2	5,7	71,6	22,7	11,7	91,8	22,2	22,8	0,1	35,0	131,0	37,0	5,8	0,009
48,5	0,2	1,8	0,8	8,3	6,1	74,6	19,4	12,0	93,8	19,9	25,7	0,1	34,9	132,0	36,6	4,9	0,009
50,5	0,2	1,4	0,6	7,0	5,6	72,4	22,0	11,3	93,6	12,6	24,1	0,1	35,2	130,0	35,3	7,0	0,009
52,0	0,1	1,3	0,5	6,4	5,5	68,7	25,8	11,0	91,8	12,5	22,8	0,1	34,4	127,0	34,3	6,8	0,009

**Kjerneprøve 2, Tysfjorden – ytre:**

Dybde (cm)	TS (wt.%)	TC (wt.%)	TOC (wt.%)	Karbonat (wt.%)	Leir (rel. %)	Silt (rel. %)	Sand (rel. %)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Li (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)
0,0	0,2	2,8	1,4	11,8	12,0	82,6	5,4	17,8	122,0	32,9	28,3	0,1	39,4	170,0	38,5	14,0	0,046
2,5	0,1	3,0	1,5	12,7	10,8	81,8	7,4	18,9	136,0	44,3	34,0	0,2	41,0	167,0	42,1	9,1	0,026
4,5	0,1	2,8	1,3	13,1	10,7	81,5	7,8	17,2	134,0	39,2	33,3	0,1	40,8	161,0	43,2	5,6	0,024
6,5	0,1	2,8	1,2	13,4	10,6	81,1	8,3	16,9	131,0	34,6	32,8	0,2	41,0	158,0	43,1	5,8	0,020
8,5	0,1	2,8	1,2	13,6	11,0	82,3	6,7	16,6	129,0	34,6	34,0	0,2	40,8	158,0	43,2	6,2	0,019
10,5	0,1	2,8	1,2	13,7	10,7	82,3	7,0	15,3	125,0	30,0	31,7	0,2	41,1	157,0	43,7	5,8	0,025
12,5	0,1	2,8	1,2	13,9	10,6	81,4	8,0	15,2	122,0	30,6	32,7	0,2	40,3	156,0	43,5	6,9	0,019
14,5	0,1	2,8	1,2	13,2	10,6	80,6	8,8	16,1	128,0	33,7	31,4	0,1	41,0	157,0	43,9	7,2	0,021
16,5	0,1	2,8	1,2	13,5	10,9	81,0	8,1	14,4	120,0	27,1	32,9	0,1	40,8	155,0	43,8	6,7	0,018
18,5	0,1	2,8	1,1	14,1	10,8	80,5	8,7	14,9	120,0	25,2	32,3	0,2	40,9	157,0	44,1	7,2	0,016
20,5	0,1	2,8	1,1	14,4	10,2	79,2	10,6	13,6	113,0	20,8	32,8	0,2	41,2	153,0	42,9	7,8	0,013
22,5	0,1	2,7	1,1	13,8	10,7	80,1	9,2	13,3	115,0	22,7	32,4	0,2	40,8	156,0	44,5	7,2	0,014
24,5	0,2	2,7	1,1	13,7	10,9	81,1	8,0	13,8	117,0	20,3	32,7	0,3	41,7	159,0	44,5	7,4	0,014
26,5	0,2	2,6	1,0	13,3	11,3	81,1	7,6	13,4	117,0	17,9	30,7	0,2	42,2	161,0	44,8	8,3	0,012
28,5	0,2	2,5	1,0	12,8	11,3	82,3	6,4	13,2	119,0	16,5	32,3	0,2	42,8	163,0	45,4	8,0	0,011
31,0	0,2	2,6	1,0	13,2	11,6	81,0	7,4	13,4	122,0	16,9	32,6	0,3	43,5	168,0	45,9	9,0	0,015

**Kjerneprøve 3, Ofotfjorden – ytre:**

Dybde (cm)	TS (wt.%)	TC (wt.%)	TOC (wt.%)	Karbonat (wt.%)	Leir (rel. %)	Silt (rel. %)	Sand (rel. %)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Li (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)
0,0	0,2	2,9	1,2	14,1	10,3	81,9	7,8	17,3	110,0	28,9	22,4	0,1	37,9	147,0	36,9	15,0	0,038
2,5	0,1	3,1	1,4	14,3	9,4	81,9	8,7	18,6	121,0	33,2	28,0	0,1	39,1	149,0	40,8	11,9	0,032
4,5	0,1	3,2	1,5	14,6	9,5	81,9	8,6	18,2	122,0	35,2	26,7	0,2	38,4	147,0	40,7	11,6	0,031
6,5	0,1	3,1	1,2	15,2	9,4	82,0	8,6	18,6	123,0	35,9	29,0	0,2	38,9	146,0	41,5	6,2	0,033
8,5	0,1	3,1	1,3	15,6	9,4	81,9	8,7	18,8	126,0	36,3	30,3	0,1	39,1	149,0	42,2	5,7	0,032
10,5	0,1	3,1	1,2	15,2	9,3	82,8	7,9	16,6	119,0	32,1	27,2	0,1	39,0	148,0	42,2	6,0	0,026
12,5	0,1	3,0	1,1	15,9	9,2	82,2	8,6	14,5	114,0	27,2	28,8	0,1	39,9	144,0	42,5	7,4	0,020
14,5	0,2	3,0	1,1	16,2	9,3	81,0	9,7	12,7	106,0	19,5	28,3	0,1	39,6	143,0	42,7	7,6	0,016
16,5	0,1	3,0	1,1	15,3	9,6	82,2	8,2	14,5	114,0	26,9	27,8	0,1	40,2	147,0	43,9	7,1	0,019
18,5	0,2	2,9	1,1	15,3	9,9	81,6	8,5	13,2	109,0	23,0	27,9	0,2	39,5	145,0	43,6	7,3	0,017
20,5	0,2	3,0	1,1	15,7	9,8	81,3	8,9	13,5	109,0	24,5	27,9	0,2	38,0	143,0	41,6	6,9	0,017
22,5	0,2	2,9	1,0	15,7	9,8	81,0	9,2	12,4	106,0	19,9	26,8	0,2	38,3	142,0	42,1	7,5	0,014
24,5	0,2	2,9	1,0	15,9	10,1	80,7	9,2	12,2	107,0	22,7	28,1	0,2	38,8	142,0	41,9	8,3	0,013
26,5	0,2	2,9	1,0	15,6	10,0	81,3	8,7	11,9	105,0	23,3	27,1	0,2	37,8	140,0	41,0	9,5	0,013
28,5	0,2	2,9	1,0	15,8	10,0	81,6	8,4	12,2	107,0	22,2	28,0	0,1	38,8	141,0	41,3	7,3	0,014
30,5	0,2	2,8	1,0	15,6	10,8	80,9	8,3	11,9	107,0	19,1	29,0	0,2	39,3	144,0	41,7	9,0	0,013
32,5	0,2	2,9	1,0	15,5	10,4	81,0	8,6	11,9	107,0	20,2	29,3	0,2	39,6	148,0	42,5	10,0	0,014
34,5	0,2	2,9	1,0	15,7	10,7	81,8	7,5	12,0	107,0	20,3	27,9	0,1	39,8	148,0	42,6	8,0	0,012
36,5	0,2	2,9	1,0	15,7	10,5	81,8	7,7	12,0	107,0	21,6	28,2	0,2	39,8	146,0	41,6	6,8	0,013
38,5	0,2	2,8	1,0	15,2	10,3	81,1	8,6	12,4	110,0	19,3	28,5	0,2	41,0	150,0	43,0	6,9	0,012
40,5	0,2	2,9	1,0	15,7	10,2	81,7	8,1	12,1	105,0	16,5	28,0	0,2	39,8	151,0	41,5	7,7	0,012
42,5	0,2	2,9	1,0	15,7	10,5	81,2	8,3	12,4	107,0	18,5	29,2	0,2	41,0	154,0	42,8	7,7	0,012
44,5	0,2	2,9	1,0	15,7	10,5	81,3	8,2	12,0	108,0	21,4	28,7	0,1	40,6	152,0	42,1	6,5	0,012
46,5	0,2	2,9	1,0	15,8	10,6	80,8	8,6	12,0	109,0	20,1	28,9	0,2	40,3	153,0	42,4	8,1	0,012
48,5	0,2	2,9	1,0	15,4	10,8	82,1	7,1	12,0	108,0	18,7	29,3	0,1	40,6	152,0	42,7	6,3	0,014
50,5	0,2	2,9	1,0	15,3	10,4	81,1	8,5	12,1	111,0	16,6	28,2	0,1	41,6	152,0	42,6	6,0	0,012
52,0	0,2	2,9	1,0	15,4	10,2	81,4	8,4	12,2	111,0	16,5	28,4	0,2	40,9	154,0	43,2	6,9	0,012

**Kjerneprøve 4, Bogen:**

Dybde (cm)	TS (wt.%)	TC (wt.%)	TOC (wt.%)	Karbonat (wt.%)	Leir (rel. %)	Silt (rel. %)	Sand (rel. %)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Li (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)
0,0	0,2	2,6	2,3	2,5	3,7	72,6	23,7	22,6	100,0	28,8	18,0	0,1	35,1	107,0	30,4	10,4	0,050
3,5	0,2	2,4	2,1	2,0	3,3	71,2	25,5	23,0	101,0	32,6	18,7	0,1	32,2	99,5	31,0	8,2	0,033
5,5	0,2	2,3	2,0	2,7	3,7	71,0	25,3	23,3	102,0	33,6	18,3	0,1	32,4	99,0	30,7	10,0	0,035
7,5	0,3	2,0	1,6	2,7	3,2	68,6	28,2	19,7	90,1	28,7	17,0	0,1	29,3	91,2	28,6	11,4	0,031
9,5	0,4	1,9	1,5	3,2	2,8	66,1	31,1	11,4	71,1	14,9	15,8	0,2	28,8	79,2	25,5	11,7	0,013
11,5	0,4	1,8	1,4	3,0	2,6	65,6	31,8	9,5	66,0	10,9	15,5	0,2	28,6	78,5	25,4	9,6	0,008
13,5	0,4	1,8	1,3	3,7	2,7	63,7	33,6	9,1	64,0	11,7	14,8	0,2	27,7	77,3	24,6	8,6	0,007
15,5	0,3	1,3	0,9	3,7	2,2	59,3	38,5	6,1	47,4	7,5	11,5	0,1	21,5	58,6	18,5	5,8	0,007
17,5	0,5	1,6	1,2	3,2	2,8	65,0	32,2	7,9	57,4	8,8	13,9	0,2	26,0	70,4	22,7	8,6	0,006
19,5	0,4	1,5	1,0	4,2	2,5	64,1	33,4	9,3	54,7	9,5	13,4	0,1	25,1	66,7	21,6	7,3	0,006
21,5	0,5	1,4	1,1	3,2	2,6	64,8	32,6	7,6	56,0	7,1	13,1	0,1	26,0	70,2	22,4	7,8	0,006
23,5	0,5	1,5	1,0	3,7	2,5	64,4	33,1	7,5	55,2	7,9	13,9	0,1	25,7	68,1	22,3	7,3	0,006
25,5	0,5	1,5	1,2	2,3	2,6	65,5	31,9	7,9	57,1	7,7	13,9	0,1	26,5	71,3	22,9	7,5	0,005
27,5	0,4	1,4	1,0	3,4	2,5	64,6	32,9	8,0	51,7	6,5	12,3	0,1	24,5	64,9	20,8	6,1	0,005
29,8	0,4	1,4	1,0	3,4	2,3	64,1	33,6	7,3	54,6	8,0	13,6	0,1	25,3	66,7	21,5	6,8	0,006



**Kjerneprøve 5, Ofotfjorden – midtre:**

Dybde (cm)	TS (wt.%)	TC (wt.%)	TOC (wt.%)	Karbonat (wt.%)	Leir (rel. %)	Silt (rel. %)	Sand (rel. %)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Li (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)
0,0	0,2	1,8	1,1	5,6	9,2	87,2	3,6	28,0	140,0	37,8	25,8	0,1	42,3	172,0	44,6	15,7	0,044
2,5	0,1	1,8	1,1	6,0	8,2	87,9	3,9	23,9	137,0	37,6	27,4	0,1	39,7	157,0	44,4	12,5	0,024
4,5	0,1	1,9	1,1	6,3	8,6	87,3	4,1	27,1	143,0	44,6	28,4	0,1	40,0	158,0	44,6	17,1	0,027
6,5	0,1	1,9	1,2	6,4	8,3	86,7	5,0	29,3	148,0	45,2	30,0	0,1	41,4	159,0	46,2	11,6	0,030
8,5	0,1	1,9	1,2	6,5	8,2	86,9	4,9	31,2	151,0	52,2	29,8	0,1	41,5	160,0	46,1	15,8	0,031
10,5	0,1	1,9	1,1	6,2	8,6	86,9	4,5	28,7	145,0	45,9	27,3	0,1	40,5	157,0	45,8	17,8	0,029
12,5	0,1	1,8	1,1	5,8	8,4	87,2	4,4	28,3	146,0	50,4	30,3	0,1	40,8	160,0	47,0	10,5	0,029
14,5	0,1	1,9	1,1	6,7	8,3	86,4	5,3	26,7	142,0	41,7	29,1	0,1	40,5	159,0	46,6	8,1	0,027
16,5	0,1	1,8	1,0	6,5	8,5	85,7	5,8	19,1	125,0	29,8	26,7	0,2	39,5	152,0	46,2	7,3	0,017
18,5	0,1	1,8	1,0	6,3	8,3	85,9	5,8	21,1	133,0	30,9	28,2	0,1	41,3	158,0	47,3	6,4	0,019
20,5	0,1	1,7	1,0	6,3	8,4	87,2	4,4	15,4	121,0	37,2	28,9	0,1	39,9	154,0	46,9	6,9	0,013
22,5	0,1	1,8	1,0	6,6	8,3	86,7	5,0	15,8	119,0	31,0	26,6	0,1	39,4	154,0	46,6	7,4	0,014
24,5	0,1	1,8	1,0	6,6	8,5	86,3	5,2	16,5	121,0	28,9	28,4	0,2	40,4	153,0	47,1	7,9	0,014
26,5	0,1	1,7	0,9	6,4	8,5	86,8	4,7	14,1	118,0	24,4	27,6	0,1	39,7	151,0	46,9	8,6	0,011
28,5	0,2	1,7	0,9	6,3	8,3	87,1	4,6	13,9	118,0	27,9	28,8	0,1	40,9	156,0	47,3	10,2	0,011
30,5	0,2	1,7	0,9	6,3	8,5	86,0	5,5	14,3	119,0	22,9	27,9	0,2	41,2	154,0	47,3	9,3	0,011
32,5	0,1	1,7	0,9	6,5	8,4	86,1	5,5	13,8	116,0	23,9	28,0	0,1	40,5	152,0	47,0	9,9	0,011
34,5	0,2	1,7	0,9	6,6	8,4	86,0	5,6	14,2	120,0	22,8	29,2	0,1	41,6	156,0	48,1	11,4	0,011
36,5	0,2	1,6	0,8	6,6	8,0	86,5	5,5	13,1	113,0	20,9	27,1	0,1	40,0	147,0	45,7	8,8	0,011
38,5	0,2	1,6	0,8	6,4	7,9	86,7	5,5	12,7	110,0	21,5	25,2	0,1	38,8	145,0	45,4	8,4	0,010
40,5	0,2	1,6	0,9	5,9	7,9	87,1	5,0	13,9	106,0	23,4	25,4	0,1	38,3	150,0	45,6	7,6	0,015
42,5	0,2	1,6	0,8	6,6	8,1	88,1	3,8	13,6	108,0	16,8	23,9	0,1	39,1	152,0	46,1	6,1	0,015
44,5	0,2	1,6	0,8	6,2	8,0	87,9	4,1	13,3	108,0	24,2	24,4	0,1	39,6	153,0	46,0	7,7	0,014
46,5	0,2	1,6	0,8	6,3	8,3	87,5	4,2	13,3	109,0	17,5	24,9	0,1	39,8	154,0	46,2	7,3	0,016
48,5	0,2	1,6	0,8	6,4	8,2	87,6	4,3	12,9	107,0	19,1	24,2	0,1	39,1	152,0	45,4	8,5	0,016
50,5	0,2	1,6	0,9	6,3	8,4	86,9	4,7	13,7	108,0	22,9	26,3	0,1	39,6	158,0	46,8	8,1	0,016
52,5	0,2	1,8	0,9	7,4	8,5	87,2	4,3	14,0	111,0	22,1	25,3	0,1	40,8	164,0	47,8	8,6	0,015
54,5	0,2	1,7	0,9	7,0	8,8	86,8	4,4	14,0	113,0	15,6	25,5	0,1	41,7	166,0	47,8	10,1	0,016
56,0	0,2	1,7	0,8	6,9	8,8	87,1	4,1	14,1	116,0	18,2	28,2	0,1	41,7	167,0	47,9	9,0	0,014

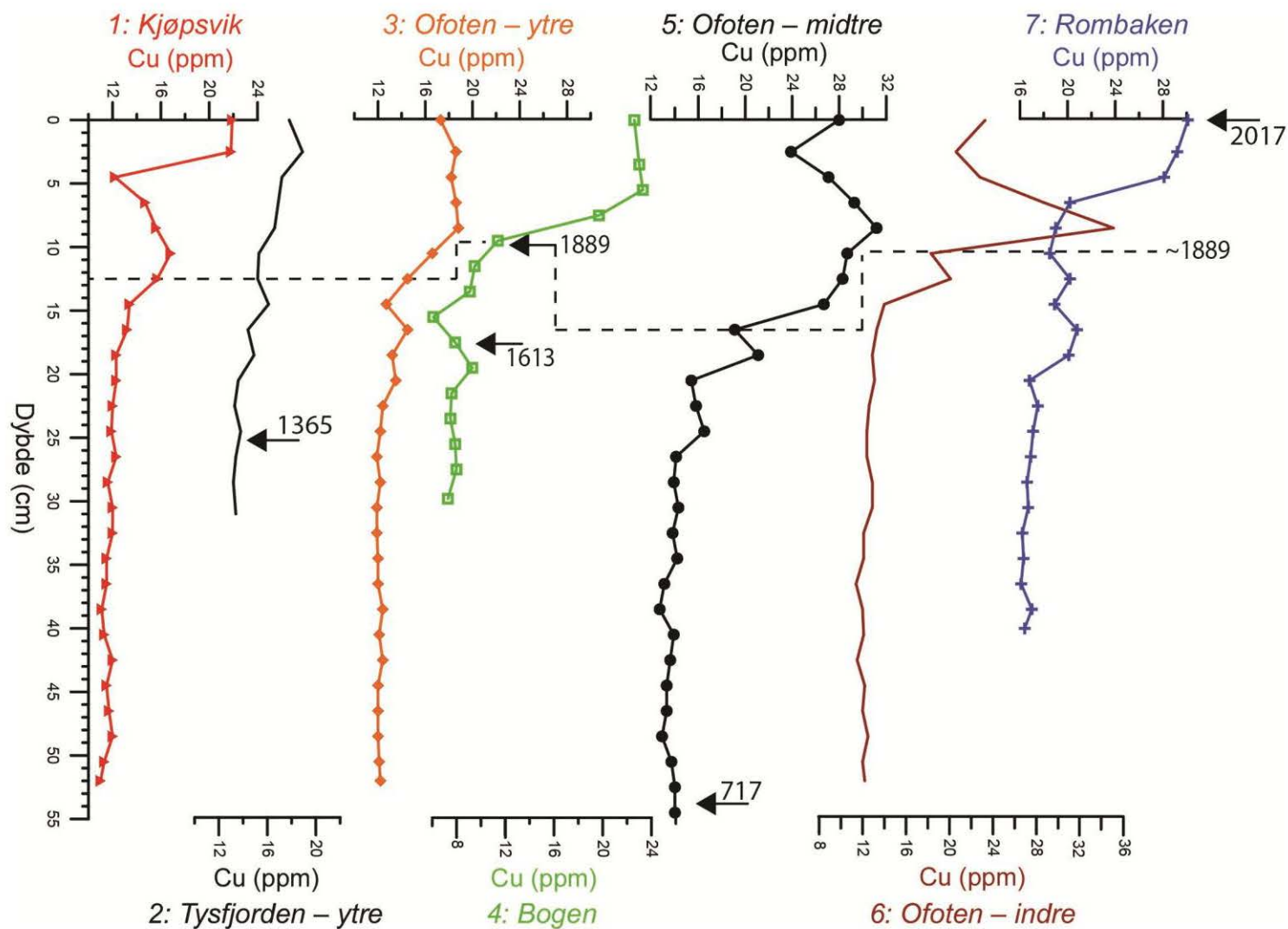
**Kjerneprøve 6, Ofotfjorden – indre:**

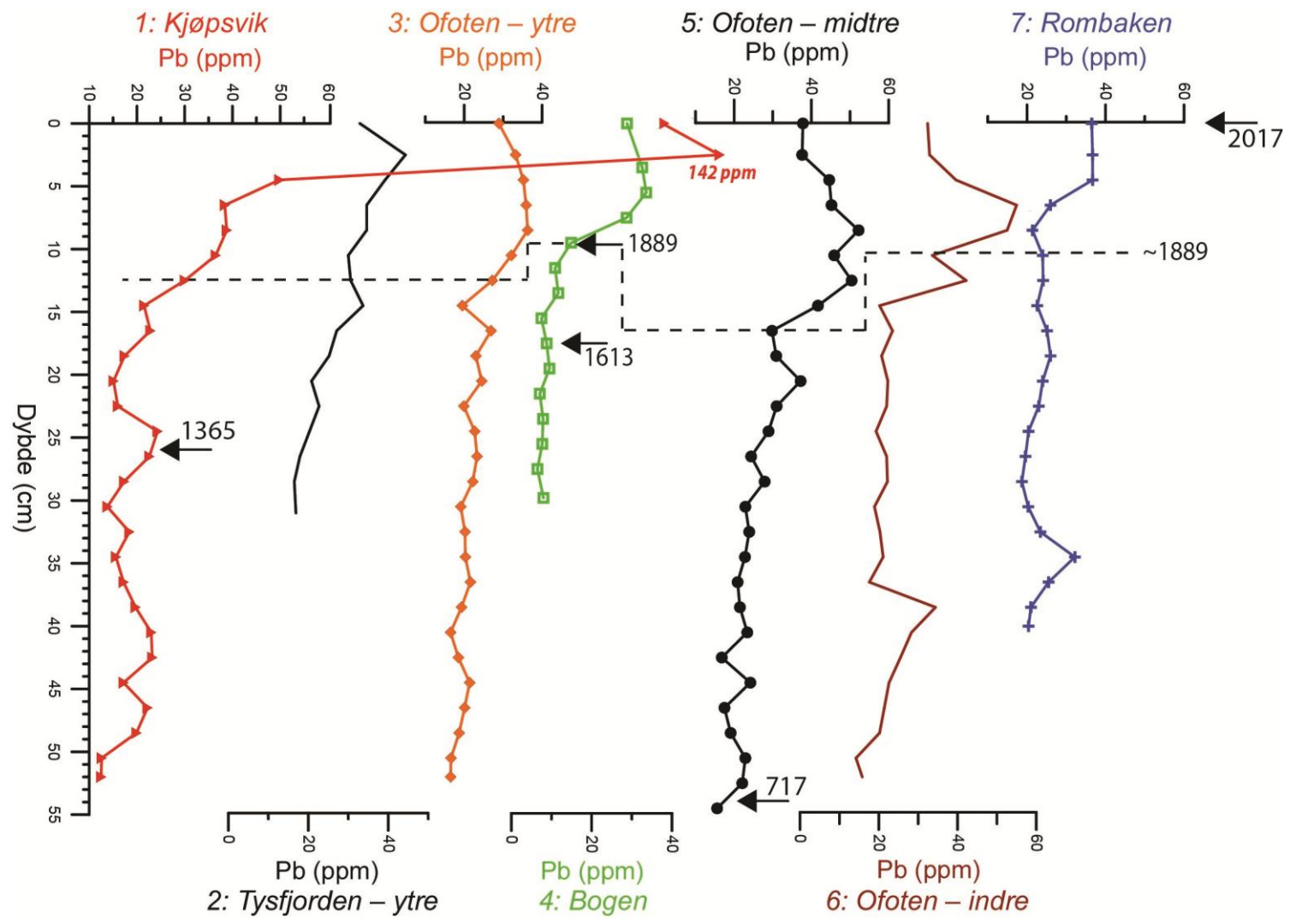
<b>Dybde</b> (cm)	<b>TS</b> (wt.%)	<b>TC</b> (wt.%)	<b>TOC</b> (wt.%)	<b>Karbonat</b> (wt.%)	<b>Leir</b> (rel. %)	<b>Silt</b> (rel. %)	<b>Sand</b> (rel. %)	<b>Cu</b> (mg/kg)	<b>Zn</b> (mg/kg)	<b>Pb</b> (mg/kg)	<b>Ni</b> (mg/kg)	<b>Cd</b> (mg/kg)	<b>Cr</b> (mg/kg)	<b>Ba</b> (mg/kg)	<b>Li</b> (mg/kg)	<b>As</b> (mg/kg)	<b>Hg</b> (mg/kg)
0,0	0,1	1,3	0,9	2,8	6,9	87,1	6,0	23,3	117,0	32,4	21,6	0,1	36,9	144,0	38,7	13,6	0,040
2,5	0,1	1,3	0,9	3,1	6,8	86,6	6,6	20,6	111,0	32,9	21,0	0,1	34,3	137,0	40,3	11,4	0,030
4,5	0,1	1,3	0,9	3,0	6,6	86,7	6,7	22,8	113,0	39,6	19,0	0,1	34,2	137,0	40,8	9,1	0,035
6,5	0,1	1,3	0,9	3,2	6,8	87,5	5,7	28,7	127,0	55,0	20,9	0,1	35,2	139,0	42,0	8,7	0,045
8,5	0,1	1,3	0,9	3,2	6,7	88,2	5,1	35,1	134,0	52,6	21,2	0,1	34,6	142,0	41,4	7,1	0,052
10,5	0,1	1,3	0,9	3,3	6,9	88,9	4,2	18,3	107,0	33,6	20,3	0,1	34,5	140,0	42,5	6,8	0,025
12,5	0,1	1,2	0,9	3,1	6,8	88,7	4,5	20,1	111,0	42,2	19,5	0,1	35,2	137,0	41,9	5,9	0,029
14,5	0,2	1,2	0,9	3,0	6,7	87,6	5,7	14,0	101,0	20,2	21,3	0,1	35,2	141,0	43,4	8,9	0,015
16,5	0,1	1,2	0,8	3,0	6,8	88,0	5,2	13,3	98,6	23,5	20,1	0,1	34,6	138,0	42,3	7,0	0,015
18,5	0,1	1,2	0,8	3,3	6,3	86,8	6,9	12,9	95,5	20,7	20,7	0,1	34,0	134,0	41,3	7,7	0,014
20,5	0,2	1,2	0,8	3,0	6,6	88,3	5,1	13,1	97,2	22,3	20,5	0,1	34,5	137,0	41,6	7,9	0,015
22,5	0,2	1,2	0,8	3,0	6,4	88,3	5,3	12,6	95,0	22,0	20,0	0,1	34,4	136,0	41,0	9,0	0,014
24,5	0,2	1,2	0,7	4,0	6,5	88,0	5,5	12,4	94,9	19,3	20,0	0,1	34,2	133,0	39,3	9,0	0,013
26,5	0,2	1,2	0,8	3,0	6,6	88,1	5,3	12,4	97,1	22,0	21,7	0,1	34,4	135,0	40,0	8,8	0,013
28,5	0,2	1,2	0,7	3,7	6,5	88,5	5,0	12,9	98,7	22,2	20,5	0,1	35,1	136,0	40,7	9,6	0,013
30,5	0,2	1,2	0,7	3,5	6,6	88,8	4,6	12,9	98,9	18,9	21,5	0,1	35,5	137,0	41,1	8,3	0,013
32,5	0,1	1,1	0,7	3,2	6,5	88,2	5,3	12,1	95,3	20,3	20,4	0,1	34,3	131,0	39,3	6,4	0,013
34,5	0,1	1,1	0,7	3,3	6,4	87,8	5,8	12,1	92,9	21,1	20,0	0,1	34,3	130,0	38,9	5,2	0,014
36,5	0,2	1,1	0,7	2,9	5,9	86,5	7,6	11,4	90,7	17,6	19,3	0,1	33,1	126,0	38,1	6,9	0,014
38,5	0,2	1,1	0,7	2,7	6,3	87,8	5,9	12,0	94,7	34,4	20,6	0,1	35,1	132,0	39,7	6,9	0,013
40,5	0,2	1,1	0,7	3,0	6,3	87,1	6,6	12,1	94,4	28,3	20,4	0,1	34,7	130,0	39,3	6,2	0,012
42,5	0,2	1,1	0,7	3,5	6,2	89,1	4,7	11,5	91,6	25,5	20,0	0,1	34,1	130,0	38,9	6,5	0,012
44,5	0,2	1,1	0,8	3,0	6,2	87,8	6,0	12,2	94,9	22,6	20,9	0,1	35,4	135,0	39,9	6,5	0,013
46,5	0,2	1,1	0,8	3,0	6,2	88,0	5,8	12,0	93,6	21,4	19,7	0,1	34,6	131,0	39,5	6,7	0,013
48,5	0,2	1,1	0,7	3,3	6,5	88,8	4,7	12,5	97,0	20,2	21,7	0,1	35,7	136,0	40,4	6,4	0,014
50,5	0,2	1,1	0,7	3,2	6,4	87,9	5,8	12,0	92,8	14,2	21,0	0,1	35,0	136,0	40,4	6,2	0,013
52,0	0,2	1,1	0,7	3,3	6,5	89,5	4,1	12,2	100,0	15,8	21,5	0,1	35,1	135,0	39,8	5,9	0,013

**Kjerneprøve 7, Rombaken:**

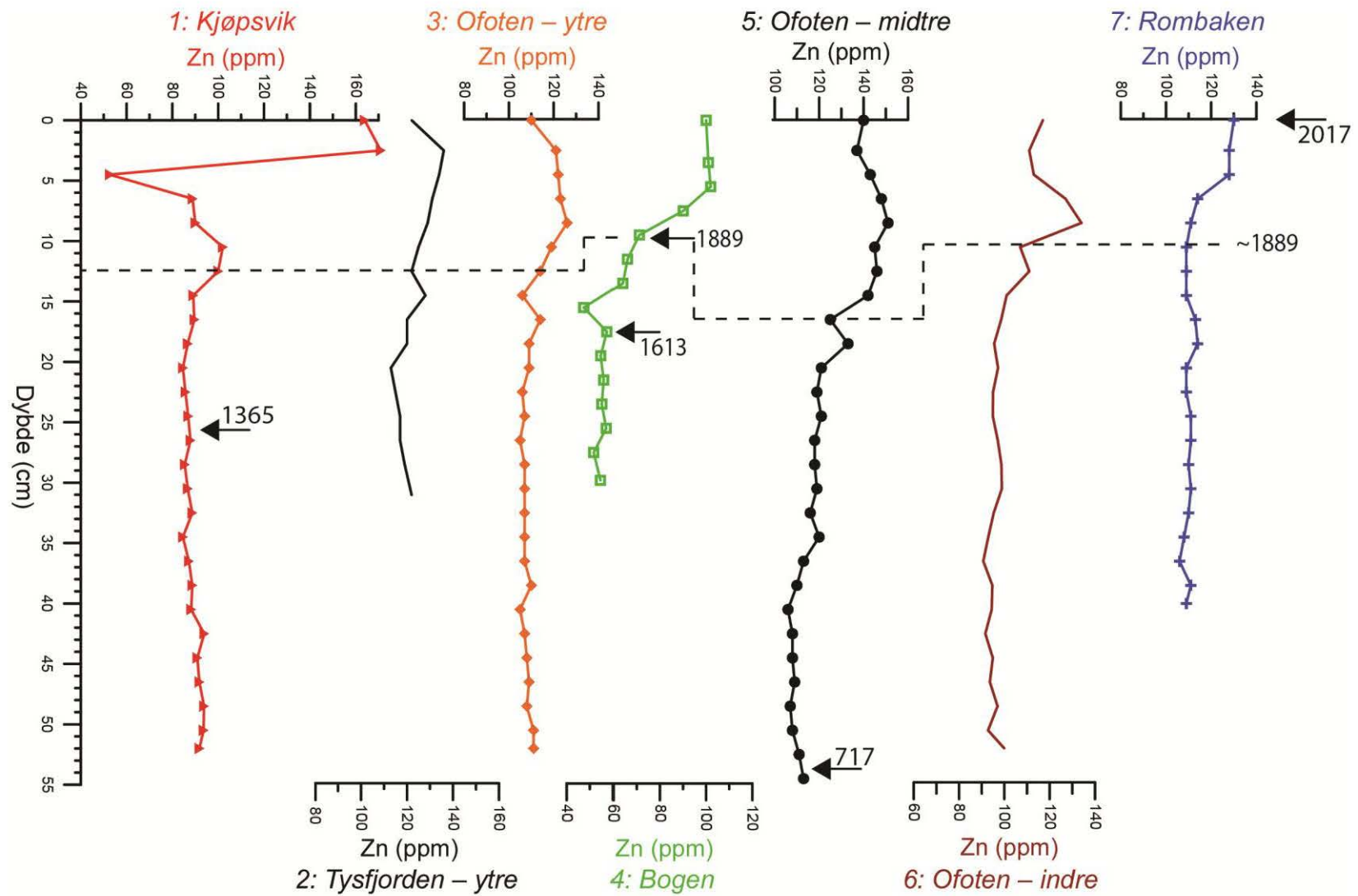
Dybde (cm)	TS (wt.%)	TC (wt.%)	TOC (wt.%)	Karbonat (wt.%)	Leir (rel. %)	Silt (rel. %)	Sand (rel. %)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Li (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)
0,0	0,1	1,4	1,1	2,7	7,1	86,5	6,4	30,1	130,0	36,5	22,8	0,1	41,3	149,0	39,4	29,7	0,056
2,5	0,1	1,4	1,1	3,2	6,7	87,3	6,0	29,2	128,0	36,7	23,9	0,1	38,1	141,0	41,1	9,8	0,046
4,5	0,2	1,5	1,1	3,3	7,0	87,1	5,9	28,1	128,0	36,7	24,6	0,1	37,9	144,0	42,5	9,3	0,043
6,5	0,1	1,3	1,0	2,6	6,8	87,0	6,2	20,2	114,0	26,0	23,8	0,1	37,3	142,0	42,6	8,5	0,026
8,5	0,1	1,3	1,0	3,0	7,0	88,0	5,0	19,0	111,0	21,4	24,1	0,1	38,7	148,0	45,0	11,1	0,017
10,5	0,2	1,4	1,0	3,2	7,1	87,4	5,6	18,5	109,0	24,0	24,2	0,1	37,7	144,0	44,2	10,9	0,017
12,5	0,1	1,3	1,0	3,1	6,9	87,7	5,4	20,2	109,0	24,1	23,2	0,1	37,7	140,0	43,1	8,9	0,022
14,5	0,1	1,3	1,0	3,0	6,9	88,3	4,8	18,9	109,0	22,6	25,1	0,1	38,3	142,0	43,9	9,3	0,018
16,5	0,1	1,3	0,9	3,1	7,0	87,2	5,8	20,8	113,0	25,1	24,5	0,1	38,0	141,0	43,8	8,3	0,024
18,5	0,1	1,3	0,9	3,3	6,9	87,3	5,8	20,1	114,0	26,0	24,7	0,1	38,6	143,0	44,4	8,7	0,021
20,5	0,2	1,3	0,9	2,9	7,2	89,2	3,7	16,8	109,0	24,0	24,5	0,1	38,9	144,0	45,0	9,8	0,015
22,5	0,2	1,3	0,9	3,1	7,1	88,5	4,4	17,5	109,0	23,0	25,2	0,1	38,9	147,0	45,0	11,3	0,015
24,5	0,2	1,3	0,9	3,2	6,9	88,2	4,9	17,1	111,0	20,4	24,1	0,1	39,6	150,0	45,8	14,8	0,014
26,5	0,2	1,3	0,9	3,3	7,2	87,5	5,3	16,9	111,0	19,6	23,4	0,1	39,0	146,0	44,3	11,9	0,013
28,5	0,2	1,3	0,9	2,8	7,2	88,2	4,6	16,6	110,0	18,7	24,6	0,1	39,8	150,0	45,4	11,3	0,013
30,5	0,2	1,3	0,9	3,0	7,0	87,9	5,1	16,7	111,0	20,3	25,0	0,1	39,5	149,0	45,4	10,7	0,013
32,5	0,2	1,3	0,9	3,2	7,1	88,4	4,5	16,2	110,0	23,4	22,9	0,1	38,1	145,0	43,8	7,7	0,013
34,5	0,2	1,2	0,9	2,8	6,8	87,9	5,3	16,3	108,0	32,2	26,5	0,1	38,1	144,0	42,9	10,3	0,012
36,5	0,2	1,2	0,9	2,9	7,1	87,5	5,4	16,1	106,0	25,5	22,9	0,1	37,2	144,0	42,5	8,9	0,012
38,5	0,2	1,2	0,9	2,9	7,0	88,8	4,2	17,0	111,0	21,0	24,0	0,1	38,6	146,0	43,6	9,4	0,012
40,0	0,2	1,2	0,8	2,8	6,8	88,3	4,9	16,4	109,0	20,4	23,0	0,1	38,1	144,0	42,7	10,1	0,011

VEDLEGG 2. Innhold av kobber (Cu), bly (Pb) og sink (Zn) i sju Niemistö-sedimentkjerneprøver fra Ofot-regionen. Dybder for  $^{14}\text{C}$ -dateringer er markert, og dateringen på år 1889 fra kjerneprøve 4 (Bogen) er korrelert til de andre profilene.

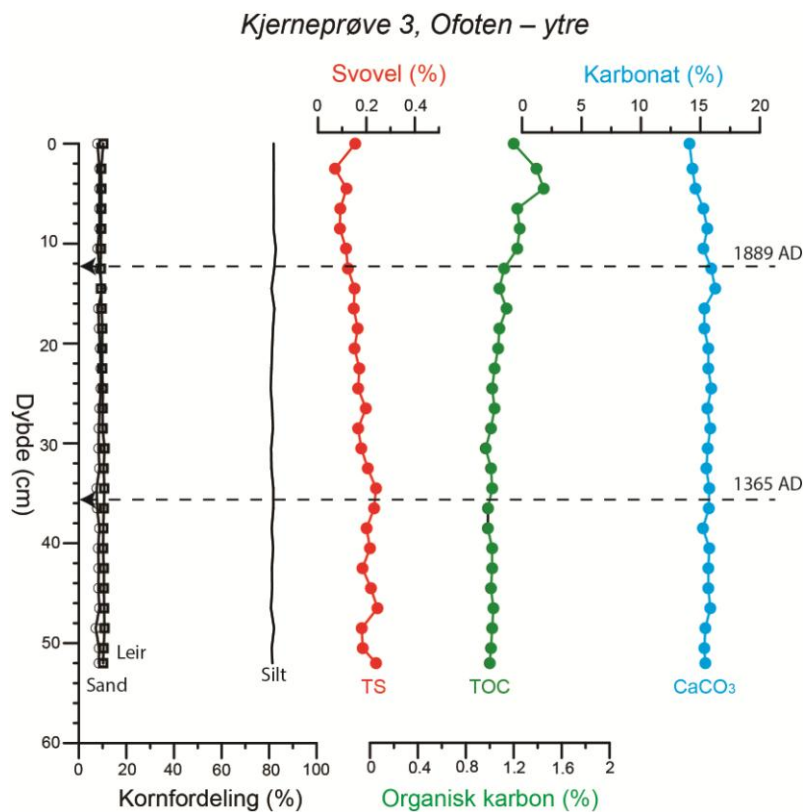
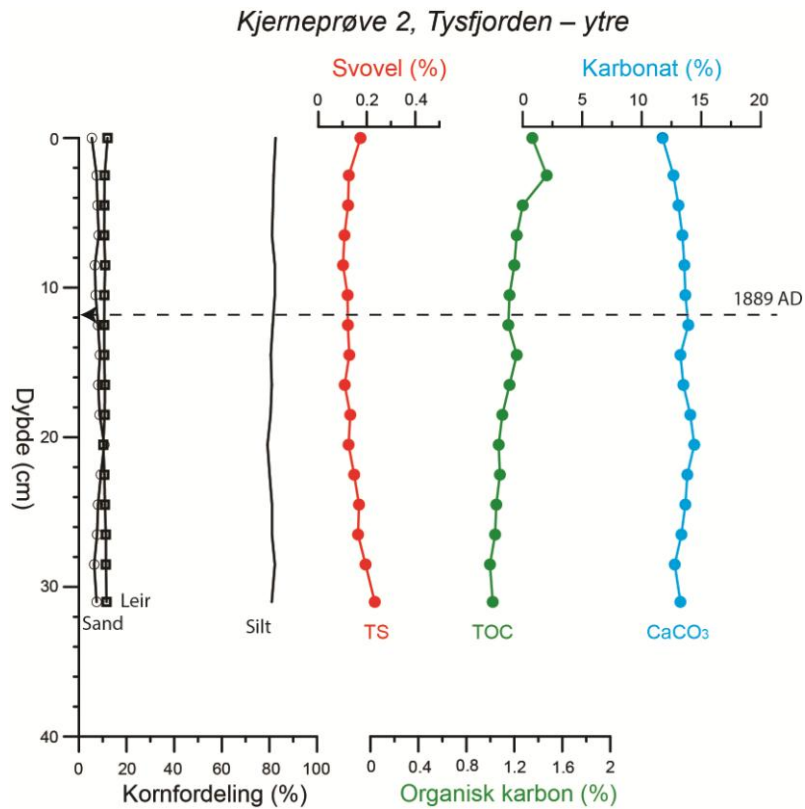




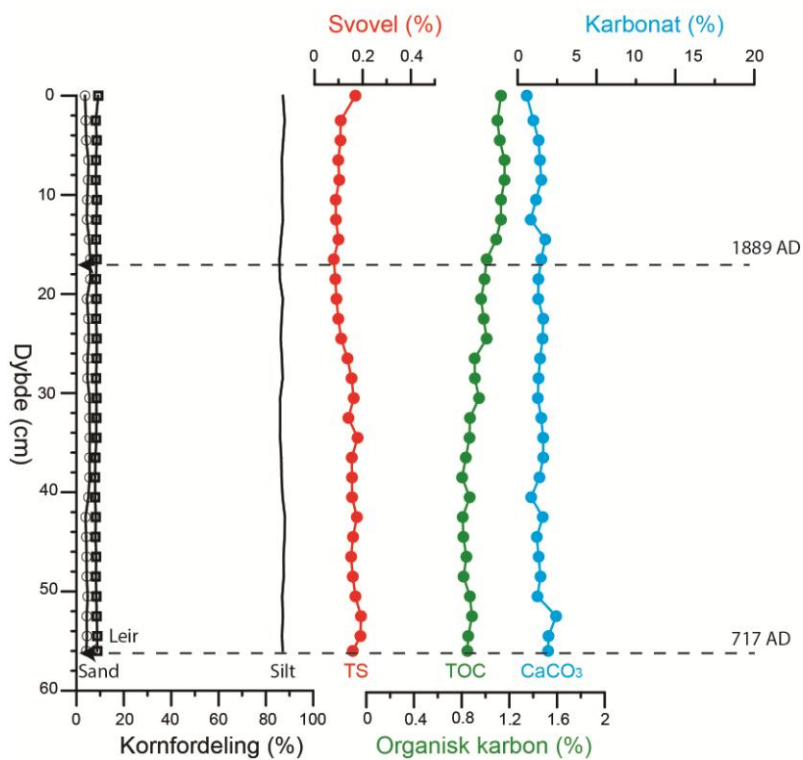




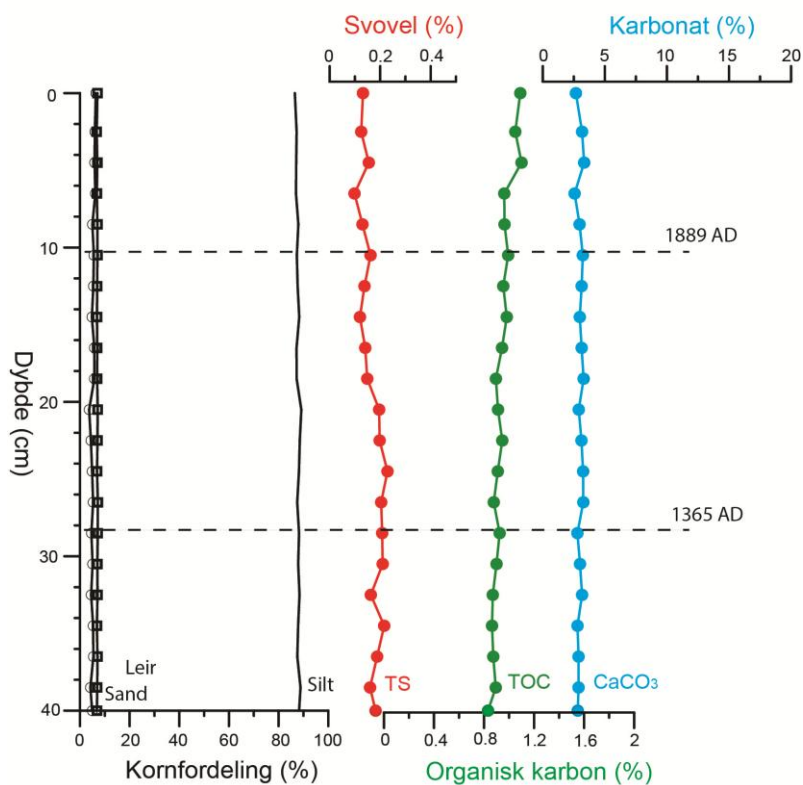
**VEDLEGG 3. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 2 (Tysfjorden – ytre), 3 (Ofoten – ytre), 5 (Ofoten – midtre) og 7 (Rombaken) plottet mot dybde i centimeter. Grafene viser relativ kornfordeling av leir, sand og silt, innhold av svovel (TS), innhold av organisk karbon (TOC) og innhold av kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>). Aldersmarkeringer er korrelerte fra <sup>14</sup>C-datering av organisk materiale i kjerneprøve 1 (Kjøpsvik, år 1365) og 4 (Bogen, år 1889). I kjerneprøve 5 er skjellfragmenter ved 56 cm datert til år 717.**



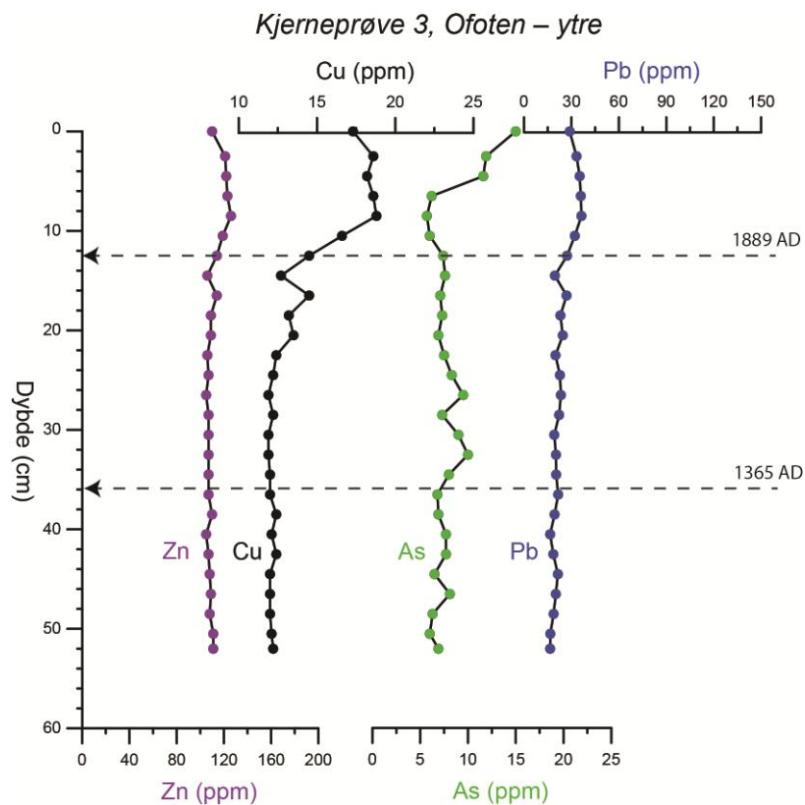
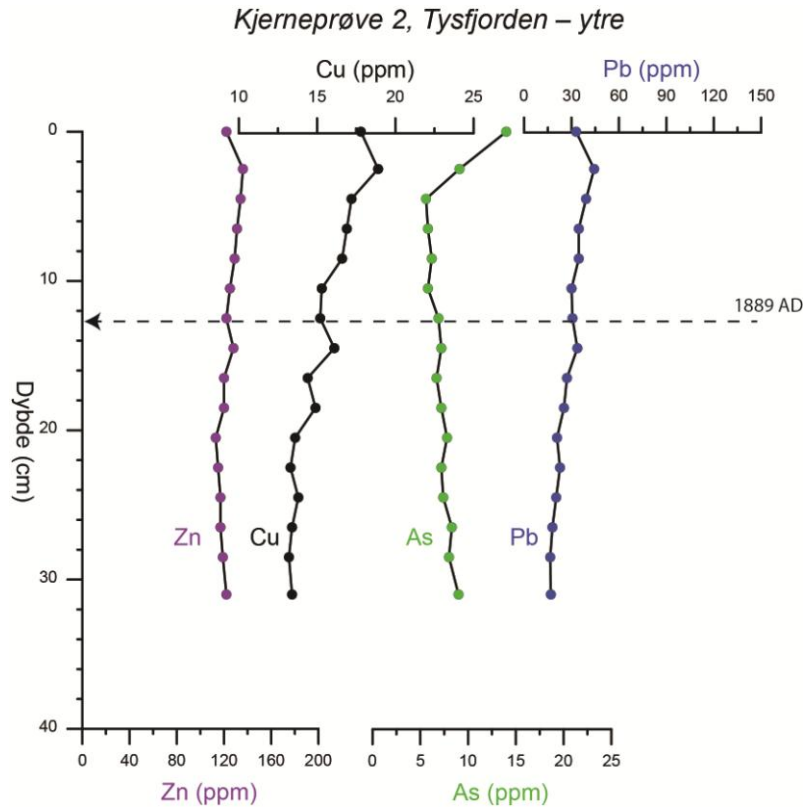
### Kjerneprøve 5, Ofoten – midtre



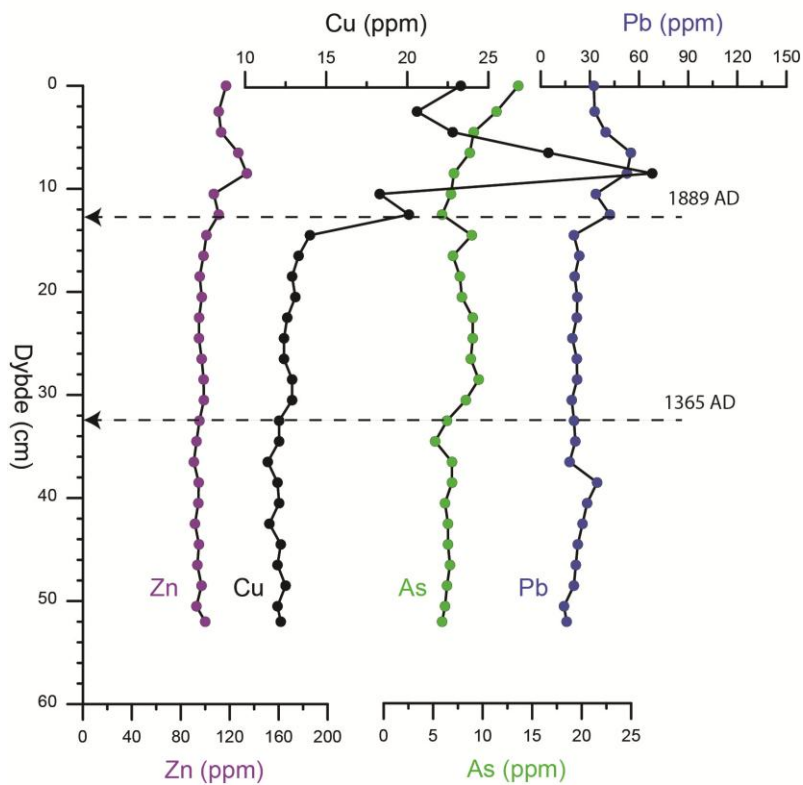
### Kjerneprøve 7, Rombaken



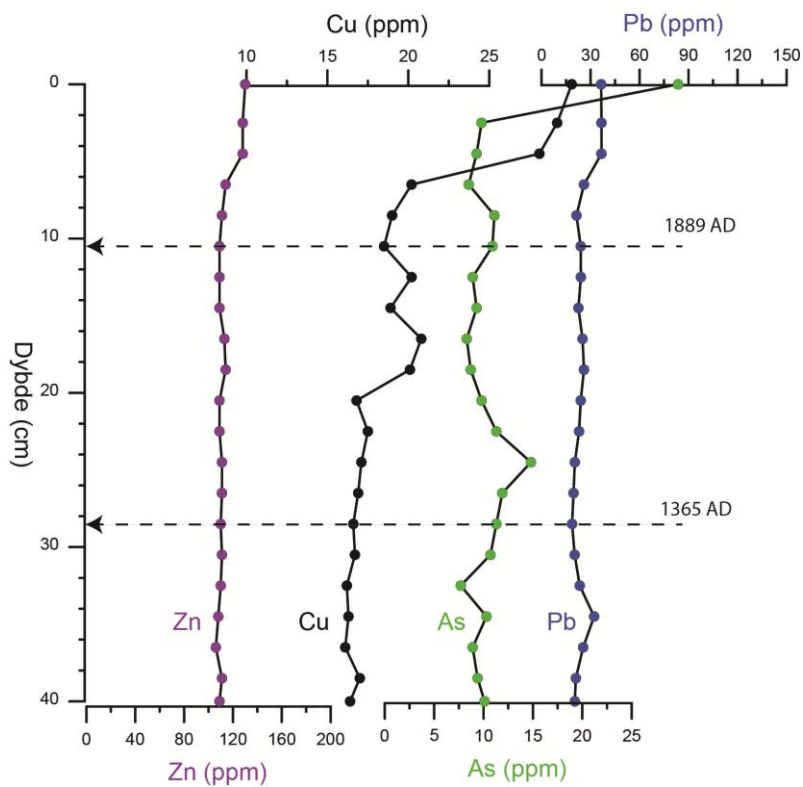
**VEDLEGG 4. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb) og As-profil fra kjerneprøve 2 (Tysfjorden – ytre), 3 (Ofoten – ytre), 6 (Ofoten – indre) og 7 (Rombaken) plottet mot dybde i centimeter. Aldersmarkeringer er korrelerte fra <sup>14</sup>C-datering av organisk materiale i kjerneprøve 1 (Kjøpsvik, år 1365) og 4 (Bogen, år 1889).**



Kjerneprøve 6, Ofoten – indre

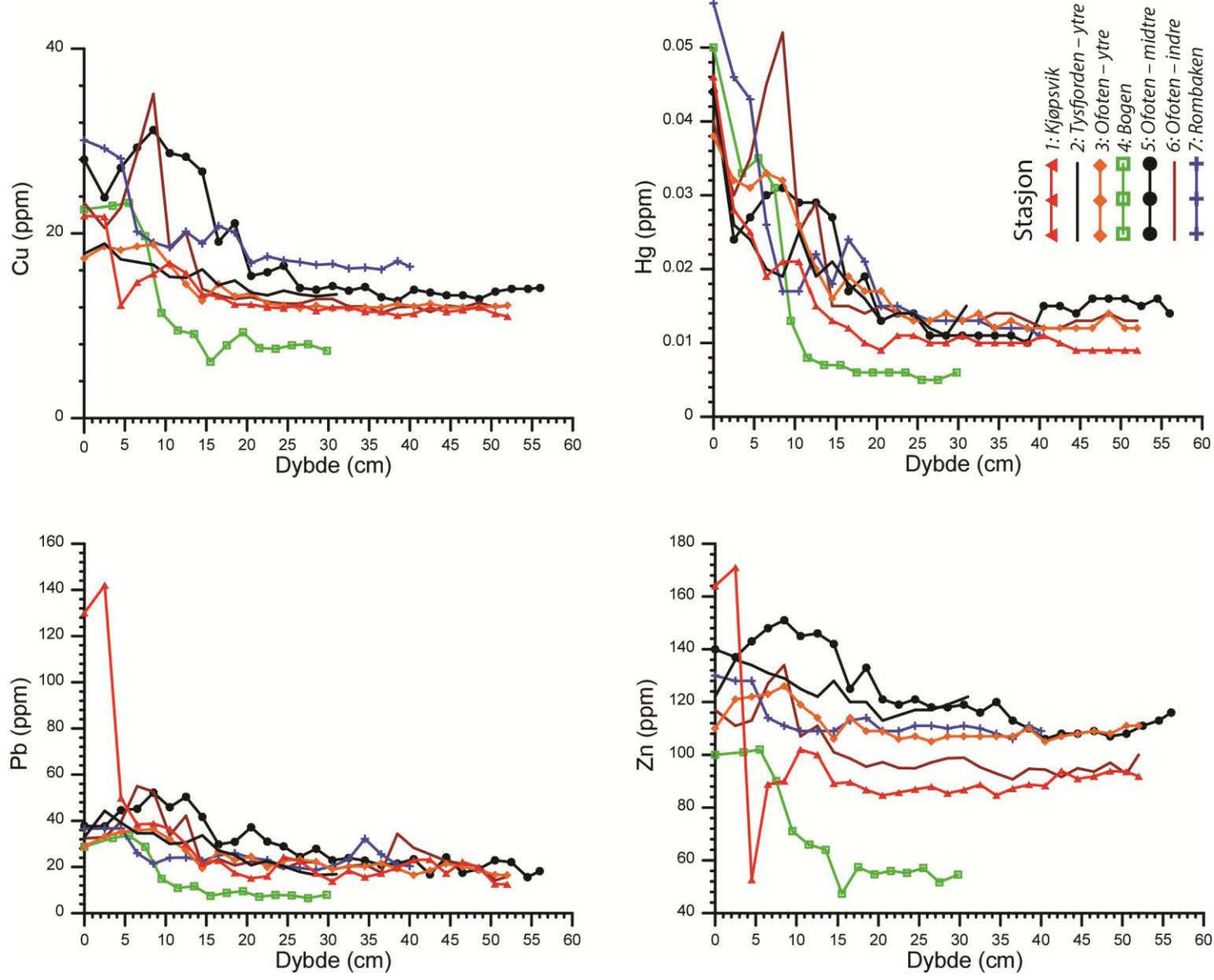


Kjerneprøve 7, Rombaken





VEDLEGG 5. Sammenstilling av profiler av tungmetallene bly (Pb), kobber (Cu), sink (Zn) og kvikksølv (Hg) for alle kjerneprøver i studieområdet, plottet mot dybde i centimeter.







NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39  
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00  
E-post [ngu@ngu.no](mailto:ngu@ngu.no)  
Nettside [www.ngu.no](http://www.ngu.no)