UNDERSØKELSER AV HYDROKARBONER OG ORGANISKE MILJØGIFTER I SEDIMENTER FRA MAREANO-OMRÅDET I 2021

Stepan Boitsov, Guri Nesje og Monica Sanden (HI)

RAPPORT FRA
HAVFORSKNINGEN
NR. 2022-45

Tittel (norsk og engelsk):

Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området i 2021

Hydrocarbons and organic contaminants in sediments from the MAREANO area in 2021

Rapportserie:	År - Nr.:	Dato:
Rapport fra havforskningen	2022-45	15.12.2022

ISSN:1893-4536

Forfatter(e):

Stepan Boitsov, Guri Nesje 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:

49

Sammendrag (norsk):

Havforskningsinstituttet har gjennomført målinger av hydrokarboner (PAH) i sedimenter fra 29 lokaliteter i MAREANO-området, inkludert 13 sedimentkjerner. I overflatesedimenter ble det i tillegg målt totalt hydrokarbon innhold (THC), bromerte flammehemmere (PBDE), klorerte miljøgifter (PCB og pesticider) og ved ni lokaliteter også «nye» organiske miljøgifter (PFAS, alkylfenoler, dekloraner, fosfororganiske flammehemmere (PFR), klorparafiner og siloksaner). Prøvene var innsamlet i 2021 i Sognefjorden, og i områdene Garsholbanken, Aktivneset, B01-NH01, Kystbeltet Folla-Sklinna-Ytre Vestfjorden i Norskehavet, og Kirkegården og Spitsbergenbanken i Barentshavet. Relativt lave nivåer av hydrokarboner ble funnet ved alle lokalitetene i Norskehavet, men noe høyere nivå av pyrogene PAH ble funnet i Sognefjorden og naturlig høye nivåer av petrogene PAH (NPD) ble funnet i Barentshavet. Benzo[*a*]pyren og PAH16 var i Miljødirektoratets klasse I («Bakgrunn») eller II («God tilstand») i Norskehavet, og i tilstandsklasse II i Sognefjorden og i Barentshavet. PAH-konsentrasjonsprofiler i kjernene tydet for det meste på tilførsler av pyrogene PAH i moderne sedimentlag i Norskehavet og Sognefjorden, knyttet til antropogen påvirkning. I Barentshavet viser konsentrasjonsprofilene stabilt høye nivåer av petrogene PAH (NPD) gjennom hele kjernen, noe som forklares av naturlige tilførsler lokalt. Nivåene av menneskeskapte organiske miljøgifter av alle typer listet ovenfor var lave eller meget lave. Nivåene tilsvarte Miljødirektoratets klasse II for de stoffene som det er etablert tilstandsklasser for, med unntaket av γ-HCH og PFOS som var i tilstandsklasse III («Moderat») ved hhv. en og fem lokaliteter.

Sammendrag (engelsk):

Institute of Marine Research has analysed hydrocarbons (PAH) in sediments from 29 locations in the MAREANO area, including 13 sediment cores. Total hydrocarbon contents (THC), brominated flame retardants (PBDE), chlorinated contaminants (PCB and pesticides) and at nine 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 2021 in Sognefjorden and in the regions of Garsholbanken, Aktivneset, B01-NH01, Kystbeltet Folla-Sklinna-Ytre Vestfjorden in the Norwegian Sea and Kirkegården and Spitsbergenbanken in the Barents Sea. Relatively low levels of PAH were found at all the locations in the Norwegian Sea, but somewhat higher levels of pyrogenic PAH were found in Sognefjorden and naturally high levels of petrogenic PAH (NPD) were found in the Barents Sea. Benzo[*a*]pyrene and PAH16 were in the Norwegian Environmental Agency's class I ("Background") or class II ("Good condition") in the Norwegian Sea, and in class II in Sognefjorden and the Barents Sea. PAH concentration profiles in sediment cores from Sognefjorden and the Norwegian Sea showed an increase in the levels of pyrogenic PAH in modern times due to anthropogenic impact. In the Barents Sea, 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 corresponded to class II for those compounds that the condition classes are established for, with the exception of γ-HCH and PFOS which were in class III ("Moderate") at correspondingly one and 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 9
2.2.1 *Sedimentstudier* 9
2.2.2 *Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og andre hydrokarboner* 9
2.2.3 *Polybromerte difenyletere (PBDE)* 11
2.2.4 *Polyklorerte bifenyler (PCB) og organiske klorerte pesticider (OCP)* 12
2.2.5 *Nye organiske miljøgifter* 14
3 Metoder 18
3.1 Prøvetaking 18
3.2 Analysemetoder 22
3.2.1 *PAH og THC i sedimenter* 22
3.2.2 *PBDE og klorerte miljøgifter i sedimenter* 22
3.2.3 *Nye organiske miljøgifter* 23
4 Resultater 24
4.1 Nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter 24
4.2 PAH i sedimentkjerner 29
4.3 Nivåer av PBDE i overflatesedimenter 31
4.4 Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter 33
4.5 Nivåer av nye organiske miljøgifter i overflatesedimenter 35
4.5.1 *Nivåer av PFAS i overflatesedimenter* 36
4.5.2 *Nivåer av alkylfenoler i overflatesedimenter* 37
4.5.3 *Nivåer av dekloraner i overflatesedimenter* 39
4.5.4 *Nivåer av klorparafiner i overflatesedimenter* 39
4.5.5 *Nivåer av PFR i overflatesedimenter* 39
4.5.6 *Nivåer av siloksaner i overflatesedimenter* 39
5 Planlagt arbeid 40
6 Konklusjoner 41
6.1 Hydrokarboner 41
6.2 Persistente organiske miljøgifter 41
7 Referanser 42
8 Vedlegg 45
8.1 Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i sedimentkjerner 45
8.2 Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 korrigert for TOC 47

1 - Liste over forkortelser brukt i rapporten

ASE	Engelsk: *Accelerated Solvent Extraction*
BPA	Bisfenol A
BX	Bokscorer
DDD	Diklordifenyldikloretan
DDE	Diklordifenyldikloretylen
DDT	Diklordifenyltrikloretan
∑DDT	Summen av *p,p'*-DDT, *p,p'*-DDD og *p,p'*-DDE
dl-PCB	Dioksinlignende PCB
DP*	Dekloran pluss (Engelsk: *Dechlorane Plus*)
EI	Engelsk: *Electron Ionisation*
EQS	Engelsk: *Environmental quality standards*
FID	Flamme-ionisasjonsdetektor
GC	Engelsk: *Gas chromatography*
GR	Van Veen grabb
HCB	Heksaklorbenzen
HCH	Heksaklorsykloheksaner
∑HCH	Summen av α-HCH, β-HCH og γ-HCH
LOQ	Kvantifiseringsgrense (Engelsk: *Limit of Quantification*)
MAREANO	Engelsk: *Marine AREA database for NOrwegian waters*
MC	Multicorer
MCCP	Mellomkjedete klorparafiner (Engelsk: *Medium-chain chlorinated paraffins*)
MS	Massespektrometer
NCI	Engelsk: *Negative Chemical Ionisation*
NGU	Norges Geologiske Undersøkelse
NILU	Norsk Institutt for Luftforskning
NPD	Summen av naftalen, fenantren, dibenzotiofen og deres alkylerte homologer
OCP	Organiske klorerte plantevernmidler (Engelsk: *Organic Chlorinated Pesticides*)
OSPAR	Engelsk: *The Oslo-Paris Convention*
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
PFR*	Fosfororganiske flammehemmere (Engelsk: *Phosphorus Flame Retardants*)
POPs	Persistente organiske miljøgifter (Engelsk: *Persistent Organic Pollutants*)
SCCP	Kortkjedete klorparafiner (Engelsk: *Short-chain chlorinated paraffins*)
SIM	Engelsk: *Selected Ion Monitoring*

SPE	Fastfaseekstraksjon (Engelsk: *Solid-phase extraction*)
THC	Hydrokarboninnhold (Engelsk: *Total Hydrocarbon Contents*)
TNC	*Trans*-nonaklor
TOC	Organisk karboninnhold (Engelsk: *Total Organic Carbon*)
UPLC	Engelsk: *Ultra Performance Liquid Chromatography*

* 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

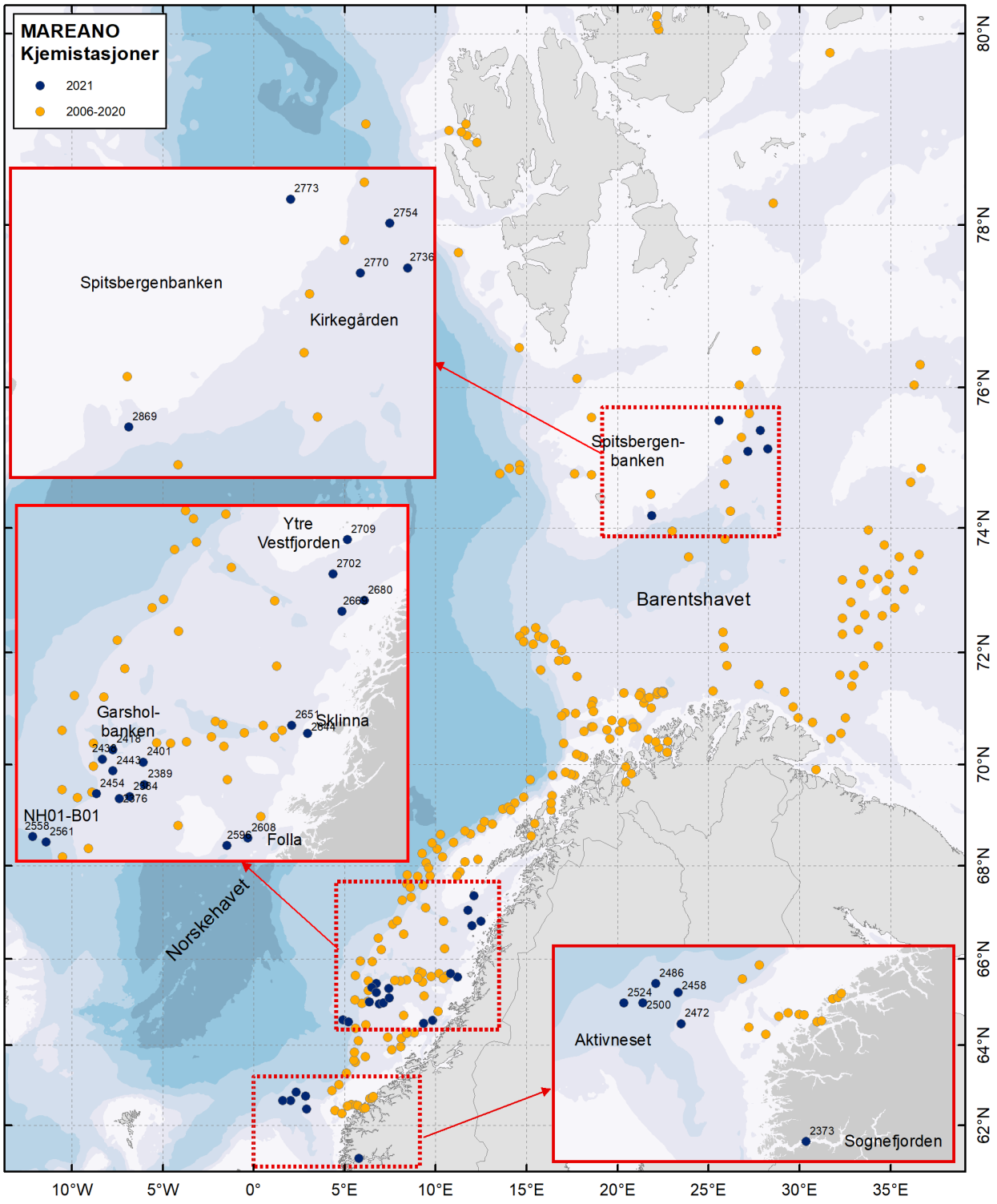
MAREANO er et nasjonalt program for kartlegging av havbunnen på norsk sokkel, påbegynt i 2005. De første sedimentprøvene ble samlet inn i 2006. Resultater av målinger av organiske miljøgifter fra tidligere år er rapportert på www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter. Resultatene er også tilgjengelig i form av kart på www.mareano.no/kart og som nedlastbar datafil (MAREANOs Kjemidatabase) 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" (figur 1) i april 2021 i Sognefjorden og ved Garsholbanken og Aktivneset i Norskehavet (tokt 2021103), i mai 2021 ved Aktivneset, MAREANO område B01, og kystbeltet Folla-Sklinna-Ytre Vestfjorden i Norskehavet (tokt 2021104), og i september-oktober 2021 i områdene Kirkegården og Spitsbergenbanken i Barentshavet (tokt 2021115). Prøvetakingslokalitetene og områdenavn er vist i figur 2.

Figur 1. "G.O. Sars" – forskningsfartøyet som benyttes til de aller 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 2022.



Figur 2. Prøvetakingslokaliteter for sedimenter i MAREANO-området. Stasjonene hvor det ble tatt prøver i 2021 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

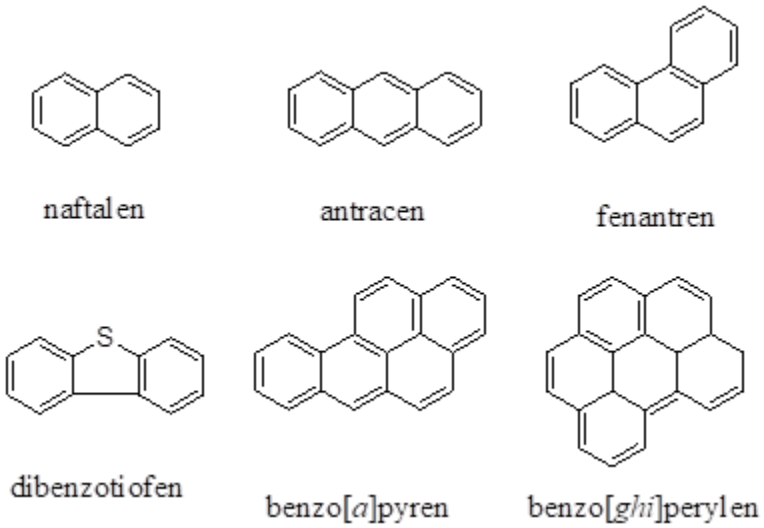
2.2.1 - Sedimentstudier

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 ^{210}Pb-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 ^{210}Pb-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		
	Petrogen	***Pyrogen***	***Biogen***
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 båteksos	-
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*]perylen	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*]perylen.

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).

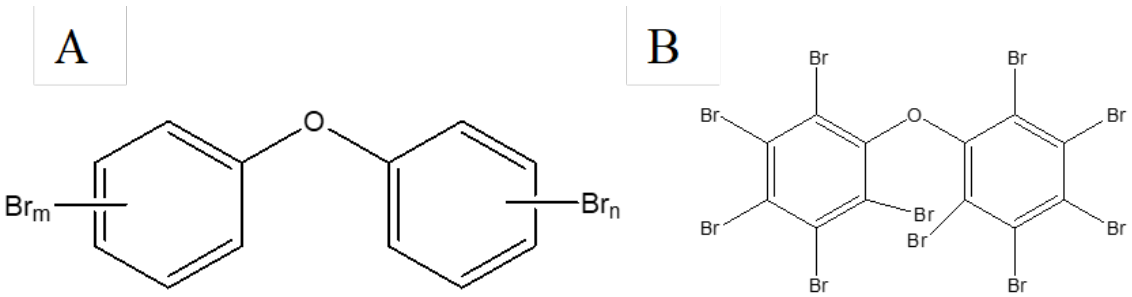
Tilstandsklasse	Klasse I Bakgrunn	Klasse II God	Klasse III Moderat	Klasse IV Dårlig	Klasse V Svært dårlig
Benzo[*a*]pyren, µg/kg tv.	<6	6–183	183–230	230–13100	> 13100
PAH16, µg/kg tv.	<300	300-2000	2000-6000	6000-20000	>20000

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, osv. Mens produksjon og bruk av de mest skadelige typer av bromerte flammehemmere, som bromerte bifenyler, er forbudt over store deler av verden, er flere andre typer, inkludert PBDE, fortsatt i bruk eller kun nylig forbudt. 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, fettløselige og kan samles opp i fettholdige organer som fiskelever.

Det finnes 209 teoretisk mulige varianter (kongenere) for PBDE, se eksempler på strukturen i figur 4. Titalls av disse finnes i miljøet, og det er den fullbromerte kongeneren, BDE-209 (vist i 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 omfattet av Stockholm-konvensjonen siden 2009 og skal dermed være forbudt over hele verden, mens deka-blandingen først ble omfattet av Stockholm-konvensjonen i 2017 med en rekke unntak (se http://chm.pops.int). Deka-blandingen 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

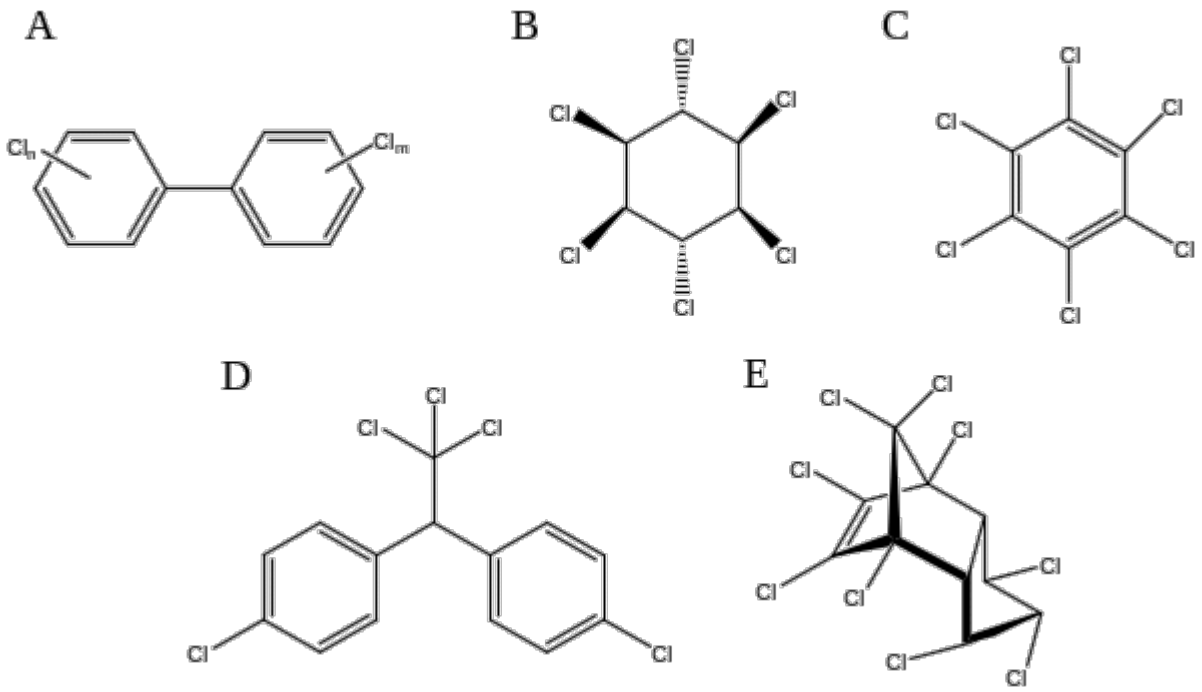
* Summerte nivåer av BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154.

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 Miljostatus.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 kongenere 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, ”*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 3 heksaklorsykloheksaner (HCH-isomerer), som vurderes som de mest toksiske blant de 8 stereoisomerene som finnes: α-HCH, β-HCH og γ-HCH (lindan, figur 5B). Disse rapporteres både som enkeltforbindelser, og sammen som ∑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 ∑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 av stoffer som skal fases ut 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 ΣDDT 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 (µg/kg tørrvekt)	Klasse I Bakgrunn	Klasse II God	Klasse III Moderat	Klasse IV Dårlig	Klasse V Svært dårlig
∑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 polyfluorerte 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).

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 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	*Perfluoroktansulfonamid*	PFOSA
	Perfluorbutansulfonat	PFBS
	Perfluorpentansulfonat	PFPS

	Perfluorheksansulfonat	PFHxS
	Perfluorheptansulfonat	PFHpS
	Perfluoroktansulfonat lineær	PFOSlin
	Perfluoroktansulfonat (summen av forgrenete og den lineære)	PFOS
	Perfluornonansulfonat	PFNS
	Perfluordekansulfonat	PFDcS
	Perfluorheksanoat	PFHxA
	Perfluorheptanoat	PFHpA
	Perfluoroktanoat	PFOA
	Perfluornonanoat	PFNA
	Perfluordekanoat	PFDcA
	Perfluorundekanoat	PFUnDA
	Perfluordodekanoat	PFDoDA
	Perfluortridekanoat	PFTrDA
	Perfluortetradekanoat	PFTeDA
	6:2 Fluortelomer sulfonsyre	6:2 FTS
	8:2 Fluortelomer sulfonsyre	8:2 FTS
Klorparafiner	*Kortkjedete klorparafiner* (C10-C13)	SCCP
	Mellomkjedete klorparafiner (C14-C17)	MCCP
Fosfororganiske flammehemmere (PFR, engelsk: *phosphorus flame retardants*)	*Trietylfosfat*	TEP
	Tris(2-kloretyl)fosfat	TCEP
	Tripropylfosfat	TPrP
	Tris(2-klorisopropyl)fosfat (3 isomerer)	TCIPP
	Triisobutylfosfat	TiBP
	Butyldifenylfosfat	BdPhP
	Trifenylfosfat	TPHP
	Dibutylfenylfosfat	DBPhP
	Tri-n-*butylfosfat*	TnBP
	Tris(1,3-diklor-2-propyl)fosfat	TDCIPP
	Tris(2-butoksyetyl)fosfat	TBOEP
	Trikresylfosfat	TCP
	2-Etylheksyldifenylfosfat	EHDP
	Triksylylfosfat	TXP
	Tris(2-etylheksyl)fosfat	TEHP
	Tris(isopropylfenyl)fosfat	TIPPP
	2-Isopropylfenyldifenylfosfat	2-IPPDPP
	4-Isopropylfenyldifenylfosfat	4-IPPDPP
	Bis(4-isopropylfenyl)fenylfosfat med isomerer	B4IPPPP
Siloksaner	*Oktametylsyklotetrasiloksan*	D4
	Dekametylsyklopentasiloksan	D5

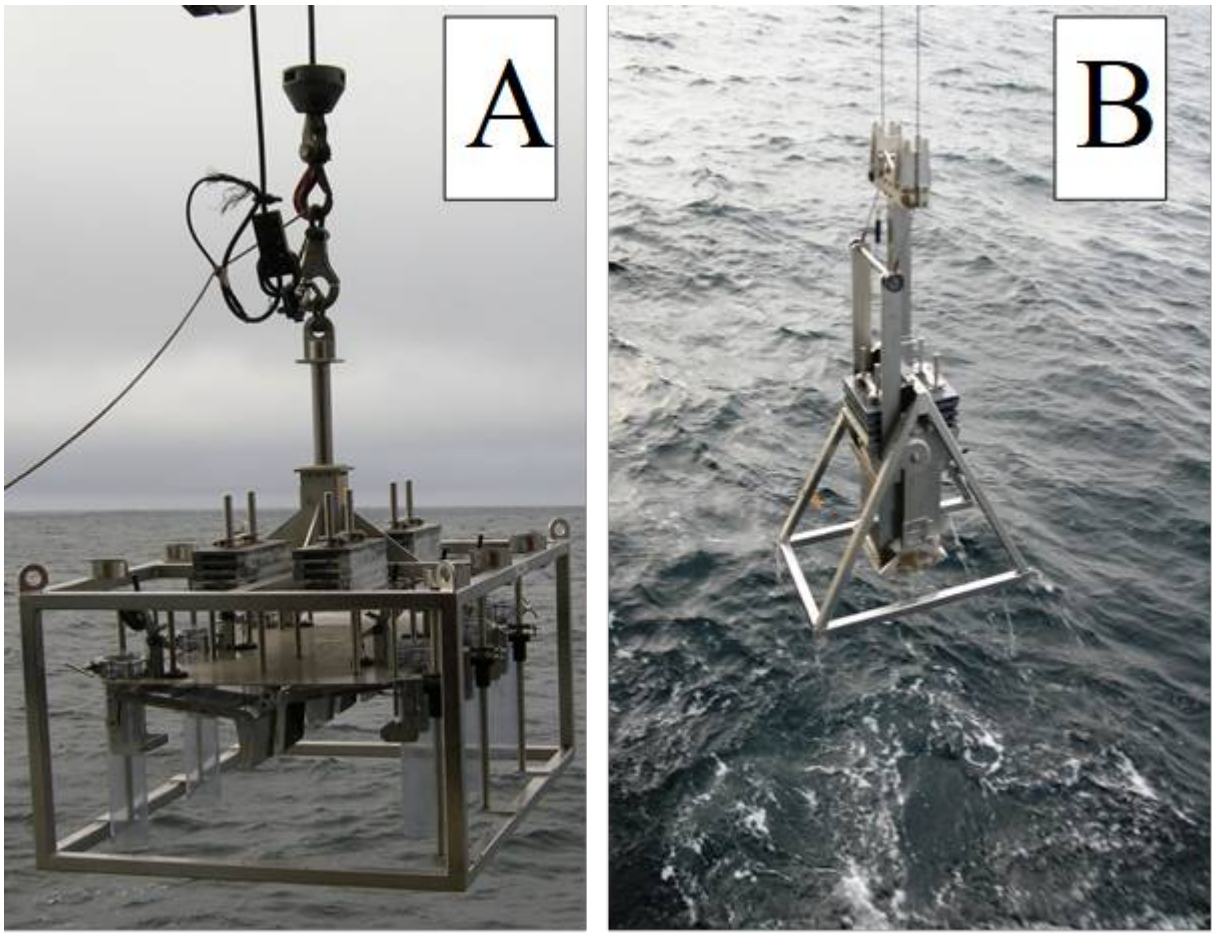
	Dodekametylsykloheksasiloksan	D6
Alkylfenoler, alkylfenol etoksylater og bisfenol A	*4*-tert-*oktylfenol*	4tOP
	4-tert-*oktylfenolmonoetoksylat*	4tOP-EO1
	4-tert-*octylfenoldietoksylat*	4tOP-EO2
	4-nonylfenol (blanding av isomerer)	4NP
	4-iso-*nonylfenolmonoetoksylat*	4NP-EO1
	4-iso-*nonylfenoldietoksylat*	4NP-EO2
	Bisfenol A	BPA
Dekloraner	*Dibromaldrin*	DBA
	Dekloran 602	D602
	Dekloran 603	D603
	Dekloran 604	D604
	Dekloran 601	D601
	Dekloran pluss syn	DP *syn*
	Dekloran pluss anti	DP *anti*
	Dekloran pluss (syn+anti)	DP

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 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 så 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 2021 og utførte analyser.

R-Stasjon	Prøvetakings-nummer	Dato	Område	Breddegrad, N	Lengdegrad, Ø	Vanndybde, m	Kjerne-lengde, cm	Antall prøver analysert for forskjellige stoffgrupper						
								PAH	THC[a]	PBDE, PCB, OCP[a]	Alkylfenoler[a]	Nye miljøgifter[a]	TOC[b]	^{210}Pb[b]
R2373	MC01	05.04.2021	Sognefjorden	61°08.16’	5°45.55’	1259	33	17	1	1	-	-	7	-
R2376	BX01	08.04.2021	Garshol-banken	64°58.54’	6°52.70’	462	2	1	1	1	-	-	1	-
R2384	BX02	10.04.2021	"	64°59.90’	7°06.66’	296	2	1	1	1	-	-	1	-
R2389	MC02	10.04.2021	"	65°06.85’	7°26.82’	333	36	1	1	1	-	-	1	-
R2401	MC03	12.04.2021	"	65°19.82’	7°25.13’	345	32	16	1	1	-	-	7	-
R2418	MC04	14.04.2021	"	65°26.93’	6°43.81’	382	32	1	1	1	-	-	1	-
R2438	BX06	15.04.2021	"	65°21.51’	6°29.25’	419	2	-	-	-	1	1	-	14
R2438	MC05	15.04.2021	"	65°21.51’	6°29.28’	419	32	15	1	1	-	-	7	-
R2443	BX07	16.04.2021	"	65°14.72’	6°43.74’	329	2	1	1	1	-	-	1	-
R2454	MC06	17.04.2021	"	65°01.52’	6°21.03’	409	30	14	1	1	-	-	7	-
R2458	BX08	18.04.2021	Aktivneset	62°44.57’	2°49.67’	604	2	1	1	1	-	-	1	-
R2472	BX09	20.04.2021	"	62°24.88’	2°53.81’	388	2	1	1	1	-	-	1	-
R2486	BX10	22.04.2021	"	62°50.30’	2°19.02’	780	2	-	-	-	1	1	-	-
R2486	MC07	22.04.2021	"	62°50.32’	2°19.04’	777	34	17	1	1	-	-	7	9
R2500	BX11	01.05.2021	"	62°37.98’	2°00.87’	661	2	1	1	1	-	-	1	-
R2524	MC8	01.05.2021	"	62°37.99’	1°35.33’	744	29	14	1	1	-	-	7	-
R2558	BX12	10.05.2021	NH01-B01	64°36.52’	4°53.36’	1039	2	-	-	-	1	1	-	-
R2558	MC9	10.05.2021	"	64°36.53’	4°53.37’	1035	36	18	1	1	-	-	7	9
R2561	MC11	10.05.2021	"	64°33.24’	5°11.49’	1022	36	1	1	-	-	-	1	-
R2596	BX14	14.05.2021	KB Folla	64°31.22’	9°20.16’	294	2	-	-	-	1	1	-	-
R2596	MC12	14.05.2021	"	64°31.23’	9°20.16’	294	33	16	1	1	-	-	7	8
R2608	MC13	14.05.2021	"	64°35.55’	9°49.16’	447	38	1	1	1	-	-	1	-
R2644	BX15	18.05.2021	KB Sklinna	65°36.14’	11°11.54’	236	2	1	1	1	-	-	1	-

R2651	BX16	18.05.2021	"	65°40.85’	10°49.13’	384	2	-	-	-	1	1	-	-
R2651	MC14	18.05.2021	"	65°40.85’	10°49.13’	384	34	17	1	1	-	-	7	14
R2669	MC15	20.05.2021	KB Ytre Vestfjorden	66°43.94’	11°58.61’	333	28	14	1	1	-	-	7	9
R2680	BX17	21.05.2021	"	66°50.00’	12°29.18’	241	2	1	1	-	1	1	1	-
R2702	BX18	23.05.2021	"	67°04.23’	11°46.11’	273	2	1	1	-	-	-	1	-
R2709	BX19	24.05.2021	"	67°22.49’	12°05.98’	191	2	1	1	-	-	-	1	-
R2736	MC16	18.09.2021	Kirkegården	75°09.34’	28°15.03’	330	30	1	1	1	-	-	1	-
R2754	BX71	20.09.2020	"	75°24.92’	27°49.99’	258	2	1	1	-	-	-	1	-
R2770	BX72	22.09.2021	"	75°07.49’	27°09.60’	260	2	-	-	-	1	1	-	-
R2770	MC17	22.09.2021	"	75°07.49’	27°09.58’	260	31	16	1	1	-	-	7	9
R2773	BX73	23.09.2021	Spitsbergen-banken	75°33.21’	25°33.56’	170	2	-	-	-	1	1	-	-
R2773	BX75	23.09.2021	"	75°33.23’	25°33.79’	168	33	17	1	1	-	-	7	-
R2869	BX76	02.10.2021	"	74°11.53’	21°51.72’	304	2	-	-	-	1	1	-	-
R2869	MC19	02.10.2021	"	74°11.53’	21°51.69’	304	34	17	1	1	-	-	7	13

[a] Overflateprøve.

[b] Levert av NGU.

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 MAREANOs Kjemidatabase 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 C_{12} - C_{35} .

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, dødvolum 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 ^{13}C-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

Nye organiske miljøgifter analyseres av NILU som fikk de frosne prøvene tilsendt direkte fra forskningsfartøyet.

PFAS. Tørkete sedimentprøver (ca. 2 g) ble tilsatt ^{13}C-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 renset opp med aktivt kull før tilsetting av gjenvinningsstandard. Prøven ble analysert på UPLC-MS/MS, se flere detaljer i Hanssen et al. 2013. Det rapporteres resultater for 20 PFAS listet opp i tabell 6, hvorav 19 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 LOQ i sedimenter fra MAREANO-område: PFOSlin, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA.

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 i år på to grupper av klorparafiner, SCCP og MCCP (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. Tørkete 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. Tørkete 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. Tørkete 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 cluster av topper og rapportert som summen av isomerer.

4 - Resultater

4.1 – Nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter

Oppsummering av hydrokarbonnivåene funnet i overflateprøvene fra 29 lokaliteter i Sognefjorden, Norskehavet og Barentshavet er gitt i tabell 8 og på kartene i figurene 7–9. Alle resultater for 49 PAH i sedimentkjerner er gitt i MAREANOs Kjemidatabase på https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata.

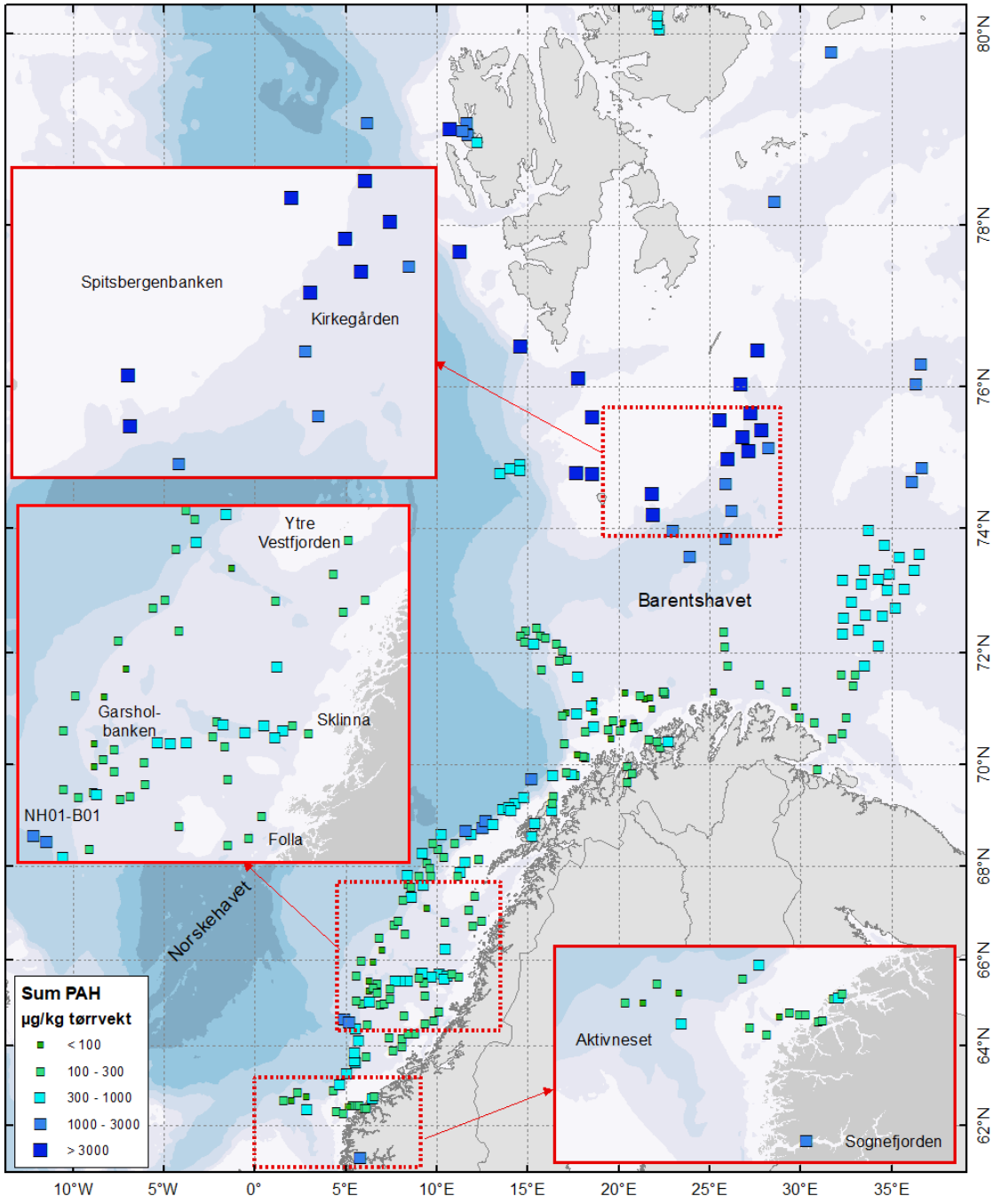
Tabell 8. Gjennomsnitts-, minimale og maksimale nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter fra 29 lokaliteter undersøkt i 2021. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 2 (blå farge: tilstandsklasse I, Bakgrunnsnivå; grønn farge: tilstandsklasse II, God tilstand).

Nivå	*n*	**THC**	**Sum 49 PAH**	**NPD**	**PAH16**	**Benzo[*a*]pyren**	**TOC***
		mg/kg tv.	*µg/kg tv.*	*µg/kg tv.*	*µg/kg tv.*	*µg/kg tv.*	*%*
Sognefjorden	*1*	19	1844	252	1394	102	1,7
Norskehavet-2021	*23*						
Min.		<2,0	71	22	38	1,5	0,28
Gjennomsnitt		3,5	291	70	169	12	0,57
Maks.		11	1422	198	871	87	1,3
Barentshavet-2021	*5*						
Min.		39	1891	1217	561	21	2,0
Gjennomsnitt		60	3304	2407	867	27	2,4
Maks.		92	4163	3341	1024	33	2,7

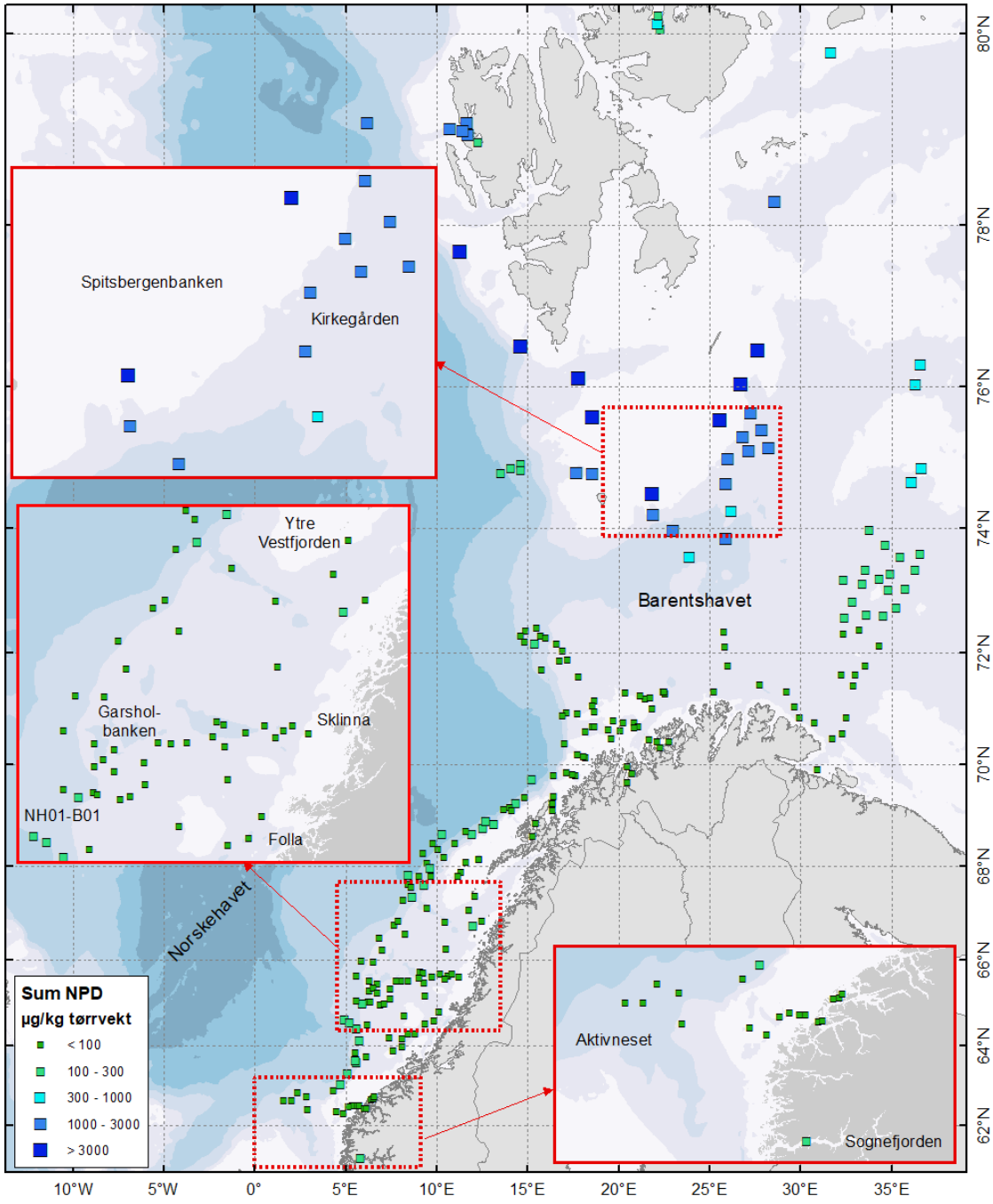
* Dataene rapportert av NGU.

Områdene undersøkt av MAREANO i 2021 (se detaljert stasjonsoversikt gitt i tabell 7) kan deles i tre 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 tre gruppene, med én stasjon i Sognefjorden, 23 stasjoner i sokkelområdene i Norskehavet, og fem stasjoner i sentrale deler av Barentshavet (se stasjonsplassering i figur 2).

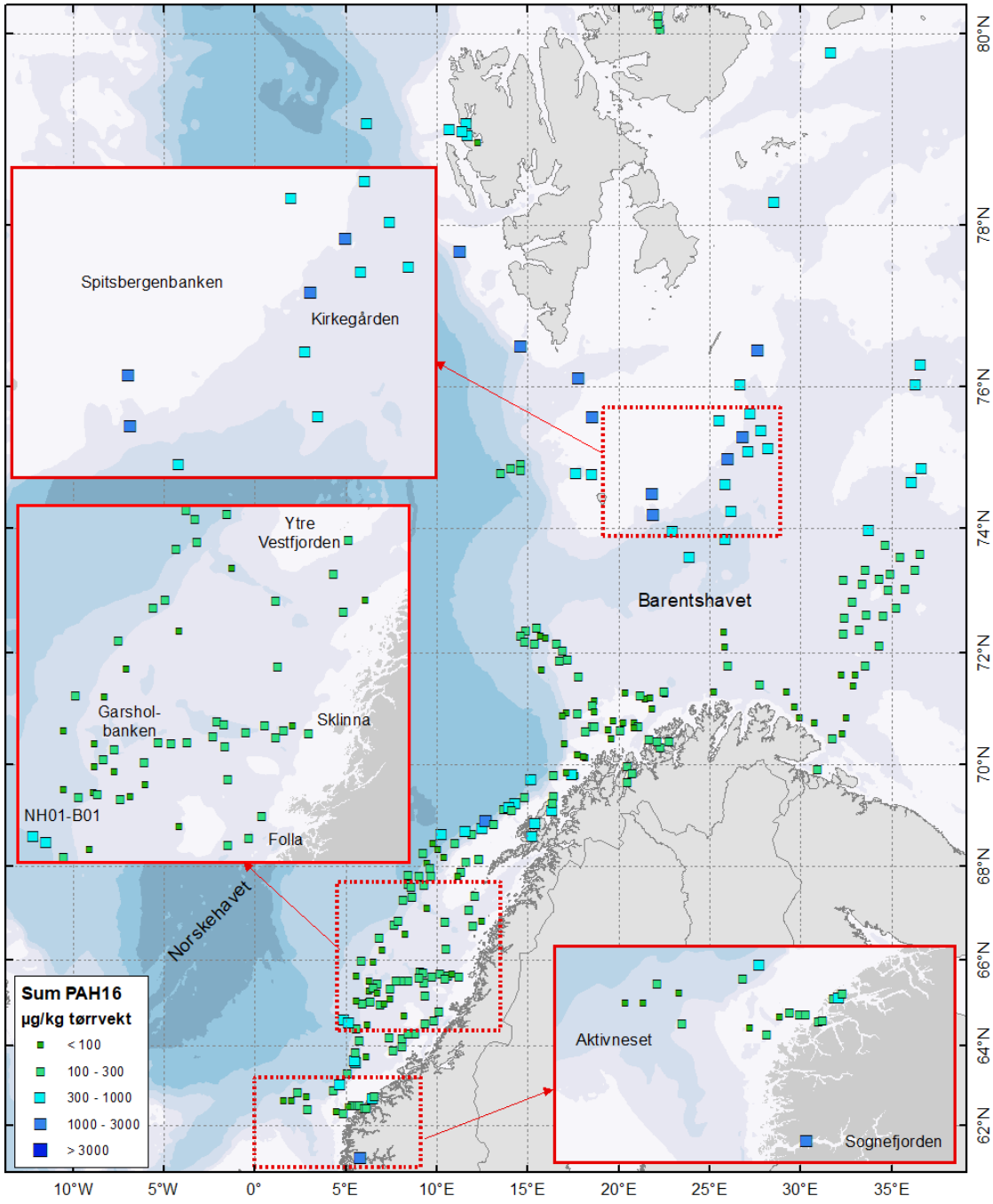
De aggregerte hydrokarbon-parametrene, totalt hydrokarbon innhold (THC) og summerte PAH-nivåer (Sum PAH) for alle de tre områdene viser en signifikant lineær korrelasjon med totalt organisk karbon innhold (TOC%), som vist på figur 10 under. Det er få uteliggere i korrelasjonene, og nivåene betinges dermed i stor grad av tilførsler av organisk karbon til sedimentene.



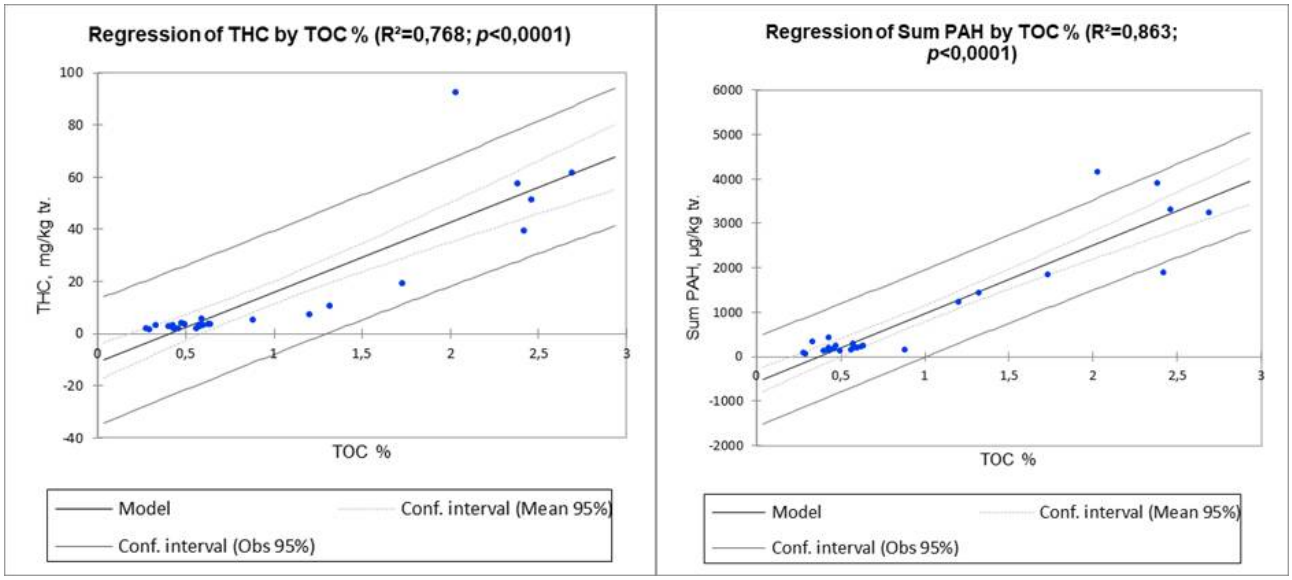
Figur 7. Summerte nivåer av 49 PAH i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.



Figur 8. NPD-nivåer i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.



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

Sedimenter fra den ene stasjonen i Sognefjorden har et middels høyt organisk karbon innhold (TOC) på 1,7%. Totalt hydrokarbon-innhold (THC) er også relativt høyt, 19 mg/kg tv., men er ikke utenom det vanlige for kystnære strøk hvor man har naturlige tilførsler av hydrokarboner pga. avrenning fra kysten. Summerte PAH-nivåer, 1844 µg/kg tv. (figur 7), kan anses som rimelig høye, som forklares av et tydelig bidrag fra pyrogene PAH. Disse inngår i parameteren PAH16 (figur 9), som ligger her på 1394 µg/kg tv. og klassifiseres dermed som Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand». Dette nivået er tydelig forhøyet ift. bakgrunnsnivåer for PAH16, og kan sannsynligvis skyldes tilførsler fra menneskelig aktivitet i området. Også nivået av benzo[*a*]pyren er forhøyet og ligger på 102 µ/kg tv., tilsvarende Miljødirektoratets tilstandsklasse II. Nivåene av både benzo[*a*]pyren og PAH16 funnet i Sognefjorden er de høyeste som er funnet blant 2021-prøvene. Det petrogene bidraget i området er derimot svakt og NPD-nivået ligger relativt lavt, ved 252 µg/kg tv. (figur 8). Dette tyder på lite oljeforurensning i området.

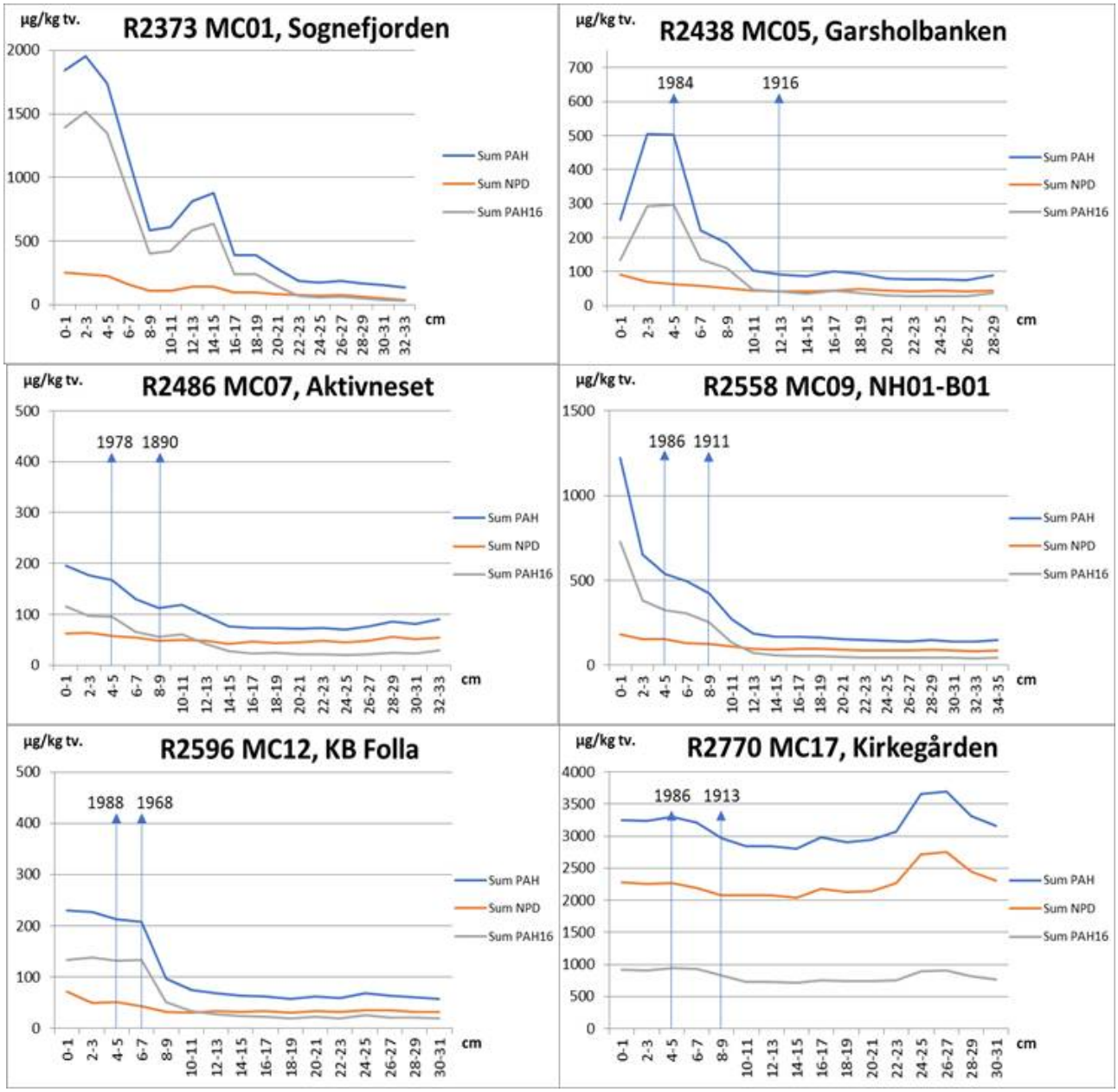
Nivåer av hydrokarboner i sedimenter fra Norskehavet er gjennomgående lave i alle områder som ble undersøkt i 2021. TOC-innholdet ligger i gjennomsnittet lavt, 0,52% for 23 stasjoner, og er på sitt høyeste ved de to dyphavsstasjonene fra området NH01-B01 (se kart i figur 2), opptil 1,3% TOC. Disse to stasjonene ligger på kontinental skråning (>1000 m dyp, se tabell 7) med betydelige tilførsler av finkornete sedimenter (95-96% finkornet sedimentfraksjon <63 µm) og er slikt sett forskjellige fra resten av Norskehavsstasjonene undersøkt i 2021, som ligger på sokkelen og har alle noe grovere sedimenter og TOC-innholdet under 1%. Dermed ligger også THC-nivåer meget lavt ved de fleste Norskehavsstasjoner, på 3,5 mg/kg tv. i gjennomsnitt, men kommer opp til 11 mg/kg tv. på sitt høyeste ved dyphavsstasjonene i NH01-B01. Dette er likevel lavere enn THC-nivået funnet i Sognefjorden. PAH-nivåer følger samme mønster, med lave gjennomsnittsnivåer for både summerte PAH-nivåer, PAH16 og NPD (hhv. 291 µg/kg tv., 169 µg/kg tv. og 70 µg/kg tv.), tilsvarende Miljødirektoratets tilstandsklasse I («Bakgrunn») for PAH16. De maksimale nivåene av PAH er funnet ved de to dyphavsstasjonene i NH01-B01 området og klassifiseres som tilstandsklasse II («God tilstand») for PAH16 (871 µg/kg tv.) Disse maksimale nivåene kan derfor vurderes som relativt lave, og alle PAH-nivåer i norskehavsprøver fra 2021 er lavere enn det som ble funnet i Sognefjorden. Benzo[*a*]pyren ligger også relativt lavt, på 12 µg/kg tv. i gjennomsnitt (tilstandsklasse II, «God tilstand»).

Det høyeste TOC-innholdet og de høyeste hydrokarbon-nivåene finner man i 2021 i prøvene fra Barentshavet, hvor TOC er over 2,0 % ved alle stasjoner og ligger i gjennomsnitt på 2,4%. Det er hundrevis av naturlige gass- og oljeutsivinger fra havbunnen som er avdekket i disse og nærliggende områder i Barentshavet (Mattingsdal 2021). Derfor ligger hydrokarbonnivået naturlig høyt i prøvene, med 60 mg/kg tv. THC i gjennomsnitt for de fem undersøkte lokalitetene. Selv de minimale THC-nivåene, 39 mg/kg tv., er betydelig høyere enn det man fant i Sognefjorden, og ca.

10 ganger høyere enn det man fant ved de fleste norskehavsstasjonene. Summerte PAH-nivåer ligger tilsvarende høyt i barentshavsprøvene fra 2021, i gjennomsnitt på 3304 µg/kg tv., og på sitt minimale (1891 µg/kg tv.) høyere enn i Sognefjorden eller i Norskehavet. Siden det er fossile stoffer som forårsaker de høye nivåene, er det NPD som ligger høyt i disse prøvene, på 2407 µg/kg tv. i gjennomsnitt, og på 1217 µg/kg tv. på sitt minste, som er minst fem ganger høyere enn i Sognefjorden og ved norskehavsstasjonene. Likevel er dette ikke de høyeste nivåene av naturlig forekommende hydrokarboner som ble funnet under MAREANO. Områdene undersøkt tidligere som ligger lenger nord og vest, nærmere Svalbard, har naturlige tilførsler av hydrokarboner fra både oljeutsivinger fra havbunnen og erosjon av kullholdige berggarter fra Svalbard, og har høyere nivåer av PAH enkelte steder (se for eksempel Boitsov & Klungsøyr, 2018a). Nivåer av PAH16, som det finnes forholdsvis lite av i fossile stoffer, er moderate og ligger på 867 µg/kg tv. i gjennomsnitt, og på 1024 µg/kg tv. på sitt høyeste, som tilsvarer Miljødirektoratets tilstandsklasse II («God tilstand»). Dette er litt lavere enn det som ble funnet i Sognefjorden, noe som igjen tyder på at nivåer av pyrogene PAH er forhøyet i Sognefjorden. Nivåer av benzo[*a*]pyren ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse II («God tilstand») i alle prøvene fra Barentshavet, ved 27 µg/kg tv. i gjennomsnitt.

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 11 for utvalgte kjerner, representative for sine geografiske områder (resultater av dateringen er også vist for utvalgte kjernesnitt for de kjernene som ble datert). Dybdeprofiler for alle kjerner er vist som absolutte nivåer i Vedlegg 1, og normalisert til TOC i Vedlegg 2.



Figur 11. Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i utvalgte sedimentkjerner.

De summerte PAH-nivåene vist med blå farge i figur 11 gjenspeiler bidrag fra forskjellige kilder. Ser man derimot på profilene til kildespesifikke PAH-indikatorer som PAH16 (grå farge i figur 11) eller NPD (oransje farge), kan man ofte forklare trender i dybdeprofilene. I sedimentkjernen fra Sognefjorden er det observert en kraftig økning i PAH-nivåer i den øverste delen av sedimentkjernen (figur 10A). 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, utrykt 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). De relativt høye nivåene oppnådd i den øverste delen av sedimentkjernen fra Sognefjorden kan skyldes nærheten til lokale kilder for utslipp på land, i tillegg til langtransporterte tilførsler. Nivåene overskrider likevel ikke

tilstandsklasse II («God tilstand») for PAH16.

Det er betydelig lavere nivåer som er funnet i sedimentkjernene fra sokkelområdene i Norskehavet, men dybdeprofilene i disse (vist for noen eksempler i figur 11B-11E) ligner på det som er funnet i sedimentkjernen fra Sognefjorden. Her skjer det også en økning i PAH16-nivåer mot overflaten, og lite endring i NPD-nivåer gjennom kjernene. Flere av kjernene ble datert og man ser at økning i PAH-nivåer skjer mellom ca. midt på 1800-tallet og tidlig på 1900-tallet. Dette tyder på samme forklaring som for Sognefjorden, med økt menneskelig aktivitet og kullfyring m.m. som kilde for tilførsler av pyrogene PAH, men med lavere nivåer på grunn av lang avstand fra land. En utflating og videre nedgang i PAH-nivåene ved overflaten, som er tydelig i enkelte kjerner, attribueres lavere bruk av kull de siste tiårene. De høyeste nivåene i dette området funnet i sedimentkjernen fra NH01-B01 (figur 11D) forklares av høyere mengder TOC tilført sedimentene der.

Et helt annet mønster i PAH-profilene ble funnet i sedimentkjerner fra Barentshavet, se ett eksempel i figur 11F for sedimentkjerne fra området Kirkegården i sentrale Barentshav. Her ligger PAH-nivåene betydelig høyere enn i Sognefjorden eller i Norskehavet, men det er ingen spesiell trend i nivåene gjennom kjernen. Nivåene er rimelig stabile, og for de daterte kjernene ser man at det ikke skjer noe vesentlig endring i moderne tider sammenlignet med gamle sedimenter. Det er NPD som dominerer PAH-sammensetningen i disse kjernene 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 fra områdene undersøkt i 2021 bekrefter dette.

4.3 - Nivåer av PBDE i overflatesedimenter

Oppsummering av PBDE-nivåene funnet i overflatesediment fra 24 lokaliteter i MAREANO-området er gitt i tabell 9 og vist på kart i figur 13, mens alle resultater for PBDE i overflatesedimenter er gitt i MAREANOs Kjemidatabase på https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata.

Tabell 9. Gjennomsnitts-, minimale og maksimale nivåer av PBDE i overflatesedimenter fra 24 lokaliteter undersøkt i 2021. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 3 (grønn farge: tilstandsklasse II, God tilstand).

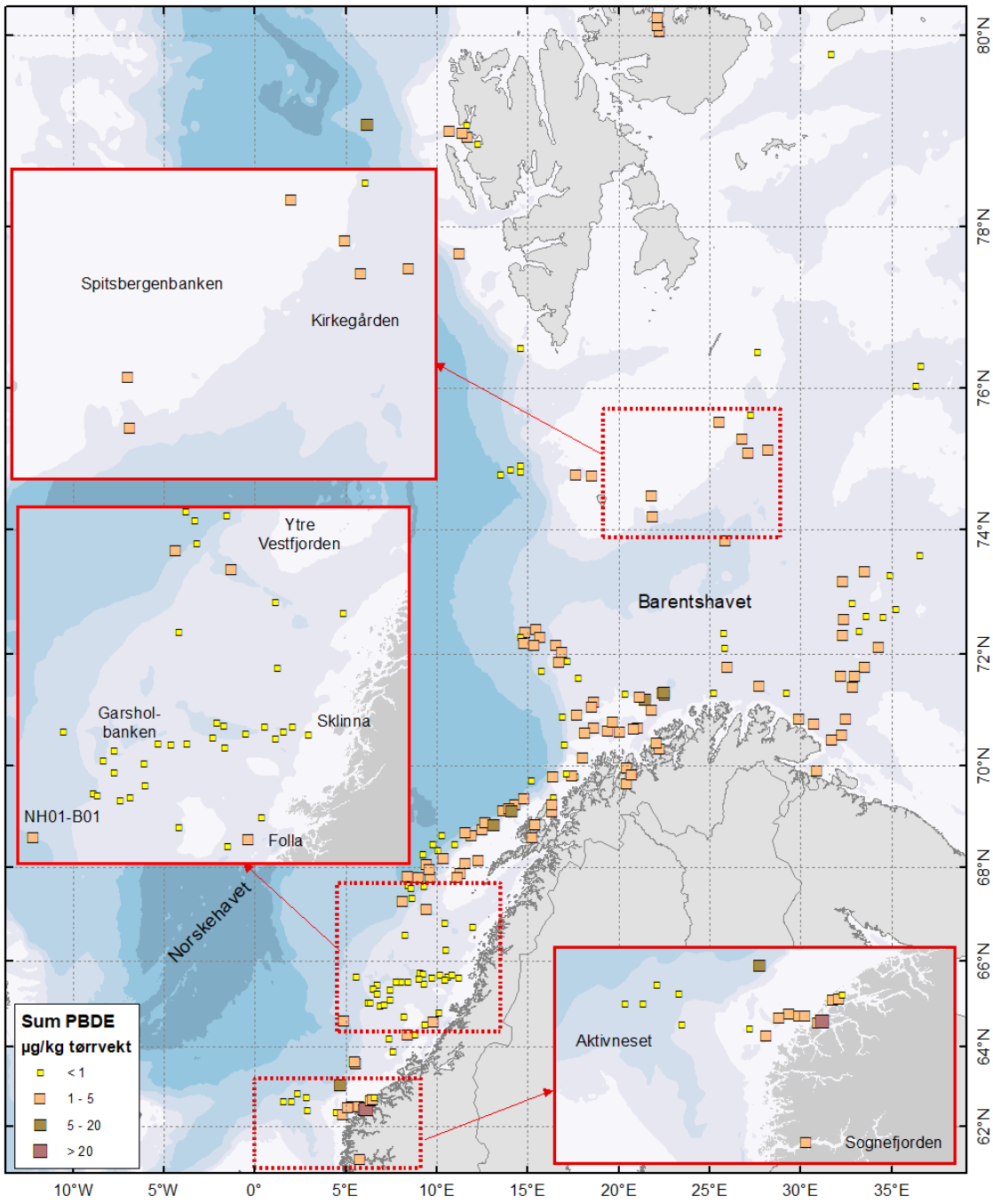
Nivå µg/kg tv.	*n*	**Sum 19 PBDE**	**Sum 6 PBDE**	**BDE-99**	**BDE-183**	**BDE-209**
Sognefjorden	*1*	4,0	0,84	0,21	<0,03	0,69
Norskehavet-2021	*19*					
Min.		<0,57	<0,18	<0,03	<0,03	<0,03
Gjennomsnitt*		0,79	<0,18	<0,03	<0,03	0,08
Maks.		1,2	0,29	0,05	0,07	0,33
Barentshavet-2021	*4*					
Min.		1,3	0,27	<0,03	<0,03	<0,03
Gjennomsnitt*		1,9	0,52	0,07	<0,03	<0,03
Maks.		3,0	1,1	0,13	<0,03	<0,03

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

Nivåene av PBDE i alle undersøkte prøver ligger lavt, under deteksjonsgrensen for flere kongenere. De summerte nivåene ligger høyest i Sognefjorden, på 4,0 µg/kg tv., som er høyere enn nivåene funnet ved barentshavsstasjonene (1,9 µg/kg tv. i gjennomsnittet), til tross for noe lavere TOC-innhold i sedimenter i Sognefjorden (1,7%) enn i prøvene fra Barentshavet (2,4% i gjennomsnitt). Dette kan tyde på en del lokal forurensning i Sognefjorden. 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 er ikke høyere i Sognefjorden enn de maksimale nivåene funnet i Barentshavet, 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 prøven fra Sognefjorden består av en blanding av kongenere og domineres ikke tydelig av noen av de, men det er BDE-118 og BDE-209 som det finnes mest av i prøven (hhv. 39% og 17% av det summerte PBDE-nivået).

I prøvene fra Norskehavet ligger nivåer av PBDE meget lavt og er under målegrensen i flere av 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

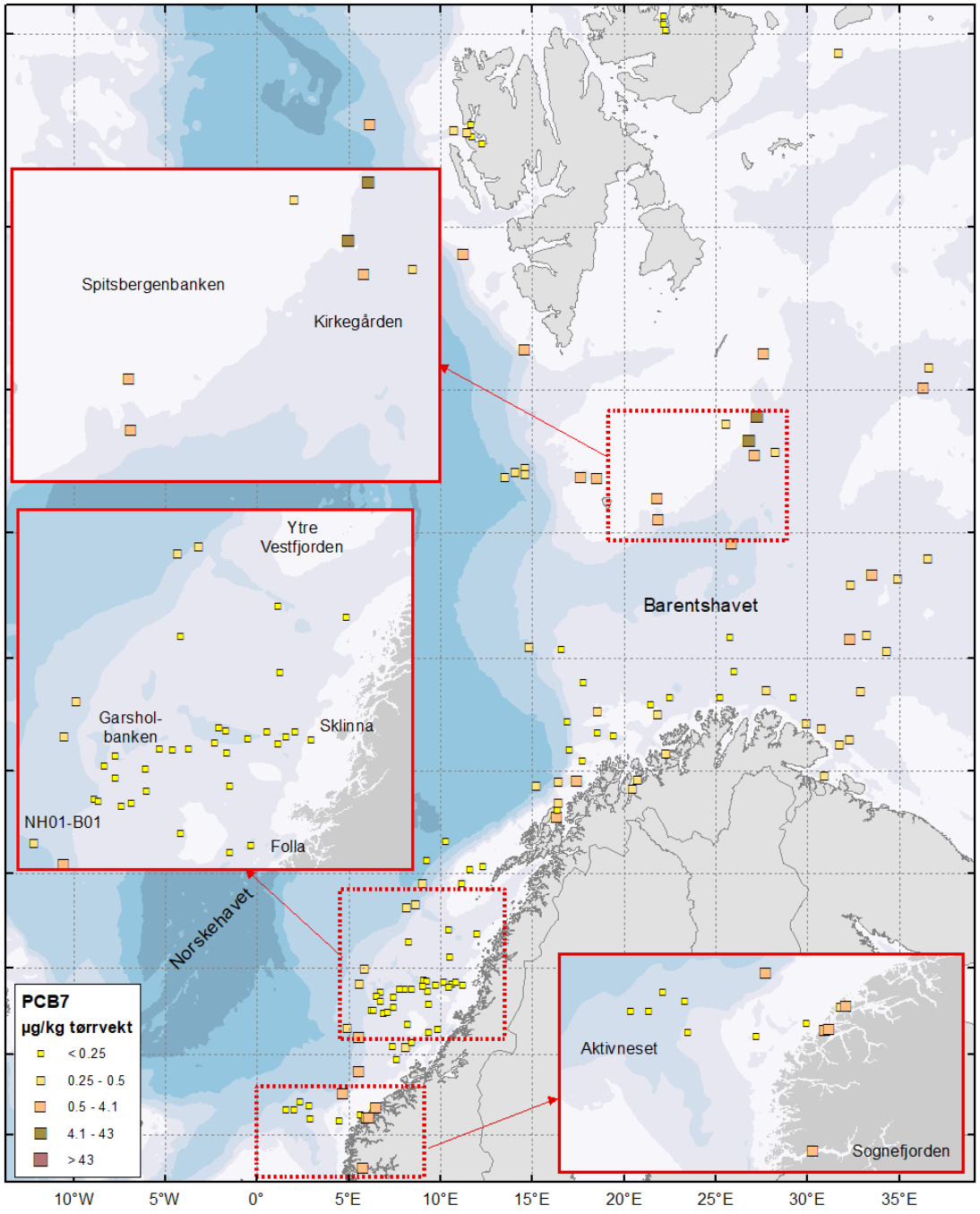
Oppsummering av PCB- og OCP-nivåer funnet i overflatesediment fra 24 lokaliteter i MAREANO-området er gitt i tabell 10, og vist for to av stoffgruppene på kart i figurene 14 og 15. Alle resultater for PCB og OCP i overflatesedimenter er gitt i MAREANOs Kjemidatabase på https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata.

Tabell 10. Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter fra 24 lokaliteter undersøkt i 2021. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 4 (grønn farge: tilstandsklasse II, «God tilstand»; gul farge: tilstandsklasse III, «Moderat»).

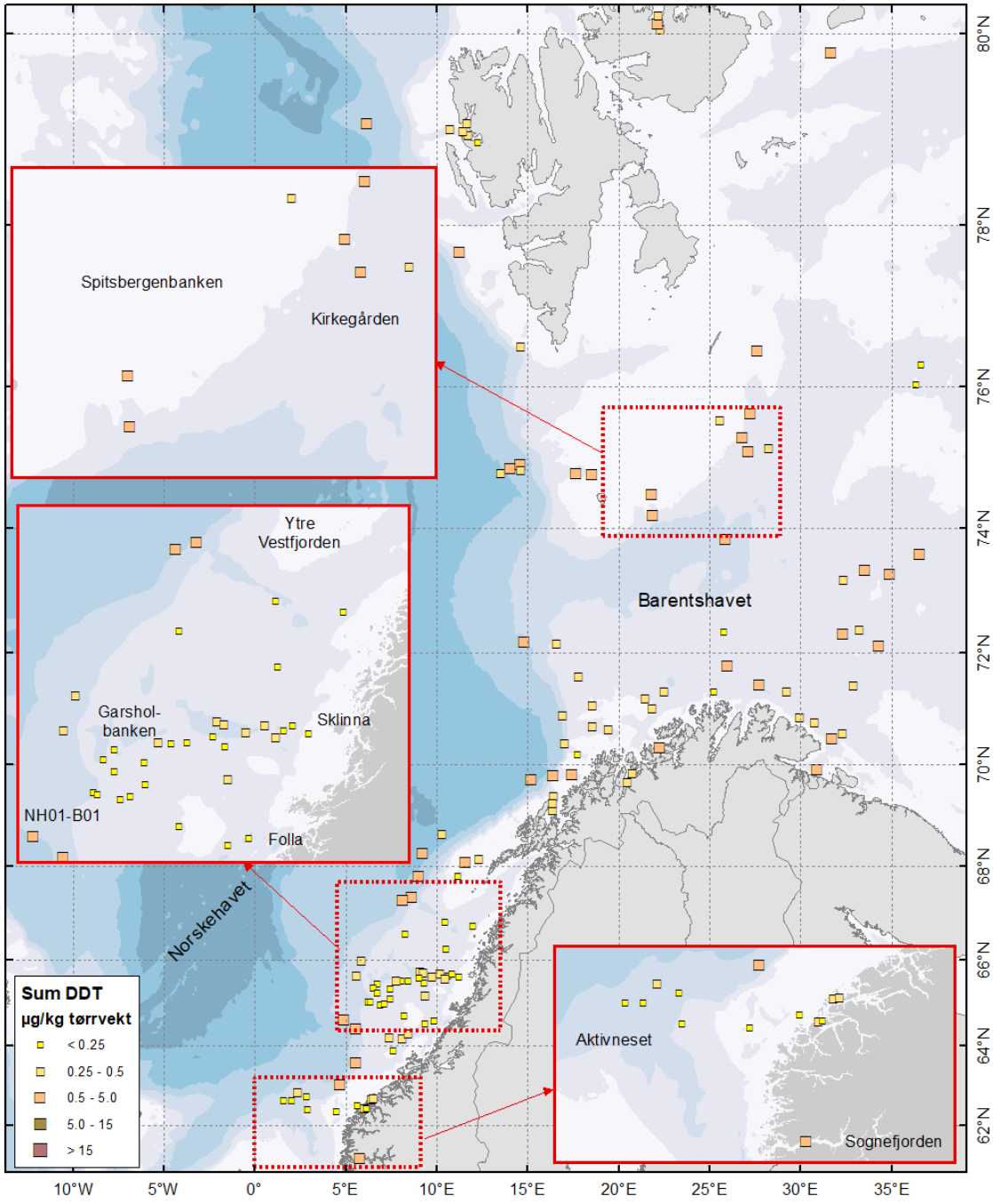
Nivå µg/kg tv.	*n*	**PCB7**	**Sum 10 PCB**	**ΣDDT**	**γ-HCH (lindan)**	**ΣHCH**	**HCB**	**TNC**
Sognefjorden	*1*	0,65	0,69	0,97	0,02	<0,06	0,10	<0,02
Norskehavet-2021	*19*							
Min.		<0,14	<0,20	0,09	<0,02	<0,06	<0,02	<0,02
Gjennomsnitt*		<0,14	<0,20	0,20	<0,02	<0,06	0,04	<0,02
Maks.		0,41	0,45	0,89	0,04	0,06	0,14	<0,02
Barentshavet-2021	*4*							
Min.		0,27	0,33	0,43	<0,02	0,08	0,37	0,03
Gjennomsnitt*		0,49	0,60	0,61	0,04	0,11	0,58	0,03
Maks.		0,69	0,87	0,76	0,08	0,15	0,77	0,04

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

Nivåene av PCB og OCP i prøvene fra 2021 ligger lavt i alle prøver. Nivåene er meget lave i prøvene fra Norskehavet, med de høyeste nivåene funnet i området B01-NH01, i samsvar med høy andel finstoff (>90% sedimentfraksjon <63 µm) og relativt høyt TOC-innhold (1,2%) i sedimentene i dette området. Nivåene er noe høyere i prøvene fra Sognefjorden og Barentshavet, i tråd med høyere TOC-innhold i disse områdene, men er fortsatt lave også her. Ifølge tilstandsklassene etablert av Miljødirektoratet for disse stoffene, ligger PCB7, ΣDDT, lindan og HCB i klasse II («God tilstand)» i alle prøvene, med ett unntak for γ-HCH (lindan) som ligger i tilstandsklasse III («Moderat») i den ene prøven fra stasjon R2770. Sedimenter fra denne stasjonen har det høyeste TOC-innholdet av alle prøver fra 2021 (2,7%). Også i denne prøven er nivåene av γ-HCH veldig lave, 0,079 µg/g tv., som er rett over den etablerte grensen for tilstandsklasse III i sedimenter (0,074 µg/kg tv.) Alle disse resultater tyder på langtransporterte tilførsler av PCB og enkelte pesticider med havstrømmer, luft og is, og er i samsvar med det som ble funnet av MAREANO i nærliggende områder, se rapporter fra tidligere år på mareano.no .



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 ΣDDT 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 ni lokaliteter. Det er seks stoffgrupper som presenteres her: PFAS, alkylfenoler, dekloraner, PFR, klorparafiner og siloksaner. Oppsummering av resultatene for utvalgte stoffgrupperer gitt i tabell 11. Resultater for PFAS og 4-nonylfenol er også vist på kart i figurene 16 - 17. Alle resultater

er gitt i MAREANOs Kjemidatabase på https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata.

Tabell 11. Nivåer av PFAS, alkylfenoler, BPA, DP og MCCP i overflatesedimenter fra ni lokaliteter undersøkt i 2021, 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]	4*t*OP	4NP	BPA[b]	DP	MCCP
Norskehavet-2021	6								
Min.		0,04	0,08	0,23	<0,10	<0,25	<1,5	0,06	<91
Gjennomsnitt[c]		0,24	0,31	0,89	<0,10	<0,25	<1,5	0,17	<91
Maks.		0,37	0,57	1,6	<0,10	0,45	<1,5	0,38	<91
Barentshavet-2021	3								
Min.		0,16	0,18	0,53	<0,10	1,1	<1,5	<0,07	<91
Gjennomsnitt[c]		0,20	0,33	0,93	<0,10	1,2	<1,5	0,05	<91
Maks.		0,26	0,62	1,7	<0,10	1,4	<1,5	0,07	<91

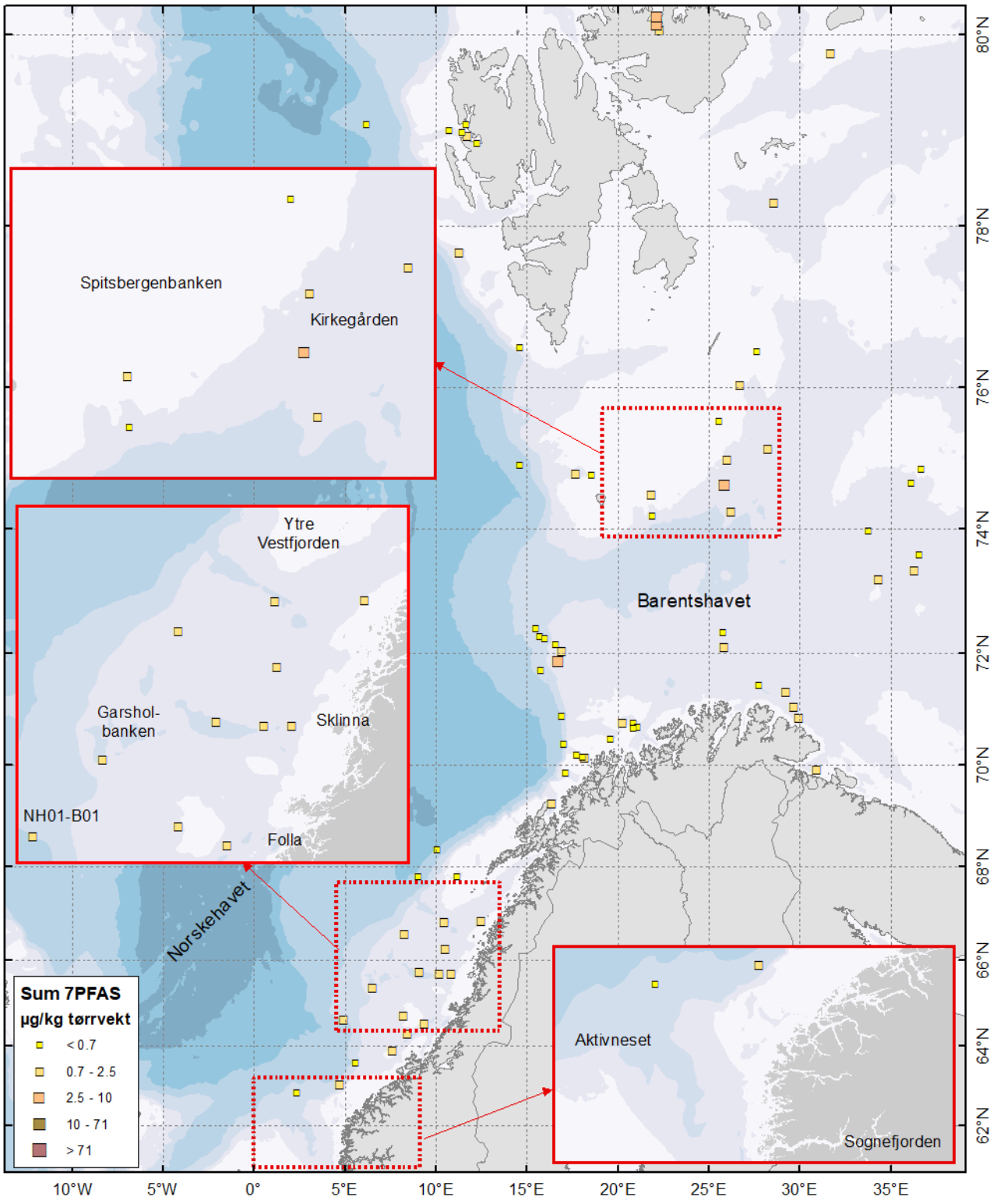
a – Summen av PFOSlin, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA.

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

4.5.1 - Nivåer av PFAS i overflatesedimenter

Nivåer av PFAS ligger lavt ved de undersøkte lokalitetene. Kun syv av de 22 PFAS som ble analysert finnes over målegrensen i prøvene. De samme syv stoffene ble tidligere funnet over målegrensen i andre prøver fra MAREANO-området (Boitsov & Klungsøyr 2018b), og rapporteres som en del av «7 PFAS» (listet i fotnote *a* i tabell 11). Nivåer av PFAS varierer lite i de områdene som ble undersøkt i 2021, og ligger i snitt på 0,89 µg/kg tv. for summen av 7 PFAS ved norskehavsstasjonene, og på 0,93 µg/kg tv. ved barentshavsstasjonene, se figur 16 under. Dette kan sammenlignes med det som tidligere ble funnet av MAREANO flere andre steder, se rapporter fra tidligere år. Flere av prøvene fra både Norskehavet og Barentshavet ligger i Miljødirektoratets klasse III («Moderat») for PFOS, mens resten 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. Årets undersøkelse bekrefter dermed konklusjoner gjort tidligere om at det finnes lave men målbare mengder av PFAS i sedimenter fra norske havområder omtrent overalt hvor målingene ble foretatt.

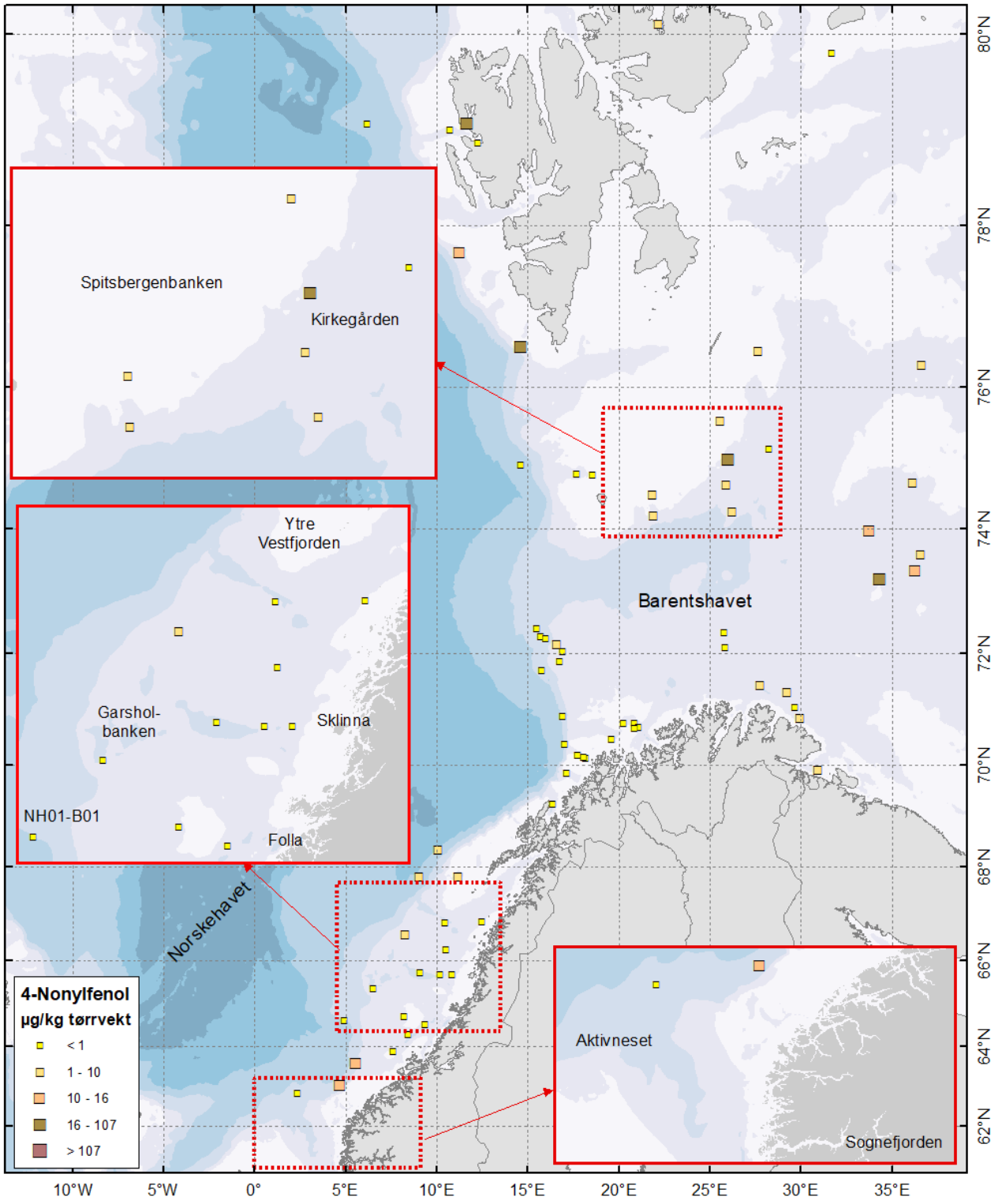


Figur 16. Summerte nivåer av syv PFAS-forbindelser i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

4.5.2 - Nivåer av alkylfenoler i overflatesedimenter

Resultatene vist i tabell 11 ovenfor er alle under kvantifiseringsgrensen (LOQ) for 4-*t*OP. Nesten alle resultater fra Norskehavet er også under LOQ for 4-nonylfenol, og ellers like over LOQ. I Barentshavet er nivåer av 4-nonylfenol litt høyere, i samsvar med høyere TOC-innhold og i likhet med det som ble funnet tidligere i dette havområdet, se

rapporter fra tidligere år på mareano.no. Både 4-*t*OP og 4-nonylfenol ligger i Miljødirektoratets klasse II («God tilstand») ved alle stasjonene. Nivåer av 4-*t*OP-etoksylater, 4-NP-etoksylater og BPA er alle under LOQ.



Figur 17. Nivåer av 4-nonylfenol 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 kun funnet meget lave nivåer av dekloraner i prøvene samlet inn i 2021. I tråd med tidligere resultater, hvor det ble påvist en svak antydning til økning i dekloran-nivåene i de sørligste områdene undersøkt av MAREANO sammenlignet med nordlige strøk (Boitsov mfl. 2019), er det funnet dekloraner ved alle lokaliteter i Norskehavet i 2021, med 0,17 µg/kg tv. som gjennomsnittsnivå for summen av DP *syn* og *anti*, mens det i Barentshavet kun er funnet DP *anti* rett over LOQ (0,03 µg/kg tv.) i to av de tre prøvene som ble undersøkt. Det er DP *anti* som enten er den eneste eller den dominerende forbindelsen av dekloran-type i alle de prøvene hvor dekloraner ble funnet.

4.5.4 - Nivåer av klorparafiner i overflatesedimenter

Klorparaffiner (SCCP og MCCP) ble ikke funnet i nivåer over LOQ (69 µg/kg tv. for SCCP og 91 µg/kg tv. for MCCP) i noen av prøvene fra de ni lokalitetene som ble analysert for nye miljøgifter. Dette tyder på meget lave nivåer av klorparafiner i de undersøkte områdene. Nivåene tilsvarer Miljødirektoratets tilstandsklasse II («God tilstand») for MCCP.

4.5.5 - Nivåer av PFR i overflatesedimenter

De aller fleste PFR-forbindelser ligger under målegrensen i alle prøver fra 2021, som er i tråd med tidligere resultater fra MAREANO, hvor det fram til nå ikke var funnet vesentlig forurensning med PFR. I årets prøver er det likevel enkelte PFR-forbindelser som ligger over målegrensen i to av prøvene, fra stasjon R2558 i området B01-NH01 i Norskehavet og fra stasjon R2770 fra området Kirkegården i Barentshavet. Disse to prøvene har høyest andel finstoff (>90% sedimentfraksjon <63 µm) blant de ni prøvene som ble undersøkt, og tilsvarende høyt TOC-innhold (1,2% TOC ved stasjon R2558, som er det høyeste blant norskehavsstasjonene, og 2,7% TOC ved stasjon R2770, som er det høyeste blant alle stasjoner). Det er først og fremst PFR-forbindelser av type isopropylerte fenylfosfater (IPPP) som man finner over målegrensen i disse prøvene. Kun ett av disse stoffene, TIPPP, var analysert av MAREANO tidligere, og var funnet i spormengder noen få steder. De andre stoffene av denne typen som er funnet i 2021-prøvene, 2-IPPDPP, 4-IPPDPP og B4IPPPP+isomerer, har ikke vært målt under MAREANO før. Summen av IPPP-PFR funnet i prøvene ligger på 3,9 µg/kg tv. ved stasjon R2558 i Norskehavet og på 8,2 µg/kg tv. ved stasjon R2770 i Barentshavet, og er under LOQ (0,8 µg/kg tv.) ved alle de andre stasjonene. Miljødirektoratet har ikke etablert tilstandsklasser for disse stoffene i sedimenter, men dette kan vurderes som lave nivåer. Likevel kan disse resultatene tyde på tilførsler av små mengder av disse menneskeskapte miljøgiftene til sedimenter i fjerntliggende områder i åpent hav.

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 på hver prøvetakingsstasjon for å ha kontroll på effekter av prøvetakningen.

Nivåer av alle siloksaner var under LOQ (0,37 µg/kg tv.) i alle prøver, med unntaket av siloksan D6, som var rett over LOQ i to av prøvene, de fra stasjonene R2770 og R2869 i Barentshavet. Dette er prøver med meget finkornete sedimenter og høyest innhold av TOC blant alle prøver samlet i 2021, hhv. 2,7% og 2,4% TOC. Det er funnet 0,50 µg/kg tv. siloksan D6 i prøve R2770 og 0,41 µg/kg tv. D6 i prøve R2869.

5 - Planlagt arbeid

Prøvetaking i nye deler av MAREANO-området blir videreført. Det er tatt sedimentkjerner på nye lokaliteter i Kvitøyrenna og andre områder nord for Svalbard på to tokt i juni-juli og august-september 2022, samt nordøst i Nordsjøen og i den østlige delen av Skagerrak i oktober 2022. Prøvene vil bli analysert for hydrokarboner (PAH, THC), og for PBDE, PCB, klorerte pesticider og nye miljøgifter i løpet av 2023. Analyseresultatene er planlagt for rapportering i desember 2023.

6 - Konklusjoner

6.1 – Hydrokarboner

- Det er funnet lave nivåer av PAH og THC i overflatesedimenter fra norskehavssokkelen. Nivåene av benzo[*a*]pyren og PAH16 ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse I («Bakgrunn») eller II («God tilstand»). I Sognefjorden er det funnet forhøyet nivå av pyrogene PAH og nivåene ligger i tilstandsklasse II («God tilstand»). I Barentshavet er det funnet høye nivåer av petrogene PAH (NPD), mens nivåer av pyrogene PAH ligger relativt lavt og tilsvarer tilstandsklasse II («God tilstand») for PAH16 og benzo[*a*]pyren.
- I sedimentkjerner fra norskehavssokkelen er det funnet en klar trend med forhøyet nivå av PAH16 i moderne sedimentlag fra ca. siste 100-150 år, med en utflating eller nedgang i nivåene i de aller øverste sedimentlag i noen av kjernene. Sistnevnte trend er enda sterkere uttrykt i kjernen fra Sognefjorden. Dette er i likhet med det som er observert flere andre steder i norske havområder, og tolkes som tilførsler av pyrogene PAH knyttet til menneskelig påvirkning.
- I sedimentkjerner fra Barentshavet finner man stabilt høye nivåer av petrogene PAH (NPD) gjennom hele kjernen, knyttet til naturlige forekomster av fossile stoffer i dette området.

6.2 – Persistente organiske miljøgifter

- Det ble funnet lave nivåer av PBDE i prøvene fra Barentshavet, og meget lave nivåer i prøvene fra Norskehavet. Det er antydning til et svakt forhøyet nivå av PBDE i prøven fra Sognefjorden. Nivåene ligger i Miljødirektoratets klasse II («God tilstand») alle steder.
- Nivåer av PCB og OCP er lave eller meget lave ved alle undersøkte lokaliteter. Nivåene ligger i Miljødirektoratets klasse II for alle stoffer, bortsett fra γ-HCH (lindan) i én prøve fra Barentshavet hvor nivået havner i tilstandsklasse III («Moderat») .
- PFAS er funnet i lave nivåer ved ni lokaliteter i de studerte områdene i Norskehavet og Barentshavet. Nivåene ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse II («God tilstand») og klasse III («Moderat») for PFOS, og tilstandsklasse II for PFOA.
- Blant alkylfenoler er det kun funnet lave nivåer av 4-NP, mens 4-*t*OP, BPA, og alle etoksylater er under LOQ ved alle lokaliteter. 4-NP ligger i Miljødirektoratets klasse II («God tilstand») i alle prøver.
- Dekloraner ble funnet i meget lave nivåer i alle de seks prøvene fra Norskehavet som ble analysert, med DP *anti* som hovedkomponent. Det ble kun funnet spormengder av DP *anti* i to av de tre prøvene fra Barentshavet.
- Det er for første gang funnet flere PFR-forbindelser over LOQ i flere prøver fra MAREANO-området. Isopropylerte fenylfosfater ble funnet i lave nivåer i to av prøvene som har høyt innhold av finstoff. De fleste forbindelser av denne typen har ikke blitt analysert under MAREANO tidligere.
- Klorparafiner ligger alle under LOQ og siloksaner ligger enten veldig lavt eller er under LOQ i alle prøvene.

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.

Bester, K., Theobald, N., Schröder, H.F. 2001. Nonylphenols, nonylphenol-ethoxylates, linear alkylbenzenesulfonates (LAS) and bis(4-chlorophenyl)-sulfone in the German Bight of the North Sea. Chemosphere 45, 817-826.

Boitsov, S., Klungsøyr, J., Svardal, 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., Klungsøyr, J. 2018a. Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området i 2016 og 2017. Rapport fra Havforskningen 11-2018, 56 s. Tilgjengelig på http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter

Boitsov, S., Klungsøyr, J. 2018b. 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., Nesje, G. 2019. Undersøkelser av nye organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området i 2018. Rapport fra Havforskningen 2019-50, 49 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.

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.

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, $^{239, 240}$Pu

and ^{341}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., 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. Ss. 50. 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

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., Fjelldal, 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. Ss. 110. 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 alkylhenols 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. Ss. 135. 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. Ss. 45. 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.

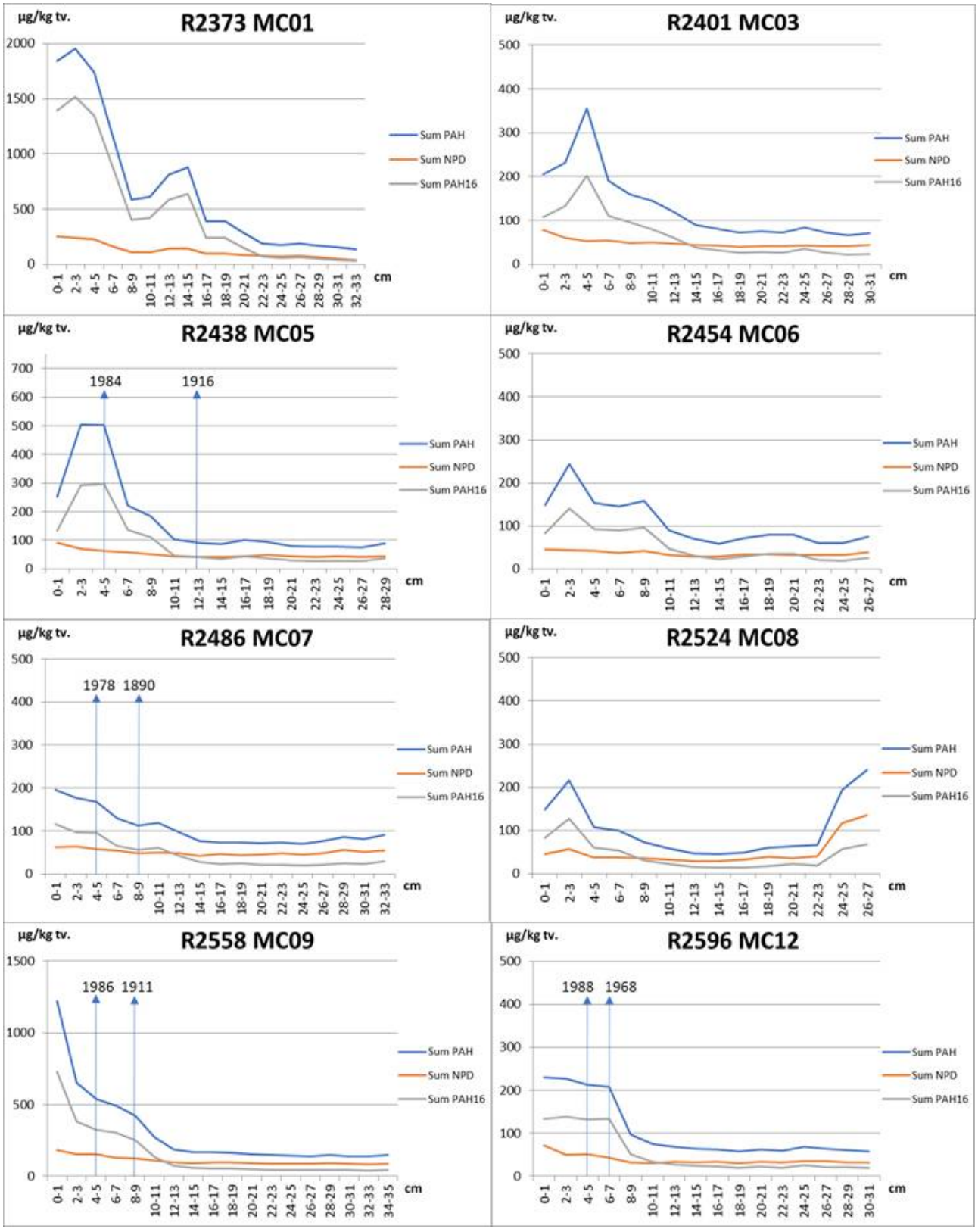
Wang, P., Zhang, Q., Zhang, H., Wang, T., Sun, H., Zheng, S., Li, Y., Liang, Y., Jiang, G. 2016. Sources and environmental behaviors of Dechlorane Plus and related compounds – a review. Environment International 88, 206-220.

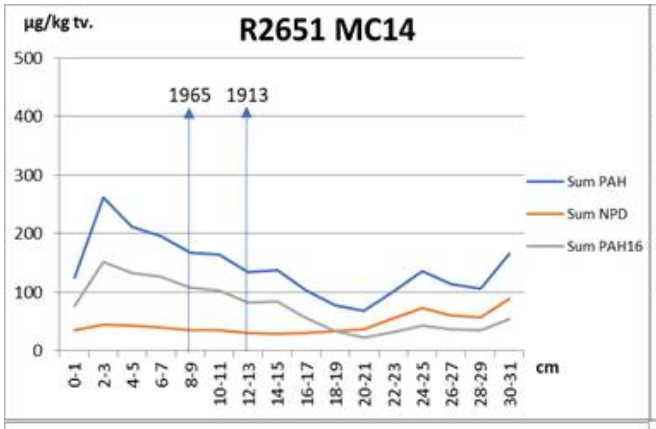
Wang, Z., DeWitt, J.C., Higgins, C.P., Cousins, I.T. 2017. A never-ending story of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs)? Environmental Science and Technology 51, 2508-2518.

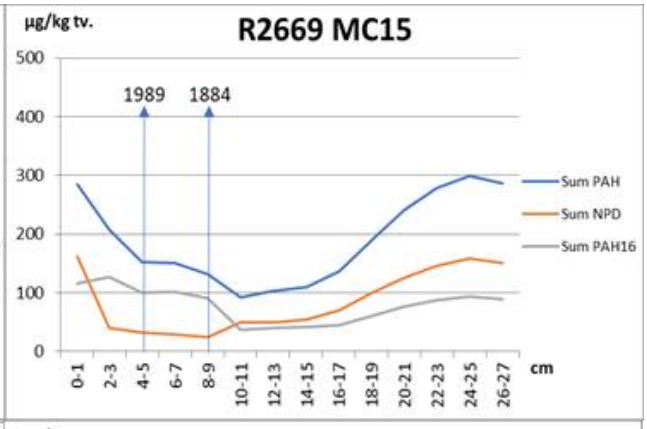
Zaborska, A., Carroll, J., Papucci, C., Torricelli, L., Carroll, M.L., Walkusz-Miotk, J., Pempkowiak, J. 2008. Recent sediment accumulation rates for the Western margin of the Barents Sea. Deep-Sea Research II 55, 2352–2360.

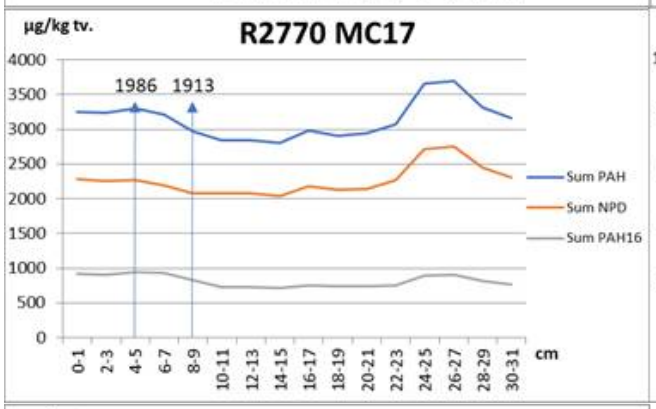
8 - Vedlegg

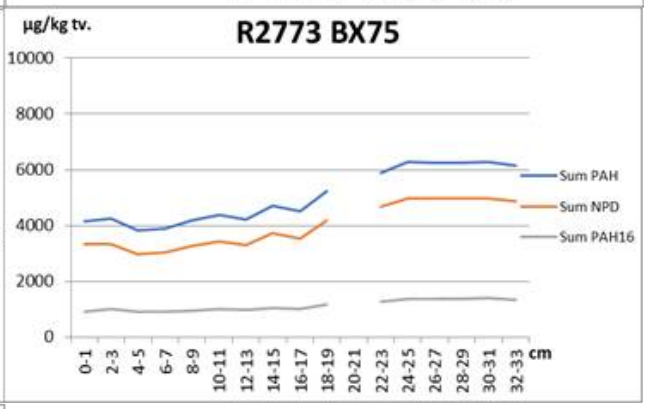
8.1 - Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i sedimentkjerner

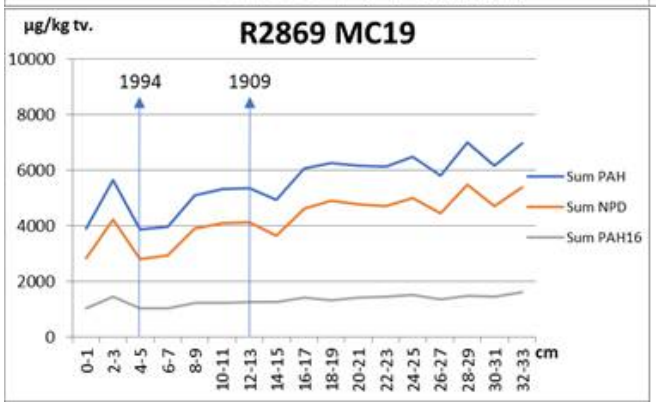



µg/kg tv.
R2651 MC14
1965
1913
Sum PAH
Sum NPD
Sum PAH16
cm

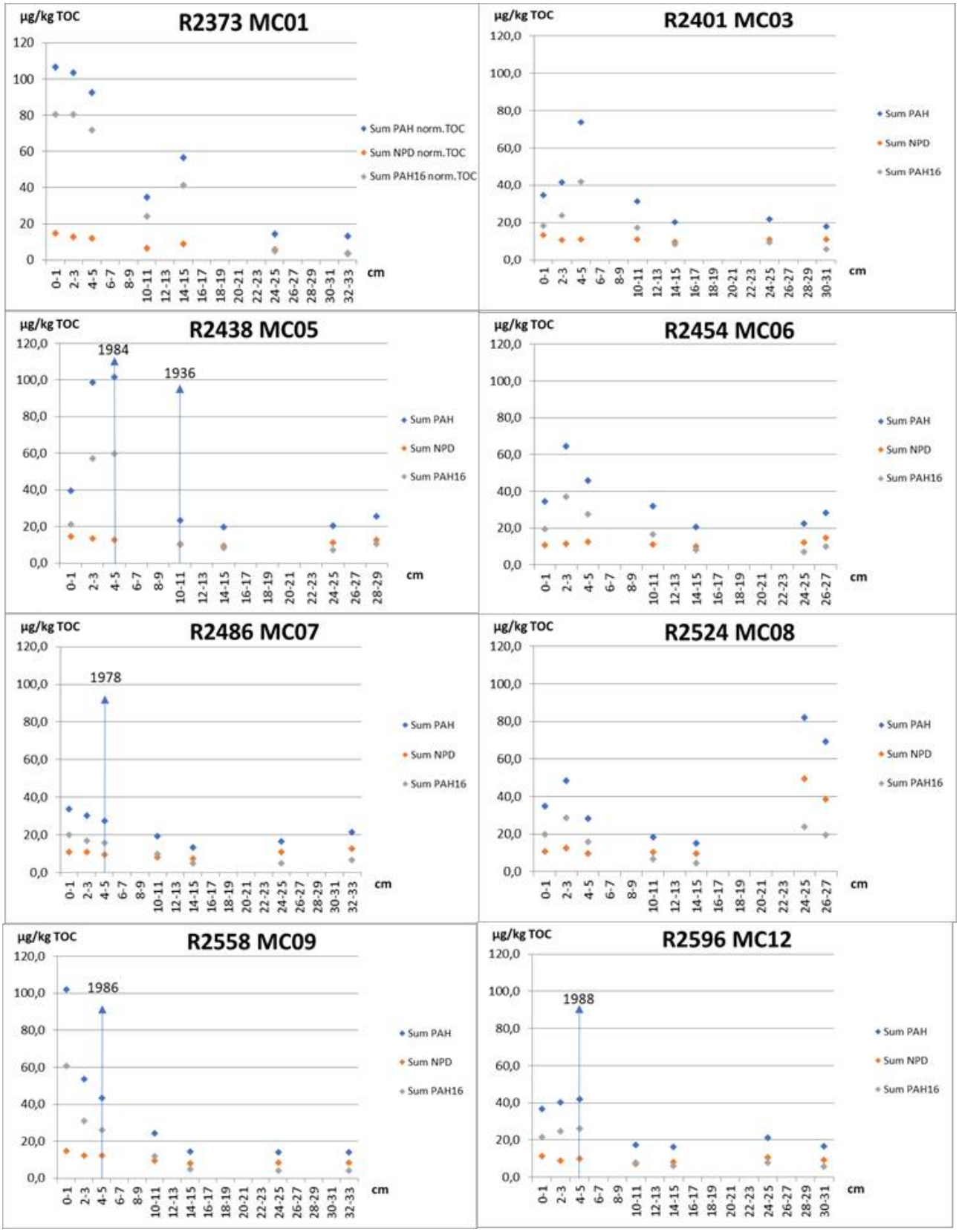

µg/kg tv.
R2669 MC15
1989
1884
Sum PAH
Sum NPD
Sum PAH16
cm

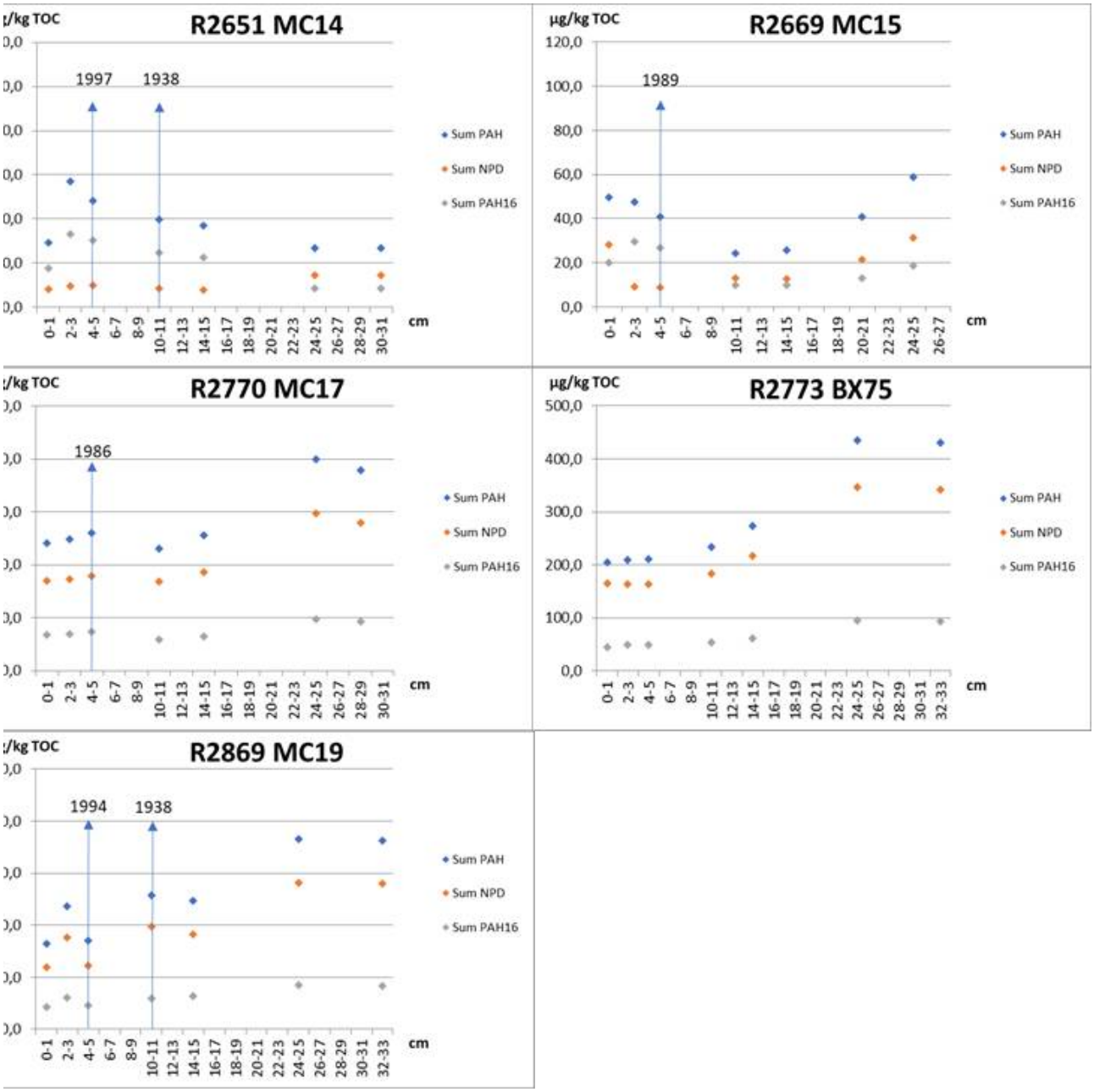

µg/kg tv.
R2770 MC17
1986
1913
Sum PAH
Sum NPD
Sum PAH16
cm


µg/kg tv.
R2773 BX75
Sum PAH
Sum NPD
Sum PAH16
cm


µg/kg tv.
R2869 MC19
1994
1909
Sum PAH
Sum NPD
Sum PAH16
cm

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




R2651 MC14
1997
1938
Sum PAH
Sum NPD
Sum PAH16
cm
R2669 MC15
µg/kg TOC
1989
Sum PAH
Sum NPD
Sum PAH16
cm
R2770 MC17
1986
Sum PAH
Sum NPD
Sum PAH16
cm
R2773 BX75
µg/kg TOC
Sum PAH
Sum NPD
Sum PAH16
cm
R2869 MC19
1994
1938
Sum PAH
Sum NPD
Sum PAH16
cm

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
Tlf: 55 23 85 00
E-post: post@hi.no
www.hi.no