



UNDERSØKELSER AV HYDROKARBONER OG ORGANISKE MILJØGIFTER I SEDIMENTER FRA MAREANO- OMRÅDET I 2022



Tittel (norsk og engelsk):

Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området i 2022

Hydrocarbons and organic contaminants in sediments from the MAREANO area in 2022

Rapportserie:

Rapport fra havforskningen

ISSN:1893-4536

År - Nr.:

2023-64

Dato:

19.12.2023

Forfatter(e):

Stepan Boitsov 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:

58

Sammendrag (norsk):

Havforskningsinstituttet har gjennomført målinger av hydrokarboner (PAH) i sedimenter fra 22 lokaliteter i MAREANO-området, inkludert 14 sedimentkjerner. I overflatesedimenter ble det i tillegg målt totalt hydrokarbon innhold (THC), bromerte flammehemmere (PBDE), klorerte miljøgifter (PCB og pesticider) og ved syv lokaliteter også «nye» organiske miljøgifter (PFAS, alkylfenoler, dekloraner, fosfororganiske flammehemmere (PFR), klorparafiner og siloksaner). Prøvene var innsamlet i 2022 i områdene rundt Svalbard og i Nordsjøen og Skagerrak. Naturlig høye nivåer av hydrokarboner ble funnet ved Svalbard, mens noe lavere nivåer ble funnet i Nordsjøen og Skagerrak. Benzo[*a*]pyren og PAH16 var i Miljødirektoratets klasse I («Bakgrunn») eller II («God tilstand») ved Svalbard, og i tilstandsklasse II i Nordsjøen og Skagerrak. PAH-konsentrasjonsprofiler i kjernene tydet for det meste på tilførsler av pyrogene PAH i moderne sedimentlag i Nordsjøen, knyttet til antropogen påvirkning. Ved Svalbard viser konsentrasjonsprofilene stabilt høye nivåer av petrogene PAH (NPD) gjennom hele kjernen, noe som forklares av naturlige tilførsler lokalt. Nivåene av menneskeskapt organiske miljøgifter av alle typer listet ovenfor var lave eller meget lave. Nivåene var som regel høyere i Skagerrak og Nordsjøen enn ved Svalbard. Unntakene var PFAS, som det ikke er funnet noe vesentlig forskjell i nivåene for mellom de to områdene, og HCB, som er funnet i større mengder i nord. Nivåene tilsvarte Miljødirektoratets klasse II for de stoffene som det er etablert tilstandsklasser for, med unntaket av PFOS som var i tilstandsklasse III («Moderat») ved fem lokaliteter.

Sammendrag (engelsk):

Institute of Marine Research has analysed hydrocarbons (PAH) in sediments from 22 locations in the MAREANO area, including 14 sediment cores. Total hydrocarbon contents (THC), brominated flame retardants (PBDE), chlorinated contaminants (PCB and pesticides) and at seven locations also emerging organic contaminants (PFAS, alkylphenols, dechloranes, phosphorus flame retardants (PFR), chlorinated paraffins, siloxanes) were analysed in surface sediments only. The samples were collected in 2022 in the regions around Svalbard and in the North Sea and the Skagerrak. Naturally high levels of hydrocarbons were found at Svalbard, while somewhat lower levels were found in the North Sea and the Skagerrak. Benzo[*a*]pyrene and PAH16 were in the Norwegian Environmental Agency's class I ("Background") or class II ("Good condition") at Svalbard, and in class II everywhere in the North Sea and the Skagerrak. PAH concentration profiles in sediment cores from the North Sea showed an increase in the levels of pyrogenic PAH in modern times due to anthropogenic impact. At Svalbard, the concentration profiles of petrogenic PAH (NPD) were stable and high through the whole core due to local natural inputs. The levels of all the anthropogenic contaminants listed above were low or very low. The levels were as a rule higher in the North Sea and the Skagerrak than at Svalbard. The exceptions were PFAS, for which no differences in the levels between the two areas were found, and HCB, which was found in higher amounts in the north. 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 ("Moderate") at five locations.

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	10
2.2.1	<i>Sedimentstudier</i>	10
2.2.2	<i>Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og andre hydrokarboner</i>	10
2.2.3	<i>Polybromerte difenyletere (PBDE)</i>	12
2.2.4	<i>Polyklorerte bifenyler (PCB) og organiske klorerte pesticider (OCP)</i>	13
2.2.5	<i>Nye organiske miljøgifter</i>	15
3	Metoder	20
3.1	Prøvetaking	20
3.2	Analysemetoder	24
3.2.1	<i>PAH og THC i sedimenter</i>	24
3.2.2	<i>PBDE og klorerte miljøgifter i sedimenter</i>	24
3.2.3	<i>Nye organiske miljøgifter</i>	25
4	Resultater	26
4.1	4.1 Nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter	26
4.2	PAH i sedimentkjerner	33
4.3	Nivåer av PBDE i overflatesedimenter	35
4.4	Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter	37
4.5	Nivåer av nye organiske miljøgifter i overflatesedimenter	41
4.5.1	<i>Nivåer av PFAS i overflatesedimenter</i>	41
4.5.2	<i>Nivåer av alkylfenoler i overflatesedimenter</i>	43
4.5.3	<i>Nivåer av dekloraner i overflatesedimenter</i>	45
4.5.4	<i>Nivåer av klorparafiner i overflatesedimenter</i>	47
4.5.5	<i>Nivåer av PFR i overflatesedimenter</i>	47
4.5.6	<i>Nivåer av siloksaner i overflatesedimenter</i>	47
5	Planlagt arbeid	48
6	Konklusjoner	49
6.1	Hydrokarboner	49
6.2	Persistente organiske miljøgifter	49
7	Referanser	50
8	Vedlegg	54
8.1	Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i sedimentkjerner	54
8.2	Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 korrigert for TOC	56

1 - Liste over forkortelser brukt i rapporten

ASE	Engelsk: <i>Accelerated Solvent Extraction</i>
BPA	Bisfenol A
BX	Bokscorer
DDD	Diklordifenyldikloretan
DDE	Diklordifenyldikloretylen
DDT	Diklordifenyltrikloretan
∑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	Heksaklorsykhloheksaner
∑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>)
MAREANO	Engelsk: <i>Marine AREA database for NORwegian waters</i>
MC	Multicorer
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 bifenyler
PCB7	Summen av PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153 og PCB180
PFAS*	Per- og polyfluorerte alkylerte stoffer

ASE	Engelsk: <i>Accelerated Solvent Extraction</i>
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 i MarChem-database 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 «Kronprins Haakon» i juni-juli 2022 i Kvitøyrenna og i Nordishavet nord for Svalbard (tokt 2022708), med innleid irsk forskningsfartøy «Celtic Explorer» i august-september 2022 i områdene vest og nord for Svalbard og i Kvitøyrenna (tokt 2022846), og med forskningsfartøyet «G.O. Sars» (figur 1) i oktober 2022 i Utsira-området i Nordsjøen og i østlige deler av Skagerrak (tokt 2022118).

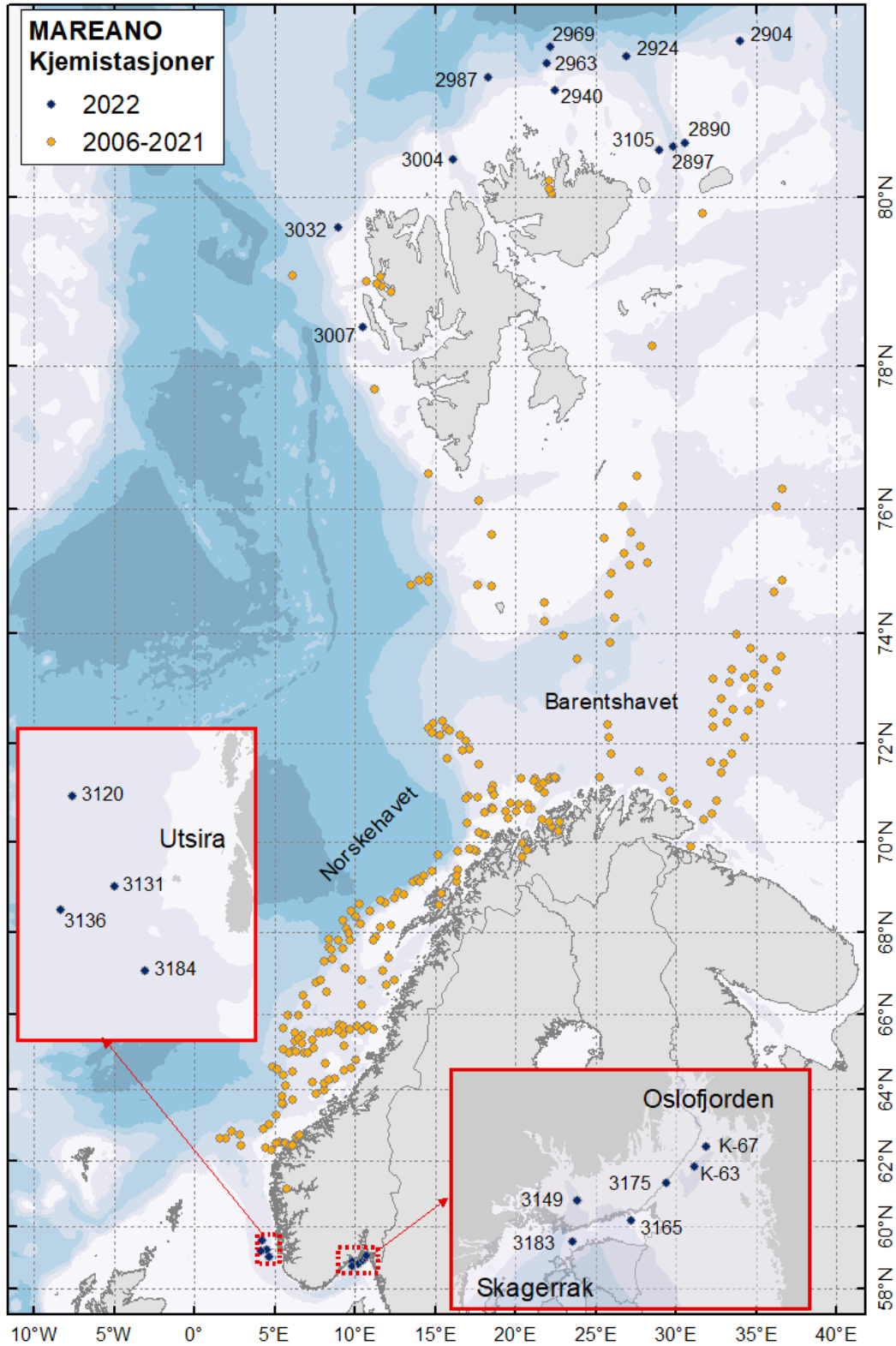
Prøvetakingslokalitetene er vist i figur 2.



Figur 1. "G.O. Sars" – forskningsfartøyet som benyttes til de fleste MAREANO-toktene. Foto: Kjartan Mæstad, Havforskningsinstituttet.

Innsamling av sedimentprøver ble utført i samarbeid mellom geokjemikere fra Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Havforskningsinstituttet. Havforskningsinstituttet analyserte prøvene for innhold av hydrokarboner, klorerte og bromerte organiske miljøgifter, og alkylfenoler, mens analyser av andre organiske miljøgifter («nye 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 2023.



Figur 2. Prøvetakingslokaliteter for sedimenter i MAREANO-området. Stasjonene hvor det ble tatt prøver i 2022 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

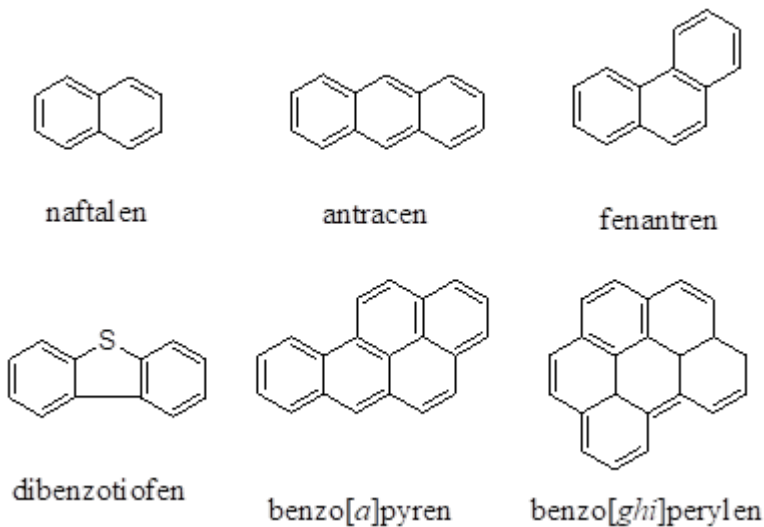
2.2.1 - Sedimentstudier

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 bygger "dybdeprofiler" av nivåene i kjernen, kan man korrigere mot mengde TOC for å undersøke om endringer i nivåene forklares kun av 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.

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

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

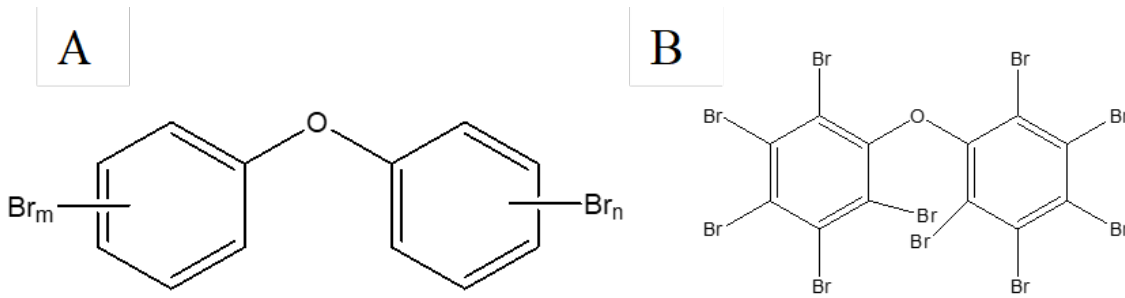
Tilstandsklasse	Klasse I Bakgrunn	Klasse II God	Klasse III Moderat	Klasse IV Dårlig	Klasse V Svært dårlig
Benzo[<i>a</i>]pyren, µg/kg tv.	<6	6–183	183–230	230–13100	> 13100
PAH16, µg/kg tv.	<300	300-2000	2000-6000	6000-20000	>20000

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 (kongener) 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 miljøkvalitetsstandarder (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.

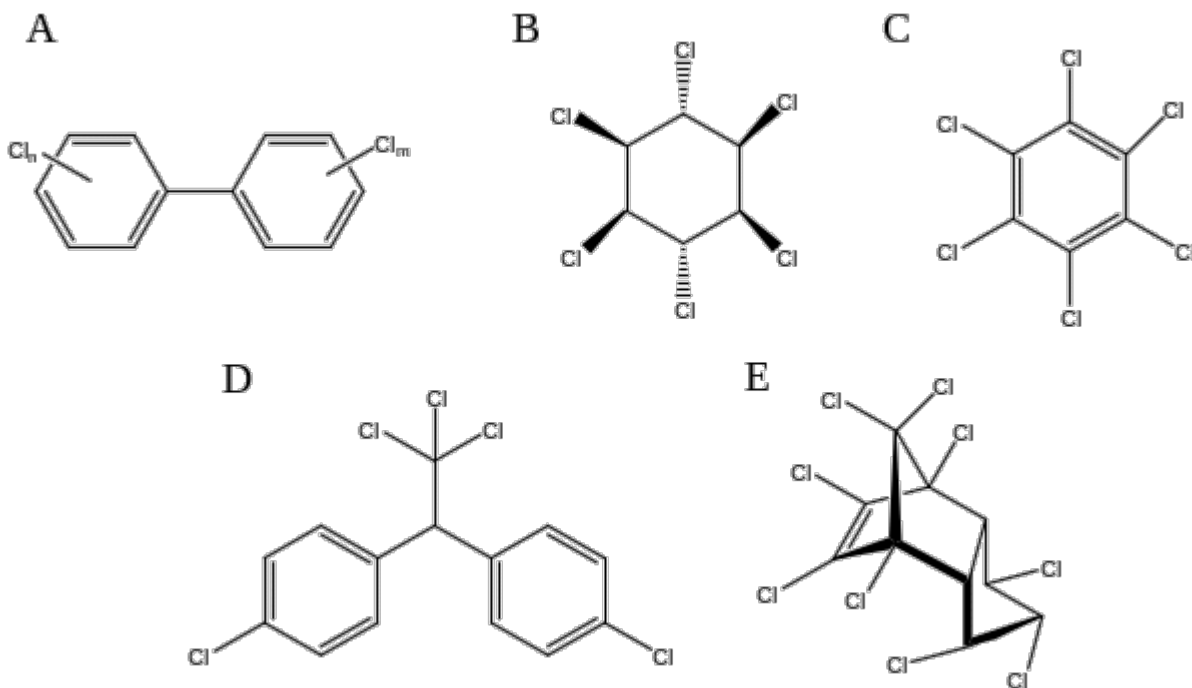
2.2.4 - Polyklorerte bifenyler (PCB) og organiske klorerte pesticider (OCP)

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 på 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 og 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 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 menneskeskaptene 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 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ 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 polyfluorinated alkylated 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). De produseres for bruk i en rekke ulike produkter, blant annet 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). 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, alkylfenoletoksylder 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 alkylfenoletoksylder 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 basert på EQS (Miljødirektoratet 2016). Miljødirektoratets klassifisering er i utgangspunktet utviklet for fjord- og havneområder, men kan fungere som en nyttig pekepinn for vurdering av miljøtilstanden også i åpent hav. 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>Perfluorpentansulfonat</i>	PFPS
	<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
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>Tripropylfosfat</i>	TPrP
	<i>Tris(2-klorisopropyl)fosfat (3 isomerer)</i>	TCIPP
	<i>Triisobutylfosfat</i>	TiBP
	<i>Butyldifenylfosfat</i>	BdPhP

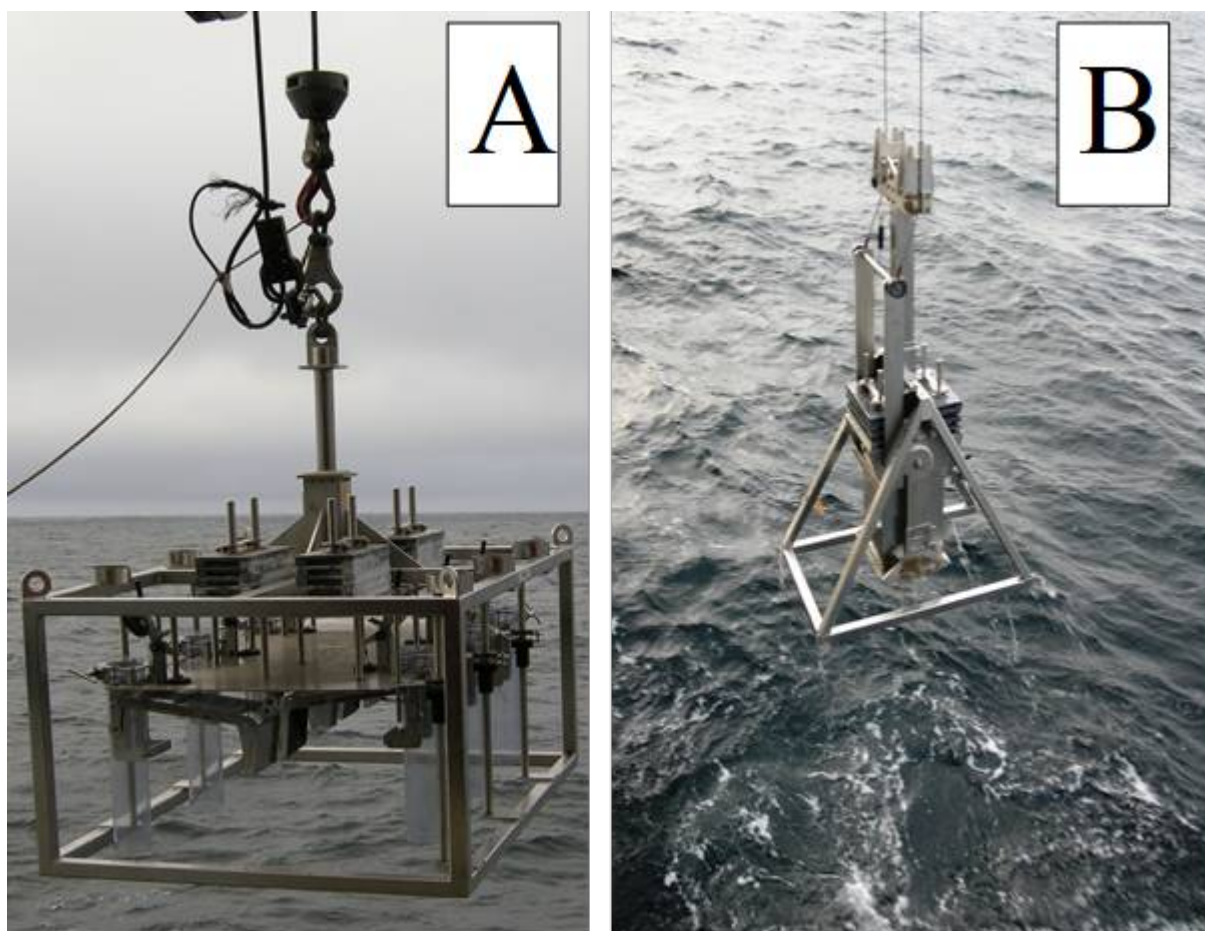
Stoffgruppe	Enkeltforbindelser	Forkortelse
	<i>Trifenylofosfat</i>	TPHP
	<i>Dibutylfenylfosfat</i>	DBPhP
	<i>Tri-n-butylfosfat</i>	TnBP
	<i>Tris(1,3-diklor-2-propyl)fosfat</i>	TDCIPP
	<i>Tris(2-butoksyetyl)fosfat</i>	TBOEP
	<i>Trikresylfosfat</i>	TCP
	<i>2-Etylheksyldifenylfosfat</i>	EHDP
	<i>Triksylylfosfat</i>	TXP
	<i>Tris(2-etylheksyl)fosfat</i>	TEHP
	<i>Tris(isopropylfenyl)fosfat</i>	TIPPP
	<i>2-Isopropylfenyldifenylfosfat</i>	2-IPDPP
	<i>4-Isopropylfenyldifenylfosfat</i>	4-IPDPP
	<i>Bis(4-isopropylfenyl)fenylfosfat med isomerer</i>	B4IPPPP
Siloksaner	<i>Oktametylsyklusotetrasiloksan</i>	D4
	<i>Dekametylsyklusopentasiloksan</i>	D5
	<i>Dodekametylsyklusohexasiloksan</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>
	<i>Dekloran pluss (syn+anti)</i>	DP

3 - Metoder

3.1 - Prøvetaking

Detaljert metodebeskrivelse for prøvetaking av sedimentprøver i MAREANOs Kjemi-program 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 kuttes 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», «BX» 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.

Tabell 7. Prøvetakingslokaliteter under MAREANO-tokt i 2022 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 ^a	PBDE, PCB, OCP ^a	Alkylfenoler ^a	Nye miljøgifter ^a	TOC	²¹⁰ Pb
R2890	GR026	22.06.2022	Kvitøyrenna	80°34.17'	30°33.47'	161	2	1	1	-	-	-	+	-
R2897	MC01	23.06.2022	Kvitøyrenna	80°31.62'	29°51.06'	500	42	21	1	1	-	-	+	+
R2904	GR043	25.06.2022	SK09	81°32.94'	34°02.29'	244	2	1	1	1	-	-	+	-
R2924	BX02	28.06.2022	SK08	81°24.36'	26°57.22'	866	2	-	-	-	1	1	-	-
R2924	MC02	28.06.2022	SK08	81°24.58'	26°57.23'	878	37	18	1	1	-	-	+	+
R2940	MC03	01.07.2022	RF Midtre	81°05.56'	22°27.74'	222	17	9	1	1	-	-	+	-
R2963	MC04	03.07.2022	SK07	81°20.85'	21°59.49'	458	38	18	1	1	-	-	+	+
R2969	BX03	04.07.2022	RF Ytre	81°29.70'	22°10.00'	855	2	-	-	-	1	1	-	-
R2969	MC05	04.07.2022	RF Ytre	81°29.76'	22°11.64'	851	35	17	1	1	-	-	+	+
R2987	MC06	06.07.2022	SK06	81°12.47'	18°17.91'	448	42,5	21	1	1	-	-	+	+
R3004	BX04	08.07.2022	SK05	80°23.88'	16°06.73'	416	2	-	-	-	1	1	-	-
R3004	B X 03	30.08.2022	SK05	80°23.87'	16°06.74'	421	42	21	1	1	-	-	+	+
R3007	GR01	25.08.2022	Prins Karls Forland	78°29.58'	10°31.28'	107	2	1	1	-	-	-	-	-
R3032	BX01	29.08.2022	SK04	79°39.68'	8°57.72'	419	2	-	-	-	1	1	-	-
R3032	BX02	29.08.2022	SK04	79°39.68'	8°57.71'	420	22	11	1	1	-	-	+	-
R3105	BX04	12.09.2022	Kvitøyrenna	80°29.86'	28°57.06'	374	2	-	-	-	1	1	-	-
R3105	BX05	12.09.2022	Kvitøyrenna	80°29.79'	28°57.07'	371	38	1	1	1	-	-	+	-
R3120	MC10	15.10.2022	Utsira	59°33.10'	4°16.54'	263	35	1	1	1	-	-	+	-
R3131	MC11	17.10.2022	Utsira	59°17.02'	4°31.40'	266	36	1	1	-	-	-	+	-

R3136	MC12	18.10.2022	Utsira	59°12.87'	4°12.27'	275	41	20	1	1	-	-	+	+
R3149	MC13	21.10.2022	NS04	58°52.95'	9°52.76'	279	51	1	1	1	-	-	+	-
R3165	BX9	22.10.2022	NS04	58°48.77'	10°14.82'	166	2	-	-	-	1	1	-	-
R3165	MC14	22.10.2022	NS04	58°48.77'	10°14.82'	166	40	20	1	1	-	-	+	-
R3175	MC15	23.10.2022	NS04	58°56.77'	10°29.15'	159	48	24	1	1	-	-	+	-
K63	MC16	25.10.2022	Oslofjord	59°00.13'	10°40.77'	460	49	24	1	1	-	-	-	-
K67	MC17	25.10.2022	Oslofjord	59°04.45'	10°45.42'	110	41	1	1	1	-	-	-	-
R3183	MC18	27.10.2022	NS04	58°44.40'	9°50.80'	409	47	23	1	1	-	-	+	+
R3184	BX13	29.10.2022	Utsira	59°01.89'	4°41.93'	277	2	-	-	-	1	1	-	-
R3184	MC19	29.10.2022	Utsira	59°01.90'	4°41.93'	277	47	24	1	1	-	-	+	-

^a Overflateprøve.

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 heksanløsning) 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 heksanløsning) 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 (*Accelerated Solvent Extraction*). 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 fraksjonerer 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 koelivering. 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 ¹³C-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

Nye organiske miljøgifter analyseres av NILU som får frosne prøver tilsendt fra HI.

PFAS. Tørkede sedimentprøver (ca. 2 g) ble tilsatt ¹³C-merkede internstandarder og 1 g vann. Deretter ble 1 mL 200 mM NaOH i metanol tilsatt. Etter 30 minutter ble 100 µL 2M HCl tilsatt før prøven ble ekstrahert på ultralydbad med metanol. Metanolekstraktet ble deretter oppkonsentrert og ekstraktet renses opp med aktivt kull før tilsetning av gjenvinningsstandard. Prøven ble analysert på UPLC-MS/MS, se flere detaljer i Hanssen et al. 2013. Det rapporteres resultater for 24 PFAS listet opp i tabell 6, hvorav 23 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.

Klorparafiner og dekloraner. Prøvene ble, ved behov, tørket før tilsetning av internstandarder og tatt til Soxhlet-ekstraksjon med aceton/heksan. Prøvene ble deretter behandlet med kobber, vasket med syre og renses 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 renses 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 etoksylyater og BPA. Tørkede sedimentprøver (ca. 20 g tørrvekt) ble tilsatt interne standarder (¹³C-merket for alkylfenol etoksylyater, 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. Enkeltopper ble indentifisert og kvantitert for 4-*tert*-oktylfenol, 4-*tert*-oktylfenol etoksylyater og BPA, mens 4-nonylfenol og 4-nonylfenol etoksylyater ble kvantitert som cluster av topper og rapportert som summen av isomerer.

4 - Resultater

4.1 - 4.1 Nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter

Oppsummering av hydrokarbonnivåene funnet i overflateprøvene fra 22 lokaliteter undersøkt i 2022 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 22 lokaliteter undersøkt i 2022. 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.	%		
Svalbard-område							
Min.	12	15	501	341	147	4,5	0,45
Gjennomsnitt		31	2195	1459	634	21	1,4
Maks.		53	3976	2474	1208	44	2,1
Nordsjøen og Skagerrak							
Min.	10	15	979	264	578	43	1,3
Gjennomsnitt		30	1800	534	1018	90	1,7
Maks.		43	2500	823	1355	147	2,3

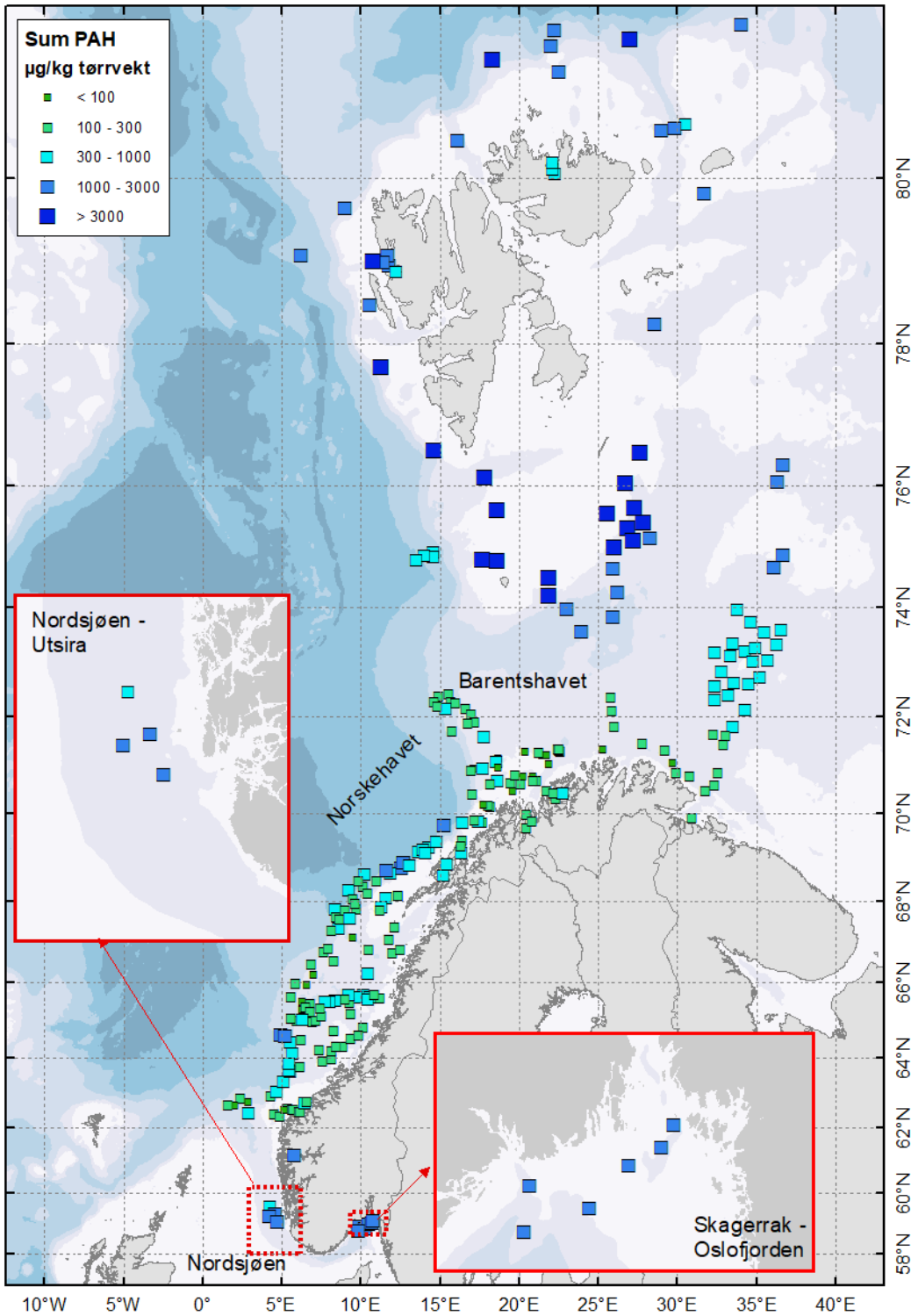
^a – THC: totalt hydrokarboninnhold.

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

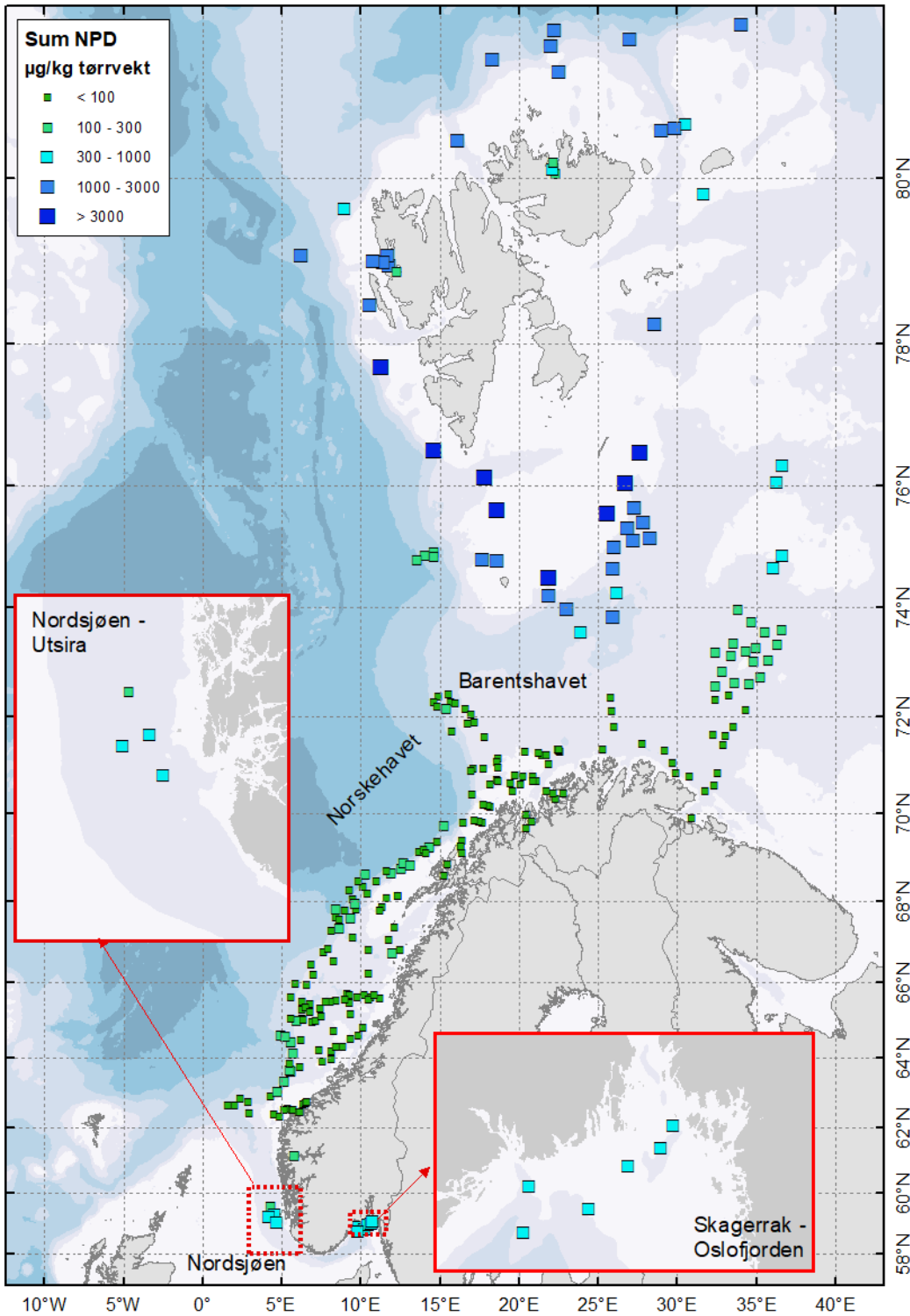
^c – TOC: totalt organisk karbon innhold. Rapportert av NGU for 11 lokaliteter i Svalbard-område og 8 lokaliteter i Nordsjøen og Skagerrak.

Områdene undersøkt av MAREANO i 2022 (se detaljert stasjonsoversikt gitt i tabell 7) kan deles i to grupper, som skilles fra hverandre geografisk og har til dels forskjellige kilder for hydrokarboner. Resultater av hydrokarbonmålinger er vist i tabell 8 fordelt etter disse to gruppene, med 12 stasjoner i områdene rundt Svalbard og ti stasjoner i Nordsjøen og Skagerrak (se stasjonsplassering i figur 2).

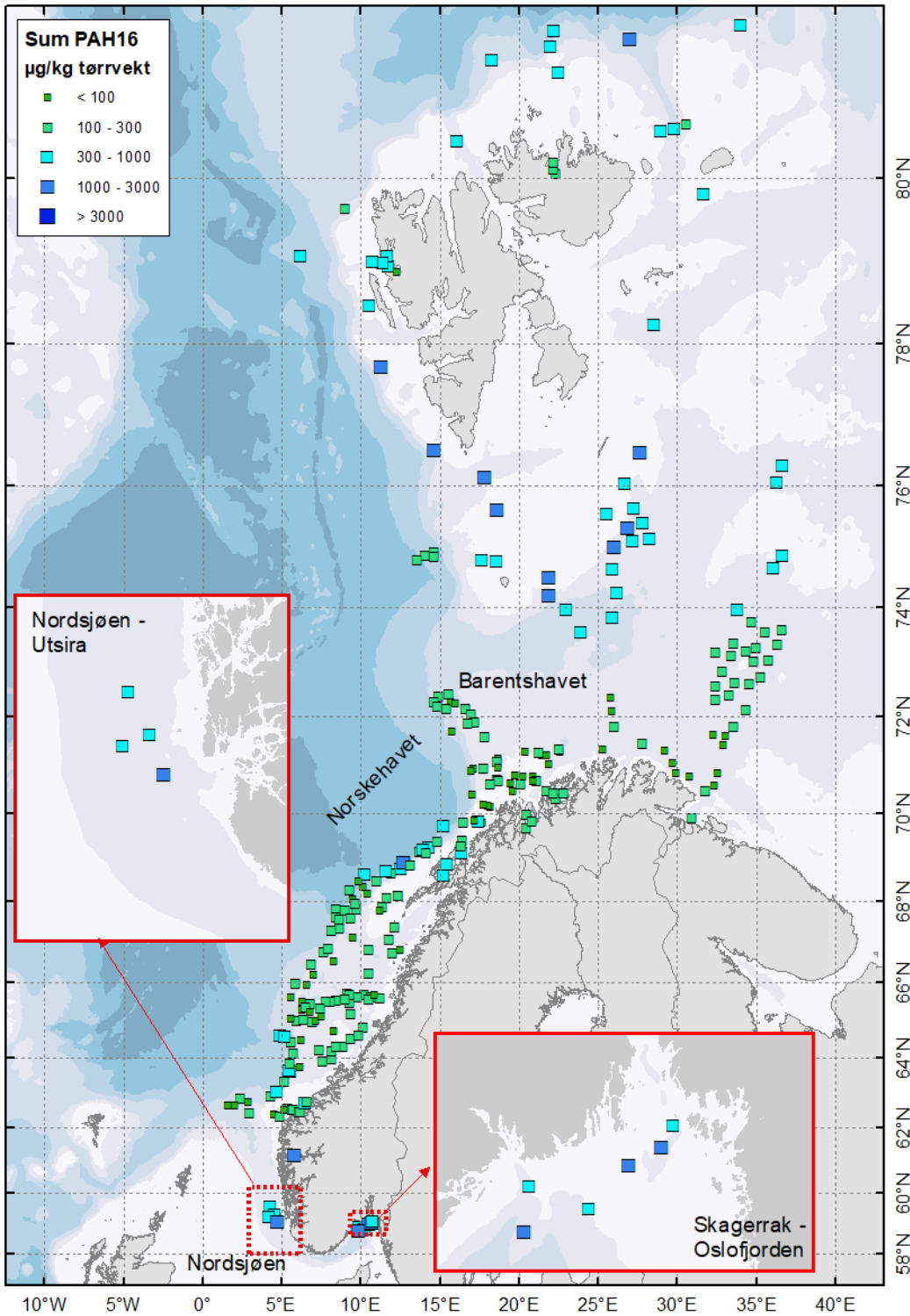
Det er funnet en signifikant lineær korrelasjon mellom totalt hydrokarbon innhold (THC) og totalt organisk karbon innhold (TOC%) for samtlige prøver ($p < 0,001$), men kun en svak korrelasjon mellom summerte PAH-nivåer og TOC% ($p = 0,046$), som vist i figur 11 under. Dette tyder på at THC-nivåene betinges i stor grad av tilførsler av organisk karbon til sedimentene, mens det kan være et mer nyansert bilde for kilder av PAH-sammensetningen i sedimentene.



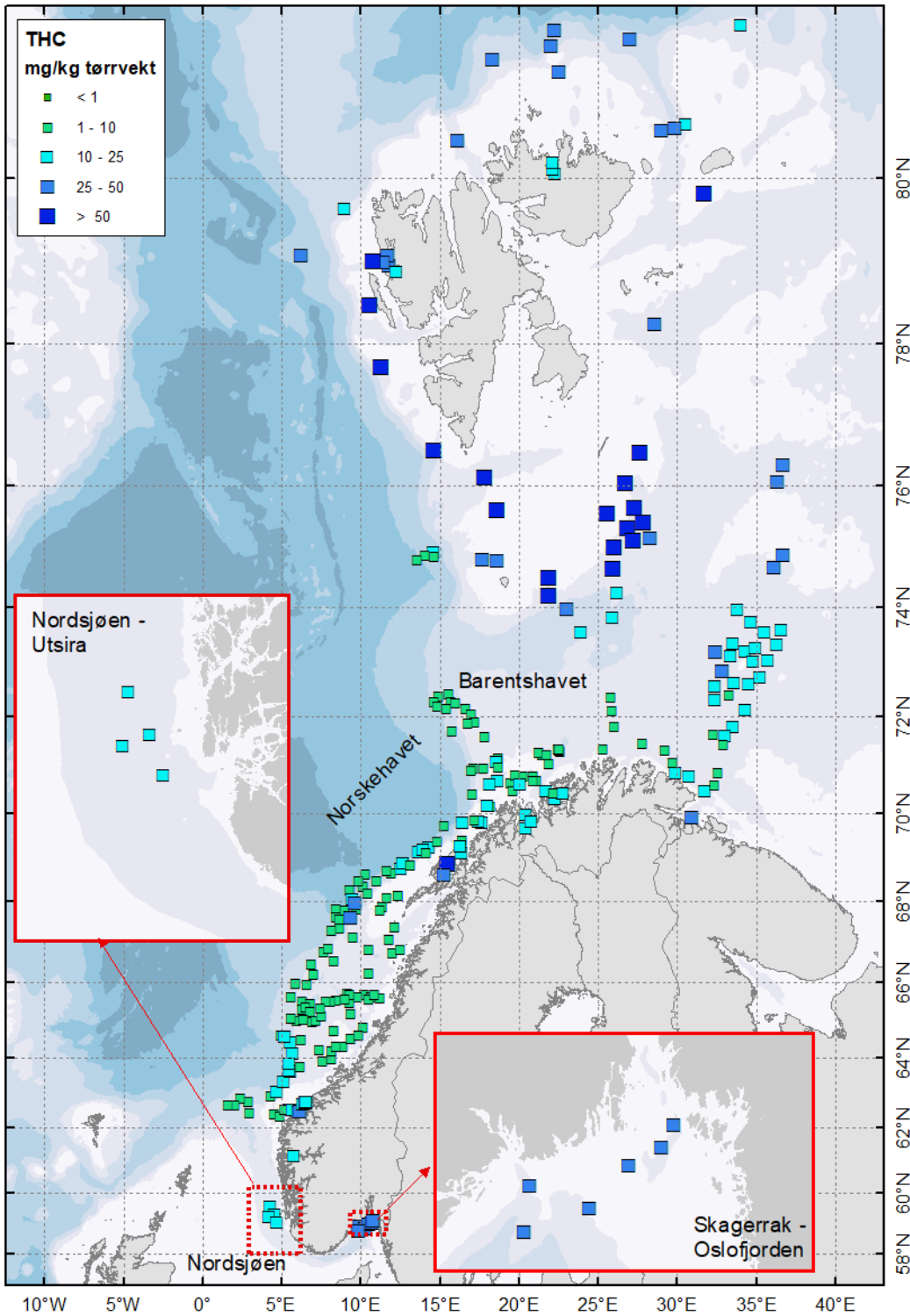
Figur 7. Summerte nivåer av 49 PAH i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.



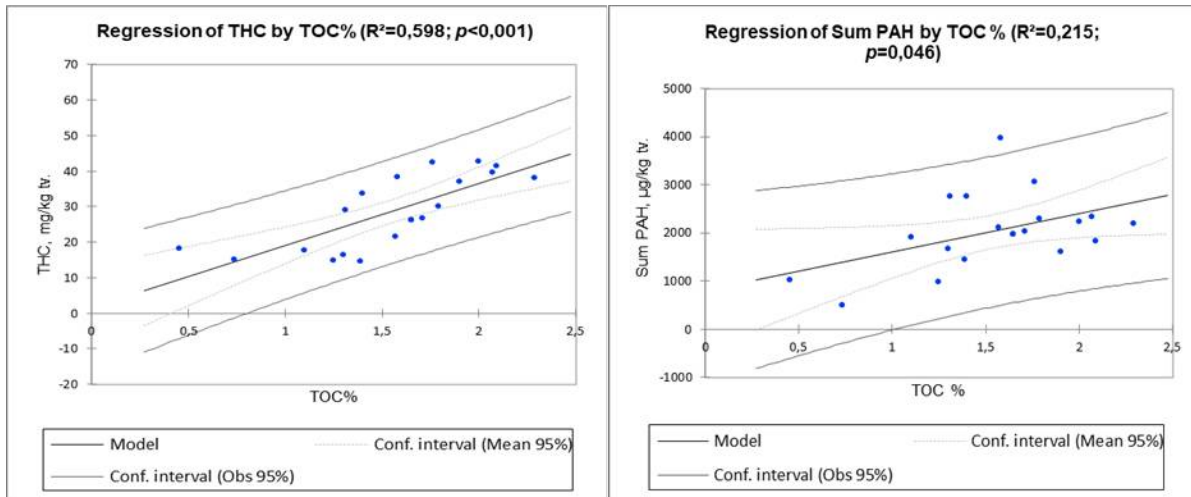
Figur 8. NPDA-nivåer i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2. (NPDA: Summen av naftalen, fenantren, dibenzotiofen og deres alkylerte homologer).



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%.

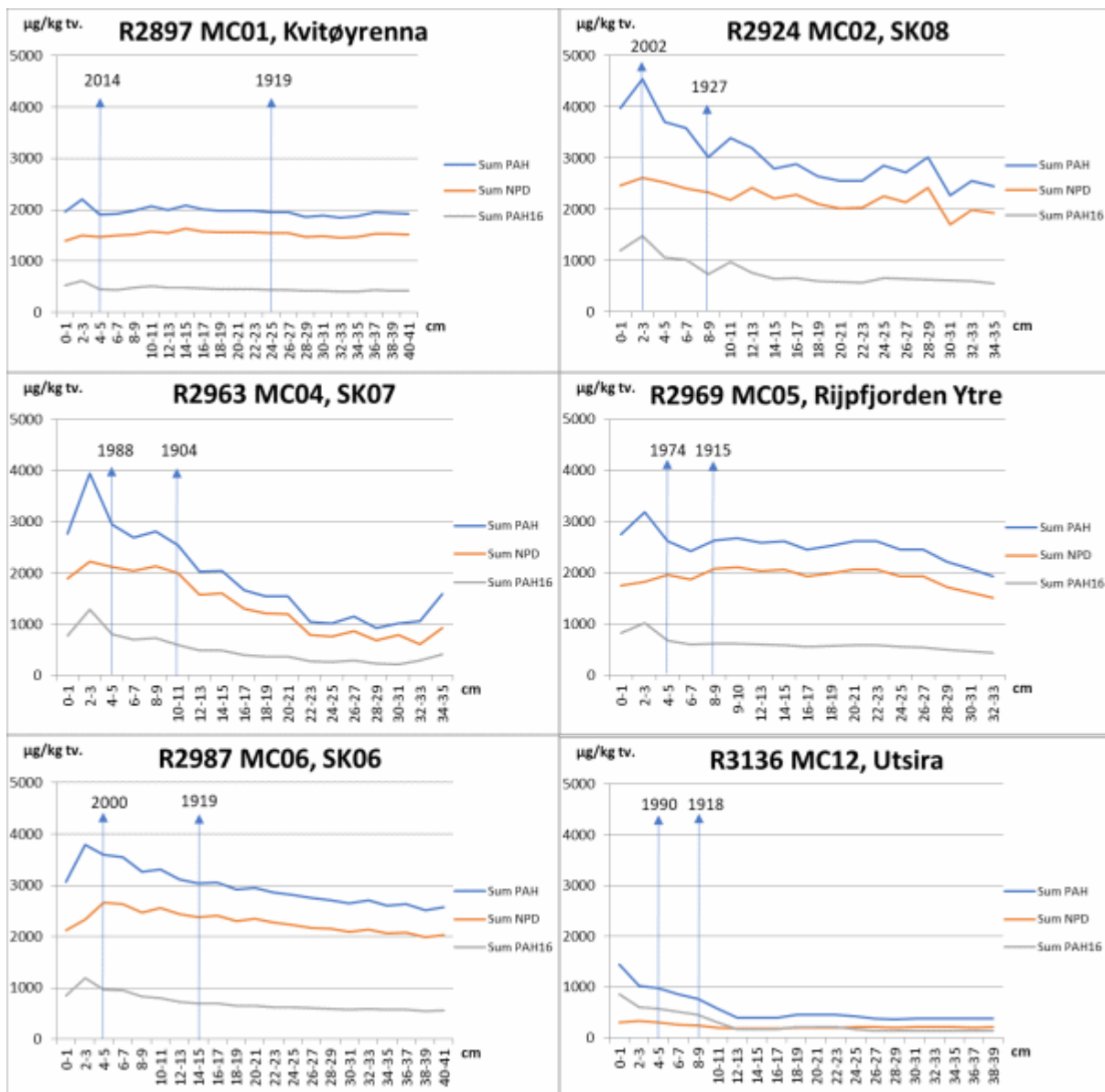
Det er mye variasjon i TOC-innholdet i sedimentene fra områdene rundt Svalbard undersøkt i 2022, mellom 0,45% og 2,1% TOC for de 11 lokalitetene hvor TOC-innholdet ble målt. Dette betinger til en viss grad PAH-nivåene i prøvene, med de laveste nivåene funnet i prøver med lavest TOC-innhold (under 1% TOC), ved stasjonene R2890 og R3032. Her finner man bl.a. nivåer av PAH16 og benzo[*a*]pyren tilsvarende Miljødirektoratets tilstandsklasse I («Bakgrunn»), mens ved alle de andre lokalitetene som har høyere TOC-innhold ligger disse stoffene i tilstandsklasse II («God tilstand»). I prøver fra alle de 12 lokalitetene i dette området domineres PAH-sammensetningen av NPD. Dette er i samsvar med tidligere undersøkelser av områdene rundt Svalbard og i vestlige deler av Barentshavet, hvor det finnes naturlige tilførsler av petrogene hydrokarboner fra både oljeutsvinger fra havbunnen og fra erosjon av kullholdige bergarter fra Svalbard (Mattingsdal 2021; Boitsov mfl. 2022). NPD-nivåene funnet i 2022 nord for Svalbard (figur 8) ligger på sitt maksimale ved stasjon R2924 litt under 2500 µg/kg tv., som er noe lavere enn det som tidligere ble funnet enkelte andre steder sør og øst for Svalbard, se Boitsov mfl. 2022 og miljøkjemirapporter på mareano.no fra tidligere år. THC-nivåene er i gjennomsnitt også noe lavere enn tidligere funnet i områdene rundt Svalbard, 31 mg/kg tv. for de 12 prøvene innsamlet i 2022 (figur 10). Det høyeste THC-nivået funnet i 2022, 53 mg/kg tv., er fra stasjon R3007 vest for Prins Karls Forland, tidligere utpekt av Oljedirektoratet som en lokalitet med kjent utsving av olje fra havbunnen. Det er hundrevis av naturlige gass- og oljeutsvinger på havbunnen som er avdekket rundt Svalbard og i Barentshavet (Mattingsdal 2021). I dette tilfellet er THC-nivået moderat forhøyet, mens NPD-nivåene ligger her på 1365 µg/kg tv., som er litt under gjennomsnittet på 1469 µg/kg tv. for de 12 lokalitetene undersøkt i 2022. Slike moderat forhøyete nivåer av NPD og THC tyder på at det ikke er store mengder av olje fra den lokale oljeutsvingen i prøven.

Sedimenter fra Nordsjøen og Skagerrak har mindre variasjon i TOC-innholdet enn prøvene fra Svalbard-område. Her er det relativt høyt TOC-innhold, mellom 1,3% og 2,3% TOC på de 8 lokalitetene hvor dette ble målt. Sammensetningen av PAH i prøvene er her helt forskjellig fra Svalbard-område, med lave eller kun svakt forhøyete NPD-nivåer, 534 µg/kg tv. i gjennomsnitt. NPD-nivåer er ca. 1,5 - 3 ganger lavere enn nivåer av PAH16 i samme prøver. Dette tyder på mer bidrag fra forbrenningsrelaterte kilder i dette området. PAH16 og benzo[*a*]pyren ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand», ved alle lokaliteter i Nordsjøen og Skagerrak. THC-nivåene er noe forhøyet, med 31 mg/kg tv. i gjennomsnitt og 43 mg/kg tv. på sitt maksimale, og er tydelig høyere i Skagerrak enn i Nordsjøen (figur 10). Dette kan tyde på noe høyere belastning fra stor trafikk

i området enn i åpent hav i Nordsjøen, men kan også være delvis forårsaket av naturlig avrenning fra kysten.

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, med unntaket av de to kjernene hvor datering var upålitelig på grunn av høy bioturbasjon (se diskusjon under). Dybdeprofiler for alle kjerner 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. Datering er vist for utvalgte kjernesnitt. Områdenavn er angitt i samsvar med tabell 7.

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 sedimentkjerner fra Svalbard-område (se eksempler i de første fem

plottene i figur 12), domineres PAH-nivåene av NPD gjennom hele kjerner, mens PAH16 ligger mye lavere. Som forklart i seksjon 4.1, skyldes dette naturlige kilder for petrogene PAH i Barentshavet, og PAH-dybdeprofiler i sedimentkjerner bekrefter dette. Selv om det er en antydning til noe økning i PAH16-nivåene i enkelte kjerner fra områdene nord for Svalbard, er denne økningen marginal i forhold til de naturlig høye nivåer av NPD i disse kjernene.

Et helt annet mønster i PAH-profilene ble funnet i sedimentkjerner fra Nordsjøen og Skagerrak. I de to kjernene fra Utsira-område i Nordsjøen som ble analysert, er det observert en tydelig økning i PAH-nivåer i den øverste delen av sedimentkjernen (se eksempel for stasjon R3136 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 knyttet til tidligere MAREANO-undersøkelser i Norskehavet og Barentshavet, se Boitsov mfl. 2020). Når det gjelder kjerner fra område NS04 i Skagerrak, viser PAH-dybdeprofiler i disse kjernene et hakkete mønster uten åpenbare trender (se plottene i Vedlegg 1). Dette kan tyde på en fysisk forstyrrelse av kjernene, som kan ha vært forårsaket av både naturlige fenomener, som bioturbasjon, og menneskelig påvirkning, for eksempel tråling. For den ene kjernen fra dette området som ble forsøkt datert, fra stasjon R3183 MC18, ble denne konklusjonen støttet av resultatene av radiodatering, som har vist en usannsynlig høy sedimentasjonsrate på 2-3 cm per år (se dateringsrapporten i årets rapport fra NGU). Dateringsrapporten konkluderer med at kjernen ble sannsynligvis utsatt for bioturbasjon eller en annen form for fysisk forstyrrelse. Til tross for upålitelige trender i dybdeprofiler i kjernene fra dette området, er det likevel klart at PAH16 ligger over NPD i disse kjernene. Dette peker på forbrenningsrelaterte kilder for PAH i dette området, som er utsatt for betydelig menneskelig påvirkning.

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 2022. Resultater fra 1990-tallet viser pene dybdeprofiler i sedimentkjerner, med en tydelig 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 2022.

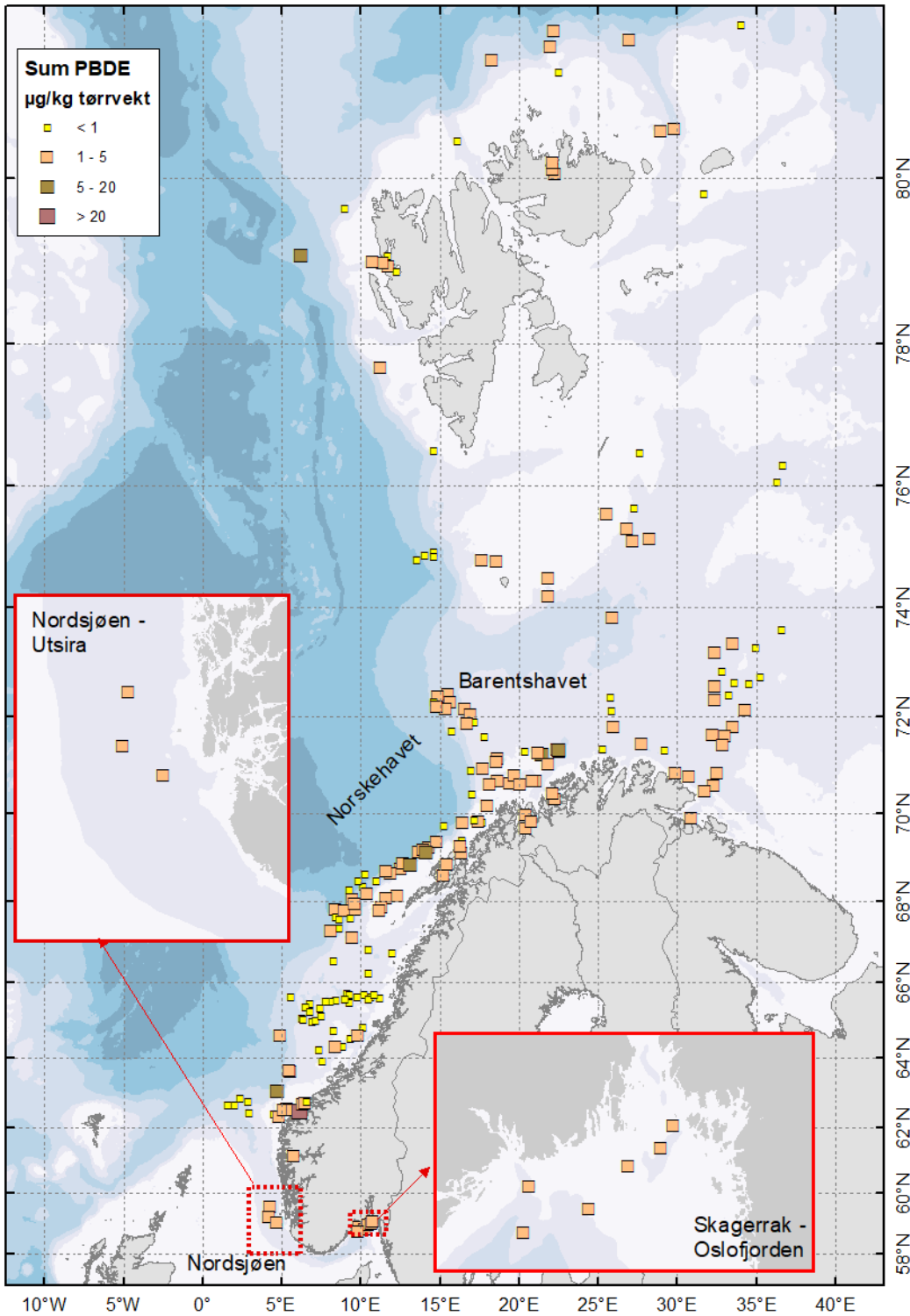
4.3 - Nivåer av PBDE i overflatesedimenter

Oppsummering av PBDE-nivåene funnet i overflatesediment fra 19 lokaliteter undersøkt i 2022 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. Gjennomsnitt-, minimale og maksimale nivåer av PBDE i overflatesedimenter fra 19 lokaliteter undersøkt i 2022. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 3 (grønn farge: tilstandsklasse II, God tilstand).

Nivå µg/kg tv.	n	Sum 19 PBDE	Sum 6 PBDE	BDE-99	BDE-183	BDE-209
Svalbard-område						
Min.	10	0,54	0,05	<0,03	<0,03	<0,03
Gjennomsnitt		1,1	0,27	0,09	<0,03	0,36
Maks.		1,8	0,45	0,14	<0,03	0,67
Nordsjøen og Skagerrak						
Min.	9	1,4	0,07	0,03	<0,03	1,1
Gjennomsnitt		3,1	0,15	0,05	0,16	2,5
Maks.		4,2	0,43	0,09	0,35	3,5

Nivåene av PBDE i alle undersøkte prøver ligger relativt lavt, under deteksjonsgrensen for flere kongener. De summerte nivåene ligger i Nordsjøen og Skagerrak på 3,1 µg/kg tv. i gjennomsnitt, som er høyere enn snittnivåene funnet ved Svalbard, 1,1 µg/kg tv. De høyeste nivåene i Skagerrak ligger på 4,2 µg/kg tv. ved starjon R3183, som kan sammenlignes med det som ble funnet ved fjorårets prøvetaking i Sognefjorden (Boitsov mfl. 2022). Dette tyder på en sterkere belastning av havmiljøet i disse områdene enn nord for Svalbard. Det 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 menneskeskapt miljøgifter som PBDE. PBDE-sammensetningen i prøvene fra Nordsjøen og Skagerrak domineres fullstendig av den fullbromerte kongeneren BDE-209, med prosentandelen for denne kongeneren varierende mellom 69% og 89% av summen av 19 PBDE. I prøvene fra Svalbard område utgjør BDE-209 en liten del av den totale PBDE-sammensetningen i de fleste prøvene, og er funnet over målegrensen i kun fire av de ti prøvene.



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.

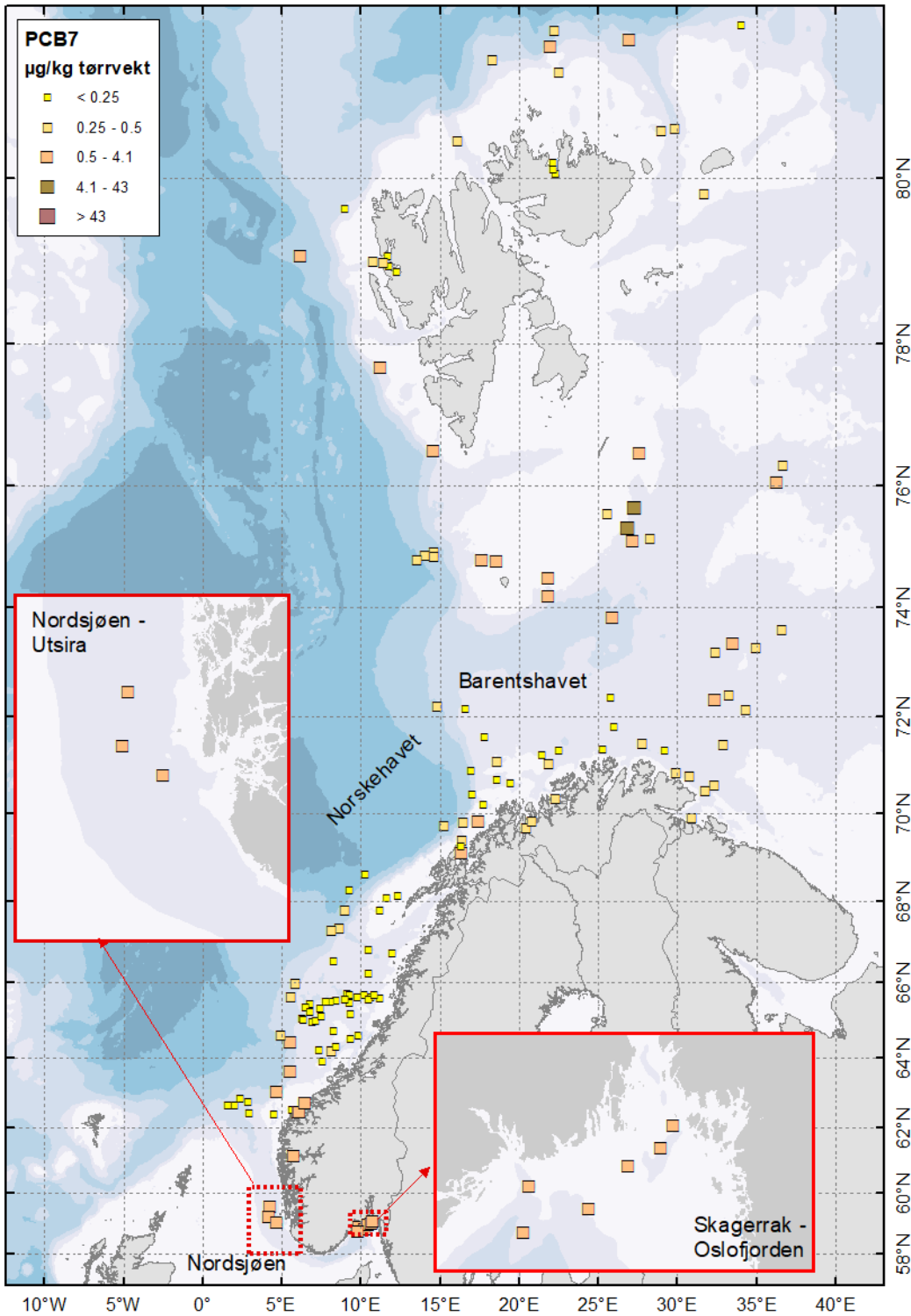
4.4 - Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter

Oppsummering av PCB- og OCP-nivåer funnet i overflatesediment fra 19 lokaliteter undersøkt i 2022 er gitt i tabell 10, og vist for to av stoffgruppene på kart i figurene 14 og 15. Alle resultater for PCB og OCP i overflatesedimenter er gitt i MarChem-database på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

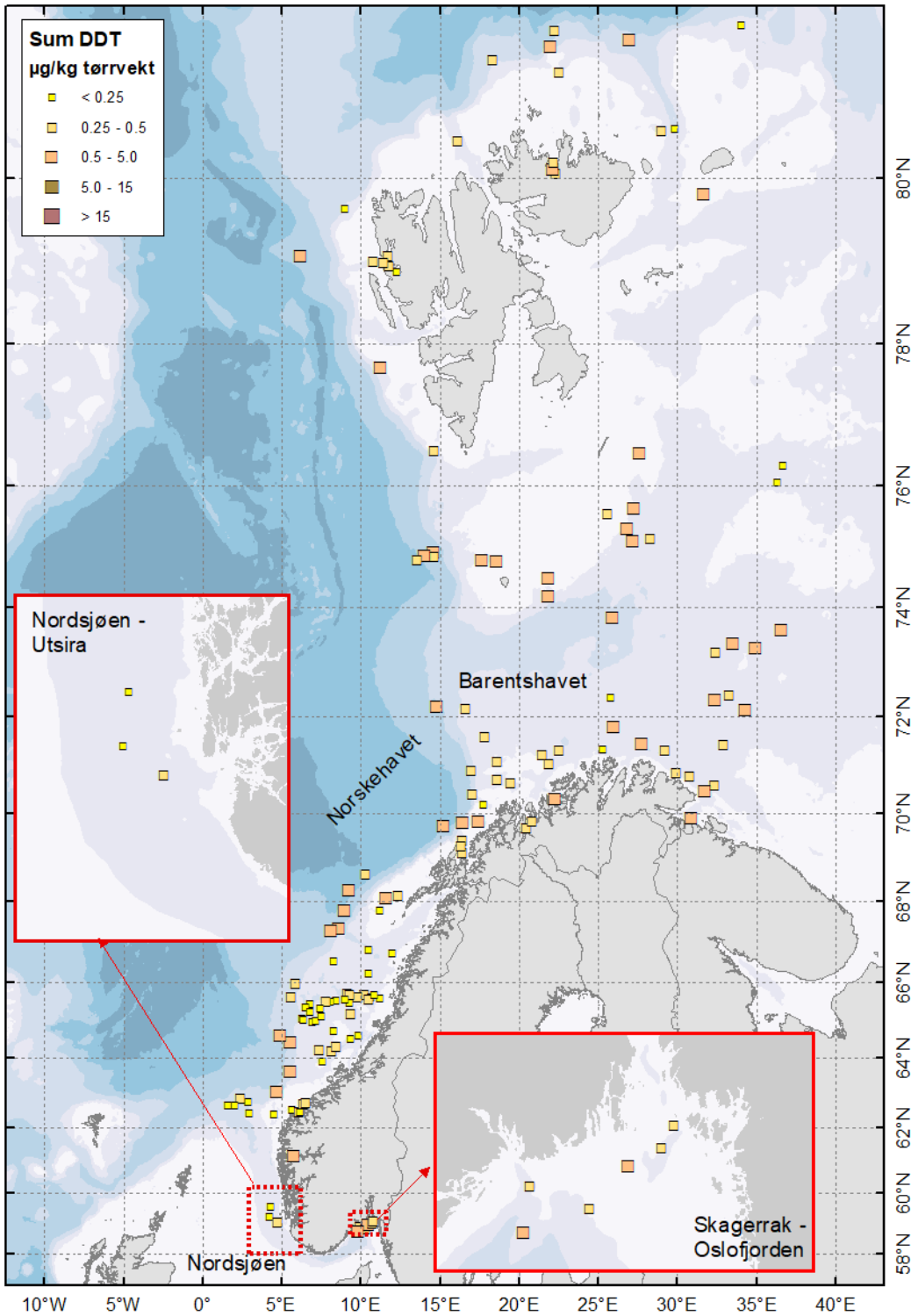
Tabell 10. Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter fra 19 lokaliteter undersøkt i 2022. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 4 (grønn farge: tilstandsklasse II, «God tilstand»).

Nivå µg/kg tv.	n	PCB7	ΣDDT	γ-HCH (lindan)	ΣHCH	HCB	TNC
Svalbard-område	10						
Min.		0,09	0,09	<0,02	<0,06	0,20	<0,02
Gjennomsnitt*		0,43	0,42	0,03	0,05	0,60	0,04
Maks.		1,2	1,1	0,04	0,14	1,6	0,10
Nordsjøen og Skagerrak	9						
Min.		0,63	0,22	<0,02	<0,06	0,12	<0,02
Gjennomsnitt*		1,3	0,43	0,02	0,05	0,19	<0,02
Maks.		2,0	0,66	0,03	0,09	0,26	<0,02

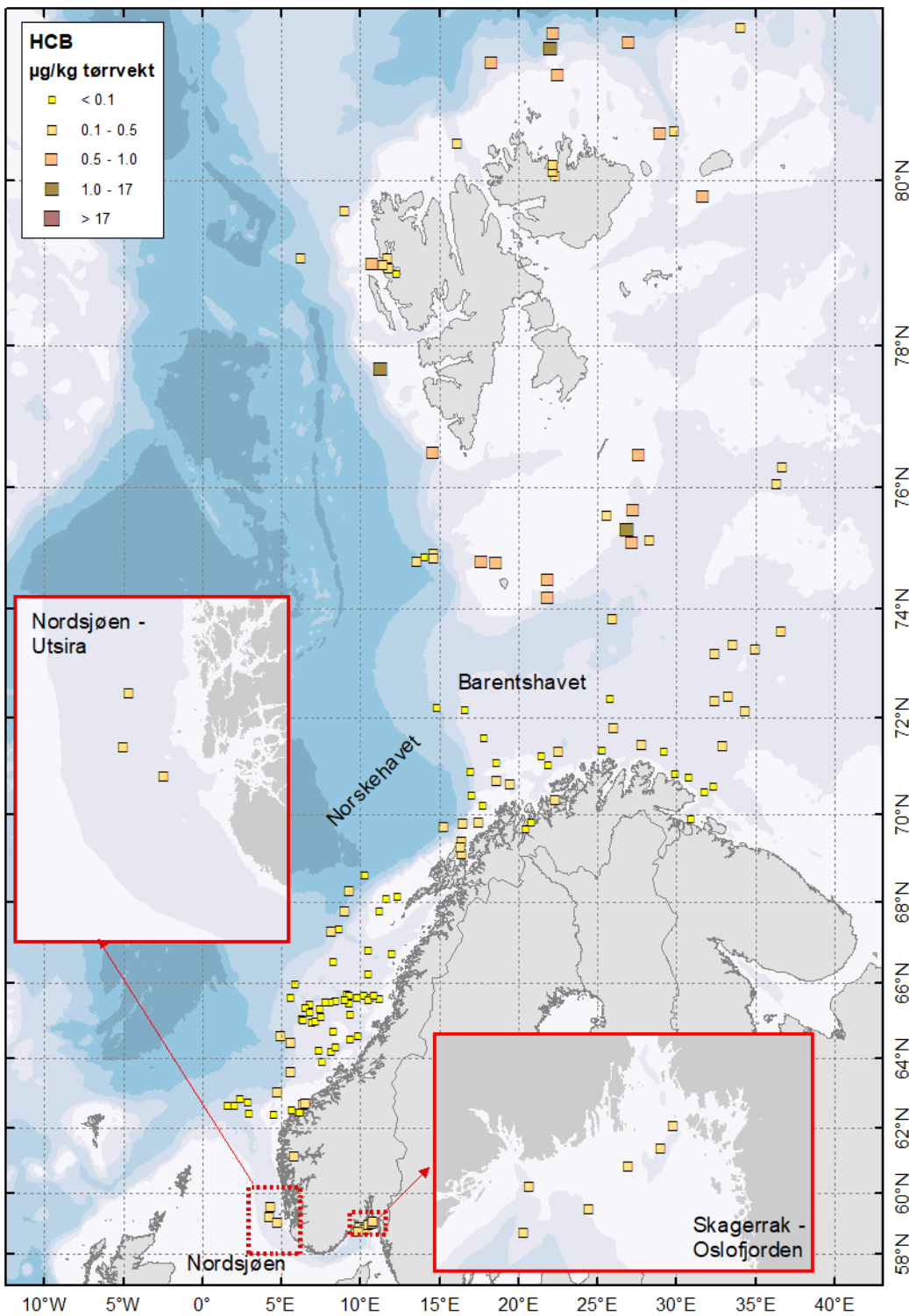
Nivåene av PCB og OCP i prøvene fra 2022 ligger relativt lavt i alle prøver, og tilsvarer tilstandsklasse II («God tilstand») i alle prøvene for de stoffene som tilstandsklassene er etablert for, som vist i tabell 10. Det er likevel noe variasjon i nivåene for miljøgiftene PCB7, ΣDDT og HCB. PCB7 ligger i gjennomsnitt ca. 3 ganger høyere i Nordsjøen og Skagerrak enn ved Svalbard, på hhv. 1,3 µg/kg tv. og 0,43 µg/kg tv. (figur 14). Dette gjenspeiler sterkere belastning av havmiljøet i Nordsjøen og Skagerrak enn nord for Svalbard. Nivåene av ΣDDT er gjennomgående lave, med omtrent like gjennomsnittsnivåer i begge områdene (ca. 0,4 µg/kg tv.), men de maksimale nivåene som man finner ved stasjon R2963 nord for Svalbard, 1,1 µg/kg tv., er noe høyere enn det man finner i Nordsjøen, hvor nivåene er meget lave, og i Skagerrak (figur 15). Dette kan tyde på langtransporterte tilførsler av denne miljøgiften til Arktis, som kan være mer utsatt for eksisterende kilder av DDT enn sentral Europa, hvor DDT ble forbudt for noen tiår siden (se kapittel 2.2.4). Når det gjelder HCB, ligger nivåene lavt i Nordsjøen og Skagerrak (0,19 µg/kg tv. i gjennomsnitt), mens det i Svalbard-område er funnet høyere gjennomsnittsnivåer (0,60 µg/kg tv.) og betydelig høyere maksimale nivåer (opptil 1,6 µg/kg tv. ved stasjon R2963), se figur 16. Som nevnt i kap. 2.2.4, finnes det fortsatt kilder for HCB i verden, og nylige studier har rapportert på økte nivåer i forskjellige typer miljøprøver fra arktiske strøk sammenlignet med sentral Europa (Hung mfl. 2016; Frantzen mfl. 2022; Halvorsen mfl. 2023). Dette forklares av utløsning av gamle tilførsler pga. klimaendringer, og økte nye utslipp som påvirker arktisk luft (Hung mfl. 2016; Halvorsen mfl. 2023). HCH og TNC ligger meget lavt i alle prøver.



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 syv lokaliteter. Det er seks stoffgrupper som presenteres her: PFAS (inkludert PFOS og PFOA), alkylfenoler (inkludert 4tOP og 4NP), dekloraner (inkludert DP), PFR, klorparafiner (inkludert MCCC) og siloksaner. Oppsummering av resultatene for utvalgte stoffgrupper er gitt i tabell 11. Resultater for PFAS og 4-nonylfenol 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 MCCC i overflatesedimenter fra syv lokaliteter undersøkt i 2022, i µg/kg tørrvekt. 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.

Stasjon	n	PFOS	PFOA	Sum 7 PFAS ^a	4tOP	4NP	BPA ^b	DP	PFR ^c	MCCC
Svalbard-område										
Min.	5	0,14	0,33	0,86	<0,10	<0,25	<1,5	0,02	<1,1	1,1
Gjennomsnitt ^d		0,44	0,68	2,0	<0,10	0,49	<1,5	0,12	<1,1	4,2
Maks.		1,1	1,4	4,1	<0,10	1,0	<1,5	0,42	<1,1	9,7
Nordsjøen og Skagerrak										
Min.	2	0,28	0,13	0,75	<0,10	0,37	<1,5	0,03	<3,3	2,6
Maks.		0,33	0,56	1,7	<0,10	1,7	<1,5	1,1	9,5	7,2

a – Summen av PFOSlin, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA.

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.

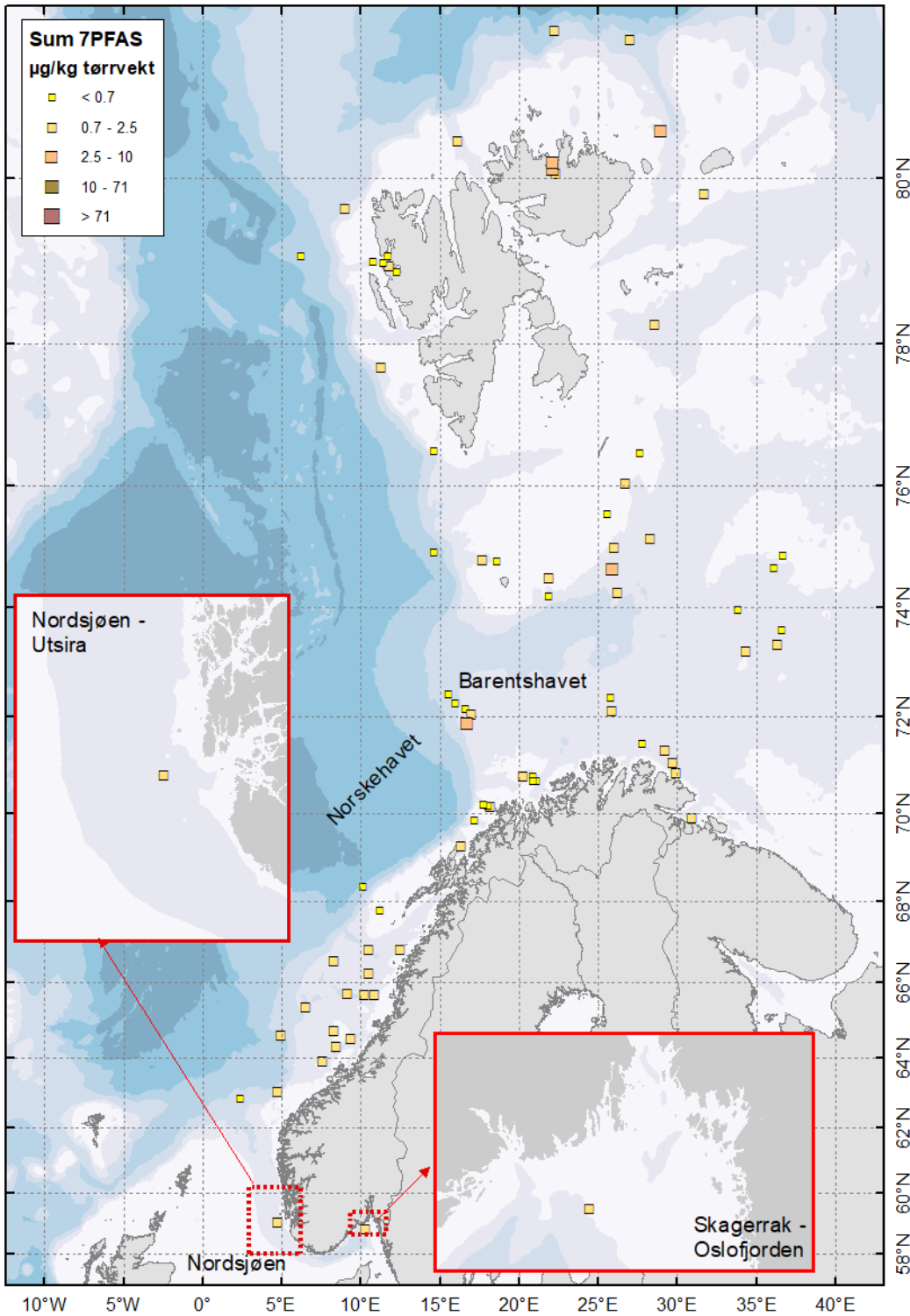
c – Summen av TXP, TEHP, TCP, 4-IPDP, som er funnet over LOQ i Skagerrak-prøven.

c - for nivåer under målegrensen ble LOQ/2 brukt til utregning av gjennomsnittet.

4.5.1 - Nivåer av PFAS i overflatesedimenter

Nivåer av PFAS ligger relativt lavt ved de undersøkte lokalitetene. Kun ni av de 24 PFAS som ble analysert finnes over LOQ i prøvene. Syv av disse stoffene ble tidligere funnet over LOQ i andre prøver fra MAREANO-området (Boitsov & Klungsøyr 2018), og rapporteres som en del av «7 PFAS» (listet i fotnote a i tabell 11). Nivåer av PFAS varierer en del i områdene rundt Svalbard som ble undersøkt i 2022, og ligger i snitt på 2,0 µg/kg tv. for summen av 7 PFAS, og opptil 4,1 µg/kg tv. på sitt høyeste ved stasjon R3105 i Kvitøyrenna, se figur 17 under. Dette kan sammenlignes med det som tidligere ble funnet av MAREANO flere andre steder (se rapporter fra tidligere år på mareano.no), og tyder på omtrent like store langtransporterte tilførsler av PFAS til fjerne arktiske strøk som ellers i norske havområder.

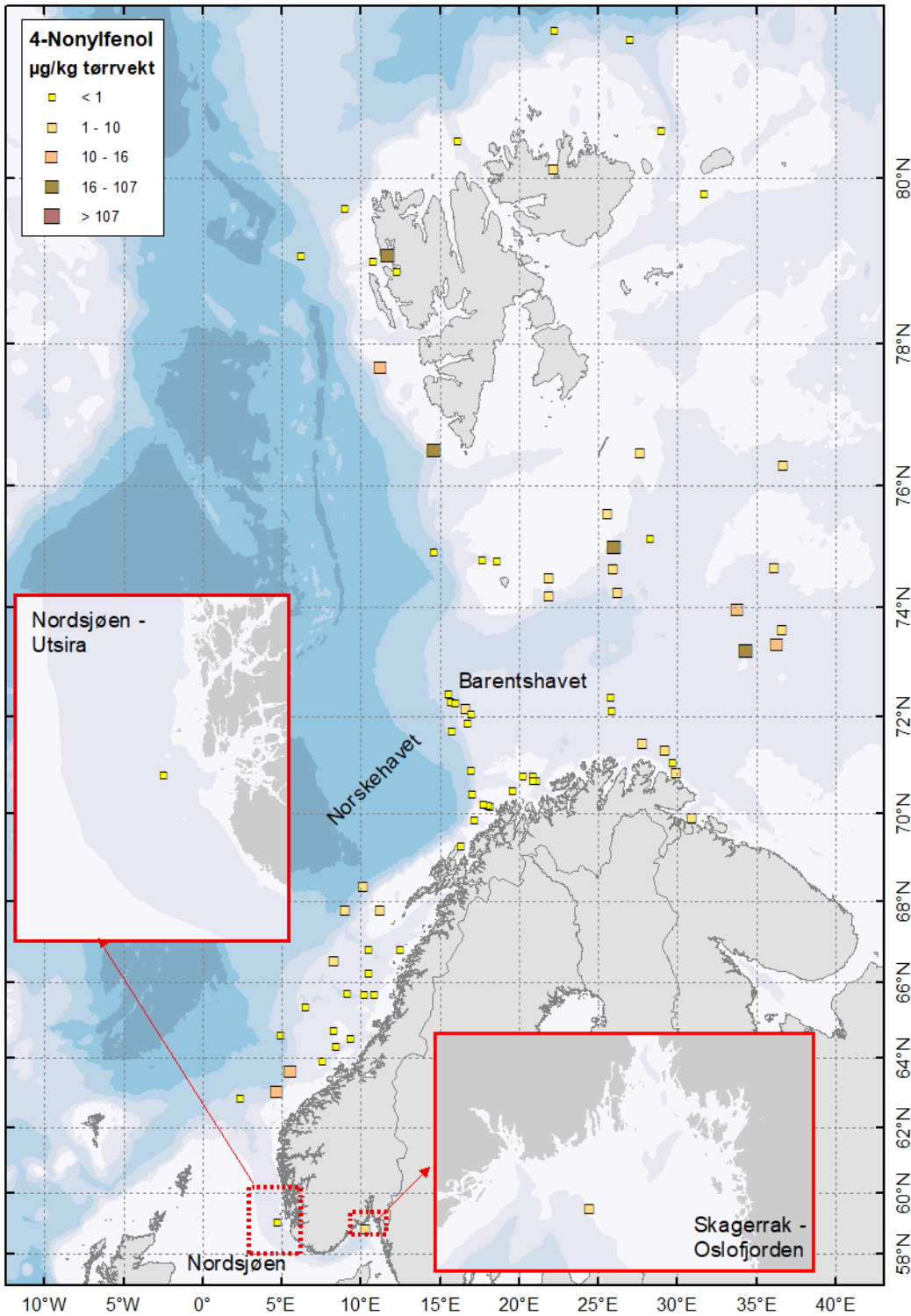
Det er kun analysert to lokaliteter for PFAS i Nordsjøen og Skagerrak i denne omgang. Her ligger nivåene omtrent likt eller noe lavere enn det som ble funnet ved Svalbard, opptil 1,7 µg/kg tv. for 7 PFAS ved stasjon R3184 i Nordsjøen. Begge de to prøvene, samt tre prøver fra Svalbard-område, ligger i Miljødirektoratets klasse III («Moderat») for PFOS, mens de to andre prøvene tatt ved Svalbard er i klasse II («God tilstand»). For PFOA ligger alle prøvene uten unntak i tilstandsklasse II. Dette er også i samsvar med det som ble tidligere funnet flere andre steder undersøkt av MAREANO.



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

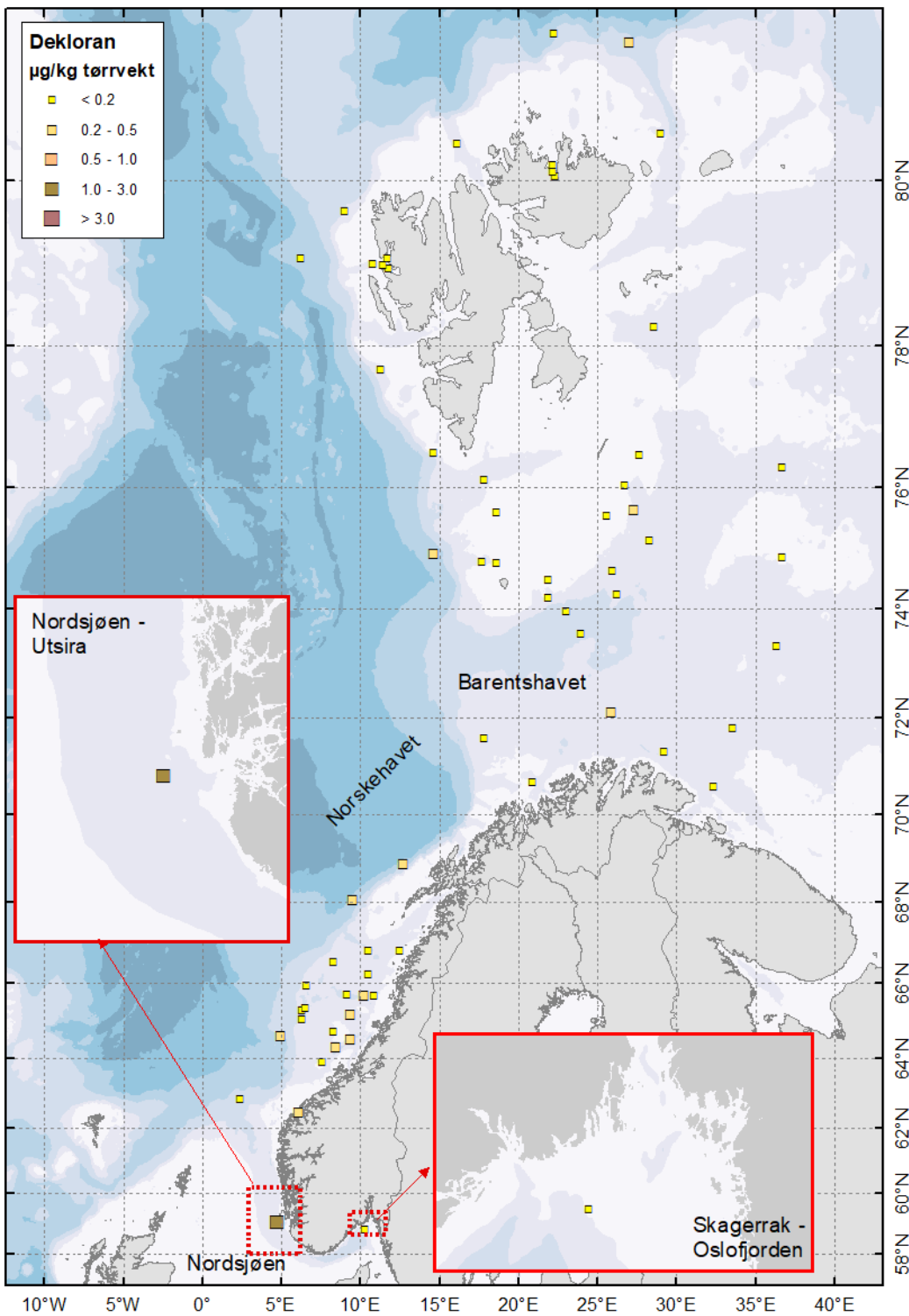
Det er funnet utelukkende lave nivåer av alkylfenoler i prøver innsamlet i 2022. Alle resultater er under LOQ for 4tOP, se tabell 11. For 4NP ligger nivåene lavt nord for Svalbard og varierer i dette området fra under LOQ og opptil 1,0 µg/kg tv. I Skagerrak er det litt høyere nivå 4NP funnet ved stasjon R3165, 1,7 µg/kg tv., mens i Nordsjøen er nivåene meget lave (0,37 µg/kg tv. ved stasjon R3184). Både 4tOP og 4NP ligger i Miljødirektoratets klasse II («God tilstand») ved alle stasjonene. Nivåer av 4tOP-etoksyler, 4NP-etoksyler og BPA er alle under LOQ.



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 har fram til nå kun vært funnet meget lave nivåer av dekloraner under MAREANO. Prøver fra Svalbard-område innsamlet i 2022 er i tråd med disse resultatene, med snittnivået på 0,12 µg/kg tv. for DP ved de fem lokalitetene i dette området (figur 19). Når det gjelder Nordsjøen og Skagerrak, ligger nivåene like lavt ved den ene lokaliteten undersøkt i Skagerrak, mens det i Nordsjøen ble funnet et vesentlig høyere nivå ved stasjon R3184, på 1,1 µg/kg tv. for DP. Dette er det høyeste nivået DP som hittil er funnet av MAREANO. Nivået kan sammenlignes med nivåene tidligere funnet i sedimenter fra indre Oslofjord, der DP-nivå på 1,7 µg/kg tv. ble rapportert (Ruus mfl. 2019). Dette resultatet kan tyde på en høyere forurensningsgrad med dekloraner i Nordsjøen enn i nordområder, men analyser av flere prøver er nødvendig for å bekrefte denne antydningen. Nye prøver innsamlet av MAREANO i Nordsjøen og Skagerrak i 2023 og planlagt til analyse i 2024 kan hjelpe med å avklare dette. Det er DP *anti* som enten er den eneste eller den dominerende forbindelsen av dekloran-type i alle de 2022-prøvene hvor dekloraner ble funnet.



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 (SCCP og MCCP) ble funnet i meget lave nivåer ved de syv lokalitetene som ble analysert for nye miljøgifter, under 10 µg/kg tv. overalt. De lave nivåene kunne påvises i prøvene takken være forbedret metodikk med betydelig lavere kvantifiseringsgrense enn i tidligere år. Nivåene tilsvarer Miljødirektoratets tilstandsklasse II («God tilstand») for MCCP.

Det blir også målt på LCCP i de samme prøvene. Denne stoffgruppen ble kun påvist i lav mengde i én prøve fra Svalbard-område, mens i de andre prøvene fra dette området var LCCP under LOQ (1,1 µg/kg tv). LCCP var også under LOQ i Skagerrak, mens det ved stasjon R3184 i Nordsjøen ble funnet 32 µg/kg tv. LCCP. Dette er også lave nivåer, men fremtidig kartlegging av sedimenter i Nordsjøen vil kunne vise om man finner denne miljøgiften flere steder.

4.5.5 - Nivåer av PFR i overflatesedimenter

Det ble ikke funnet Fosfororganiske flammehemmere (PFR) i de fem prøvene som ble tatt i Svalbard-område og analysert for nye miljøgifter. Nivåer av alle PFR-forbindelser var under LOQ i den ene prøven fra Nordsjøen som ble undersøkt. I prøven fra stasjon R3165 i Skagerrak ble det derimot funnet lave nivåer av flere PFR-forbindelser, se tabell 11. Summerte nivåer ligger på under 10 µg/kg tv. for de stoffene som ble kvantifisert. Disse lave nivåene er likevel noe av det høyeste som har vært funnet av PFR-forurensning under MAREANO, og man bør undersøke denne stoffgruppen videre ved kartlegging av nærtliggende områder.

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 benyttes derfor en egen feltblankprøve som lages på laboratoriet og tas i bruk under prøvetaking for å ha kontroll på effekter av prøvetakingen.

Nivåer av siloksanene D4 og D5 var under LOQ (0,52 µg/kg tv.) i samtlige prøver, mens siloksan D6 var rett over LOQ i tre av prøvene. Også disse nivåene var meget lave og ligger på sitt høyeste på 0,70 µg/kg tv. i prøven fra stasjon R3165 i Skagerrak.

5 - Planlagt arbeid

Prøvetaking i nye deler av MAREANO-området blir videreført. Det er tatt sedimentkjerner på nye lokaliteter i Nordsjøen og Skagerrak på tre tokt i 2023. Prøvene vil bli analysert for hydrokarboner (PAH, THC), og for PBDE, PCB, klorerte pesticider og nye miljøgifter i løpet av 2023. Mikroplast skal også analyseres i et utvalg av sedimentkjernene. Analyseresultatene er planlagt for rapportering i desember 2024.

6 - Konklusjoner

6.1 - Hydrokarboner

- I sedimentkjerner fra Kvitøyrenna og områdene nord for Svalbard finner man høye nivåer av petrogene PAH (NPD) gjennom hele kjernen, knyttet til naturlige forekomster av fossile stoffer i dette området. Nivåene av PAH16 ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse I («Bakgrunn») eller II («God tilstand»).
- I sedimentkjerner fra Nordsjøen er det funnet en klar trend med forhøyet nivå av PAH16 i moderne sedimentlag fra ca. siste 100-150 år. Dette tolkes som tilførsler av pyrogene PAH knyttet til menneskelig påvirkning. I sedimentkjerner fra Skagerrak er det også funnet en lignende PAH-sammensetning med PAH16 som dominerende komponent, men dybdeprofilene er utydelige på grunn av fysisk forstyrrelse av sedimenter.

6.2 - Persistente organiske miljøgifter

- Miljøgifter i denne gruppen er enten utelukkende menneskeskapte, eller stammer i marint miljø nesten bare fra kilder knyttet til menneskelig aktivitet. Det kan derfor forventes en tydelig forskjell i nivåer av disse stoffene mellom fjerntliggende arktiske strøk og utsatte områder i Nordsjøen og Skagerrak. Årets resultater fra MAREANO viser at dette stemmer for noen av de studerte stoffgruppene. Resultatene kan sånt sett fordeles i følgende grupper (med forbehold om at noen av stoffgruppene ble kun målt i få prøver fra Nordsjøen og Skagerrak):
- Stoffene som har tydelig høyere nivåer i Nordsjøen og Skagerrak enn i områdene nord for Svalbard: PBDE, PCB7, 4-NP*, DP*, LCCP*, PFR*. Dette knyttes til større menneskelig påvirkning i sør enn i nord.
- Stoffene som det ikke er funnet noe betydelig forskjell for i nivåene mellom de to områdene: HCH, TNC, PFAS*, BPA*, AP etoksylater*, SCCP*, MCCP*, siloksaner*. Det er vel å merke at for de fleste stoffene nevnt her betyr dette at nivåene er meget lave eller helt under LOQ i begge de to områdene. Det eneste unntaket er PFAS, som man finner i relativt lave, men tydelige mengder både i nord og i sør.
- Stoffene som ble funnet i høyere nivåer i nord enn i sør: Σ DDT (i én prøve) og HCB. Spesielt høyere tilførsler av HCB i Arktis enn i sentral Europa er noe som også har blitt funnet i andre studier og bekreftes her.
- Alle stoffer som det er etablert Miljødirektoratets tilstandsklasser for, ligger i den laveste tilstandsklassen, klasse II («God tilstand»). Unntaket er én av PFAS-stoffene, PFOS, som ligger i klasse III («Moderat») ved noen lokaliteter.

* - Det ble målt kun to prøver for disse stoffene i Nordsjøen og Skagerrak. Videre kartlegging er nødvendig for å lage omstendelige konklusjoner om utbredelsen av disse stoffene i disse områdene.

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., Svoldal, 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. 2020. 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., Nesje, G., Sanden, M. 2022. Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området i 2021. Rapport fra Havforskningen 2022-45, 49 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>
- 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.
- Frantzen, S., Boitsov, S., Dehnhard, N., Duinker, A., Grøsvik, B.E., Heimstad, E., Hjermann, D., Jensen, H.K.B., Kiel Jensen, L., Leiknes, Ø., Nilsen, B., Routti, H., Schøyen, M., Skjerdal, H.K. 2022. Forurensning i de norske havområdene - Barentshavet, Norskehavet og Nordsjøen. Rapport fra Havforskningen 2022-3, 87 s. Available at <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2022-3>

- 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.
- Halvorsen, H.L., Bohlin-Nizzetto, P., Eckhardt, S., Gusev, A., Moeckel, C., Shatalov, V., Skogeng, L.P., Breivik, K. 2023. Spatial variability and temporal changes of POPs in European background air. *Atmospheric Environment* 299, 119658.
- Hanssen, L., Dudarev, A.A., Huber, S., Odland, J.Ø., Nieboer, E., Sandanger, T.M. 2013. Partition of perfluoroalkyl substances (PFASs) in whole blood and plasma, assessed in maternal and umbilical cord samples from inhabitants of arctic Russia and Uzbekistan. *Science of Total Environment* 447, 430-437.
- 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.
- Hung, H., Katsoyiannis, A.A., Brorström-Lundén, E., Olafsdottir, K., Aas, W., Breivik, K., Bohlin-Nizzetto, P., Sigurdsson, A., Hakola, H., Bossi, R., Skov, H., Sverko, E., Barresi, E., Fellin, P., Wilson, S. 2016. Temporal trends of persistent organic pollutants (POPs) in arctic air: 20 years of monitoring under the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). *Environmental Pollution* 217, 52-61.
- Jensen, H.K.B., Boitsov, S., Finne, T.E., Klungøy, 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., Ikonomou, 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.
- Mattingsdal, R. 2021. Naturlige hydrokarbon-lekkasjer i Barentshavet og sammenhengen med underliggende petroleumssystemer. Foredrag på MAREANO Brukerkonferanse, 21.10.2021 (digitalt).

- 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., Bogevik, 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.

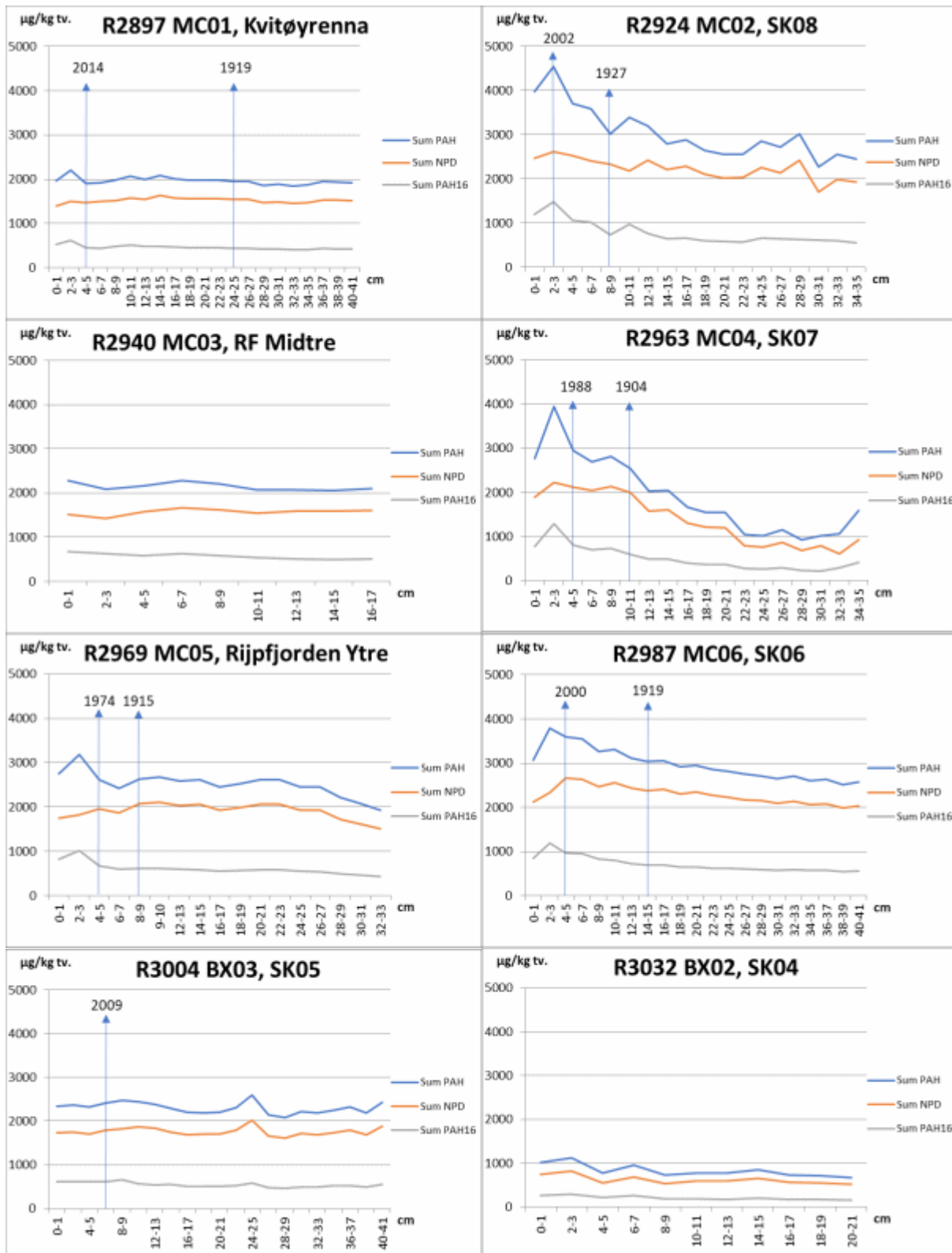
Wang, P., Zhang, Q., Zhang, H., Wang, T., Sun, H., Zheng, S., Li, Y., Liang, Y., Jiang, G. 2016. Sources and environmental behaviors of Dechlorane Plus and related compounds – a review. *Environment International* 88, 206-220.

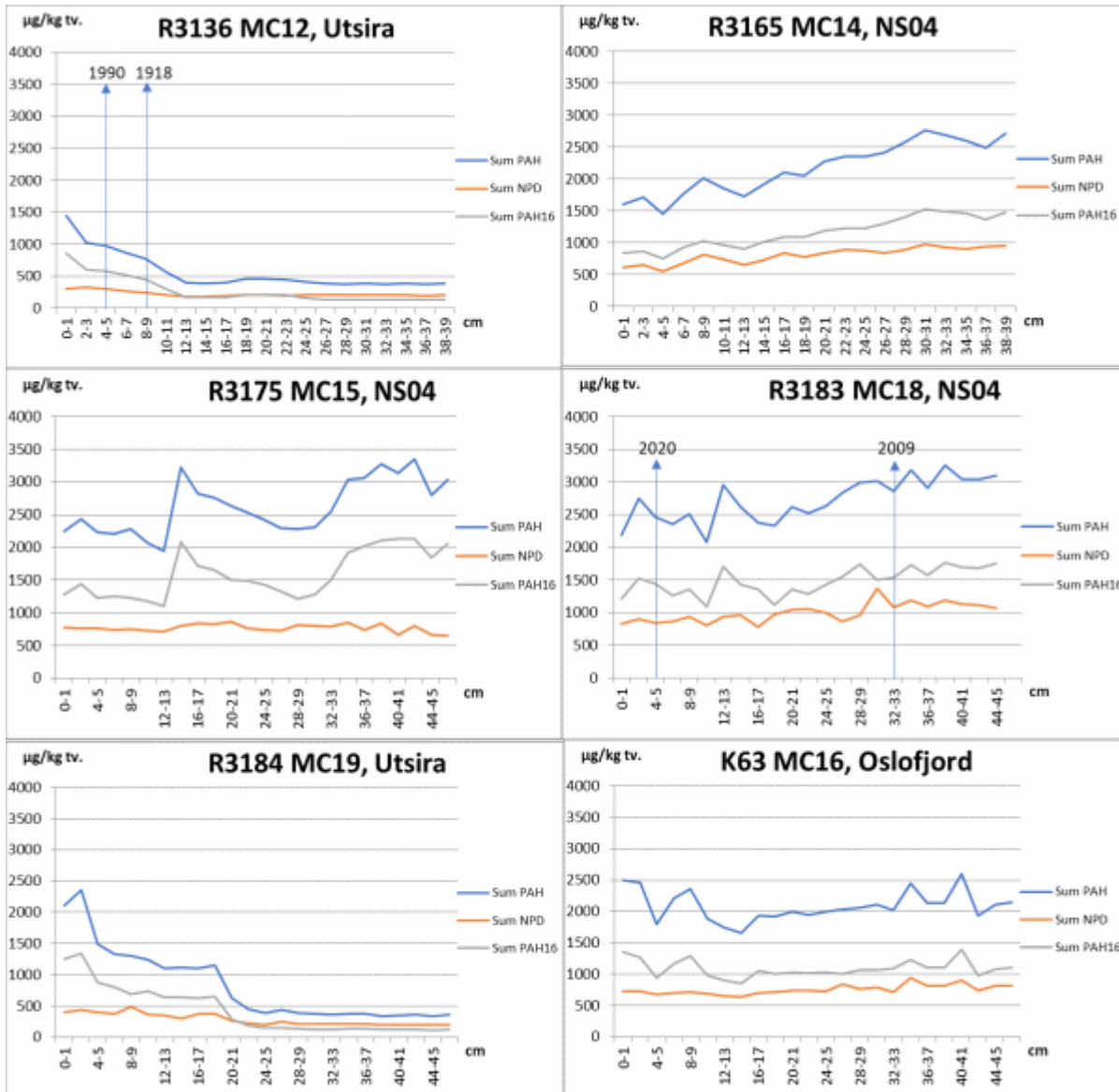
Wang, Z., DeWitt, J.C., Higgins, C.P., Cousins, I.T. 2017. A never-ending story of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs)? *Environmental Science and Technology* 51, 2508-2518.

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.

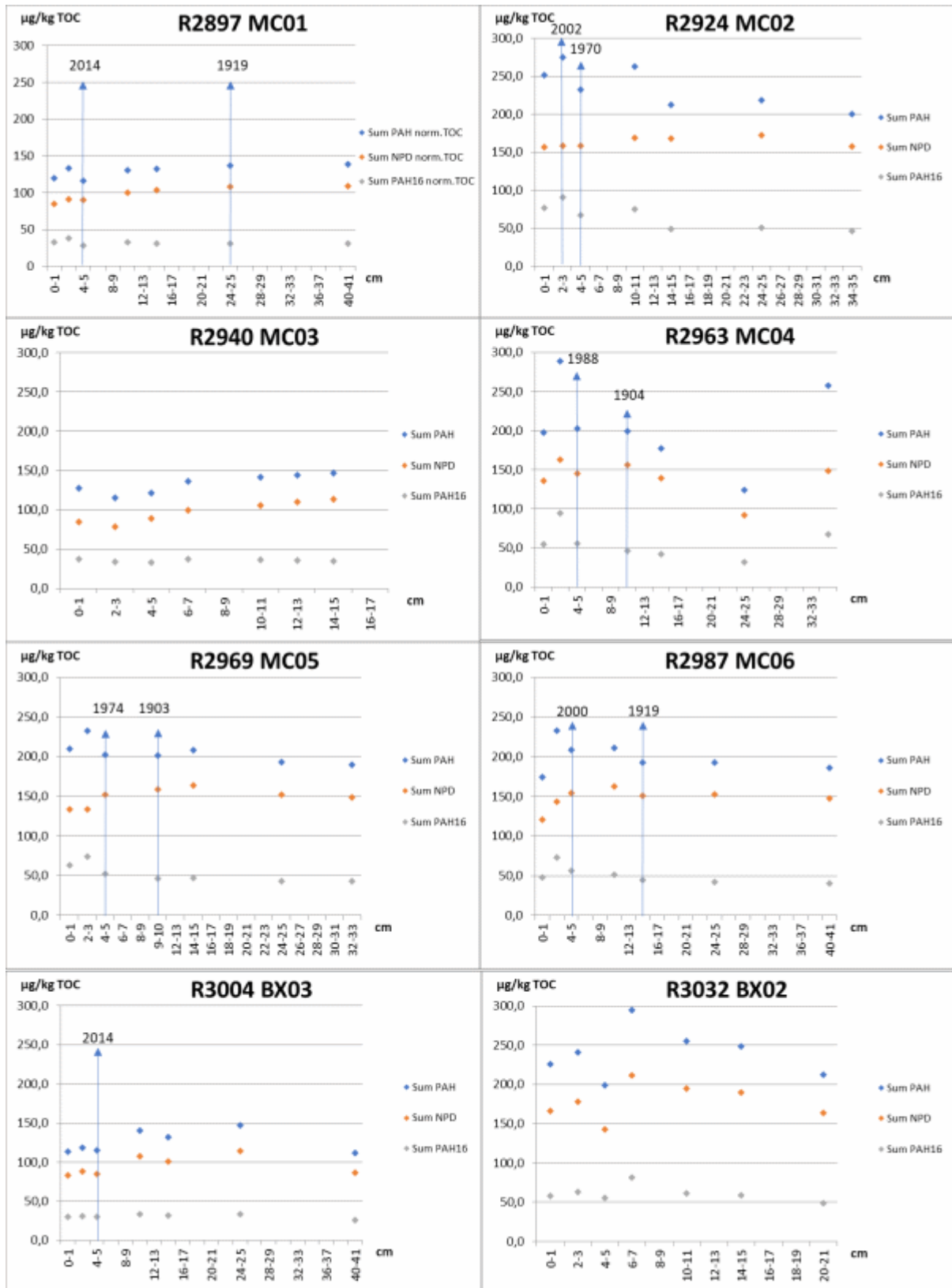
8 - Vedlegg

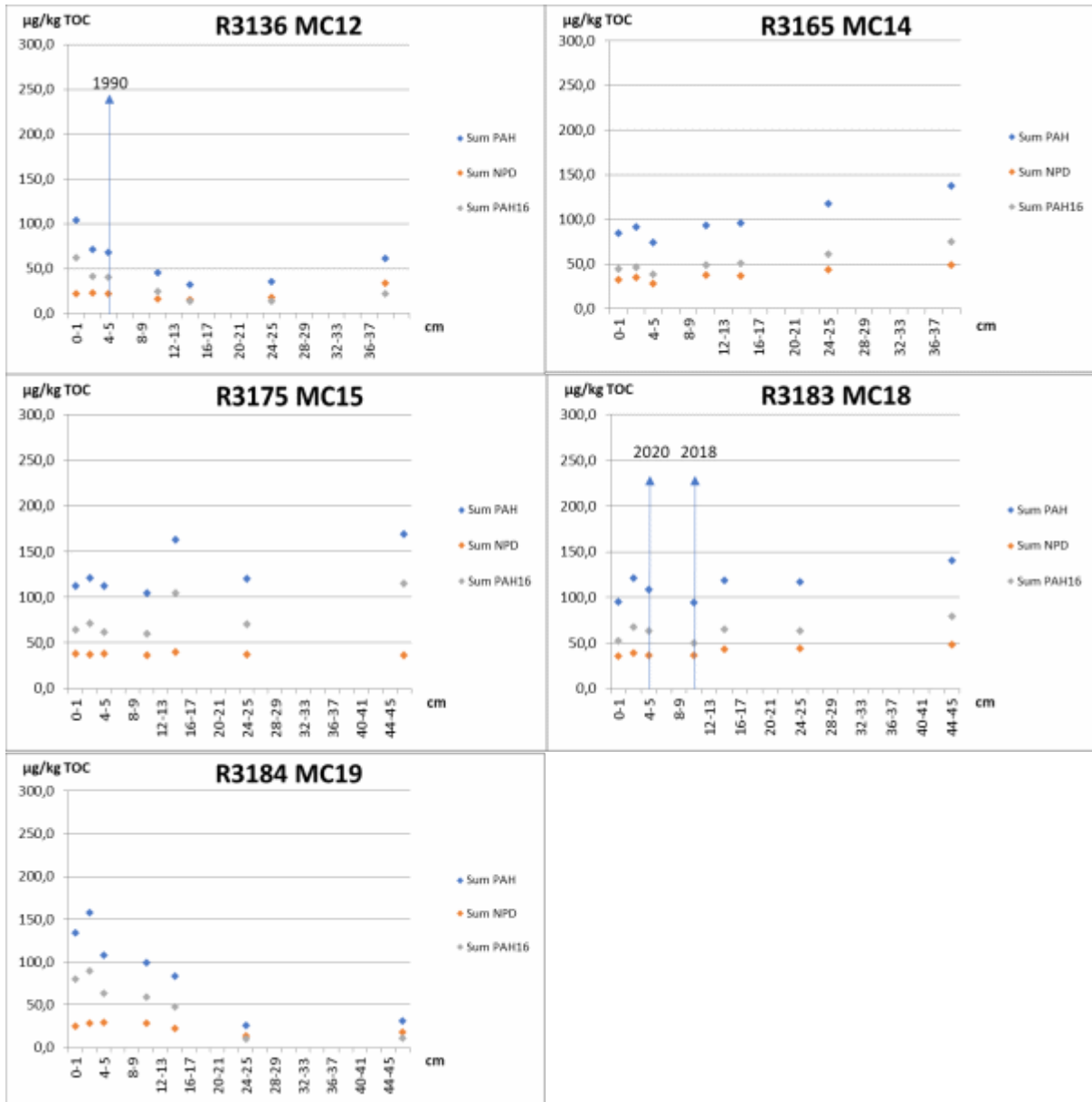
8.1 - Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i sedimentkjerner





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