




GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



Rapport nr.: 2018.001	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
Tittel: Miljøgeokjemiske data og dateringsresultater fra Kong Karls Land-Bjørnøyrenna-transektet og Nordkapp-Sørkapp-transektet - 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: 61 Kartbilag: 0	Pris: 235	
Feltarbeid utført: September-oktober 2016 og mars-april 2017	Rapportdato: 15.06.2018	Prosjektnr.: 311730	Ansvarlig: Reidulv Bøe 
Sammendrag: <p>På MAREANO-toktene med G.O. Sars i 2016 og 2017 ble det tatt sedimentkjerner for miljøundersøkelser på 14 prøvetakingsstasjoner, fordelt med 9 stasjoner på Kong Karls Land – Bjørnøyrenna-transektet (KKL – Br) og 5 stasjoner på Nordkapp – Sørkapp-transektet (Nk – Sk). Arsen (As) har konsentrasjoner tilsvarende moderat forurensing (Klasse III i Miljødirektoratets klassifisering for kyst og fjordsedimenter) på 11 av de 14 stasjonene (18 – 71 mg/kg sediment). To stasjoner har As-konsentrasjoner i Klasse II (15 – 18 mg/kg sediment), mens 1 stasjon har As-konsentrasjon i Klasse I (< 15 mg/kg sediment). Nikkel (Ni) har konsentrasjoner i overflatesedimentene i Klasse III (42 – 271 mg/kg sediment) på den nordligste stasjonen i KKL – Br, 6 stasjoner har konsentrasjoner i Klasse II (30 – 42 mg/kg sediment), mens 7 stasjoner er i Klasse I (< 30 mg/kg sediment). Bly (Pb) og sink (Zn) har konsentrasjoner i Klasse II på en enkelt stasjon, mens de øvrige 13 stasjonene har konsentrasjoner i Klasse I. For de øvrige metallene (kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu) og kvikksølv (Hg)) er konsentrasjonene i Klasse I i overflatesedimentene. Barium er tilstede i relativt konstante konsentrasjoner på de to transektene. ¹³⁷Cs er tilstede i lave konsentrasjoner i 2 av de 4 analyserte sedimentkjernene fra de to transektene.</p> <p>Sedimentkjerner fra 7 av de 14 stasjonene ble valgt ut for kjemisk analyse i 1-cm intervaller gjennom hele kjerner, og i alt 4 av de 7 sedimentkjerner ble datert ved hjelp av ²¹⁰Pb og analysert for innhold av ¹³⁷Cs. ¹⁴C-analyser av skjellfragmenter i forskjellige dyp i sedimentkjernene ble utført på 2 sedimentkjerner fra KKL – Br og 2 sedimentkjerner fra Nk – Sk. Dateringsanalysene vurderes å være av middels kvalitet. Det er forskjell i avsetningsrater når ²¹⁰Pb og ¹⁴C dateringsresultatene sammenliknes. Lineære sedimentasjonsrater basert på ²¹⁰Pb-dataene gir sedimentasjonsrater varierende fra 0,7 til 1,7 millimeter pr. år for de 4 sedimentkjernene.</p> <p>Arsen er tilstede i høye konsentrasjoner i de øverste 2–5 cm i de analyserte sedimentkjernene, med 2–3 ganger økning i forhold til bakgrunnsnivået dypere i kjernene. Det er ikke klart hvorfor denne økning skjer øverst i sedimentkjernene. Hg og Pb øker også i de øverste 10 cm, fra bakgrunnsnivå dypere i kjernene. For 3 av de daterte sedimentkjernene skjer denne økning rundt år 1880–1900 (basert på ²¹⁰Pb-datering), mens den fjerde stasjonen fra Nk – Sk viser at denne økningen skjer noe senere. 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 7 analyserte sedimentkjernene. Disse metallene vurderes å være på bakgrunnsnivå på samtige stasjoner i de to transektene.</p>			
Emneord: Maringeologi	Sediment	Forurensing	
Tungmetall	Prøvetaking	MAREANO	
Miljø	Geokjemi	Datering	

INNHold

1.	INNLEDNING	5
2.	TOKT OG PRØVETAKING	5
3.	DATA OG METODIKK	11
4.	KVALITETSKONTROLL	12
5.	RESULTATER	12
5.1	Sedimentklassifisering og beregning av vektprosent karbonat.....	12
5.2	Overflateprøver (0-1 cm).....	15
5.2.1	Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon, karbonat og svovel.....	15
5.2.2	Innhold av tungmetaller, arsen og barium.....	20
5.3	Analysen av sedimentkjerner	29
5.3.1	Visuell bedømmelse og XRI-analyser.....	29
5.3.2	Kornstørrelsesfordeling i sedimentkjerner	31
5.3.3	Total organisk karbon, karbonat og svovel	34
5.3.4	Blyisotop 210 (²¹⁰ Pb) datering, ¹³⁷ Cs-målinger og sedimentakkumulasjonsrater .	37
5.4	Tungmetaller, arsen og barium i fire ²¹⁰ Pb-daterte sedimentkjerner og tre sedimentkjerner uten datering	44
5.5	Arsenkonsentrasjoner i overflatesedimentene og variasjoner i sedimentkjerner	58
5.5.1	Arsen - geografisk fordeling i overflatesedimentene i MAREANO-området	58
5.5.2	Arsenvariasjon i de 7 sedimentkjernene fra Kong Karls Land – Bjørøyrenna og Nordkapp – Sørkapp samt andre MAREANO-kjerner	58
6.	OPPSUMMERING	59
7.	REFERANSER	60

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, As, Cd, Pb, Se, Sn) og ICP-AES (30 elementer). Naturlige standarder Hynne og Nordkyn er inkludert i prøvelistene.

Vedlegg 2. 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.

Vedlegg 5. ¹⁴C-analyserapport fra fire sedimentkjerner. Leverandør av rapporter: ¹⁴Chrono, Queens University, Belfast, Nord-Irland.

1. INNLEDNING

MAREANO er et nasjonalt program for kartlegging av havbunnen. De første sedimentprøvene ble samlet inn i 2006. Resultater av målinger av uorganiske miljøgifter fra 2006-2017 er rapportert tidligere (rapporter og kart er tilgjengelige på www.mareano.no). Sedimentkjerner fra 14 stasjoner analysert for innhold av tungmetaller, arsen, barium, kornstørrelse, total organisk karbon, total karbon og total svovel. Utvalgte sedimentkjerner er i tillegg datert (^{210}Pb , ^{137}Cs samt ^{14}C). Flere sedimentkjerner er undersøkt med røntgen (XRI) for å studere strukturer i sedimentene. Figur 1a og 1b viser stasjonene i Barentshavet, dels med detaljoversikt over de to transektene og et kart som viser samtlige stasjoner i MAREANOs kartlegging 2006 – 2017 og inkl. HI-toktene i Barentshavet 2003 og 2004.

2. TOKT OG PRØVETAKING

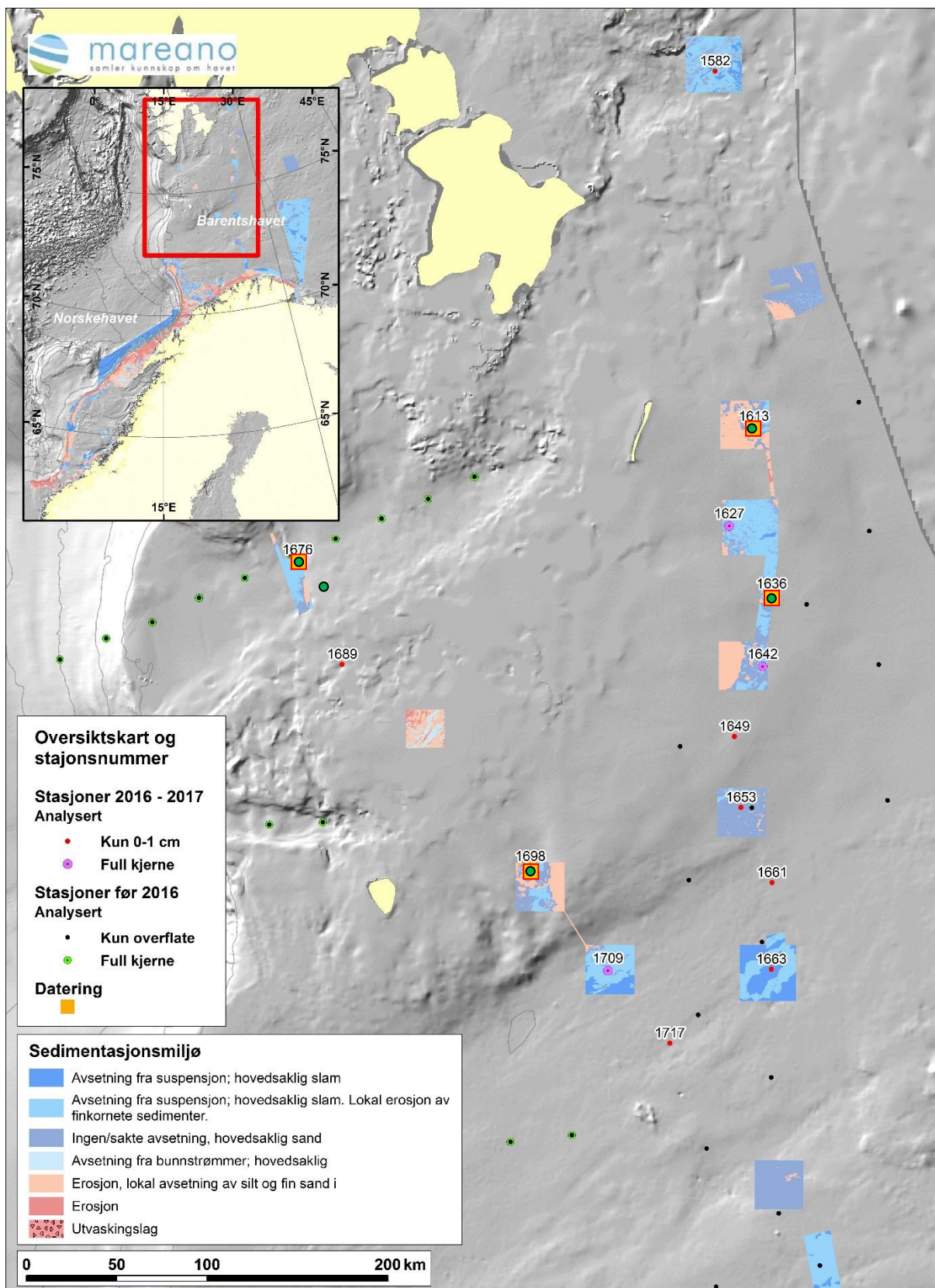
På toktene i 2016 og 2017 ble det tatt prøver på 14 stasjoner i Barentshavet. Tabell 1 gir en oversikt over havdyp, geografiske posisjoner og lengde på sedimentkjernene samt antall prøver tatt ut til analyse fra hver stasjon. Prøvetakingsutstyret består av en multicorer som har seks PVC-rør med 106 millimeter indre diameter og 60 cm lengde (Figur 2 og 3). Seks stasjoner ble tatt med multicorer. Åtte stasjoner ble tatt med boxcorer (Figur 4). Denne ble brukt på stasjoner hvor det ikke var mulig å bruke multicoreren p.g.a. mulighet for skade på utstyret, uegnede bunnforhold eller problemer med vinsjene på G.O Sars. På KKL-Br var det tekniske utfordringer med å sette ut multicorer fra akterdekket på tokt 2016-113.

Tabell 1a. Prøvetakingsstasjoner.

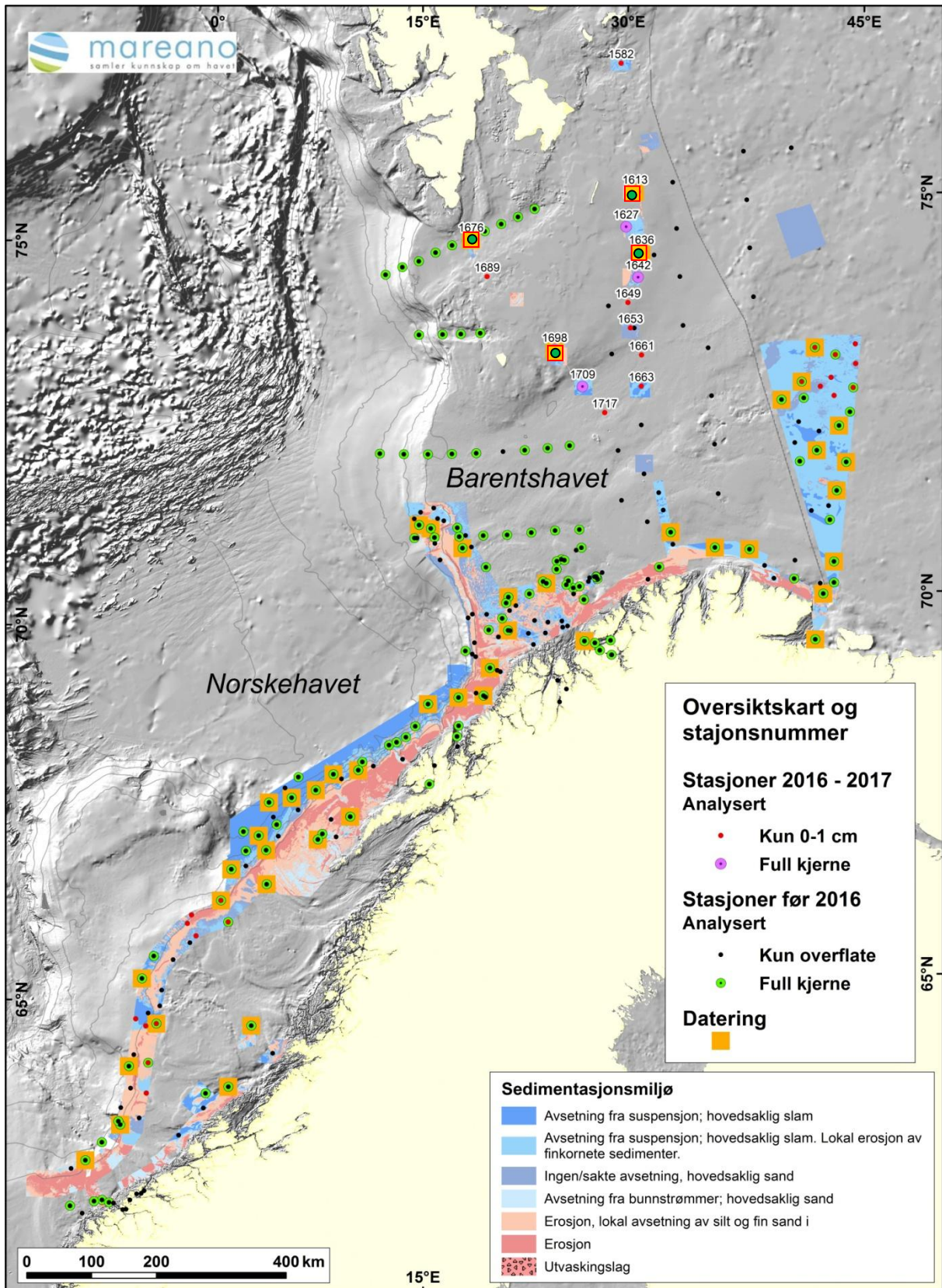
Stasjon	Område	Geografiske koordinater (WGS 84)		Havdyp [m]	Prøvetaking utstyr
		Nord	Øst		
Tokt 2016-113					
R1582BC007	KKL – Br, boks 1	78 15,120	28 32,790	306,6	Boxcorer
R1613MC010	KKL – Br, boks 3	76 28,770	27 36,660	133,8	Multicorer
R1627BC012	KKL – Br, boks 4	76 01,920	26 41,680	181,8	Boxcorer
R1636MC014	KKL – Br,	75 38,960	27 14,950	220,8	Multicorer
R1642BC015	KKL – Br, boks 5	75 18,940	26 47,610	215,2	Boxcorer
R1649BC016	KKL – Br,	75 00,120	25 59,930	208,1	Boxcorer
R1653MC015	KKL – Br, boks 6	74 39,030	25 52,570	296,7	Boxcorer
R1661BC019	KKL – Br,	74 15,320	26 11,040	409,5	Boxcorer
R1663BC022	KKL – Br, boks 7	73 50,030	25 52,990	459,2	Boxcorer
Tokt 2017-103					
R1676MC001	Nk-Sk	76 06,990	17 46,050	298,6	Multicorer
R1689MC002	Nk-Sk	75 35,810	18 33,530	129,9	Multicorer
R1698MC003	Nk-Sk	74 30,289	21 49,187	202,7	Multicorer
R1709MC004	Nk-Sk	73 57,296	22 59,595	451,7	Multicorer
R1717BC010	Nk-Sk	73 33,304	23 53,925	449,4	Boxcorer

Tabell 1b. Prøvetakingsstasjoner med analyserte sedimentprøver.

Stasjon	Prøvetaking utstyr	Kjernelengde [cm]	Antall prøver til kjemisk analyse
Tokt 2016-113			
R1582BC007	Boxcorer	26	1
R1613MC010	Multicorer	32	23
R1627BC012	Boxcorer	31	23
R1636MC014	Multicorer	35	25
R1642BC015	Boxcorer	20	17
R1649BC016	Boxcorer	24	1
R1653MC015	Multicorer	5	1
R1661BC019	Boxcorer	1	1
R1663BC022	Boxcorer	15	1
Tokt 2017-103			
R1676MC001	Multicorer	31	23
R1689MC002	Multicorer	28	1
R1698MC003	Multicorer	38	26
R1709MC004	Multicorer	32	23
R1717BC010	Boxcorer	1	1



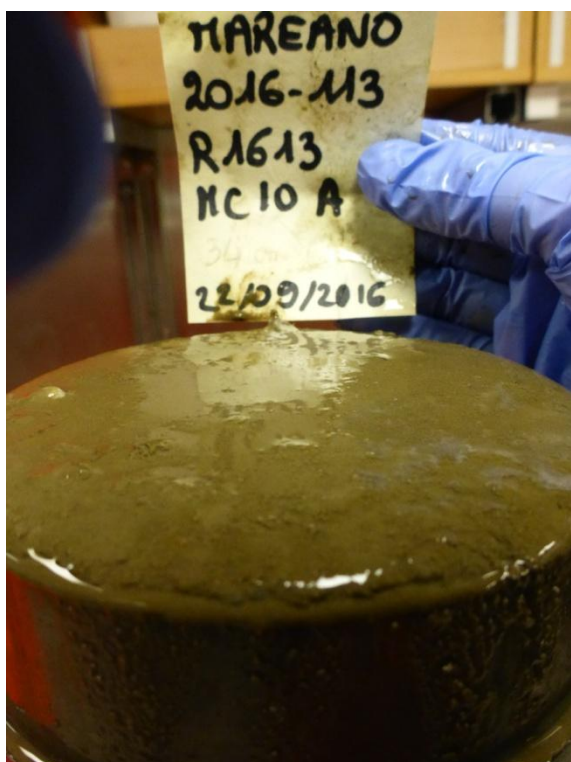
Figur 1a. Kart over MAREANOs prøvetakingsstasjoner i området for transektene KKL-Br (i øst) og Nk-Sk (i vest).



Figur 1b. Kart over alle MAREANOs prøvetakingsstasjoner i perioden 2006-2017, inkludert stasjoner prøvetatt i 2003 og 2004.



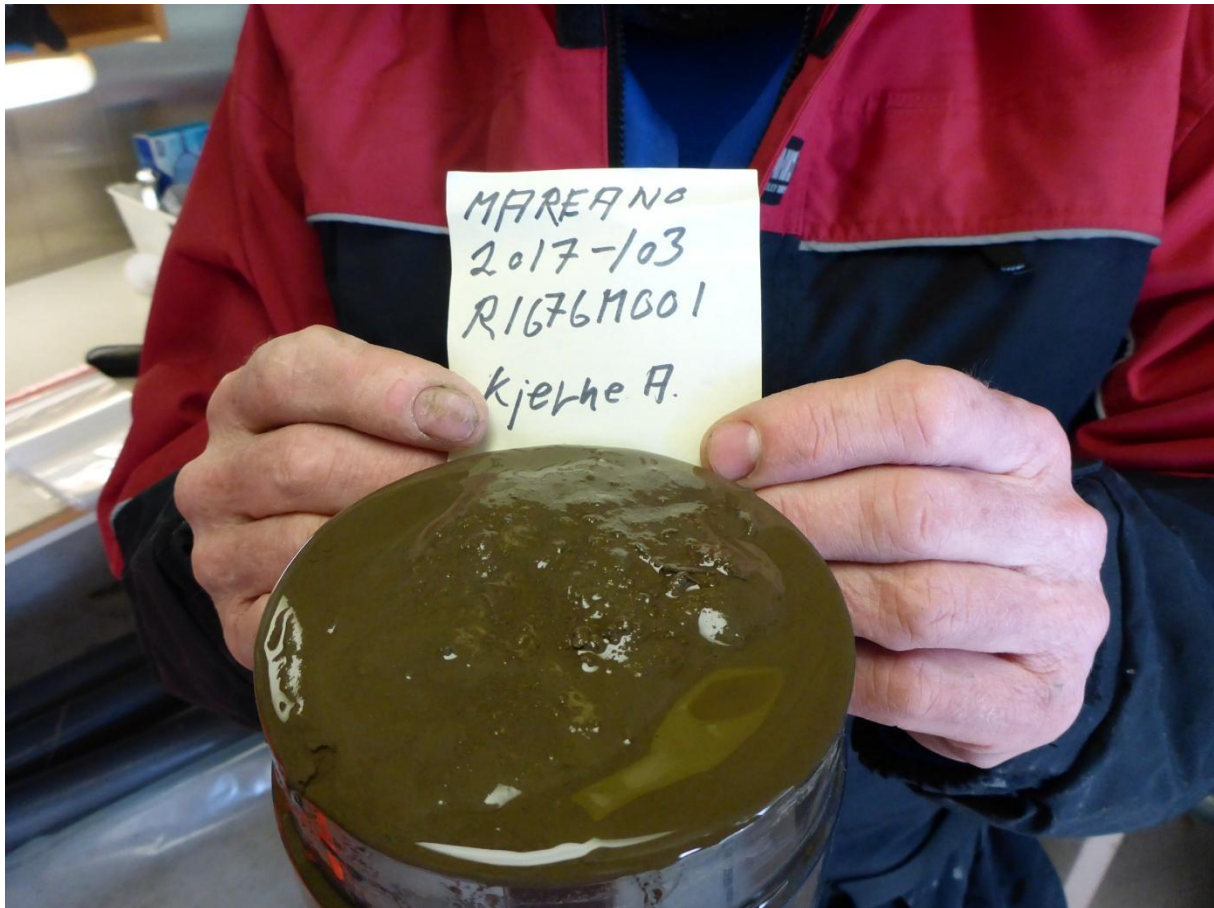
Figur 2. Sedimentkjerner i multicorer fra stasjon R1613, KKL – Br.



Figur 3. Toppen av sedimentkerne A fra stasjon R1613MC010, før sedimentkjernen deles opp i 1-cm tykke skiver. De øverste centimeterne i sedimentkjernen har høyt vanninnhold.



Figur 4. Sedimentkjerne A fra stasjon R1676MC001 tatt med multicorerer fra Nk-Sk. Lengden på sedimentkjernen er 35 cm.



Figur 5. Sedimentkjerne A fra stasjon R1676MC001 fra Nk - Sk klar for skiving.

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 frysetørking og uttak til følgende analyser gjennomført:

- Bestemmelse av organisk karbon (TS, TC og TOC) ved hjelp av Leco.
- Innvekt 1,0 g til 7M HNO_3 -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 sedimentkjerne som prøvene til uorganisk kjemiske analysene nevnt ovenfor.

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 7 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 TOC, TC, TS (vektprosent) ^{210}Pb , ^{137}Cs og ^{14}C . 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 detekt.
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
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
¹⁴ C		Nei		

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 %.
Silt holdig 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.

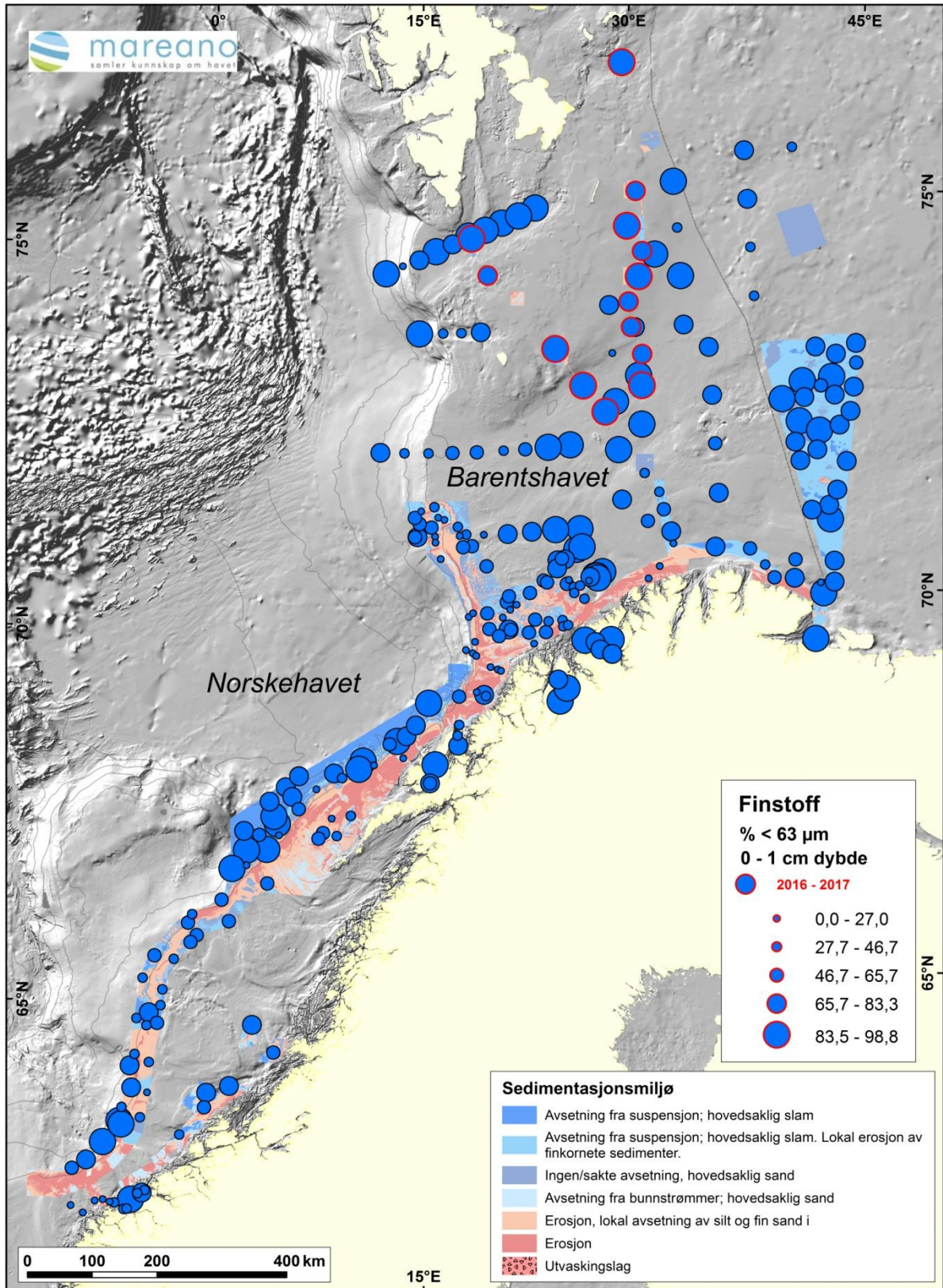
5.2 Overflateprøver (0-1 cm)

De geokjemiske resultatene for overflateprøvene (0-1 cm) rapporteres for å gi oversikt over dagens miljøtilstand. Parametrene som presenteres her er sedimentenes finstoffandel, 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 blir analysert i forbindelse med dateringsanalysene utført på sedimentkjerner fra fem utvalgte stasjoner.

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 multistråledata (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 14 stasjonene fra de to transektene. Tolv av de 14 prøvene består av sandholdig silt. Bare de to sørligste prøvene i Nk – Sk består av silt, da andelen sand i de to prøvene er mindre enn 10 %. Siltfraksjonen utgjør 60 – 82 %, mens sandfraksjonen varierer fra 7 - 30 %. Andelen leir utgjør 7,2 – 14,4 %. Det er viktig å merke seg at kornfordelingsanalyse med Coulter gir lavere leirinnhold og høyere siltinnhold enn andre tradisjonelle metoder for kornfordelingsanalyse (Rise og Brendryen, 2013). Andelen leir kan i enkelte tilfeller ganges med fire og siltandelen deles med fire, slik at for eksempel sandholdig silt kan klassifiseres som sandholdig slam (Tabell 4).



Figur 5. Andel finstoff (<math><63\mu\text{m}</math>) i overflateprøvene. Prøvene fra 2016 og 2017 fra KKL – Br og Nk-Sk er markert med rød ring.

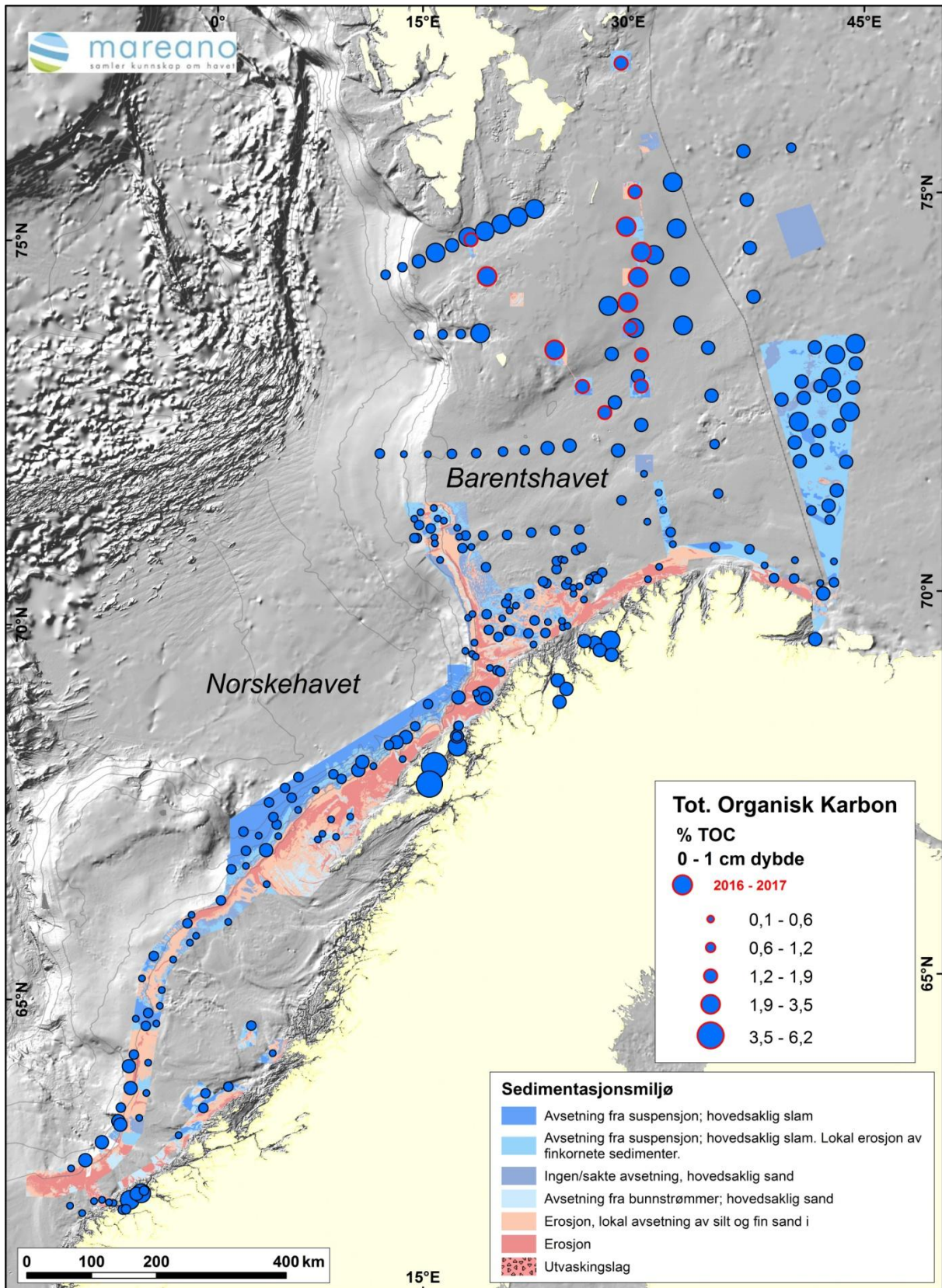
Tabell 4. Kornstørrelsesfordeling¹ og sedimentklassifisering for overflateprøvene (0-1 cm dybde) basert på Coulter data.

Stasjon	Område	Leir < 2 µm [%]	Silt 2- 63 µm [%]	Finstoff <63µm [%]	Sand 63-2000 µm [%]	Grus >2000 µm [%]	NGU sediment Klassifisering
R1582BC007	KKL – Br	14,4	75,2	89,6	10,4	0	Sandholdig silt
R1613MC010	KKL – Br	7,2	74,1	81,3	18,7	0	Sandholdig silt
R1627BC012	KKL – Br	10,7	73,9	84,6	15,4	0	Sandholdig silt
R1636MC014	KKL – Br	10,9	70,8	81,7	18,3	0	Sandholdig silt
R1642BC015	KKL – Br	12,9	76,5	89,4	10,6	0	Sandholdig silt
R1649BC016	KKL – Br	10,2	72,9	83,1	16,9	0	Sandholdig silt
R1653MC015	KKL – Br	9,0	60,8	69,8	30,2	0	Sandholdig silt
R1661BC019	KKL – Br	9,1	66,3	75,4	24,6	0	Sandholdig silt
R1663BC022	KKL – Br	9,7	79,1	88,8	11,2	0	Sandholdig silt
R1676MC001	Nk – Sk	9,2	78,5	87,7	12,3	0	Sandholdig silt
R1689MC002	Nk – Sk	15,2	64,7	79,9	20,1	0	Sandholdig silt
R1698MC003	Nk – Sk	9,7	79,3	89,0	11,0	0	Sandholdig silt
R1709MC004	Nk – Sk	11,1	81,6	92,7	7,3	0	Silt
R1717BC010	Nk – Sk	10,7	82,3	93,0	7,0	0	Silt

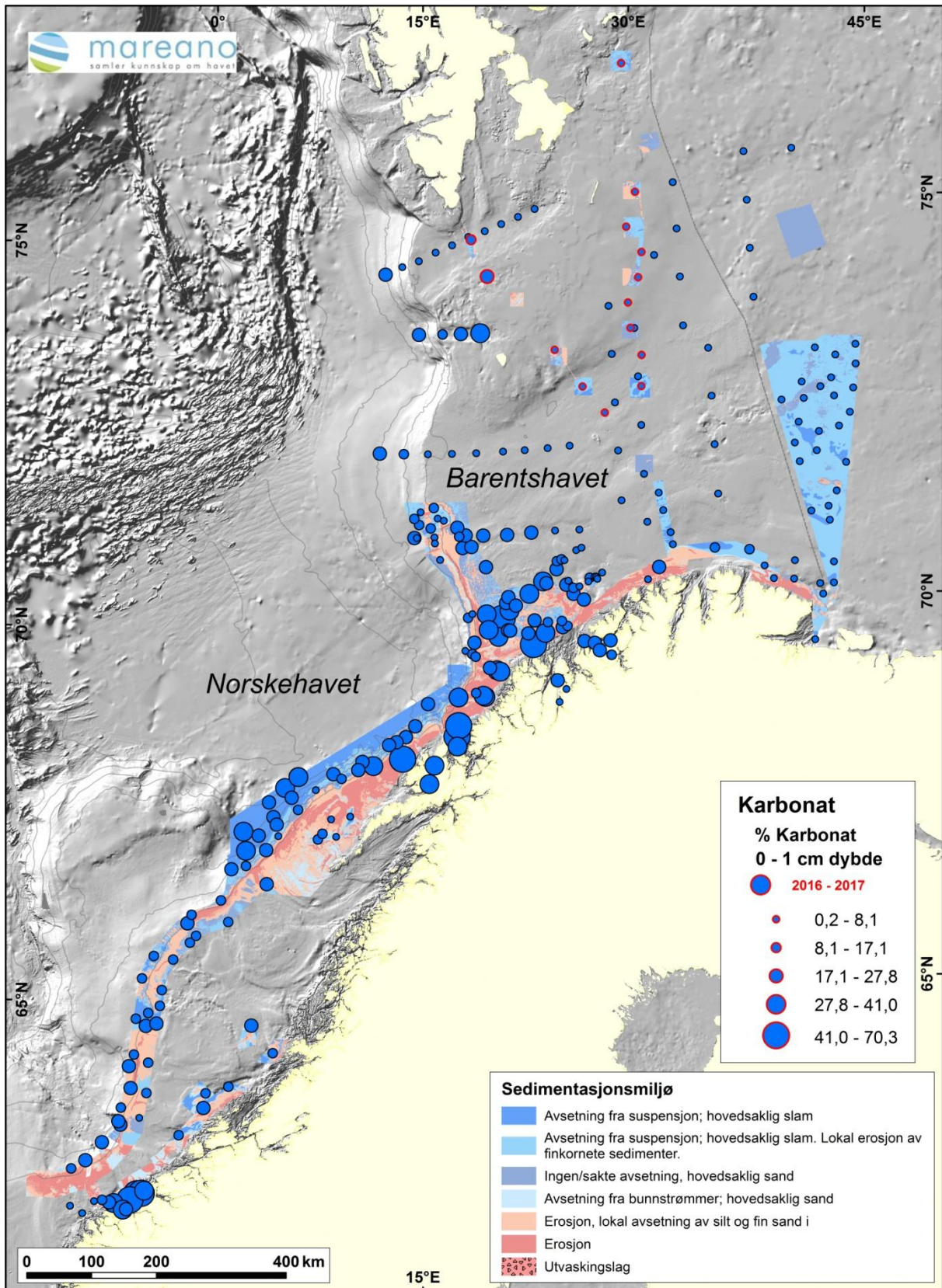
¹ Det er viktig å merke seg at kornfordelingsanalyse med Coulter gir mye lavere leirinnhold og høyere siltinnhold enn andre tradisjonelle metoder for kornfordelingsanalyse (Rise og Brendryen 2013). Andelen leir kan i enkelte tilfeller ganges med fire og siltandelen deles med fire, slik at for eksempel sandholdig silt kan klassifiseres som sandholdig slam (se Tabell 3).

TOC i overflateprøvene er presentert i Figur 6. De 14 prøvene fra de to transektene har TOC som varierer fra 1,28 (R1582 lengst mot nord i KKL – Br) til 3,30 vektprosent (R1642) (Figur 6). De analyserte prøvene fra de to transektene har tilsvarende TOC-verdier som de tidligere analyserte prøvene i denne delen av Barentshavet (Figur 6).

De fjorten stasjonene fra de to transektene har generelt lave innhold av karbonat, varierende fra 1,3 til 9,3 vektprosent (Figur 7) med ett enkelt unntak, R1689 (Nk – Sk) på Spitsbergenbanken med 23,7 vektprosent karbonat. Den generelt lave andelen karbonat kan forklares med at kalkskallene løses opp når organismene dør. 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). Den ene prøven med høyere karbonatandel (R1689 fra Spitsbergenbanken) ligger i et grunnere område (ca. 130 m havdyp) enn de øvrige prøvene fra Nk – Sk, som ligger på c. 200-400 m havdyp. Det er også et område med forskjellige vannmasser: varmere atlantiske vannmasser kan bevare kalkskjell, mens polare kalde vannmasser ikke bevarer kalkskjell i samme grad (Steinsund og Hald, 1993).



Figur 6. TOC i overflateprøver. Prøvene fra toktene 2016-113 og 2017-103 er markert med rød ring.



Figur 7. Innhold av karbonat i overflateprøver (vektprosent). Prøvene fra toktene 2016-113 og 2017-103 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

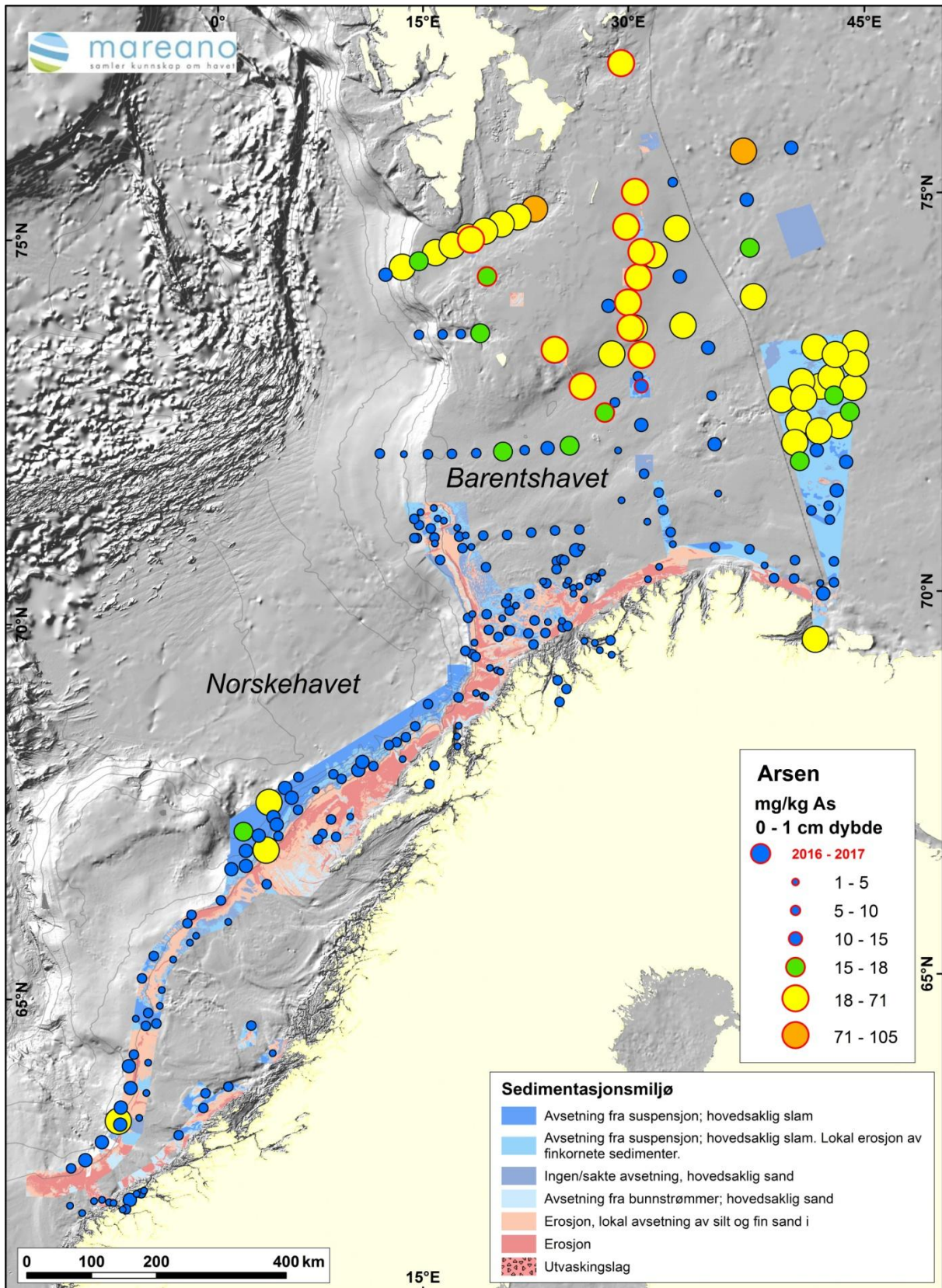
Barium (Ba) er også inkludert selv om Ba ikke er et toksisk element. Olsgård og Gray (1995) og Rye (1996) har rapportert om utslipp av barytt fra norsk offshorevirksomhet i Nordsjøen. Ba i sedimenter i Skagerrak er rapportert, og de forhøyede verdiene øverst i havbunnen er tolket som tilførsel av barium 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 14,1 – 49,7 mg/kg sediment. Totalt 11 prøver (Figur 8) har mer enn 18 mg/kg sediment og er dermed i Miljødirektoratets Klasse III (18 -71 mg/kg), Klasse II for to prøver (15 – 18 mg/kg sediment). En enkelt prøve er i Klasse I. Dette er prøven lengst mot sør i KKL – Br, R1663.

Bly (Pb)

Prøvene varierer fra 13,4 til 26,1 mg/kg, med høyeste konsentrasjon på stasjon R1709 sør i Nk – Sk (Figur 9). 13 sedimentprøver har Pb-konsentrasjoner i Klasse I for kyst- og fjordsedimenter (Klasse I: <25 mg/kg) (Figur 9), mens R1709 er i Klasse II.



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 2016-113 og 2017-103 er markert med rød ring.

Kadmium (Cd)

Prøvene har lave kadmiumkonsentrasjoner eller er under deteksjonsgrensen på 0,1 mg/kg. Fem prøver har Cd-konsentrasjoner under deteksjonsgrensen på 0,1 mg/kg sediment, mens de andre 9 overflateprøvene varierer fra 0,10 til 0,16 mg/kg sediment. Samtlige prøver fra KKL – Br og Nk – Sk er i Klasse I - bakgrunn for kyst- og fjordsedimenter (<0,25 mg/kg).

Kobber (Cu)

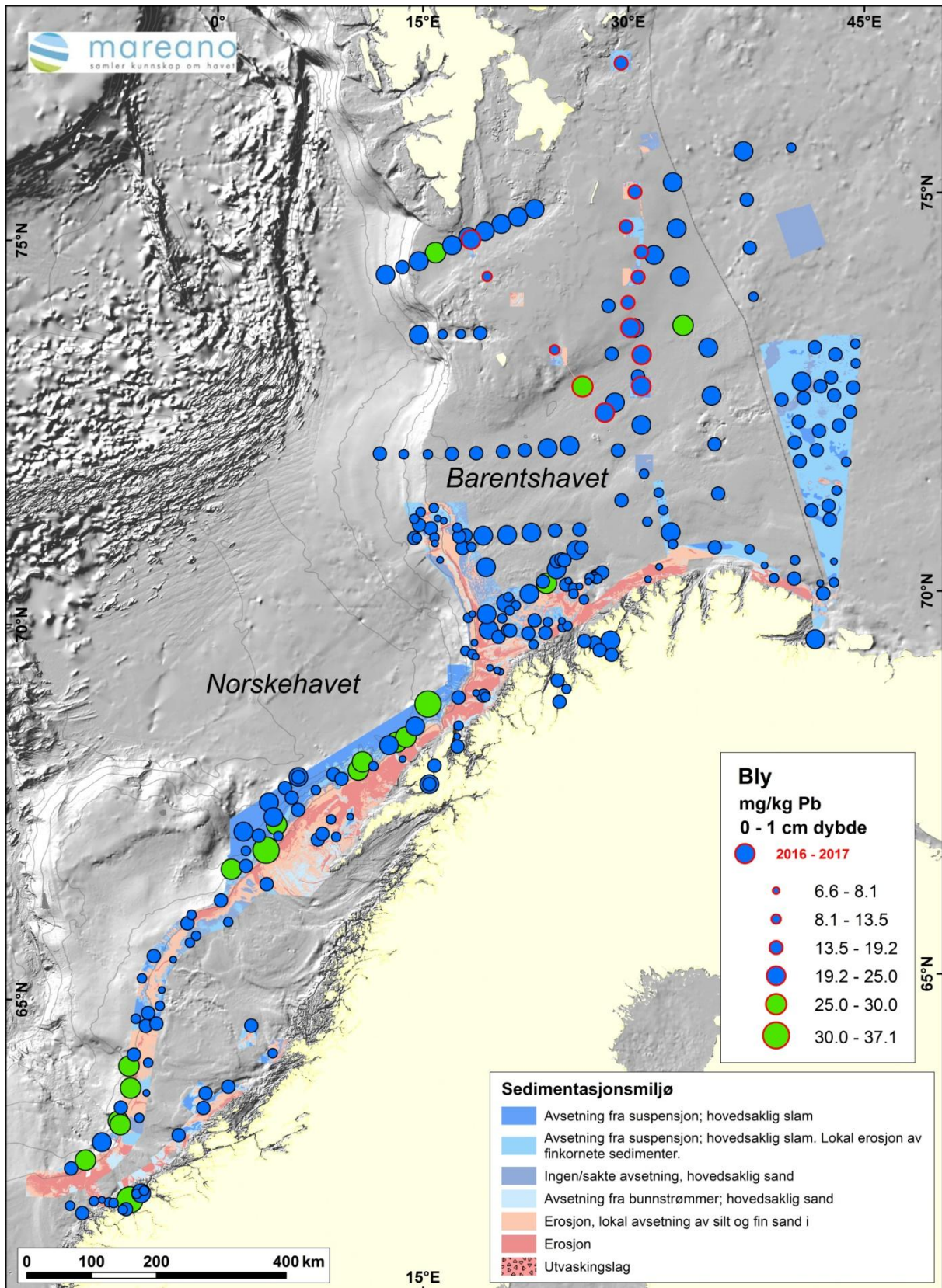
Prøvene fra de to transektene har Cu-konsentrasjoner varierende fra 9,1 til 19,5 mg/kg med høyest konsentrasjon i R1582, den nordligste stasjon i KKL – Br. Samtlige 14 overflateprøver fra de to transektene har konsentrasjoner i Klasse I – bakgrunn for kyst og fjordsedimenter (<20 mg/kg).

Krom (Cr)

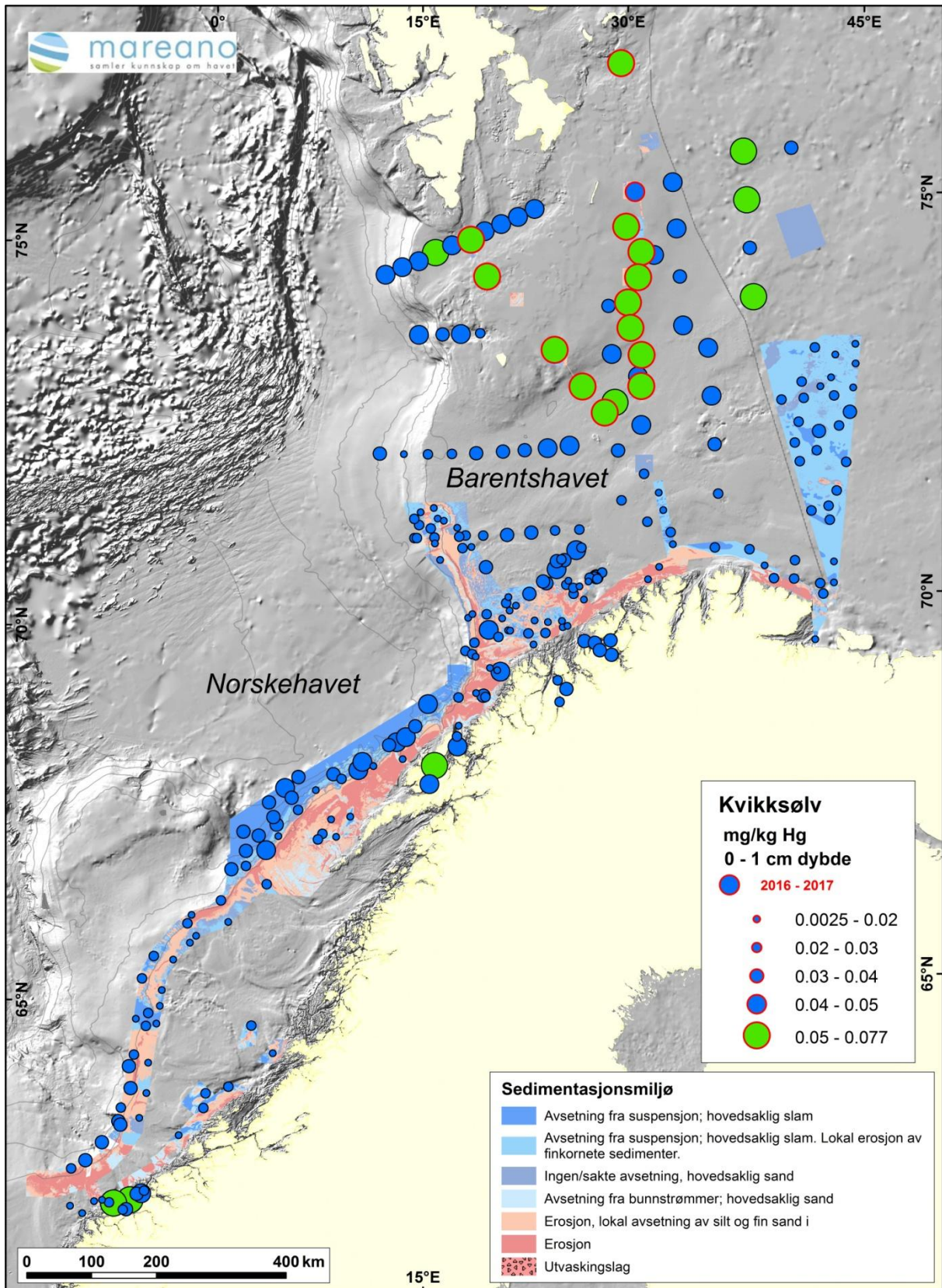
Prøvene fra de to transektene har Cr-konsentrasjoner varierende fra 23,4 til 46,4 mg/kg. Med høyest konsentrasjon i R1582, den nordligste stasjon i KKL – Br. Samtlige overflateprøver har konsentrasjoner i Klasse I – bakgrunn for kyst og fjordsedimenter (<60 mg/kg).

Kvikksølv (Hg)

Hg ble analysert ved et eksternt laboratorium (Tabell 2), mens syreekstraksjonen ble gjennomført ved NGU. Hg i overflateprøvene er vist i Figur 10. Prøvene har Hg-konsentrasjoner varierende fra 0,046 til 0,077 mg/kg. 13 av de 14 prøvene er i Klasse II (0,050 – 0,52 mg/kg sediment) mens en enkelt prøve fra R1613 i KKL – Br 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 toktene 2016-113 og 2017-103 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 toktene 2016-113 og 2017-103 er markert med rød ring.

Nikkel (Ni)

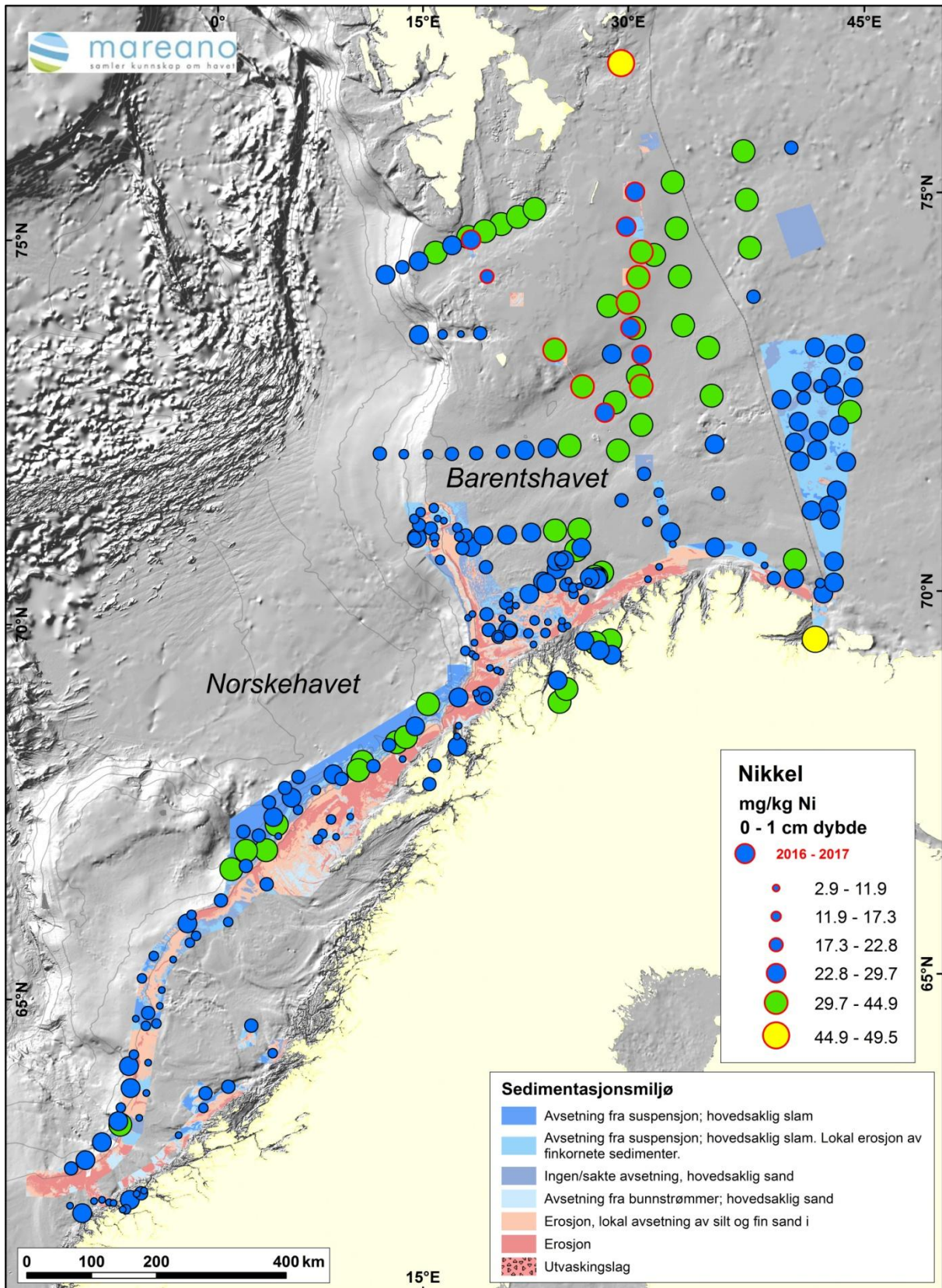
Figur 11 viser Ni-konsentrasjon i overflateprøvene. Prøvene har Ni-konsentrasjoner varierende fra 17,7 til 49,5 mg/kg med den høyeste konsentrasjonen lengst mot nord nær KKL – Br (R1582). Denne stasjonen har Ni-konsentrasjon i Klasse III (42 – 271 mg/kg sediment), mens 6 prøver fra de to transektene er i Klasse II (32 – 42 mg/kg sediment) og de resterende 7 prøver er i Klasse I (< 30 mg/kg sediment). Det er generelt litt høyere Ni-konsentrasjoner i prøvene fra KKL – Br sammenliknet med Nk – Sk.

Sink (Zn)

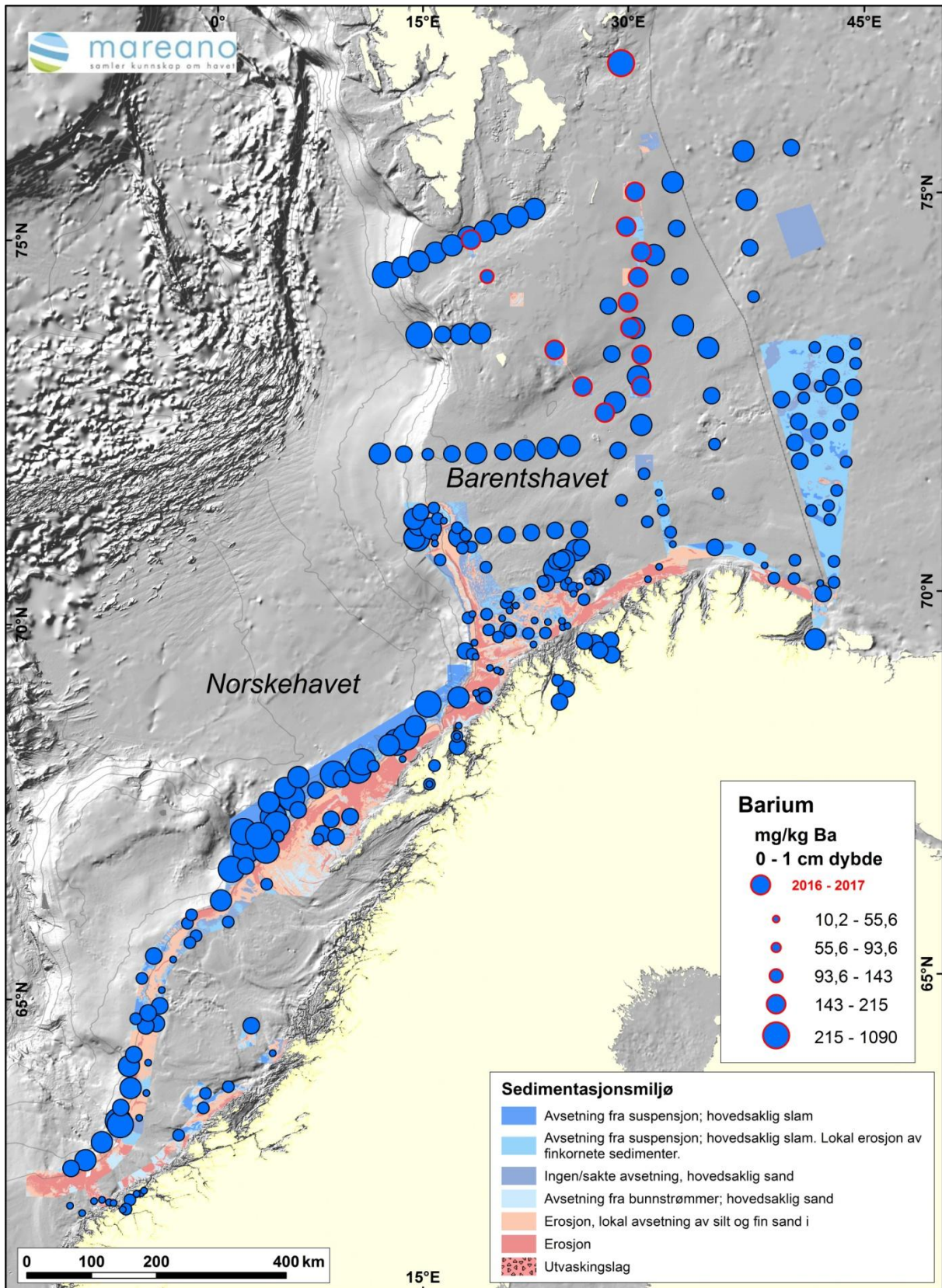
De fjorten prøvene har ganske like konsentrasjoner, fra 43,5 til 103 mg/kg, med den høyest ekonsentrasjon i R1582, som ligger lengst mot nord i KKL – Br. 13 av de 14 overflateprøver fra de to transektene er i tilstandsklasse I (bakgrunn) for fjord og kystsedimenter (<90 mg/kg), mens prøven fra R1582 er i tilstandsklasse II (god, 90 – 139 mg/kg sediment).

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 fra de to transektene har konsentrasjoner varierende fra 113 til 224 mg/kg, med den høyeste konsentrasjonen i R1582, lengst mot nord i KKL – Br.



Figur 11. Nikkel i overflateprøver. Blå punkt angir tilstandsklasse I for kyst- og fjordsedimenter. Grønn punkt angir Klasse II (30-42 mg/kg). Gule punkt angir Klasse III (42 – 271 mg/kg TS). Prøvene fra toktene 2016-113 og 2017-103 er markert med rød ring.



Figur 12. Barium i overflatesedimenter. Prøvene fra toktene 2016-113 og 2017-103 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 for de fire analyserte stasjonene R1613, R1636 (KKL – Br) og R1676 og R1698 (Nk – Sk). Det er registrert et nivå på 4 Bq/kg sediment i R1636, mens de øvrige 3 stasjonene har 0 Bq/kg sediment i overflateprøvene.

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/>

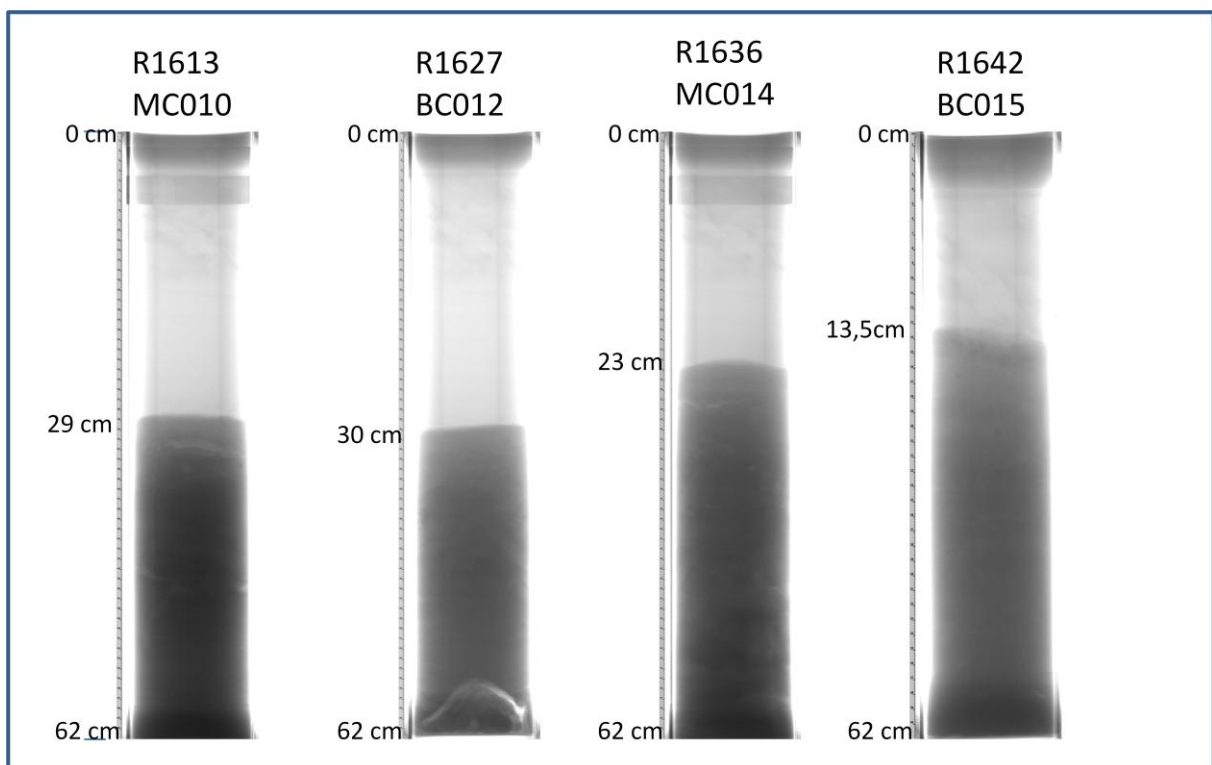
Tabell 5. Metaller og arsen (14 stasjoner fra tokt 2016-113 og 2017-103) i henhold til Miljødirektoratets tilstandsklasser for marine overflatesedimenter. Uthevet skrift viser antall prøver i intervallet 0-1 cm i hver av klassene I-V.

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	1	2	11	0	0
Bly (mg/kg)	<25	25 -150	150-1480	1480-2000	>2000
Pb	13	1	0	0	0
Kadmium (mg/kg)	<0,20	0,20 – 2,5	2,5 –16	16 – 157	>157
Cd	14	0	0	0	0
Kobber (mg/kg)	<20	20-84	84	84-114	>114
Cu	14	0	0	0	0
Krom (mg/kg)	<60	60 – 660	660 – 6000	6000 – 15500	>15500
Cr	14	0	0	0	0
Kvikksølv (mg/kg)	<0,050	0,05 – 0,52	0,52 – 0,75	0,75 – 1,45	>1,45
Hg	1	13	0	0	0
Nikkel (mg/kg)	<30	30 – 42	42 – 271	271 – 533	>533
Ni	7	6	1	0	0
Sink (mg/kg)	<90	90 – 139	139 – 750	750 – 6690	>6690
Zn	13	1	0	0	0

5.3 Analyser av sedimentkjerner

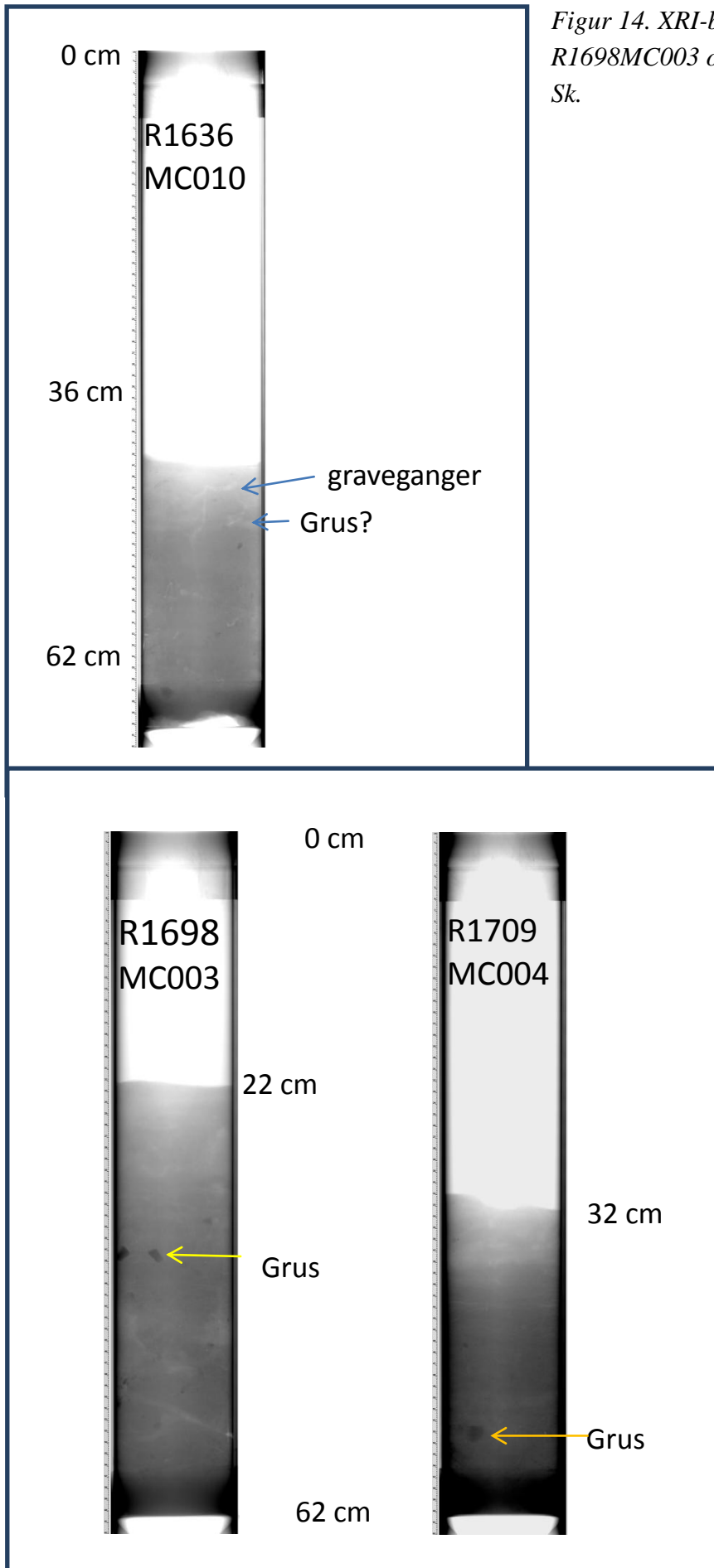
5.3.1 Visuell bedømmelse og XRI-analyser

Sedimentkjernene blir beskrevet om bord før de blir delt opp i 1 cm tykke skiver. På de fleste stasjonene er det 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. Eksempler fra de forskjellige områdene blir presentert her, med vekt på sedimentkjerner fra de fem stasjonene hvor det er gjennomført dateringsanalyser. Dette gjelder stasjonene R1613, og R1636 fra KKL – Br og stasjonene R1676 og R1698 fra Nk – Sk. 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, skallfragmenter eller større sedimentære partikler som grus. Figur 13 viser sedimentkjerner fra R1613, R1627, R1636 og R1642 fra KKL – Br. De 4 sedimentkjernene har homogene sedimenter uten synlige strukturer utover bioturbasjon. De tre sedimentkjernene fra Nk – Sk, R1676, R1698 og 1709 er presentert i Figur 14. Her ses det partikler i grusstørrelse i forskjellige dyp i de tre sedimentkjernene. Graveganger er tydelige spesielt i R1676 fra Storfjordrenna. Samtlige 7 sedimentkjerner er analysert gjennom hele kjernene (avsnitt 5.4).



Figur 13. XRI-bilder av sedimentkjerner fra R1613MC010, R1627BC012, R1636MC014 og R1642BC015 fra KKL – Br.

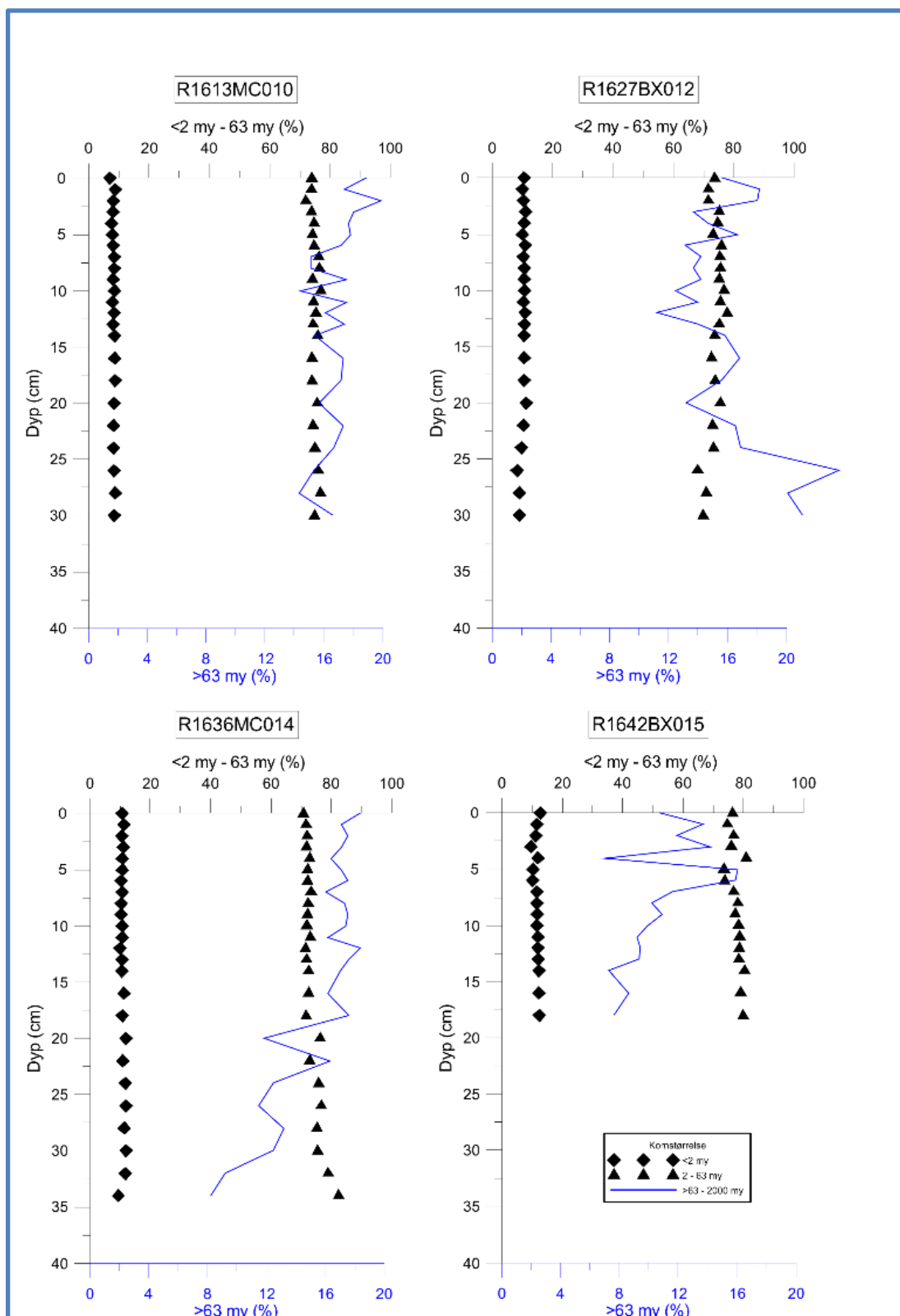
Figur 14. XRI-bilder av R1676MC001, R1698MC003 og R1709MC004 fra Nk – Sk.



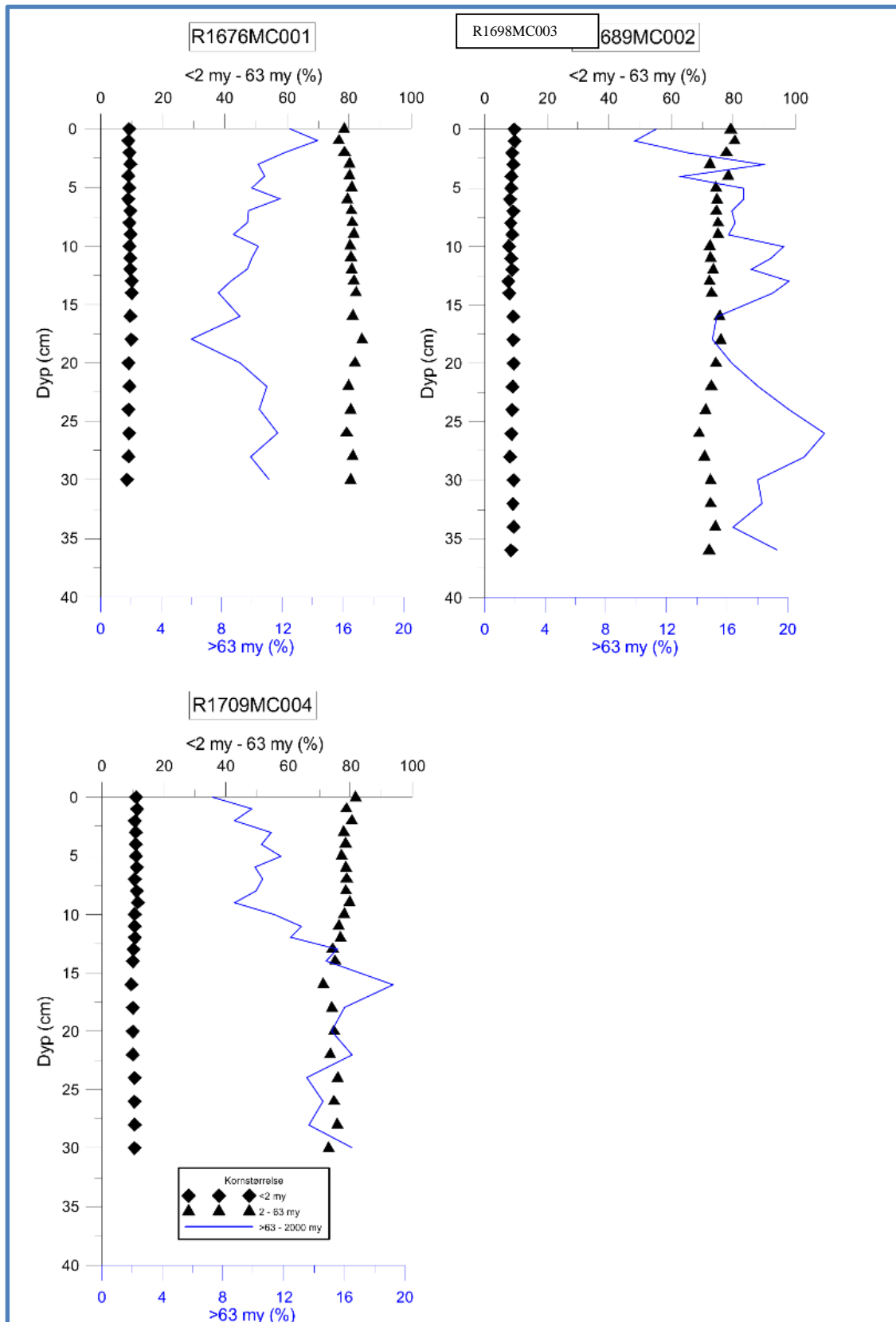
5.3.2 Kornstørrelsesfordeling i sedimentkjerner

De fire sedimentkjernene fra KKL – Br, R1613, R1627, R1636, og R1642 viser lite forskjell i kornfordeling (leir, silt, sand) (Figur 15). Andelen av finstoff (fraksjonene $<2 \mu\text{m} + 2-63 \mu\text{m}$) er større enn 80 % i alle kjerner og indikerer sammenlignbare avsetningsmiljø. Det er en gradvis stigning av sandinnhold (blå linje i Figur 15) fra bunnen til toppen av kjerne R1636 og R1642, noe som kan indikere gradvis sterkere havstrømmer mot toppen. Det motsatte, fallende innhold av sand fra bunn til topp i kjerne R1627 er muligvis et resultat av svakere havstrømmer mot toppen og dermed mulighet for økt avsetning av finstoff ($< 63 \mu\text{m}$). Det finnes ingen alderdatering med ^{210}Pb , ^{137}Cs eller ^{14}C for R1627, men dateringen på ca. 9000 år før nåtid (BP) i den nedre delen av kjerne R1636 (Tabell 6, avsnitt 5.3.4) tyder på at sedimentasjonshastigheten er lav i dette området.

Mens R1676 fra Storfjordrenna har en generelt høy finkornandel ($< 2 \mu\text{m} + 2 - 63 \mu\text{m}$) ($>90\%$), viser R1698 og R1709 (Figur 1a) fra Bjørnøyrenna en mer variabel andel sand. Konstant kornstørrelse i R1676 (Storfjordrenna) tyder på stabile sedimentasjonsforhold med svake havstrømmer. R1698 og R1709 fra Bjørnøyrenna, med større variasjon i andel sand, tyder på mer dynamiske bunnstrømforhold. I R1698 og R1709 reduseres sandinnholdet fra bunnen til toppen, som indikerer svakere havstrømmer mot toppen. Dermed er forutsetningen for avsetning av finstoff tilstede. Endring skjer fra ca. 20 cm under overflaten i R1698 og ca. 15 cm i R1709. Variasjon i sandinnhold tyder på varierende sedimentasjonsforhold og da spesielt havstrømmenes styrke over tid (Figur 16). Økt andel finstoff betyr sannsynligvis økt sedimentasjon i de øvre delene av R1698 og R1709 sammenliknet med de nedre delene av de to sedimentkjernene.



Figur 15. Kornfordelingskurver for R1613, R1627, R1636 og R1642 i KKL – Br (fraksjonene <2 μm , 2-63 μm , 63-2000 μm). Dybdeskalaen til venstre er i centimeter.

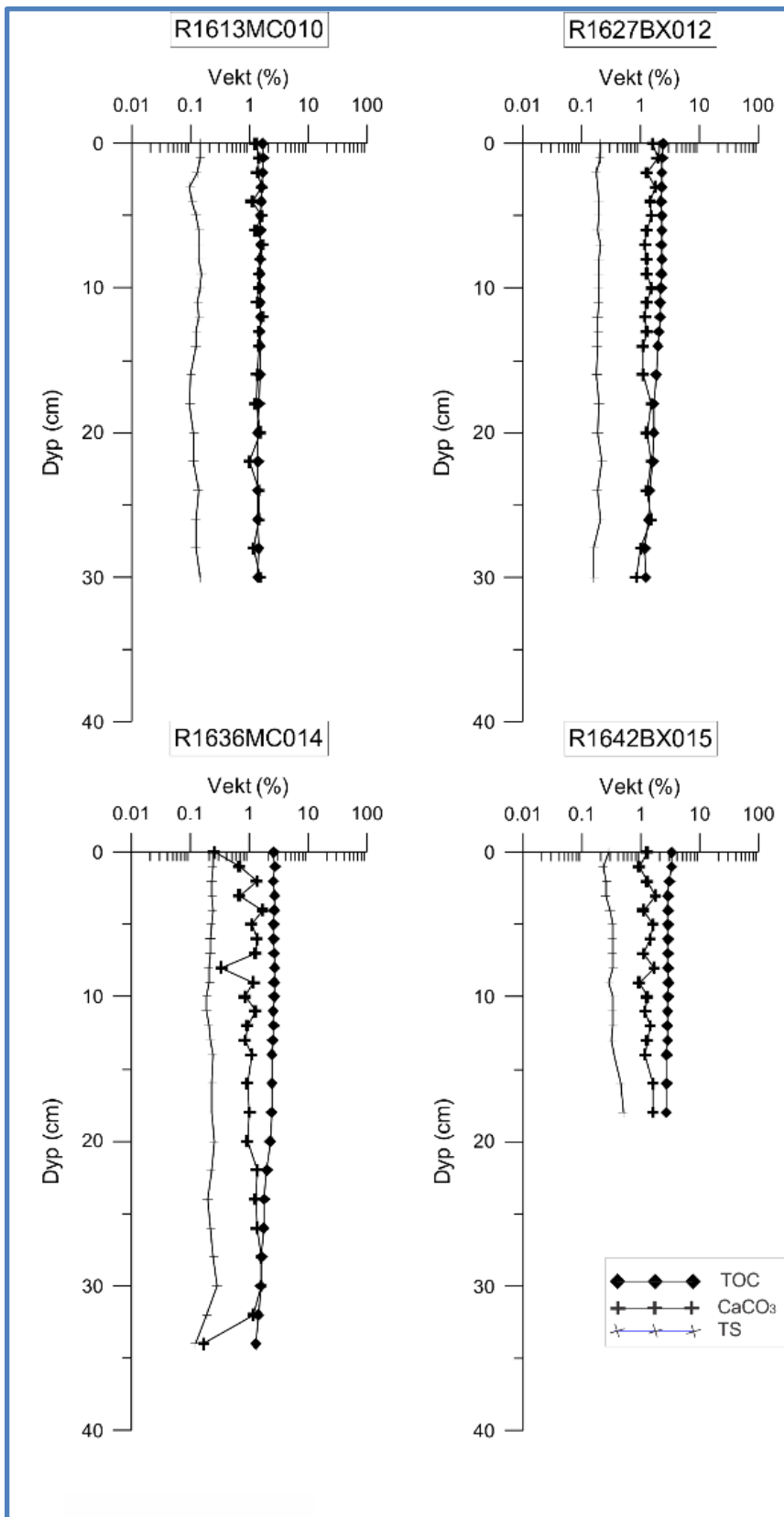


Figur 16. Kornfordelingskurver for R1676, R1698, og R1709 fra Nk – Sk (fraksjonene <2 μm, 2-63 μm, 63-2000 μm). Dybdeskalaen til venstre er i centimeter.

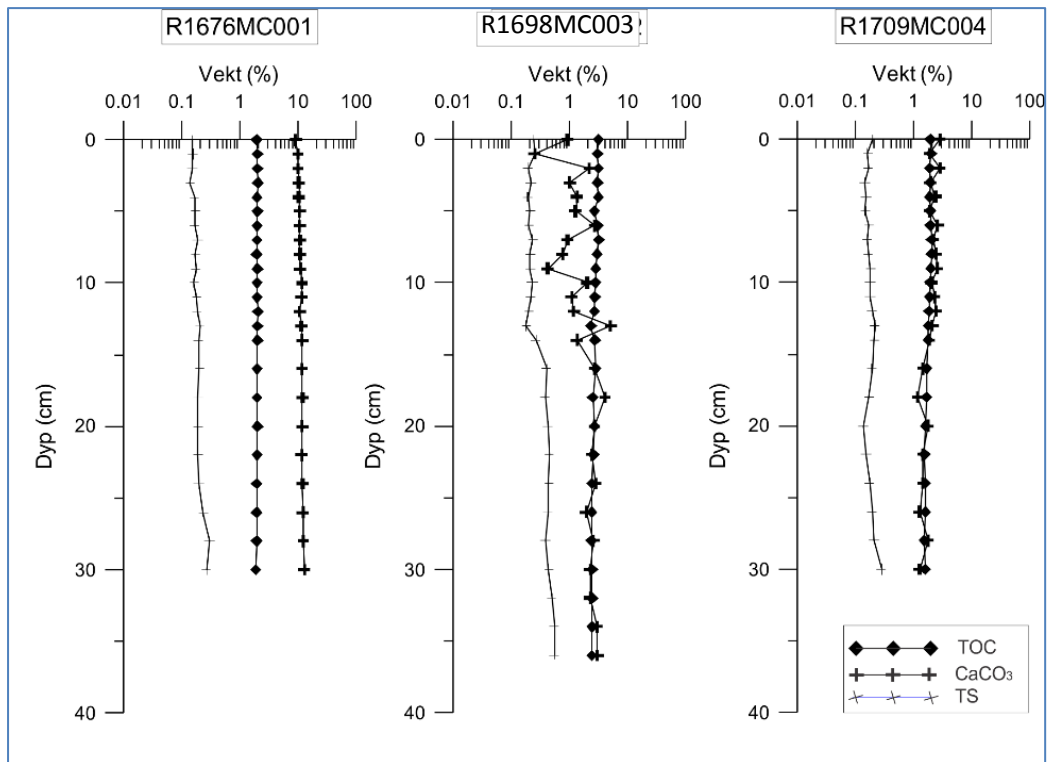
5.3.3 Total organisk karbon, karbonat og svovel

Innholdet av total organisk karbon (TOC) og karbonat (CaCO_3) varierer i de 4 sedimentkjernene R1613, R1627, R1636 og R1642 fra KKL – Br. R1636 og R1642 har høye andel TOC (~2-3%) og lavt karbonatinnhold på under 2 % (Figur 17). TOC-andelen i kjerne R1613 og R1627 varierer mellom ~1 og 2 %, mens karbonatinnholdet forblir lavt (<3 %). Generelt er de høyeste TOC-verdiene observert på sedimentoverflaten på hver stasjon, med gradvis synkende verdier mot bunnen (Figur 17).

Liknende mønster er observert i kjerner R1698 og R1709 fra Nk – Sk. Karbonat utgjør ikke mer enn 3.5 % i disse sedimentkjernene. Mens det er relativt stabile nivåer fra bunn til topp i kjerne R1709, er TOC i R1698 sterkt varierende mot toppen (Figur 18). Lavt karbonatinnhold i alle disse kjernene kan skyldes varierende sjøisdekke og manglende produksjon av karbonat, eller løsning av karbonat som følge av stor akkumulasjon av organisk karbon ofte beskrevet på shelfen i Barentshavet (Steinsund m. fl. 1996). I kjerne R1676 i Storfjordrenna, er karbonatinnholdet betydelig høyere (~10 %), noe som muligens indikerer en sterkere innflytelse av atlantiske vannmasser. Svovelinholdet varierer generelt mellom 0.1 og 0.3 % i alle kjernene i Nk – Sk, omtrent som svovelkonsentrasjonene i KKL – Br (Figur 17 og 18).



Figur 17. Variasjoner i TOC, karbonat (CaCO₃) og svovel (TS) i sedimentkjerne fra stasjonene R1613, R1627, R1636, og R1642 fra KKL – Br. Dybdeskala til venstre er i centimeter. Vektprosent skala for de 4 sedimentkjernene er logaritmisk.



Figur 18. Variasjoner i TOC, karbonat (CaCO₃) og svovel (TS) i sedimentkjerner fra stasjonene R1676, R1698 og R1709 fra Nk – Sk. Dybdeskala 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 kan ikke bare indikere begynnelsen av atomprøvesprengninger, men også radioaktive ulykker i Tsjernobyl (Ukraina) i 1986, og Fukushima (Japan) i 2011.

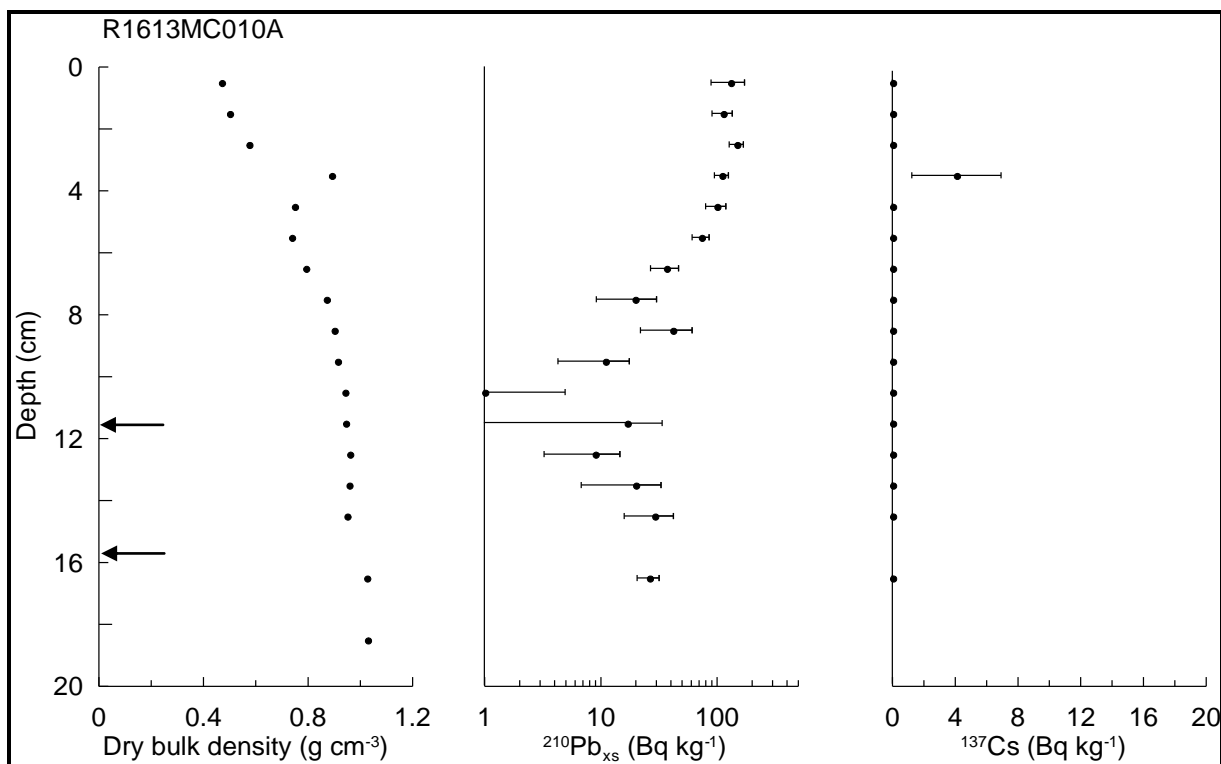
Datering og bestemmelse av sedimentakkumulasjonsrater ble gjennomført på 4 sedimentkjerner fra KKL – Br (R1613, R1636) og Nk – Sk (R1676, R1698). Analysene ble gjennomført på Gamma Dating Center, Universitet i København. ^{210}Pb - og ^{137}Cs -analyserapporten inkludert analytiske metoder, og usikkerheter er presentert i Vedlegg 4, hvor data og GDC sin tolkning av data for hver av de 4 analyserte sedimentkjernene finnes.

Sedimentakkumulasjonsrater i denne rapporten baseres hovedsakelig på ^{210}Pb - og ^{137}Cs -analyseresultater. For alle stasjoner har vi sammenliknet resultatene med AMS ^{14}C (Vedlegg 5) radiokarbondateringer gjennomført på skjellfragmenter (Tabell 6).

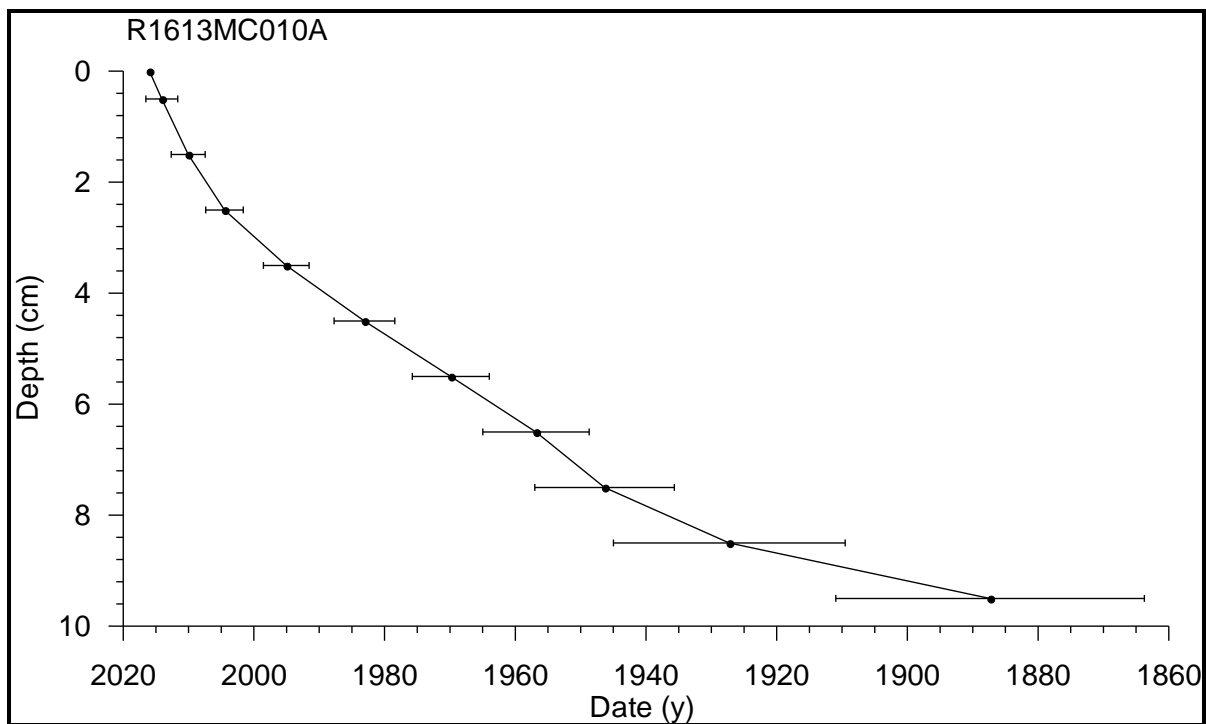
Stasjon R1613MC010A, KKL – Br

R1613 fra den sentrale, nordlige Barentshavet har høy ^{210}Pb -aktivitet (Figur 19) med en svak tendens til eksponentielt lavere verdier med dybden, noe som indikerer sedimentmikning og bioturbasjon. Eksponentielt lavere verdier observeres først under 5 cm kjernedyp. Alder versus dyp i Figur 19 er tolket ned til 9,5 cm (år 1885). Basert på alder og dyp i sedimentene er den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten på ca. 0,7 mm/år. Dateringen er imidlertid usikker siden ^{137}Cs ikke er til stede og starten av nukleær testing rundt ca. 1950 ikke er sporbar i kjernen. AMS ^{14}C dateringer på skjellfragmenter fra prøvene ved 10-11 cm og 14-15 cm, og målt ved $^{14}\text{CHRONO}$ Centre, Queens University Belfast, gir en alder mellom 669 og 3917 år BP (1950) (Tabell 6). Det betyr at sedimentasjons hastighet basert på AMS ^{14}C metoden er to størrelsesordener mindre (0.01 mm/år) i nedre delen av kjernen sammenliknet med de øverste 10 cm (0,7 mm/år) basert på ^{210}Pb dateringsmetoden. Den totale vurderingen av $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$ -baserte sedimentasjonsmodeller på dypere lag i denne kjernen må derfor ses

som foreløpig med mulige justeringer i dypere sjikt i sedimentene. ^{14}C -dateringer i kjerne R1613 bekrefter tidligere vurderinger vedrørende utfordringer med dateringer av sedimenter på shelfen (Pathirana m. fl. 2014).



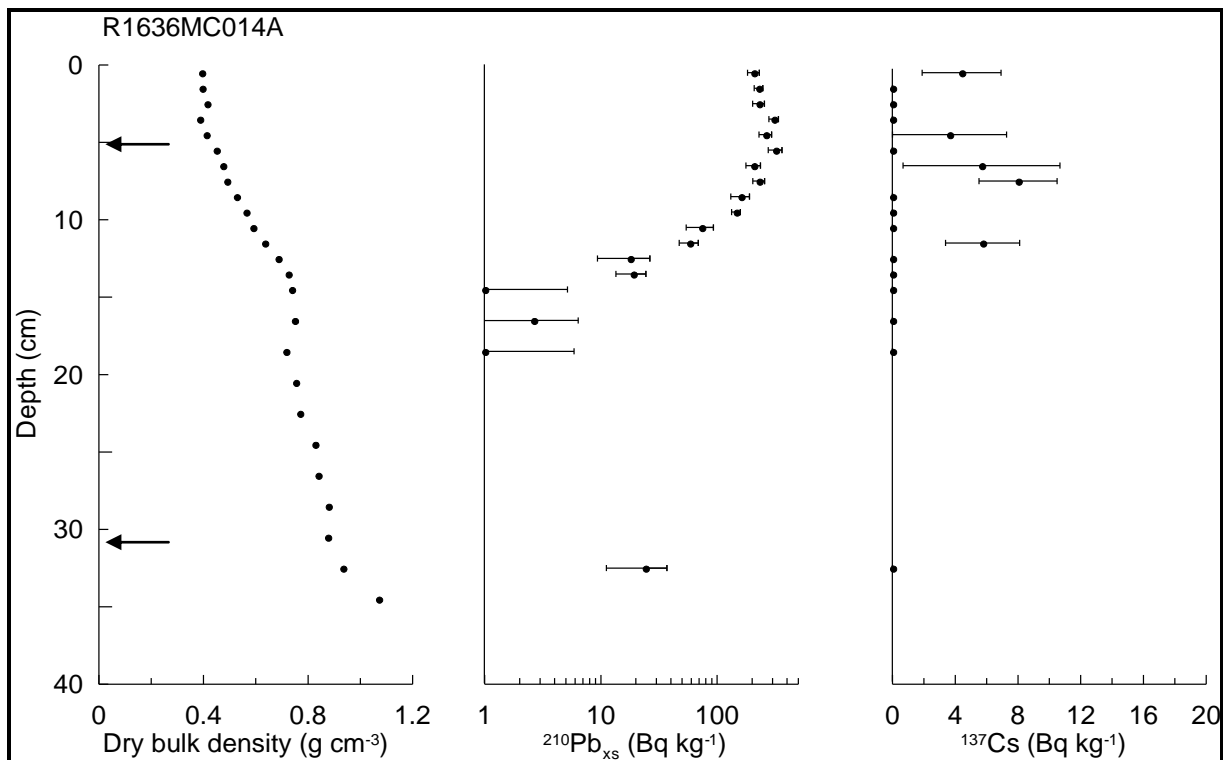
Figur 19. Tetthet, ^{210}Pb - og ^{137}Cs -aktivitetsmålinger i R1613MC010A, KKL – Br. Svarte piler indikerer AMS ^{14}C radiokarbondateringer, gjennomført på skjellfragmenter (Tabell 6).



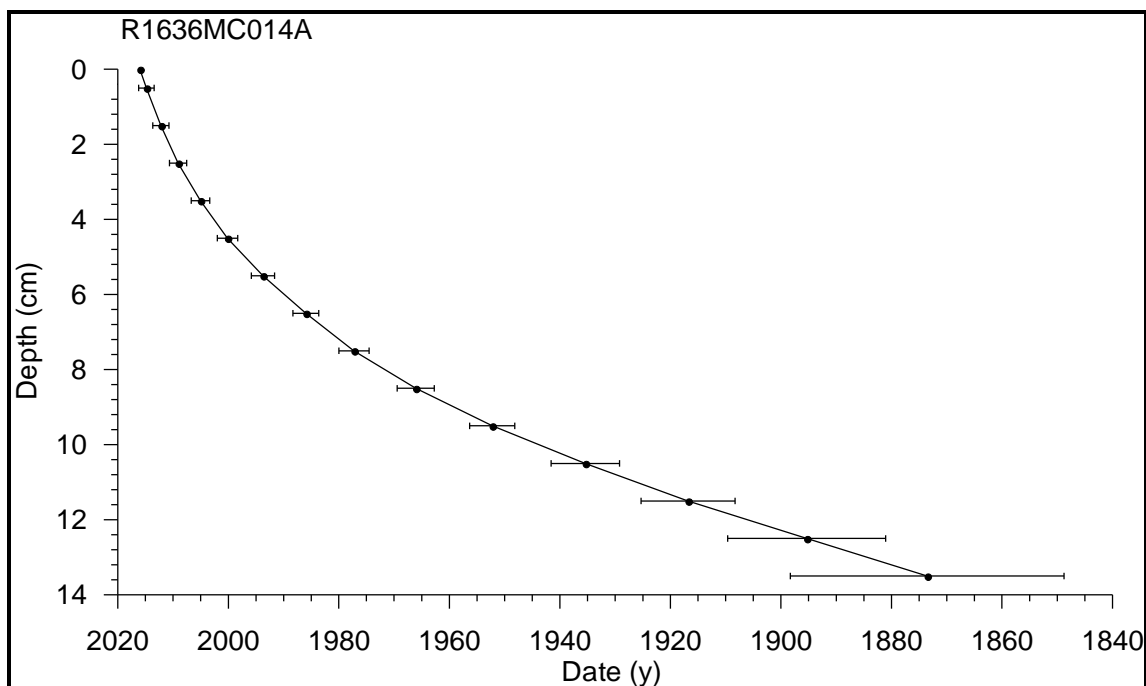
Figur 20. Alder versus dyp i sedimentene i R1613MC010A, KKL – Br.

Stasjon R1636MC014A, KKL – Br transektet

R1636 fra KKL – Br i det sentrale, nordlige Barentshavet viser høy ^{210}Pb aktivitet (Figur 21) med en svak tendens til eksponentielt lavere verdier i de øverste 8 cm. Dette viser sedimentmiksing og sterk bioturbasjon i de øverste centimeterne. Eksponentielt lavere verdier observeres først under 8 cm kjernedyp (Figur 21). Alder versus dyp i Figur 22 er tolket ned til 13.5 cm (år 1874). Basert på alder og dyp i sedimentene er den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten ca. 1 mm/år. ^{210}P -kronologien er underbygget av ^{137}Cs -innholdet, som viser at sedimentene mellom 0 og 9 cm er avsatt siden ca. 1963. AMS ^{14}C -dateringen på skjellfragmenter i den nedre delen av kjernen (28-29 cm) viser en alder på 9895 år BP (1950). Denne alderen strider i mot konklusjonen basert på ^{210}Pb - og ^{137}Cs -kronologien, og skyldes muligvis resedimentasjon av skjellfragmenter. På den andre siden er det flere steder i Barentshavet en holosen sedimenttykkelse mindre enn 50 centimeter. Det trenges flere AMS ^{14}C -dateringer enn de som er utført her for å få en bekreftelse på de ulike aldersmodellene.



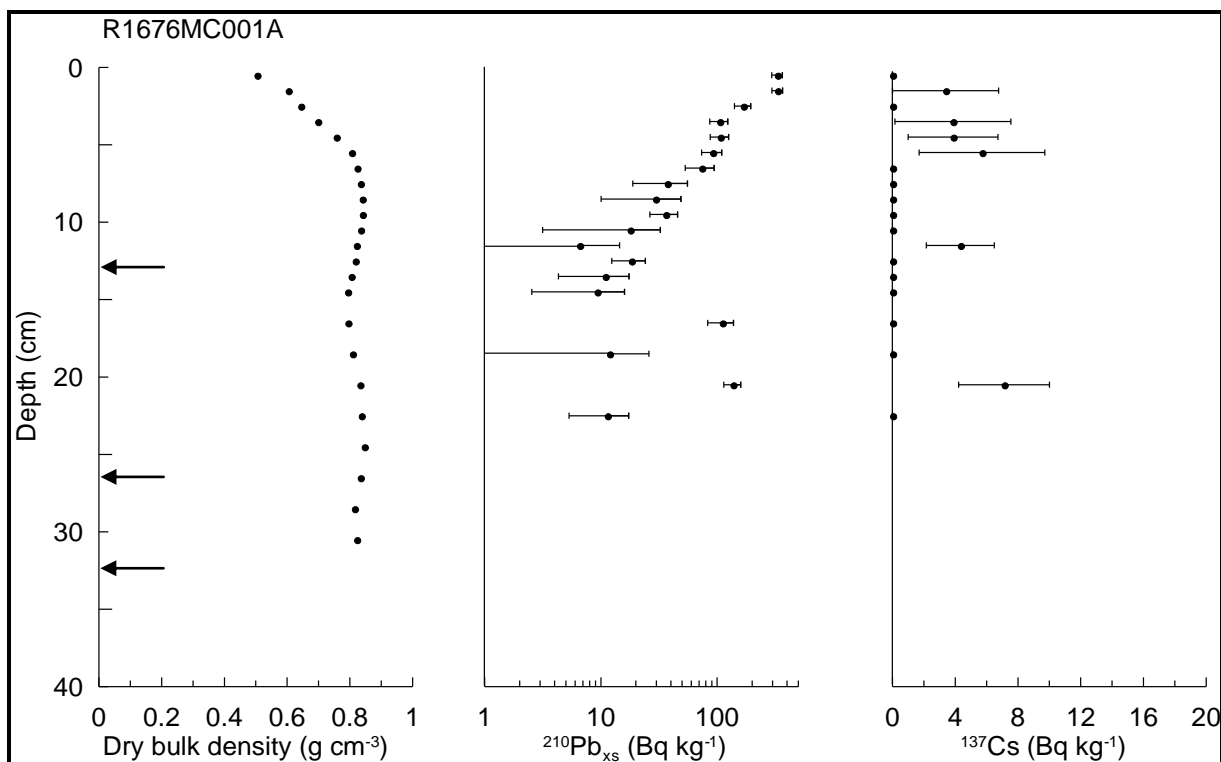
Figur. 21. Tetthet, ^{210}Pb - og ^{137}Cs -aktivitetsmålinger i R1636MC014A. Svarte piler indikerer AMS ^{14}C -radiokarbondateringer, gjennomført på skjellfragmenter (Tabell 6).



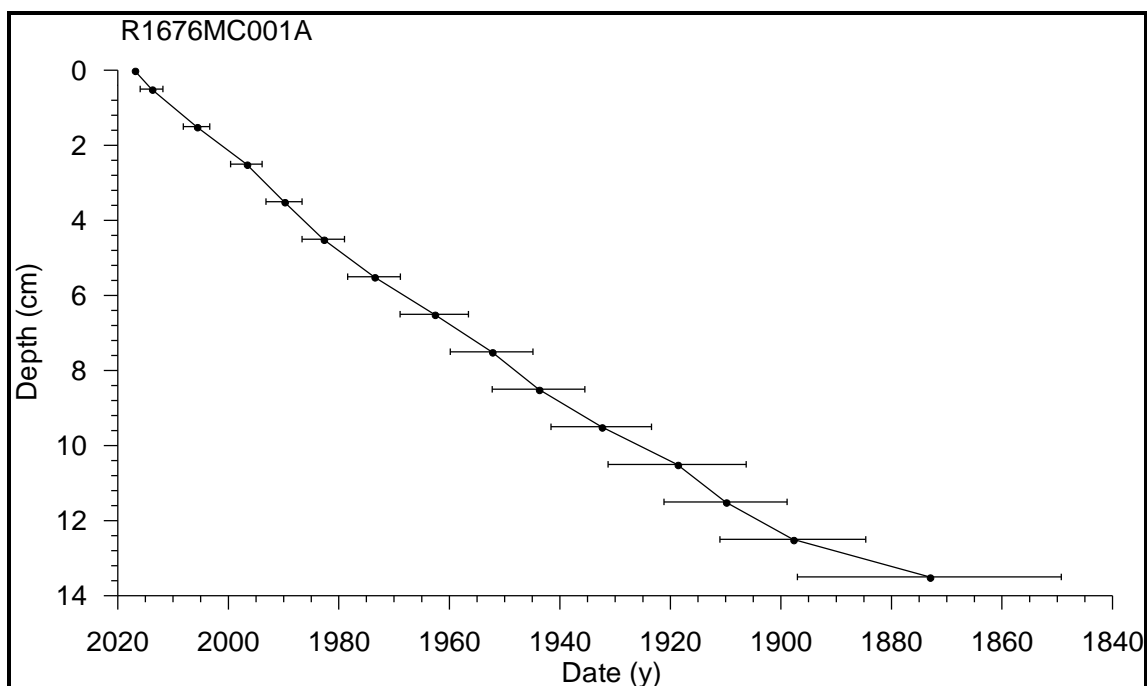
Figur 22. Alder versus dyp i sedimentene i R1636MC014A, KKL – Br.

Stasjon R1676MC001A, Storfjordrenna, Nk-Sk

^{210}Pb og ^{137}Cs aktivitetskurvene er vist i Figur 24. ^{210}Pb aktivitet er målbart ned til ca. 20 cm under overflaten. ^{137}Cs er til stede med lav aktivitet og under deteksjonsgrensen på rundt 6 cm. Basert på ^{137}Cs -deteksjon er de øverste ca. 6 cm avsatt fra ca. 1963 til i dag (2016). Nedgang i ^{210}Pb -aktivitet er eksponentiell og alder versus dyp er pålitelig ned til ca. 15 cm. Beregnet gjennomsnittlig sedimentasjonsrate over de øverste 13.5 cm er på 0.9 mm/år. Tre AMS ^{14}C -dateringer på skjellfragmenter i den midtre (12-13 cm) og nedre delen av kjernen (24-25, 30-31 cm) viser en alder på 478 og 641-704 år BP (1950) (Tabell 6). Dette gir en sedimentasjonshastighet mellom overflaten og 13 cm sedimentdyp på 0.23 mm/år og mellom 13 og 31 cm på 1.1 mm/år, mens gjennomsnittshastighet basert på overflaten (2017) og den nederste AMS ^{14}C -dateringen (641 år før i dag) er kalkulert til 0.4 mm/år. Tatt i betraktning ulikhetene mellom disse to dateringsmetoder, kan vi konkludere at sedimentasjonshastigheten på denne lokaliteten varierer mellom c. 0.5 og 0.9 mm/år.



Figur 23. Tetthet, ²¹⁰Pb- og ¹³⁷Cs-aktivitetsmålinger i R1676MC001A. Svarte piler indikerer AMS¹⁴C radiokarbondateringer, gjennomført på skjellfragmenter (se Tabell 6).



Figur 24. Alder versus dyp i sedimentene i R1676MC001A.

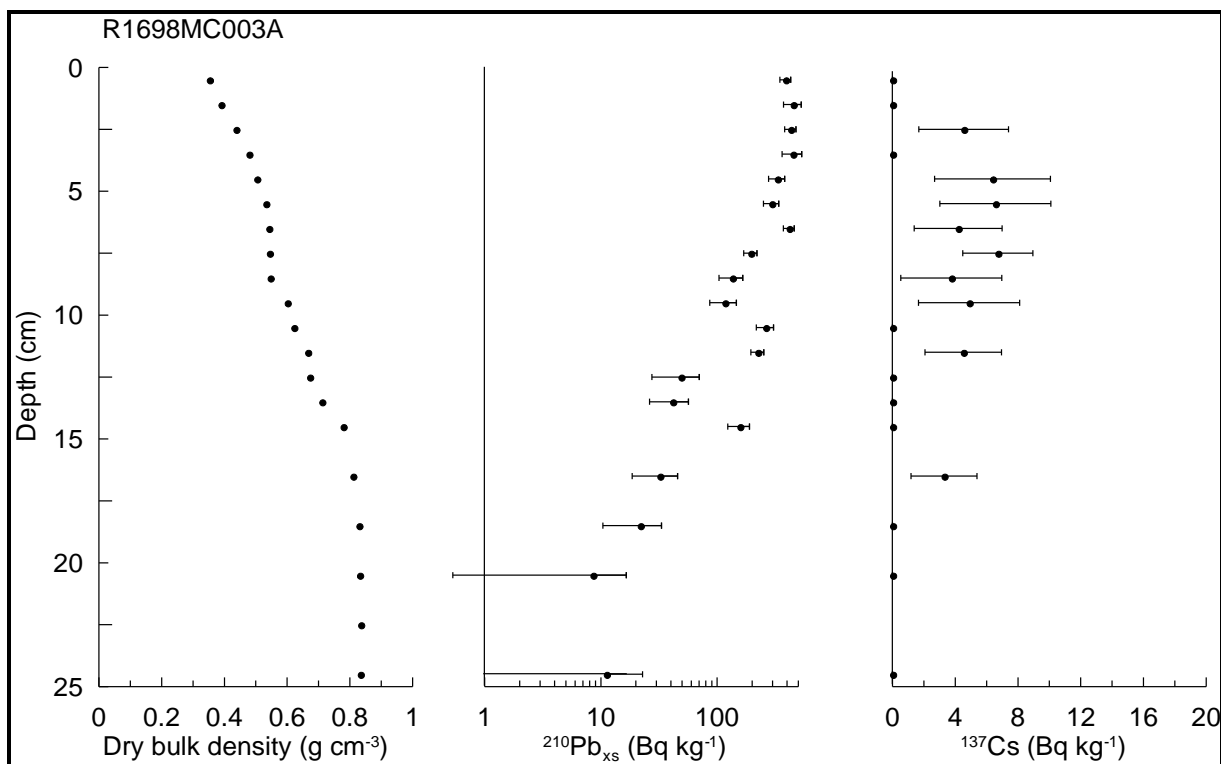
Tabell 6. AMS ¹⁴C-dateringer i kjerner fra KKL – Bj og NK – SK.

Lab Kode	Kjerne Nummer	Kjerne Dyp (cm)	¹⁴ C Alder (BP)	Feil	Material	2s max. Alder (år BP)	2s min. Alder (år BP)	Median (år BP)
UBA-36453	R1613	10-11	1115	±23	shell fragments	630	719	669
UBA-36452	R1613	14-15	3934	±25	shell fragments	3825	4016	3917
UBA-36456	R1636	4-5	0	±0	shell fragments	0	0	0
UBA-36455	R1636	28-29	9133	±53	shell fragments	9691	10110	9895
UBA-36457	R1676	12-13	843	±21	shell fragments	434	512	478
UBA-36458	R1676	24-25	1163	±23	shell fragments	656	762	704
UBA-36459	R1677	30-31	1070	±21	shell fragments	590	678	641
UBA-36454	R1698	36-37	2044	±20	Abra nitida	1540	1687	1610

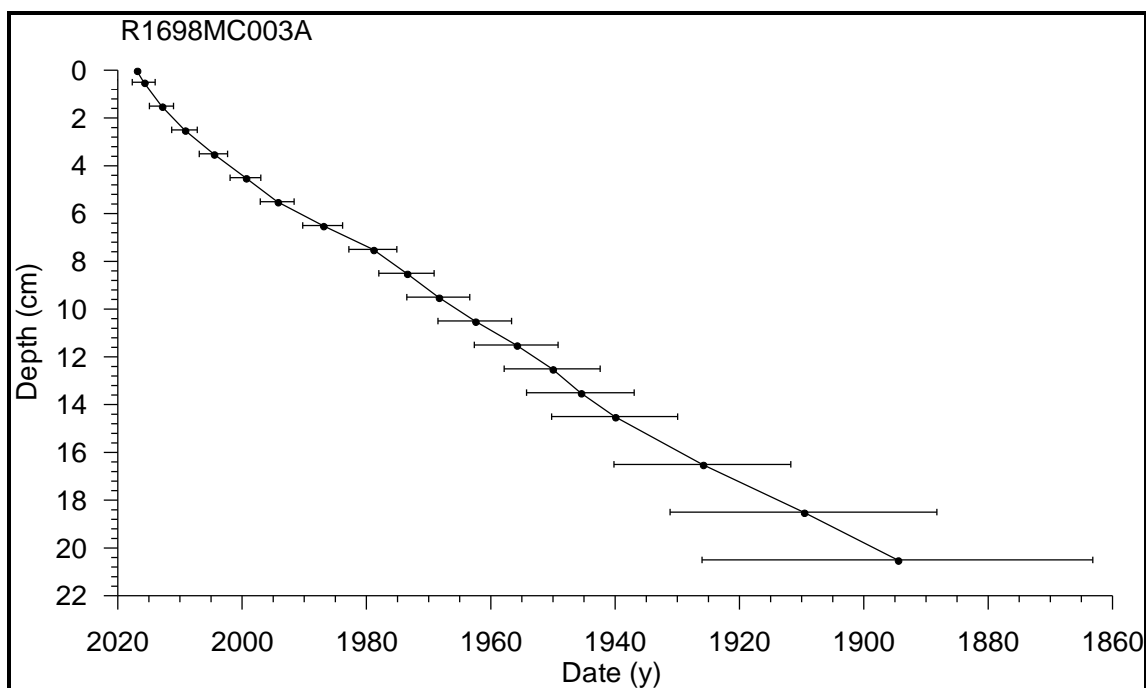
Stasjon R1698MC003A, Nk-Sk

²¹⁰Pb og ¹³⁷Cs aktivitetsskurvene i kjerne R1698 (Figur 25) ligner på R1613. Konstant aktivitetsnivå i de øverste 5 cm indikerer bioturbasjon og miksing. Dypere ned reduseres ²¹⁰Pb-konsentrasjonen gradvis ned til ca. 8 cm, så kommer et intervall med uregelmessig aktivitetsnivå og en avtakende trend fra 16,5 cm til 20,5 cm. Mens ²¹⁰Pb-aktivitetsnivået reduseres raskt, avtar ¹³⁷Cs-innholdet forholdsvis langsomt. ¹³⁷Cs setter inn på rundt 10 cm og det antas at dette reflekter starten av nukleær prøvesprengning rundt 1963. Dermed er alder versus dyp-korrelasjon pålitelig i de øverste 10 cm (Figur 26) videre 20,5 cm ned i sedimentkjernen. Brukes dette dypet så tilsvarer dette 1895. Det gir en sedimentasjonshastighet på ca. 1.7 mm/år, som er den høyest registrerte sedimentasjonshastigheten for de 4 daterte sedimentkjernene. Bunnen av kjernen på 37 cm er AMS ¹⁴C-datert til 1610 år BP (1950) (Tabell 6), som indikerer en gjennomsnittshastighet over hele kjernen på c. 0.2 mm/år.

Resultatet av dateringene av de fire sedimentkjernene er oppsummert i Tabell 7.



Figur 25. Tetthet, ²¹⁰Pb- og ¹³⁷Cs-aktivitetsmålinger i R1698MC003A. AMS ¹⁴C-datering har blitt utført på skjellfragmenter ved 36-37 cm sedimentdyp (Tabell 6).



Figur 26. Alder versus dyp i sedimentene i R1698MC003A, Nk – Sk.

Tabell 7. Daterte sedimentkjerner fra MAREANO-tokt 2016.113 og 2017.103. LSR: Lineær sedimentasjonsrate for intervaller karakterisert som pålitelig basert på ^{210}Pb -aktivitetskurver. Dateringskvalitet "middels" karakteriseres av aldersmodeller som ikke viser en tydelig eksponentiell nedgang av ^{210}Pb -aktivitet og langsom utflating av ^{137}Cs -konsentrasjon.

Stasjon	Område	LSR (mm/år)	Dateringens kvalitet
R1613MC010	KKL – Br transektet	0,7	Dårlig - middels
R1636MC014	KKL – Br transektet	1,0	Middels
R1676MC001	Nk – Sk transektet	0,9	Middels
R1698MC003	Nk – Sk transektet	1,7	Middels

5.4 Tungmetaller, arsen og barium i fire ^{210}Pb -daterte sedimentkjerner og tre sedimentkjerner uten datering

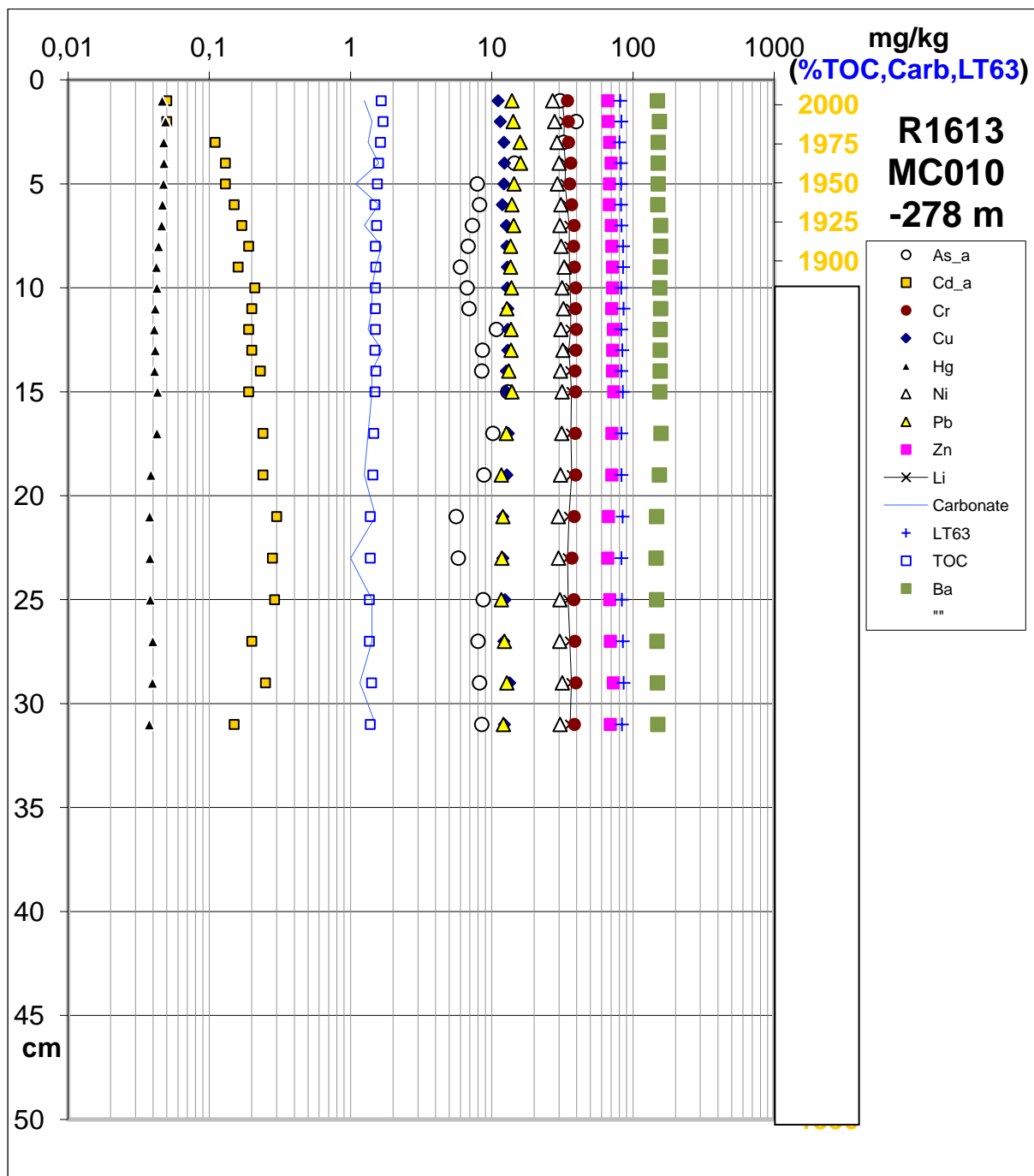
For å vurdere dagens forurensingstilstand sammenlignet med tidligere tider er de fire ^{210}Pb -daterte sedimentkjernene og ytterligere tre sedimentkjerner fra KKL – Br og Nk – Sk analysert for innhold av tungmetaller, arsen og barium. Analyseresultatene finnes i Vedlegg 1.

R1613MC010, KKL – Br

R1613MC010 er lokalisert i den nordlige delen av KKL – Br øst for Hopen (Figur 1a). Cr, Cu, Ni, Zn og Ba har stabilt lave konsentrasjoner (Figur 27). De følger i høy grad < 63µm-fraksjonen, og anses derfor å være primært knyttet til andel finstoff i sedimentene og er dermed også av naturlig opprinnelse pga. stabil sedimentasjon uten tegn til annen tilføring av disse elementene. Årstallene til høyre i Figur 27 er basert på resultatene av dateringsanalysene og da primært Pb-dataene (avsnitt 5.3). Hg øker svakt fra et nivå på 0,038 – 0,042 mg/kg sediment i intervallet 8 – 31 cm til maksimalt 0,049 mg/kg sediment ved 1 – 2 cm. ^{210}Pb øker fra et bakgrunnsnivå på 11,7 - 13,9 mg/kg sediment ved 7 – 31 cm til et maksimalt nivå på 16,0 mg/kg sediment ved 3 – 4 cm. Deretter kommer en gradvis reduksjon i de øverste 3 cm. Dette er i tråd med at det er antropogen tilførsel av Pb i den øverste delen av kjernen og deretter en gradvis reduksjon sannsynligvis relatert til forbudet mot blyholdig bensin gjeldende fra 1970-tallet i en rekke industriland. As øker til et markant høyere nivå i de øverste 3 cm med maksimum på 39,6 mg/kg sediment ved 1 – 2 cm tilsvarende tilstandsklasse III, moderat forurensingsnivå, fra et bakgrunnsnivå på 5,6-13,0 i intervallet 5 – 31 cm. Cd har lave konsentrasjoner på maksimalt 0,30 mg/kg sediment dypt i sedimentkjernen, og et gjennomsnitt på 0,19 mg/kg sediment. I de øverste 2 cm er det en reduksjon til under deteksjonsgrensen på 0,10 mg/kg sediment. Dateringsresultatene viser at Hg øker svakt fra rundt år 1900 (Figur 27).

Tabell 8. Sedimentkjerne R1613MC010 (0-31 cm): minimums-, gjennomsnitts-, median- og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium (mg/kg).

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 = 23	Min.	5,6	146,0	<0,10	34,4	11,1	0,038	27,0	11,7	66,4
	Gns.	11,8	152,6	0,19	37,9	12,5	0,043	30,5	13,4	69,9
	Med.	8,5	154,0	0,19	38,5	12,7	0,042	30,7	13,6	70,2
	Max.	39,6	158,0	0,30	39,7	13,4	0,049	32,6	16,0	73,1



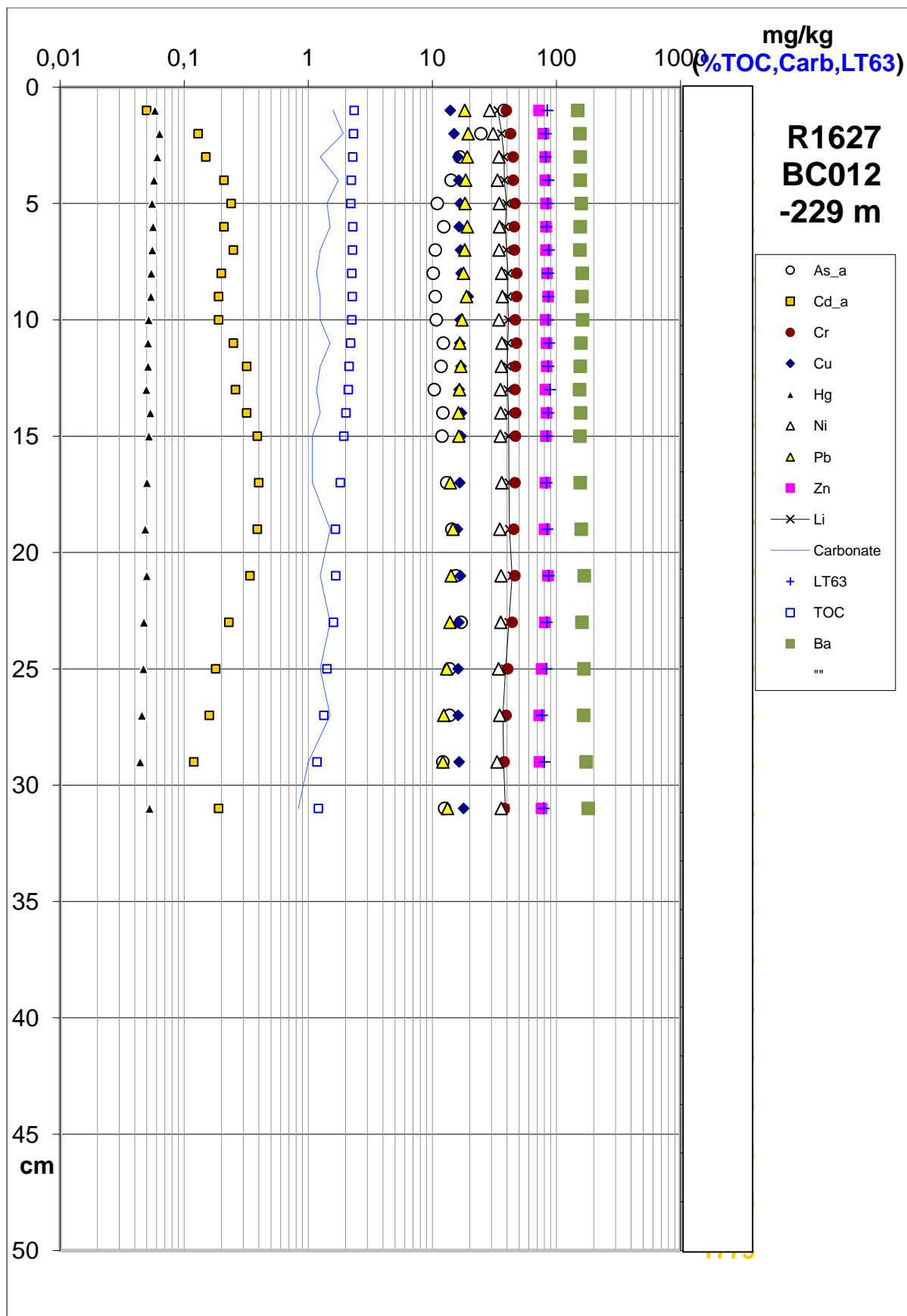
Figur 27. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1613MC010 (0-31 cm). X-skalaen er logaritmisk. Årstallene til høyre er basert på ²¹⁰Pb-dateringsanalysene presentert i avsnitt 5.3.4.

R1627BC012, KKL – Br

R1627BC027 er lokalisert sørøst for øya Hopen i et område med myke sedimenter (Figur 1a). Sedimentkjernen er analysert i intervallet 0-31 cm med 23 prøver analysert fra dette intervallet. Ba, Cr, Cu, Ni og Zn har relativt stabile konsentrasjoner gjennom hele kjernen med svakt reduserte konsentrasjoner mot toppen. Dette kan ha sammenheng med svakt redusert andel finstoff (< 63 µm) i den øverste delen av kjernen (Figur 29). Hg øker gradvis fra konsentrasjon på 0,44 – 0,53 mg/kg sediment ved 9 – 31 cm til maksimalt 0,064 mg/kg sediment ved 1 – 2 cm. Pb øker gradvis fra 12,2 mg/kg i den nedre delen av kjernen til maksimalt 19,5 mg/kg sediment ved 1 – 2 cm. Det er en økning ved 9 – 10 cm til 8-9 cm (Figur 29). Cd har generelt lave konsentrasjon gjennom hele kjernen, varierende fra <0,10 mg/kg sediment i toppen til 0,40 mg/kg dypere i sedimentkjernen. Det er en minkende konsentrasjon i de øverste 3 cm av sedimentkjernen, sammenlignet med et gjennomsnitt på 0,23 mg/kg sediment (Tabell 9). As har relativt stabil konsentrasjon med 10 – 17 mg/kg sediment ved 4 – 31 cm og høyeste verdier i de øverste 3 cm med maksimalt 38 mg/kg sediment. Dette tilsvarer Klasse III i Miljødirektoratet sin klassifisering av forurensingsnivå i marine sedimenter. Denne sedimentkjerne er ikke datert, og det er da ikke mulig å angi når endringene i metallkonsentrasjonene skjer.

Tabell 9. Sedimentkjerne R1627BC012 (0-31 cm): minimums-, gjennomsnitts-, median- og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium (mg/kg).

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 = 23	Min.	10,2	149,0	<0,1	38,0	14,0	0,044	29,1	12,2	72,6
	Gns.	14,4	160,2	0,23	44,7	16,6	0,053	34,8	16,4	80,6
	Med.	12,4	158,0	0,21	46,0	16,7	0,052	35,1	16,7	81,7
	Max.	38,0	181,0	0,40	48,0	19,5	0,064	36,8	19,5	85,9



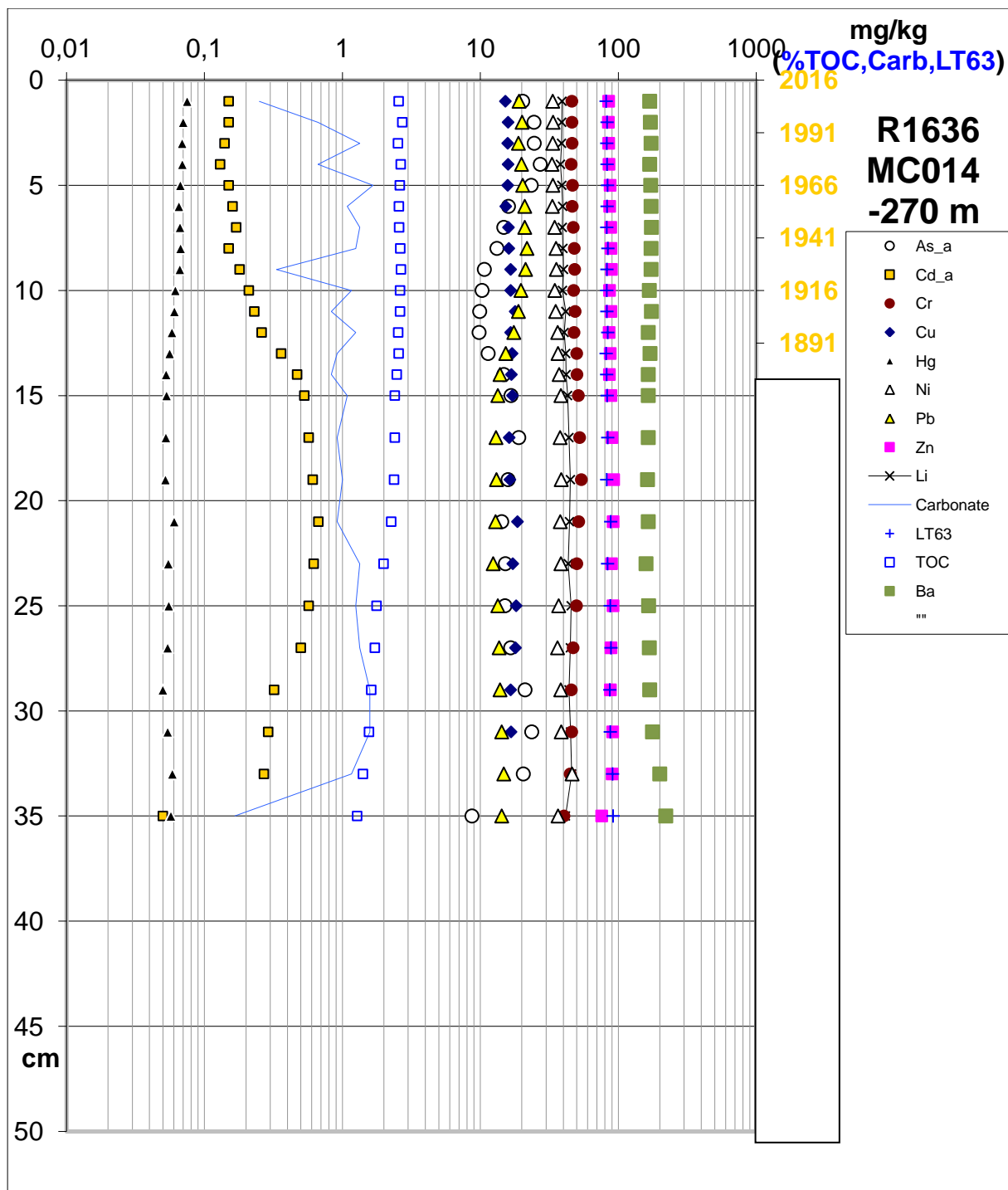
Figur 28. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1627BC012 (0 - 31 cm), KKL – Br. X-skalaen (konsentrasjon) er logaritmisk.

R1636MC014, KKL – Br

R1636 er lokalisert i en smal kartlagt korridor KKL – Br i et område dominert av slam (Figur 1a). Den daterte sedimentkjernen R1636MC014 er analysert i intervallet 0 - 35 cm med 25 prøver. Minimum, gjennomsnitt, median og maksimum konsentrasjoner for en rekke tungmetaller, arsen og barium er vist i Tabell 10. Metallene Cr, Cu, Ni og Zn, samt Ba har relativt stabile konsentrasjoner gjennom sedimentkjernen, noe som også er reflektert i minimum-, gjennomsnitt-, median- og maksimumverdiene (Tabell 10). Konsentrasjonene er svakt fallende mot toppen av sedimentkjernen. Dette kan ha sammenheng med reduksjon i andel finstoff (< 63 µm) mot toppen. Hg har relativt stabile konsentrasjoner i intervallet 13 – 35 cm med 0,050-0,062 mg/kg sediment (bakgrunnsnivå), og gradvis økende konsentrasjoner i de øverste 12 cm av sedimentkjernen fra 0,56 mg/kg sediment til 0,075 mg/kg sediment øverst. De ²¹⁰Pb-baserte årstallene til høyre i Figur 29 gir en økning i Hg fra ca. 1880. Pb har relativt stabile konsentrasjoner ved 11 – 35 cm, varierende fra 12,4 til 17,5 mg/kg sediment og et naturlig bakgrunnsnivå som varierer mellom 12 og 14 mg/kg sediment. Det er en økning i de øverste 10 cm til 18,9 – 21,8 mg/kg sediment med høyest konsentrasjon i 8 – 9 cm og deretter en gradvis reduksjon mot toppen til 18,9 mg/kg sediment. Pb øker fra 1916 når man anvender den ²¹⁰Pb-baserte alderen (Figur 29), og det er muligvis en reduksjon i de øverste 4 - 5 cm, fra ca. 1970. Cd har generelt lave konsentrasjoner og generelt minkende konsentrasjoner mot toppen av sedimentkjernen med 0,15 mg/kg sediment i de øverste 10 cm. Cd-konsentrasjonen reduseres markant fra 15 cm dybde mot toppen. As har vekslende konsentrasjoner gjennom sedimentkjernen, med høye nivåer dypest (28 – 33 cm) med mer enn 20 mg/kg, for deretter å falle til et lavere nivå i intervallet 6 – 31 cm, med konsentrasjoner fra 9,8 – 16,7 mg/kg. De øverste 5 cm i sedimentkjernen har igjen høyere konsentrasjon (20,3 – 27,2 mg/kg) (Figur 29). Generelt høye As konsentrasjoner beskrives i avsnitt 5.5.

Tabell 10. Sedimentkerne R1636MC014 (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 = 25	Min.	8,7	159,0	<0,1	40,4	17,4	0,050	33,1	12,4	75,9
	Gns.	16,7	172,3	0,32	47,9	19,0	0,060	36,4	16,7	87,7
	Med.	15,9	169,0	0,26	47,5	18,6	0,059	36,4	15,3	88,2
	Max.	27,2	221,0	0,67	54,0	22,9	0,075	46,3	21,8	92,6



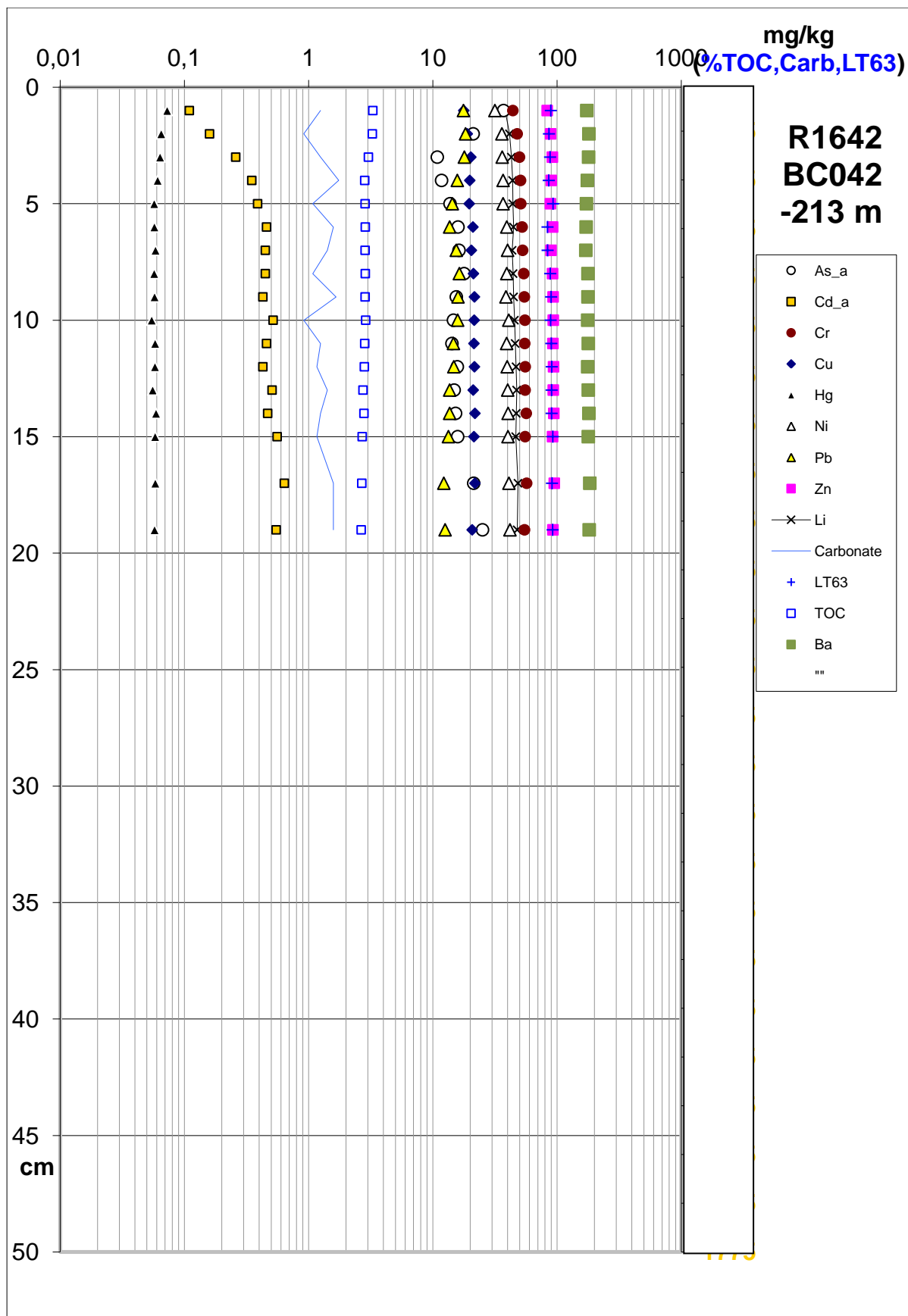
Figur 29. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1636MC014 (0 - 35 cm), KKL – Br. X-skalaen (konsentrasjon) er logaritmisk.

R1642BC015, KKL – Br

R1642 er lokalisert i KKL – Br i et område dominert av slam (Figur 1a). Den korte sedimentkjernen, med analyserte prøver ned til 19 cm, har en andel finstoff på ca. 90 %. TOC har stabil høy konsentrasjon på ca. 3 % gjennom hele sedimentkjernen med noe økning i de øverste 3 cm (Figur 30). Ba, Cr, Cu, Ni og Zn har generelt stabile konsentrasjoner med svakt avtakende konsentrasjoner mot toppen av sedimentkjernen (Figur 30). Hg øker gradvis i de øverste 4 cm til et maksimum på 0,073 mg/kg sediment ved 0 – 1 cm, fra et bakgrunnsnivå på 0,055 – 0,059 mg/kg sediment i intervallet 5 til 19 cm (Figur 30). Tilsvarende øker Pb fra ca. 15 mg/kg sediment i dype prøver til ca. 18 mg/kg sediment i de øverste 3 cm. Arsen øker markant i de øverste 2 cm og har den høyeste konsentrasjonen på 37,2 mg/kg sediment ved 0 – 1 cm. Cd minker markant i de øverste 5 cm fra ca. 0,5 mg/kg sediment til 0,11 mg/kg sediment i den øverste prøven (Figur 30). As øker meget markant i de øverste 2 cm til 37,2 mg/kg sediment i overflaten, fra et bakgrunnsnivå på 15 - 17 mg/kg sediment i intervallet 6 – 15 cm. Den høye As-konsentrasjonen diskuteres i avsnitt 5.5.

Tabell 11. Sedimentkjerne R1642BC015 (0-19 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 = 17	Min.	10,9	171,0	0,11	44,2	17,8	0,055	31,7	12,3	83,6
	Gns.	17,5	177,7	0,42	53,2	20,8	0,060	38,8	15,1	91,8
	Med.	15,8	178,0	0,45	54,7	21,2	0,058	39,5	14,8	92,4
	Max.	37,2	184,0	0,64	57,1	21,9	0,073	41,9	18,4	95,3



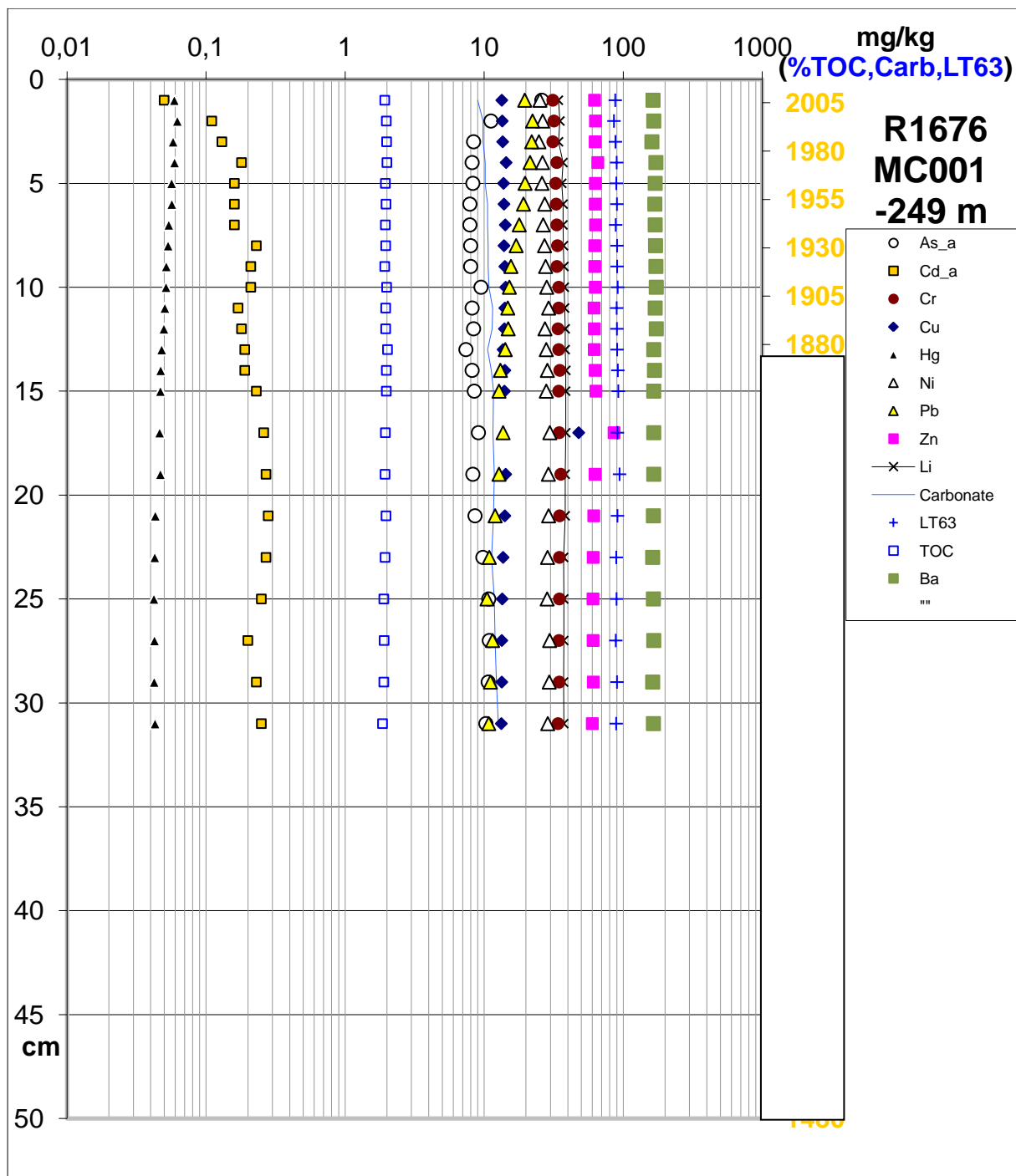
Figur 30. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1642BC015 (0 - 19 cm), KKL – Br. X-skalaen (konsentrasjon) er logaritmisk.

R1676MC001, Nk - Sk transektet

R1676 er lokalisert i Storfjordrenna sør for Svalbard (Figur 1a). Flere sedimentprøver er tidligere analysert fra dette området og rapportert i Knies m. fl. (2006). Andel finstoff og vektprosent TOC er begge stabile gjennom hele sedimentkjernen. Ba, Cr og Ni har stabile konsentrasjoner gjennom sedimentkjernen (Figur 31). Cu og Zn har stort sett stabile konsentrasjoner men med anomalier ved 16 – 17 cm (47,9 mg/kg sediment for Cu mot ca. 14 mg/kg sediment ellers) og 86,0 mg/kg sediment for Zn i samme prøve mot ca. 60 mg/kg sediment ellers. Hva Cu og Zn anomalien kan skyldes er uklart, men det kan muligvis knyttes til mineraler med høyere Zn- og Cu-konsentrasjoner. Sjekk av S-verdiene fra Leco analyser i Vedlegg 1 viser at den ikke er knyttet til sulfidmineraler, da denne prøven ikke har forhøyet S-verdi sammenliknet med øvrige prøver over eller under 16 – 17 cm. Hg øker gradvis fra et bakgrunnsnivå på 0,042 – 0,048 mg/kg sediment i intervallet 12 – 31 cm til maksimalt 0,62 mg/kg sediment ved 1-2 cm (Figur 31). Årstallene i Figur 31 basert på ²¹⁰Pb-datering indikerer at økningen i Hg-konsentrasjonen begynner engang mellom 1880 og 1900. Pb øker fra et bakgrunnsnivå på 10 – 13 mg/kg sediment ved 13 – 31 cm til 22,3 mg/kg sediment øverst. Økningen av Pb ser dermed ut til å finne sted rundt 1880. Cd har lave konsentrasjoner gjennom sedimentkjernen, med bakgrunnskonsentrasjon på 0,2 – 0,3 mg/kg sediment i intervallet 7 – 31 cm. Cd-konsentrasjonen reduseres ved 0 – 6 cm, og er 0,11 mg/kg sediment øverst, en vanlig utvikling for Cd. As har relativt stabile konsentrasjoner fra 7,4 – 11,2 mg/kg sediment i intervallet 1 – 31 cm, mens overflateprøven har en konsentrasjon på 26 mg/kg sediment.

Tabell 12. Sedimentkjerne R1676MC001 (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 = 23	Min.	7,4	161,0	<0,1	31,2	13,3	0,042	24,8	10,5	60,0
	Gns.	9,7	167,4	0,20	33,8	15,3	0,050	27,8	15,3	63,4
	Med.	8,4	166,0	0,20	34,4	13,9	0,050	28,0	14,8	62,5
	Max.	26,0	173,0	0,28	35,6	47,9	0,062	29,7	22,3	86,0



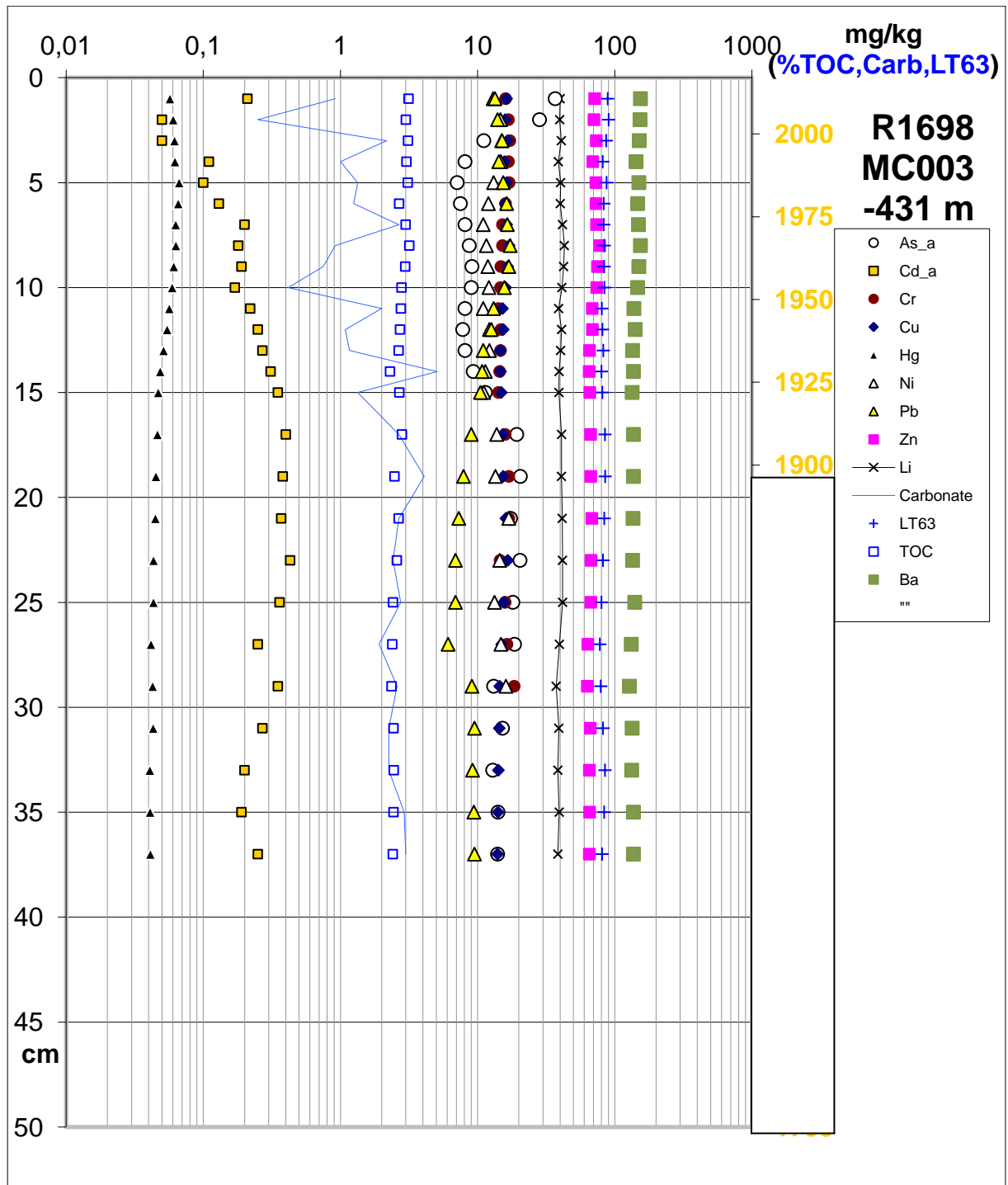
Figur 31. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1676MC001 (0 - 31cm), Nk – Sk. X-skalaen (konsentrasjon) er logaritmisk.

R1698MC003, Nk – Sk

R1698 er lokalisert sør for Spitsbergenbanken (Figur 1a) på 437 m havdyp. Sedimentkjernen er på 37 cm lengde. Både TOC og andel finstoff (< 63 µm) øker gradvis opp gjennom sedimentkjernen. Ba, Cr, Cu, Ni og Zn øker svakt mot toppen, sannsynligvis som et resultat av den svakt økte andel finstoff (Figur 32). Disse elementene vurderes derfor å ha naturlige bakgrunnsnivåer gjennom sedimentkjernen. Hg øker oppover fra et bakgrunnsnivå på 0,041 – 0,051 mg/kg sediment ved 12 – 37 cm til maksimalt 0,067 mg/kg sediment ved 3 – 4 cm, og reduseres deretter til 0,060 mg/kg sediment i overflaten (0 – 1 cm). Årstallene fra ²¹⁰Pb-dateringsanalysen (Figur 32) indikerer at Hg økningen skjer fra ca. 1930. Dette er i størrelsesorden 50 år senere enn for de andre daterte sedimentkjernene. Det er ikke noen åpenbare forklaringer på den senere økning i Hg her enn for de andre daterte sedimentkjernerne. Det er mulig at det har vært stopp i avsetningen av sedimenter i dette området eller alternativt er sedimentasjonsraten fra ²¹⁰Pb-dataene for høye (avsnitt 5.3.4). ²¹⁰Pb-aktivitetsnivået i Figur 26 i avsnitt 5.3.4 viser at det i deler av R1698 er varierende ²¹⁰Pb-aktivitet. Dette kan tyde på varierende sedimentasjonsforhold på denne stasjonen over tid. For Pb sitt vedkommende er det en liknende økning som for Hg, med bakgrunnsnivå på ca. 10 mg/kg sediment i intervallet 13 – 37 cm, et maksimalt nivå på 17,3 mg/kg sediment i intervallet 7 – 8 cm og deretter en gradvis reduseres mot overflaten. Maksimal Pb-konsentrasjon er rundt 1970, basert på ²¹⁰Pb-dateringen. Cd-konsentrasjonen er relativt konstant i intervallet 15 – 37 cm for deretter å reduseres gradvis mot toppen av sedimentkjernen til under deteksjonsgrensen (<0,1 mg/kg sediment). As har et bakgrunnsnivå på 7 – 11 mg/kg sediment i deler av sedimentkjernen, med to intervaller med høye konsentrasjoner: 17 – 27 cm med konsentrasjon på 18 – 21 mg/kg sediment og 0 -2 cm med maksimal konsentrasjon på 36,8 mg/kg sediment ved 0 – 1 cm.

Tabell 13. Sedimentkjerne R1698MC003 (0 - 37 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 = 26	Min.	7,1	128,0	<0,1	39,0	14,0	0,041	29,0	6,1	63,2
	Gns.	13,9	141,0	0,25	41,2	15,5	0,052	31,1	11,7	68,9
	Med.	12,2	137,5	0,22	41,0	15,5	0,050	30,9	10,9	67,7
	Max.	36,8	154,0	0,46	44,3	17,0	0,067	33,8	17,3	77,6



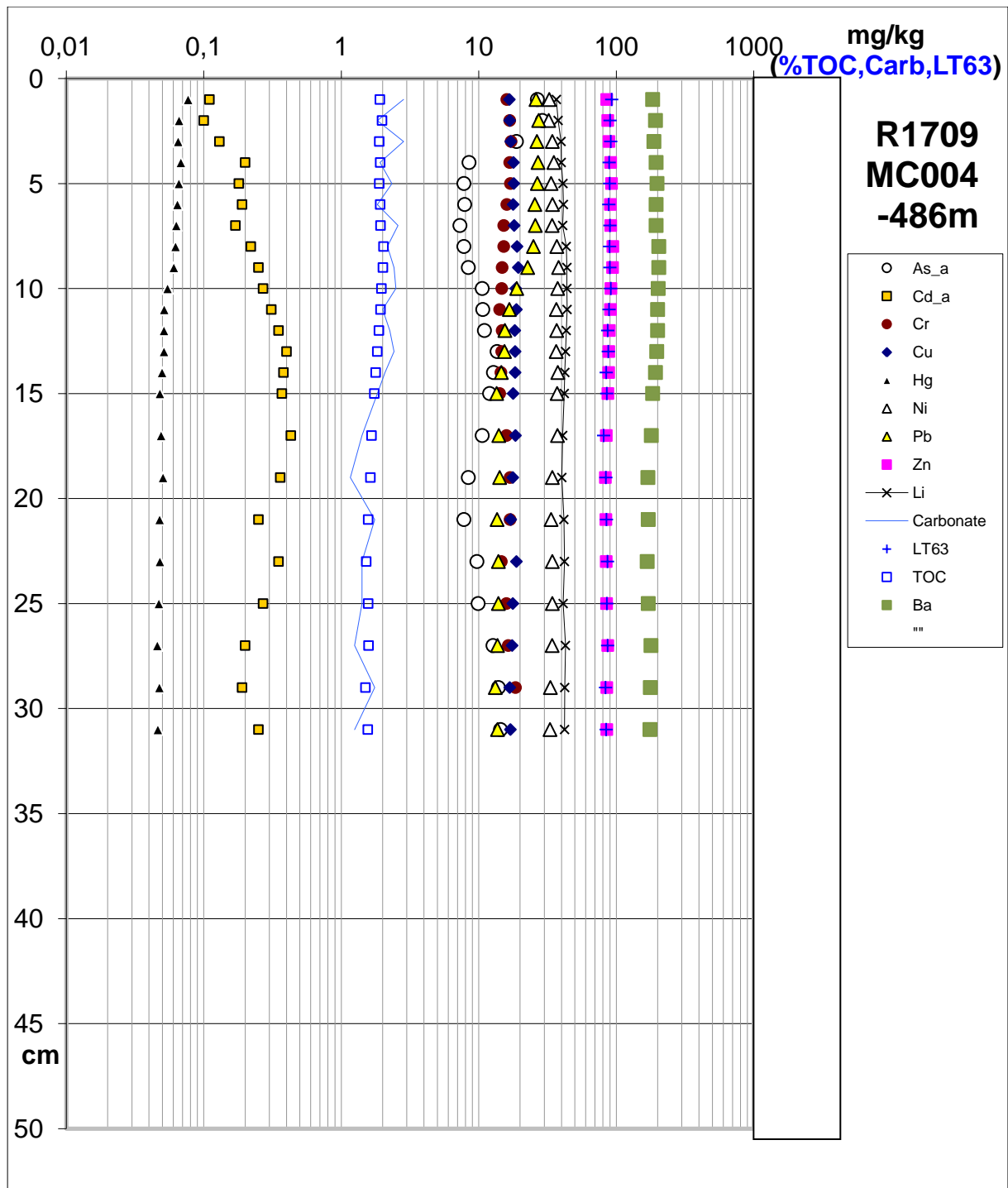
Figur 32. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1698MC003 (0 - 37 cm), Nk – Sk. X-skalaen (konsentrasjon) er logaritmisk.

R1709MC004, Nk - Sk

Stasjon R1709 ligger lengst sør i Nk – Sk transektet, i Bjørnøyrenna (Figur 1a), og er den dypestliggende stasjonen med 486 m vanddyb. Sedimentkjernen på 31 cm lengde (Figur 33) har gradvis økende TOC og andel finstoff mot toppen. Ba, Cr, Cu, Ni og Zn har gradvis økende konsentrasjoner mot toppen (Figur 33). Dette kan sannsynligvis ses i sammenheng med den økende andel finstoff. Konsentrasjonene av Ba, Cr, Cu, Ni og Zn kan derfor anses som naturlige bakgrunnsnivå. Hg øker fra et bakgrunnsnivå på 0,046 – 0,052 mg/kg sediment i intervallet 11 – 31 cm gradvis til 0,077 mg/kg sediment. Antropogent tilført Hg primært i forbindelse med bruk av fossilt brennstoff, og da særlig bruk av kull anses som årsak. Pb øker fra et bakgrunnsnivå på 13 – 15 mg/kg sediment i intervallet 11 – 31 cm til maksimalt 27,3 mg/kg sediment ved 1 – 2 cm. Som for Hg, så tilskrives økningen antropogen tilførsel i moderne tid, primært fra utslipp fra blyholdig bensin. Cd har relativt konstant nivå i intervallet 12 – 31 cm med konsentrasjon på 0,25 – 0,43 mg/kg sediment, og avtar deretter mot toppen av sedimentkjernen, hvor konsentrasjonen er 0,10 mg/kg sediment. As har et varierende bakgrunnsnivå på 8 – 14 mg/kg sediment i intervallet 3 – 31 cm for å øke markant i de øverste 3 prøvene, med konsentrasjon opp til 29 mg/kg sediment (1 – 2 cm) som høyeste verdi. As-konsentrasjonen varierer i tråd med det som observeres for andre sedimentkjerner med markant økning øverst i kjernene.

Tabell 14. Sedimentkjerne R1709MC004 (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 = 23	Min.	7,3	168,0	0,10	44,3	16,7	0,046	32,3	13,2	83,4
	Gns.	12,2	188,0	0,26	49,3	17,9	0,056	35,2	19,0	88,2
	Med.	10,6	193,0	0,25	49,4	17,9	0,051	34,2	15,5	88,1
	Max.	29,0	204,0	0,43	52,3	19,4	0,077	38,1	27,3	94,5



Figur 33. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1709MC004 (0 - 31 cm), Nk – Sk. 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, tilsvarende klasse III for flere av de analyserte 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. Punktkilder er ikke en sannsynlig årsak til de høye konsentrasjonene.

5.5.2 Arsenvariasjon i de 7 sedimentkjernene fra Kong Karls Land – Bjørøyrenna og Nordkapp – Sørkapp samt andre MAREANO-kjerner

De 7 analyserte sedimentkjerner fra KKL – Br og Nk – Sk viser omtrent like variasjoner i As-konsentrasjon. Det er høye As-konsentrasjoner i de øverste 1-5 cm. I alle 7 sedimentkjernene er konsentrasjonene i Klasse III, moderat forurensing. Under dette toppsjiktet er As-konsentrasjonene markant lavere, tilsvarende klasse I, bakgrunnsnivå. Sedimentkjernene fra de to transektene sammenliknet med sedimentkjerner fra Norskehavet og andre områder er at bakgrunnsnivået er betydelig lavere i de sistnevnte områdene (Jensen m. fl. 2014; Jensen m. fl. 2016). Økning i As-konsentrasjon er opp til 3 – 4 ganger bakgrunnsnivået. Et unntak er R1200 fra den sørlige delen av MAREANO Øst (Jensen m. fl., 2014), der det ikke er avsatt sedimenter og heller ikke er noen økning mot toppen av sedimentkjernen. As-konsentrasjonen var stabil i de øverste 20 cm i motsetning til det som er beskrevet for As konsentrasjon i sedimentkjerner generelt (Figur 54, Jensen m. fl. 2014). Dette indikerer at økningen i As-konsentrasjon øverst i sedimentkjernene hvor det er tale om økning i konsentrasjon er knyttet til resent avsetning av sedimenter. Følgende oppsummering kan gjøres:

1. Bakgrunnsnivåene varierer i MAREANO området
2. As-konsentrasjonen i de øverste 3-5 cm av sedimentkjerner øker 3-4 ganger i forhold til bakgrunnsnivået i MAREANO-området. Økningen er inntil 3 ganger for de to transektene.
3. Det er ikke klart hva som er årsaken/årsakene til den markante økningen øverst i sedimentkjernene.

6. OPPSUMMERING

Tungmetallkonsentrasjonene i overflatesedimentene i de to transektene KKL – Br og Nk – Sk i den nordlige delen av Barentshavet er analysert. As er tilstede i relativt høye konsentrasjoner på 11 stasjoner tilsvarende Klasse III (moderat) i Miljødirektoratets klassifisering for kyst og fjordsedimenter. Ni er tilstede i klasse III på en enkel stasjon, og tilstandsklasse II (god) på 6 stasjoner. Pb er tilstede på en stasjon med konsentrasjon tilsvarende tilstandsklasse II på en enkel stasjon. Alle øvrige metaller, Cd, Cr, Cu, Hg og Zn er tilstede med konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse I (bakgrunn) på samtlige 14 stasjoner.

De 7 analyserte sedimentkjernene, med 4 sedimentkjerner fra KKL – Br og 3 sedimentkjerner fra Nk – Sk har noen felles trekk: Det er stabile konsentrasjoner av Cr, Cu, Ni, Zn og Ba i alle kjernene. Disse elementene vurderes å stamme utelukkende fra naturlige geologiske 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 0,04 – 0,05 mg/kg sediment for Hg og ca. 10 mg/kg sediment for Pb. Hg øker ca. 50 % fra bakgrunnsnivå 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.

²¹⁰Pb-dateringsanalysene viser at økningen i Hg og Pb skjer rundt 1880 – 1900 for 3 av de 4 daterte sedimentkjernene. Det er noe usikkerhet i aldersvurderingen for økning i Hg og Pb på grunn av at dateringsanalysene vurderes å være av middels kvalitet. Økningen i Hg og Pb tilskrives menneskelig tilførsel fra primært fossil energibruk (Hg: kullforbrenning; Pb: 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 2 – 3 ganger fra et bakgrunnsnivå på 10-14 mg/kg sediment til 30-35 mg/kg sediment øverst i sedimentkjernene. Denne økningen skjer i de øverste 3-5 cm av kjernene. 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.
- Braastad, G. 2000: Kort innføring i toksikologi – økotoksikologisk risikovurdering – veiledning – Del IIA. SFT-rapport TA 1756, 46 s.
- 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., Knies, J., Finne, T.E. og Thorsnes, T. 2007: MAREANO 2006 - miljøgeokjemiske resultater fra Tromsøflaket, Ingøydjupet og Sørøysundet, NGU-rapport 2007.059, 249 sider inkl. vedlegg.
- Jensen, H.K.B., Knies, J., Finne, T.E. og Thorsnes, T. 2008: MAREANO 2007 - miljøgeokjemiske resultater fra Troms II og Troms III, NGU-rapport 2008.077, 253 sider inkl. vedlegg.
- Jensen, H.K.B., Knies, J., Finne, T.E. og Thorsnes, T. 2009: MAREANO 2008 – miljøgeokjemiske resultater fra havområdene utenfor Lofoten – Troms, NGU-rapport 2009.057, 31sider inkl. CD med vedlegg.
- Jensen, H.K.B., Knies, J., Finne, T.E. og Thorsnes, T. 2010a: MAREANO 2009 – miljøgeokjemiske resultater fra Eggakanten, NGU-rapport 2010.016, 31 sider inkl. CD med vedlegg.
- Jensen H. K. B, Knies J., Finne, T.E. og Thorsnes, T. 2010b: MAREANO 2009 – miljøgeokjemiske resultater fra Eggakanten, Tromsøflaket og Nordland VII, NGU-rapport 2010.063, 36 sider inkl. CD med vedlegg.
- Jensen H. K. B., Finne T. E. og Thorsnes T., 2011. MAREANO 2010 – miljøgeokjemiske resultater av overflatesedimenter fra områder utenfor Finnmark, Troms III og Nordland VI. NGU-rapport 2011.052, 22 sider og vedlegg.
- Jensen H. K. B., Knies J., Finne T. E. og Thorsnes T., 2013. Miljøkjemiske data og dateringsresultater fra fire sedimentkjerner i Nordkapptransektet, Troms III og Nordland VI. 28 sider og vedlegg.
- Jensen H. K. B., Finne T. E. og Thorsnes T., 2013. Miljøkjemiske data og dateringsresultater fra Finnmark, Nordland VI og Mørebankene. NGU-rapport 2013.041, 76 sider.
- 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,

- 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.
- Norsk oljehistorie i korte trekk, 2002. <http://www.ptil.no/ord-og-uttrykk/norsk-oljehistorie-i-korte-trekk-article882-38.html>.
- 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. *Paleoceanography*. 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.
- Pathirana I., Knies J., Felix M. and Mann U., 2014. Towards an improved organic carbon budget for the western Barents Sea shelf. *Climate of the Past*, vol. 10, pp. 569-587.
- 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.
- Sværen I., 2013. Cs-137 aktivitet i sediment og datering av kjerner i MAREANO-prosjektet. HI-rapport 2013.
- 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 Klungesøyr 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