



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



Rapport nr.: 2018.018	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen
Tittel: Miljøgeokjemiske data og dateringsresultater fra MAREANO Øst - MAREANO		
Forfatter: Henning K.B. Jensen, Jochen Knies og Valerie Bellec	Oppdragsgiver: MAREANO	
Fylke:	Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:	Sidetall: 47 Kartbilag: 0	Pris: 185,-
Feltarbeid utført: Oktober - november 2017	Rapportdato: 30.11.2018	Prosjektnr.: 311730 Ansvarlig: Reidulv Bøe <i>Reidulv Bøe</i>
Sammendrag: <p>På MAREANO-tokt med G.O. Sars i oktober - november 2017 ble det tatt sedimentkjerner for miljøundersøkelser på 5 prøvetakingsstasjoner i områdene MAREANO Øst 4 og 5. Analyser av overflatesedimentene viser at arsen (As) har høye konsentrasjoner i Klasse III og Klasse IV, tilsvarende moderat til dårlig tilstand i henhold til Miljødirektoratets klassifisering av kyst- og fjordsedimenter. En enkelt prøve har nikkel (Ni) i tilstandsklasse II (god). For øvrige analyserte metaller omfattende bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg) og sink (Zn) er konsentrasjoner i Klasse I (bakgrunn).</p> <p>Kjemisk analyse ble utført i syv dybdeintervaller på sedimentkjerner fra 3 stasjoner, og 2 av disse kjernene ble igjen datert ved hjelp av ²¹⁰Pb og analysert for innhold av ¹³⁷Cs. Dateringsanalysene vurderes å være av middels kvalitet. Lineære sedimentasjonsrater basert på ²¹⁰Pb-dataene gir sedimentasjonsrater på 1,7 og 1,0 millimeter pr. år for de 2 sedimentkjernene.</p> <p>Arsen er tilstede i høye konsentrasjoner i de øverste 2-5 cm i de analyserte sedimentkjernene, med 4-6 ganger økning i forhold til bakgrunnsnivået dypere i kjernene. En stasjon har arsenkonsentrasjon i klasse IV (71-580 mg/kg sediment), som er dårlig tilstand i henhold til inndelingen for marine overflatesedimenter i kyst og områder. De øvrige 4 prøvene er i klasse III (18-71 mg/kg sediment), tilsvarende moderat forurensede sedimenter. Det er ikke klart hvorvidt økningen i toppen av kjernene er naturlig eller menneskeskapt. Hg og Pb øker i de øverste 10 cm, fra bakgrunnsnivå dypere i kjernene. For de 2 daterte sedimentkjernene skjer denne økning rundt år 1880-1900 (basert på ²¹⁰Pb-datering). Da det bare er 7 prøver per kjerne blir vurdering av når økninger i Pb og Hg finner sted noe mer usikre. De høyere verdiene av Hg og Pb mot toppen av sedimentkjernene tilskrives langtransportert forurensing primært knyttet til havstrømmer eller atmosfærisk transport. Økningen knyttes primært til forbrenning av kull (Hg) og blyholdig bensin (Pb). For alle øvrige metaller og barium er det relativt stabile konsentrasjoner gjennom de 3 analyserte sedimentkjernene. Disse metallene vurderes å være på naturlig bakgrunnsnivå på de tre stasjonene.</p>		
Emneord: Maringeologi	Sediment	Forurensing
Tungmetall	Prøvetaking	MAREANO
Miljø	Geokjemi	Datering

INNHOOLD

1.	INNLEDNING	5
2.	TOKT OG PRØVETAKING	5
3.	DATA OG METODIKK	10
4.	KVALITETSKONTROLL	11
5.	RESULTATER	11
5.1	Sedimentklassifisering og beregning av vektprosent karbonat.....	11
5.2	Overflateprøver (0-1 cm).....	14
5.2.1	Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon, karbonat og svovel.....	14
5.2.2	Innhold av tungmetaller, arsen og barium.....	19
5.3	Analysen av sedimentkjerner	28
5.3.1	Visuell beskrivelse og XRI-analyser	28
5.3.2	Kornstørrelsesfordeling	30
5.3.3	Total organisk karbon, karbonat og svovel	30
5.3.4	Blyisotop 210 (²¹⁰ Pb) datering, ¹³⁷ Cs-målinger og sedimentakkumulasjonsrater.	31
5.3.5	Sedimentasjonsrater.....	37
5.4	Tungmetaller, arsen og barium i to ²¹⁰ Pb-daterte sedimentkjerner og en sedimentkerne uten datering	38
5.5	Arsenkonsentrasjoner i overflatesedimentene og variasjoner i sedimentkjerner	44
5.5.1	Arsen - geografisk fordeling i overflatesedimentene i MAREANO-området	44
5.5.2	Arsenvariasjon i de tre sedimentkjernene fra MAREANO Øst og andre MAREANO-kjerner	44
6.	OPPSUMMERING	45
7.	REFERANSER	46

VEDLEGG (tilgjengelig digitalt ved nedlasting fra www.mareano.no/resultater)

Vedlegg 1. Prøveliste og analyseresultater. Kornstørrelsesfordeling (Coulter), Leco (total S, total C og organisk C), HNO₃-ekstrahert og analysert med AAS (Hg) og ICP-AES (30 elementer). Naturlige standarder Hynne og Nordkyn er inkludert i prøvelistene.

Vedlegg 2. Kart med Cd, Cr, Cu, Zn og ¹³⁷Cs i prøvene tatt ved 0-1 cm dyp i kjerner.

Vedlegg 3. XRI-bilder av sedimentkjerner.

Vedlegg 4. ²¹⁰Pb- og ¹³⁷Cs-analyserapporter fra fem sedimentkjerner. Leverandør av rapporter: Gamma Dating Center, Københavns Universitet, Danmark.

1. INNLEDNING

MAREANO er et nasjonalt program for kartlegging av havbunnen. De første sedimentprøvene for kartlegging av miljøstatus ble samlet inn i 2006. Resultater av målinger av uorganiske miljøgifter på kjerner tatt i perioden 2006-2017 er rapportert tidligere (rapporter og kart er tilgjengelige på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>).

Sedimentkjerner fra 5 stasjoner i Mareano Øst (Fig. 1a og 1b) er analysert for innhold av tungmetaller, arsen, barium, kornstørrelse, total organisk karbon, total karbon og total svovel. To utvalgte sedimentkjerner er i tillegg datert (^{210}Pb og ^{137}Cs). Sedimentkjerner er også undersøkt med røntgen (XRI) for å studere strukturer i sedimentene.

2. TOKT OG PRØVETAKING

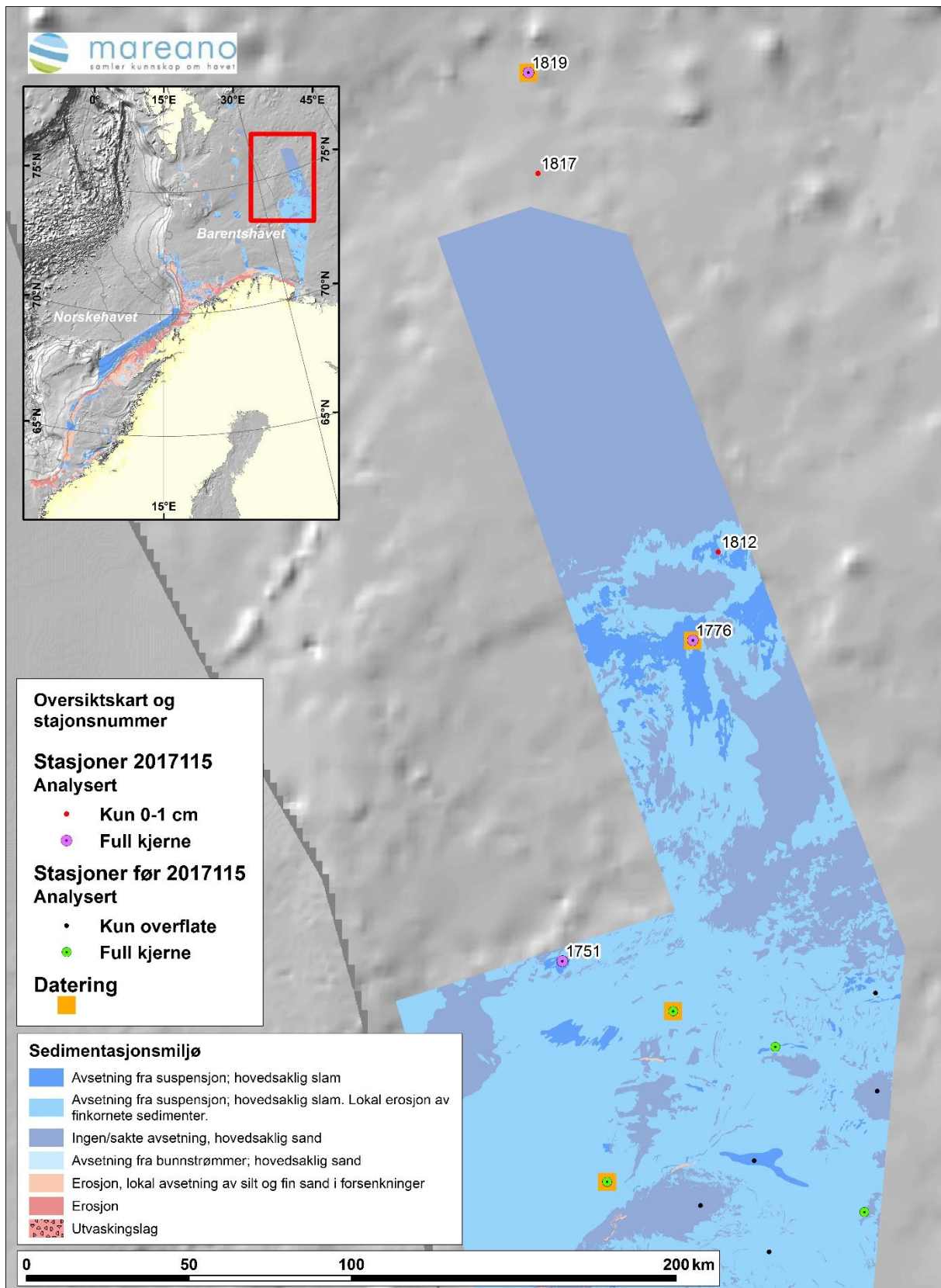
På toktet i oktober 2017 ble det tatt prøver på 5 stasjoner i Barentshavet i området MAREANO Øst 4 og 5. Tabell 1 gir en oversikt over havdyp, geografiske posisjoner og lengde på sedimentkjernene samt antall prøver tatt ut til analyse fra hver stasjon. Prøvetakingsutstyret består av en multicorer som har seks PVC-rør med 106 millimeter indre diameter og 60 cm lengde (Figur 2, 3 og 4).

Tabell 1a. Prøvetakingsstasjoner.

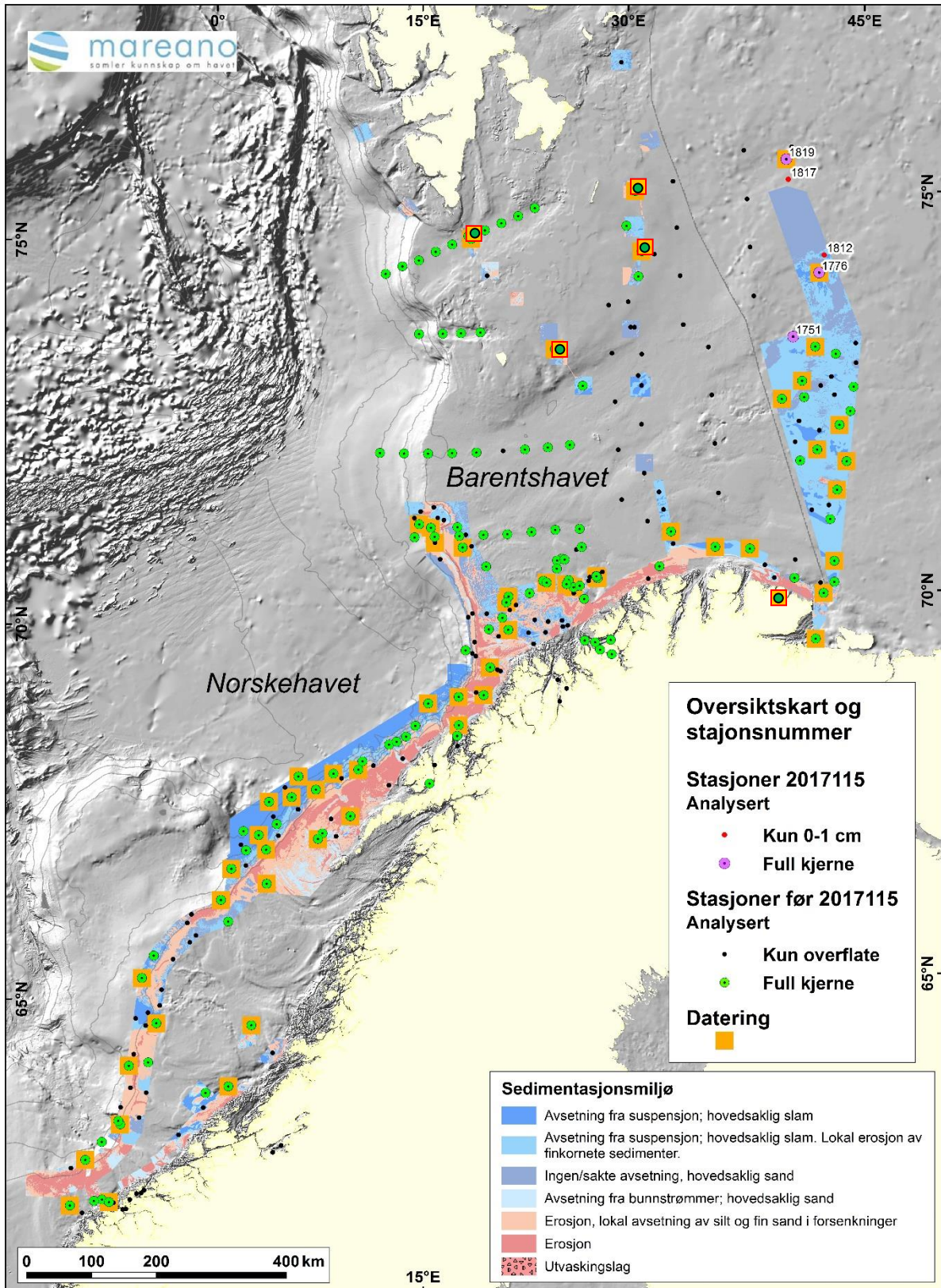
Stasjon	Område	Geografiske koordinater (WGS 84)		Havdyp [m]	Prøvetaking utstyr
		Nord	Øst		
R1751MC006	MAREANO Øst 4	73.96867	33.77567	334,3	Multicorer
R1776MC008	MAREANO Øst 4	74.68233	36.10317	264,7	Multicorer
R1812MC009	MAREANO Øst 4	74.88500	36.67767	204,4	Multicorer
R1817MC010	MAREANO Øst 5	76.03267	36.31150	246,3	Multicorer
R1819MC011	MAREANO Øst 5	76.30100	36.62150	272,7	Multicorer

Tabell 1b. Prøvetakingsstasjoner med analyserte sedimentprøver. Kjerner analysert for ^{210}Pb og ^{137}Cs (+). Kjerner ikke analysert for ^{210}Pb og ^{137}Cs (÷)

Stasjon	Prøvetaking utstyr	Kjernelengde [cm]	Antall prøver til kjemisk analyse	Datering (Pb^{210} og Cs^{137})
R1751MC006	Multicorer	39	7	÷
R1776MC008	Multicorer	35	7	+
R1812MC009	Multicorer	33	1	÷
R1817MC010	Multicorer	24	1	÷
R1819MC011	Multicorer	32	7	+



Figur 1a. Detaljkart som viser de 5 stasjonene fra tokt 2017115 i MAREANO Øst 4 og 5. Bakgrunnskart er under utarbeidelse i prøvetakingsområdet for R1817 og R1819.



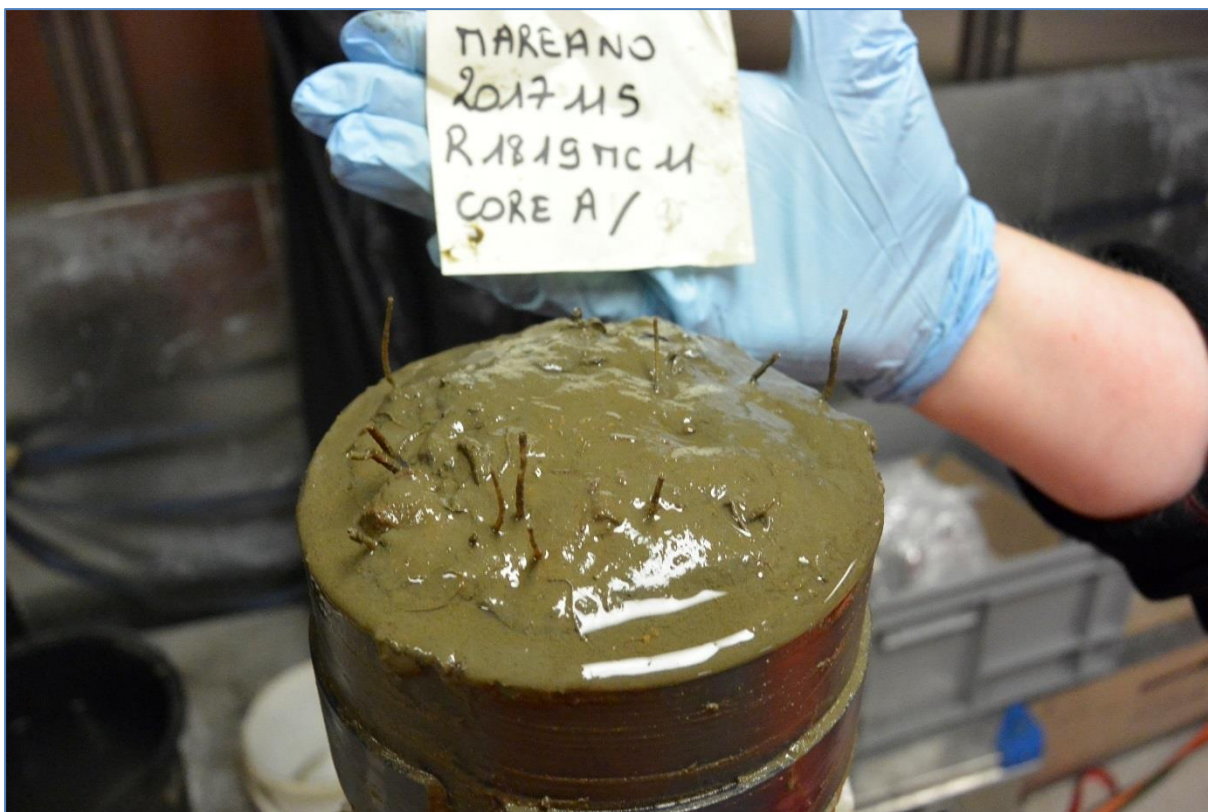
Figur 1b. Kart over alle MAREANOs prøvetakingsstasjoner i perioden 2006-2017, inkludert stasjoner prøvetatt i 2003 og 2004. Stasjonene fra tokt 2017115 er markert med stasjonsnummer. Bakgrunnskart er under utarbeidelse i prøvetakingsområdet for R1817 og R1819.



Figur 2. Sedimentkjerne i multicorer fra stasjon R1819, MAREANO Øst 5.



Figur 3. Sedimentkjerne A fra stasjon R1819MC011 tatt med multicorer fra MAREANO Øst. Lengden på sedimentkjernen er 32 cm ifølge dekksluggen.



Figur 4. Toppen av sedimentkjerne A fra stasjon R1819MC011, før sedimentkjernen deles opp i 1cm skiver. De øverste centimeterne i sedimentkjernen har høyt vanninnhold.

Kornstørrelsesanalyse av denne sedimentkjerne viser at toppen består av sandholdig silt.

3. DATA OG METODIKK

Det ble gjennomført skiving av kjerner ombord for hver centimeter. Prøvetakingsrøret har en indre diameter på 106 mm. Sedimentkjernen ble presset ut av røret v.h.a. et stempel. Figur 5 viser toppen av en sedimentkjerne som blir presset ut, klar for å ta en sedimentprøve (0-1 cm). Prøvene ble pakket i polyetylenposer med ziplås før innfrysing til $\pm 18^{\circ}\text{C}$.

Ved NGU Lab ble frysetørring og uttak til følgende analyser gjennomført:

- Bestemmelse av organisk karbon (TS, TC og TOC) ved hjelp av Leco.
- Innvekt 1,0 g til 7M HNO₃-ekstraksjon etter NS 4770 for påfølgende analyse med ICP-AES og CV-AAS. Hg-analysene ble gjort ved et eksternt laboratorium.

Resultatene er rapportert som mg/kg tørrvekt sediment.

Det er brukt varierende prøvemengde for våtsikting med sikteåpning 16, 8, 4, 2 og 1 mm, samt 500, 250, 125 og 63 μm (avhengig av antatt kornstørrelsesfordeling). Fraksjonen mindre enn 2 mm er så analysert for kornstørrelse med Coulter laserdiffraksjon, slik at kornfordelingskurve kan beregnes for kornstørrelse ned til 0,4 μm . Vedlegg 1 gjengir

analyserapporten fra NGU Lab i sin helhet. Prøver til dateringsanalyse ble tatt ut fra samme sedimentkjerner som prøvene til uorganisk kjemiske analysene nevnt ovenfor.

Røntgen-scanning av sedimentkjerner er utført med XRI. XRI-utstyret er et Geotek-instrument med tilhørende programvare, som med røntgenstråler gjør det mulig å se gjennom sedimentkjernene og på den måten få et inntrykk av om det finnes sedimentære strukturer, bioturbasjon, skjell eller større sedimentære partikler som grus. XRI danner grunnlag for utvelgelse av sedimentkjerner som skal analyseres geokjemisk.

4. KVALITETSKONTROLL

Analysene ved NGU-Lab er gjennomført i henhold til akkrediterte metoder. Dateringsanalysene (^{210}Pb og ^{137}Cs) er ikke akkrediterte, men er etablerte metoder ved Gamma Dating Center presentert i vitenskapelige artikler (Andersen, 2017). Tabell 2 oppsummerer analytiske metoder, analyseusikkerhet og -presisjon for parametrene vist i rapporten og som kart. De samme parametrene, i tillegg til flere elementer fra ICP-AES analysen som ikke rapporteres, kan ses i Vedlegg 1.

For kvalitetskontroll av de uorganiske kjemiske analysene er det satt inn sedimentprøver fra Trondheimsfjorden (Hynne) og en standardprøve fra Nordkyn i Finnmark i prøvesettet. Det er gjennomført i alt 3 parallelle analyser av hver av de to innsatte sedimentprøvene. Analyseresultatene er presentert sammen med de øvrige resultatene i Vedlegg 1.

5. RESULTATER

Geokjemiske data fra samtlige analyser finnes i Vedlegg 1 og 2. I de fleste sammenhenger benyttes konsentrasjonsenheten mg/kg bortsett fra for TOC, TC, TS, som oppgis i vektprosent, og for ^{210}Pb og ^{137}Cs . For å kunne operere med statistikk og kart for alle observasjoner er alle analyseresultater rapportert "< deteksjonsgrense" satt til verdien $0,5 \times$ deteksjonsgrensen for det gjeldende stoff.

5.1 Sedimentklassifisering og beregning av vektprosent karbonat

NGU har etablert en sedimentklassifisering (Bøe m. fl., 2010), som revideres ved behov. Deler av sedimentklassifiseringen relevant i MAREANO-sammenheng er presentert i Tabell 3.

Tabell 2. Oversikt over analytiske metoder, kvalitetssikring og akkreditering.

Parameter	Instrument	Akkreditering	Analytisk usikkerhet	Nedre deteksjonsgrense
Opparbeiding av prøver til analyser: Frysetørker FreeZone 6L med FreeZone Bulk Tray Dryer (BTD) fra Labconco (- 55 grd), med Vacuubrand RC-6 pumpe. Er akkreditert.				
Sedimentkarakteristikk - analysemetoder				
Total karbon (TC)	Leco SC-632	Ja	±15 %	0,06
Total organisk karbon (TOC)	"	Ja	±25 %	0,1
Total svovel (TS)	"	Ja	±30 %	0,02
Kornstørrelsesanalyse	Coulter LS 13320	Ja	±10 %	Ikke angitt
Kornstørrelsesanalyse	Våtsikting	ja	±0,1 gr	Ikke angitt
Opparbeiding av prøver til kjemiske elementanalyser: Syreekstraksjon i 7M HNO ₃ 1,0 g i 100 ml analysevolum i autoklav etter norsk standard NS4770				
As	ICP-AES: Perkin Elmer Optima 4300 Dual View	Ja	±20 %	2,0 mg/kg
Ba	"	ja	±10 %	1,0 mg/kg
Cd	"	ja	±25 %	0,1 mg/kg
Cr	"	ja	±10 %	1,0 mg/kg
Cu	"	ja	±10 %	1,0 mg/kg
Ni	"	ja	±10 %	1,0 mg/kg
Li	"	ja	±10 %	0,5 mg/kg
Pb	"	ja	±10 %	1,0 mg/kg
Zn	"	ja	±15 %	1,0 mg/kg
Se	"	ja	±50 %	10 mg/kg
Sn	"	ja	±50 %	10 mg/kg
Hg	FIMS 100 Flow Injection Mercury System fra Perkin Elmer	ja	±20 %	0.002 mg/kg
²¹⁰ Pb	Canberra ultralow-background Ge-detector	Nei	Ikke relevant	Ikke relevant
¹³⁷ Cs	"	Nei	Ikke relevant	Ikke relevant

Tabell 3. Sedimentklassifisering og kornstørrelser. Klassifiseringen er i henhold til NGUs sedimentklassifisering.

Kornstørrelse	Definisjon/beskrivelse
Leir	Leir:silt > 2:1 og leir+silt > 90 %, sand < 10 %, grus < 2%
Organisk slam	Leir:silt fra 1:2 til 2:1 og leir+silt > 90 %, sand < 10 %, grus < 2 %. Høyt innhold av organisk material
Slam	Leir:silt fra 1:2 til 2:1 og leir +silt > 90 %, sand < 10%, grus < 2%.
Sandholdig leir	Leir+silt > 2:1 og leir+silt > 50 %, sand < 50 %, grus < 2 %.
Sandholdig slam	Leir:silt = fra 1:2 til 2:1 og leir+silt > 50%, sand < 50%, grus < 2%.
Silt	Leir:silt < 1:2 og leir+silt > 90 %, sand < 10%, grus < 2 %.
Sandholdig silt	Silt:leir >2:1 og leir+silt > 50 %, sand < 50 %, grus < 2 %.
Leirholdig sand	Sand > 50 %, leir:silt > 2:1 og leir+silt < 50 %, grus < 2 %.
Slamholdig sand	Sand > 50 %, leir:silt = fra 1:2 til 2:1 og leir+silt < 50 %, grus < 2 %.
Siltholdig sand	Sand > 50 %, silt:leir > 2:1 og leir+silt < 50 %, grus < 2 %.
Fin sand	Sand > 90 %, inkluderer fin og veldig fin sand (Wentworth, 1922).
Sand	Sand > 90 %, leir+silt < 10 %, grus < 2 %.
Grov sand	Sand > 90 %, inkluderer medium, grov og veldig grov sand (Wentworth, 1922).
Grusholdig slam	Sand:silt+leir < 1:9, grus 2 – 30 %.
Grusholdig sandholdig slam	Sand:silt+leir fra 1:9 til 1:1, grus 2 – 30 %.
Grusholdig slamholdig sand	Sand:silt+leir fra 1:1 til 9:1, grus 2 – 30 %.
Grusholdig sand	Sand:silt+leir > 9:1, grus 2 – 30 %.
Slamholdig grus	Grus 30 – 80 %, sand:silt+leir < 1:1.
Slamholdig sandholdig grus	Grus 30 – 80 %, sand:silt+leir fra 1:1 til 9:1.
Sandholdig grus	Grus 30 – 80 %, sand:silt+leir > 9:1.
Grus	Grus > 80 %.
Grus, stein og blokk	Dominans av grus, stein og blokk.
Stein og blokk	Dominans av stein og blokk.
Sand og blokk	Dominans av sand og blokk.
Diamikton	Sediment med blandede kornstørrelser og dårlig sortering.

Innholdet av karbonat i sedimentene beregnes fra analyser med LECO, og gjøres ut fra antakelsen om at karbon (C) som ikke er av organisk opprinnelse er bundet i karbonat (CaCO₃). Karbonatverdiene i vektprosent beregnes fra følgende formel:

$$(TC - TOC) \times (CaCO_3/C) = (TC - TOC) \times 8,33$$

TC er innholdet av totalt karbon, mens TOC er innhold av total organisk karbon.

Karbonat i sedimentene antas å ha opprinnelse i biologisk materiale – i hovedsak skjell fra mikroorganismer og større bunnlevende dyr, for eksempel foraminiferer, kråkeboller og koraller.

5.2 Overflateprøver (0-1 cm)

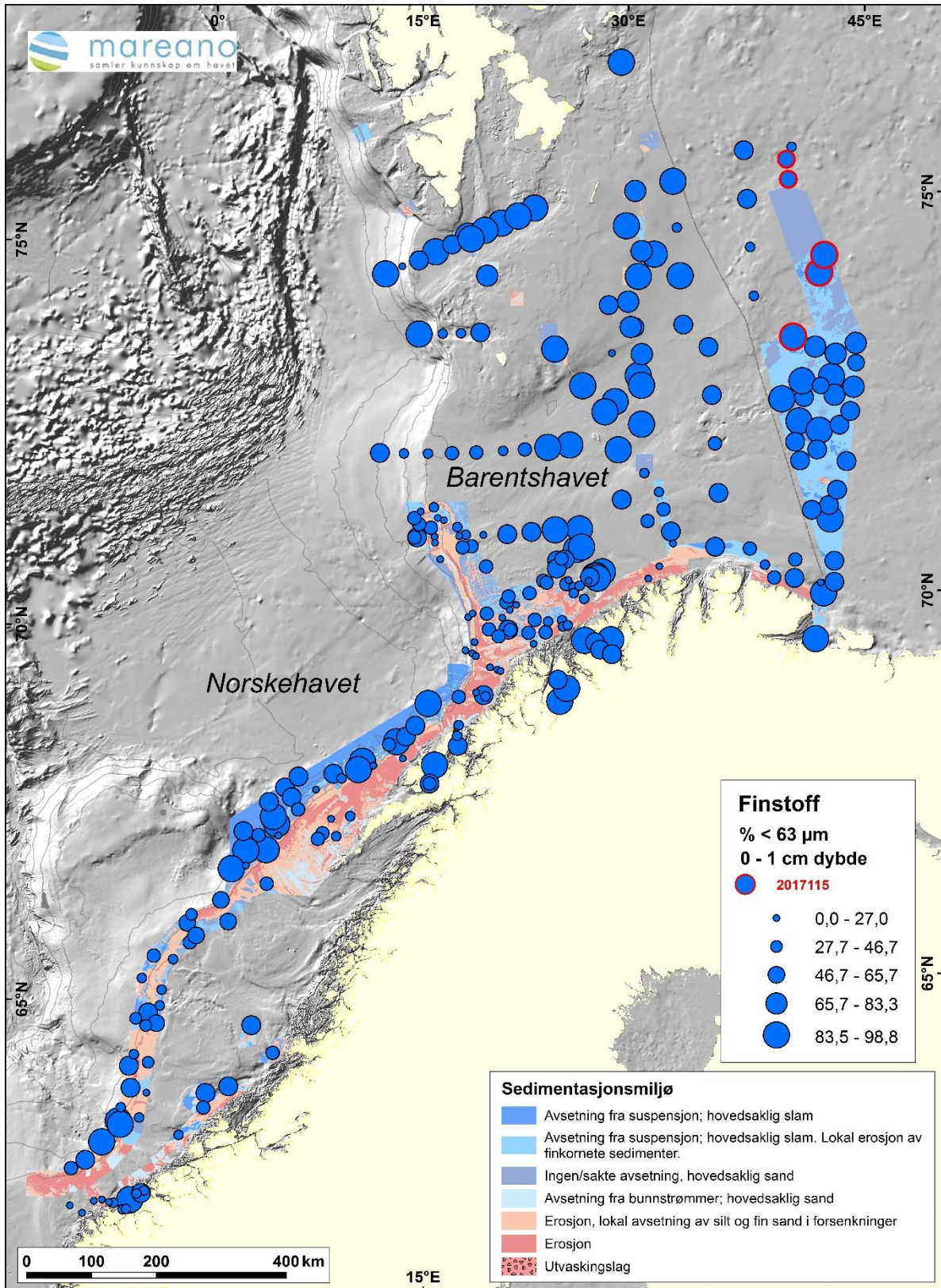
De geokjemiske resultatene for overflateprøvene (0-1 cm) rapporteres for å gi oversikt over dagens miljøtilstand. Parametrene som presenteres her er sedimentenes finstoffandel (leir + silt), innhold av TOC, innhold av karbonat og innholdet av tungmetallene kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn), samt elementene arsen (As) og barium (Ba). Kart for de nevnte parametrene finnes i Vedlegg 2. Videre rapporteres radioaktiv ^{137}Cs , som er analysert i forbindelse med dateringsanalysene utført på sedimentkjerner fra to utvalgte stasjoner (Tabell 1b).

5.2.1 Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon, karbonat og svovel

I utgangspunktet er prøvetaking for miljøanalyser gjennomført i områder med finkornige sedimenter. De fleste prøvetakingsstasjonene er valgt ut før tokt på bakgrunn av blant annet multistråldata (dybde og bunnreflektivitet). Metodikken for geologisk havbunnskartlegging er gitt i Bøe m. fl. (2010) og Bellec m. fl. (2017). Prøvetaking planlegges der en forventer at det avsettes slamholdige sedimenter, typisk i dype områder eller områder med reduserte/svake havstrømmer. Andel finstoff ($<63\mu\text{m}$) i overflateprøvene er vist i Figur 6. Tabell 3 viser sedimentklassifikasjonen som er brukt for beskrivelse av overflateprøvene.

Tabell 4 viser kornstørrelsesfordelingen for overflateprøvene for de 5 stasjonene. En enkelt av de 5 stasjonene, R1817, har sedimenter i grusfraksjonen ($>2\text{ mm}$), og ble derfor også analysert med våtsikting.

Tre av de fem prøvene består av sandholdig silt (Tabell 4). Figur 5 viser andel finstoff i prøvene. En enkelt prøve R1776 består av silt, mens prøven fra R1817 består av grusholdig sandholdig silt. R1776 har dermed den mest finkornete sedimentsammensetningen og R1817 har den mest grovkornete sedimentsammensetningen. Det er mer finkornete sedimenter i de tre sørligste prøvene og mer grovkornet i de to nordligste prøvene (Figur 5). Forekomst av grus i R1817 kan tyde på at den består av glasiomarine sedimenter.



Figur 5. Andel finstoff (<math>< 63 \mu\text{m}</math>) i overflateprøvene. Prøvene fra tokt 2017115 lengst nordøst på kartet er markert med rød ring.

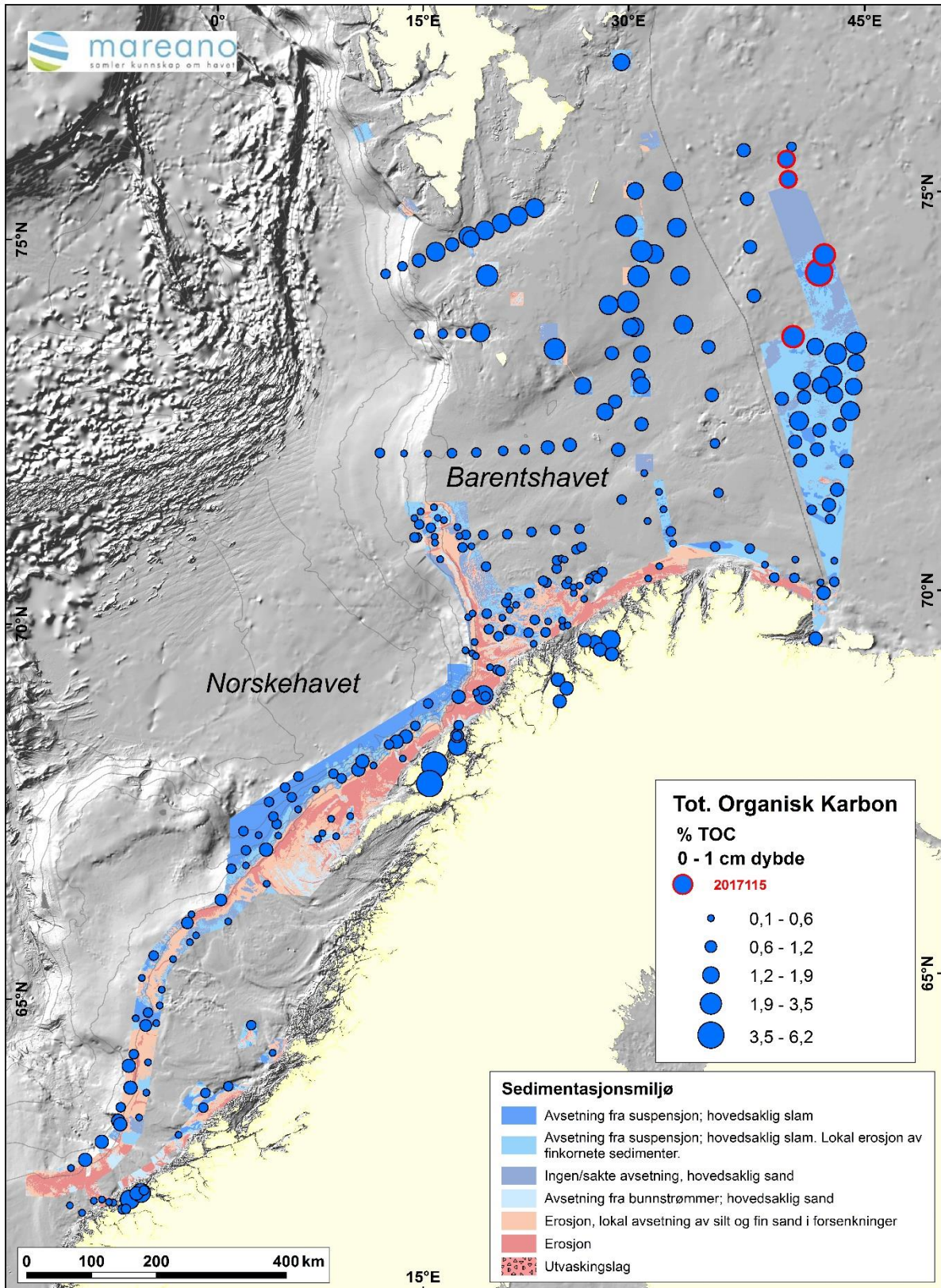
Tabell 4. Kornstørrelsesfordeling¹ og sedimentklassifisering for overflateprøvene (0-1 cm dybde) basert på Coulter-analyser og våtsikting.

Stasjon	Område	Leir < 2 µm [%]	Silt 2- 63 µm [%]	Finstoff <63µm [%]	Sand 63-2000 µm [%]	Grus >2000 µm [%]	NGU sediment Klassifisering
R1751MC006	MAREANO Øst	9,4	76,2	85,6	14,4	0	Sandholdig silt
R1776MC008	MAREANO Øst	10,6	85,1	95,7	4,3	0	Silt
R1812MC009	MAREANO Øst	7,2	80,3	87,5	12,5	0	Sandholdig silt
R1817MC010	MAREANO Øst	6,4	50,5	56,9	32,7	10,4	Grus og sandholdig silt
R1819MC011	MAREANO Øst	7,7	57,3	65,0	35,0	0	Sandholdig silt

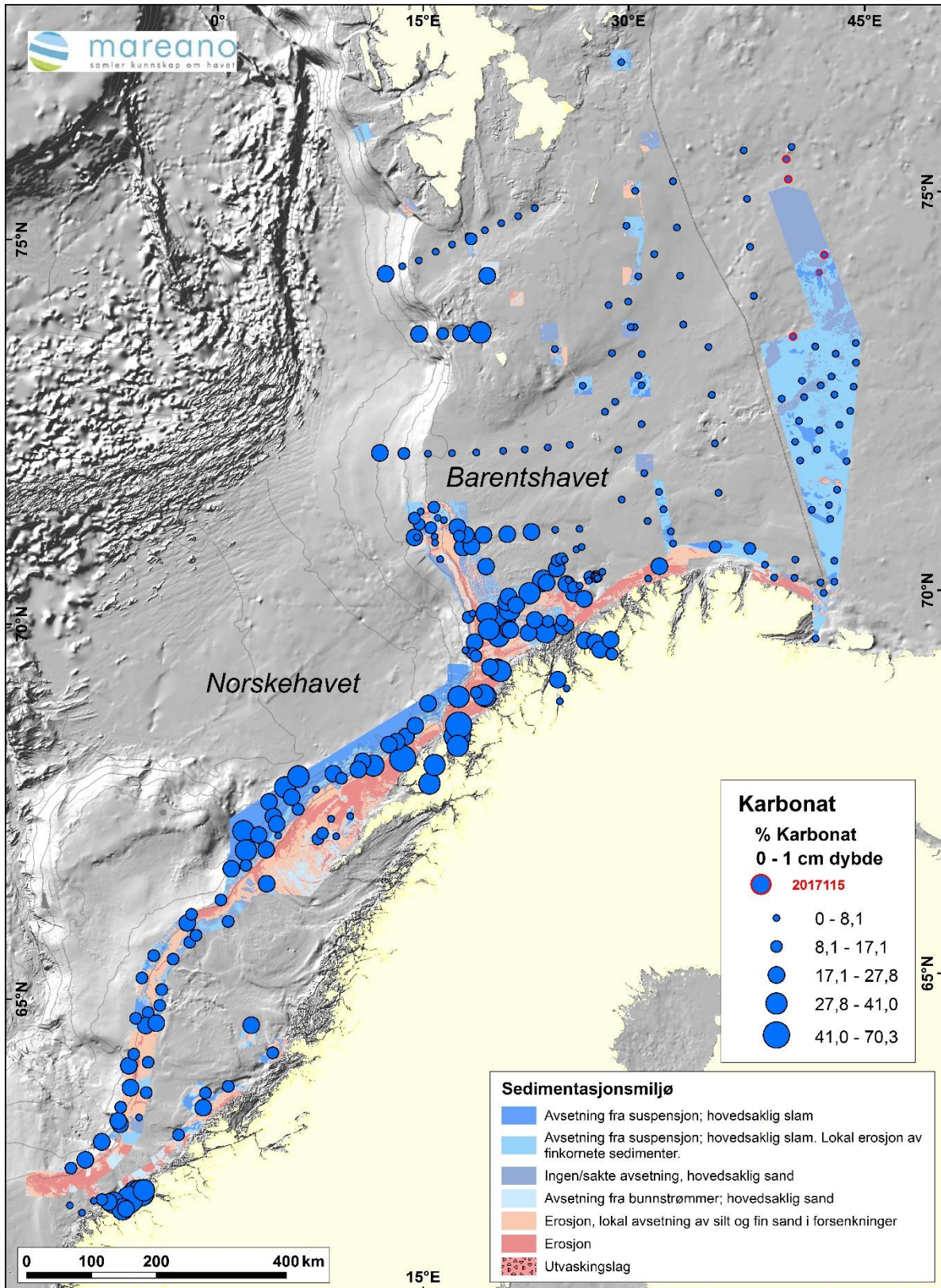
¹ Det er viktig å merke seg at kornfordelingsanalyse med Coulter gir mye lavere leirinnhold og høyere siltinnhold enn andre tradisjonelle metoder for kornfordelingsanalyse (Rise og Brendryen 2013).

Total organisk karbon (TOC) er presentert i Figur 6. De 5 prøvene har TOC fra 1,9 (R1819 lengst mot nord) til 3,6 vektprosent (R1776) (Figur 6). R1751 og R1812 har TOC på 2,1 og 2,7 vektprosent. TOC er lavere i de to nordligste prøvene (R1817 og R1819) sammenlignet med prøvene fra de tre sørligste stasjonene. Det kan ha sammenheng med forskjeller i andel finstoff, som er høyere i de sørligste prøvene (R1751, R1776 og R1812).

De fem stasjonene fra MAREANO Øst har generelt lave innhold av karbonat, varierende fra 0 til 2,5 vektprosent (Figur 7). Den generelt lave andelen karbonat kan forklares enten med at kalkskallene løses opp når organismene dør eller alternativt kan det skyldes at det finnes færre kalkdannende organismer i disse havområdene sammenlignet med havområdene lengre mot sør i Barentshavet og Norskehavet (Figur 7) (Steinsund og Hald, 1993).



Figur 6. TOC i overflateprøver. Prøvene fra toktet 2017115 lengst nordøst på kartet er markert med rød ring.



Figur 7. Innhold av karbonat i overflateprøver (vektprosent). Prøvene fra toktet 2017115 lengst nordøst på kartet er markert med rød ring.

5.2.2 Innhold av tungmetaller, arsen og barium

Det er analysert for tungmetallene bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), sink (Zn), samt arsen (As) i overflateprøvene fra de 14 prøvetakingsstasjonene. Tungmetall- og arsenkonsentrasjonene i sedimentprøvene er sammenlignet med Miljødirektoratets klassifikasjonssystem for forurensingsnivåer i sedimenter i kyst- og fjordområder (Molvær m. fl., 1997; SFT, 2007) og nå sist justert i 2014 (Arp m. fl., 2014). Her er det skjedd noen justeringer for en rekke metaller og arsen. Justeringene i grenseverdiene medfører også at metallkonsentrasjonskartene blir justert i forhold til de nye grenseverdiene. Klassifikasjonssystemet er delt inn i følgende klasser:

Klasse I: bakgrunn; Klasse II: god; Klasse III: moderat; Klasse IV: dårlig; Klasse V: svært dårlig

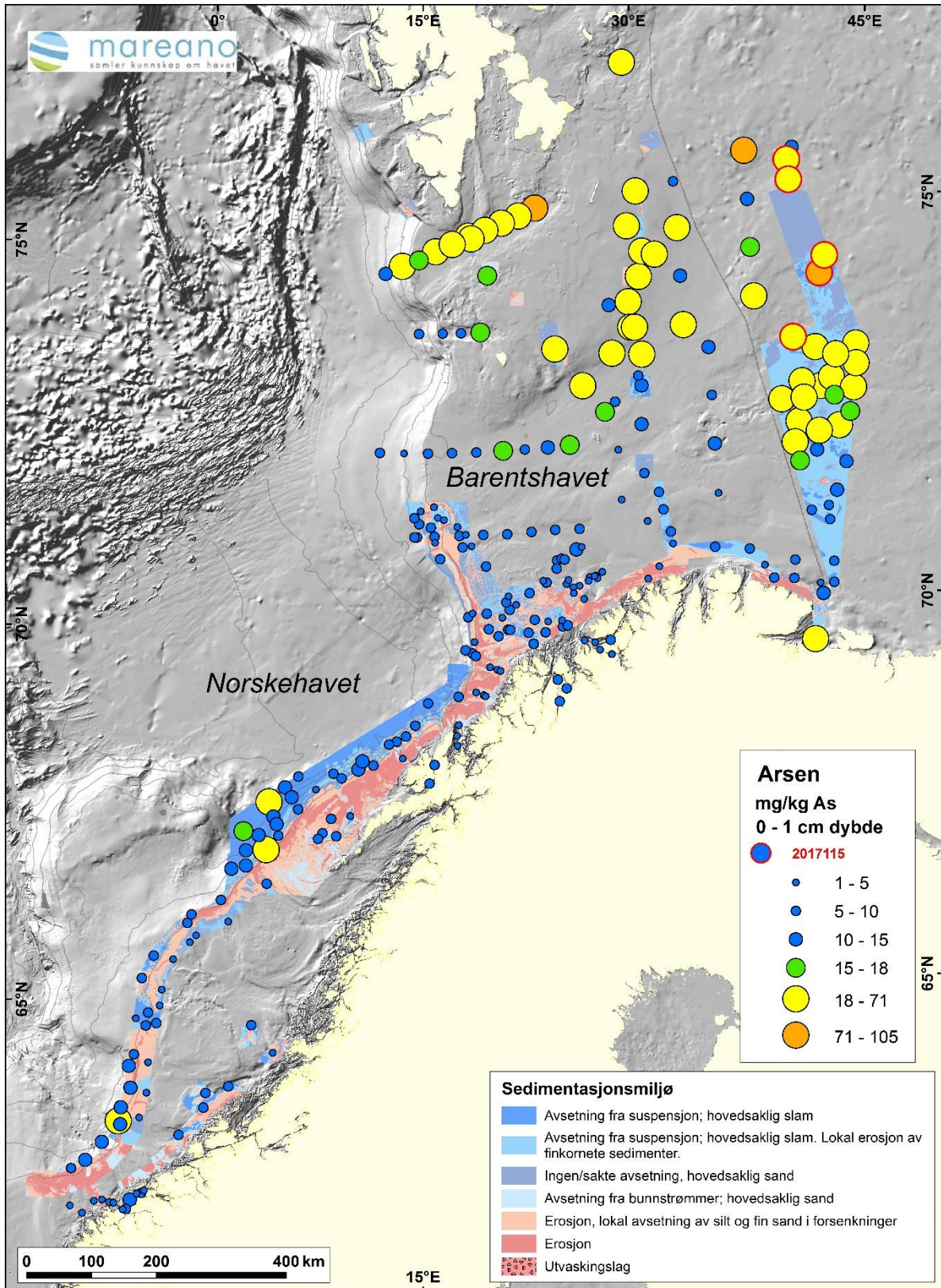
Barium (Ba) er også inkludert selv om Ba ikke er et toksisk element. Olsgård og Gray (1995) og Rye (1996) har rapportert om utslipp av barytt fra norsk offshorevirksomhet i Nordsjøen. Ba i sedimenter i Skagerrak er rapportert, og de forhøyede verdiene øverst i havbunnen er tolket som tilførsel av barium fra boreslam brukt i Nordsjøen og transportert med havstrømmer til Skagerrak (Sæther m. fl., 1996; Thorsnes og Klungsøyr, 1997; Lepland m. fl., 2000). Dehairs m. fl. (1980) og Nuernberg m. fl. (1997) beskriver andre prosesser for forekomst av Ba i sedimenter: det dannes små baryttkrystaller i mikronisjer i organisk materiale som brytes ned i vannsøylen, spesielt i områder med høy biologisk produktivitet. Kart som viser konsentrasjoner av tungmetallene, arsen og barium i overflatesedimentene finnes også i Vedlegg 3. Radioaktivt ^{137}Cs blir rapportert for overflatesedimentene. ^{137}Cs blir analysert sammen med den radioaktive ^{210}Pb -isotopen, som brukes for datering av sedimentkjerner (avsnitt 5.3.4).

Arsen (As)

Prøvene varierer fra 22,3 – 79,5 mg/kg sediment. Fire av de fem prøver (Figur 8) har 22,3-53,5 mg/kg sediment er dermed i Miljødirektoratets Klasse III (18-71 mg/kg) tilsvarende moderat forurensingstilstand. Prøven fra R1776 med en As-konentrasjon på 79,5 mg/kg sediment er i Klasse IV (71-580 mg/kg sediment), tilsvarende dårlig tilstand. Arsen konsentrasjonene fra de 5 analyserte prøvene passer inn i det større regionale bildet med høye konsentrasjoner nord i Barentshavet (Figur 8). De høye As-nivåer i overflatesedimentene blir diskutert nærmere i kapittel 5.5.

Bly (Pb)

Prøvene varierer fra 9,1 til 15,9 mg/kg, med høyeste konsentrasjon på stasjon R1817 (Figur 9). Samtlige 5 sedimentprøver har Pb-konsentrasjoner i Klasse I for kyst- og fjordsedimenter (Klasse I: <25 mg/kg).



Figur 8. As-konsentrasjon i overflateprøver (0-1 cm). Grønne punkt angir tilstandsklasse II (15-18 mg/kg). Gule punkt angir Klasse III (18-71 mg/kg). Oransje punkt angir Klasse IV (71-580 mg/kg). Prøvene fra tokt 2017115 lengst nordøst på kartet er markert med rød ring.

Kadmium (Cd)

Prøvene har lave kadmiumkonsentrasjoner eller er under deteksjonsgrensen på 0,1 mg/kg. Fire prøver har Cd-konsentrasjoner varierende fra 0,13 – 0,17 mg/kg sediment, mens 1 en prøve er under deteksjonsgrensen på 0,1 mg/kg sediment. Samtlige prøver er i Klasse I tilsvarende bakgrunn for kyst- og fjordsedimenter (<0,25 mg/kg).

Kobber (Cu)

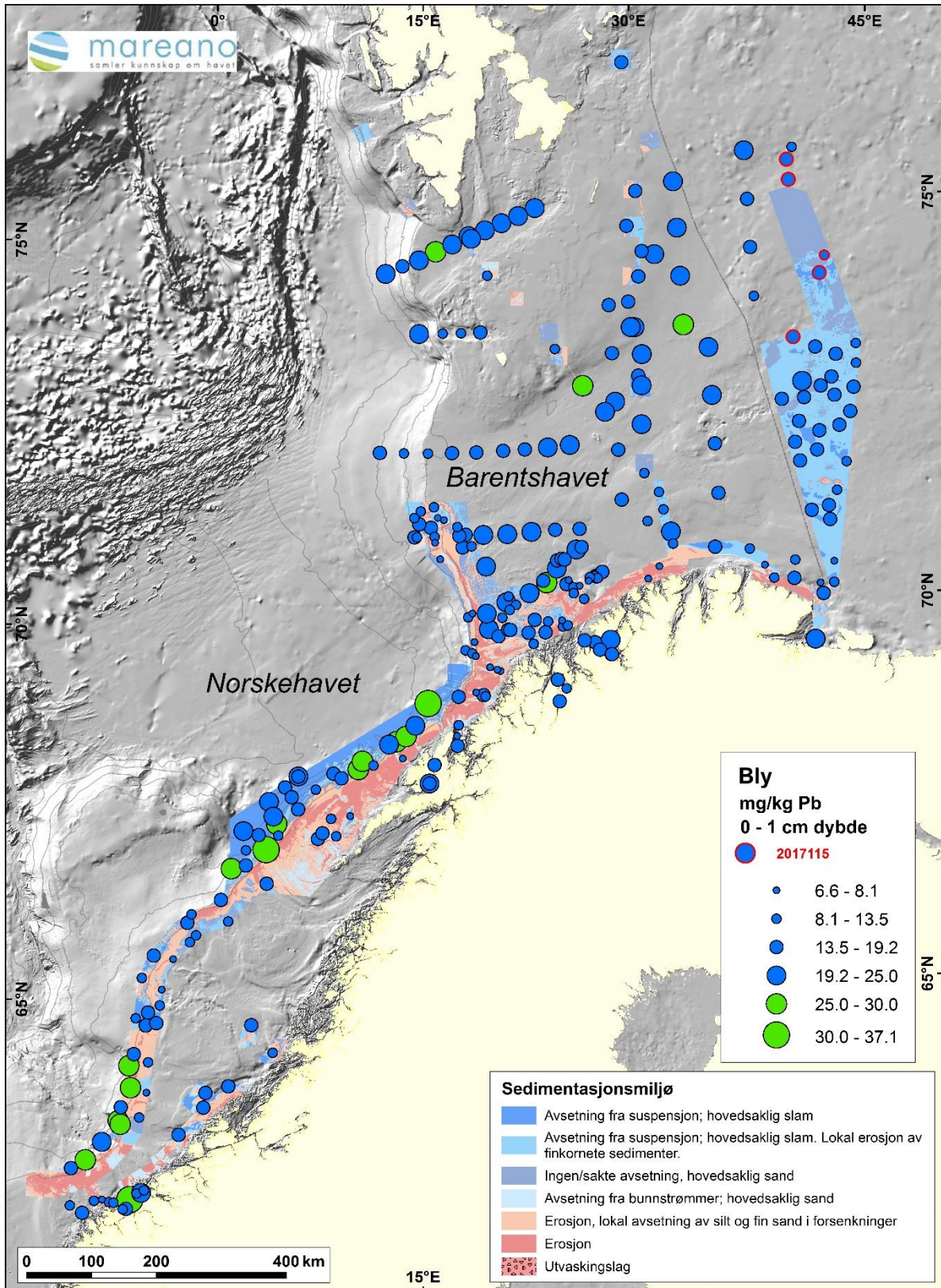
De fem prøvene har Cu-konsentrasjoner varierende fra 13,1 til 19,6 mg/kg med høyest konsentrasjon i R1776. Samtlige 5 overflateprøver har konsentrasjoner i Klasse I – bakgrunn for kyst og fjordsedimenter (<20 mg/kg).

Krom (Cr)

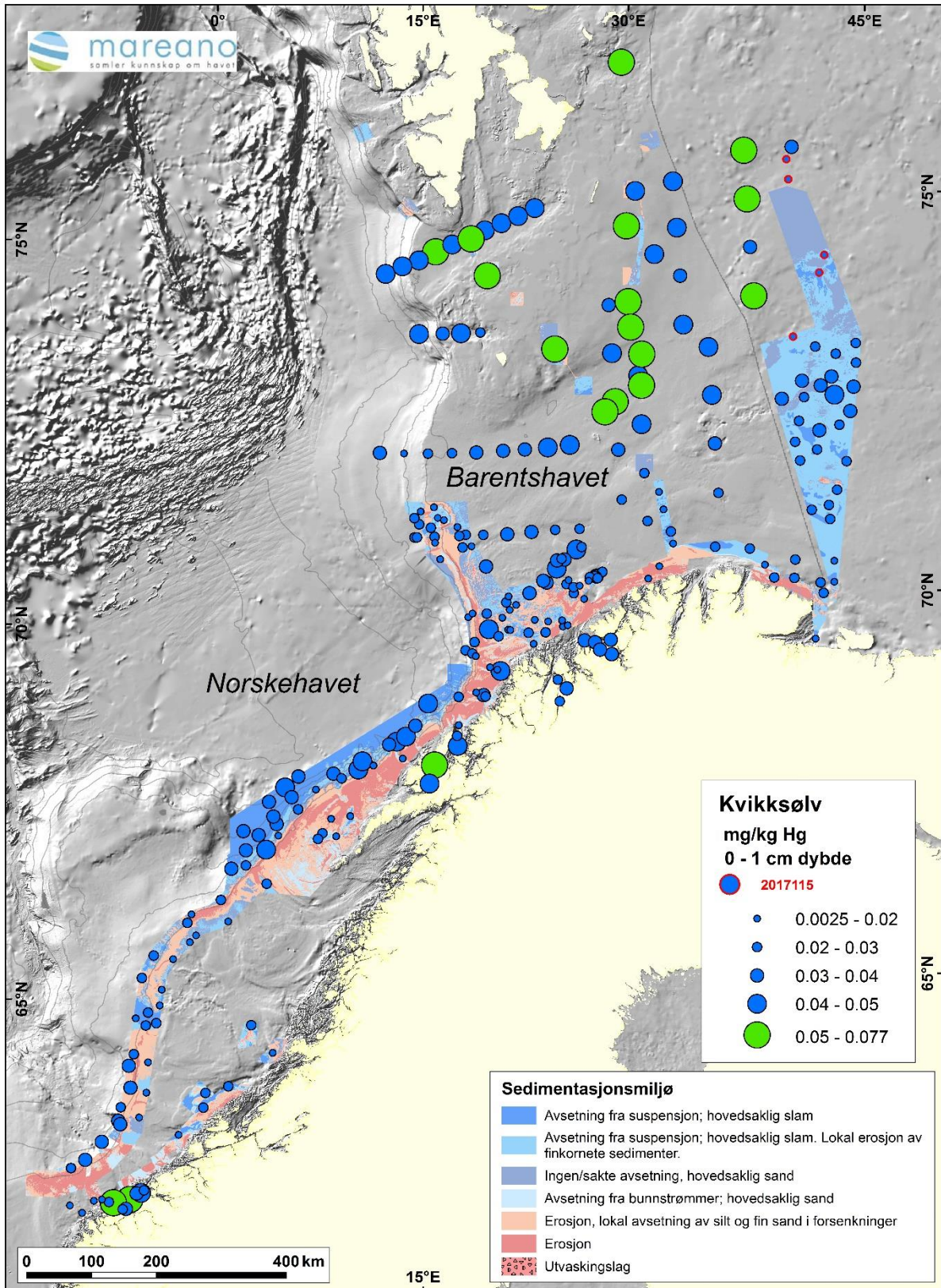
Prøvene har Cr-konsentrasjoner varierende fra 37,2 til 50,3 mg/kg, med høyest konsentrasjon i R1776. Samtlige overflateprøver har konsentrasjoner i Klasse I – bakgrunn for kyst og fjordsedimenter (<60 mg/kg).

Kvikksølv (Hg)

Hg ble analysert ved et eksternt laboratorium (Tabell 2), mens syreekstraksjonen ble gjennomført ved NGU (kapittel 3). Hg i overflateprøvene er vist i Figur 10. Prøvene har Hg-konsentrasjoner varierende fra 0,014 til 0,018 mg/kg og med høyest konsentrasjon i R1817 og R1819. Samtlige 5 prøver er i Klasse I (<0,050 mg/kg sediment) for fjord og kystsedimenter.



Figur 9. Pb-konsentrasjon i overflateprøver (0-1 cm). Blå punkt angir Klasse I for kyst- og fjordsedimenter (<25 mg/kg). Grønne punkt angir Klasse II (25-150 mg/kg). Prøvene fra tokt 2017115 lengst nordøst på kartet er markert med rød ring.



Figur 10. Hg i overflateprøvene. Blå punkt angir Klasse I for kyst- og fjordsedimenter ($<0,05$ mg/kg). Grønne punkt angir Klasse II (0,05-0,52 mg/kg). Prøvene fra tokt 2017115 lengst nordøst på kartet er markert med rød ring.

Nikkel (Ni)

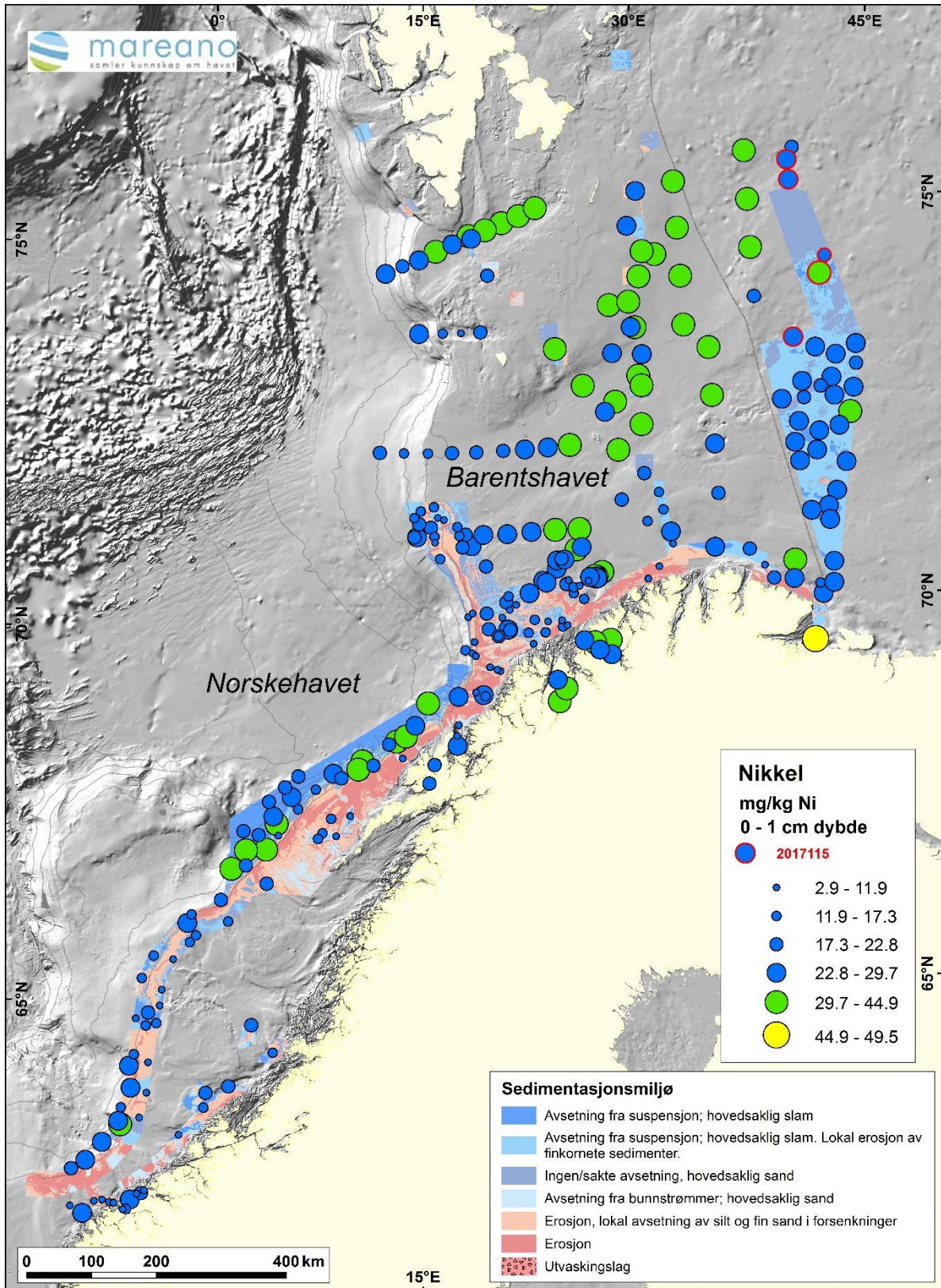
Figur 11 viser Ni-konsentrasjon i overflateprøvene. Prøvene har Ni-konsentrasjoner varierende fra 22,5-30,6 mg/kg med den høyeste konsentrasjonen i R1776. Denne stasjonen har Ni-konsentrasjon i Klasse II (30-42 mg/kg sediment), mens de øvrige 4 prøvene er i Klasse I (<30 mg/kg sediment).

Sink (Zn)

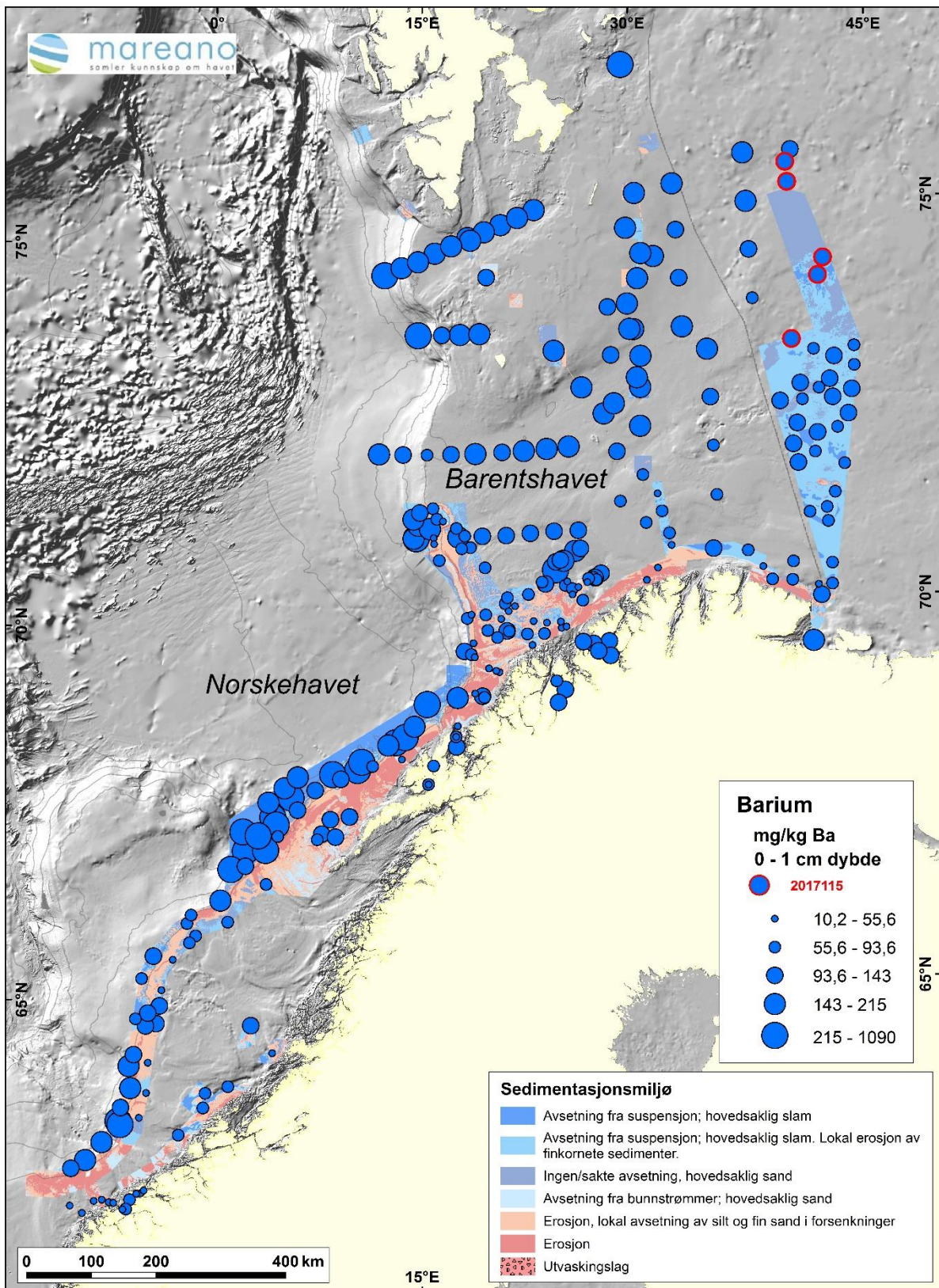
De fem prøvene har ganske like konsentrasjoner, fra 62,6 til 83,3 mg/kg, med høyest konsentrasjon i R1776. Samtlige overflateprøver er i tilstandsklasse I (bakgrunn) for fjord og kystsedimenter (<90 mg/kg).

Barium (Ba)

Ba analyseres for å vurdere om eventuelle utslipp fra olje- og gassboring kan spores i sedimentene. Ba i overflatesedimentene er presentert i Figur 12. Prøvene har konsentrasjoner varierende fra 101 til 133 mg/kg, med den høyeste konsentrasjonen i R1817. Ba-konsentrasjonene i de 5 prøvene er på samme nivå som de øvrige prøvene fra denne delen av Barentshavet (Figur 12).



Figur 11. Nikkel i overflateprøver. Blå punkt angir tilstandsklasse I for kyst- og fjordsedimenter. Grønne punkt angir Klasse II (30-42 mg/kg). Gult punkt angir Klasse III (42-271 mg/kg TS). Prøvene fra tokt 2017115 lengst nordøst på kartet er markert med rød ring.



Figur 12. Barium i overflatesedimenter. Prøvene fra tokt 2017115 lengst nordøst på kartet er markert med rød ring.

Cesium-137 (Cs¹³⁷)

¹³⁷Cs er et menneskeskapt radioaktivt element. De viktigste kildene er utslippet fra Tsjernobyl (1986) og de atmosfæriske atomprøvesprengningene på Novaja Zembla på 1950- og 1960-tallet. Resultatene fra ¹³⁷Cs er presentert på kart i Vedlegg 2. Det er generelt lave konsentrasjoner av ¹³⁷Cs i overflatesedimentene på de to analyserte stasjonene R1776 og R1819. Det er registrert et nivå på 0 Bq/kg sediment i R1776 og 3 Bq/kg sediment i R1819. Forskjeller i sedimentasjonsrater kan forklare hvorfor det ikke er målt ¹³⁷Cs i toppen av R1776 mens det er registrert ¹³⁷Cs i R1819 (avsnitt 5.3.4).

Resultatene fra metallanalysene av overflatesedimentene er oppsummert i Tabell 5, hvor tilstandsklassene for metallene er vist, samt antall prøver innenfor hver av tilstandsklassene i henhold til Miljødirektoratets klassifikasjonssystem for sedimenter (Arp m. fl., 2014).

<http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2016/September-2016/Grenseverdier-for-klassifisering-av-vann-sediment-og-biota/>

Tabell 5. Metaller og arsen (5 stasjoner fra tokt 2017115) i henhold til Miljødirektoratets tilstandsklasser for marine overflatesedimenter. Uthevet skrift viser antall prøver i dybdeintervallet 0-1 cm i hver av klassene I-V.

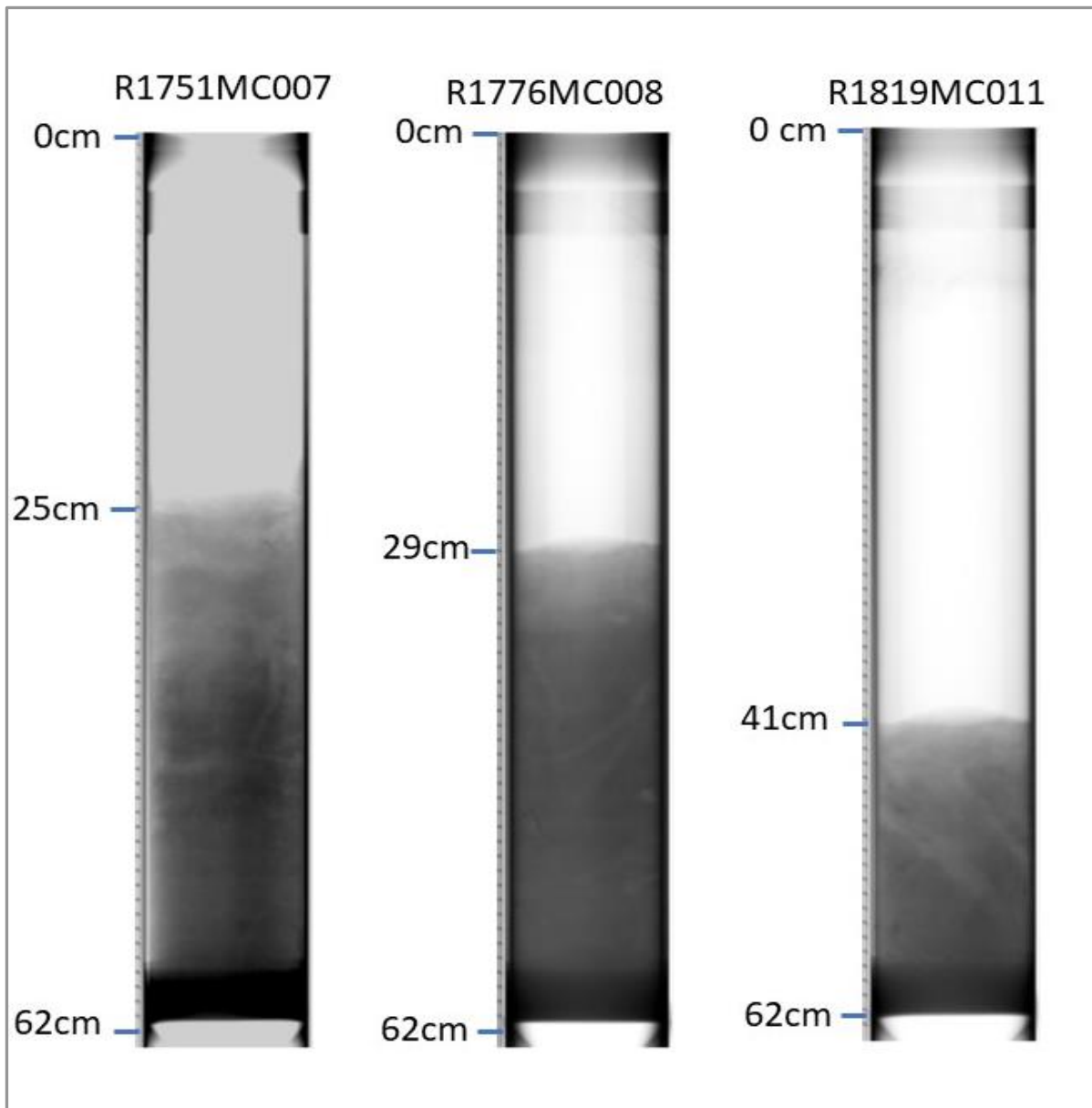
Parametere	Forurensingsnivåer				
	I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Arsen (mg/kg)	<15	15-18	18-71	71 – 580	>580
As	0	0	4	1	0
Bly (mg/kg)	<25	25 -150	150-1480	1480-2000	>2000
Pb	5	0	0	0	0
Kadmium (mg/kg)	<0,20	0,20 – 2,5	2,5 –16	16 – 157	>157
Cd	5	0	0	0	0
Kobber (mg/kg)	<20	20-84	84	84-114	>114
Cu	5	0	0	0	0
Krom (mg/kg)	<60	60 – 660	660 – 6000	6000 – 15500	>15500
Cr	5	0	0	0	0
Kvikksølv (mg/kg)	<0,050	0,05 – 0,52	0,52 – 0,75	0,75 – 1,45	>1,45
Hg	5	0	0	0	0
Nikkel (mg/kg)	<30	30 – 42	42 – 271	271 – 533	>533
Ni	4	1	0	0	0
Sink (mg/kg)	<90	90 – 139	139 – 750	750 – 6690	>6690
Zn	5	0	0	0	0

5.3 Analyser av sedimentkjerner

5.3.1 Visuell beskrivelse og XRI-analyser

Sedimentkjernene blir beskrevet om bord før de blir delt opp i 1 cm tykke skiver. Det er også tatt hele sedimentkjerner som tas med til laboratoriet, hvor de blir analysert med røntgen (XRI). Dette gjøres for å få en kvalitativ vurdering for valg av stasjoner for dateringsanalyse, og geokjemisk analyse av hele sedimentkjerner. XRI-bildene er presentert i Vedlegg 4. XRI-bilder (Vedlegg 3) av sedimentkjerner som er kjemisk analysert presenteres her. Dette gjelder stasjonene R1751, R1776 og R1819 (Figur 13).

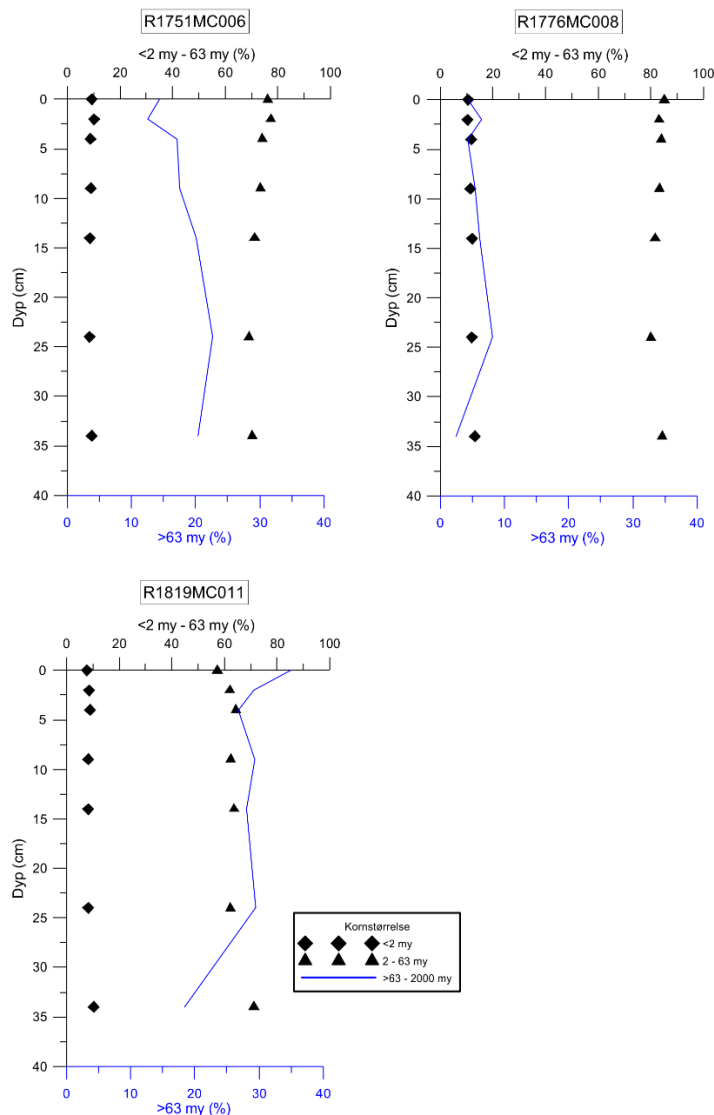
De 3 sedimentkjernene har homogene sedimenter uten synlige sedimentære strukturer. Graveganger etter bunnlevende dyr er synlige. Graveganger er tydeligst i R1751 og R1776 (Figur 13). Det er partikler i grusstørrelse i forskjellige dyp i de tre sedimentkjernene. XRI-bildene viser at sedimentene er lysere øverst enn lengre nede i kjernene. Dette skyldes at sedimentene er mindre kompaktere i toppen, noe som fører til at røntgenstrålene lettere passerer gjennom sedimentene i de øverste centimetrene (Figur 13). Sedimentkjernene i Figur 13 er kjemisk analysert med 7 prøver i hver av de tre sedimentkjernene (kapittel 5.4). Sedimentkjernene fra R1812 og R1817 viste tydelige partikler i grusfraksjonen øverst i sedimentkjernene. Dette kan være glasiomarine sedimenter med stein. Dette var en vesentlig grunn for ikke å velge sedimentkjerner fra de to stasjonene til kjemisk analyse.



Figur 13. XRI-bilder av sedimentkjerner fra R1751MC007, R1776MC008 og R1819MC011 fra MAREANO Øst. Tallene på sidene av rørene viser dybde under toppen av rørene. Lyse striper i de mørke områdene av sedimentene er graveganger laget av bunnlevende organismer (bioturbasjon).

5.3.2 Kornstørrelsesfordeling

Sedimentkjernene R1751, R1776 og R1819 fra MAREANO Øst 4 og 5 viser store forskjeller i kornfordeling (Figur 14). Andelen av finstoff (fraksjonene $<2 \mu\text{m}$ + $2\text{-}63 \mu\text{m}$) er større enn 80% både i R1751 og R1776. Det høye sandinnholdet i R1819 ($>30\%$) indikerer et høyere energinivå sammenliknet med de to andre stasjonene (Figur 14) og dermed et sedimentasjonsmiljø preget av sterkere havstrømmer.

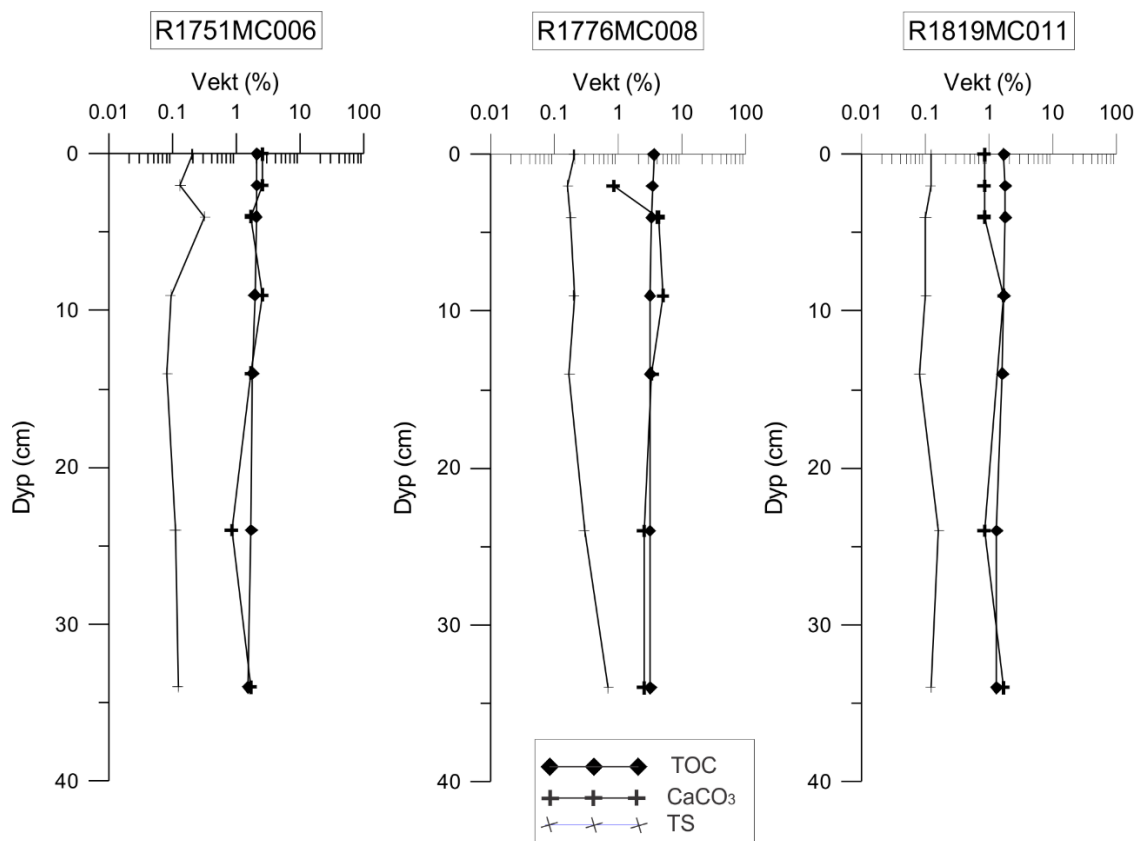


Figur 14. Kornstørrelsesfordeling for R1751, R1776, og R1819 (fraksjonene $<2 \mu\text{m}$, $2\text{-}63 \mu\text{m}$, $63\text{-}2000 \mu\text{m}$) med fordeling i prosent (x-skala: 0–100 %). Dybdeskalaen til venstre er dybde i centimeter.

5.3.3 Total organisk karbon, karbonat og svovel

Innholdet av total organisk karbon (TOC) og karbonat (CaCO_3) viser lite variasjon i de 3 sedimentkjernene R1751, R1776, og R1819 (Figur 15). R1751 og R1776 har høye andeler TOC ($\sim 2\text{-}3\%$), mens den varierer mellom 1 og 2 % i kjerne R1819. Karbonatinnholdet er generelt lavt. I kjerne R1751 og R1776 varierer det mellom 0 og 5 %, mens i R1819 ligger

innholdet under 2% (Figur 15). Generelt er de høyeste TOC verdiene observert på sedimentoverflaten av hver stasjon, med gradvis synkende verdier mot bunnen (Figure 15). Den gradvise reduksjon i TOC i dypere sjikt i kjernene kan skyldes bakteriell nedbryting av det organiske material, som primært finner sted øverst og deretter opphører. Kjerne R1776 har ikke karbonat i overflatesedimentene. Derimot er karbonatinnhold betydelig høyere i de dypere sedimentsjiktene (5-10 cm). Lavt karbonatinnhold i de 3 kjernene kan skyldes varierende sjøisdekke og manglende produksjon av karbonat, eller oppløsning av karbonat p.g.a. av stor akkumulasjon av organisk karbon. Slike prosesser er beskrevet på sokkelen i Barentshavet (Steinsund og Hald, 1993). Svovelinholdet varierer mellom 0.1 og 0.3 % i alle kjernene (Figur 15) med generelt høyere svovelinhold i R1751 og R1776 enn i R1819.



Figur 15. Variasjoner i TOC, karbonat (CaCO_3) og svovel (TS) i sedimentkjerner fra stasjonene R1751, R1776 og R1819 i MAREANO Øst 4 og 5. Dybdeskalaen til venstre er i centimeter. Vektprosentkala for de 3 sedimentkjernene er logaritmisk.

5.3.4 Blyisotop ^{210}Pb datering, ^{137}Cs -målinger og sedimentakkumulasjonsrater

Bestemmelse av akkumulasjonsrater er viktig for å vurdere om det skjer en tilførsel av sedimenter, og hvorvidt denne tilførselen er stabil eller preget av perioder med manglende avsetning eller erosjon. Daterte sedimentkjerner gir også informasjon om mengden tilførsel av forurensende stoffer i moderne tid. Alderen på de øverste sedimentlagene og

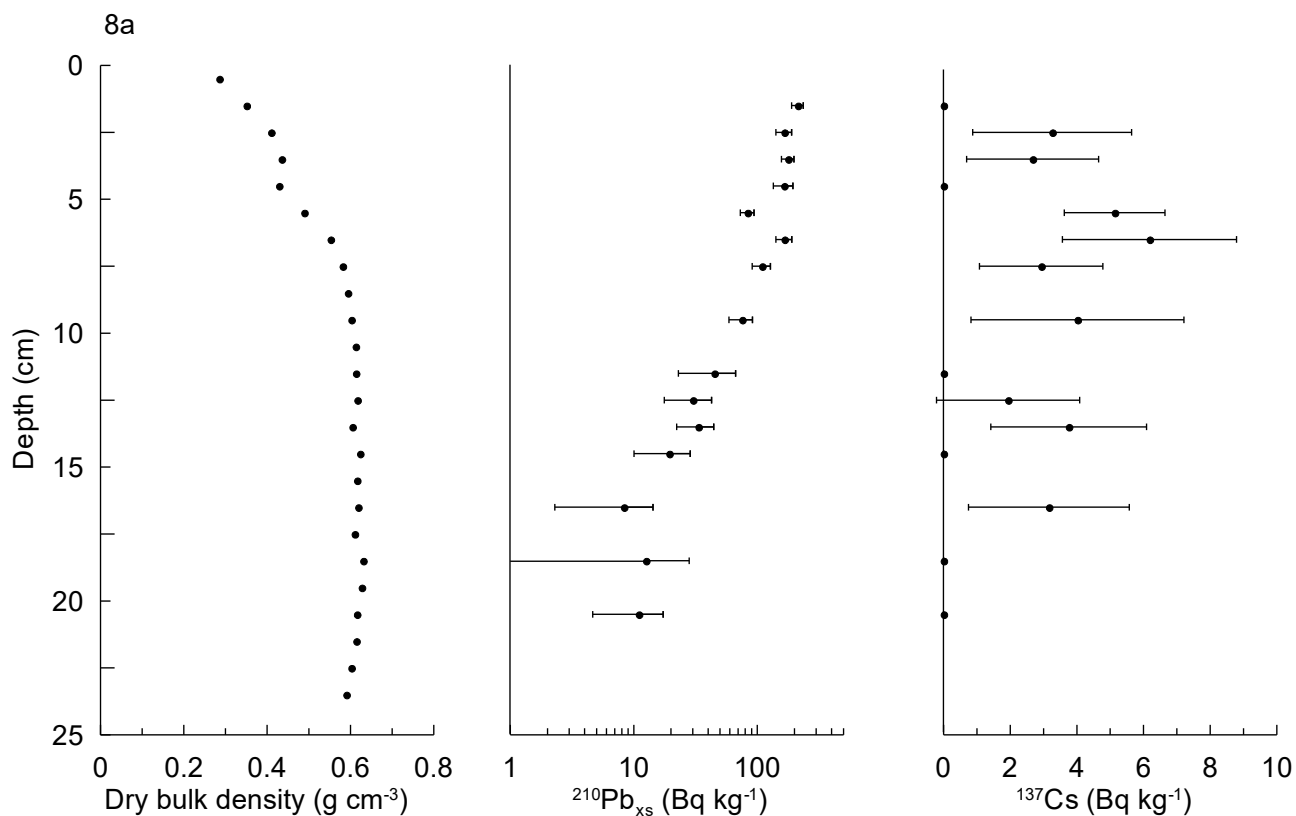
sedimentakkumulasjonsrater kan bestemmes ved måling av ^{210}Pb -aktiviteten i sedimentene. Isotopen ^{210}Pb har en halveringstid på 22,3 år. Bakgrunnsverdien for ^{210}Pb bestemmes ut fra mengden av bakgrunnsstråling ^{210}Pb ("supported" ^{210}Pb), som er uavhengig av sedimentasjon. Bestemmelsen av ^{210}Pb -bakgrunnsstråling skjer fra de dypere sjiktene i sedimentet, hvor konsentrasjonen er konstant fordi all ^{210}Pb ("unsupported" ^{210}Pb) fra atmosfærisk nedfall er nedbrutt. I tillegg til ^{210}Pb -datering, ble cesiumisotoper (^{137}Cs) målt i alle kjernene for å identifisere begynnelsen av atomprøvesprengninger i 1950- og 1960-årene. I moderne tid er disse sprengningene den største kilden til radioaktiv forurensing av miljøet. Økte konsentrasjoner av ^{137}Cs i marine sedimenter indikerer både begynnelsen av atomprøvesprengninger fra 1950-tallet, og radioaktive ulykker i Tsjernobyl (Ukraina) i 1986, og Fukushima (Japan) i 2011.

Datering og bestemmelse av sedimentakkumulasjonsrater ble gjennomført på 2 sedimentkjerner fra stasjon R1776 og R1819. Analysene ble gjennomført på Gamma Dating Center (GDC), Universitet i København. ^{210}Pb - og ^{137}Cs -analyserapporten inkludert analytiske metoder, og usikkerheter er presentert i Vedlegg 4, hvor data og GDC sin tolkning av data for hver av de 2 analyserte sedimentkjernene finnes.

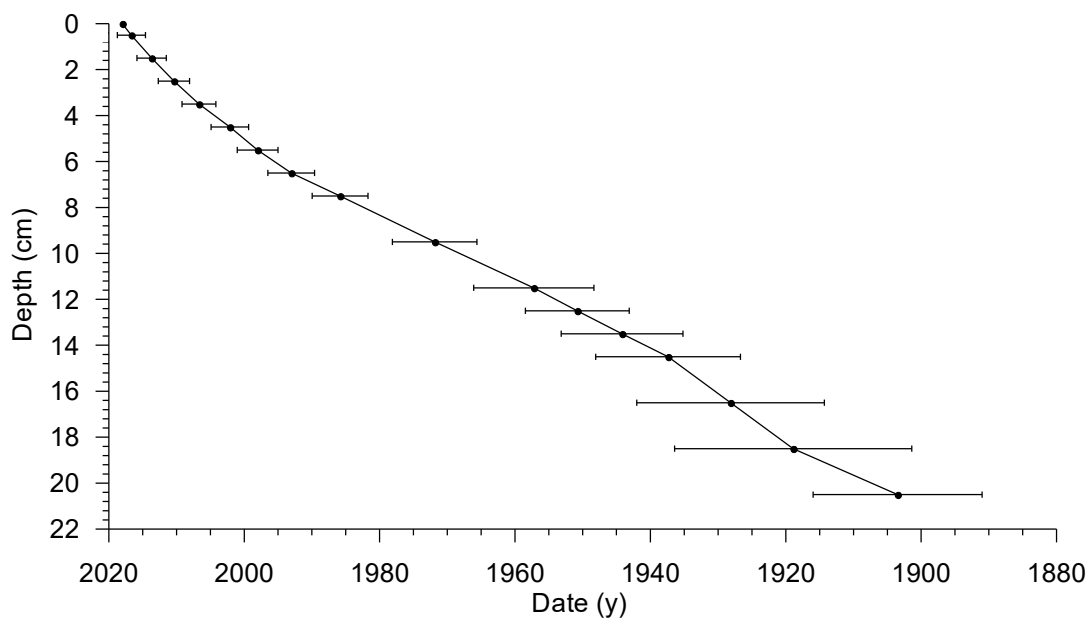
Sedimentakkumulasjonsrater i denne rapporten baseres hovedsakelig på ^{210}Pb - og ^{137}Cs -analyseresultater.

Stasjon R1776MC008A, MAREANO Øst 4

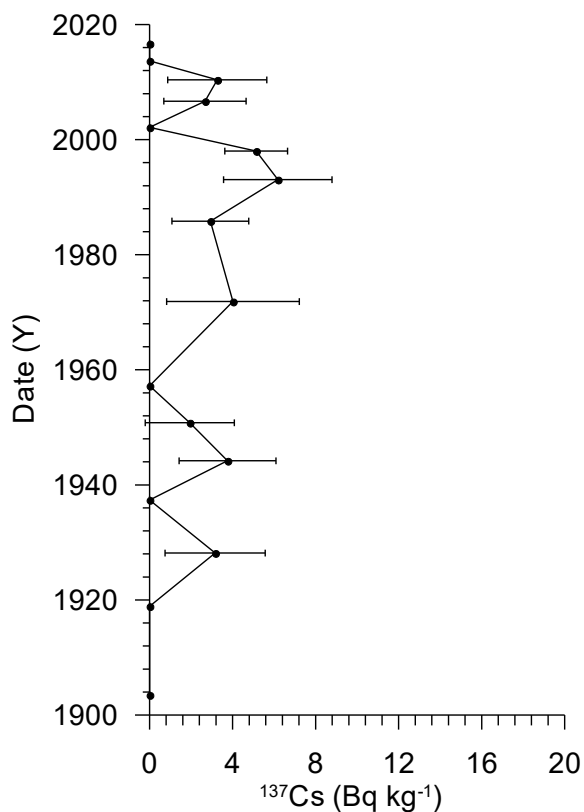
R1776 fra MAREANO Øst 4 har høy ^{210}Pb aktivitet (Figur 16) med en klar tendens til eksponentielt lavere verdier med dybden, noen som indikerer sedimentoppblanding og bioturbasjon på overflaten. Eksponentielt lavere verdier observeres først under 5 cm fra overflaten. Alder versus dyp i Figur 17 er tolket ned til 20.5 cm (år 1903). Basert på alder og dyp i sedimentene er den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten ca. 1,7 millimeter pr. år. Datering er underbygget med hjelp av ^{137}Cs -isotop-data (Figur 18) som viser målt ^{137}Cs tilstede fra ca. 13,5 cm (år ~1944) og oppover.



Figur 16. Tetthet, ²¹⁰Pb og ¹³⁷Cs aktivitetmålinger i R1776MC008A.



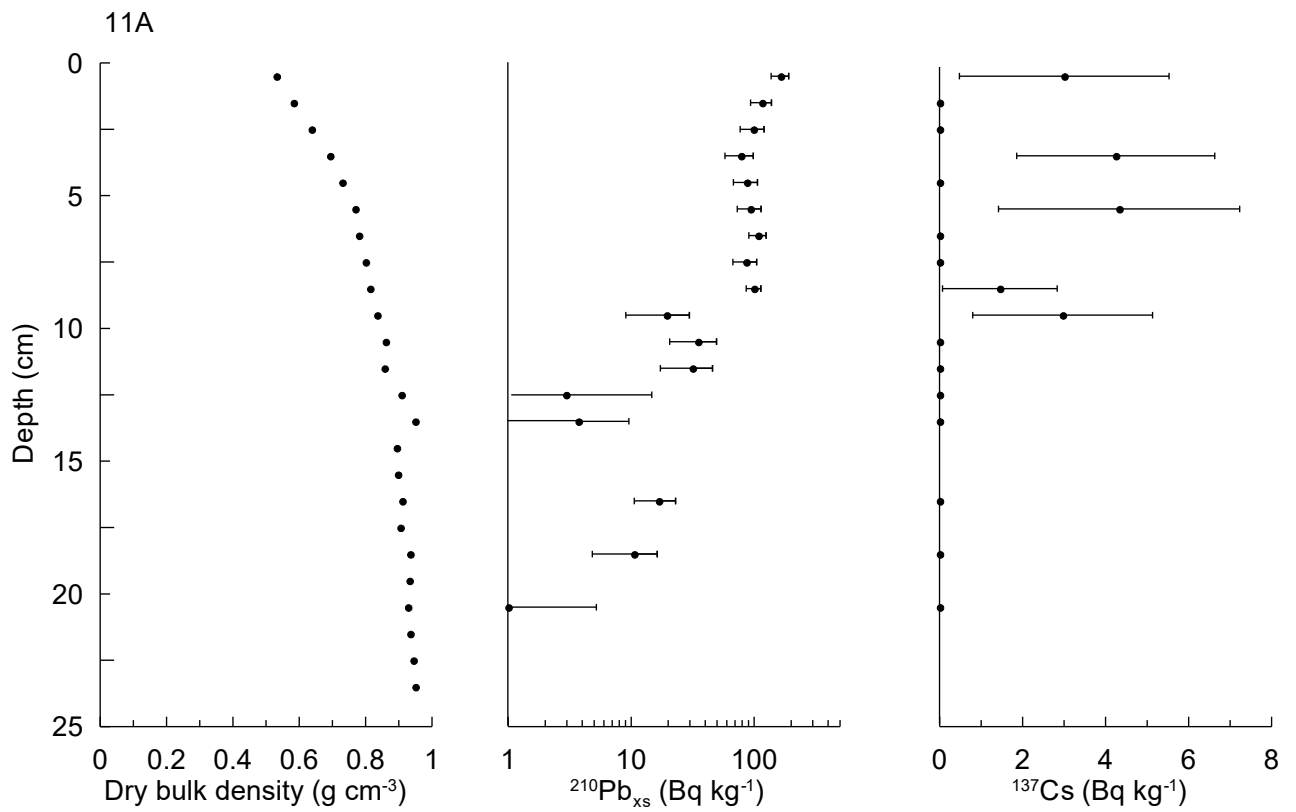
Figur 17. Alder vs. dyp i sedimentene i R1776MC008A.



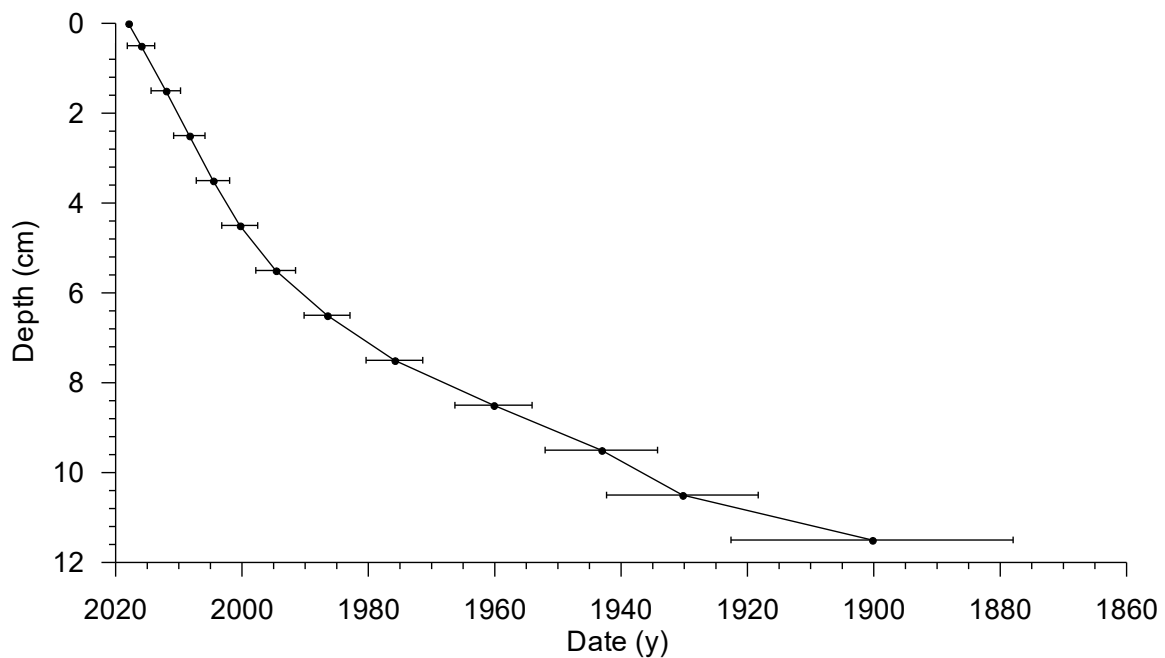
Figur 18. Alder vs. ¹³⁷Cs isotop konsentrasjon i R1776MC008A

Stasjon R1819MC011, MAREANO Øst 5

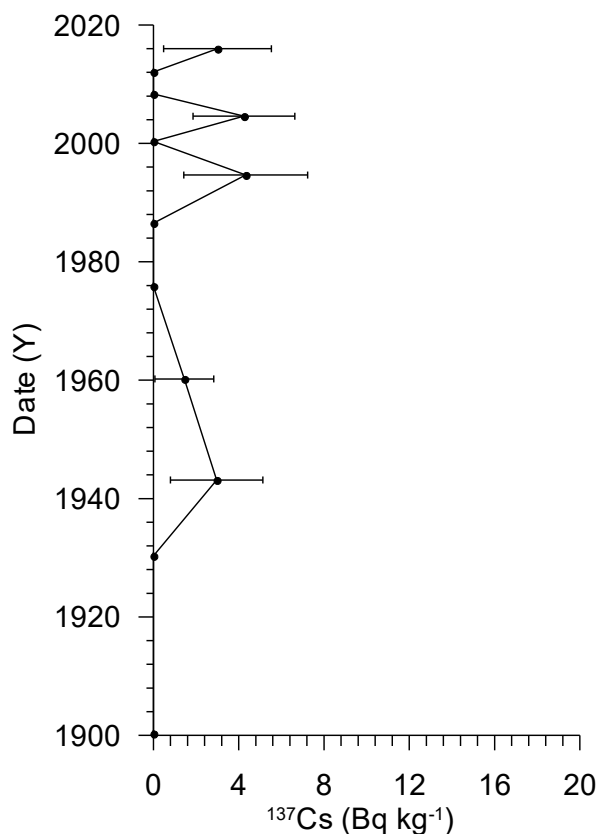
R1819 fra MAREANO Øst 5 har middels høy ²¹⁰Pb aktivitet (Figur 19) med konstante verdier i de øverste 10 cm. Deretter er det en tendens til eksponentielt lavere verdier med dybden, noen som indikerer sedimentmiksing og bioturbasjon på overflaten. Eksponentielt lavere verdier observeres først på 20 cm kjerne dyp. Alder versus dyp i Figur 20 er tolket ned til 11.5 cm (år 1900). Basert på alder og dyp i sedimentene er den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten ca. 1,0 millimeter pr. år. Dateringen er underbygget med hjelp av ¹³⁷Cs isotopkonsentrasjoner (Figur 21), som er målt fra ca. 10 cm dyp (år ~1944) og oppover. Bioturbasjon er sannsynligvis årsaken til at ¹³⁷Cs er registrert så dypt i sedimentene (kapittel 5.3.1).



Figur 19. Tetthet, ²¹⁰Pb og ¹³⁷Cs aktivitetmålinger i R1819MC011A.



Figur 20. Alder vs. dyp i sedimentene i R1819MC011A.



Figur 21. Alder vs. ¹³⁷Cs isotop konsentrasjon i R1819MC011A

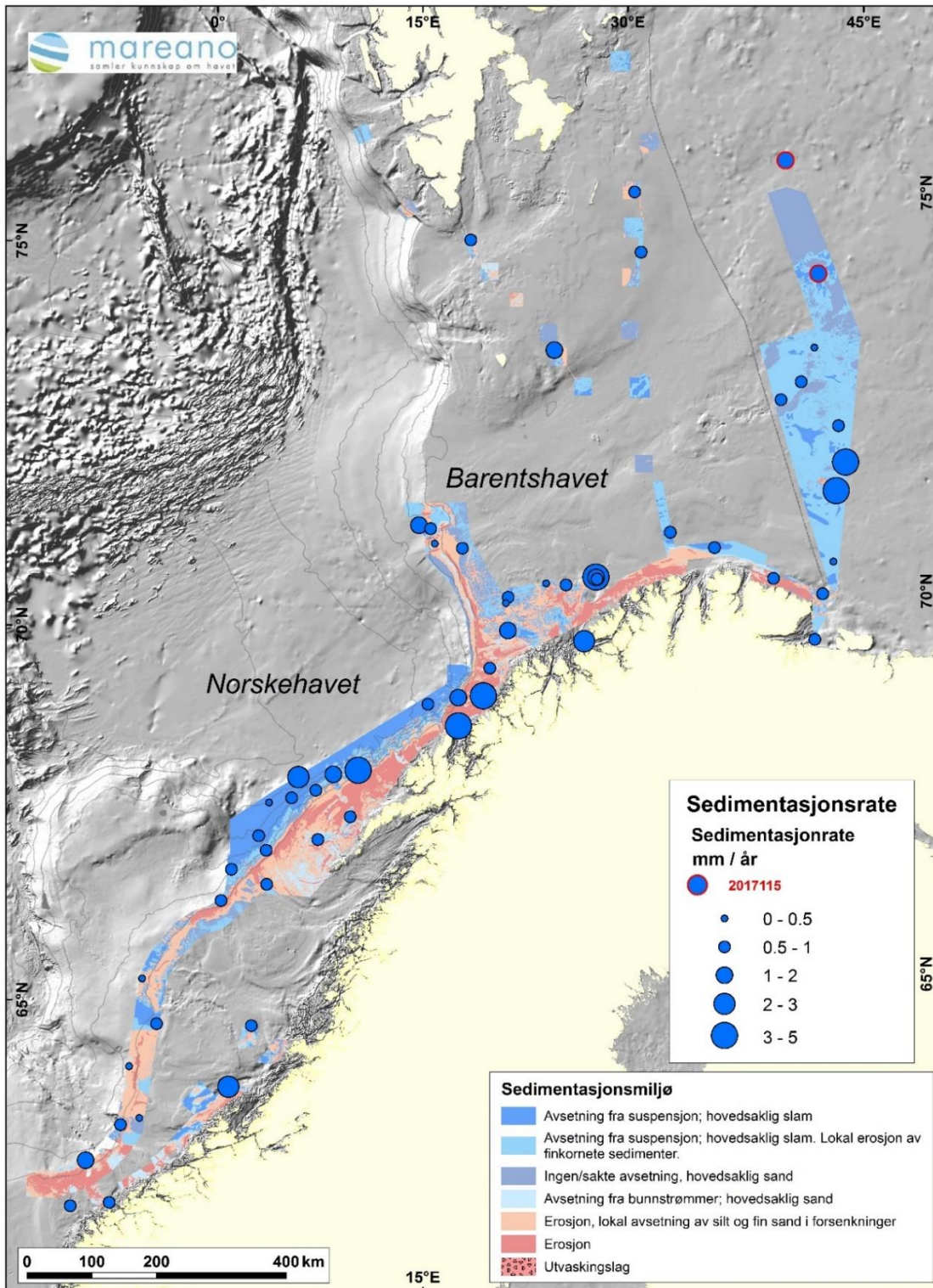
Tabell 6. Daterte sedimentkjerner fra MAREANO-tokt 2017115. LSR: Lineær sedimentasjonsrate for intervaller karakterisert som pålitelige basert på ²¹⁰Pb-aktivitetskurver. Dateringskvalitet "middels" karakteriseres av aldersmodeller som ikke viser en tydelig eksponentiell nedgang av ²¹⁰Pb-aktivitet og langsom utflating av ¹³⁷Cs-konsentrasjon. Dateringskvalitet «god» karakteriseres av aldersmodeller som viser en klar eksponentiell nedgang av ²¹⁰Pb-aktivitet og tydelig avgrensning av ¹³⁷Cs-konsentrasjon.

Stasjon	Område	LSR (mm/år)	Dateringskvalitet
R1776MC008	MAREANO Øst	1,7	Middels
R1819MC011	MAREANO Øst	1,0	Middels

Kornstørrelsesfordelingen presentert i avsnitt 5.3.1 og sedimentasjonsratene beregnet på basis av ²¹⁰Pb resultatene viser at det er større sedimentasjonsrate for de mer finkornete på stasjon R1776 sedimentene sammenliknet med stasjon R1819, der sedimentene som har et større innhold av sand. Dette bekrefter at et sedimentasjonsmiljø med roligere havstrømmer fører til avsetning av sedimenter med et høyere innhold av leire og silt.

5.3.5 Sedimentasjonsrater

Sedimentasjonsrater basert på ^{210}Pb -analysene av sedimentkjerner fra 2006 frem til 2017 er sammenstilt i Figur 22. Dataene er hentet fra samtlige MAREANOs kjemirapporter som kan lastes ned fra <https://mareano.no>. ^{210}Pb måledata som sedimentasjonsratene er basert på kan lastes ned fra <http://www.mareano.no/datanedlasting/kjemidata>.



Figur 22. Sedimentasjonsrate (millimeter/år) for ^{210}Pb -analyserte sedimentkjerner.

5.4 Tungmetaller, arsen og barium i to ²¹⁰Pb-daterte sedimentkjerner og en sedimentkjerne uten datering

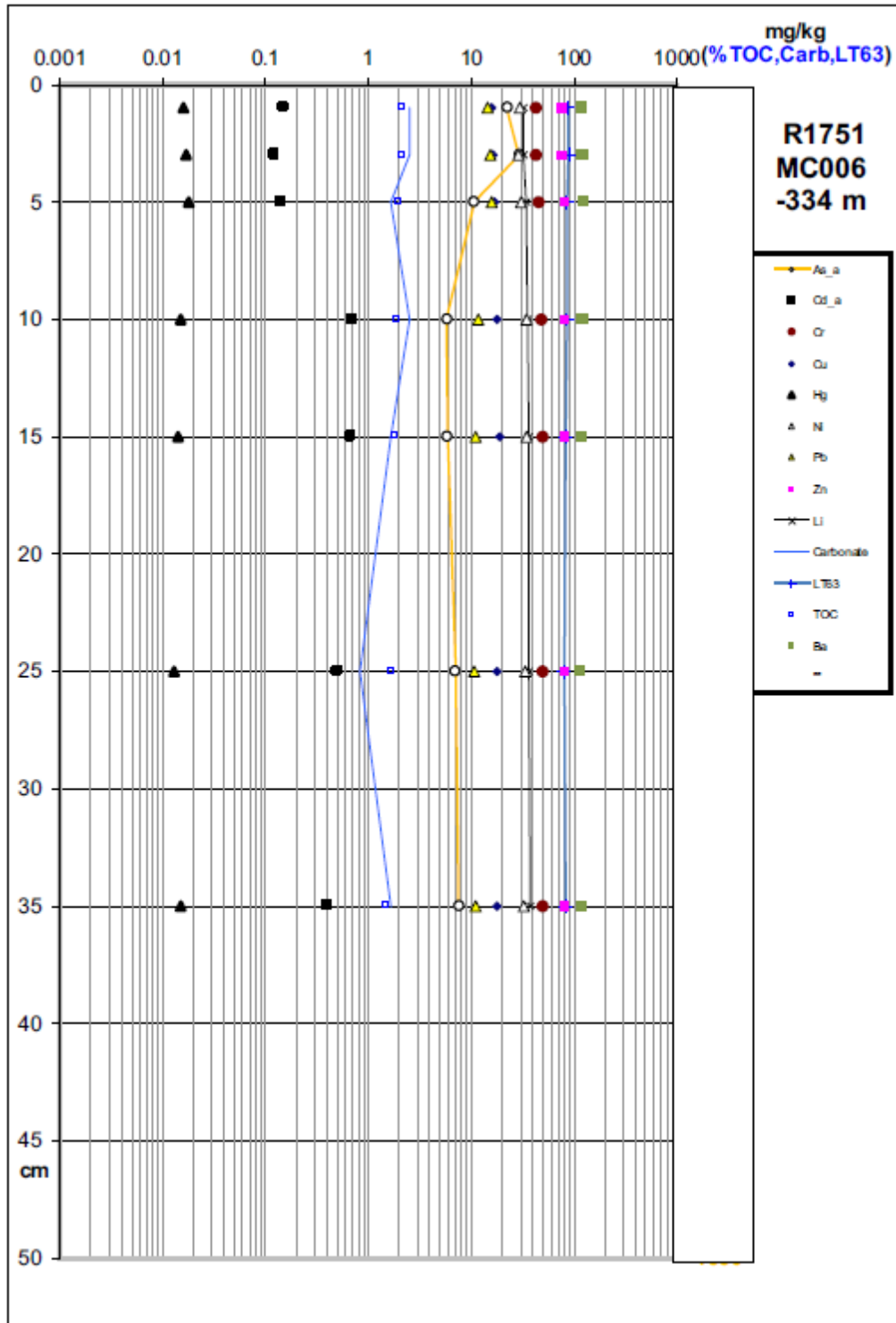
For å vurdere dagens forurensingstilstand sammenlignet med tidligere tider er de to ²¹⁰Pb-daterte sedimentkjernene og ytterligere 1 sedimentkjerne analysert for innhold av tungmetaller, arsen og barium. Analyseresultatene finnes i Vedlegg 1.

R1751MC006

R1751 er analysert i intervallet 0-35 cm med 7 prøver. Minimum, gjennomsnitt, median og maksimum konsentrasjoner for en rekke tungmetaller, arsen og barium er vist i Tabell 7. Sedimentene består av sandholdig slam og har TOC på 2-3 vektprosent (avsnitt 5.3.3). Metallene Cu, Cr, Ni og Zn har relativt stabile konsentrasjoner fra topp til bunn for de 7 analyserte prøvene. Ba viser også en relativt konstant konsentrasjon fra topp til bunn i sedimentkjernen. Hg øker litt fra bunn mot topp, fra 0,013 mg til maksimalt 0,018 mg/kg sediment ved 4-5 cm. Pb øker fra 10,6 til 15,9 mg/kg sediment i 2–3 cm under overflaten (Figur 23). Økning av Hg og Pb mot toppen av sedimentkjernen kan sannsynligvis tilskrives antropogen tilførsel i moderne tid selv om økningen ikke er så markant som observert i andre sedimentkjerner fra MAREANO Øst (Jensen m. fl., 2016). I tillegg er Hg- og Pb-konsentrasjonene lavere enn lengre sør i MAREANO Øst. As er tilstede med høy konsentrasjon i toppskiktet (22,3 mg/kg sediment ved 0-1 cm og 29,3 mg/kg sediment ved 2-3 cm), som er en markant økning fra 5,8 mg/kg sediment. Denne lavere konsentrasjon er bakgrunnsnivå dypere i kjernen (Figur 23). Den høye As-konsentrasjonen gjennomgås i mer detalj i kapittel 5.5. Cd reduseres i konsentrasjon fra maksimalt 0,70 mg/kg sediment ved 9-10 cm til 0,12 mg/kg 2-3 cm under overflaten (Figur 23).

Tabell 7. Sedimentkjerne R1751MC006 (0-35 cm). Minimums-, gjennomsnitts-, median- og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 7	Min.	5,8	115	0,12	41,8	15,7	0,013	29,0	10,6	75,9
	Gns.	12,7	119	0,39	46,3	17,1	0,015	31,9	12,8	78,9
	Med.	7,6	118	0,41	47,9	17,6	0,015	31,9	11,5	79,9
	Max.	29,3	123	0,70	49,6	18,6	0,018	34,8	15,9	80,4



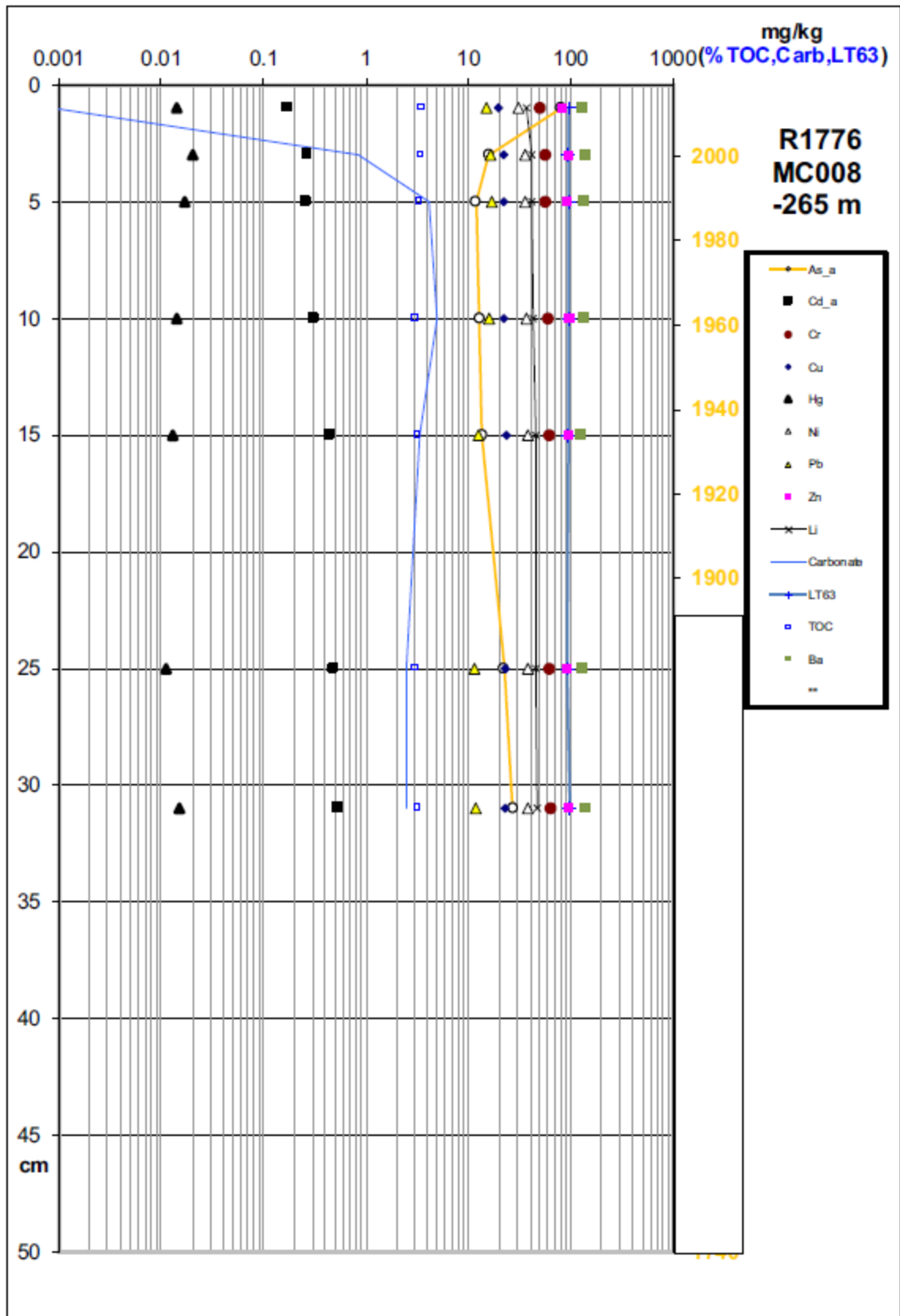
Figur 23. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1751MC006 (0-35 cm), MAREANO Øst. X-skalaen (konsentrasjon) er logaritmisk.

R1776MC008

Denne 31 cm lange ^{210}Pb -daterte sedimentkjernen med 7 analyserte prøver viser at sedimentene består av silt og leire som totalt utgjør mer enn 90 % av sedimentene. TOC varierer fra 2 til 3 vektprosent (se kapittel 5.3.3). Karbonat finnes ikke i den øverste delen av kjernen (Figur 24). Cr, Cu, Ni og Zn har relativt konstante konsentrasjoner (Tabell 8, Figur 24). Tilsvarende gjelder for Ba som varierer fra 129 til 139 mg/kg sediment. Hg øker noe fra bakgrunnsnivåer på 0,011 til 0,020 mg/kg sediment. Pb øker fra ca. 9 mg/kg sediment til 16,7 mg/kg sediment fra dypere i sedimentkjernen til høyere oppe i sedimentkjernen. ^{210}Pb -dateringen viser at økningen kan ha skjedd rundt 1900 (rundt 20 cm dyp i sedimentkjernen), men p.g.a. få prøver analysert er det vanskelig å gi en presis alder for når økningen fant sted. Økning i Hg og Pb anses for å være relatert til antropogen langtransportert tilførsel med hav- og luftstrømmer. As har meget høy konsentrasjon (79,6 mg/kg sediment) øverst tilsvarende Klasse IV i Miljødirektoratets klassifikasjon for kyst- og fjordsedimenter (Arp m. fl. 2014). Det er en økning på 3 til 4 ganger sammenliknet med prøver dypere i sedimentkjernen (Figur 24), hvor konsentrasjoner mindre enn 20 mg/kg sediment viser bakgrunnsnivået. Den høye As-konsentrasjon i overflatesedimentene går gjennom i større detalj i kapittel 5.5. Cd reduseres fra 0,54 mg/kg sediment ved 30-31 cm til 0,17 mg/kg sediment øverst (Figur 24).

Tabell 8. Sedimentkjerne R1776MC008 (0-31 cm). Minimums-, gjennomsnitts-, median- og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 7	Min.	11,9	129	0,17	50,3	19,6	0,011	30,6	11,5	83,3
	Gns.	26,2	133	0,36	58,5	22,2	0,015	36,4	14,3	92,1
	Med.	15,9	133	0,31	59,7	22,5	0,014	37,3	15,1	93,4
	Max.	79,6	139	0,54	62,6	23,3	0,020	38,5	16,7	95,2



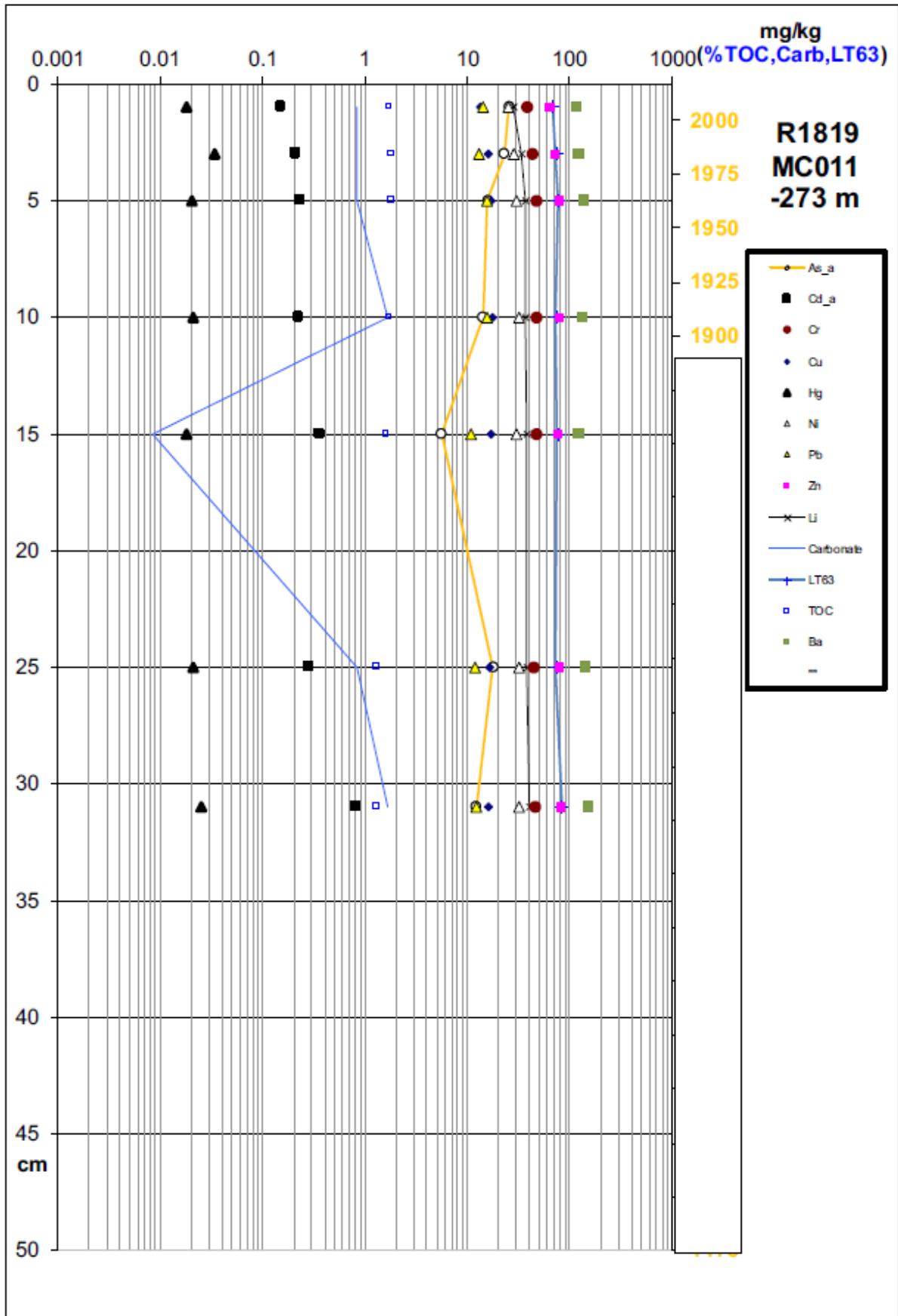
Figur 24. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1776MC008 (0-31 cm), MAREANO Øst. X-skalaen (konsentrasjon) er logaritmisk.

R1819MC011

Denne 31 cm lange sedimentkjernen er ^{210}Pb -datert, og 7 prøver er analysert. Kornstørrelsesanalysene presentert i kapittel 5.3.2 viser at sedimentene består av sandholdig silt. TOC utgjør 1-2 vektprosent (kapittel 5.3.3). Det er lavere konsentrasjoner i toppsjiktet av Cr, Cu, Ni og Zn enn i den nederste delen av kjernen. Den gradvise reduksjonen i metallkonsentrasjoner øverst i sedimentkjernen sammenfaller med reduksjon i slaminnhold (Figur 24). Tilsvarende gjelder for Ba, som har markant lavere konsentrasjon øverst sammenholdt med resten av sedimentkjernen (Figur 25). For Cr, Cu, Ni, Zn og Ba er naturlige kilder årsaken til de relativt konstante konsentrasjonene i kjernen. ^{210}Pb -dateringen viser at økningen i Hg og Pb kan ha skjedd en gang mellom 1875 og 1900 fra bakgrunnsnivå på 0,02 mg/kg sediment til maksimalt 0,033 mg/kg sediment. Pb øker fra et bakgrunnsnivå på 10-12 mg/kg sediment til maksimalt 15,3 mg/kg sediment ved 4-5 cm (Figur 25). Få analyserte prøver gjør det vanskelig å gi noen presis alder for når økningen i Pb og Hg har funnet sted. As øker fra et minimum på 5,6 mg/kg sediment ved 14-15 cm dyp til 25,2 mg/kg sediment i overflateprøven. Cd reduseres markant fra 0,80 mg/kg sediment ved 30-31 cm til 0,15 mg/kg sediment øverst.

Tabell 9. Sedimentkjerne R1819MC011 (0-31 cm). Minimums-, gjennomsnitts-, median- og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 7	Min.	5,6	122	0,15	37,2	13,1	0,018	25,1	10,8	63,7
	Gns.	16,1	131	0,32	44,2	15,9	0,022	29,6	13,1	74,6
	Med.	15,6	133	0,23	44,8	16,1	0,021	29,9	12,9	76,7
	Max.	25,2	149	0,80	47,1	17,1	0,033	31,8	15,3	80,2



Figur 25. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1819MC011 (0-31 cm), MAREANO Øst. X-skalaen (konsentrasjon) er logaritmisk.

5.5 Arsenkonsentrasjoner i overflatesedimentene og variasjoner i sedimentkjerner

Gjennomgang av As-konsentrasjonene i overflatesedimentene (Figur 9) samt variasjonene i de rapporterte sedimentkjernene presentert i avsnitt 5.4 viser at det er høye konsentrasjoner i overflatesedimentene (Klasse III) på fire av de fem analyserte stasjonene, og Klasse IV for en av stasjonene.

5.5.1 Arsen - geografisk fordeling i overflatesedimentene i MAREANO-området

Figur 9 viser en geografisk forskjell når hele det kartlagte MAREANO-området vurderes, med høyere arsenkonsentrasjoner i overflatesedimentene i sentrale og nordlige deler av Barentshavet enn i sørlige Barentshavet, områdene rundt Lofoten og Vesterålen og i Norskehavet. Det er mulig at bergarter på Svalbard med høye arsenkonsentrasjoner (Ottesen m. fl., 2010) bidrar til høye As-nivåer i det nordlige Barentshavet (Knies m. fl., 2006). Transport av sedimenter erodert fra disse bergartene til Barentshavet kan være årsak til høye konsentrasjoner.

5.5.2 Arsenvariasjon i de tre sedimentkjernene fra MAREANO Øst og andre MAREANO-kjerner

De tre sedimentkjernene viser omtrent de samme endringene i As-konsentrasjone, med høye verdier (Klasse III og IV) i de øverste 1-5 cm. Under toppskiktet er As-konsentrasjonene på bakgrunnsnivå (Klasse I). Sedimentkjernene fra MAREANO Øst område 4 og 5 har høyere bakgrunnsnivå enn sedimentkjerner fra Norskehavet og er sammenliknbare med bakgrunnsnivåene i sedimentkjerner fra de to transektene Kong Karls Land – Bjørnøyrenna og Nordkapp – Sørkapp (Jensen m. fl. 2014, 2016, 2018). Økningen i As-konsentrasjon mot toppen av kjernene er 3-4 ganger bakgrunnsnivået dypere i kjernene. Følgende oppsummering kan gjøres:

1. Bakgrunnsnivåene varierer i MAREANO området.
2. As-konsentrasjonen i de øverste 3-5 cm av sedimentkjernene er 3-4 ganger høyere enn bakgrunnsnivået dypere i kjernene.
3. Det er ikke klart hva som er årsaken til den markante økningen i arseninnhold i toppen av kjernene.

6. OPPSUMMERING

Tungmetallkonsentrasjoner i overflatesedimentene på 5 stasjoner i MAREANO Øst i Barentshavet er analysert. As er tilstede i relativt høye konsentrasjoner på samtlige 5 stasjoner tilsvarende Klasse III (moderat) og Klasse IV (dårlig) i Miljødirektoratets klassifisering for kyst og fjordsedimenter. Ni er tilstede i klasse II på en enkelt stasjon, og tilstandsklasse I (bakgrunn) på 4 stasjoner. Cd, Cr, Cu, Hg, Pb og Zn er tilstede med konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse I (bakgrunn) på samtlige 5 stasjoner.

De 3 analyserte sedimentkjernene har stabile konsentrasjoner av Cr, Cu, Ni, Zn og Ba i alle kjernene. Disse elementene vurderes å stamme utelukkende fra naturlige kilder. Hg og Pb følger like trender i de fleste analyserte sedimentkjernene. De dypeste prøvene har Hg- og Pb-konsentrasjoner på naturlig bakgrunnsnivå. Bakgrunnsnivået varierer, avhengig av innhold av finstoff og TOC, men er typisk 0,01-0,02 mg/kg sediment for Hg og ca. 10 mg/kg sediment for Pb. Hg øker ca. 50 % fra bakgrunnsnivået til maksimale konsentrasjoner øverst i sedimentkjernene. For Pb er økningen i de øverste delene av sedimentkjernene inntil 2 ganger bakgrunnsnivået. Høyeste Pb-konsentrasjoner er for de fleste sedimentkjerner noen få cm under toppen. Pb-konsentrasjonen avtar litt øverst i sedimentkjernene. Dette kan sannsynligvis tilskrives reduserte utslipp av Pb da det ble innført forbud mot blyholdig bensin i en del vestlige land fra 1970-tallet.

²¹⁰Pb-dateringsanalysene viser at økningen i Hg og Pb skjer rundt 1880 – 1900 for de to daterte sedimentkjernene. Det er litt usikkert når økningen i Hg og Pb startet fordi dateringsanalysene vurderes å være av middels kvalitet, og fordi kun 7 prøver er analysert per kerne. Økningen i Hg og Pb tilskrives menneskelig tilførsel fra primært fossilt brennstoff (Hg fra kull og Pb fra blyholdig bensin). Tilførsel og avsetning i sedimentene har vært med havstrømmer og lufttransportert. Nedgangen i Pb øverst i sedimentkjernene kan sannsynligvis knyttes til forbudet mot bruk av blyholdig bensin i flere industrialiserte land fra 1970-tallet.

As øker typisk 4-6 ganger fra et bakgrunnsnivå på mindre enn 6-12 mg/kg sediment nederst i sedimentkjernene til 22-79 mg/kg sediment i de øverste 3-5 cm. Det er ikke klart hva som er årsaken til økningen. Cd minker til lave konsentrasjoner øverst i sedimentkjernene med konsentrasjoner på 0.10-0.15 mg/kg sediment.

7. REFERANSER

- Andersen T. J., 2017: Some Practical Considerations Regarding the Application of ^{210}Pb and ^{137}Cs Dating to Estuarine Sediments. Applications of Paleoenvironmental Techniques in Estuarine Studies. Developments in Paleoenvironmental Research (DPER), Vol. 20, p 121-140.
- Arp H. P., Ruus A., Macken A. og Lillicrap A., 2014. Grenseverdier for klassifisering av vann, sedimenter og biota. Miljødirektoratet rapport M241, 170 sider + vedlegg.
- Bellec, V.K, Bøe, R., Rise, L., Lepland, A., Thorsnes, T., Bjarnadottír, L.R. 2017: Seabed sediments (grain size) of Nordland VI, offshore north Norway. Journal of Maps 13, 608-620.
- Bøe R., Dolan M., Thorsnes T., Lepland A., Olsen H., Totland O. & Elvenes S. 2010: Standard for geological seabed mapping offshore. NGU-rapport 2010.033, 15 s.
- Dehairs, F., Chesselet, R., and Jedwab, J., 1980. Discrete suspended particles of barite and the barium cycle in the ocean. Earth Planetary Science Letters, vol. 49, s. 528 – 550.
- Jensen H. K. B., Plassen, L., Finne T. E. og Thorsnes T., 2014. Miljøkjemiske data og dateringsresultater fra Norskehavet og Tidligere Omstridt Område (TOO) – MAREANO. NGU-rapport 2014.025, 82 sider.
- Jensen H. K. B., Seither A. og Knies J., 2016. Miljøkjemiske data og dateringsresultater fra Barentshavet Øst og Norskehavet. NGU-rapport 2016.025, 66 sider.
- Jensen H. K. B., Bellec V. og Knies J., 2018. Miljøkjemiske data og dateringsresultater fra Kong Karls Land – Bjørnøya transektet og Nordkapp – Sørkapp transektet – MAREANO. NGU-rapport 2018.001, 62 sider.
- Knies, J., Jensen, H.K.B., Finne, T.E., Lepland, A. & Sæther, O. M. 2006: Sediment composition and heavy metal distribution in Barents Sea surface samples: Results from Institute of Marine Research 2003 and 2004 cruises. NGU-report 2006.067, 1-35.
- Lepland, A., Sæther O. M. & Thorsnes T. 2000: Accumulation of barium in recent Skagerrak sediments: sources and distribution control. Marine Geology, vol. 163, s. 13 – 26.
- MAREANO kjemidata, 2003 – 2013. <http://www.mareano.no/datanedlasting/kjemidata>.
- Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. & Sørensen, J. 1997: Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Veiledning. SFT-rapport 97:03, TA-1467, 36 sider.
- Nuernberg C. C., Bohrmann G., Schlueter M. og Frank M., 1997. Barium accumulation in the Atlantic sector of the Southern Ocean. Results from 190,000-year records. Paleooceanography. Vol. 12 (4), s. 594 – 603.
- Olsgård F. and Gray J., 1995. A comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploration and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf. Marine Ecology Progress Series, vol. 122, pp. 277 – 306.
- Ottesen R. T., Bogen J., Finne T. E., Andersson M., Dallmann W. K., Eggen O. A., Jartun M., Lundquist Q., Pedersen H. R. and Volden T., 2010. Geochemical Atlas of Norway. Part 2: Geochemical atlas of Spitsbergen. Chemical composition of overbank sediments. Skipnes Kommunikasjon AS, Trondheim. 160 sider.

- Rise, L. og Brendryen, J. 2013. Leirinnhold i jordarter – en sammenlignende studie med vekt på Coulter Laser 200 og Sedigraph, og forslag til beregning av ekvivalent leirinnhold i prosent. NGU Rapport 2013.012, 35 s.
- Rye H., 1996. Miljøeffekter av utslipp fra borekjemikalier. Rapport fra OLF. IKU Petroleumsforskning. Rapport nr. 42.4053.00/01/96. 98 sider.
- SFT 2007: Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. SFT-veileder 2229, 11 s.
- Steinsund P.I. and Hald M., 1993. Recent calcium carbonate dissolution in the Barents Sea: Paleooceanographic applications. *Marine Geology*, vol. 117, pp. 303-316.
- Sæther O. M., Faye G., Thorsnes T., Rise L., Longva O. and Bøe R., 1996. Regional distribution of manganese, phosphorus, heavy metals, barium, and carbon in sea-bed sediments (0-2 cm) from the northern part of the Norwegian Skagerrak. *Geological Survey of Norway Bull.*, no. 430, p. 103-112.
- Thorsnes T. and Klungsøyr J., 1997. Contamination of Skagerrak sediments due to man-made inputs during the last 200 years. In: O. Longva and T. Thorsnes (Editors), *Skagerrak in the past and at the present - an integrated study of geology, chemistry, hydrography and microfossil ecology*. Geological Survey of Norway. Special Publication, vol. 8, p. 52-79.



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
Nettside www.ngu.no