



# UNDERSØKELSE AV NATURLIGE KILDER FOR HYDROKARBONER I EN SEDIMENTKJERNE FRA STORFJORDRENNÅ

Stepan Boitsov (HI), Henning K.B. Jensen (NGU), Jochen Knies (NGU) og  
Rune Mattingsdal (Oljedirektoratet)



**Tittel (norsk og engelsk):**

Undersøkelse av naturlige kilder for hydrokarboner i en sedimentkjerne fra Storfjordrenna  
A study of natural sources of hydrocarbons in a sediment core from Storfjordrenna

**Rapportserie:** Rapport fra havforskningen  
**År - Nr.:** 2022-42  
**Dato:** 06.12.2022  
ISSN:1893-4536

**Forfatter(e):**  
Stepan Boitsov (HI), Henning K.B. Jensen (NGU), Jochen Knies (NGU) og Rune Matningsdal (Oljedirektoratet)

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Geir Lasse Taranger  
Programleder(e): Frode Vikebø

**Distribusjon:**

Åpen

**Prosjektnr:**

15312-02

**Oppdragsgiver(e):**

MAREANO og Oljedirektoratet

**Program:**

Marine prosesser og menneskelig  
påvirkning

**Forskningsgruppe(r):**

Fremmed- og smittestoff (FRES)

**Antall sider:**

25

**Samarbeid med**

**Forord:**

Dette arbeidet ble finansiert av Oljedirektoratet og MAREANO.

Vi vil takke CAGE (Centre for Arctic Gas Hydrate, Environment and Climate) for sedimentkjernen satt til disposisjon for dette arbeidet.

Vi takker Martin Klug (NGU) for utført XRI-analyse og tilretteleggelse for uttak av prøver.

Vi er takknemlige til Geir Hansen og Dr. Stephen Killops fra Applied Petroleum Technology AS for produktive diskusjoner om resultater av analysene.

Kjell Bakkeplass (Havforskningsinstituttet) takkes for tillaging av kartet.

Ingvild Heggertveit Hagesæter (Havforskningsinstituttet) takkes for teknisk støtte ved publisering av rapporten.

**Sammendrag (norsk):**

Havforskningsinstituttet (HI) og Norges geologiske undersøkelse (NGU) har gjennomført en detaljert geokjemisk studie av en lang sedimentkjerne fra Storfjordrenna sør for Svalbard. Formålet var å utrede typer hydrokarboner som finnes naturlig i sedimenter i området, modenhet og degraderingsgrad for disse, og basert på dette forsøke å foreslå mest sannsynlige kilder for disse. Studien har vist at hovedkilden for hydrokarboner i kjernen er en naturlig oljelekkasje som mest sannsynligvis fortsatt er aktiv. Den øverste delen av kjernen bærer også preg av naturlig forekommende bitumen, men de dypeste delene gir mest uttrykk for oljen fra lekkasjen. Det er ikke funnet noen tegn på andre naturlige kilder for hydrokarboner, som kull. Rapporten gir anbefalinger til MAREANO-programmet om mulig strategi for videre aktiviteter i marine områder med sannsynlige naturlige kilder for hydrokarboner i sedimenter.

**Sammendrag (engelsk):**

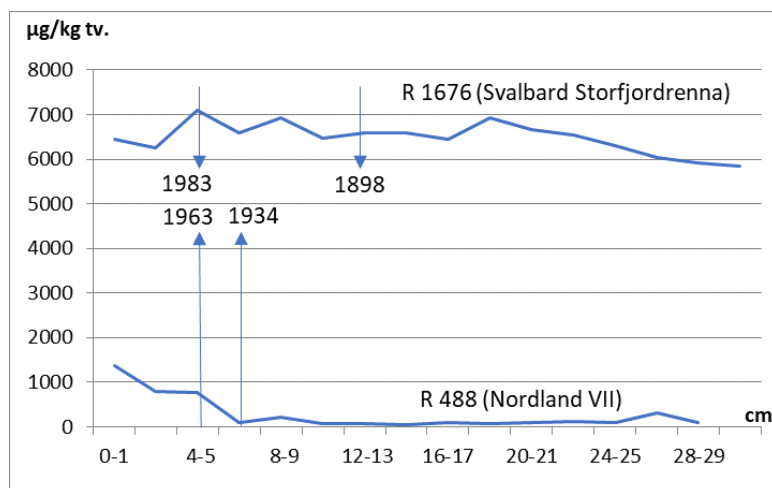
Institute of Marine Research (IMR) and Norwegian geological survey (NGU) have carried out a detailed geochemical study of a long sediment core from Storfjordrenna south of Svalbard. The purpose of the study was to investigate the types of hydrocarbons present naturally in the sediments in the area, maturity and degradation degree of the hydrocarbons, and based on this, to try and suggest the most probable sources of the hydrocarbons. The study has shown that the main source of the hydrocarbons in the core is an oil seep which is most likely still active. The upper part of the core is also influenced by naturally occurring bitumen, while the lower part is more representative of the seep oil. There are no apparent signs of other natural sources of hydrocarbons, like coal, found in the samples. The report gives recommendations to the MAREANO program regarding a possible strategy of further activities in marine areas with probable natural sources of hydrocarbons in sediments.

# Innhold

|          |                                                                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Innledning</b>                                                                                  | <b>6</b>  |
| <b>2</b> | <b>Metoder</b>                                                                                     | <b>8</b>  |
| 2.1      | Prøvetaking og forbehandling                                                                       | 8         |
| 2.2      | Analysemetoder                                                                                     | 9         |
| <b>3</b> | <b>Resultater</b>                                                                                  | <b>10</b> |
| 3.1      | XRI-analyse                                                                                        | 10        |
| 3.2      | <sup>14</sup> C-datering                                                                           | 11        |
| 3.3      | Hydrokarboner                                                                                      | 11        |
| <b>4</b> | <b>Konklusjoner og anbefalinger</b>                                                                | <b>15</b> |
| <b>5</b> | <b>Referanser</b>                                                                                  | <b>16</b> |
| <b>6</b> | <b>Vedlegg 1. Rapport om geokjemiske analyser utført ved Applied Petroleum Technology AS (APT)</b> | <b>17</b> |
| <b>7</b> | <b>Vedlegg 2. Rapport om <sup>14</sup>C-datering</b>                                               | <b>18</b> |

# 1 - Innledning

Det er funnet naturlig høye nivåer av hydrokarboner (bl.a. polysykliske aromatiske hydrokarboner, PAH) i sedimenter i områdene rundt Svalbard og i det nordvestlige Barentshavet (se Boitsov & Klungsøyr 2018, og andre kjemirapporter på [www.mareano.no](http://www.mareano.no)). MAREANO-programmet har samlet omfattende materiale som viser at nivåene ligger stabilt høyt gjennom hele sedimentkjerner, også i de dypeste sedimentlagene avsatt lenge før industrialisering (Boitsov mfl. 2020). I andre områder i åpent hav finner man ofte en økning i PAH-nivåer i de øverste sedimentlagene. De økte nivåene er knyttet til menneskelig påvirkning, men selv de høyeste blant disse ligger gjerne betydelig lavere enn det som man finner i marine avsetninger i Svalbard-området (se figur 1).

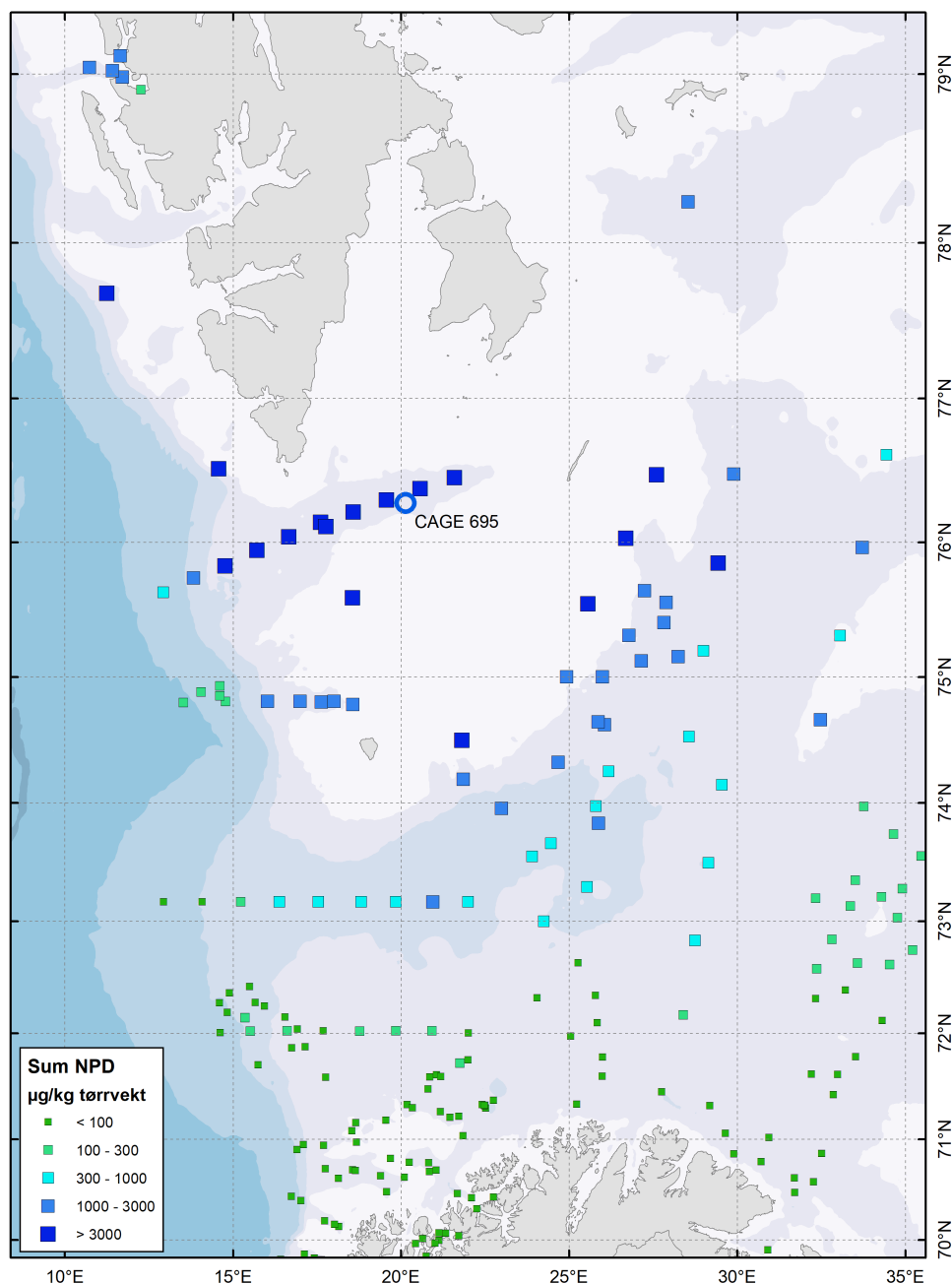


Figur 1. Nivåer av summerte PAH i to sedimentkjerner undersøkt av MAREANO, representative for sine geografiske områder (fra Boitsov mfl. 2011a; Boitsov & Klungsøyr 2018).

Det er tidligere påvist at hydrokarbon-sammensetningen av sedimentene rundt Svalbard ofte har kull som sin hovedkilde, forårsaket av erosjon av kullholdige bergarter som føres til havet (Dahle mfl. 2006). En annen betydelig kilde for PAH i dette området er naturlige lekkasjer av olje fra havbunnen, i tillegg til andre kilder av mindre betydning (langtransportert forurensning m.m.) Oljedirektoratet har nå samlet informasjon og utført nye satellittbaserte studier om en stor mengde oljелеkkasjer på havbunnen i forskjellige områder i den nordvestlige og den sentrale delen av Barentshavet (for eksempel, Ivanov 2019, Mattingsdal 2021, Serov mfl. in revision). Slike data var ikke tilgjengelige tidligere, og kan tyde på en større betydning av naturlige oljелеkkasjer for hydrokarbonsammensetning av sedimenter enn antatt før, i hvert fall i noen områder. De foreløpige resultatene til Oljedirektoratet viser at det ser ut til å være en svært stor sammenheng med hvor de naturlige olje- (og gass-) lekkasjene forekommer og den underliggende geologien og petroleumssystemene. Den omfattende naturlige lekkasjen fra havbunnen er i stor grad relatert til den geologiske historien i Barentshavet, og er spesielt tydelig der gjennomgående forkastninger fra grunne reservoarer/lukninger går helt opp til havbunnen, der hvor reservoarintervaller har utgående lag på havbunnen, og der toppen av grunne reservoarer/lukninger har erosjon gjennom takbergarten (Mattingsdal 2020; 2021).

MAREANO-programmet har som intensjon å levere detaljert og oppdatert kunnskap om havbunnen til myndighetene, for å fremme en bedre forståelse av miljøstatus i norske havområder og prosessene som ligger bak dette. Resultater av målinger av petrogene PAH (NPD\*), som kan ha forskjellige fossile stoffer, inkludert både olje og kull, som sin kilde, er vist på kart i figur 2 for overflatesedimenter undersøkt av MAREANO tidligere. Resultatene viser høye nivåer av NPD i sentrale og nordvestlige deler av Barentshavet og rundt Svalbard, og betydelig lavere nivåer i andre områder.

\* NPD: naftalen, fenantren, dibenzotiofen og deres alkylerte homologer



Figur 2 . Nivåer av NPD ( $\mu\text{g/kg}$  tørrvekt) i overflatesedimenter fra nordvestlige deler av Barentshavet, rapportert av MAREANO. Prøvetakingslokaliteten for den lange sedimentkjernen undersøkt i denne studien er vist som «CAGE 695». Kart: Kjell Bakkeplass, Havforskningsinstituttet.

For å undersøke mulige kilder for de høye hydrokarbonnivåene som man finner i det nordvestlige Barentshavet, er det nødvendig å utføre en grundigere analyse av hydrokarbonsammensetningen i sedimentene, inkludert analyse av såkalte geokjemiske biomarkører (som hopaner og steraner, se for eksempel Killops & Killops 2005). En lignende studie utført under MAREANO tidligere på prøver fra sørvestlige deler av Barentshavet har påvist petroleumsbidraget i sedimenter fra enkelte steder (Boitsov mfl. 2011b). Denne rapporten beskriver resultater av en detaljert geokjemisk studie av en lang sedimentkjerne fra Storfjordrenna, for å undersøke opprinnelsen av hydrokarboner i sedimenter. Studien ble utført av Havforskningsinstituttet (HI) og Norges geologiske undersøkelse (NGU) i samarbeid med Oljedirektoratet.

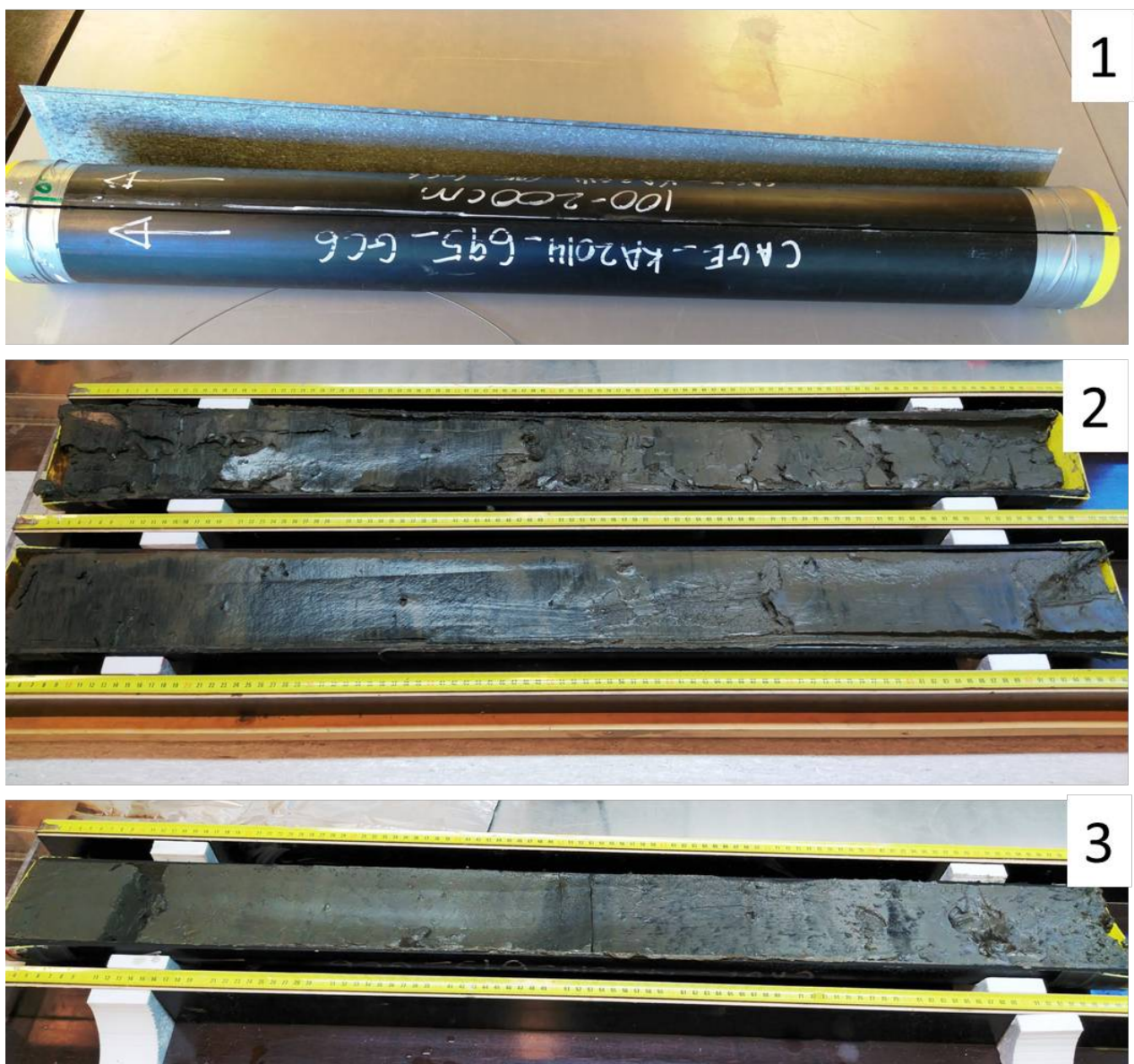


## 2 - Metoder

### 2.1 - Prøvetaking og forbehandling

Oljedirektoratet har gjennom sitt samarbeid med CAGE (Centre for Arctic Gas Hydrate, Environment and Climate, <https://cage.uit.no/>) fått tilgang til en sedimentkjerne innsamlet av Universitetet i Tromsø i 2014. Kjernen ble samlet inn med en gravity corer ved CAGE stasjon 695 (76,282533° N, 20,132559° E) på et UiT-tokt i Storfjordrenna, se posisjon på kart i figur 2. Kjernen var 2,68 m lang og ble fordelt i tre 1-meters seksjoner, som ble mottatt på NGU i mai 2022.

Stratigrafisk analyse av kjernen ble utført med hjelp av XRI på NGU. Etter analysen ble kjernedelene delt i to langs kjernen med hjelp av en metallplate og 10 prøver av ca. 3 cm tykkelse tatt ut fra kjernene som vist i figur 3.



Figur 3. Uttak av prøver fra sedimentkjernen.



Prøvene som ble tatt ut er beskrevet i tabell 1 under.

Tabell 1. *Prøvebeskrivelse.*

| Prøvenummer | Kjernedyp, cm | XRI                                                             | Våttvekt prøve, g |
|-------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1           | 00-04*        | -                                                               | 98,3              |
| 2           | 10-12         | homogen, tydelig bioturbasjon                                   | 107,1             |
| 3           | 20-23         | homogen, tydelig bioturbasjon                                   | 125,5             |
| 4           | 30-33         | homogen, bioturbasjon                                           | 127,5             |
| 5           | 70-73         | litt mindre kompakt, homogen                                    | 114,5             |
| 6           | 110-113       | mindre kompakt                                                  | 149,1             |
| 7           | 150-153       | samme som over                                                  | 146,5             |
| 8           | 190-193       | fra ca. 160 cm er det et skifte til annen type sediment enn før | 207,0             |
| 9           | 230-233       | samme som over                                                  | 191,5             |
| 10          | 258-261       | samme som over                                                  | 204,5             |

\* Den vannholdige delen av overflaten manglet, og den faktiske overflaten gikk på skrå fra 2 til 4 cm.

Prøvene ble pakket i plastposer og sendt for kjemisk analyse til Applied Petroleum Technologies AS (APT).

Et eget utvalg av prøver ble gjort for radiodatering med  $^{14}\text{C}$ . Skjellfragmenter fra 65-66 cm, 90-91 cm og 145-147 cm dybde i kjernen ble sendt for analyse til  $^{14}\text{CHRONO}$  Centre ved Queens University, Belfast, Nord-Irland.

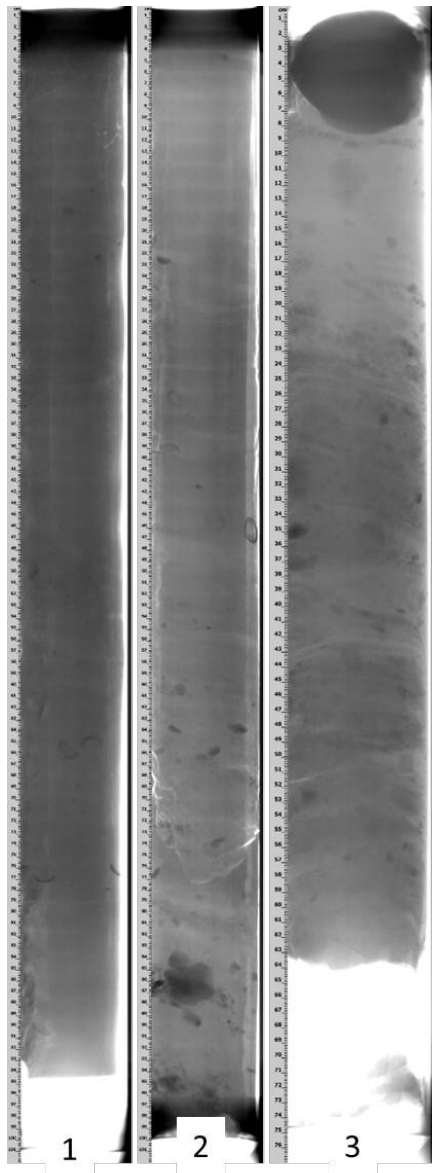
## 2.2 - Analysemetoder

En kort beskrivelse av analysemetoder er gitt i Vedlegg 1 (rapporten fra APT, se del 1, *Introduction*) for kjemiske analyser av alifatiske og aromatiske hydrokarboner, og i Vedlegg 2 (rapporten fra  $^{14}\text{CHRONO}$  Centre) for  $^{14}\text{C}$ -datering.

## 3 - Resultater

### 3.1 - XRI-analyse

Resultatet av analysen er vist i figur 4 for de tre delene av kjernen.

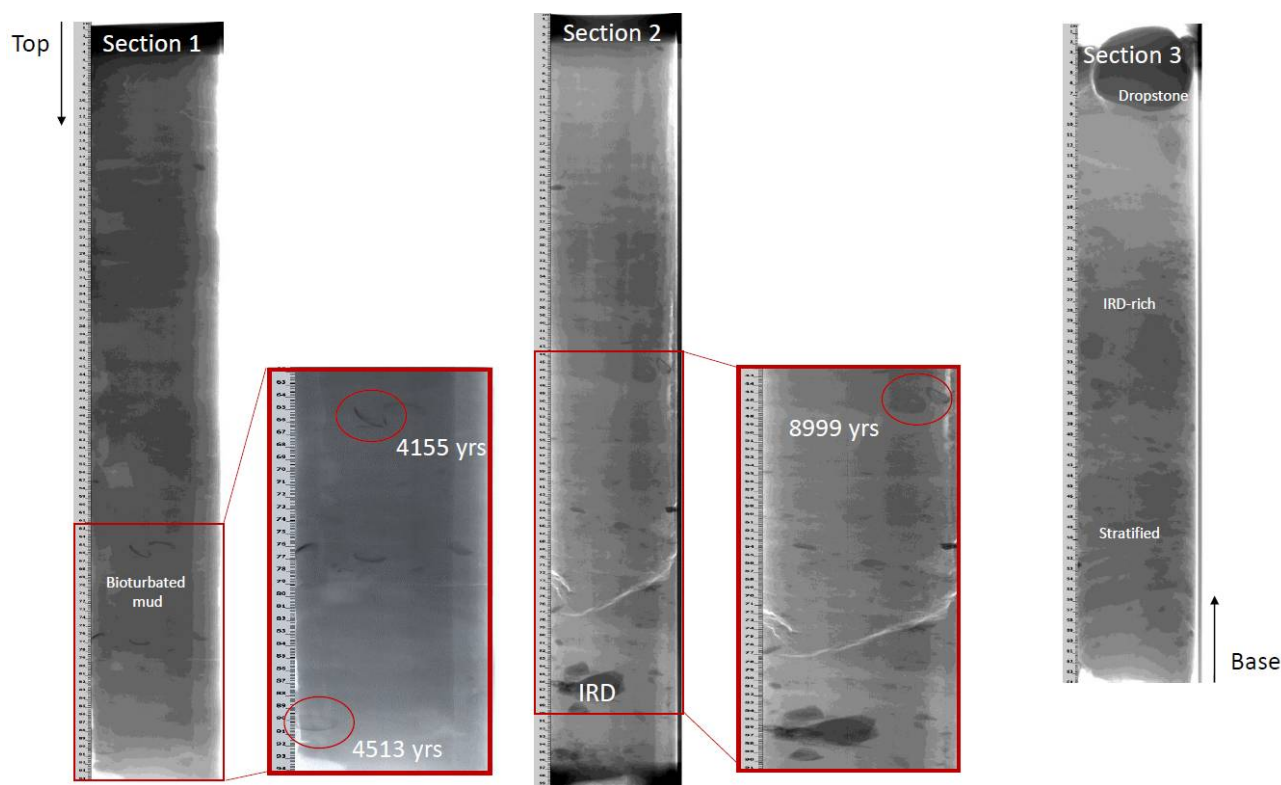


Figur 4. XRI-analyse av sedimentkjernen.

Analysen viser en stort sett homogen struktur for sedimenter gjennom kjernen, med enkelte skjellfragmenter i dypere sedimentlag og en stein ved ca. 2 m dybde.

### 3.2 - $^{14}\text{C}$ -datering

Resultater av radiodatering er vist i figur 5 for de tre delene av kjernen.



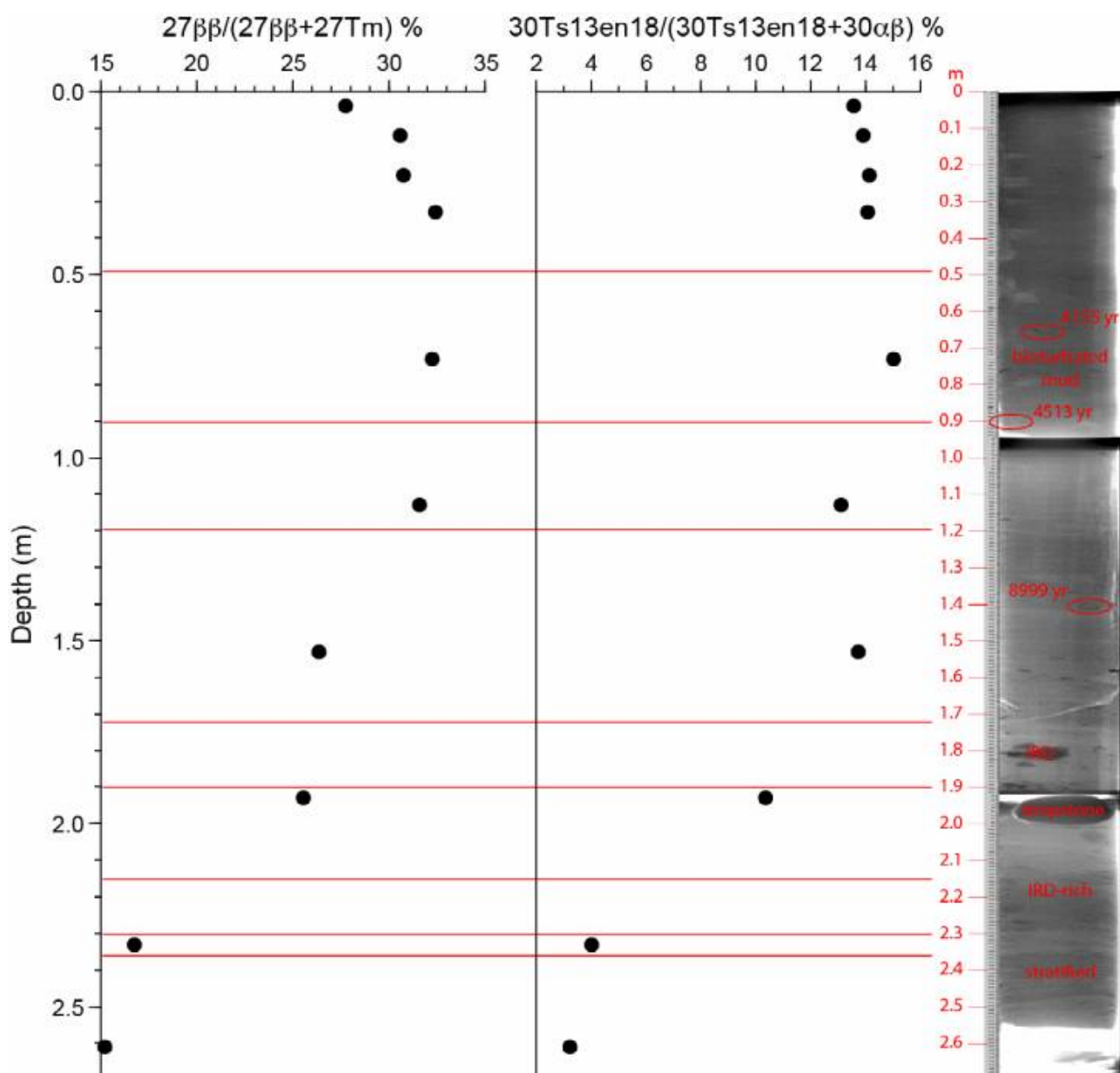
Figur 5. Resultater av  $^{14}\text{C}$ -analyse av sedimentkjernen.

Ifølge dateringsrapporten vist i Vedlegg 2, er materiale fra 65-66 cm dyp i kjernen  $4155 \pm 27$  år gammelt. Materiale fra 90-91 cm dyp dateres til  $4513 \pm 31$  år tilbake i tid, og materiale fra 145-147 cm er fra  $8999 \pm 43$  år tilbake. Dette sistnevnte hører til en sone som vurderes til å representere *ice-rafted debris* (IRD, se figur 5).

### 3.3 - Hydrokarboner

En detaljert beskrivelse av resultater av hydrokarbonanalyse og fortolkning av disse er gitt i APT sin rapport i Vedlegg 1 (på engelsk). Rapporten gir uttrykk for at det finnes klare indikasjoner på tilstedeværelse av migrert olje gjennom hele kjernen, gjerne blandet med hydrokarboner som stammer fra mer umodent naturlig bitumen, spesielt i den øverste delen av kjernen. Dette ble bekreftet av både *n*-alkanenes signatur og av geokjemiske biomarkører. Det er de sistnevnte forbindelsene som pleier å gi detaljert informasjon om petrogene kilder i sedimenter.

Blant de geokjemiske biomarkørene som ble undersøkt her, var det forskjellige hopanoider som gav informasjon for vurdering av hydrokarbonkilder i prøvene. Forholdet mellom mindre og mer termisk stabile hopanoider (betegnet hhv. som 27 $\beta$  og 30Ts13en18 for de mindre stabile, og 27Tm og 30 $\alpha$  for de tilsvarende mer stabile variantene) er vist i figur 6 sammen med XRI-bilde og dateringsresultater for kjernen.

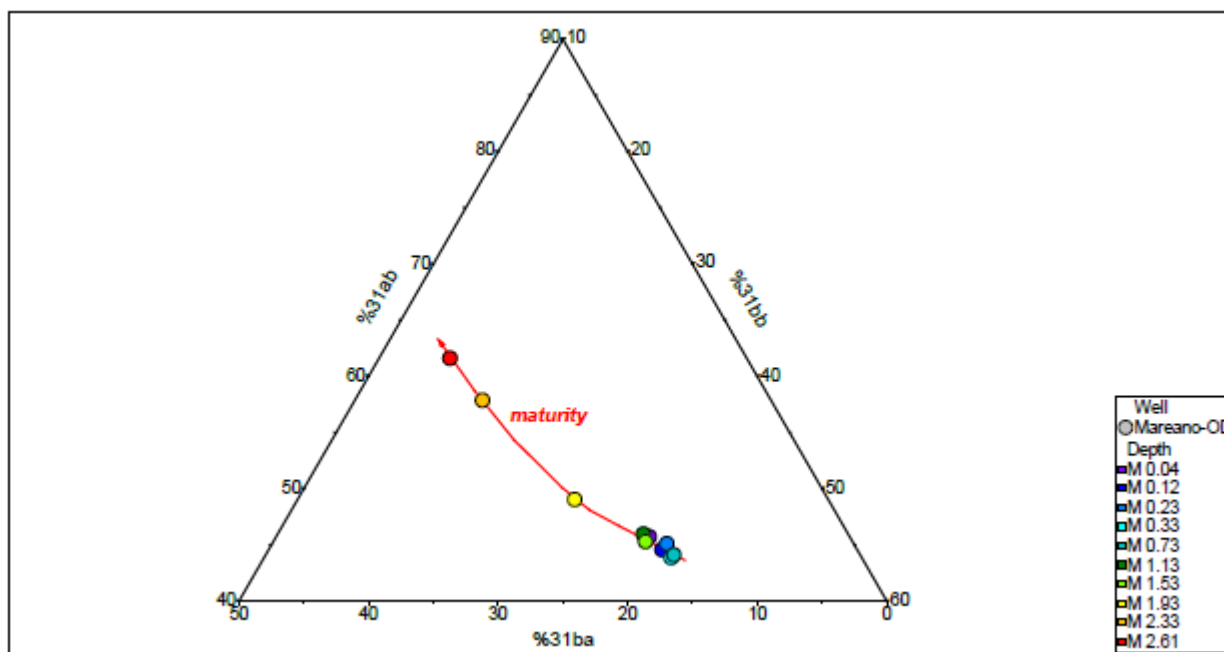


Figur 6. Forholdet mellom termisk mindre stabile ( $27\beta\beta$  og  $30Ts13en18$ ) og mer stabile ( $27Tm$  og  $30\alpha\beta$ ) hopanoider gjennom kjernen. De røde linjene viser grenser for litologiske overganger i kjernen. De røde ovalene i XRI-bildet viser organiske strukturer datert med  $^{14}C$ -analysen.

Resultatene vist i figur 6 tyder på et høyere petrogent bidrag under ca. 1,5 m dybde i kjernen, og spesielt høy anrikning med migrert olje i de to dypeste prøvene fra dypere enn 2,0 m. Dette bekreftes videre i stor grad av trendene man finner for asykliske isoprenoider i forhold til *n*-alkaner m.m., se figurene 3 og 4 i APT-rapporten i Vedlegg 1. Resultatene viser at oljelekkasjen mest sannsynligvis fortsatt er aktiv, på grunn av relativt lav grad av biodegradering av *n*-alkaner.

Biodegradering ble videre studert med hjelp av forbindelser som er mer resistente mot biodegradering enn *n*-alkaner, dvs. enkelte PAH, norhopaner og steraner, se figur 5 i APT-rapporten. Her ble det igjen påvist at de dypeste to prøvene i kjernen, fra dypere enn 2 m, skiller seg fra resten av prøvene og sannsynligvis ble utsatt for biodegradering, se figurene 6 og 7 i APT-rapporten. Resultatene for norhopan-analyse var mindre entydige. Til sammen tyder resultatene på at det sannsynligvis enten er eller har skjedd biodegradering av olje nærmere overflaten av kjernen, kombinert med mulig degradering i dypere sedimentlag.

Det er avdekket lite variasjon i forskjellige hopan-baserte modenhetsparametre for de 10 prøvene fra sedimentkjernen (figur 9 i APT-rapporten), og enkelte parametre tyder på en relativt lav grad av modenhet for overordnet innhold i prøvene. Steran-baserte modenhetsparametre støtter opp det som antydes av hopanene (figur 10 i APT-rapporten). I tillegg viser steran-resultatene at oljen fra lekkasjen har en marin signatur, med steran-forbindelser som har sin opprinnelse i plankton dominerende i de dypeste prøvene med høyest innhold av olje. Modenheten er videre vurdert ut fra  $C_{31}$ -hopaner, som tyder på en betydelig høyere grad av modenhet for de tre dypeste prøvene enn for resten av prøvene, se figur 7 under.

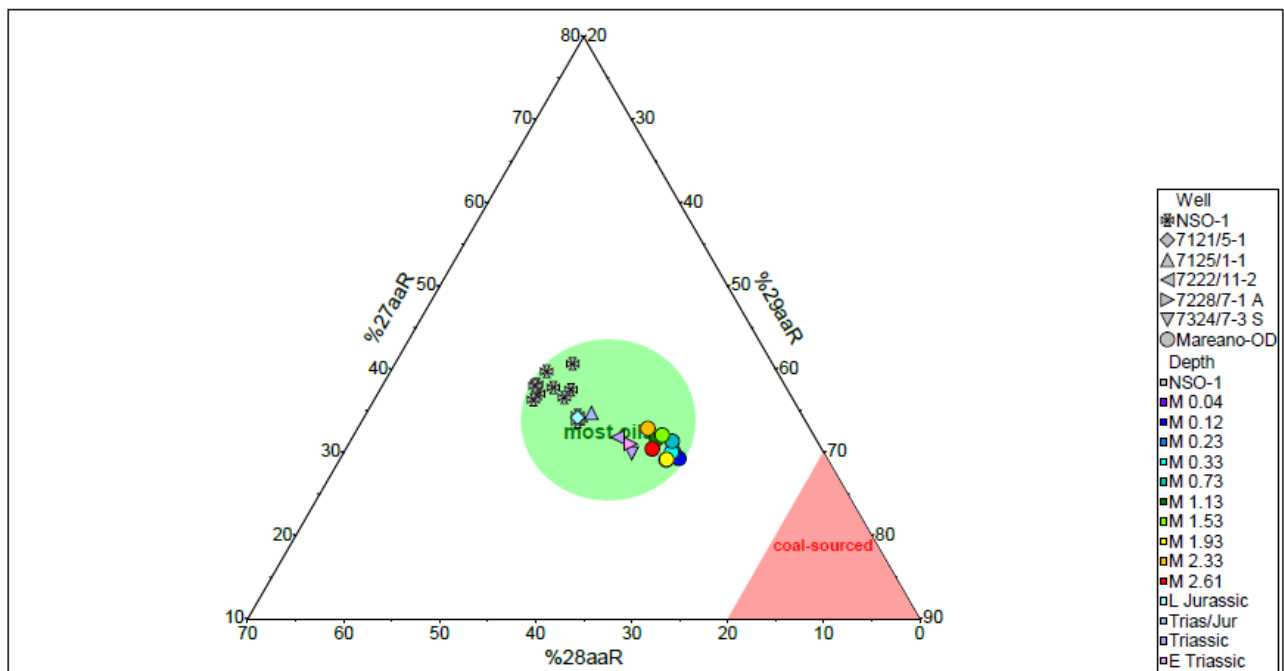


Figur 7. Modenhet basert på mengdeforholdene mellom  $31\beta$ ,  $31\beta a$  og  $31\alpha$  S+R-hopanisomerene.

En rekke andre modenhetsparametre vist i figur 12 i APT-rapporten antyder også høyest modenhetsgrad i de laveste prøvene i sedimentkjernen.

Pristan/phytan-forholdet og noen andre parametre bekrefter videre marin opprinnelse av olje i prøvene, figur 13 i APT-rapporten. Stabile C-isotopenes sammensetning i hydrokarbon-fraksjoner tyder på likheter med Snøhvit-olje (figur 14 i APT-rapporten). Forholdet mellom trisykliske terpaner (ETR) tyder på mesozoisk (muligens jurasisk) opprinnelse av olje i prøvene, figur 15 i APT-rapporten. Mesozoisk opprinnelse bekreftes muligens videre av forholdet mellom  $C_{28}/C_{29}$ -steraner, men tilstedeværelse av terrestrisk organisk materiale gjør det vanskelig å vurdere dette entydig (figur 16 i APT-rapporten). Nordiacholestan-forholdet (NDR) antyder ingen post-jurasiske kilder for oljen i prøvene (figur 16 i APT-rapporten). En vurdering av forbindelser knyttet til dinoflagellat- og diatom-bidraget, dinosteroider og dimetylsteroider, tyder også på likheter med Snøhvit-olje i de dypeste tre prøvene, figur 17 i APT-rapporten. En PCA-analyse avdekket ingen likheter mellom oljen i prøvene og kjente oljer som ble brukt for sammenligning, men det er en antydning på en likhet med sen-jurasisk kilde (figur 18 i APT-rapporten). Resultatene er ikke konklusive og analysene kan ikke utelukke en ny, tidligere ikke påvist kildebergart for oljen.

Figur 8 under viser forholdet mellom isomerer av steraner, som er en av flere parametre vurdert for å bestemme tilstedeværelse av kull i prøvene. Verken denne eller noen andre parametre gir noen antydninger på en gjenkjennelig kull-signatur.



Figur 8. Forholdet mellom steran-isomerene i prøvene.



## 4 - Konklusjoner og anbefalinger

Denne studien har påvist tydelige tegn på naturlig oljelekkasje i sedimentkjernen. Oljen vurderes å være av en typisk marin natur og muligens beslektet med olje av Snøhvit/Hekkingen-type, men sammenligningen som er utført er ikke konklusiv på dette. Lekkasjen er mest sannsynligvis fortsatt aktiv. Det er ingen tegn på tilstedeværelse av kull i prøvene.

Resultatene presentert her bekrefter derfor naturlige kilder for hydrokarboner i sedimenter i nordvestlig del av Barentshavet. Naturlige utsivninger av olje fra under havbunnen dominerer fullstendig hydrokarbonsammensetningen i den undersøkte prøven, og dette kan være tilfellet flere andre steder i Barentshavet, også lenger øst der flere lekkasjer av denne typen er avdekket (Ivanov 2019; Matningsdal 2021; Serov mfl. in revision). Kull har tidligere vært påvist i sedimenter fra andre steder i Svalbard-område, og det er flere steder påvist en blanding av kull og olje i sedimentene (Dahle mfl. 2006). Kull som hovedkilde for hydrokarboner kan ikke utelukkes andre steder langs Svalbard-kysten, og det kan heller ikke utelukkes andre naturlige kilder som f.eks. skiferholdige bergarter eksponert til havmiljø.

Basert på disse funnene, vil vi anbefale at MAREANO-programmet vurderer en viss endring i strategien når det gjelder geokjemisk og geologisk kartlegging av havbunnen i norske havområder, inkludert Nordsjøen hvor det finnes store oljeforekomster og naturlige lekkasjer av olje på havbunnen også er blitt påvist. Vi anbefaler følgende tiltak ved fremtidig kartlegging,

- ta med hensynet til mulige naturlige hydrokarbon-lekkasjer i planlegging av kartlegging i framtiden, og vurder muligheten for dette for hvert konkret område når prøvetakingsstasjonene settes opp. Dette kan oppnås med hjelp av
  - en geologisk vurdering av havbunnen i området som skal undersøkes
  - tilgjengelige data om undergrunnen fra andre kilder som for eksempel Oljedirektoratet, CAGE m.m.
- hvis det vurderes som sannsynlig at et område kan ha betydelige naturlige oljelekkasjer, skal det tilrettelegges for prøvetaking av lange sedimentkjerne i slike områder:
  - velge ut relevante lokaliteter
  - planlegge ekstra tid for prøvetaking og ha gravity corer med om bord
  - legge tilsvarende geokjemiske studier inn i budsjettet for neste års analyser
  - planlegg rapportering av resultatene med nødvendig fortolkning og forklaring

Det er spesielt viktig å få med seg og spre videre en forklaring av hvorfor dette kan være nyttig og nødvendig. Naturlige oljelekkasjer fra havbunnen kan spille en større rolle i havmiljøet og økosystemene enn tidligere trodd, i hvert fall enkelte steder, og kan både påvirke naturlige nivåer av hydrokarboner i havmiljøet og bidra til økte nivåer knyttet til menneskeskapt forurensning, spesielt i områder med høy aktivitet for olje- og gassutvinning. Det er meget viktig å skaffe seg mest mulig kunnskap om dette i de områdene der det er relevant, og det nasjonale kartleggingsprogrammet som MAREANO er en naturlig bidragsyter for dette.

Samtidig skal man være klar over at det kan oppnås en viss balanse mellom behovet for ny kunnskap og problemer knyttet til økt aktivitet under MAREANO, både finansielt og ift. kapasitet på tokt. Slike studier kan være dyre og slike prøver kan være krevende å få. Det kan derfor være fornuftig å begrense seg til kun et lite antall slike prøver og kun til de områdene hvor dette kan anses som mest aktuelt. Videre analyseprogram kan være mindre detaljert enn i studien rapportert her, og kun et utvalg av geokjemiske parametere kan være tilstrekkelig for å dra nødvendige konklusjoner.

## 5 - Referanser

- Boitsov, S., Jensen, H.K.B., Klungsøyr, J. 2011a. Undersøkelser av hydrokarboner i sedimenter fra MAREANO-området 2006-2009. Fisker og Havet 4/201 1, 82 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>
- Boitsov, S., Petrova, V., Jensen, H.K.B., Kursheva, A., Litvinenko, I., Yifeng, C., Klungsøyr, J. 2011b. Petroleum-related hydrocarbons in deep and subsurface sediments from South-Western Barents Sea. Marine Environmental Research 71, 357-368.
- Boitsov, S., Klungsøyr, J. 2018. Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området i 2016 og 2017. Rapport fra Havforskningen 11-2018, 56 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>
- Boitsov, S., Klungsøyr, J., Jensen, H.K.B. 2020. Background concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in deep core sediments from the Norwegian Sea and the Barents Sea: A proposed update of the OSPAR Commission background values for these sea areas. Chemosphere 251, 126344.
- Dahle, S., Savinov, V., Petrova, V., Klungsøyr, J., Savinova, T., Batova, G., Kursheva, A. 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Norwegian and Russian Arctic marine sediments: concentrations, geographical distribution and sources. Norwegian Journal of Geology 86, 41-50.
- Ivanov, A. Yu. 2019. Remote sensing detection and analysis of oil seeps in the Caspian Sea and the Barents Sea. (*På russisk*). Okeanologicheskiye Issledovaniya 47, 52-64.
- Killops, S.D., Killops, V. 2005. Introduction to Organic Geochemistry. 2<sup>nd</sup> edition. Blackwell Science Ltd. Pp. 393.
- Mattingsdal, R. 2020. Geological controls on widespread gas leakage at the seafloor in the northern Barents Sea. Abstracts and Proceedings of the Geological Society of Norway 1, 134.
- Mattingsdal, R. 2021. Naturlige hydrokarbon-lekkasjer i Barentshavet og sammenhengen med underliggende petroleumssystemer. Foredrag på MAREANO Brukerkonferanse, 21.10.2021 (digitalt).
- Serov, P., Mattingsdal, R., Winsborrow, M., Patton, H., Andreasson, K. *In revision*. Widespread natural methane and oil leakage from sub-marine Arctic reservoirs. En Nature Portfolio preprint tilgjengelig på <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1225012/v1>

## **6 - Vedlegg 1. Rapport om geokjemiske analyser utført ved Applied Petroleum Technology AS (APT)**

[Geochemistry Report – Mareano, Barents Sea Show Study](#)

## 7 - Vedlegg 2. Rapport om 14C-datering

| UBANo     | Sample ID       | Material Type  | <sup>14</sup> C Age | ±  | F14C   | ±      | mg Graphite |
|-----------|-----------------|----------------|---------------------|----|--------|--------|-------------|
| UBA-48646 | 695-GC06-65- 66 | Shell fragment | 4155                | 27 | 0.5962 | 0.0020 | 0.455       |
| UBA-48647 | 695-GC06-90- 91 | Shell fragment | 4513                | 31 | 0.5702 | 0.0022 | 0.452       |
| UBA-48648 | 695-GC06-45- 47 | Shell fragment | 8999                | 43 | 0.3262 | 0.0017 | 0.736       |



Seung Il Nam  
Division of Glacier Environmental Research  
Korea Polar Research Institute 26 Songdomirae-ro, Yeonsu- gu  
21990 Incheon Korea

$^{14}\text{CHRONO}$   
Centre Queens University Belfast  
42 Fitzwilliam Street Belfast BT9 6AX  
Northern Ireland

#### Radiocarbon Date Certificate

Laboratory Identification: UBA-48646 Date of Measurement: 2022-09-06 Site:

Sample ID: 695-GC06-65- 66

Material Dated: shell or other carbonates

Pretreatment: Acid Etch

mg Graphite: 0.455

Submitted by: Jochen Knies

|                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conventional $^{14}\text{C}$<br>Age: $4155 \pm 27$ BP using AMD<br>Fraction corrected $\delta^{13}\text{C}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



Seung Il Nam  
Division of Glacier Environmental Research  
Korea Polar Research Institute 26 Songdomirae-ro, Yeonsu- gu  
21990 Incheon Korea

$^{14}\text{C}$  CHRONO  
Centre Queens University Belfast  
42 Fitzwilliam Street Belfast BT9 6AX  
Northern Ireland

#### **Radiocarbon Date Certificate**

Laboratory Identification: UBA-48647 Date of Measurement: 2022-09-06 Site:

Sample ID: 695-GC06-90- 91

Material Dated: shell or other carbonates

Pretreatment: Acid Etch

mg Graphite: 0.452

Submitted by: Jochen Knies

|                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conventional $^{14}\text{C}$<br>Age: $4513 \pm 31$ BP using AMD<br>Fraction corrected $\delta^{13}\text{C}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



Seung Il Nam  
Division of Glacier Environmental Research  
Korea Polar Research Institute 26 Songdomirae-ro, Yeonsu- gu  
21990 Incheon Korea

$^{14}\text{C}$  CHRONO  
Centre Queens University Belfast  
42 Fitzwilliam Street Belfast BT9 6AX  
Northern Ireland

#### **Radiocarbon Date Certificate**

Laboratory Identification: UBA-48648 Date of Measurement: 2022-09-06 Site:

Sample ID: 695-GC06-45- 47

Material Dated: shell or other carbonates

Pretreatment: Acid Etch

mg Graphite: 0.736

Submitted by: Jochen Knies

|                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conventional $^{14}\text{C}$<br>Age: $8999 \pm 43$ BP using AMD<br>Fraction corrected $\delta^{13}\text{C}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



# Marine samples will require re-calibration with the marine calibration curve

## RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM\*

CALIB REV8.2

Copyright 1986-2020 M Stuiver and PJ Reimer

\*To be used in conjunction with:

Stuiver, M., and Reimer, P.J., 1993, Radiocarbon, 35, 215- 230.

UBA-48646

48646

Radiocarbon Age BP 4155 +/- 27

Calibration data set: intcal20.14c # Reimer et al. 2020

| % area enclosed           | cal    | AD age ranges |      | relative area under probability distribution |
|---------------------------|--------|---------------|------|----------------------------------------------|
| 68.3 (1 sigma)            | cal BC | 2870-         | 2843 | 0.197                                        |
|                           |        | 2813-         | 2800 | 0.094                                        |
|                           |        | 2778-         | 2739 | 0.280                                        |
|                           |        | 2734-         | 2672 | 0.429                                        |
| 95.4 (2 sigma)            | cal BC | 2876-         | 2661 | 0.935                                        |
|                           |        | 2654-         | 2630 | 0.065                                        |
| Median Probability: -2752 |        |               |      |                                              |

UBA-48647

48647

Radiocarbon Age BP 4513 +/- 31

Calibration data set: intcal20.14c # Reimer et al. 2020

| % area enclosed           | cal    | AD age ranges |      | relative area under probability distribution |
|---------------------------|--------|---------------|------|----------------------------------------------|
| 68.3 (1 sigma)            | cal BC | 3347-         | 3318 | 0.184                                        |
|                           |        | 3238-         | 3173 | 0.423                                        |
|                           |        | 3163-         | 3105 | 0.394                                        |
| 95.4 (2 sigma)            | cal BC | 3357-         | 3260 | 0.331                                        |
|                           |        | 3252-         | 3099 | 0.669                                        |
| Median Probability: -3210 |        |               |      |                                              |

UBA-48648

48648

Radiocarbon Age BP 8999 +/- 43

Calibration data set: intcal20.14c # Reimer et al. 2020

| % area enclosed           | cal    | AD age ranges |      | relative area under probability distribution |
|---------------------------|--------|---------------|------|----------------------------------------------|
| 68.3 (1 sigma)            | cal BC | 8284-         | 8211 | 1.000                                        |
| 95.4 (2 sigma)            | cal BC | 8294-         | 8170 | 0.819                                        |
|                           |        | 8115-         | 8060 | 0.084                                        |
|                           |        | 8042-         | 8010 | 0.082                                        |
|                           |        | 7990-         | 7972 | 0.015                                        |
| Median Probability: -8240 |        |               |      |                                              |

**References for calibration datasets:**

Reimer P, Austin WEN, Bard E, Bayliss A, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Butzin M, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hajdas I, Heaton TJ, Hogg A, Kromer B, Manning SW, Muscheler R, Palmer JG, Pearson C, van der Plicht J, Reim Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, Wacker L, Adolphi F, BÄ¼ntgen U, Fahrni S, Fogtmann-Schulz A, Friedrich R, KÄ¼hler P, Kudsk S, Miyake F, Olsen J, Sakamoto M, Sookdeo A, Talamo S. 2020.

The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kB Radiocarbon 62. doi: 10.1017/RDC.2020.41.

**Comments:**

\* This standard deviation (error) includes a lab error multiplier.

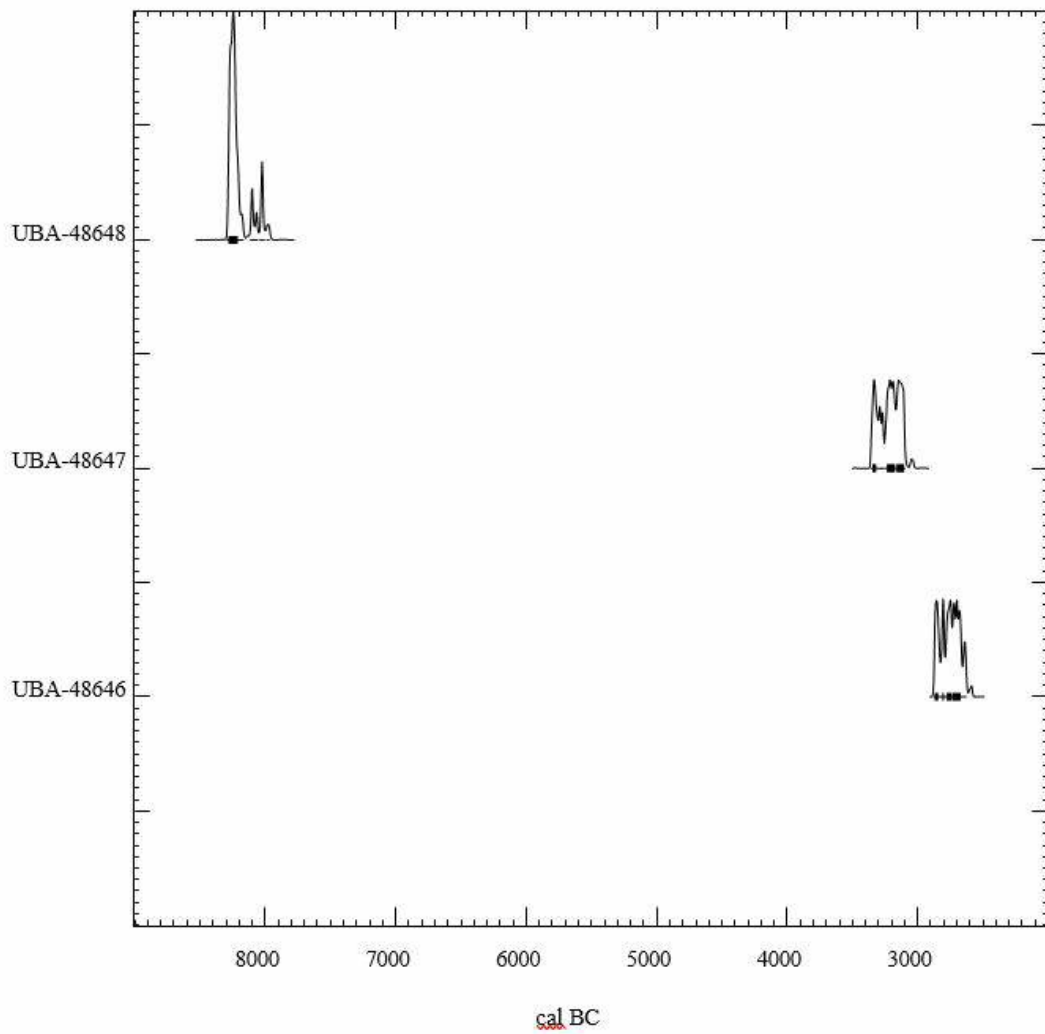
\*\* 1 sigma = square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2)

\*\* 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2) where ^2 = quantity squared.

[ ] = calibrated range impinges on end of calibration data set 0\* represents a "negative" age BP

1955\* or 1960\* denote influence of nuclear testing C- 14

**NOTE:** Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr.



*Posterior Probability Distributions*



## HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

Tlf: 55 23 85 00

E-post: [post@hi.no](mailto:post@hi.no)

[www.hi.no](http://www.hi.no)