



UNDERSØKELSER AV HYDROKARBONER OG ORGANISKE MILJØGIFTER I SEDIMENTER FRA MAREANO- OMRÅDET I 2023



Tittel (norsk og engelsk):

Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra Mareano-området i 2023
Hydrocarbons and organic contaminants in sediments from the Mareano area in 2023

Rapportserie: Rapport fra havforskningen
År - Nr.: 2024-59
Dato: 10.12.2024
ISSN:1893-4536

Forfatter(e):
Stepan Boitsov, Aasim Ali og Monica Sanden (HI)

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

Distribusjon:
Åpen

Prosjektnr:
15312-02

Oppdragsgiver(e):
Mareano

Program:
Marine prosesser og menneskelig
påvirkning

Forskningsgruppe(r):
Fremmed- og smittestoff (FRES)

Antall sider:
52

Sammendrag (norsk):

Havforskningsinstituttet har gjennomført målinger av hydrokarboner (PAH) i sedimenter fra 14 lokaliteter i Mareano-området, inkludert syv sedimentkjerner. I overflatesedimenter ble det i tillegg målt totalt hydrokarbon innhold (THC), bromerte flammehemmere (PBDE), klorerte miljøgifter (PCB og pesticider) og ved seks lokaliteter også «nye» organiske miljøgifter (PFAS, alkylfenoler, bisfenol A (BPA), dekloraner, fosfororganiske flammehemmere (PFR), klorparafiner og siloksaner). Prøvene var innsamlet i 2023 i områdene Sørlege Nordsjø 1 (NSJ-1) og Utsira i Nordsjøen og i deler av Skagerrak. Meget lave nivåer av hydrokarboner ble funnet i grove sedimenter fra område NSJ-1, mens noe høyere nivåer ble funnet i Utsira-område og enda høyere nivåer i Skagerrak. Benzo[*a*]pyren og PAH16 var i Miljødirektoratets klasse I («Bakgrunn») i område NSJ-1, klasse II («God tilstand») i Utsira-område og Skagerrak, og for PAH16 i tilstandsklasse III («Moderat forurensning») ved én lokalitet i Skagerrak. PAH-konsentrasjonsprofiler i kjernene tydet for det meste på tilførsler av pyrogene PAH i moderne sedimentlag, knyttet til antropogen påvirkning. Nivåene av menneskeskapte organiske miljøgifter av alle typer listet ovenfor var relativt lave eller meget lave. Nivåene var som regel høyere i Skagerrak enn i Nordsjøen. Nivåene tilsvarte Miljødirektoratets klasse II for de stoffene som det er etablert tilstandsklasser for, med unntaket av PFOS som var i tilstandsklasse III ved to lokaliteter i Skagerrak og Utsira-område, og BPA som var i denne klassen ved én lokalitet i Skagerrak.

Sammendrag (engelsk):

Institute of Marine Research has analysed hydrocarbons (PAH) in sediments from 14 locations in the Mareano area, including seven sediment cores. In addition, total hydrocarbon contents (THC), brominated flame retardants (PBDE), chlorinated contaminants (PCB and pesticides) and at six locations also contaminants of emerging concern (PFAS, alkylphenols, bisphenol A (BPA), dechloranes, phosphorus flame retardants (PFR), chlorinated paraffins, siloxanes) were analysed in surface sediments only. The samples were collected in 2023 in the North Sea areas Southern North Sea 1 (NSJ-1) and Utsira, and in parts of the Skagerrak. Low levels of hydrocarbons were found in coarse sediments from area NSJ-1, while somewhat higher levels were found Utsira area and even higher levels were found in the Skagerrak. Levels of benzo[*a*]pyrene and PAH16 were in the Norwegian Environmental Agency's class I ("Background") in area NSJ-1, class II ("Good condition") in Utsira area and the Skagerrak, and in class III ("Moderate contamination") at one location in the Skagerrak. PAH concentration profiles in sediment cores showed an increase in the levels of pyrogenic PAH in modern times due to anthropogenic impact. The levels of all the anthropogenic contaminants listed above were low or very low. The levels were as a rule higher in the Skagerrak than in the North Sea. The levels corresponded to class II for those compounds that the condition classes are established for, with the exception of PFOS which was in class III at two locations in Utsira area and the Skagerrak, and BPA which was in this class at one location in the Skagerrak.

Innhold

1	Liste over forkortelser brukt i rapporten	5
2	Innledning	7
2.1	Studier av miljøgifter gjennomført under Mareano	7
2.2	Bakgrunn for målinger av organiske miljøgifter	9
2.2.1	<i>Sedimentstudier</i>	9
2.2.2	<i>Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og andre hydrokarboner</i>	9
2.2.3	<i>Polybromerte difenyletere (PBDE)</i>	11
2.2.4	<i>Polyklorete bifenyler (PCB) og organiske klorete pesticider (OCP)</i>	12
2.2.5	<i>Nye organiske miljøgifter</i>	14
3	Metoder	19
3.1	Prøvetaking	19
3.2	Analysemetoder	23
3.2.1	<i>PAH og THC i sedimenter</i>	23
3.2.2	<i>PBDE og klorete miljøgifter i sedimenter</i>	23
3.2.3	<i>Nye organiske miljøgifter</i>	24
4	Resultater	25
4.1	Nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter	25
4.2	PAH i sedimentkjerner	31
4.3	Nivåer av PBDE i overflatesedimenter	32
4.4	Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter	34
4.5	Nivåer av nye organiske miljøgifter i overflatesedimenter	38
4.5.1	<i>Nivåer av PFAS i overflatesedimenter</i>	38
4.5.2	<i>Nivåer av alkylfenoler i overflatesedimenter</i>	40
4.5.3	<i>Nivåer av dekloraner i overflatesedimenter</i>	42
4.5.4	<i>Nivåer av klorparafiner i overflatesedimenter</i>	44
4.5.5	<i>Nivåer av PFR i overflatesedimenter</i>	44
4.5.6	<i>Nivåer av siloksaner i overflatesedimenter</i>	44
5	Planlagt arbeid	45
6	Konklusjoner	46
6.1	Hydrokarboner	46
6.2	Persistente organiske miljøgifter	46
7	Referanser	47
8	Vedlegg	50
8.1	Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i sedimentkjerner	50
8.2	Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 korrigert for TOC	51

1 - Liste over forkortelser brukt i rapporten

ASE	Engelsk: <i>Accelerated Solvent Extraction</i>
BC	Bokscorer (boksprøvetaker)
BPA	Bisfenol A
DDD	Diklordifenyldikloretan
DDE	Diklordifenyldikloretylen
DDT	Diklordifenyldikloretan
Σ DDT	Summen av <i>p,p'</i> -DDT, <i>p,p'</i> -DDD og <i>p,p'</i> -DDE
dl-PCB	Dioksinlignende PCB
DP*	Dekloran pluss (Engelsk: <i>Dechlorane Plus</i>)
EI	Engelsk: <i>Electron Ionisation</i>
EQS	Engelsk: <i>Environmental quality standards</i>
FID	Flamme-ionisasjonsdetektor
GC	Engelsk: <i>Gas chromatography</i>
GR	Van Veen grabb
HCB	Heksaklorbenzen
HCH	Heksaklorsyκλοheksaner
Σ HCH	Summen av α -HCH, β -HCH og γ -HCH
LOQ	Kvantifiseringsgrense (Engelsk: <i>Limit of Quantification</i>)
LCCP	Langkjedete klorparafiner (Engelsk: <i>Long-chain chlorinated paraffins</i>)
MC	Multicorer (multikjerneprøvetaker)
MCCP	Mellomkjedete klorparafiner (Engelsk: <i>Medium-chain chlorinated paraffins</i>)
MS	Massespektrometer
NCI	Engelsk: <i>Negative Chemical Ionisation</i>
NGU	Norges Geologiske Undersøkelse
NILU	Norsk Institutt for Luftforskning
NPD	Summen av naftalen, fenantren, dibenzotiofen og deres alkylerte homologer
OCP	Organiske klorerte plantevernmidler (Engelsk: <i>Organic Chlorinated Pesticides</i>)
OSPAR	Engelsk: <i>The Oslo-Paris Convention</i>
PAH	Polysykliske aromatiske hydrokarboner
PAH16	Summen av 16 PAH brukt som internasjonal miljøindikator (se full liste i tabell 1)
PBDE	Polybromerte difenyletere
PCB	Polyklorerte bifenylar
PCB7	Summen av PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153 og PCB180
PFAS*	Per- og polyfluorerte alkylerte stoffer
PFR*	Fosfororganiske flammehemmere (Engelsk: <i>Phosphorus Flame Retardants</i>)

POPs	Persistente organiske miljøgifter (Engelsk: <i>Persistent Organic Pollutants</i>)
SCCP	Kortkjedete klorparafiner (Engelsk: <i>Short-chain chlorinated paraffins</i>)
SIM	Engelsk: <i>Selected Ion Monitoring</i>
SPE	Fastfaseekstraksjon (Engelsk: <i>Solid-phase extraction</i>)
THC	Hydrokarboninnhold (Engelsk: <i>Total Hydrocarbon Contents</i>)
TNC	<i>Trans</i> -nonaklor
TOC	Organisk karboninnhold (Engelsk: <i>Total Organic Carbon</i>)
UPLC	Engelsk: <i>Ultra Performance Liquid Chromatography</i>

* Forkortelser for enkeltforbindelsene av disse og andre nye miljøgifter er gitt i egen liste i tabell 6.

2 - Innledning

2.1 - Studier av miljøgifter gjennomført under Mareano

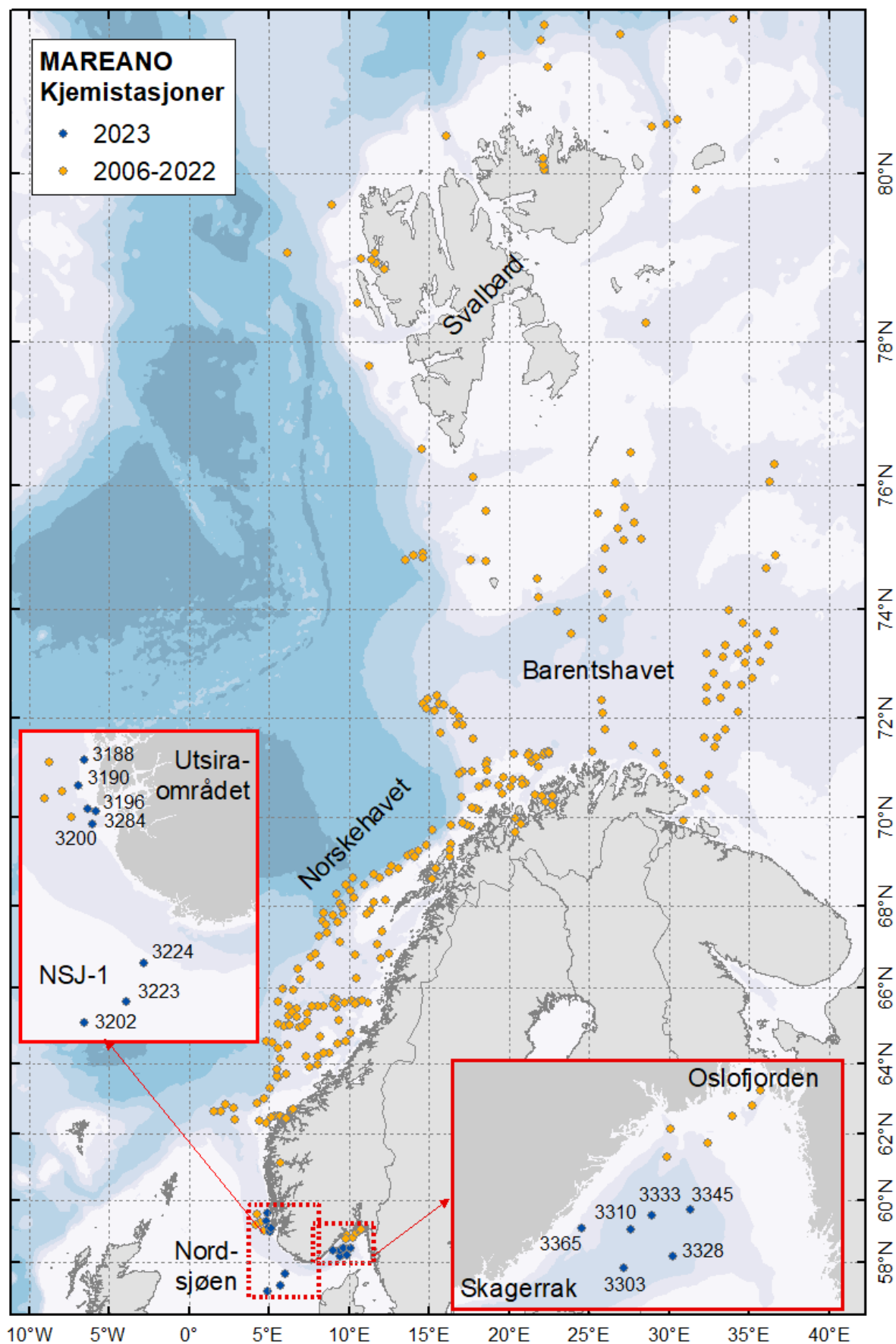
Mareano er et nasjonalt program for kartlegging av havbunnen på norsk sokkel, påbegynt i 2005. De første sedimentprøvene ble samlet inn i 2006. Resultater av målinger av organiske miljøgifter fra tidligere år er rapportert på www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter. Resultatene er også tilgjengelig i form av kart på www.mareano.no/kart og som nedlastbar datafil (Mareanos kjemidatabase for norske havområder, MarChem) på www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata.

I denne rapporten presenteres resultater av målinger av organiske miljøgifter i sedimentprøver innsamlet under Mareano-toktene med forskningsfartøyet «G. O. Sars» i mars-april 2023 i Nordsjøen (tokt 2023001005), i juli 2023 i Nordsjøen og Skagerrak (tokt 2023001009), og i oktober 2023 i Nordsjøen (tokt 2023001014). Prøvetakingslokalitetene er vist i figur 2.



Figur 1 . " G.O. Sars " – forskningsfartøyet som benyttes til de fleste Mareano-toktene.

Innsamling av sedimentprøver ble utført i samarbeid mellom Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Havforskningsinstituttet. Havforskningsinstituttet analyserte prøvene for innhold av hydrokarboner, klorerte og bromerte organiske miljøgifter, alkylfenoler, og PFAS, mens analyser av andre organiske miljøgifter ble utført på oppdrag av Norsk Institutt for Luftforskning (NILU). Resultater av analysene er omtalt i denne rapporten. NGU analyserte prøver fra de samme lokalitetene for innhold av totalt organisk karbon (TOC), kornstørrelsesfordeling og tungmetaller (se rapporter fra NGU på www.mareano.no). Datering av et utvalg av prøvene ved hjelp av ^{210}Pb -målinger ble utført på Gamma Dating Center ved Universitetet i København. Analysene ble utført i 2024.



Figur 2 . Prøvetakingslokaliteter for sedimenter i Mareano-området. 2023-stasjoner er vist med blå farge og er merket med stasjonsnumre. Kart: her og videre, Kjell Bakkeplass, Havforskningsinstituttet.

2.2 - Bakgrunn for målinger av organiske miljøgifter

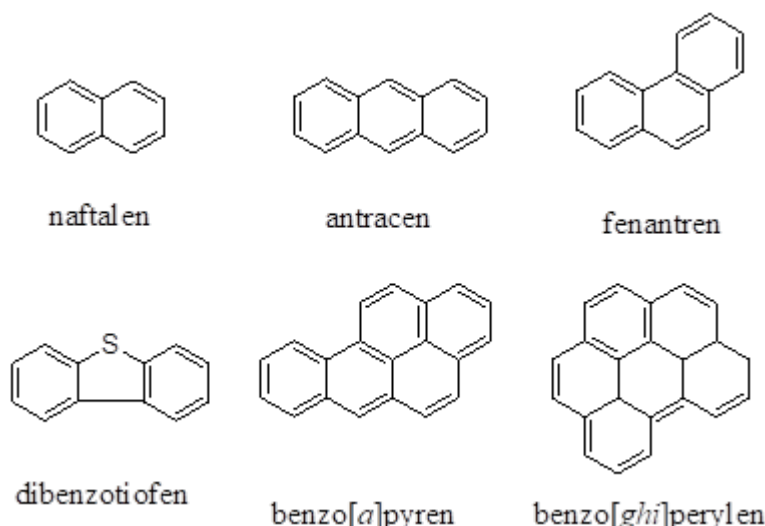
2.2.1 - Sedimentstudier

Marine sedimenter kan utgjøre et betydelig lager av miljøgifter som kan bli tatt opp i næringskjeden og sjømat (Ho mfl. 2021). Organiske forbindelser føres som regel til sedimentene bundet til organiske partikler, og vil først og fremst avsettes der det er mye finkornet materiale som leire og silt (<63 µm kornstørrelse). Grovere sedimenter med høy andel av sand inneholder vanligvis lite organisk materiale og egner seg derfor dårligere for analyse av organiske miljøgifter. Sedimentprøver blir av denne grunn i hovedsak innsamlet fra lokaliteter med stor andel finkornet sediment. Ved videre analyse bestemmes nøyaktig mengde organisk materiale i sedimentene, uttrykt som totalt organisk karbon (engelsk: *total organic carbon*, TOC), samt kornstørrelsesfordeling i prøvene (leire, silt, sand, grus). Når man senere bestemmer nivåer av organiske miljøgifter i en sedimentkjerne, og lager "dybdeprofiler" av nivåene i kjernen, kan man korrigere mot mengde TOC for å undersøke om endringer i nivåene forklares kun av endringer i TOC-tilførsel, eller om det også er andre faktorer som spiller inn. Fortolkning av dybdeprofiler kan tidfestes hvis man utfører en datering av sedimentlagene for å bestemme sedimentasjonsrate. Dette gjøres ved hjelp av ²¹⁰Pb-datering, dvs. bestemmelse av radioaktivt bly-210 i sedimentene. Denne teknikken fungerer godt i de områdene hvor sedimentasjonsratene har vært stabile over tid (selv om usikkerheten øker i eldre sedimentlag). I områder påvirket av bioturbasjon eller resuspensjon, blir ²¹⁰Pb-dateringene mer usikre (Jensen mfl. 2009). Sedimentasjonsratene varierer fra sted til sted, og ligger i åpne deler av Norskehavet og Barentshavet på rundt 1 - 2 mm/år eller lavere (Heldal mfl. 2002; Zaborska mfl. 2008; Jensen mfl. 2009). I enkelte fjord- og kystnære områder kan det være høyere sedimentasjonshastigheter. Store deler av Skagerrak har sedimentasjonsrater rundt 1,5 – 3,0 mm/år og i østlige deler av Skagerrak ble det målt sedimentasjonsrater på over 4,5 mm/år (Longva & Thorsnes 1997).

2.2.2 - Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og andre hydrokarboner

I Mareano-programmet studeres polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) grundig. Grunnen til dette er at det historisk har vært store tilførsler av PAH til havmiljøet fra menneskelig aktivitet. Samtidig finnes PAH også naturlig i miljøet, og det naturlige bakgrunnsnivået kan i motsetning til de fleste andre organiske miljøgifter utgjøre en vesentlig del av PAH-innholdet i prøver. PAH kan bevares i sedimenter i lang tid, og man kan studere trendene i PAH-tilførsler ved å analysere sedimentkjerner.

PAH består av to eller flere aromatiske ringer (figur 3) og har generelt lav vannløselighet, der de PAH-molekylene med flest ringer er minst vannløselige. Alle PAH er lipofile (løses lett i fett) og noen kan bioakkumulere i marine organismer. Eksponering for PAH kan føre til forskjellige skader, siden mange PAH er giftige og kreftfremkallende, inkludert DNA-skader hos marine organismer (for eksempel Meier mfl. 2020). Egenskapene til PAH er beskrevet detaljert av Neff (2002). Noen PAH-lignende forbindelser som inneholder svovel, som dibenzotiofen (figur 3), analyseres sammen med PAH.



Figur 3 . Eksempler på PAH og PAH-lignende forbindelser.

PAH kan stamme fra ulike kilder, både naturlige og menneskeskapte, se tabell 1. Siden det kan være vanskelig å skille mellom de ulike kildene i miljøprøver, studerer man karakteristiske PAH i prøvene. Høye nivåer av enkelte PAH-indikatorforbindelser eller grupper av forbindelser kan tyde på én eller flere bestemte kilder, som beskrevet i tabell 1.

Tabell 1. Kilder for PAH i havmiljø og typer PAH som er karakteristiske for hver kilde.

	PAH opprinnelse		
	<i>Petrogen</i>	<i>Pyrogen</i>	<i>Biogen</i>
<i>Kilder</i>	Avledet fra fossile stoffer	Produkter av ufullstendig forbrenning	Biosyntese i organismer
<i>Eksempel på naturlig kilde</i>	Naturlig forekomst av f.eks. kull, olje	Skogbrann, vulkan	Mikrobiell aktivitet
<i>Eksempel på menneskeskapt kilde</i>	Oljeutslipp fra båt eller oljeplattform	Kull- og vedfyring, bil- og båteksos	-
<i>Typer PAH</i>	Lette og alkylerte	Tunge, ikke alkylerte	Enkelte tunge PAH
<i>Eksempler på representative PAH</i>	Alkylerte naftalener, alkylerte fenantrener	Pyren, benzo[a]pyren, benzo[ghi]perylene	Perylen
<i>Indikator*</i>	NPD	PAH16	Perylen

* NPD – naftalen, fenantren, dibenzotiofen og deres alkylerte homologer. PAH16 – naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benz[a]antracen, krysen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[a]pyren, indeno[1,2,3-cd]pyren, dibenz[a,h]antracen, benzo[ghi]perylene.

Indikatoren PAH16 består for det meste av pyrogene PAH og vurderes opp mot ulike miljøkvalitetsstandarder (se under). NPD består av petrogene PAH og er en indikator på oljerelaterte kilder. Det er først og fremst petrogene og pyrogene PAH som skaper forurensningsproblemer. Nivåer av PAH i sedimenter varierer sterkt i norske havområder i nord, og det finnes både naturlige forekomster av PAH og lokale punktkilder for utslipp fra menneskelig aktivitet. Over hele havet finner man i tillegg lave bakgrunnsnivåer som kan forklares av langtransport fra fjerntliggende områder. Detaljerte studier av sedimentkjerner utført tidligere under Mareano har levert informasjon om naturlige bakgrunnsnivåer av PAH i Barentshavet og Norskehavet (Boitsov mfl. 2020).

Miljødirektoratet har utarbeidet et eget klassifiseringssystem for nivåene av PAH16 og enkelte PAH-forbindelser i marine sedimenter, basert på internasjonalt etablerte miljøkvalitetsstandards (*Environmental Quality Standards*, EQS) og risikovurdering av kjemikalier i EU (Miljødirektoratet 2016). Denne klassifiseringen er i utgangspunktet utviklet for fjord- og havneområder, mens det i åpent hav også må tas hensyn til andre lokale miljøforhold ved vurdering av miljøtilstand. En av de pyrogene PAH-forbindelsene, benzo[*a*]pyren, vurderes som spesielt viktig siden den er sterkt kreftfremkallende. Denne forbindelsen måles ofte for å kunne vurdere både miljøtilstand og sjømattrygghet. Miljødirektoratets tilstandsklasser for PAH 16 og benzo[*a*]pyren i sedimenter er vist i tabell 2. Det er ikke etablert tilstandsklasser for alkylerte PAH og dermed NPd.

Tabell 2. Miljødirektoratets tilstandsklasser med tilhørende klassegrenser på forurensning med benzo[*a*]pyren og PAH16 i marine sedimenter (Miljødirektoratet 2016).

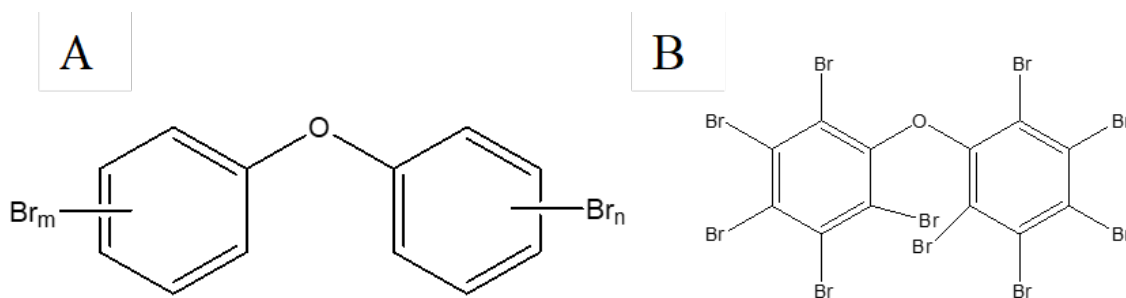
Tilstandsklasse	Klasse I Bakgrunn	Klasse II God	Klasse III Moderat	Klasse IV Dårlig	Klasse V Svært dårlig
Benzo[<i>a</i>]pyren, µg/kg tv.	<6	6–183	183–230	230–13100	> 13100
PAH16, µg/kg tv.	<300	300-2000	2000-6000	6000-20000	>20000

Totale hydrokarbonnivåer (engelsk *total hydrocarbon content*, THC) i sedimentene analyseres også i miljøstudier. Dette gir et generelt bilde av det totale hydrokarboninnholdet i det studerte området, og inkluderer både PAH, monoaromatiske hydrokarboner, alkaner og sykloalkaner. Forhøyete THC-nivåer kan indikere oljeutslipp i området. Det er ikke etablert tilstandsklasser for THC i sediment, men en grense på 50 mg/kg tørrvekt var foreslått som terskelnivå for mulige effekter på bunnlevende marine organismer (OSPAR 2009).

2.2.3 - Polybromerte difenyletere (PBDE)

PBDE er en av flere typer bromerte kjemikalier masseprodusert siden 1970-tallet og brukt som flammehemmere i forskjellige typer plast, tekstiler, møbler, byggematerialer, elektronisk utstyr, m.m. PBDE er lite nedbrytbare (persistente) i miljøet og kan transporteres med luft- og havstrømmer over store avstander. Derfor finner man spor av disse forbindelsene i miljøprøver fra hele verden, inkludert Arktis, selv om de kun produseres av mennesker og ikke finnes naturlig i miljøet. De er lite løselige i vann, er fettløselige og kan samles opp i fettholdige organer som fiskelever.

Det finnes 209 teoretisk mulige varianter (kongenere) for PBDE, se strukturen i figur 4. Titalls av disse finnes i miljøet, og det er den fullbromerte kongeneren, BDE-209 (figur 4B), som ofte finnes i størst mengde i marine sedimenter. BDE-209 er en markør for en av de kommersielle PBDE-blandingene som var mye brukt i industrien, "deka-blandingen". Det finnes også to andre slike blandinger, "penta-blandingen", med BDE-99 som markør, og "okta-blandingen", med BDE-183 som markør. Penta- og okta-blandingene er forbudt i Norge siden 2004, og ble omfattet av Stockholm-konvensjonen siden 2008, mens deka-blandingen først ble omfattet av Stockholm-konvensjonen i 2017 med en rekke unntak (se <http://chm.pops.int>). Dekablandingen har vært forbudt i Norge siden 2008.



Figur 4. Generell kjemisk struktur for PBDE (A) og den fullbromerte kongeneren BDE-209 (B).

Miljødirektoratet har utarbeidet grenseverdier for tilstandsklasser for summen av seks PBDE i sedimenter (inkludert BDE-99), se tabell 3. Det er ikke etablert tilstandsklasser for BDE-183 eller BDE-209. Som for PAH, er tilstandsklassene basert på internasjonale miljøkvalitetsstandarter (EQS), men grenseverdiene er etablert bare fra klasse II og oppover siden det ikke finnes noe naturlig bakgrunn for disse forbindelsene. Tilstandsklassene gjelder kun for sedimenter i kyst- og havneområder, mens nivåer i åpent hav som regel ligger mye lavere.

Tabell 3. Miljødirektoratets tilstandsklasser med tilhørende klassegrenser for PBDE-forurensning i marine sedimenter (Miljødirektoratet 2016).

Tilstandsklasse	Klasse I Bakgrunn	Klasse II God	Klasse III Moderat	Klasse IV Dårlig	Klasse V Svært dårlig
6 PBDE*, µg/kg tv.	—	< 62	62–79	79–1580	> 1580

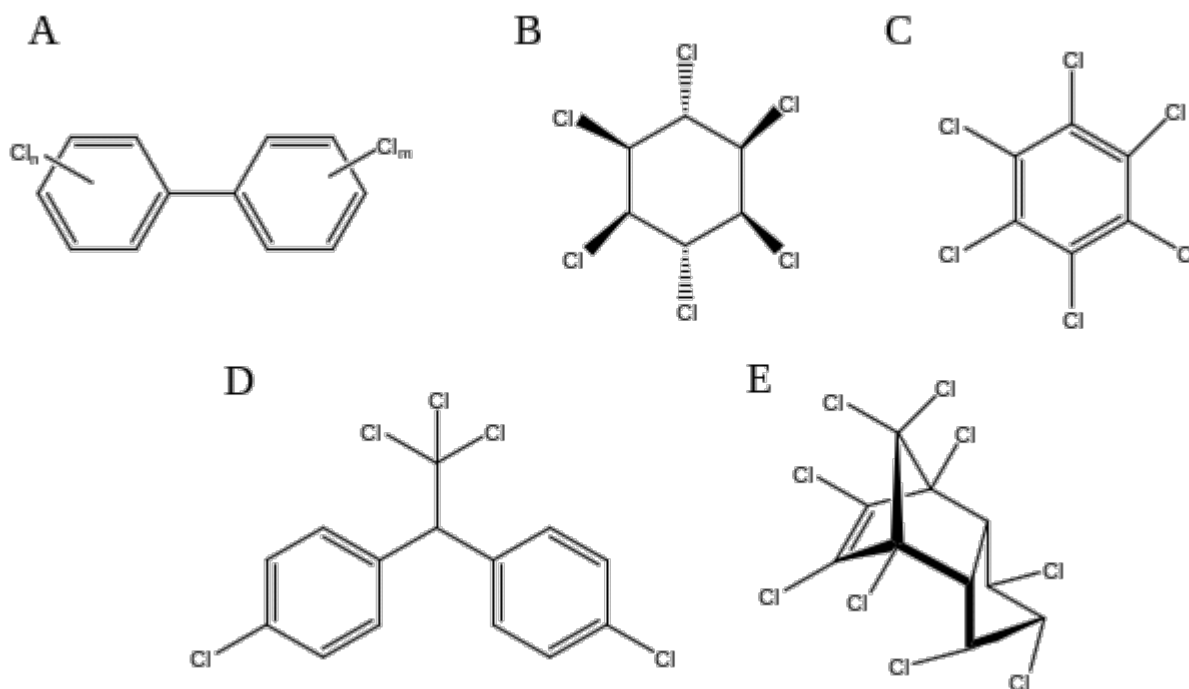
* Summerte nivåer av BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154.

2.2.4 - Polyklorerte bifenyler (PCB) og organiske klorerte pesticider (OCP)

PCB er en stoffgruppe som brytes sent ned, har en global spredning og finnes i spormengder også i uberørte områder. De er toksiske og kan ha skadelig virkning på marine organismer. PCB har blitt produsert i stor skala over hele verden og brukt som komponent i blant annet maling og elektrisk utstyr. Selv om PCB ble forbudt for produksjon på slutten av 1970-tallet i USA og på 1980-tallet i Europa, fortsatte produksjon av PCB i enkelte andre land også senere, bl.a. i Russland fram til midten av 1990-tallet. I Norge ble ny bruk av PCB forbudt i 1980, og i 1995 var store kondensatorer med innhold av PCB tatt ut av bruk (for mer informasjon, se Miljøstatus.no). PCB ble i 2004 ført opp på Stockholm-konvensjonen sin liste over stoffer som skal fases ut (se <http://chm.pops.int>).

Det finnes 209 mulige kongener av PCB (se figur 5A). Havforskningsinstituttet analyserer på 10 av disse i sedimenter, inkludert standardparameteren PCB7. PCB7 er en internasjonalt etablert indikator for PCB-forurensning som inngår i mange studier og forskrifter, og Miljødirektoratet har etablert tilstandsklasser for den (se tabell 4 nedenfor). PCB7 består av PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153 og PCB180. Av disse hører PCB118 til såkalte dioksin-lignende PCB (dl-PCB). I motsetning til andre PCB, har dl-PCB en flat struktur som ligner på dioksiner og har lignende toksikologiske effekter på marine organismer. I tillegg til PCB118, analyserer Havforskningsinstituttet to andre dl-PCB, PCB105 og PCB156 i sediment. Det analyseres også på PCB31, som ikke er dioksinlignende, men som finnes i relativt høy konsentrasjon i noen miljøprøver.

OCP, organiske klorerte plantevernmidler ("organic chlorinated pesticides"), er et samlenavn på forskjellige klorerte stoffgrupper brukt som plantevernmidler (pesticider). Alle OCP er toksiske, persistente i havmiljøet og kan bioakkumulere. Havforskningsinstituttet analyserer på følgende fire typer OCP i sediment.



Figur 5. Kjemiske strukturer for PCB og OCP: den generelle formelen for PCB (A); lindan (γ -HCH) (B); heksaklorbenzen (C); p,p'-DDT (D); trans-nonaklor (E).

Havforskningsinstituttet analyserer på tre heksaklorsyklusheksaner (HCH-isomerer), som vurderes som de mest toksiske blant de åtte stereoisomerene som finnes: α -HCH, β -HCH og γ -HCH (lindan, figur 5B). Disse rapporteres både som enkeltforbindelser, og sammen som Σ HCH. Lindan er navnet på det egentlige pesticidet, som finnes i spormengder over hele kloden (for mer informasjon om distribusjon av forskjellige HCH-isomerer i miljøet, se Berger mfl. 2016). Lindan har vært i masseproduksjon og var en periode på 2.plass etter DDT i produserte og brukte mengder. Lindan er nå forbudt til bruk i utviklede land, men er fortsatt brukt andre steder i verden. I 17 utviklede land inkludert USA og Canada er det tillatt begrenset bruk av lindan i farmakologi, og det finnes derfor fortsatt noe produksjon av stoffet også der. Siden 2009 er de tre mest toksiske isomerene av HCH inkludert i Stockholm-konvensjonen med mål om utfasing (se <http://chm.pops.int>).

Heksaklorbenzen (HCB) (figur 5C) har vært i bruk som fungicid. HCB er omfattet av Stockholm-konvensjonen siden 2004 (se <http://chm.pops.int>). Likevel er det fortsatt tilførsler av denne miljøgiften til miljøet, bl.a. fordi at den oppstår som biprodukt ved produksjon av noen klorerte organiske løsemidler og enkelte pesticider. Den kan også tilføres miljøet ved ufullstendig forbrenning av industriavfall som inneholder klorerte organiske materialer (Barber mfl. 2005).

Pesticidet DDT (diklordifenyltrikloretan) er et av de mest og lengst brukte i verden. Havforskningsinstituttet analyserer i sedimenter på p,p'-DDT (figur 5D), som utgjør mesteparten i den kommersielle DDT-blandingen, og på degraderingsproduktene p,p'-DDD (diklordifenyldikloretan) og p,p'-DDE (diklordifenyldikloretylen), rapportert sammen som Σ DDT. Til tross for reguleringer og forbud mot bruken av stoffet er det fortsatt i bruk i flere land. India og Kina produserer stoffet i store volum. Også i land hvor det har vært forbudt produsert i mange år, som Sovjetunionen, tok det gjerne flere tiår før bruken av DDT opphørte. Dette bidrar til fortsatt godt sporbare nivåer i miljøet. DDT ble ført opp på Stockholm-konvensjonens liste i 2004 (se <http://chm.pops.int>).

Trans-nonaklor (figur 5E) er et pesticid som finnes som en komponent i tekniske klordan-blandinger som er toksiske også for fisk.

Tilstandsklasser er kun utarbeidet av Miljødirektoratet for PCB7 og enkelte OCP, se tabell 4. De gjelder for sediment i kyst- og havneområder. Det er verdt å merke seg at tilstandsklasse I, bakgrunn, ikke er etablert for de menneskeskapte miljøgiftene Σ DDT og PCB7, mens for lindan og HCB er denne satt til 0. Dette betyr i praksis at alle nivåer av disse stoffene som måles til over målegrensen ligger på sitt laveste i tilstandsklasse II, «god tilstand».

Tabell 4. Miljødirektoratets tilstandsklasser med tilhørende grenser for PCB- og OCP-forurensning i marine sedimenter (Miljødirektoratet 2016).

Konsentrasjoner ($\mu\text{g/kg}$ tørrvekt)	Klasse I Bakgrunn	Klasse II God	Klasse III Moderat	Klasse IV Dårlig	Klasse V Svært dårlig
Σ DDT	-	< 15	15-165	165-1647	>1647
HCB	0	< 17	17-61	61-610	>610
γ -HCH (lindan)	0	<0,074	0,074-0,74	0,74-9,8	>9,8
PCB7	-	< 4,1	4,1-43	43-430	>430

2.2.5 - Nye organiske miljøgifter

Såkalte nye organiske miljøgifter (engelsk: *contaminants of emerging concern*) er de siste 15-20 år blitt vurdert å kunne utgjøre et potensielt miljøproblem. Det mangler regulering, nasjonalt og internasjonalt, for de fleste av disse stoffene, og det er derfor viktig å kunne påvise omfanget av problemet som grunnlag for å oppnå forsvarlig bruk og håndtering av stoffene. Problemet er størst først og fremst i belastede kystområder nær havner og industrielle områder, men også åpent hav kan bli påvirket av de nye typene miljøgifter gjennom langtransporterte tilførsler.

PFAS (per- og polyfluoreerte alkylerte stoffer, engelsk: *per- and polyfluoroalkyl substances*) er en gruppe fluoralkylerte forbindelser som er svært persistente i marint miljø og kan tas opp av biota og bioakkumulere (for eksempel Ali mfl. 2021). De har negative helseeffekter både for mennesker og andre levende organismer (Fenton mfl. 2021), og er funnet i forskjellige mengder i vannmiljø over hele verden (Rayne & Forest 2009). Alle PFAS undersøkt av Mareano er utelukkende menneskeskapte. De har vært produsert i flere tiår for bruk i en rekke ulike produkter, og noen av dem har blitt brukt som flammehemmere i brannskum. Miljødirektoratets kartleggingsundersøkelse utført i 2007 i Barentshavet fant spormengder av enkeltstoffer i denne gruppen i sedimenter (SFT 2008a), mens tidligere studier har rapportert tilsvarende lave nivåer i marine sedimenter fra forskjellige steder i norsk Arktis (SFT 2008b). Spormengder av enkelte PFAS-forbindelser ble også funnet i en screening-studie i marine sedimenter fra norske arktiske strøk (Miljødirektoratet 2013). Studier utført i andre områder i Arktis har påvist nivåer av enkelte PFAS i sediment og biota som var like høye eller høyere enn nivåer av bromerte og klorerte miljøgifter (for eksempel Kelly mfl. 2009). Mareano har kartlagt PFAS i overflatesedimenter siden 2016, og resultatene viser et nokså stabilt bakgrunnsnivå uten signifikante geografiske forskjeller i åpent hav over hele området fra Nordsjøen i sør til Nordishavet nord for Svalbard i nord (Boitsov mfl., 2024). Enkelte PFAS, som PFOS og PFOA, ble nylig omfattet av Stockholm-konvensjonen (siden 2019, se <http://chm.pops.int>), og Miljødirektoratet har utarbeidet tilstandsklasser for disse stoffene (se tabell 5 under). Samtidig øker produksjon av PFAS globalt og stadig nye forbindelser i denne klassen produseres, med flere tusen adskilte PFAS rapportert eller estimert (Wang mfl. 2017).

Klorparafiner er persistente forbindelser som kan tas opp og akkumuleres av biota. De er toksiske og

kreftfremkallende. De brukes som tilsetninger til materialer ved høytemperaturprosesser, til maling, som flammehemmere, m.m. (Marvin mfl. 2003). Kortkjedete klorparafiner (SCCP) ble funnet i lave nivåer i sedimenter fra Barentshavet i SFT sin kartleggingsundersøkelse (SFT 2008a). Mellomkjedete klorparafiner (MCCP) ble ikke funnet i sedimentene. I 2013 ble både SCCP og MCCP funnet i forskjellige biota-arter i norske arktiske strøk (Miljødirektoratet 2013), og de ble også påvist i forskjellige deler av arktisk miljø over hele Arktis (Vorkamp & Rigét 2014). Det er først og fremst SCCP og i noe mindre grad MCCP som har størst potensiale for bioakkumulering og forbindes derfor med miljøskade. SCCP er forbudt i Norge siden 2002, og er omfattet av Stockholm-konvensjonen med noen unntak siden 2017 (<http://chm.pops.int>). Produksjon av MCCP har derimot økt i det siste, og det er rapportert økende nivå av MCCP i miljø (Glüge et al. 2018). Langkjedete klorparafiner (LCCP) vurderes som mindre miljøskadelige og var derfor ikke inkludert i kartleggingsstudiet til SFT (SFT 2008a).

Fosfororganiske forbindelser brukt som flammehemmere (PFR) er en stor gruppe forbindelser med forskjellige kjemiske egenskaper. Noen av disse stoffene er persistente i marint miljø og kan være meget toksiske for marine organismer (Van der Veen & De Boer 2012). I SFT sin kartleggingsundersøkelse fant man ikke PFR over deteksjonsgrense i sedimenter fra Barentshavet, og man klarte dermed ikke å bestemme bakgrunnsnivå for denne stoffgruppen (SFT 2008a). I 2011 ble flere typer av PFR funnet i forskjellige biota-arter fra norske polare områder, inkludert lodde (Klif 2011).

Siloksaner er en gruppe organiske forbindelser som brukes bl.a. i kosmetikk og som kommer ut i det marine miljø bl.a. med avløpsvann. Enkelte siloksaner har vært vurdert som persistente og toksiske (Rücker & Kümmerer 2015). I kartleggingsundersøkelsen til SFT ble det funnet nivåer av D5-siloksan i sedimenter fra Barentshavet som var mye lavere enn det som tidligere er påvist i kystnære strøk og fjordområder (SFT 2008a). Det mangler omfattende studier av siloksaner i nordlige havområder, men det ble funnet D5-siloksan i den marine næringskjeden i Oslofjorden, uten at det ble påvist biomagnifisering (Powell mfl. 2010).

Alkylfenoler, alkylfenoletoksylater og bisfenol A (BPA) er en gruppe kjemiske stoffer som tilføres marint miljø fra forskjellige kilder (bl.a. avløpsvann; produsert vann fra oljeplattformer; m.m.) og kan ha hormonhermende effekt på marin biota (Servos 1999; Bakke mfl. 2013). I SFT sin kartleggingsundersøkelse ble det ikke funnet alkylfenoler over deteksjonsgrense i sedimentene, men alkylfenoletoksylater ble funnet både på bakgrunnsnivå og ved noe høyere nivåer (SFT 2008a). BPA ble funnet i lave konsentrasjoner innenfor betegnelsen bakgrunnsnivå.

Dekloraner er masseproduserte kjemikalier brukt som flammehemmere (bl.a. som plasttilsetninger m.m.) Hovedproduktet er dekloran pluss (DP), som har vært i bruk i minst 40 år og var bl.a. foreslått som et alternativ til BDE-209 (Sverko mfl. 2011). Det er først i 2006 at det ble gjort funn av DP, og senere andre dekloraner, i vannmiljø. De høyeste nivåene ble funnet i De store sjøene i USA og forskjellige steder i Kina, der hovedproduksjonen av DP befinner seg (Sverko mfl. 2011; Wang mfl. 2016). I senere år ble dekloraner funnet i mye lavere konsentrasjoner andre steder i verden, inkludert norsk havmiljø, bl.a. i Oslofjorden og på Svalbard (Carlsson mfl. 2018; Ruus mfl. 2019). Dekloraner kan bioakkumulere og være skadelig for organismer. Det kommersielle DP-produktet består av to isomerer, DP *syn* og DP *anti*, hvorav det siste utgjør ca. 2/3 av blandingen. Det er derfor DP *anti* ofte utgjør mesteparten av DP-sammensetningen i miljøprøver, men under langtransport til fjerne områder kan forholdet mellom de to isomerene forandre seg.

Miljødirektoratet har utarbeidet et eget klassifiseringssystem for nivåene av enkelte nye miljøgifter i marine sedimenter (Miljødirektoratet 2016). Miljødirektoratets tilstandsklasser for aktuelle miljøgifter i sedimenter er vist i tabell 5. Det er foreløpig ikke etablert tilstandsklasser for dekloraner.

Tabell 5. Miljødirektoratets tilstandsklasser for nye organiske miljøgifter i marine sedimenter (Miljødirektoratet 2016).

Tilstandsklasse	Klasse I Bakgrunn	Klasse II God	Klasse III Moderat	Klasse IV Dårlig	Klasse V Svært Dårlig
PFOS, µg/kg tv.	-	<0,23	0,23-72	>72	-
PFOA, µg/kg tv.	-	<71	>71	-	-
D5, mg/kg tv.	-	<0,044	0,044-2,6	2,6-26	>26
MCCP, mg/kg tv.	-	<4,6	4,6-27	27-54	>54
TCEP, µg/kg tv.	-	<72	72-562	562-5620	>5620
Bisfenol A (BPA), µg/kg tv.	-	<1,1	1,1-79	79-790	>790
4-nonylfenol, µg/kg tv.	0	< 16	16-107	107-214	>214
4-tert-oktylfenol, µg/kg tv.	0	<0,27	0,27-7,3	7,3-36	>36

Alle nye organiske miljøgifter analysert av Mareano er listet i tabell 6.

Tabell 6. Nye organiske miljøgifter analysert av Mareano.

Stoffgruppe	Enkeltforbindelser	Forkortelse
PFAS	<i>Perfluoroktansulfonamid</i>	PFOSA
	<i>Perfluorbutansulfonat</i>	PFBS
	<i>Perfluorheksansulfonat</i>	PFHxS
	<i>Perfluorheptansulfonat</i>	PFHpS
	<i>Perfluoroktansulfonat lineær</i>	PFOSlin
	<i>Perfluoroktansulfonat (summen av forgrenete og den lineære)</i>	PFOS
	<i>Perfluornonansulfonat</i>	PFNS
	<i>Perfluordekansulfonat</i>	PFDcS
	<i>Perfluoropentanoat</i>	PFPeA
	<i>Perfluorheksanoat</i>	PFHxA
	<i>Perfluorheptanoat</i>	PFHpA
	<i>Perfluoroktanoat</i>	PFOA
	<i>Perfluornonanoat</i>	PFNA
	<i>Perfluordekanoat</i>	PFDcA
	<i>Perfluorundekanoat</i>	PFUnDA
	<i>Perfluordodekanoat</i>	PFDODA
	<i>Perfluortridekanoat</i>	PFTTrDA
	<i>Perfluortetradekanoat</i>	PFTeDA
	<i>Perfluoroheksadekanoat</i>	PFHxDA
	<i>Perfluorooktadekanoat</i>	PFOcDA
	<i>4 :2 Fluortelomer sulfonsyre</i>	4 :2 FTS
	<i>6:2 Fluortelomer sulfonsyre</i>	6:2 FTS
	<i>8:2 Fluortelomer sulfonsyre</i>	8:2 FTS

	<i>10 :2 Fluortelomer sulfonsyre</i>	10 :2 FTS
	<i>Perfluorobutanoat</i>	PFBA
	<i>4,8-Dioksa-3H-perfluorononanoat</i>	ADONA
	<i>Heksafluoropropylen oksiddimersyre</i>	HFPO-DA
Klorparafiner	<i>Kortkjedete klorparafiner (C10-C13)</i>	SCCP
	<i>Mellomkjedete klorparafiner (C14-C17)</i>	MCCP
	<i>Langkjedete klorparafiner (>C17)</i>	LCCP
Fosfororganiske flammehemmere (PFR, engelsk: <i>phosphorus flame retardants</i>)	<i>Trietylfosfat</i>	TEP
	<i>Tris(2-kloretyl)fosfat</i>	TCEP
	<i>Tripetylfosfat</i>	TPrP
	<i>Tris(2-klorisopropyl)fosfat (3 isomerer)</i>	TCIPP
	<i>Triisobutylfosfat</i>	TiBP
	<i>Butyldifenylfosfat</i>	BdPhP
	<i>Trifenylfosfat</i>	TPHP
	<i>Dibutylfenylfosfat</i>	DBPhP
	<i>Tri-n-butylfosfat</i>	TnBP
	<i>Tris(1,3-diklor-2-propyl)fosfat</i>	TDCIPP
	<i>Tris(2-butoksyetyl)fosfat</i>	TBOEP
	<i>Trikresylfosfat</i>	TCP
	<i>2-Etylheksyldifenylfosfat</i>	EHDP
	<i>Triksylfosfat</i>	TXP
	<i>Tris(2-etylheksyl)fosfat</i>	TEHP
	<i>Tris(isopropylfenyl)fosfat</i>	TIPPP
	<i>2-Isopropylfenyldifenylfosfat</i>	2-IPDP
	<i>4-Isopropylfenyldifenylfosfat</i>	4-IPDP
	<i>Bis(4-isopropylfenyl)fenylfosfat med isomerer</i>	B4IPPP
Siloksaner	<i>Oktametylsyktetrasiloksan</i>	D4
	<i>Dekametylsyklopentasiloksan</i>	D5
	<i>Dodekametylsykloheksasiloksan</i>	D6
Alkylfenoler, alkylfenol etoksylater og bisfenol A	<i>4-tert-oktylfenol</i>	4tOP
	<i>4-tert-oktylfenolmonoetoksylat</i>	4tOP-EO1
	<i>4-tert-oktylfenoldietoksylat</i>	4tOP-EO2
	<i>4-nonylfenol (blanding av isomerer)</i>	4NP
	<i>4-iso-nonylfenolmonoetoksylat</i>	4NP-EO1
	<i>4-iso-nonylfenoldietoksylat</i>	4NP-EO2
	<i>Bisfenol A</i>	BPA
Dekloraner	<i>Dibromaldrin</i>	DBA

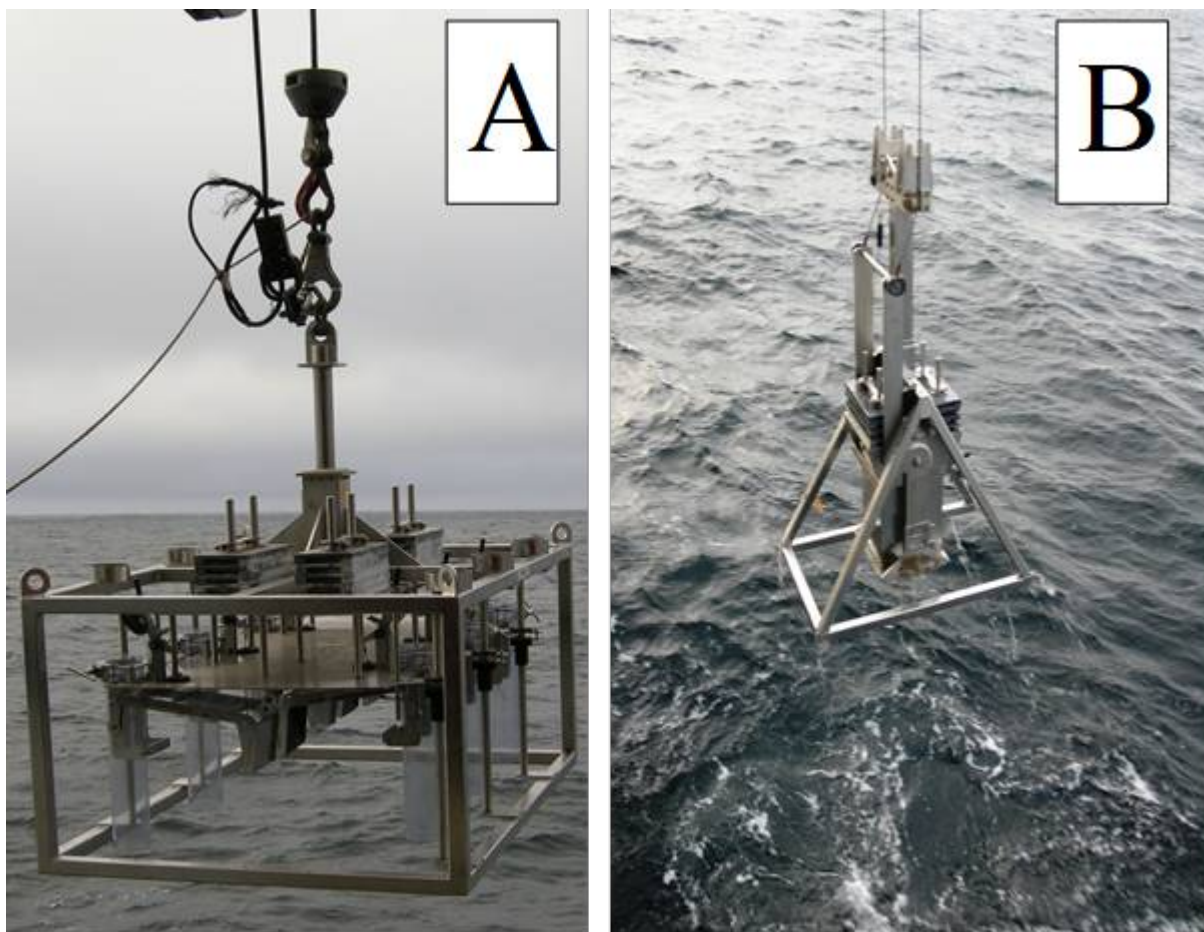
	<i>Dekloran 602</i>	D602
	<i>Dekloran 603</i>	D603
	<i>Dekloran 604</i>	D604
	<i>Dekloran 601</i>	D601
	<i>Dekloran pluss syn</i>	DP <i>syn</i>
	<i>Dekloran pluss anti</i>	DP <i>anti</i>

3 - Metoder

3.1 - Prøvetaking

Detaljert metodebeskrivelse for prøvetaking av sedimentprøver i Mareanos Kjemiprogram er gitt i Metodedokumentet tilgjengelig på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>. En oppsummering av dette er gitt her.

Detaljerte multistråle-bunnkart laget av Kartverkets Sjødivisjonen benyttes for å finne egnete lokaliteter for prøvetaking av sedimenter. På lokaliteten studeres havbunnen først visuelt ved hjelp av video for å bekrefte at bunnen består av ønsket type sediment. Deretter samler man prøver med en multicorer (KC-Danmark, MODEL 73.000) som har plass for seks rør med 106 mm indre diameter og 60 cm lengde (figur 6A). Fire av rørene, laget av PVC, fordeles mellom HI og NGU for analyser av miljøgifter, mens resterende to rør, laget av stål, brukes til prøveinnsamling for mikroplast-analyse. I noen tilfeller når multicoreren av forskjellige årsaker ikke kan brukes, benyttes det bokscorer (figur 6B). Multicorer-rør benyttes for prøveuttak fra bokscorer i slike tilfeller. Van Veen-grabb blir benyttet når verken multicorer eller bokscorer kan brukes. Da blir kun overflatesediment samlet inn.



Figur 6 . Multicorer (A) og bokscorer (B) brukt til prøvetaking av sedimentprøver.

Sedimentkjerner for analyser av organiske miljøgifter kuttet i 1 cm tykke skiver, pakkes i aluminiumsfolie og fryses ned umiddelbart etter prøvetaking. Kun redskap av rustfritt stål brukes for å håndtere prøvene. Prøvene oppbevares ved -20 °C om bord, under transport til laboratoriet og videre fram til analyse.

Til analyse av nye organiske miljøgifter samles det inn egne prøver av overflatesediment. En bokscorer tas på de samme lokalitetene som multicorer. Etter fullført prøvetaking, men før bokscoreren åpnes, blir den tatt til side og skjermet fra alt personale om bord unntatt prøvetakeren. Prøvetakeren eksponeres ikke for noen form for såpe, kosmetikk eller andre materialer som kunne inneholde siloksaner de siste 24 timer før prøvetaking. Feltblankprøve tilsendt fra NILU åpnes ved siden av bokscoreren samtidig som bokscoreren åpnes. Prøven samles inn med spade av rustfritt stål og oppbevares i vasket og glødet glass, dekket med aluminium-folie og lukket med skrulokk på folien. Feltblankprøven blir så lukket og plassert sammen med prøven. Prøvene fryses ned og oppbevares ved -20 °C på samme måte som de andre prøvene.

Detaljert beskrivelse av prøvetakingslokaliteter er gitt i tabell 7, mens geografisk plassering er vist i figur 2. Betegnelsen på prøvetakingsstasjon består av to numre, hvor det første, med bokstaven «R», står for Mareano-programmets prøvetakingsstasjonsnummer. Dette er gjennomgående og unikt for alle Mareano-toktene gjennom alle år. Det andre nummeret med «MC», «BC» eller «GR» står for hhv. multicorer-, bokscorer- eller grabb-prøvetakingsnummer i det året prøven ble tatt. Lengden på sedimentkjernene og analyseprogram for prøvene er også vist i tabell 7. Områdene dekket av Mareano-toktene i 2023 var Utsira Kystbelte (Utsira KB) og Sørliche Nordsjø 1 (NSJ-1) i Nordsjøen, og Skagerrak Sør og Skagerrak Kystbelte (KB-Skagerrak) i Skagerrak.

Tabell 7. Prøvetakingslokaliteter under Mareano-tokt i 2023 og utførte analyser.

R- Stasjon	Prøvetakings- nummer	Dato	Område*	Breddegrad, N	Lengdegrad, Ø	Vanndybde, m	Kjerne-lengde, cm	Antall prøver analysert for organiske miljøgifter				Data fra NGU		
								PAH	THC	PBDE, PCB, OCP	Alkylfenoler	Nye miljøgifter	TOC	²¹⁰ Pb
R3188	BC02	30.03.2023	Utsira KB	59°34.57'	4°55.82'	195	2	-	-	-	a	a	-	-
R3188	MC05	30.03.2023	Utsira KB	59°34.57'	4°55.82'	196	45	a	a	a	-	-	a	-
R3190	BC51	04.07.2023	Utsira KB	59°19.93'	4°49.72'	210	2	-	-	-	a	a	-	-
R3190	MC09	04.07.2023	Utsira KB	59°19.93'	4°49.74'	205	41	a	a	a	-	-	a	-
R3196	BC03	01.04.2023	Utsira KB	59°07.12'	5°00.27'	236	2	-	-	-	a	a	-	-
R3196	MC06	01.04.2023	Utsira KB	59°07.13'	5°00.27'	236	44	a	a	a	-	-	a	-
R3200	MC07	02.04.2023	Utsira KB	58°58.35'	5°05.53'	247	48	b	a	a	-	-	b	b
R3202	GR08	02.04.2023	NSJ-1	57°00.34'	4°55.70'	57	2	a	a	-	-	-	-	-
R3223	GR09	04.04.2023	NSJ-1	57°13.21'	5°42.41'	56	2	a	a	-	-	-	-	-
R3224	BC07	04.04.2023	NSJ-1	57°36.85'	6°02.05'	143	2	-	-	-	a	a	-	-
R3224	MC08	04.04.2023	NSJ-1	57°36.85'	6°02.04'	143	29	a	a	a	-	-	a	-
R3303	BC55	06.07.2023	Skagerrak Sør	58°10.36'	9°25.57'	638	2	-	-	-	a	a	-	-
R3303	MC10	06.07.2023	Skagerrak Sør	58°10.36'	9°25.58'	635	51	b	a	a	-	-	a	
R3310	MC11	07.07.2023	Skagerrak Sør	58°22.18'	9°29.12'	586	48	b	a	a	-	-	b	b
R3328	MC12	09.07.2023	Skagerrak Sør	58°13.80'	9°54.24'	482	48	b	a	a	-	-	b	
R3333	MC13	10.07.2023	Skagerrak Sør	58°26.41'	9°41.75'	696	47	b	a	a	-	-	a	-
R3345	MC14	11.07.2023	Skagerrak Sør	58°28.12'	10°04.70'	517	46	b	a	a	-	-	b	

R3365	BC61	14.07.2023	KB-Skagerrak	58°22.63'	9°01.03'	315	2	-	-	-	a	a	-	-
R3365	MC15	14.07.2023	KB-Skagerrak	58°22.63'	9°01.01'	311	48	b	a	a	-	-	b	b
R3284	GR81	08.10.2023	Utsira KB	59°05.76'	5°08.60'	168	2	a	a	a	-	-	-	-

* Utsira KB: Utsira Kystbelte; NSJ-1: Sørlige Nordsjø 1; KB-Skagerrak: Kystbelte Skagerrak.

^a Kun overflatesediment analysert.

^b Sedimentkjerner analysert.

3.2 - Analysemetoder

3.2.1 - PAH og THC i sedimenter

Havforskningsinstituttet benytter akkrediterte metoder for analyse av PAH og THC i sedimenter.

Sedimentprøvene lufttørkes ved romtemperatur før videre opparbeiding. Prøvene (rundt 10 g tørrvekt) ekstraheres ved automatisert sediment-ekstraksjon på ASE (*Accelerated Solvent Extraction*, Dionex ASE 300). Betingelser for ekstraksjon: to sykluser, temperatur 150 °C, trykk 1500 psi, "flush volume" 60%, løsemiddel – 1:1 heksan:diklormetan. ASE-celler av 34 ml volum brukes til ekstraksjon og fylles med en blanding av sediment og "Diatomaceous earth". Ekstraktet behandles med kobber over natt (minst 12 timer) for å fjerne rester av svovel. Etterpå renses prøven på SPE-kolonne (0,5 g silica). Prøvene løses så i 300 µl heksan og analyseres for PAH og THC som beskrevet nedenfor. Syv deutererte PAH-forbindelser brukes som interne standarder for kvantifisering av PAH, mens baseolje-HDF 200 brukes som ekstern standard for kvantifisering av THC. Analysene inkluderer 49 PAH-forbindelser, som rapporteres både enkeltvis og som summerte nivåer, se fullstendig liste i MarChem-database på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>. Kvantifiseringsgrensene er 0,5 µg/kg tørrvekt for PAH og 2,0 mg/kg tørrvekt for THC i sedimenter.

Prøver analyseres for PAH på gasskromatograf HP-6890 koblet til Agilent N-5973 massespektrometer med "electron-impact" (EI) ionekilde i "selected ion monitoring" (SIM) modus. En DB-17ms analytisk GC-kolonne (Agilent J&W Scientific, Folsom, USA) benyttes, lengde 50 m, indre diameter 0,25 mm, filmtykkelse 0,25 µm. Prøver (1 µl heksanoløsning) injiseres i "splitless" modus (injektortemperatur, 300 °C) og splitventilen åpnes etter 2 min. Analyseprogrammets varighet er 58 min.

Prøvene analyseres for THC på gasskromatograf HP-6890 koblet til flamme-ionisasjonsdetektor (FID). En Varian GC-kolonne med "Select mineral oil, fused silica" som stasjonær fase, 15 m lengde, 0,32 mm indre diameter og 0,10 µm filmtykkelse brukes. Prøver (1 µl heksanoløsning) injiseres i splitless modus (injektortemperatur satt til 290 °C) og split-ventilen åpnes etter 1 minutt. Analyseprogrammets varighet er 24 minutter. Kromatogrammet integreres i tidsvinduet tilsvarende n-alkan C₁₂ - C₃₅.

3.2.2 - PBDE og klorerte miljøgifter i sedimenter

Sedimentprøvene lufttørkes ved romtemperatur før videre opparbeiding. Prøvene (rundt 10 g tørrvekt) ekstraheres ved hjelp av ASE. Betingelser for ekstraksjon: to sykluser, temperatur 100 °C, trykk 1500 psi, "flush volume" 60%, løsemiddel: heksan:diklormetan (1:1). Det brukes 34 ml ASE celler til ekstraksjon, disse fylles med en blanding av sediment og 10%-deaktivert alumina, død volum etterfylles med "Diatomaceous Earth". Ekstraktet behandles med kobber over natt for å fjerne rester av svovel. Etterpå renses og fraksjoneres ekstraktet på PowerPrep (FMS, USA). Det benyttes 7,5 g silica "*acid-base-neutral*"-kolonner som elueres i 2 trinn med henholdsvis heksan og 1:1 heksan:diklormetan-blanding. Prøvene dampes inn til tilnærmet tørrhet og løses så i 300 µl isooktan og analyseres for PBDE, PCB og pesticider som beskrevet nedenfor. Det brukes ¹³C-merkede interne standarder av PBDE, PCB og pesticider for kvantifisering. Man analyserer for 19 PBDE-forbindelser (BDE 28, BDE 35, BDE 75, BDE49+BDE71, BDE 47, BDE 66, BDE 77, BDE 100, BDE 119, BDE 99, BDE 118, BDE 85, BDE 154, BDE 153, BDE 183, BDE 195, BDE 206, BDE 209), 10 PCB-forbindelser og åtte klorerte pesticider (omtalt i seksjon 2.2.4), som rapporteres både enkeltvis og som summerte nivåer. BDE-49 og BDE-71 rapporteres som summert nivå på grunn av koeluering. Kvantifiseringsgrensene er 0,03 µg/kg tørrvekt for enkeltforbindelser PBDE og 0,02 µg/kg tørrvekt for PCB og pesticider.

Prøver analyseres for PBDE på gasskromatograf Agilent 6890N koblet til 5973 massespektrometer med NCI i SIM-modus. En DB-5ms analytisk GC-kolonne (Agilent) benyttes, lengde 15 m, indre diameter 0,25 mm, filmtykkelse 0,10 µm. Prøver (2 µl isooktanløsning) injiseres i en "PTV" injektor programmert fra 90-350°C og "purge"-tid 1,5 min. Analyseprogrammets varighet er 48,42 min. Hele kromatogrammet er skannet for massene

til brom (78,9 og 80,9) og relevante fragmenter av BDE-209 og ^{13}C -merket BDE-209 (486,5 og 494,7).

Prøvene analyseres videre for PCB og OCP på gasskromatograf Agilent 7890 med trippel kvadrupol MS 7010. To GC-kolonner (Agilent DB-5ms, 15 m lengde, 0,25 mm indre diameter og 0,25 μm filmtykkelse) brukes. Det brukes mid-column backflush. Prøver (1 μl isooktanløsning) injiseres i "splitless" modus (injektortemperatur satt til 280 °C), "purge"-tid er 0,75 min. Analyseprogrammets varighet er 40,6 minutter.

3.2.3 - Nye organiske miljøgifter

Klorparafiner, dekloraner, PFR og siloksaner analyseres av NILU som får frosne prøver tilsendt fra HI.

PFAS. Tørkede sedimentprøver (ca. 2 g) ble tilsatt 17 ^{13}C -merkede internstandarder og ekstrahert på ultralydbad med 1% maursyre i acetonitril. Ekstraksjonen ble gjentatt med 1% ammonium hydroksid i acetonitril. Ekstraktet ble sentrifugert og supernatantene ble renset opp på ENVI-Carb SPE-kolonner. Prøven ble analysert på UPLC-MS/MS med *elektrospray ionization* (ESI). Det rapporteres resultater for 27 PFAS listet opp i tabell 6, hvorav 26 er enkeltforbindelser og PFOS er summen av forskjellige isomerer (den lineære og forgrenete PFOS). I tillegg rapporteres det summen av syv PFAS fra denne listen, som består av følgende PFAS tidligere funnet over kvantifiseringsgrensen (LOQ) i sedimenter fra Mareano-område: PFOSlin, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA (se forklaringen av forkortelsene i tabell 6).

Klorparafiner og dekloraner. Prøvene ble, ved behov, tørket før tilsetting av internstandarder og tatt til Soxhlet-ekstraksjon med aceton/heksan. Prøvene ble deretter behandlet med kobber, vasket med syre og renset opp med silika. Etter oppkonsentrering ble prøvene tilsatt gjenvinningsstandard og analysert på høytoppløselig massespektrometer MS-system med negativ ion *electron capture* system (ECNI-HRMS), med metan som CI gass. Det rapporteres på tre grupper av klorparafiner, SCCP, MCCP og LCCP (i samsvar med tabell 6), og syv dekloran-forbindelser listet opp i tabell 6, sammen med summen av isomerer av dekloran pluss (*syn* og *anti*).

PFR. Tørkede sedimentprøver ble ekstrahert med ultralyd i acetonitril. Prøvene ble deretter renset opp på Oasis® HLB SPE-kolonner. Prøvene ble så analysert på væske kromatografi-massespektrometer MS-system med *electrospray ionization* system (ESI UPLC-MS/MS). Det rapporteres på 19 PFR i samsvar med tabell 6.

Siloksaner. Tørkede sedimentprøver ble ekstrahert med acetonitril/heksan og analysert med GC-MS i EI-modus. Det rapporteres på tre forbindelser i samsvar med tabell 6.

Alkylfenoler, alkylfenol etoksylater og BPA. Tørkede sedimentprøver (ca. 20 g tørrvekt) ble tilsatt interne standarder (^{13}C -merket for alkylfenol etoksylater, og deutererte for alkylfenoler og BPA). Prøvene ble ekstrahert på ASE (Dionex ASE 300) ved 100 °C, 1500 psi, med 100% aceton. Ekstraktet ble dampet ned til 1 ml volum og behandlet med kobber over natt. Etterpå ble prøvene derivatisert med 30% pentafluorobenzoyl klorid, se detaljer om derivatiseringsmetoden i Boitsov mfl., 2004. Etter derivatiseringen ble prøvene tilsatt gjenvinningsstandard (pentafluorobenzofenon) og analysert på GC-MS (NCI) som beskrevet i Boitsov mfl., 2004. Enkelttopper ble indentifisert og kvantitert for 4-*tert*-oktylfenol, 4-*tert*-oktylfenol etoksylater og BPA, mens 4-nonylfenol og 4-nonylfenol etoksylater ble kvantitert som grupper av topper og rapportert som summen av isomerer.

4 - Resultater

4.1 - Nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter

Oppsummering av hydrokarbonnivåene funnet i overflateprøvene fra 14 lokaliteter undersøkt i 2023 er gitt i tabell 8 og på kartene i figurene 7–10. Alle resultater for THC og PAH i sedimentkjerner er gitt i MarChem-database på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

Tabell 8. Gjennomsnitts-, minimale og maksimale nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter fra 14 lokaliteter undersøkt i 2023. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 2 (blå farge: tilstandsklasse I, Bakgrunnsnivå; grønn farge: tilstandsklasse II, God tilstand).

Nivå	n	THC ^a	Sum 49 PAH	NPD ^b	PAH16	Benzo[a]pyren	TOC ^c
		mg/kg tv.	µg/kg tv.	µg/kg tv.	µg/kg tv.	µg/kg tv.	%
Nordsjøen (Utsira KB og NSJ-1)	8						
Min.		<2,0	1,1	<0,5	1,1	<0,5	0,51
Gjennomsnitt		10	546	221	328	22	1,1
Maks.		13	980	313	581	30	1,5
Skagerrak	6						
Min.		20	2192	745	1302	65	2,0
Gjennomsnitt		24	2701	829	1556	100	2,2
Maks.		31	3677	898	2105	164	2,4

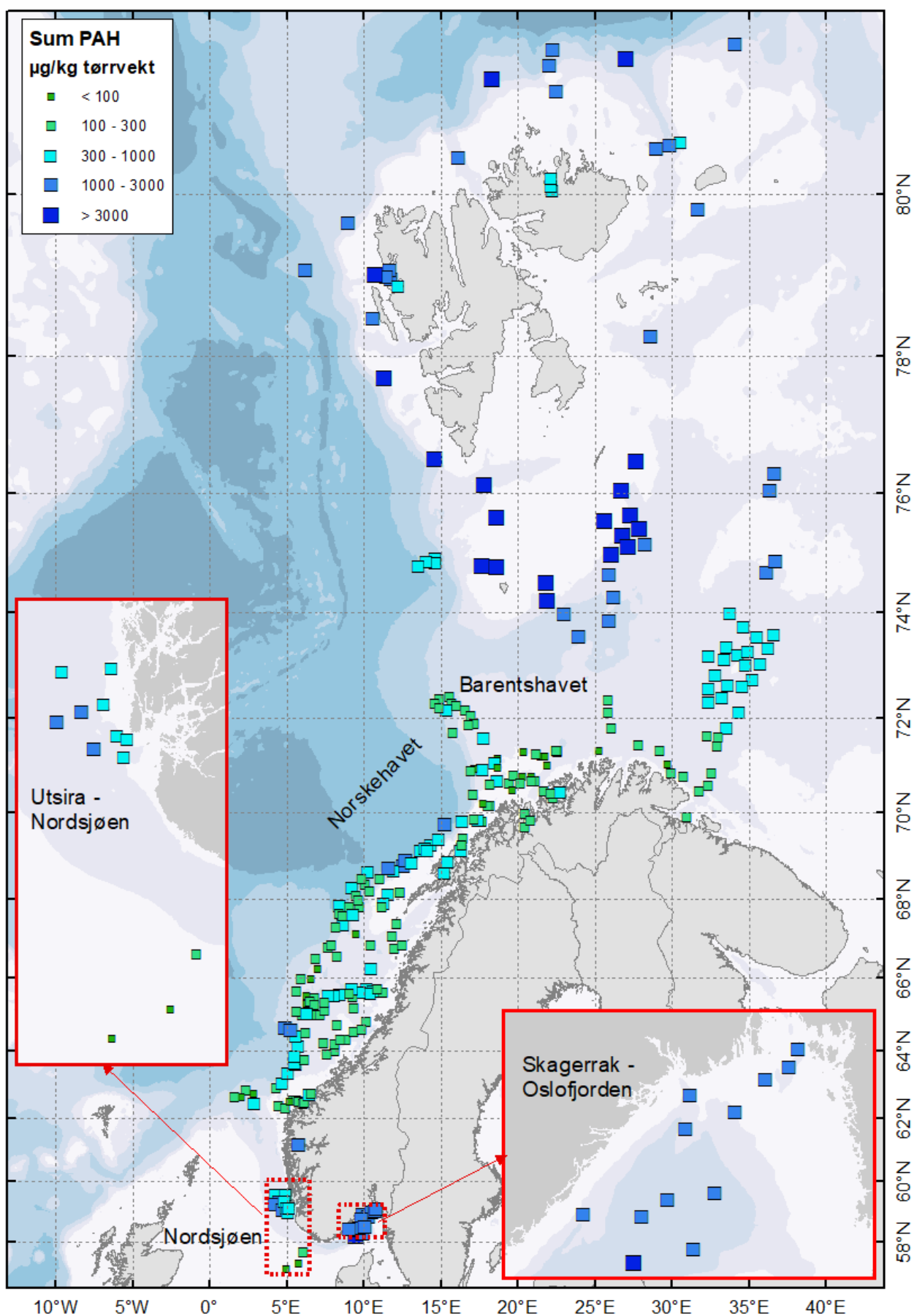
^a – THC: totalt hydrokarboninnhold.

^b – NPD: naftalen, fenantren, dibenzotiofen og deres alkylerte homologer.

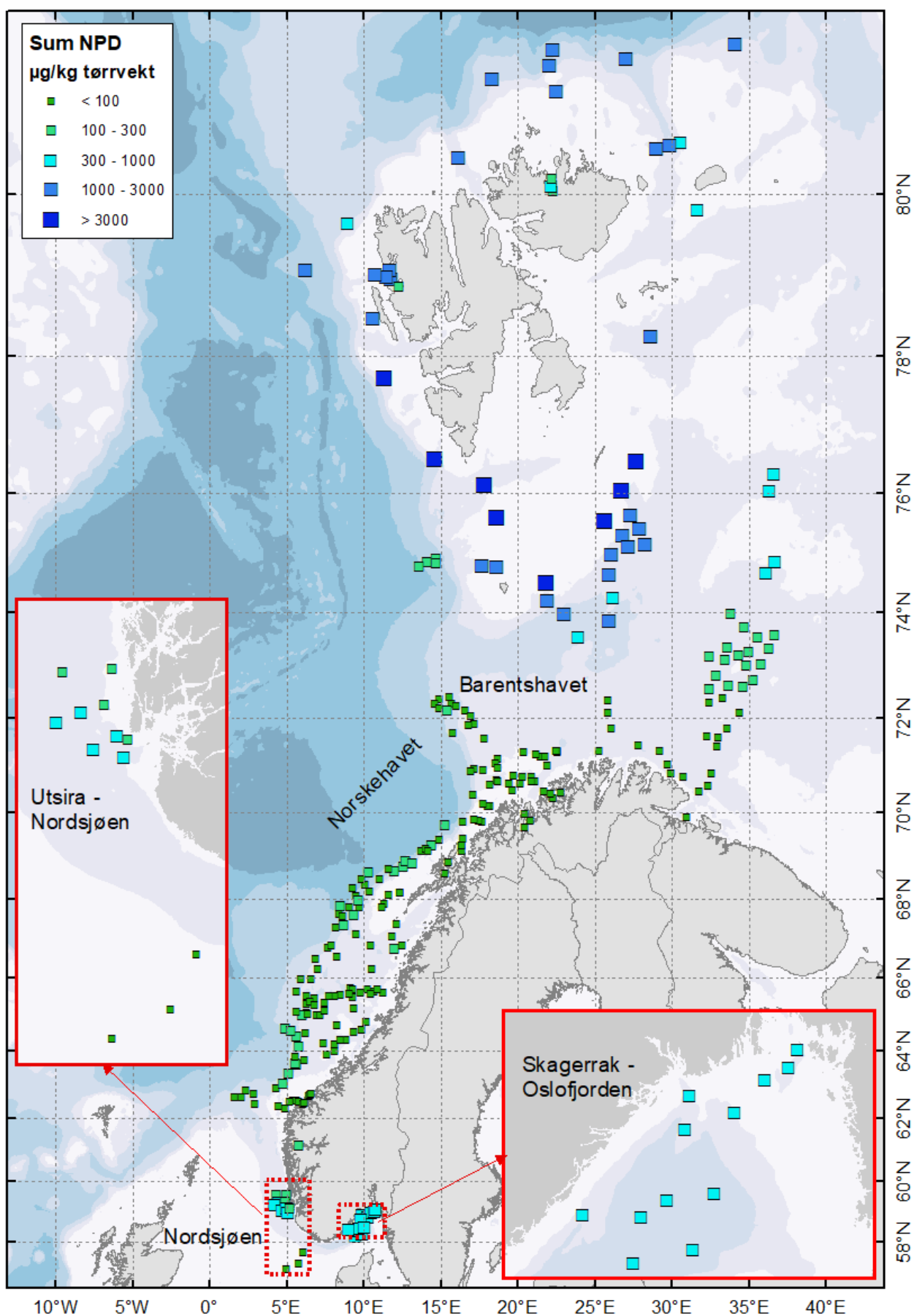
^c – TOC: totalt organisk karbon innhold. Rapportert av NGU for 5 lokaliteter i Nordsjøen og 6 lokaliteter i Skagerrak.

Områdene undersøkt av Mareano i 2023 (se detaljert stasjonsoversikt gitt i tabell 7) kan deles i to grupper, som skilles fra hverandre geografisk og har til dels forskjellig sedimentsammensetning. Resultater av hydrokarbonmålinger er vist i tabell 8 fordelt etter disse to gruppene, med åtte stasjoner i Nordsjøen og seks stasjoner i Skagerrak (se stasjonsplassering i figur 2).

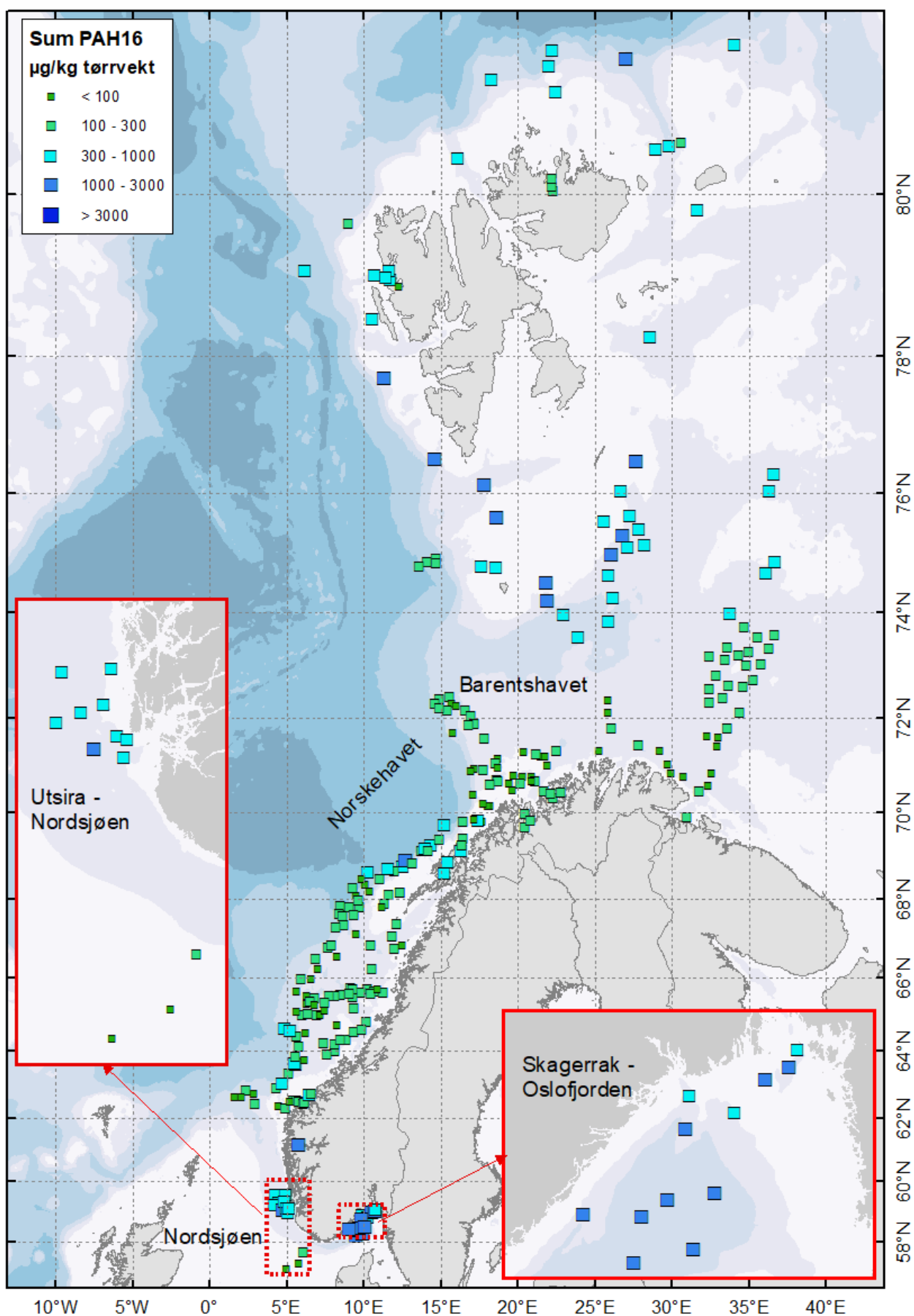
De aggregerte hydrokarbon-parameterne, totalt hydrokarbon innhold (THC) og summerte PAH-nivåer (Sum PAH), for begge de to områdene viser en signifikant lineær korrelasjon med totalt organisk karbon innhold (TOC%), som vist på figur 11 under. Det er få uteliggere i korrelasjonene, og nivåene betinges dermed i stor grad av tilførsler av organisk karbon til sedimentene.



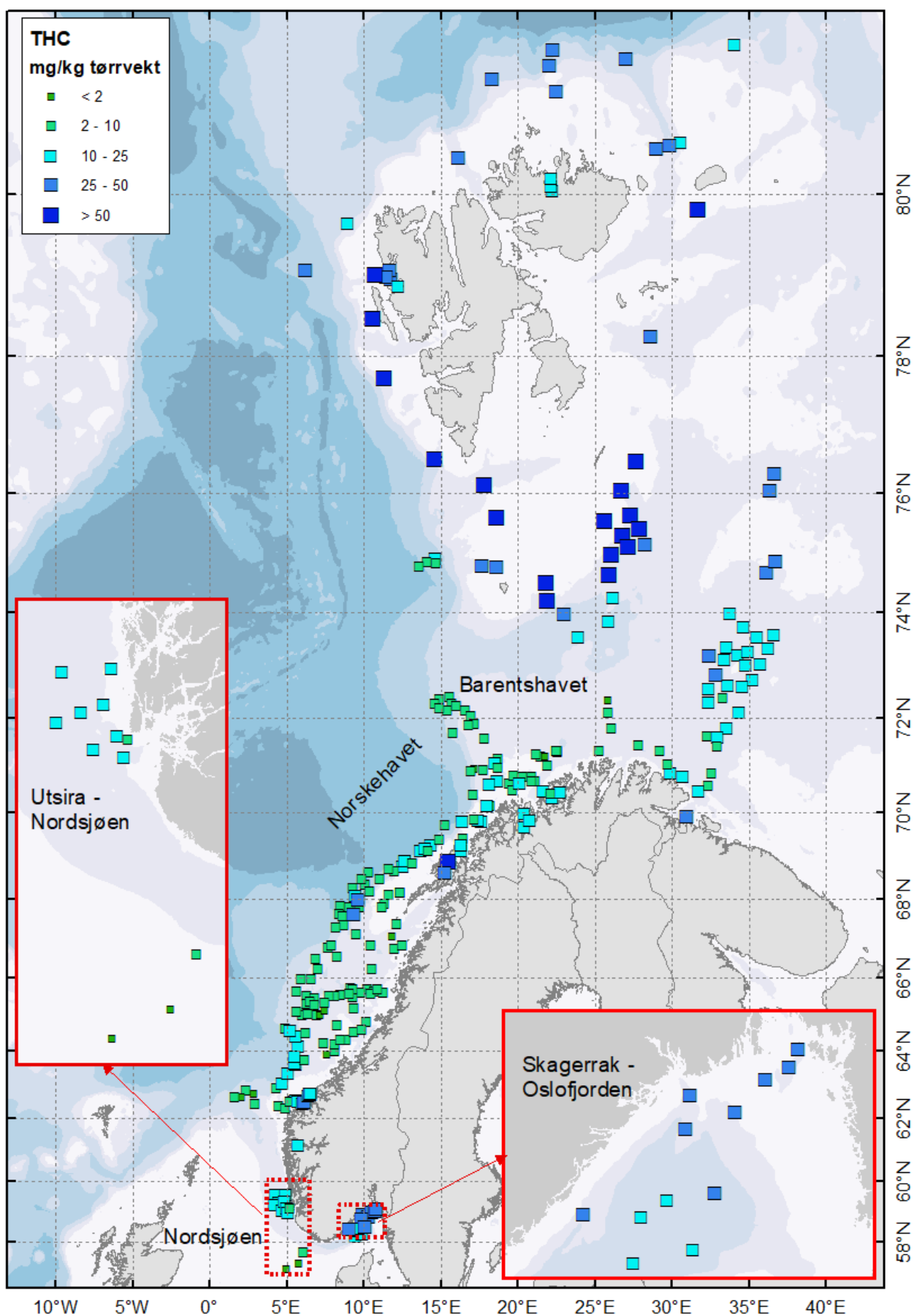
Figur 7. Summerte nivåer av 49 PAH i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.



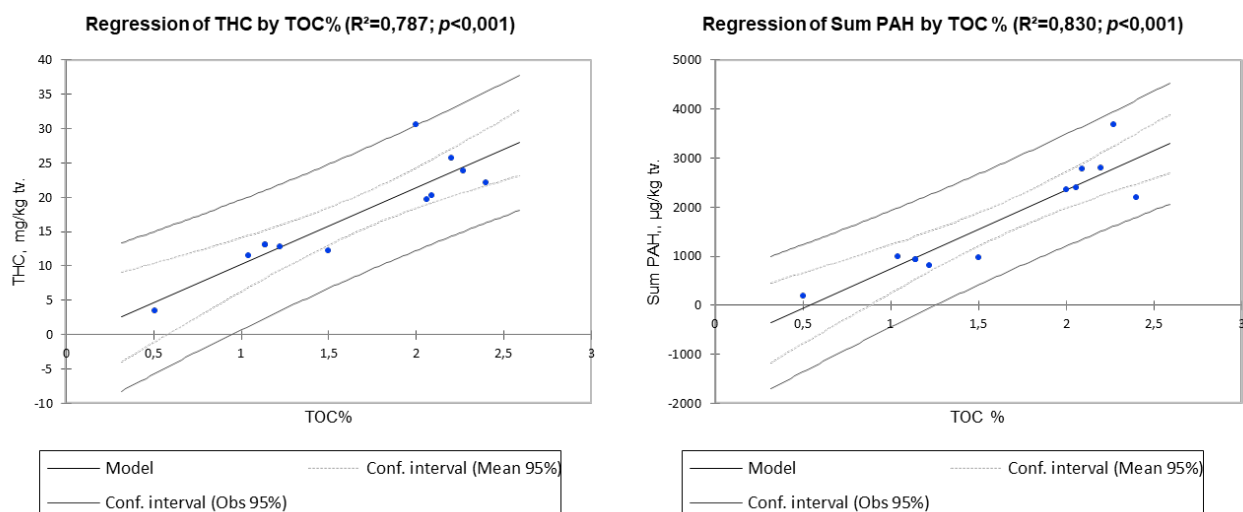
Figur 8. NPD-nivåer i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2. (NPD: Summen av naftalen, fenantren, dibenzotiofen og deres alkylerte homologer).



Figur 9 . PAH16-nivåer i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.



Figur 10 . THC-nivåer i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2. (THC: Totale hydrokarbonnivåer).



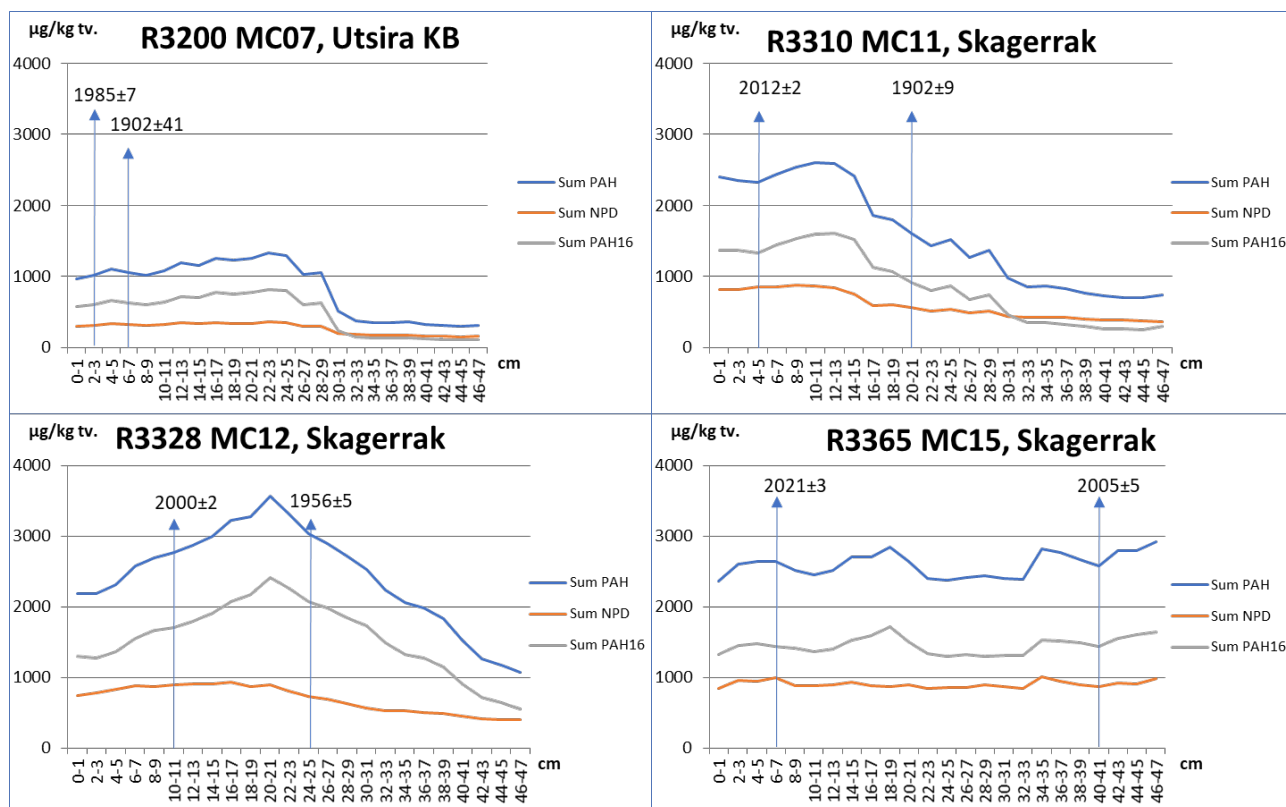
Figur 11 . Lineær regresjon av THC- og summerte PAH-nivåer i overflatesedimenter mot TOC%.

Det er en tydelig forskjell i sedimentsammensetningen mellom områdene. Området NSJ-1 i åpent hav i Nordsjøen har de groveste sedimentene med lavest innhold av organisk materiale (kun 43% finkornet sediment og 0,5% TOC ved stasjon R3224). Stasjoner i Utsira-området i Nordsjøen har noe høyere andel finkornet sediment (mellom 64% og 85%) og TOC (mellom 1,0% og 1,5%). Stasjonene i Skagerrak har meget finkornete sedimenter (mellom 94% og 100% finkornet sediment) med relativt høyt TOC-innhold (mellom 2,0% og 2,4%). Dette forklarer i stor grad nivåer av hydrokarboner funnet i disse prøvene. De laveste nivåene er funnet i område NSJ-1, der de aller fleste PAH-forbindelsene ligger under kvantifiseringsgrensen på 0,5 µg/kg tv. ved to av stasjonene, og kommer på sitt høyeste på 124 µg/kg tv. for summen av PAH ved den tredje stasjonen (R3224, se figur 7). Både PAH16 og benzo[a]pyren ligger her i Miljødirektoratets tilstandsklasse I («Bakgrunn»). I Utsira-området er nivåene høyere og ligger på mellom 500 og 980 µg/kg tv. for summen av PAH. PAH16 ligger her på mellom ca. 300 og 580 µg/kg tv. (figur 9), noe høyere enn NPD som varierer i dette området mellom ca. 150 og 300 µg/kg tv. (figur 8). Dette kan tyde på en del menneskelig påvirkning ved disse stasjonene som ligger relativt kystnært og utsettes for bl.a. en god del trafikk. Nivåer av både PAH16 og benzo[a]pyren ligger her i Miljødirektoratets tilstandsklasse II («God tilstand»). I Skagerrak ligger PAH-nivåer betydelig høyere og varierer for summen av PAH mellom ca. 2200 og 3700 µg/kg tv. Også her dominerer PAH16 PAH-sammensetningen i sedimentene, og ligger på sitt høyeste på 2105 µg/kg tv. ved stasjon R3303. Dette tilsvarer Miljødirektoratets tilstandsklasse III, «Moderat forurensset». Alle de andre stasjonene ligger i tilstandsklasse II for PAH16, og alle stasjonene ligger i denne klassen for benzo[a]pyren. NPD-nivåene ligger mye lavere enn PAH16 i dette området, 900 µg/kg tv. på sitt høyeste. Dette kan anses som et svakt forhøyet nivå i forhold til bakgrunnsnivåene funnet tidligere andre steder i norske havområder, men er mye lavere enn nivåene funnet tidligere i områder med naturlige forekomster av olje, bl.a. i Barentshavet (se f.eks. Boitsov & Sanden 2023).

THC (figur 10) ligger meget lavt i område NSJ-1 og ellers relativt lavt i både Nordsjøen og Skagerrak, med godt samsvar med TOC-innholdet (figur 11) og under effektgrensen på 50 mg/kg tv. alle steder.

4.2 - PAH i sedimentkjerner

For å kunne si noe om tidstrender og mulige kilder for PAH i sedimenter, må nivåene i dypere lag i sedimentkjernene studeres. Dybdeprofiler for PAH16, NPD og summerte nivåer av 49 PAH (Sum PAH) er vist i figur 12 for daterte kjerner. Dybdeprofiler for alle kjerner som ble analysert er vist som absolutte nivåer i Vedlegg 1, og normalisert til TOC i Vedlegg 2.



Figur 12 . Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i daterte sedimentkjerner. Dateringen er vist for utvalgte kjernesnitt.

De summerte PAH-nivåene vist med blå farge i figur 12 gjenspeiler bidrag fra forskjellige kilder. Ser man derimot på profilene til kildespesifikke PAH-indikatorer som PAH16 (grå farge i figur 12) eller NPD (oransje farge), kan man ofte forklare trender i dybdeprofilene. I seks av de syv analyserte sedimentkjernene fra både Nordsjøen og Skagerrak er det observert en tydelig økning i PAH-nivåer i den øverste delen av sedimentkjernen (alle unntatt R3365 i figur 12). Økningen skjer uavhengig av mengde organisk materiale tilført sedimentene, siden den også er til stede når dybdeprofilene er korrigert for TOC (se plottene i Vedlegg 2). Økningen skyldes først og fremst økning i nivåer av PAH16, mens NPD-nivåer ligger lavt gjennom hele kjernen. Dette tyder på et vesentlig bidrag fra pyrogene PAH, gjenspeilet av PAH16, mens petrogene PAH, uttrykt her som NPD, viser stort sett bakgrunnsnivåer. En økning i pyrogene PAH i sedimenter fra ca. siste 100-150 år har vært funnet tidligere i sedimentkjerner fra de fleste havområder og knyttes til menneskelig påvirkning gjennom kullfyring, trafikk, industri m.m. (for mer detaljert diskusjon av dette knyttet til tidligere Mareano-undersøkelser i Norskehavet og Barentshavet, se Boitsov mfl. 2020). En topp i nivåene rundt 1950-1960-tallet etterfulgt av en nedgang i senere tid, spesielt tydelig i kjerne fra stasjon R3328 (figur 12), har også vært observert i tidligere studier, og forklart av reduksjon i kullforbruket de siste tiårene. Når det gjelder kjerne R3200 fra område Utsira KB, viser PAH-dybdeprofiler her en svak økning i nivåene datert til lenge før den industrielle tiden med kraftig menneskelig

påvirkning. Radiodatering i denne kjernen er imidlertid upålitelig, med høy usikkerhet (se figur 12), og ifølge dateringsrapporten kan denne lokaliteten ha vært utsatt for perioder uten deponering eller med erosjon, og datering må derfor kun anses som veiledende. I sedimentkjerner fra stasjon R3365 i Skagerrak, derimot, tyder datering på høy sedimentasjonsrate, med hele den 47 cm-lange kjernen avsatt i løpet av de siste ca. 25 årene. Også her ligger PAH16 over NPD i kjernen, men tidstrenden er ikke uttrykt på så kort tid.

Tidligere undersøkelser av sedimentkjerner fra Skagerrak og Norskerenna ble utført av NGU og HI på 1990-tallet, og resultater av bl.a. hydrokarbon-målinger ble rapportert (Longva & Thorsnes 1997; Boitsov mfl. 2013). Resultatene omfatter bl.a. lokaliteter som ligger nært på enkelte stasjoner fra Skagerrak prøvetatt av Mareano i 2023. Resultater fra 1990-tallet viser tydelige dybdeprofiler i sedimentkjerner, med en økning i forbrenningsrelaterte PAH, som benzo[*a*]pyren, i moderne tider, og uten tegn på forstyrrelse i sedimentene. PAH-nivåer ligger på omtrent samme nivå som ble funnet i Mareano-prøver fra 2023.

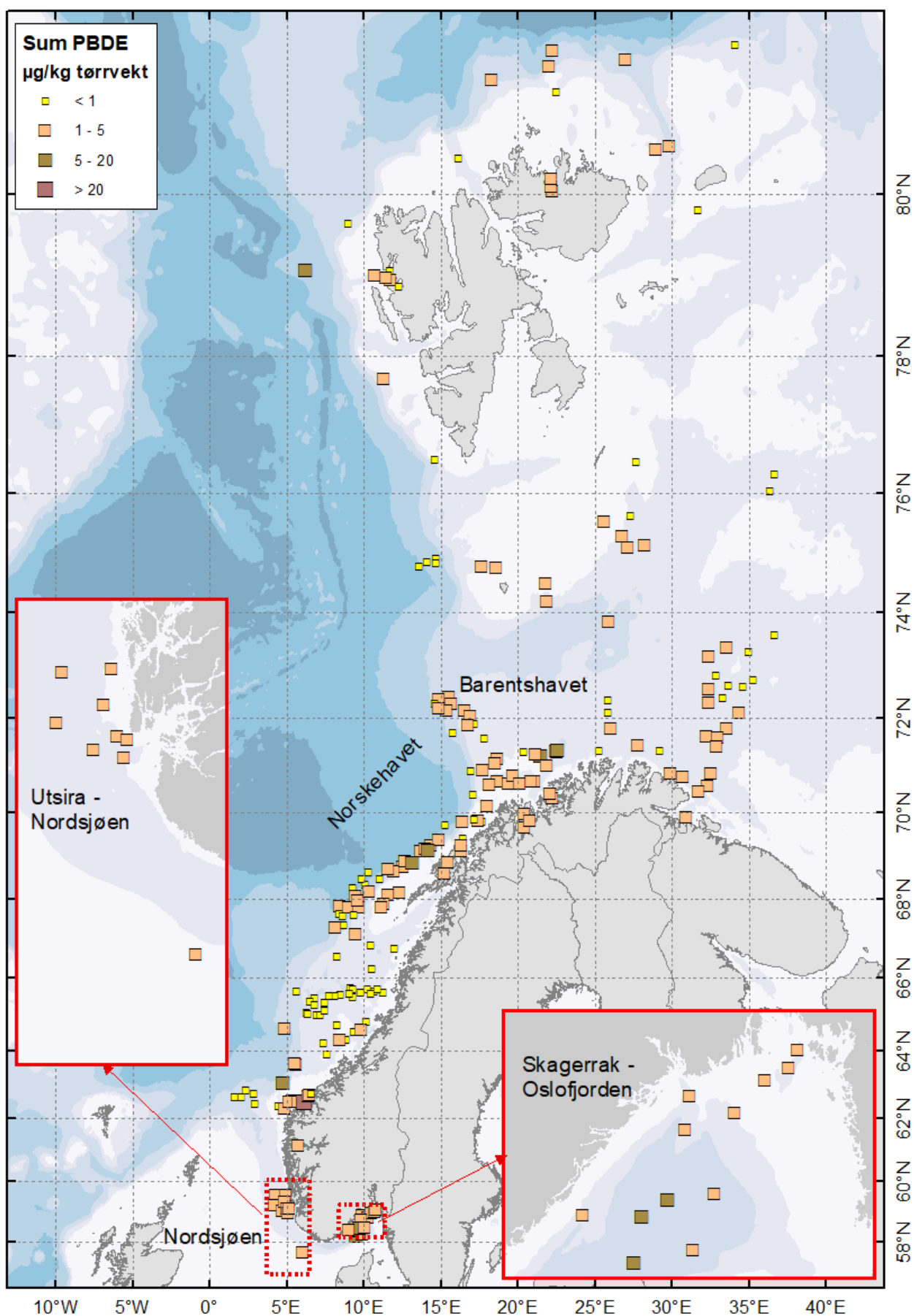
4.3 - Nivåer av PBDE i overflatesedimenter

Oppsummering av PBDE-nivåene funnet i overflatesediment fra 12 lokaliteter undersøkt i 2023 er gitt i tabell 9 og vist på kart i figur 13, mens alle resultater for PBDE i overflatesedimenter er gitt i MarChem-database på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

Tabell 9. Gjennomsnitts-, minimale og maksimale nivåer av PBDE i overflatesedimenter fra 12 lokaliteter undersøkt i 2023. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 3 (grønn farge: tilstandsklasse II, God tilstand).

Nivå, µg/kg tv.	<i>n</i>	Sum 19 PBDE	Sum 6 PBDE	BDE-99	BDE-183	BDE-209
<i>Nordsjøen (Utsira KB og NSJ-1)</i>	6					
Min.		1,1	0,07	<0,03	0,06	0,53
Gjennomsnitt		2,4	0,24	0,08	0,09	1,7
Maks.		3,3	0,42	0,09	0,14	2,4
<i>Skagerrak</i>	6					
Min.		4,1	0,50	0,09	0,06	2,5
Gjennomsnitt		4,9	0,62	0,18	0,23	3,5
Maks.		5,4	0,79	0,33	0,36	4,1

Nivåene av PBDE i alle undersøkte prøver ligger relativt lavt, under deteksjonsgrensen for flere kongenere. De summerte nivåene ligger i Nordsjøen på 2,4 µg/kg tv. i gjennomsnitt, som er lavere enn snittnivåene funnet i Skagerrak, 4,9 µg/kg tv. De laveste nivåene er funnet i område NSJ1, 1,1 µg/kg tv. for summen av 19 PBDE ved stasjon R3224, som er i tråd med sedimentsammensetning ved denne lokaliteten, dvs. lav andel finkornet sediment og lavt innhold TOC. I Skagerrak er det relativt lite variasjon i nivåene, som kan sammenlignes med det som ble funnet ved fjorårets prøvetaking i Skagerrak (Boitsov & Sanden 2023). Disse resultatene tyder på en sterkere belastning av havmiljøet i Skagerrak enn i åpent hav i Nordsjøen eller tidligere undersøkte åpenhavsområder i Barentshavet og Norskehavet, men er likevel lavere enn det som ble funnet tidligere i sedimenter fra et fjordområde med kjent PBDE-forurensning i nærheten av Ålesund, hvor summen av 19 PBDE var over 10 µg/kg tv. (Knies mfl. 2021). Summen av 6 PBDE ligger lavt i begge områdene, og tilsvarer i alle prøver Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand». Det er ikke etablert tilstandsklasse I («Bakgrunn») for menneskeskapte miljøgifter som PBDE. PBDE-sammensetningen i prøvene fra Nordsjøen og Skagerrak domineres som regel av den fullbromerte kongeneren BDE-209, med prosentandelen for denne kongeneren varierende mellom 48% og 82% av summen av 19 PBDE.



Figur 13 . Summerte nivåer av 19 PBDE i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

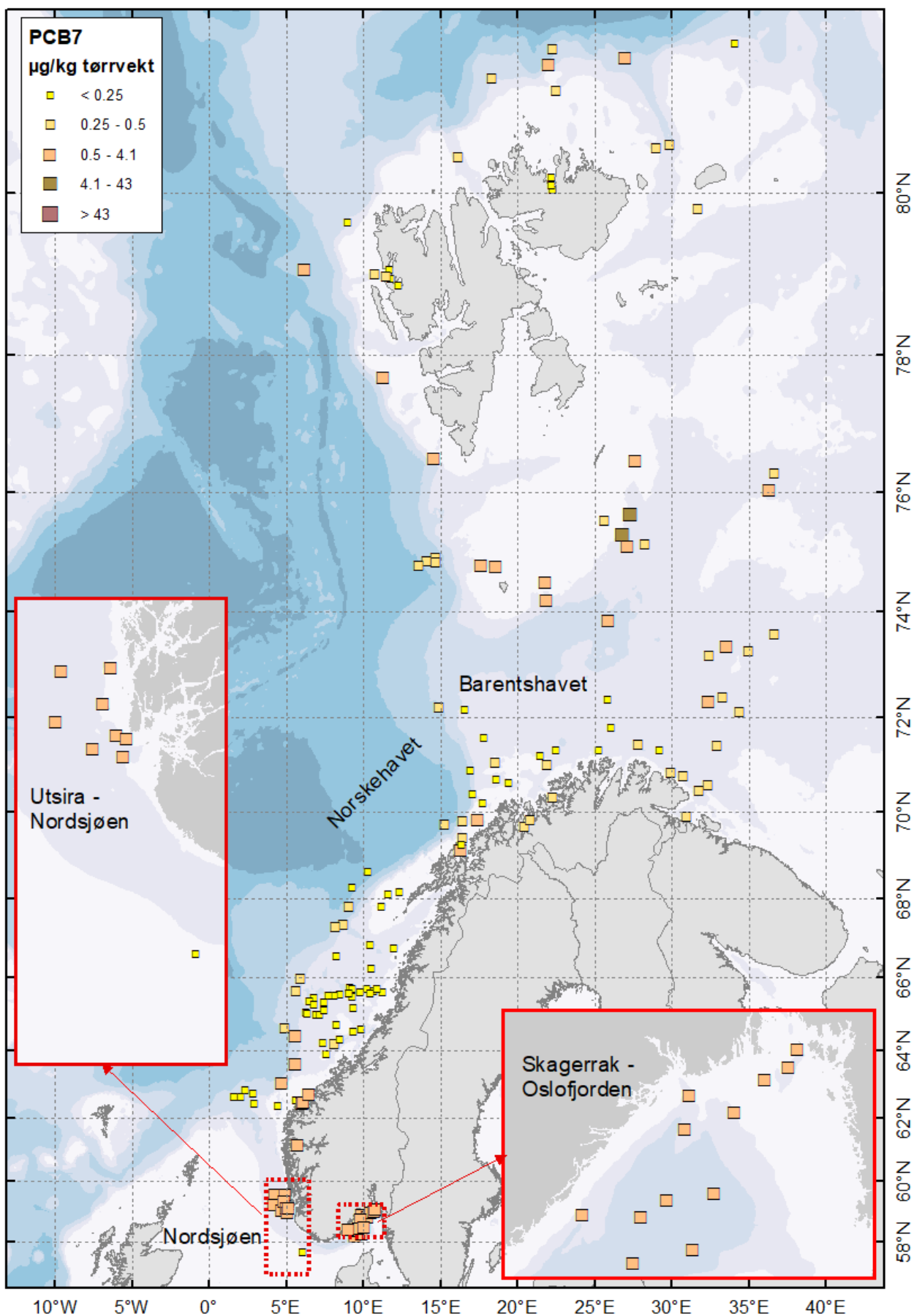
4.4 - Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter

Oppsummering av PCB- og OCP-nivåer funnet i overflatesediment fra 12 lokaliteter undersøkt i 2023 er gitt i tabell 10, og vist for tre av stoffgruppene på kart i figurene 14 - 16. Alle resultater for PCB og OCP i overflatesedimenter er gitt i MarChem-database på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

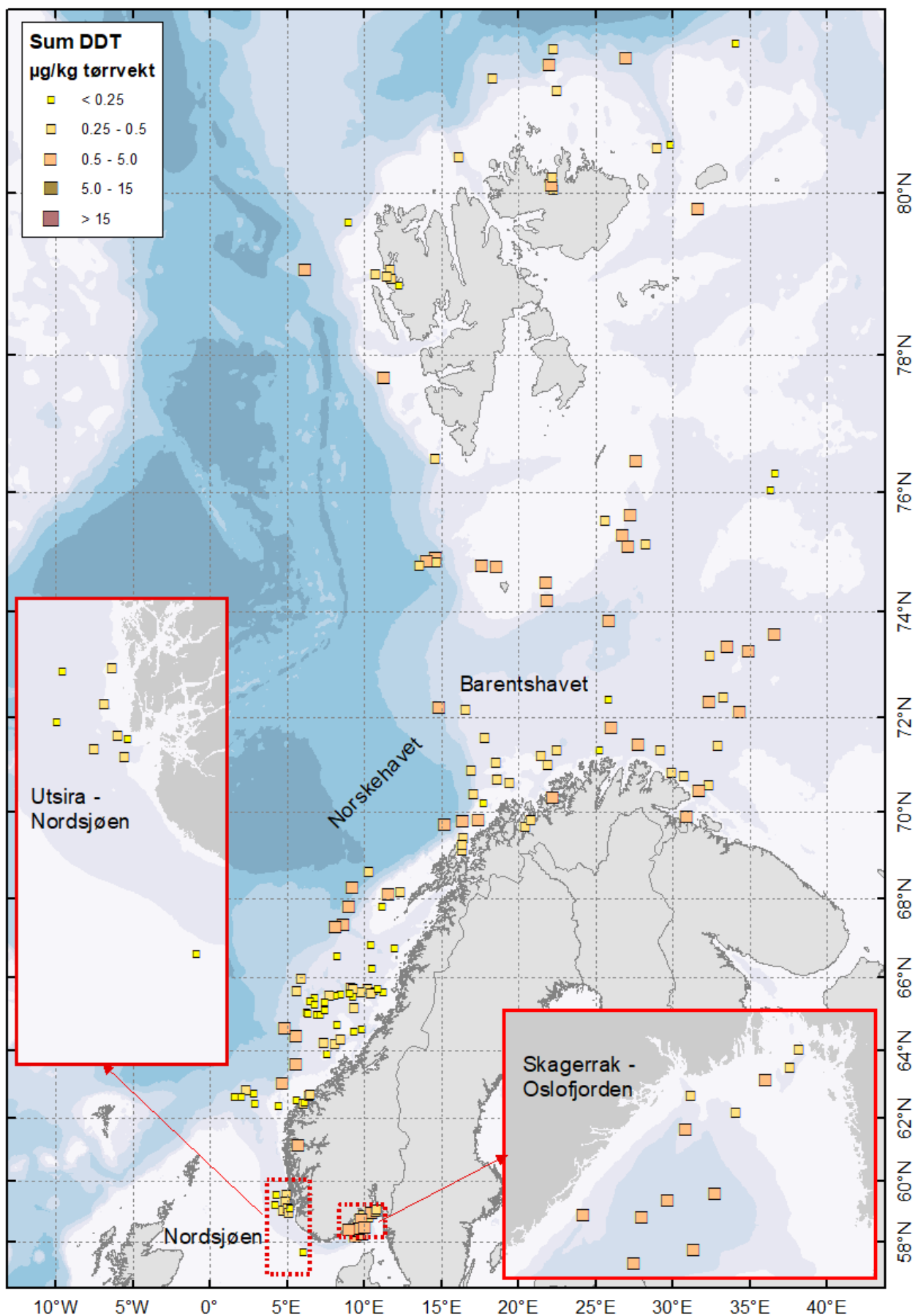
Tabell 10. Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter fra 12 lokaliteter undersøkt i 2023. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 4 (grønn farge: tilstandsklasse II, «God tilstand»; gul farge: tilstandsklasse III, «Moderat forurensning»).

Nivå, µg/kg tv.	n	PCB7	ΣDDT	γ-HCH (lindan)	ΣHCH	HCB	TNC
<i>Nordsjøen (Utsira KB og NSJ-1)</i>	6						
Min.		0,11	0,06	<0,02	<0,06	<0,02	<0,02
Gjennomsnitt		0,62	0,22	<0,02	<0,06	0,11	<0,02
Maks.		0,82	0,30	0,03	0,03	0,14	<0,02
<i>Skagerrak</i>	6						
Min.		1,7	0,65	0,03	0,05	0,23	<0,02
Gjennomsnitt		2,0	0,79	0,04	0,08	0,25	<0,02
Maks.		2,4	1,0	0,06	0,10	0,31	0,02

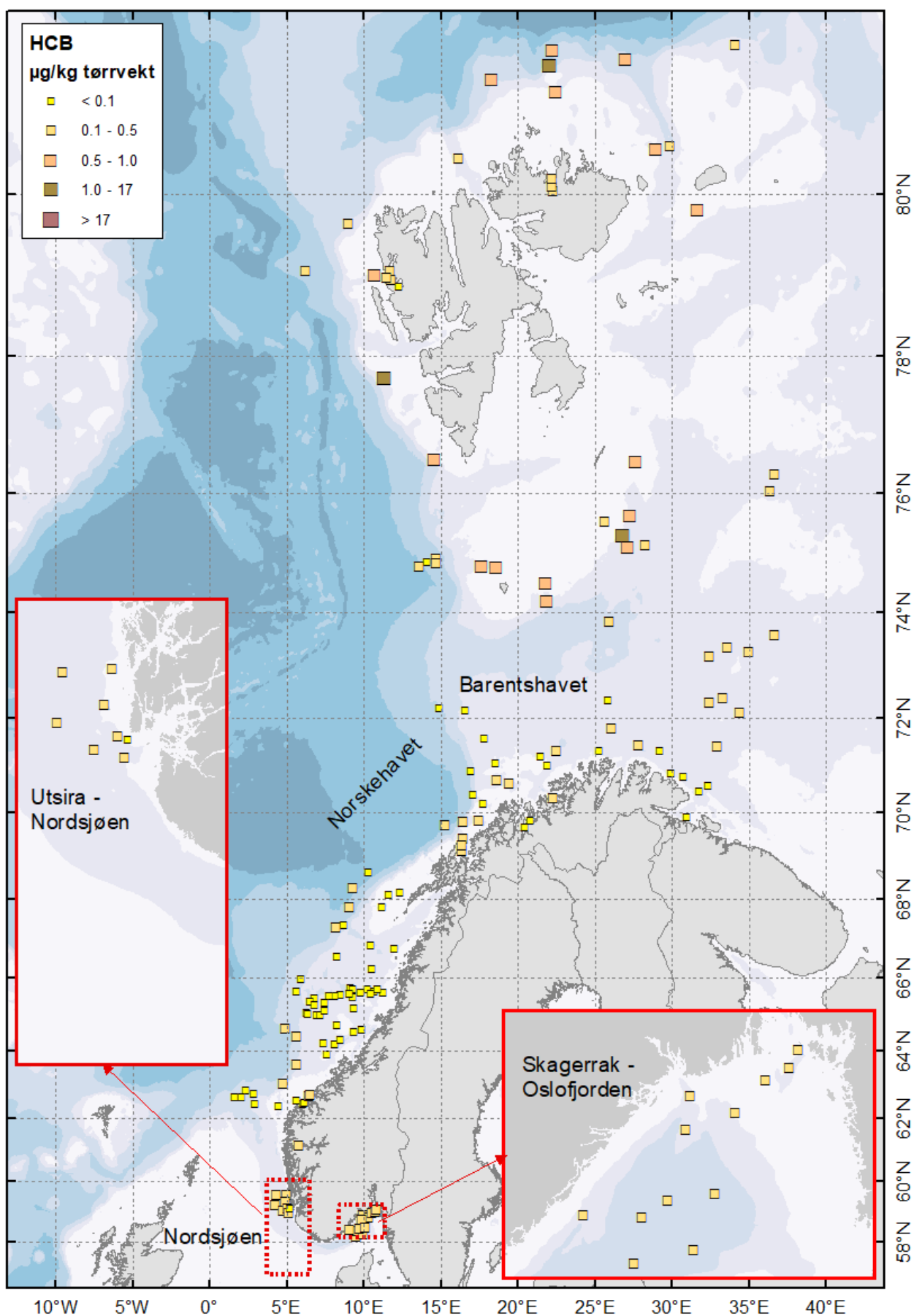
Nivåene av PCB og OCP i prøvene fra 2023 ligger lavt eller veldig lavt i alle prøver, og tilsvarer utelykkende tilstandsklasse II («God tilstand») for de stoffene som tilstandsklassene er etablert for (se tabell 10). Nivåene målt til over LOQ varierer noe i tråd med sedimentkarakteristikk, med de høyeste nivåene funnet i finkornete sedimenter i Skagerrak, og de laveste nivåene funnet i de groveste sedimentene i NSJ-1-området i Nordsjøen. Stoffgruppen som er funnet i største mengder er PCB7 (figur 14), som ligger noe høyere i Skagerrak enn i Nordsjøen og i noen andre havområder undersøkt av Mareano tidligere (f.eks., Boitsov & Sanden, 2023). Dette gjenspeiler den relativt sterkere belastning av havmiljøet i Skagerrak.



Figur 14 . Summerte nivåer av PCB7 i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.



Figur 15 . Nivåer av Σ DDT i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.



Figur 16 . Nivåer av HCB i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

4.5 - Nivåer av nye organiske miljøgifter i overflatesedimenter

Nye miljøgifter ble analysert i prøver av overflatesediment fra seks lokaliteter. Det er seks stoffgrupper som presenteres her: per- og polyfluorerte alkylerte stoffer (PFAS, inkludert perfluoroktansulfonat (PFOS) og perfluoroktanoat (PFOA)); alkylfenoler (inkludert 4-*tert*-oktylfenol (4tOP), 4-nonylphenol (4NP) og bisfenol A (BPA)); dekloraner (inkludert dekloran pluss (DP)); fosfororganiske flammehemmere (PFR); klorparafiner (inkludert mellomkjedete klorparafiner (MCCP)); og siloksaner. Oppsummering av resultatene for utvalgte stoffgrupper er gitt i tabell 11. Resultater for PFAS og 4NP er også vist på kart i figurene 17 - 18. Alle resultater er gitt i MarChem-database på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

Tabell 11. Nivåer av PFAS, alkylfenoler, BPA, DP og MCCP i overflatesedimenter fra seks lokaliteter undersøkt i 2023. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 5 (grønn farge: tilstandsklasse II, God tilstand; gul farge: tilstandsklasse III, Moderat). Forklaringen av forkortelsene er gitt i tabell 6.

Nivå, µg/kg tv.	n	PFOS	PFOA	Sum 7 PFAS ^a	4tOP	4NP	BPA ^b	DP	PFR ^c	MCCP
<i>Nordsjøen (Utsira KB og NSJ-1)</i>	4									
Min.		0,07	0,08	0,30	<0,10	0,39	<1,5	0,04	<2,3	<5,3
Gjennomsnitt		0,21	0,21	0,91	<0,10	0,44	<1,5	0,35	<2,3	<5,3
Maks.		0,30	0,32	1,3	<0,10	0,49	<1,5	0,62	<2,3	6,5
<i>Skagerrak</i>	2									
Min.		0,19	0,04	0,41	0,10	2,2	<1,5	0,90	0,76	7,7
Maks.		2,3	1,1	5,1	0,19	4,2	2,7	1,4	3,4	9,0

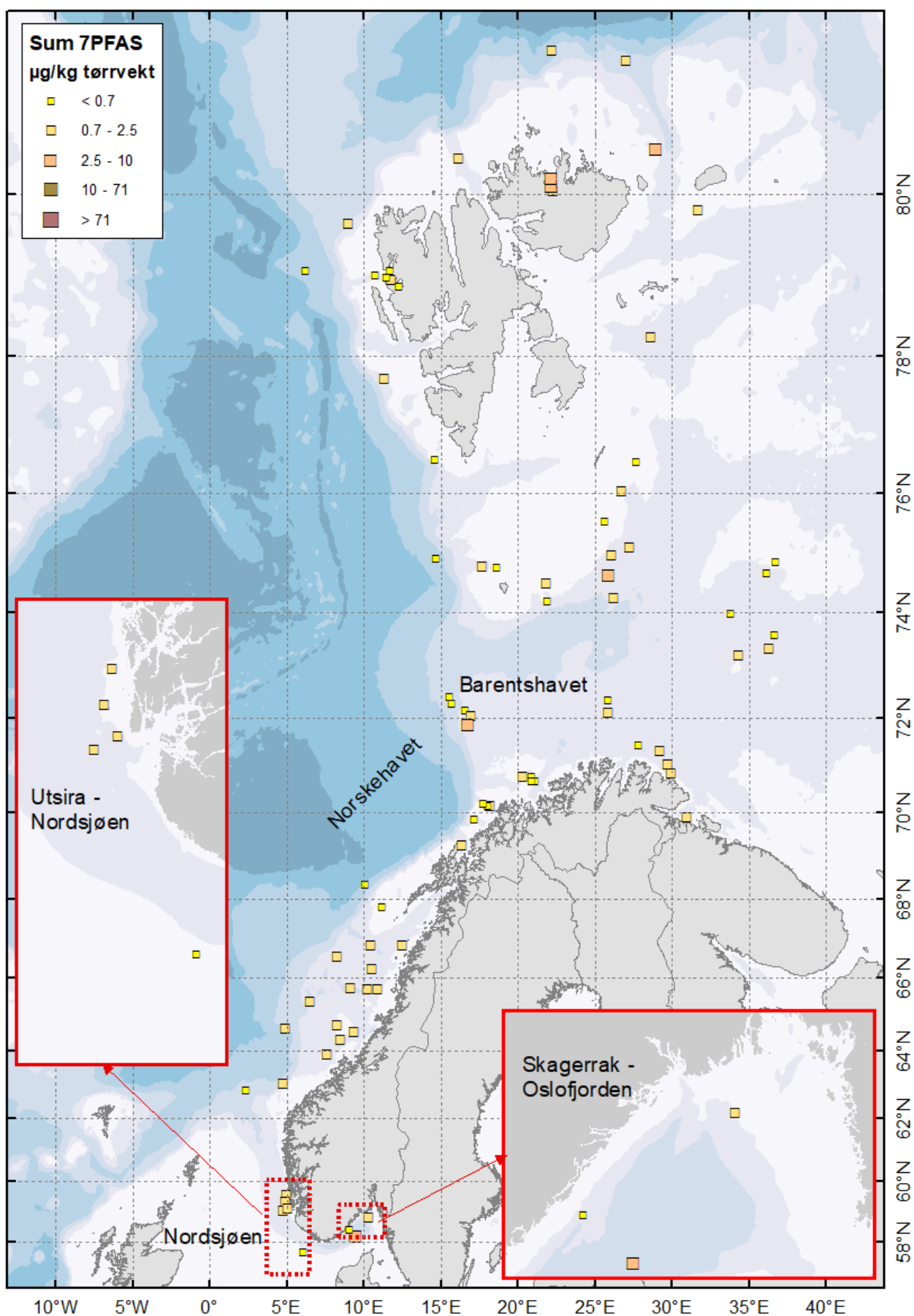
a – Summen av PFOSlin, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA. For forklaringen av forkortelsene, se tabell 6.

b – Siden LOQ for BPA, 1,5 µg/kg tv., er høyere enn øvre grensen for Miljødirektoratets tilstandsklasse II, 1,1 µg/kg tv., er det ikke mulig å klassifisere nivåene under LOQ for BPA.

c – Summen av TXP, TEHP, TCP/TMPP, TNBP og TCIPP, som er funnet over LOQ i Skagerrak. For forklaringen av forkortelsene, se tabell 6.

4.5.1 - Nivåer av PFAS i overflatesedimenter

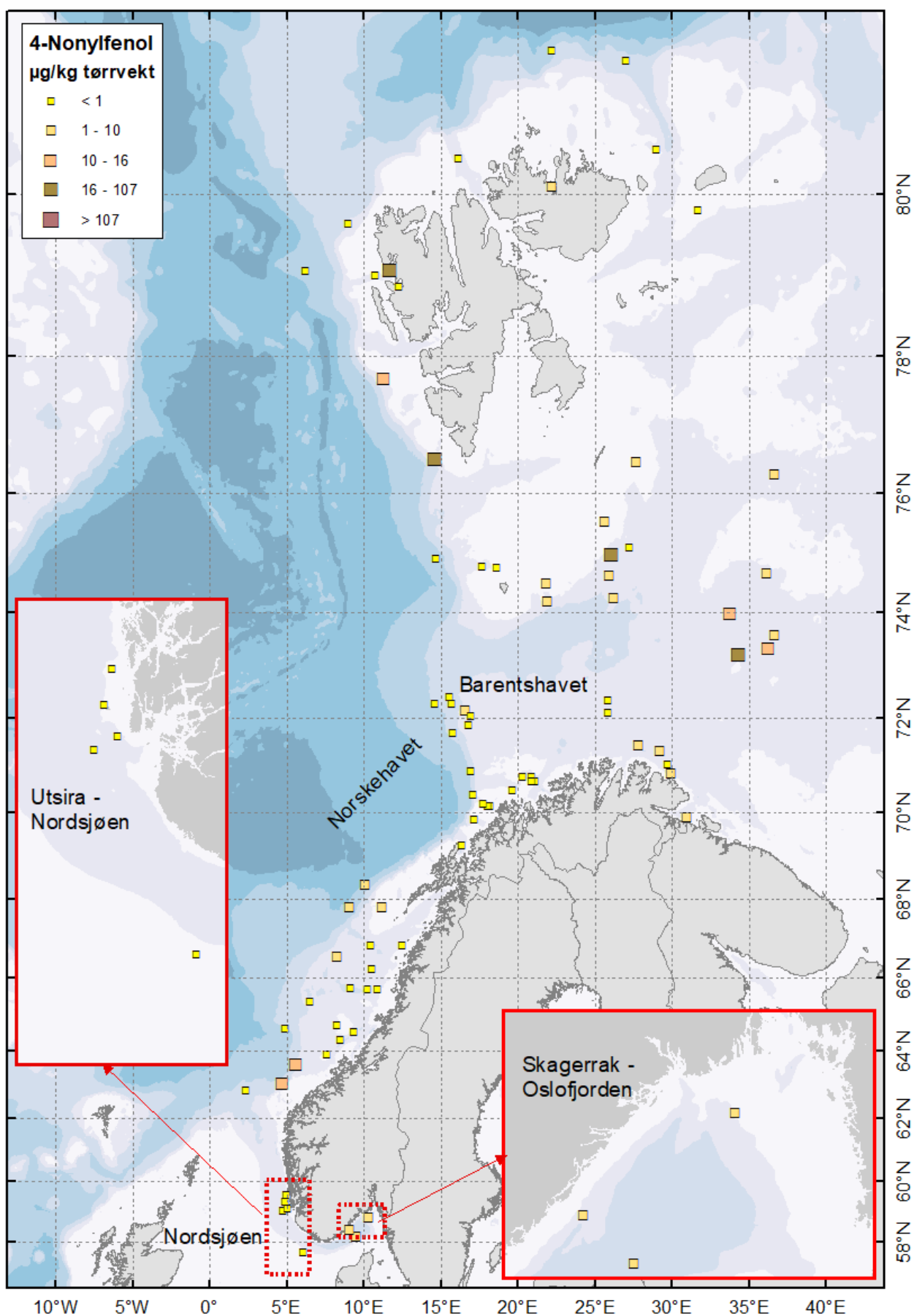
Listen over PFAS ble i år utvidet til 27 stoffer, men kun 12 ble funnet over LOQ i minst en prøve. Syv av disse stoffene ble tidligere ofte funnet over LOQ under Mareano (se for eksempel Boitsov & Klungsøyr 2018), og rapporteres som «7 PFAS» (listet i fotnote *a* i tabell 11). Nivåer av PFAS er lavest i Nordsjøen, i snitt på 0,91 µg/kg tv. for 7 PFAS, se figur 17 under. Dette kan sammenlignes med funn flere andre steder tidligere under Mareano (Boitsov mfl. 2024). I Skagerrak er det en stor forskjell i nivåene mellom de to lokalitetene som ble undersøkt, med det høyeste nivået funnet ved stasjon R3303 (5,1 µg/kg tv. for 7 PFAS). Sistnevnte lokalitet har et relativt høyt TOC-innhold (2,3%) og de høyeste nivåene PAH og PBDE ble også funnet her i år. Når det gjelder PFAS, er dette det høyeste nivået funnet hittil under Mareano (Boitsov mfl. 2024). Det kan tyde på noe høyere tilførsler i Skagerrak enn i norske åpent havsområder lenger nordover. Både denne prøven og to av prøvene fra Utsira-området ligger i Miljødirektoratets klasse III («Moderat») for PFOS, mens resterende prøver er i klasse II («God tilstand»). For PFOA ligger alle prøvene i tilstandsklasse II.



Figur 17 . Summerte nivåer av syv PFAS-forbindelser i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

4.5.2 - Nivåer av alkylfenoler i overflatesedimenter

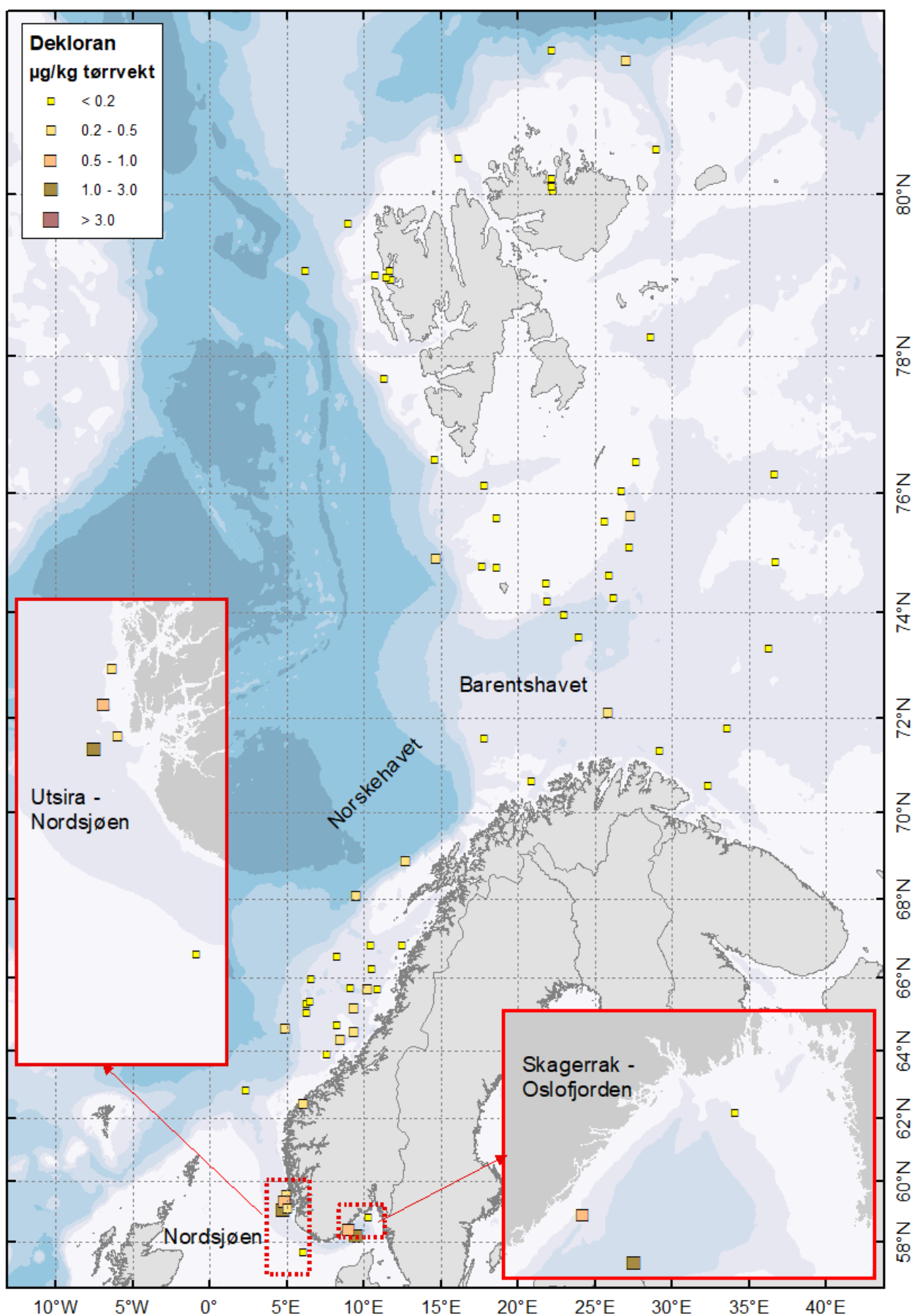
Det er funnet utelukkende lave nivåer av alkylfenoler i prøver innsamlet i Nordsjøen. Alle resultater er under LOQ for 4tOP, etoksylatene og BPA. For 4NP varierer nivåene i dette området fra under LOQ opptil 0,49 µg/kg tv. I Skagerrak er det funnet høyere nivåer ved de to lokalitetene der prøvene ble samlet inn, med de høyeste nivåene funnet ved stasjon R3303, samme som for PFAS, PAH og PBDE. Det er kun 4tOP-etoksylater som ligger under LOQ også i dette området, mens 4tOP er funnet i lave nivåer rett over LOQ, på 0,19 µg/kg tv. på sitt høyeste. 4NP ligger opptil ca. 10 ganger høyere i Skagerrak enn i Nordsjøen, opptil 4,2 µg/kg tv. ved stasjon R3303. 4NP etoksylater er funnet over LOQ kun ved stasjon R3303 og ligger her på opptil 5,6 µg/kg tv. for 4NP DEO. BPA er også funnet over LOQ kun ved stasjon R3303 og er målt til 2,7 µg/kg tv., som er det høyeste som ble funnet under Mareano. Både 4tOP og 4-NP ligger i Miljødirektoratets klasse II («God tilstand») ved alle stasjonene, mens BPA ligger i klasse III («Moderat forurensset») ved stasjon R3303.



Figur 18 . Nivåer av 4-nonylfenol (4NP) i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

4.5.3 - Nivåer av dekloraner i overflatesedimenter

Det er funnet lave nivåer av dekloraner i Nordsjøen, med snittnivået på 0,35 µg/kg tv. for DP (figur 19). Når det gjelder Skagerrak, ligger nivåene høyere her, opptil 1,4 µg/kg tv. for DP ved stasjon R3303. Dette er det høyeste nivået DP som hittil er funnet av Mareano, men kan sammenlignes med nivåene tidligere funnet av Mareano i Norskerenna (1,1 µg/kg tv., se Boitsov & Sanden 2023) og i tidligere studier av indre Oslofjord, der DP-nivå på 1,7 µg/kg tv. ble rapportert (Ruus mfl. 2019). Resultatene tyder på en høyere forurensningsgrad med dekloraner i Norskerenna og Skagerrak enn i nordområder. Det er DP *anti* som enten er den eneste eller den dominerende forbindelsen av dekloran-type i alle 2023-prøver.



Figur 19 . Nivåer av dekloran (DP) i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

4.5.4 - Nivåer av klorparafiner i overflatesedimenter

Klorparaffiner ble funnet i lave nivåer ved de seks lokalitetene som ble analysert for nye miljøgifter. SCCP ble kun funnet over LOQ ved stasjon R3303 i Skagerrak, i et lavt nivå på 4,9 µg/kg tv. MCCP ble funnet i lave nivåer over LOQ ved to av de fire lokalitetene i Nordsjøen og ved de to lokalitetene i Skagerrak, opptil 9,0 µg/kg tv. ved stasjon R3303. Disse nivåene tilsvarer Miljødirektoratets tilstandsklasse II («God tilstand») for MCCP. LCCP ble funnet i lave nivåer over LOQ ved en lokalitet i Utsira-område i Nordsjøen og ved de to lokalitetene i Skagerrak, på sitt høyeste på 12 µg/kg tv. ved stasjon R3365 i Skagerrak. Dette er noe lavere enn det som ble funnet i Norskerenna i Nordsjøen tidligere (Boitsov & Sanden 2023).

4.5.5 - Nivåer av PFR i overflatesedimenter

Det ble ikke funnet fosfororganiske flammehemmere (PFR) over LOQ i de fire prøvene fra Nordsjøen. I Skagerrak ble det funnet lave nivåer av mellom én og seks PFR-forbindelser, opptil 3,4 µg/kg tv. for summen av disse ved stasjon R3303.

4.5.6 - Nivåer av siloksaner i overflatesedimenter

Analyse av siloksaner er krevende i forhold til kontamineringsfare, siden siloksaner som inngår i forskjellige kosmetiske produkter brukt av personer som behandler prøven lett kan forstyrre analysen. Det er derfor utviklet en tilpasset prøvetakingsprosedyre for prøvene som skal tas til siloksan-analyse, se seksjon 3.1. I tillegg benyttes det en egen feltblankprøve som lages på laboratoriet og tas i bruk under prøvetaking for å ha kontroll på effekter av prøvetakningen.

Nivåer av siloksanene D4, D5 og D6 var under LOQ i samtlige prøver tatt i 2023. LOQ-verdiene ble satt relativt høyt ved årets analyser, på mellom 1,6 µg/kg tv. for D6 og 3,7 µg/kg tv. D4. Det ble kun funnet meget lave nivåer av siloksaner under Mareano i tidligere år.

5 - Planlagt arbeid

Prøvetaking i nye deler av Mareano-området blir videreført. Det er tatt sedimentkjerner på nye lokaliteter i Nordsjøen, Skagerrak og Kvitøyrenna (Barentshavet) på tre tokt i 2024. Prøvene vil bli analysert for hydrokarboner (PAH, THC), og for PBDE, PCB, klorerte pesticider og nye miljøgifter i løpet av 2024. Mikroplast skal også analyseres i et utvalg av sedimentkjernene. Analyseresultatene er planlagt for rapportering i desember 2025.

6 - Konklusjoner

6.1 - Hydrokarboner

- Nivåer av PAH i overflatesedimenter er godt korrelert med sedimentkarakteristikk (kornstørrelse, TOC-innhold) og ligger meget lavt i grove sedimenter fra område NSJ-1 i Nordsjøen, noe høyere i finkornete sedimenter fra Utsira-området, og høyest i sedimenter fra Skagerrak der andel slam og TOC-innholdet også er høyest. Nivåene av PAH16 ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse I («Bakgrunn») i område NSJ-1, klasse II («God tilstand») i Utsira-område og mesteparten av Skagerrak, og klasse III («Moderat forurensset») ved én lokalitet i Skagerrak.
- I sedimentkjerner fra Nordsjøen og Skagerrak er det funnet en klar trend med forhøyet nivå av PAH16 i moderne sedimentlag fra siste ca. 100-150 år. Dette tolkes som tilførsler av pyrogene PAH knyttet til menneskelig påvirkning. En av kjernene fra Skagerrak viser høy sedimentasjonsrate som gjør at kun avsetning fra de siste ca. 25 årene er blitt studert.

6.2 - Persistente organiske miljøgifter

- Miljøgifter i denne gruppen er nesten utelukkende menneskeskapt, og stammer i marint miljø fra kilder knyttet til menneskelig aktivitet. Det er derfor funnet stort sett lave nivåer av de fleste av disse miljøgiftene i sedimenter fra åpent hav, forklart av langtransporterte tilførsler, og godt korrelert med sedimentkarakteristikk. Man finner dermed de laveste nivåene i område NSJ-1 i Nordsjøen og de høyeste nivåene i Skagerrak.
- Miljøgiftene PBDE, PCB og klorerte pesticider ligger alle i Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand», overalt.
- Miljøgiftene PFAS, dekloraner, alkylfenoler og BPA finner man i lave bakgrunnsnivåer i Nordsjøen, men i noe forhøyet nivå enkelte steder i Skagerrak. Nivåene ligger i tilstandsklasse III («Moderat forurensset») for PFOS og BPA ved én lokalitet i Skagerrak, og for PFOS også ved én lokalitet i Utsira-området. Nivåene ligger ellers i tilstandsklasse II («God tilstand»).
- Miljøgiftene PFR og klorerte parafiner finner man i lave nivåer i Skagerrak, tilsvarende tilstandsklasse II («God tilstand»). Nivåene ligger under kvantifiseringsgrensen eller rett over denne grensen i Nordsjøen. Siloksaner ligger under kvantifiseringsgrensen overalt.

7 - Referanser

- Ali, A., Langberg, H.A., Hale, S.E., Kallenborn, R., Hartz, W.F., Mortensen, Å.K., Ciesielski, T.M., McDonough, C.A., Munro Jenssen, B., Breedveld, G.D. 2021. The fate of poly- and perfluoroalkyl substances in a marine food web influenced by land-based sources in the Norwegian Arctic. *Environmental Science Processes and Impacts* 23, 588-604.
- Bakke, T., Klungsøyr, J., Sanni, S. 2013. Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine Environmental Research* 92, 154-169.
- Barber, J., Sweetman, A.J., van Wijk, D., Jones, K.C. 2005. Hexachlorobenzene in the global environment: Emissions, levels, distribution, trends and processes. *Science of the Total Environment* 349, 1-44.
- Berger, M., Löffler, D., Ternes, T., Heininger, P., Ricking, M., Schwarzbauer, J. 2016. The effect of distribution processes on the isomeric composition of hexachlorocyclohexane in a contaminated riverine system. *International Journal of Environmental Science and Technology* 13, 995-1008.
- Boitsov, S., Klungsøyr, J., Svandal, A., Meier, S. 2004. Gas chromatography-mass spectrometry analysis of alkylphenols in produced water from offshore oil installations as pentafluorobenzoate derivatives. *Journal of Chromatography A* 1059, 131-141.
- Boitsov, S., Petrova, V., Jensen, H.K.B., Kursheva, A., Litvinenko, I., Klungsøyr, J. 2013. Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments from southern and northern areas of the Norwegian continental shelf. *Marine Environmental Research* 87-88, 73-84.
- Boitsov, S., Klungsøyr, J. 2018. Undersøkelser av nye organiske miljøgifter i sedimenter fra Mareano-området. Rapport fra Havforskningen 37-2018, 27 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.
- Boitsov, S., Sanden, M. 2023. Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra Mareano-området i 2022. Rapport fra Havforskningen 2023-64, 54 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>
- Boitsov, S., Bruvold, A., Hanssen, L., Jensen, H.K.B., Ali, A. 2024. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in surface sediments of the North-east Atlantic Ocean: A non-natural PFAS background. *Environmental Advances* 16, 100545.
- Carlsson, P., Vrana, B., Sobotka, J., Borgå, K., Bohlin Nizzetto, P., Varpe, Ø. 2018. Investigation of new brominated and organophosphorous flame retardants in Svalbard benthic marine food web; FlammePlank. NIVA rapport 7261-2018, 29 s.
- Fenton, S.E., Ducatman, A., Boobis, A., DeWitt, J.C., Lau, C., Ng, C., Smith, J., Roberts, S.M. 2021. Per- and polyfluoroalkyl substance toxicity and human health review: Current state of knowledge and strategies for informing future research. *Environmental Toxicology and Chemistry* 40, 606-630.
- Glüge, J., Schinkel, L., Hungerbühler, K., Cariou, R., Bogdal, C. 2018. Environmental risks of medium-chain chlorinated paraffins (MCCPs): A review. *Environmental Science and Technology* 52, 6743-6760.

- Heldal, H.E., Varskog, P., Føyn, L. 2002. Distribution of selected anthropogenic radionuclides (^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{241}Am) in marine sediments with emphasis on the Spitsbergen-Bear Island area. *Science of the Total Environment* 293, 233–245.
- Ho, Q.T., Bank, M.S., Azad, A.M., Nilsen, B.M., Frantzen, S., Boitsov, S., Maage, A., Kögel, T., Sanden, M., Frøyland, L., Hannisdal, R., Hove, H., Lundebye, A.K., Nøstbakken, O.J., Madsen, L. 2021. Co-occurrence of contaminants in marine fish from the North East Atlantic Ocean: Implications for human risk assessment. *Environment International* 157, 106858.
- Jensen, H.K.B., Boitsov, S., Finne, T.E., Klungsøyr, J., Knies, J. 2009. Physical and chemical traces of anthropogenic influence at the seabed and in the sediments in Ingøydjupet, Southern Barents Sea. *Norwegian Journal of Geology* 89, 101-108.
- Kelly, B.C., Ikonou, M.G., Blair, J.D., Surridge, B., Hoover, D., Grace, R., Gobas, F.A.P.C. 2009. Perfluoroalkyl contaminants in an Arctic marine food web: trophic magnification and wildlife exposure. *Environmental Science and Technology* 43, 4037-4043.
- Klif. 2011. Organophosphorous flame retardants in Arctic biota. Klif rapport 1092/2011, TA2791-2011. 50 s. Tilgjengelig på <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2791/ta2791.pdf>
- Knies, J., Boitsov, S., Baeten, N.J., Elvenes, S., Bøe, R. 2021. Sedimentasjonsmiljø og historisk utvikling i forurensningsstatus i sjøområdene i kommunene Ålesund og Giske. NGU rapport 2021.018, 67 s. Tilgjengelig på <https://www.ngu.no/publikasjon/sedimentasjonsmiljo-og-historisk-utvikling-i-forurensningsstatus-i-sjoomradene-i-0>
- Longva, O., Thorsnes, T. 1997. Skagerrak in the Past and at the Present. An Integrated Study of Geology, Chemistry, Hydrography and Microfossil Ecology. NGU Special Publication No. 8, 98 s.
- Marvin, C.H., Painter, S., Tomy, G.T., Stern, G.A., Braekevelt, E., Muir, D.C.G. 2003. Spatial and temporal trends in short-chain chlorinated paraffins in Lake Ontario sediments. *Environmental Science and Technology* 37, 4561-4568.
- Meier, S., Karlsen, Ø., Le Goff, J., Sørensen, L., Sørhus, E., Pampanin, D.M., Donald, C.E., Fjellidal, P.G., Dunaevskaya, E., Romano, M., Caliani, I., Casini, S., Bøgevik, A.S., Olsvik, P.A., Myers, M., Grøsvik, B.E. 2020. DNA damage and health effects in juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) exposed to PAHs associated with oil-polluted sediment or produced water. *PLoS ONE* 15 (10), e0240307.
- Miljødirektoratet. 2013. Perfluorinated alkylated substances, brominated flame retardants and chlorinated paraffins in the Norwegian environment – screening 2013. Miljødirektoratets rapport M-40, 2013. 110 s. Tilgjengelig på <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M-40/M40.pdf>
- Miljødirektoratet. 2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota – revidert 30.10.2020. Miljødirektoratets rapport M-608, 2016. 13 s. Tilgjengelig på <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M608/M608.pdf>
- Neff, J.M. 2002. Bioaccumulation in marine organisms. Elsevier, Oxford. 452 s.
- OSPAR. 2009. Assessment of impacts of offshore oil and gas activities in the North-East Atlantic. OSPAR Commission 453/2009. 39 s.
- Powell, D.E., Durham, J., Huff, D.W., Böhmer, T., Gerhards, R., Koerner, M. 2010. Bioaccumulation and trophic

transfer of cyclic volatile methylsiloxane (cVMS) materials in the aquatic marine food webs of the Inner and Outer Oslofjord, Norway. Final Report, Dow Corning, HES Study no 11060–108. Tilgjengelig på http://www.epa.gov/oppt/tsca8e/pubs/8ehq/2010/feb10/8ehq_0210_17834a.pdf

Rayne, S., Forest, K. 2009. Perfluoroalkyl sulfonic and carboxylic acids: A critical review of physicochemical properties, levels and patterns in waters and wastewaters, and treatment methods. *Journal of Environmental Science and Health A - Toxic/hazardous substances & environmental engineering* 44(12), 1145-1199.

Rücker, C., Kümmerer, K. 2015. Environmental chemistry of organosiloxanes. *Chemical Reviews* 115(1), 466-524.

Ruus, A., Bæk, K., Rundberget, T., Allan, I., Beylich, B., Schlabach, M., Warner, N., Borgå, K., Helberg, M. 2019. Environmental contaminants in an urban fjord, 2018. NIVA rapport 7410-2019, 112 s.

Servos, M.R. 1999. Review of the aquatic toxicity, estrogenic responses and bioaccumulation of alkylphenols and alkylphenol polyethoxylates. *Water Quality Research Journal of Canada* 34(1), 123-177.

SFT. 2008a. Mapping selected organic contaminants in the Barents Sea 2007. SFT rapport 1021/2008, TA-2400/2008. 135 s. Tilgjengelig på <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2400/ta2400.pdf>

SFT. 2008b. Polybrominated diphenyl ethers and perfluorinated compounds in the Norwegian environment. SFT rapport 2450/2008. 45 s. Tilgjengelig på <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2450/ta2450.pdf>

Sverko, E., Tomy, G.T., Reiner, E.J., Li, Y.-F., McCarry, B.E., Arnot, J.A., Law, R.J., Hites, R.A. 2011. Dechlorane Plus and related compounds in the environment: a review. *Environmental Science and Technology* 45, 5088-5098.

Van der Veen, I., de Boer, J. 2012. Phosphorus flame retardants: properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. *Chemosphere* 88, 1119-1153.

Vorkamp, K., Rigét, F. 2014. A review of new and current-use contaminants in the Arctic environment: Evidence of long-range transport and indications of bioaccumulation. *Chemosphere* 111, 379-395.

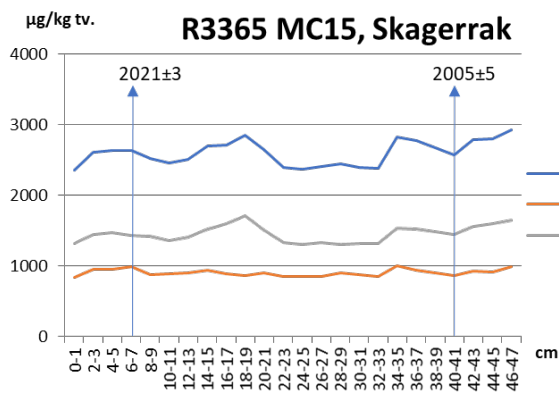
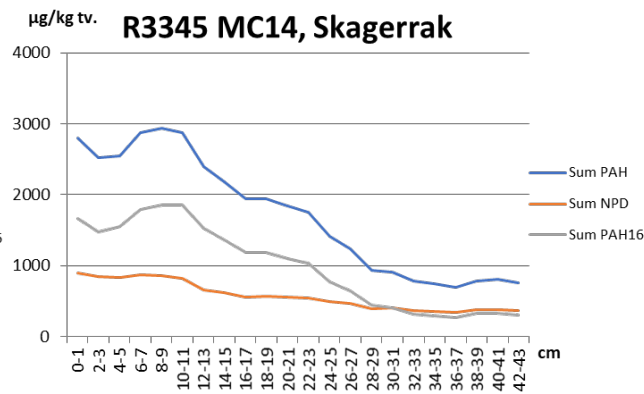
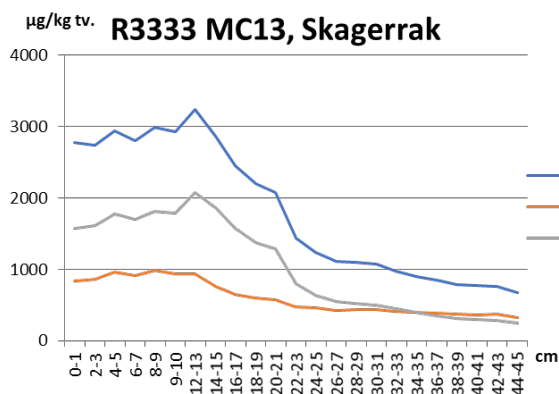
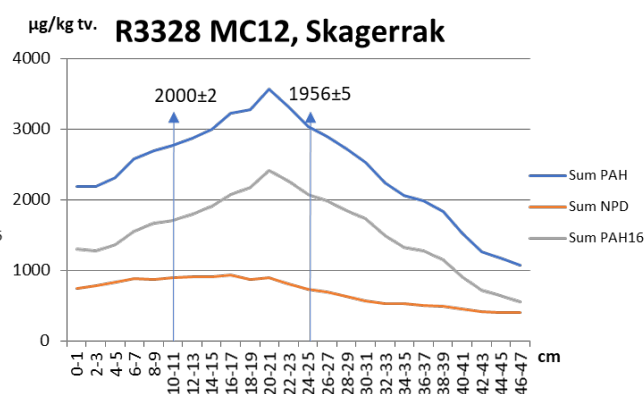
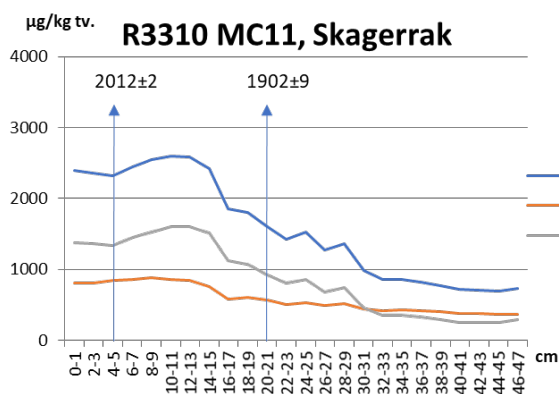
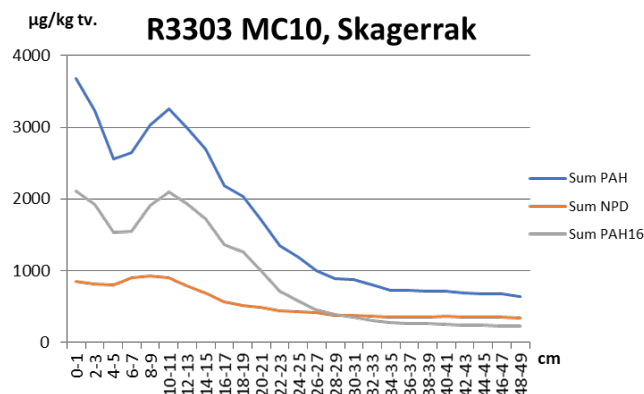
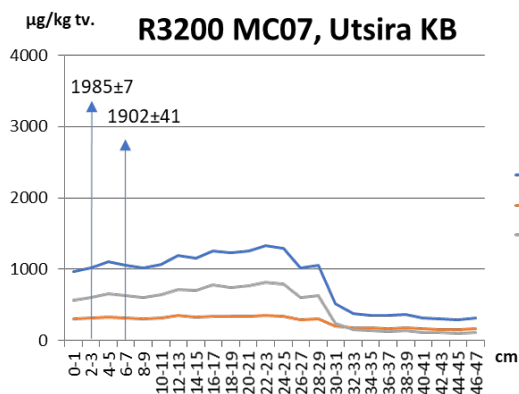
Wang, P., Zhang, Q., Zhang, H., Wang, T., Sun, H., Zheng, S., Li, Y., Liang, Y., Jiang, G. 2016. Sources and environmental behaviors of Dechlorane Plus and related compounds – a review. *Environment International* 88, 206-220.

Wang, Z., DeWitt, J.C., Higgins, C.P., Cousins, I.T. 2017. A never-ending story of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs)? *Environmental Science and Technology* 51, 2508-2518.

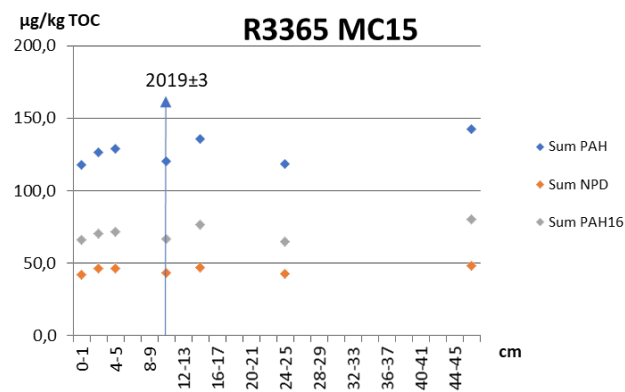
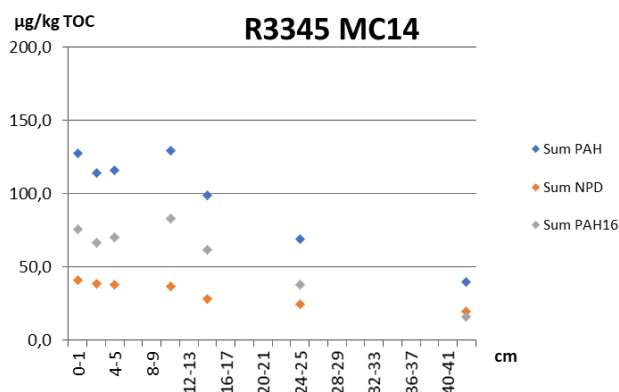
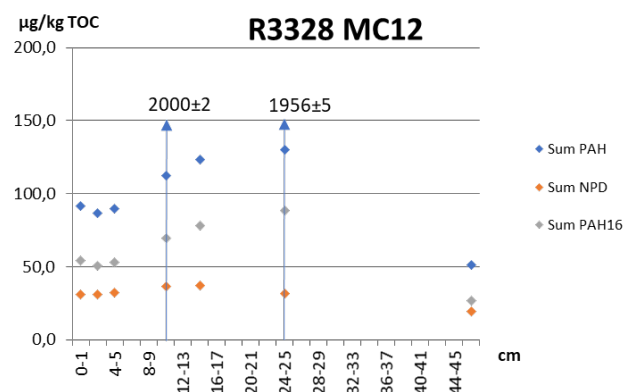
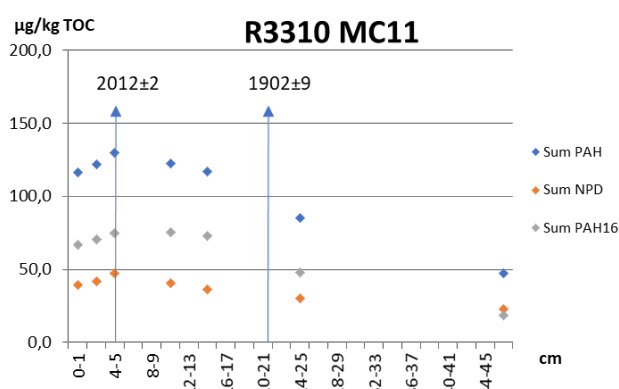
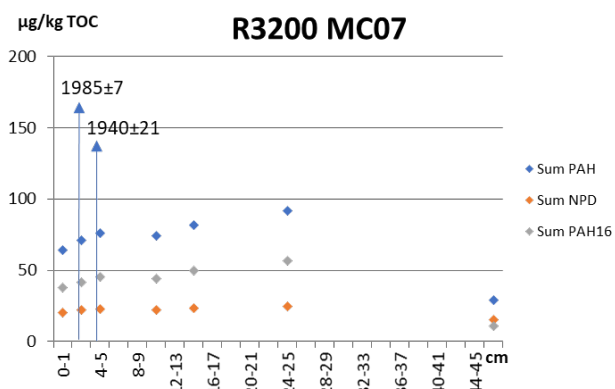
Zaborska, A., Carroll, J., Papucci, C., Torricelli, L., Carroll, M.L., Walkusz-Miotk, J., Pempkowiak, J. 2008. Recent sediment accumulation rates for the Western margin of the Barents Sea. *Deep-Sea Research II* 55, 2352–2360.

8 - Vedlegg

8.1 - Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i sedimentkjerner



8.2 - Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 korrigert for TOC





HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

Tlf: 55 23 85 00

E-post: post@hi.no

www.hi.no