UNDERSØKELSER AV HYDROKARBONER OG ORGANISKE MILJØGIFTER I SEDIMENTER FRA MAREANO-OMRÅDET I 2018

RAPPORT FRA
HAVFORSKNINGEN
NR. 2019-50

Tittel (norsk og engelsk):

Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området i 2018

Hydrocarbons and organic contaminants in sediments from the MAREANO area in 2018

Rapportserie:	År - Nr.:	Dato:
Rapport fra havforskningen	2019-50	16.12.2019

ISSN:1893-4536

Forfatter(e):

Stepan Boitsov, Jarle Klungsøyr og Guri Nesje (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

Antall sider:

53

Sammendrag (norsk):

Havforskningsinstituttet har gjennomført målinger av hydrokarboner (PAH) i sedimenter fra åtte lokaliteter i MAREANO-området. I overflatesedimenter ble det i tillegg målt totalt hydrokarbon innhold (THC), bromerte flammehemmere (PBDE), klorerte miljøgifter (PCB og pesticider) og nye organiske miljøgifter (PFAS, alkylfenoler, PFR, klorparafiner og siloksaner). Prøvene var innsamlet i 2017 sørvest for Svalbard og i 2018 i Kongsfjorden og Rijpfjorden. For første gang under MAREANO ble det også utført analyser av dekloraner i sedimenter, inkludert prøver innsamlet tidligere ved 30 lokaliteter i Norskehavet og Barentshavet. Relativt høye nivåer av hydrokarboner ble funnet på alle de åtte lokalitetene, først og fremst oljerelaterte lette og alkylerte PAH av naturlig opphav. Fortolkning av PAH-konsentrasjonsprofiler i kjernene var usikker pga. for få prøvesnitt per kjerne analysert, men resultatene tydet på endring i bakgrunnsnivåene i moderne tid, spesielt i Rijpfjorden. Benzo[*a*]pyren ligger i Miljødirektoratets klasse II (AA-EQS). Nivåene av menneskeskapte organiske miljøgifter av alle typer listet ovenfor var overalt lave eller meget lave. Nivåene tilsvarte Miljødirektoratets klasse II, med unntak av lindan ved én lokalitet sørvest for Svalbard, alkylfenoler ved én lokalitet i Kongsfjorden, og PFAS ved tre lokaliteter i Rijpfjorden, hvor disse stoffene var i Miljødirektoratets klasse III (MAC-EQS). Det var veldig lave nivåer av dekloraner overalt.

Sammendrag (engelsk):

Institute of Marine Research has analysed hydrocarbons (PAH) in sediments from eight locations in the MAREANO area. Total hydrocarbon contents (THC), brominated flame retardants (PBDE), chlorinated contaminants (PCB and pesticides) and emerging organic contaminants (PFAS, alkylphenols, PFR, chlorinated paraffins, siloxanes) were analysed in surface sediments only. The samples were collected in 2017 south-west of Svalbard and in 2018 in Kongsfjorden and Rijpfjorden. In addition, analyses of dechloranes in sediments were carried out for the first time under MAREANO, including samples from 30 locations in the Norwegian Sea and the Barents Sea sampled earlier. Relatively high levels of PAH were found in sediments at all the eight locations, mainly oil-related light and alkylated PAH of natural origin. The interpretation of PAH concentration profiles in sediment cores was uncertain due to too few samples analysed per core but gave an indication of possible changes in background levels of PAH in modern times, particularly in Rijpfjorden. Benzo[*a*]pyrene was in the Norwegian Environmental Agency's class II (AA-EQS). The levels of all the anthropogenic contaminants listed above were low or very low everywhere. The levels corresponded to class II, except for lindane at one location south-west of Svalbard, alkylphenols at one location in Kongsfjorden, and PFAS at three locations in Rijpfjorden, where these substances had levels corresponding to class III (MAC-EQS). Dechlorane levels were very low everywhere.

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 *Sedimentstudier* 10

2.2.2 *Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og andre hydrokarboner* 10

2.2.3 *Bromerte flammehemmere* 12

2.2.4 *Polyklorerte bifenyler (PCB) og organiske klorerte pesticider (OCP)* 13

2.2.5 *Nye organiske miljøgifter* 15

3 Metoder 19

3.1 Prøvetaking 19

3.2 Analysemetoder 23

3.2.1 *PAH og THC i sedimenter* 23

3.2.2 *Polybromerte difenyletere (PBDE) og klorerte miljøgifter i sedimenter* 23

3.2.3 *Nye organiske miljøgifter* 24

4 Resultater 25

4.1 Nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter 25

4.2 PAH i sedimentkjerner 30

4.3 Nivåer av PBDE i overflatesedimenter 34

4.4 Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter 36

4.5 Nivåer av dekloraner i overflatesedimenter 39

4.6 Nivåer av andre nye organiske miljøgifter i overflatesedimenter 42

4.6.1 *Nivåer av PFAS i overflatesedimenter* 42

4.6.2 *Nivåer av alkylfenoler i overflatesedimenter* 44

4.6.3 *Nivåer av klorparafiner i overflatesedimenter* 46

4.6.4 *Nivåer av PFR i overflatesedimenter* 46

4.6.5 *Nivåer av siloksaner i overflatesedimenter* 46

5 Planlagt arbeid 47

6 Konklusjoner 48

6.1 Hydrokarboner 48

6.2 Menneskeskapte persistente organiske miljøgifter 48

7 Referanser 50

1 - Liste over forkortelser brukt i rapporten

AA-EQS	Engelsk: *Environmental quality standard, annual average*
ASE	Engelsk: *Accelerated Solvent Extraction*
BFH	Bromerte flammehemmere
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*)
MAC-EQS	Engelsk: *Environmental quality standard, maximum annual concentration*
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

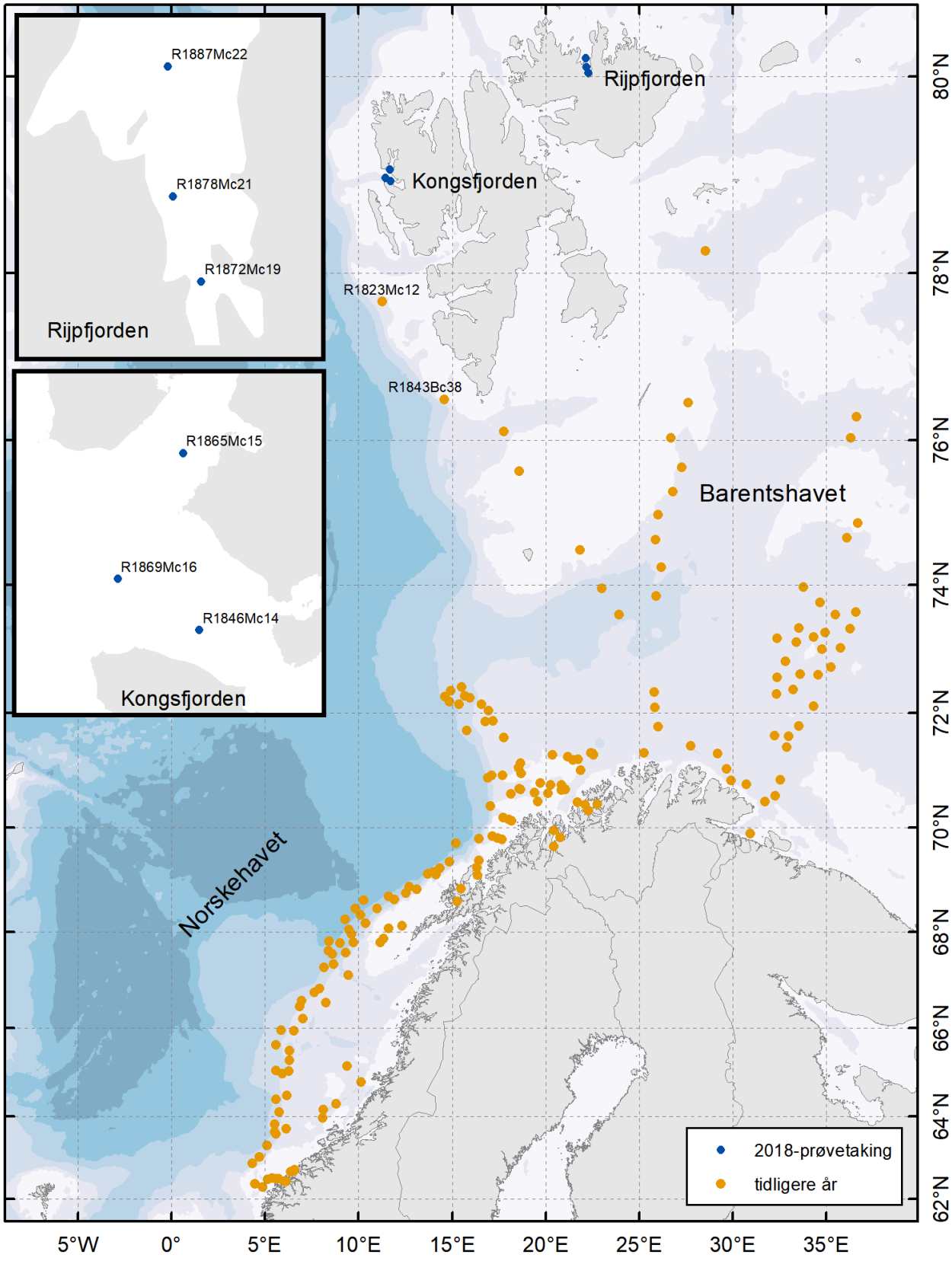
MAREANO er et nasjonalt program for kartlegging av havbunnen på norsk sokkel, påbegynt i 2005. De første sedimentprøvene ble samlet inn i 2006. Resultater av målinger av organiske miljøgifter fra tidligere år er rapportert på www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter. Resultatene er også tilgjengelig 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-toktet med forskningsfartøyet ”G.O. Sars” (figur 1) i august-september 2018 i Kongsfjorden og Rijpfjorden på Svalbard. Prøver fra to stasjoner sørvest for Svalbard, planlagt opprinnelig for prøvetaking i 2018 men faktisk innsamlet i 2017, rapporteres også her. Prøvetakingslokalitetene 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 alle analysene er

omtalt i denne rapporten. NGU analyserte i tillegg prøver fra de samme lokalitetene for innhold av totalt organisk karbon (TOC), kornstørrelses-fordeling 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 2019.



Figur 2 . Prøvetakingslokaliteter for sedimenter i MAREANO-området. Stasjonene hvor det ble tatt prøver i 2018 er vist med blå farge. Stasjonene omtalt i denne rapporten er merket med stasjonsnumre.

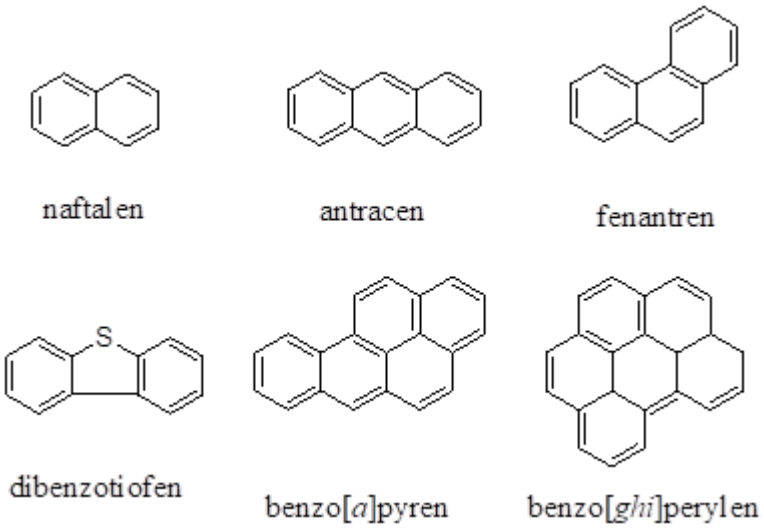
2.2 - Bakgrunn for målinger av organiske miljøgifter

2.2.1 - Sedimentstudier

Marine sedimenter kan utgjøre et betydelig lager av miljøgifter. 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. Grovere sedimenter som sand osv. inneholder vanligvis lite organisk materiale og egner seg derfor dårligere for analyse av organiske miljøgifter. Sedimentprøvene blir av denne grunn i hovedsak innsamlet fra lokaliteter der man forventer bløtbunn med stor andel finkornet sediment (<63 µm kornstørrelse, dvs. silt og leire). 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 sedimentasjonsrater i området. 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 og dypere sedimentlag). I andre områder mer påvirket av bioturbasjon og/eller resuspensjon blir ^{210}Pb-dateringene mer usikre (Jensen mfl. 2009). Sedimentasjonsratene varierer fra sted til sted, og ligger i åpne deler av Barentshavet på rundt 2 mm/år eller lavere (se for eksempel Heldal mfl. 2002; Zaborska mfl. 2008). I enkelte fjord- og kystnære områder kan det noen steder være noe høyere sedimentasjonshastigheter.

2.2.2 - Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og andre hydrokarboner

I MAREANO-programmet utgjør polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) den typen organiske miljøgifter som analyseres mest grundig. PAH består av to eller flere aromatiske ringer (se figur 3) og har lav vannløselighet. PAH er derfor i stor grad bundet til ulike typer partikler som for eksempel organiske kolloider, plankton eller mineralpartikler. Alle PAH er lipofile (løses lett i fett) og kan bioakkumuleres i marine organismer. Eksponering for PAH kan føre til forskjellige skader, siden mange PAH er giftige og kreftfremkallende. I marine sedimenter kan PAH bli bevart i lang tid, og man kan studere trendene i tilførsel av PAH ved å analysere sedimentkjerner. Egenskapene til PAH er beskrevet mer detaljert av Neff (2002). Noen PAH-lignende forbindelser som inneholder svovel, som dibenzotiofen (se figur 3), analyseres sammen med PAH.



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

PAH kan stamme fra forskjellige 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	Fossile stoffer	Produkter av ufullstendig forbrenning	Biologiske prosesser
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	Naftalen, fenantren, alkylnaftalener, alkylfenantrener	Fenantren, fluoranten, pyren, benzo[*a*]pyren, benzo[*ghi*]perylen	Perylen
*Indikator**	NPD	PAH16	Perylen

* NPD – summerte nivåer av naftalen, fenantren, dibenzotiofen og deres alkylerte homologer. PAH16 – summerte nivåer av 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.

Det er først og fremst petrogene og pyrogene PAH som skaper forurensningsproblemer. Det er generelt lave nivåer av PAH i sedimenter på norsk sokkel i nord, men det finnes både naturlige forekomster av PAH og lokale punktkilder for utslipp fra menneskelig aktivitet. Over hele havet finner man i tillegg bakgrunnsnivåer som kan forklares av langtransport fra fjerntliggende områder.

Miljødirektoratet har utarbeidet et eget klassifiseringssystem for nivåene av enkelte PAH-forbindelser i marine sedimenter, basert på internasjonalt etablerte systemer for miljøkvalitetsstandarder (*Environmental Quality Standards*, EQS) og risikovurdering av kjemikalier i EU (Miljødirektoratet 2016). En av disse 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 klassifisering 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. Miljødirektoratets tilstandsklasser for benzo[*a*]pyren i sedimenter er vist i tabell 2.

Tabell 2. Miljødirektoratets tilstandsklasser på PAH-forurensning i marine sedimenter (Miljødirektoratet 2016).

Tilstandsklasse	**Klasse I Bakgrunn**	**Klasse II AA-EQS***	**Klasse III MAC-EQS***	**Klasse IV**	**Klasse V Omfattende akutt tox eff.**
Benzo[*a*]pyren, µg/kg tv.	<6	6–183	183–230	230–13100	> 13100

* AA-EQS: Environmental quality standard, annual average. MAC-EQS: Environmental quality standard, maximum annual

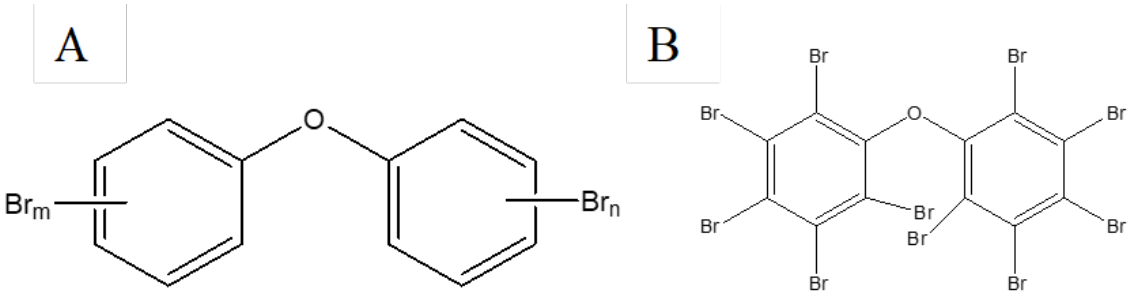
concentration.

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 brukes ofte som terskelnivå for mulige effekter på bunnlevende marine organismer (for eksempel OSPAR 2009).

2.2.3 - Bromerte flammehemmere

Bromerte flammehemmere (BFH) er masseproduserte kjemikalier som har vært brukt av industrien siden 1970-tallet, for det meste som flammehemmere i forskjellige typer plast, tekstiler, møbler, byggematerialer, elektronisk utstyr, osv. BFH består av flere typer kjemiske forbindelser med felles evne til å dempe brann, men med forskjellig grad av giftighet og ulike kjemiske egenskaper. BFH er lite nedbrytbare (persistente) i miljøet og kan transporteres med luft- og havstrømmer over store avstander. De finnes derfor i små mengder selv i uberørte områder, som for eksempel i arktiske strøk. De er lite løselige i vann, fettløselige og kan samles opp i fettholdige organer som fiskelever.

Mens produksjon og bruk av noen av disse stoffgruppene nå er forbudt over store deler av verden på grunn av deres skadelige miljøvirkninger, som for eksempel bromerte bifenyler, er flere andre grupper fortsatt i bruk, også i Europa. Den mest utbredte gruppen BFH som er i bruk er polybromerte difenyletere (PBDE). PBDE er produsert av mennesker og finnes ikke naturlig i miljøet. Likevel kan man finne spor av disse forbindelsene i miljøprøver fra hele verden, på grunn av langtransport fra fjerne kildeområder. 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.



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: BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153 og BDE-154. Som for PAH, er tilstands-klassene basert på internasjonale miljøkvalitetsstandarder (EQS), men grenseverdiene er etablert bare fra klasse II og oppover, se tabell 3. Dette gjelder kun for forurensede sedimenter i kyst- og havneområder, mens bakgrunnsnivåer i åpent hav som regel ligger mye lavere.

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

Tilstandsklasse	Klasse I Bakgrunn	Klasse II AA-EQS	Klasse III MAC-EQS	Klasse IV	Klasse V Omfattende akutt tox eff.
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.

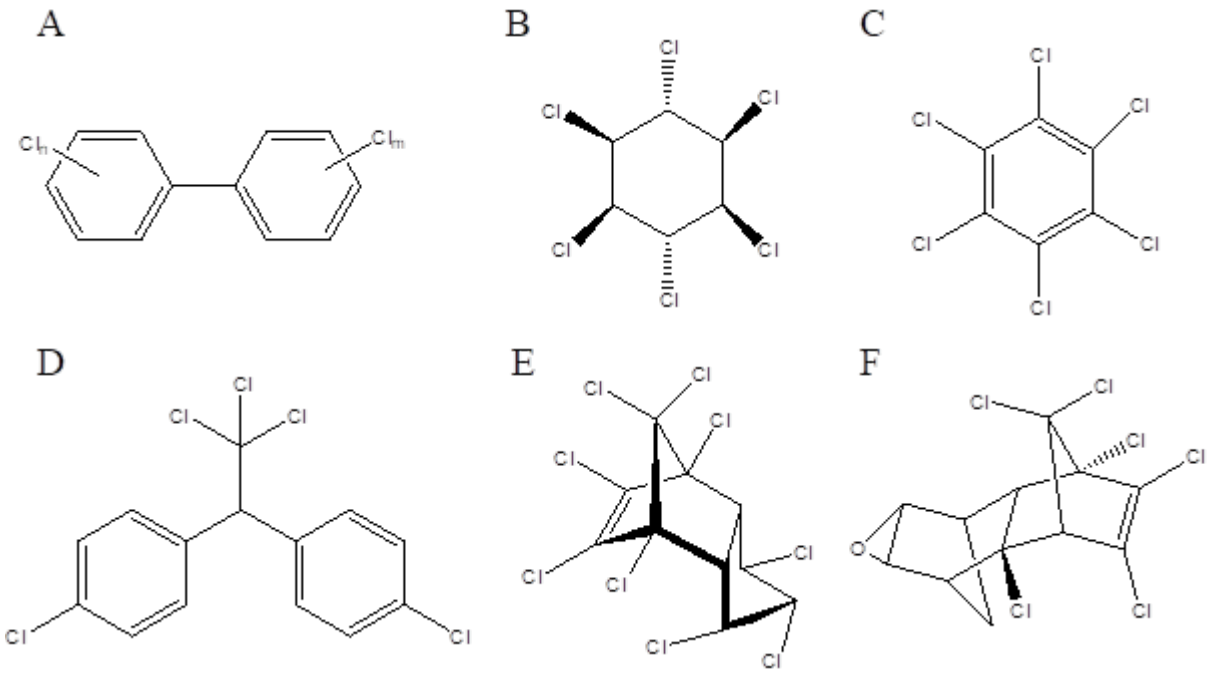
BDE-99 er en markør for en av de kommersielle PBDE-blandingene som var mye brukt i industrien, ”penta-blandingen”. Det finnes også to andre slike blandinger, ”okta-blandingen”, med BDE-183 som markør, og ”deka-blandingen”, med BDE-209 som markør. Det er ikke etablert tilstandsklasser for BDE-183 eller BDE-209.

Okta- og penta-blandingene er imidlertid nå omfattet av Stockholm-konvensjonen og skal dermed være forbudt over hele verden (se http://chm.pops.int), men deka-blandingen fortsatt er tillatt i store deler av verden og Europa. Deka-blanding har vært forbudt i Norge siden 2008.

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.

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 parameter 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. Det analyseres også på PCB31, som ikke er dioksinlignende, men som finnes i relativt høy konsentrasjon i noen miljøprøver.



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); dieldrin (F).

OCP, "*organic chlorinated pesticides*", er et samlenavn på forskjellige klorerte stoffgrupper brukt som plantevernmidler (pesticider). Havforskningsinstituttet analyserer på 5 typer OCP som er beskrevet nedenfor. Alle OCP er toksiske og persistente i havmiljøet og kan bioakkumuleres.

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 3 mest toksiske isomerene av HCH inkludert i Stockholm-konvensjonen med mål om utfasing.

Heksaklorbenzen (HCB) (figur 5C) har vært i bruk som fungicid. HCB er omfattet av Stockholm-konvensjonen siden 2004. 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.

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, som man kan finne bl.a. i sedimenter i norske havområder. DDT ble ført opp på

Stockholm-konvensjonens liste av stoffer som skal fases ut i 2004.

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

Dieldrin (figur 5F) er et pesticid som først ble utviklet som et alternativ til DDT, og er fortsatt i bruk i enkelte land som Thailand og i Afrika. Det er omfattet av Stockholm-konvensjonen siden 2004.

Tilstandsklasser er kun utarbeidet av Miljødirektoratet for PCB7 og enkelte OCP, se tabell 4. De gjelder for forurenset 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, AA-EQS .

Tabell 4. Miljødirektoratets tilstandsklasser på PCB- og OCP-forurensning i marine sedimenter (Miljødirektoratet 2016).

Konsentrasjoner (µg/kg tørrvekt)	**Klasse I Bakgrunn**	**Klasse II AA-EQS**	**Klasse III MAC-EQS**	**Klasse IV**	**Klasse V Omfattende akutt tox eff.**
∑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: *emerging contaminants*) 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 er en gruppe fluoralkylerte forbindelser som er persistente i marint miljø og kan tas opp av biota og bioakkumuleres. De mistenkes å kunne ha negative helseeffekter både for mennesker og andre levende organismer (Corsini mfl. 2014), 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 studie utført i 2007 i Barentshavet fant spormengder av enkeltstoffer i denne gruppen (PFOS) 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 som var like høye eller høyere enn nivåer av bromerte og klorerte miljøgifter (for eksempel Kelly mfl. 2009).

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 over bakgrunnsnivå i

sedimenter fra Barentshavet i 2007-studiet, men var lavere enn effektgrensen (SFT 2008a). Mellomkjedete klorparafiner (MCCP) ble ikke funnet i sedimentene i 2007. I 2013 ble både SCCP og MCCP funnet i forskjellige biota-arter i norske arktiske strøk (Miljødirektoratet 2013), mens de ble tidligere påvist i forskjellige deler av arktisk miljø over hele Arktis (Vorkamp & Rigét 2014).

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 2007-studiet 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 derfor kommer ut i det marine miljø bl.a. med avløpsvann. Enkelte siloksaner har vært vurdert som persistente og toksiske (Rücker & Kümmerer 2015). 2007-studiet fant 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 2007-studiet ble det ikke funnet alkylfenoler over deteksjonsgrense i sedimentene, mens alkylfenoletoksylater ble funnet både på bakgrunnsnivå og ved noe høyere nivåer, noe som ga behov for videre undersøkelser (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 BDE209 (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* , hvor av 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 AA-EQS	Klasse III MAC-EQS	Klasse IV	Klasse V Omfattende akutt tox eff.

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, 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 i denne studien er listet i tabell 6.

Tabell 6. Nye organiske miljøgifter utvalgt til analyse.

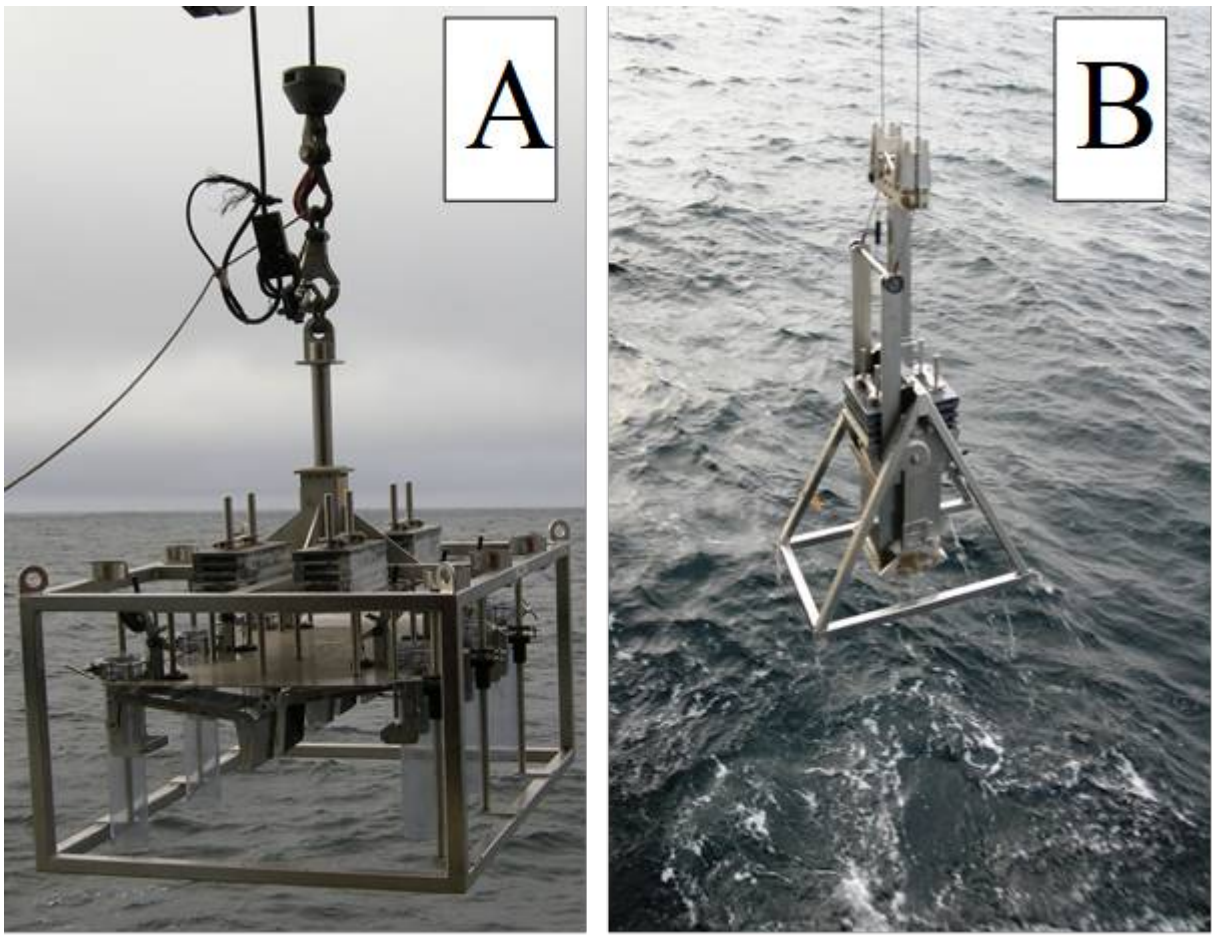
Stoffgruppe	Enkeltforbindelser	Forkortelse
PFAS (per- og polyfluorerte alkylerte stoffer, engelsk: *per- and polyfluorinated alkylated substances*)	*Perfluoroktansulfonamid*	PFOSA
	Perfluorbutansulfonat	PFBS
	Perfluorpentansulfonat	PFPS
	Perfluorheksansulfonat	PFHxS
	Perfluorheptansulfonat	PFHpS
	Perfluoroktansulfonat 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
	Tris(2-etylheksyl)fosfat	TEHP
Siloksaner	*Oktametylsyklotetrasiloksan*	D4
	Dekametylsyklopentasiloksan	D5
	Dodekametylsykloheksasiloksan	D6
Alkylfenoler, alkylfenoletoksylater 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

Detaljerte multistråle-bunnkart laget av Kartverket Sjødivisjonen ble benyttet 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 seks PVC-rør med 106 mm indre diameter og 60 cm lengde (figur 6A). I noen tilfeller når multicoreren av forskjellige årsaker ikke kan brukes, blir man nødt til å benytte bokscorer (figur 6B). Med bokscorer kan man få inntil fire sedimentkjerner av samme diameter som i multicoreren (multicorer-rør benyttes for prøveuttak fra bokscorer). Van Veen-grabb blir benyttet i de få tilfellene da 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 ble kuttet i 1 cm tykke skiver, pakket i aluminiumsfolie og frosset umiddelbart etter prøvetaking. Kun redskap av rustfritt stål ble brukt for å håndtere prøvene. Prøvene ble oppbevart ved -20 °C om bord, under transport til laboratoriet og videre fram til analyse.

Til analyse av nye organiske miljøgifter ble det samlet inn egne prøver av overflatesediment. En bokscorer ble

tatt på de samme lokalitetene som multicorer. Etter fullført prøvetaking, men før bokscoreren ble åpnet, ble den tatt til side og skjermet fra alt personale om bord unntatt prøvetakeren. Prøvetakeren hadde de siste 24 timer før prøvetaking ikke vært eksponert for noen form for såpe, kosmetikk eller andre materialer som kunne inneholde siloksaner. Feltblankprøve tilsendt fra NILU ble åpnet ved siden av bokscoreren samtidig som bokscoreren ble åpnet. Prøven ble samlet inn med spade av rustfritt stål og oppbevart i vasket og glødet glass, dekket med aluminium-folie og så lukket med skrulokk på folien. Feltblankprøven ble så lukket og plassert sammen med prøven. Prøvene ble oppbevart 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 nummer, hvor den første bokstaven, ”R” står for MAREANO-programmets prøvetakingsstasjonsnummer. Dette er gjennomgående og unikt for alle MAREANO-toktene gjennom alle år. Det andre nummeret med ”MC” står for multicorer-prøvetakingsnummer i det året prøven ble tatt. Lengden på sedimentkjernene og analyseprogram for disse er også vist i tabell 7.

I tillegg til prøvene fra Svalbard-området vist i tabell 7, ble det gjort et utvalg av prøver samlet inn i tidligere år andre steder i Barentshavet og Norskehavet, med formål om analyser av dekloraner. Disse analysene ble utført i prøver fra 36 lokaliteter, inkludert 8 lokaliteter beskrevet i tabell 7 og 28 lokaliteter prøvetatt i 2008-2017. Disse prøvene er beskrevet i tabell 8.

Tabell 7. Prøvetakingslokaliteter i Svalbard-område under MAREANO-tokt i 2017 og 2018, og utførte analyser.

Stasjon	Dato	Breddegrad, N	Lengdegrad, Ø	Vanndybde, m	Kjernelengde, cm	Utførte analyser og antall analyserte prøver						
						PAH	THC[a]	PBDE, PCB og OCP[a]	Alkylfenoler[a]	Nye miljøgifter[a]	TOC[b]	^{210}Pb[b]
R1823 MC12	12.11.2017	77°41.13’	11°14.97’	303	35	7	1	1	c	1	7	17
R1843 BX38	15.11.2017	76°31.29’	14°34.87’	277	1	1	1	1	c	1	1	-
R1846 MC14	22.08.2018	78°59.09’	11°42.45’	311	44	22	1	1	-	1	1	-
R1865 MC15	24.08.2018	79°06.29’	11°38.89’	275	33	16	1	1	1	1	1	-
R1869 MC16	25.08.2018	79°01.19’	11°24.92’	346	38	19	1	1	-	1	7	14
R1872 MC19	26.08.2018	80°02.38’	22°15.20’	145	27	13	1	1	-	1	1	-
R1878 MC21	27.08.2018	80°05.52’	22°09.21’	213	31	15	1	1	1	1	1	-
R1887 MC23	28.08.2018	80°10.29’	22°08.08’	208	37	18	1	1	-	1	7	15

[a] Overflateprøve (0-1 cm).

[b] Levert av NGU.

[c] Analyser av alkylfenoler ble rapportert tidligere, se Boitsov & Klungsøyr 2018b.

Tabell 8. Prøvetakingslokaliteter i MAREANO-området valgt ut til analyser av dekloraner, som tillegg til prøvene omtalt i tabell 7.

Stasjon	Dato	Breddegrad, N	Lengdegrad, Ø	Vanndybde, m
R311 BX59	17.10.2008	68°53.98’	12°40.45’	1336
R457 MC39	23.09.2009	71°35.27’	17°45.31’	293
R498 MC33	26.07.2010	72°05.77’	25°50.59’	236
R621 MC49	21.09.2010	70°41.03'	20°50.63'	203
R782 MC07	06.05.2012	68°03.51’	09°28.23’	1699
R949 MC28	09.10.2013	65°09.70'	09°20.99'	316
R1064 MC21	05.10.2012	62°26.07’	06°01.11’	432
R1096 MC02	17.06.2013	65°56.83'	06°30.90'	361
R1129 MC05	24.06.2013	65°17.43'	06°16.90'	355
R1165 MC12	07.08.2013	71°46.83'	33°31.86'	330
R1205 MC17	11.08.2013	70°34.89'	32°16.64'	297
R1331 MC41	24.04.2014	71°19.32'	29°11.71'	362
R1487 BX100	13.06.2015	73°20.79’	36°15.47’	230
R1509 MC94	20.08.2015	65°02.45’	06°15.00’	431
R1565 MC97	01.09.2015	66°33.31’	08°13.61’	338
R1582 BX07	16.09.2016	78°15.12’	28°32.79’	307
R1613 MC10	22.09.2016	76°28.77’	27°36.66’	134
R1627 BX12	24.09.2016	76°01.92’	26°41.68’	182
R1636 MC14	26.09.2016	75°38.96’	27°14.95’	221
R1653 BX18	28.09.2016	74°39.04’	25°52.57’	297
R1661 BX19	29.09.2016	74°15.32’	26°11.04’	409
R1676 MC01	28.03.2017	76°06.99’	17°46.05’	299
R1689 MC02	30.03.2017	75°35.81’	18°33.53’	130
R1698 MC03	01.04.2017	74°30.29’	21°49.19’	203
R1709 MC04	04.04.2017	73°57.30’	22°59.60’	452
R1717 BX10	06.04.2017	73°33.30’	23°53.93’	450
R1812MC09	25.10.2017	74°53.10’	36°40.66’	204
R1819 MC11	26.10.2017	76°18.06’	36°37.29’	273

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 - Polybromerte difenyletere (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 13C-merkede interne standarder av PBDE, PCB og pesticider for kvantifisering. Man analyserer for 20 PBDE-forbindelser (listet opp i MAREANOs Kjemidatabase på https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata), 10 PCB-forbindelser og 9 klorerte pesticider (omtalt i seksjon 2.2.4), som rapporteres både enkeltvis og som summerte nivåer. 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 negativ kjemisk ionisering (NCI) i ”selected ion monitoring” (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 ”pulsed splitless”-modus (injektortemperatur, 310 °C) og split-ventilen åpnes etter 2 min. Analyseprogrammets varighet er 43,4 min. Hele spektrumet 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). BDE-49 og BDE-71 rapporteres som summert nivå på grunn av koeluering.

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 ble analysert av NILU som fikk frosne prøvene tilsendt direkte fra prøvetakingsfartøyet. Prøver fra tidligere år til dekloran-analyse ble sendt som tørket sediment.

PFAS. Tørkete 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 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 (lineære og forgrenete PFOS).

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 gjenfinningsstandard og analysert på høytoppløselig massespektrometer MS-system med negativ ion *electron capture* system (ECNI-HRMS), med metan som CI gass .

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).

Siloksaner. Tørkete sedimentprøver ble ekstrahert med acetonitril/heksan og analysert med GC-MS i *electron ionization* modus (EI).

4 - Resultater

4.1 - Nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter

Oppsummering av hydrokarbonnivåene funnet i overflateprøvene fra Svalbard-område er gitt i tabell 9 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 9. Gjennomsnitts-, minimale og maksimale nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter fra åtte lokaliteter i Kongsfjorden, Rijpfjorden og sørvest for Svalbard. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 2.

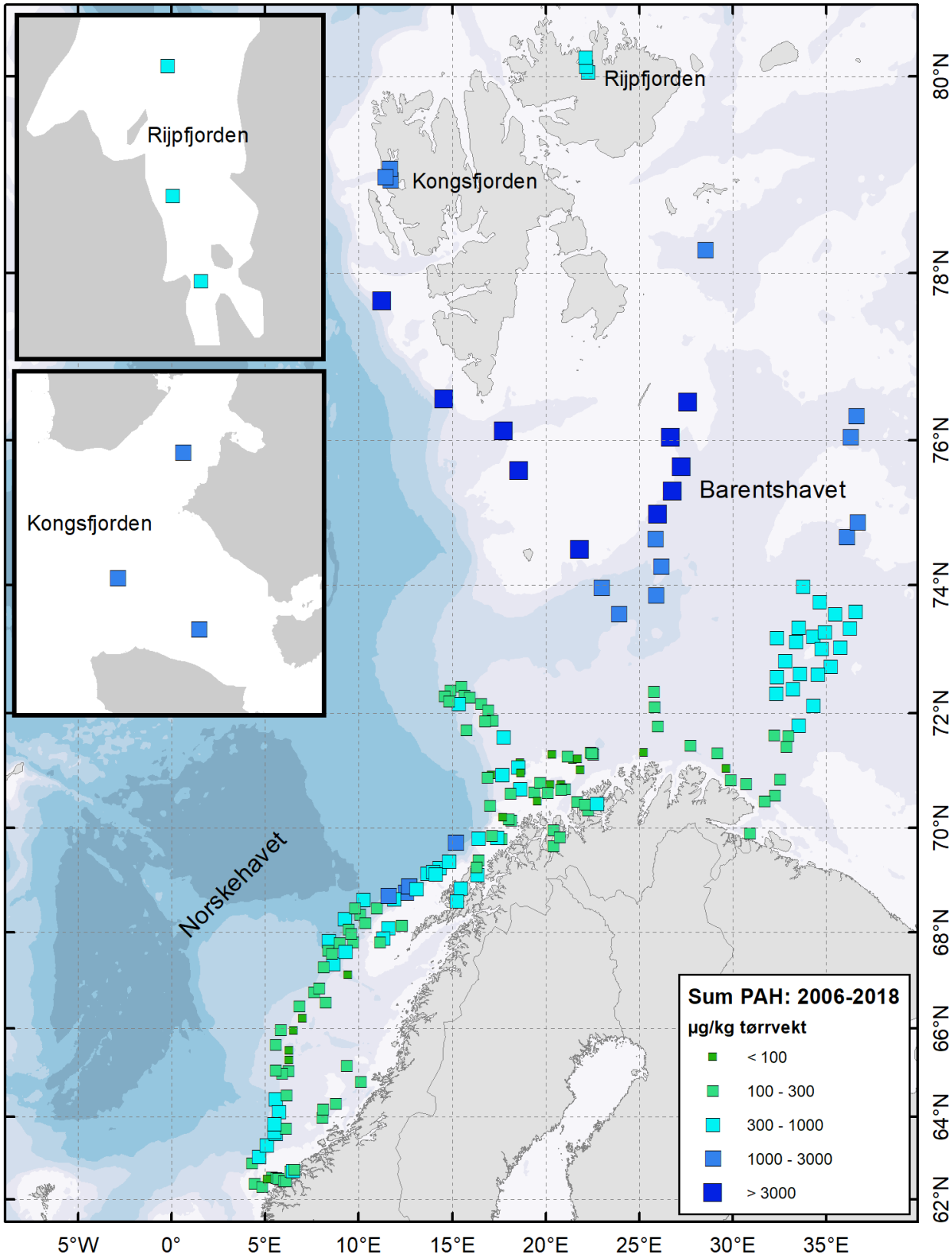
Nivå	THC	Sum 49 PAH	NPD	PAH16	Benzo[*a*]pyren	TOC*
	mg/kg tv.	*µg/kg tv.*	*µg/kg tv.*	*µg/kg tv.*	*µg/kg tv.*	*%*
Min.	10	353	250	105	1,7	1,1
Gjennomsnitt	43	2599	2023	617	11	1,4
Maks.	105	7047	5468	1702	31	1,9

* Dataene rapportert av NGU.

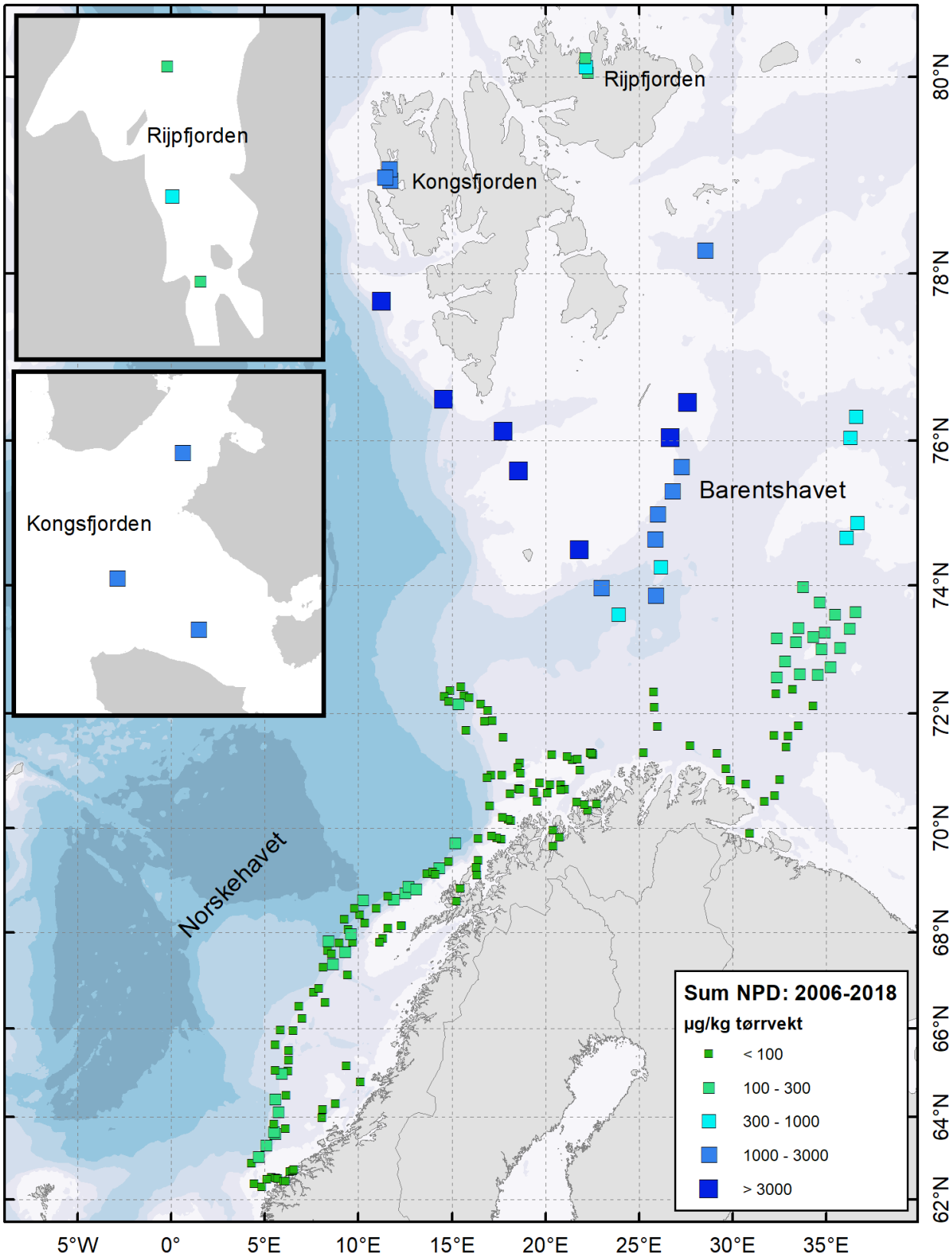
Nivåer av hydrokarboner i sedimenter rundt Svalbard er høye i forhold til det man finner i andre norske havområder (se bl.a. tidligere resultater fra MAREANO gitt i Boitsov & Klungsøyr 2018a). Dette har naturlige årsaker som erosjon av kullholdige bergarter som vaskes ut til havet fra Svalbard og ender opp i sedimentene (Dahle mfl. 2006; Boitsov mfl. 2009; Everaert mfl. 2017). Dette gjelder også de nye prøvene fra Kongsfjorden og sørvest for Svalbard, hvor både THC- og PAH-nivåene ligger tilsvarende høyt, og er på sitt høyeste ved stasjon R1823 med 105 mg/kg tv. THC og 7047 µg/kg tv. PAH (summen av 49 forbindelser). Dette er i samsvar med de høyeste nivåene funnet tidligere sør og øst for Svalbard (Boitsov & Klungsøyr 2018a). Siden årsaken til høye nivåer er tilstedeværelse av kull, er PAH-sammensetningen sterkt dominert av oljerelaterte PAH, NPD, som utgjør opptil 80% av den totale PAH-sammensetningen. Komponentene av PAH16-indikatoren, som vanligvis knyttes til forbrenningsprosesser som sin kilde, utgjør kun en liten del av PAH-sammensetningen i fossile stoffer, og er derfor mye lavere her enn NPD. Det gjelder bl.a. benzo[*a*]pyren som ikke overstiger Miljødirektoratets tilstandsklasse II i noen av prøvene. Likevel har også disse PAH-forbindelsene høyere nivåer enn det bakgrunnsnivået som man vanligvis finner i sedimentene fra åpent hav.

TOC-innholdet i sedimentene er ikke særlig lavt, 1,4% i gjennomsnitt for de åtte lokalitetene, men er lavere enn flere andre steder i Barentshavet (over 3,5% enkelte steder, se for eksempel Boitsov & Klungsøyr 2018a, Boitsov & Klungsøyr 2018b). Det er dermed ingen korrelasjon mellom høye nivåer av hydrokarboner og TOC-innholdet, som man vanligvis finner i marine sedimenter.

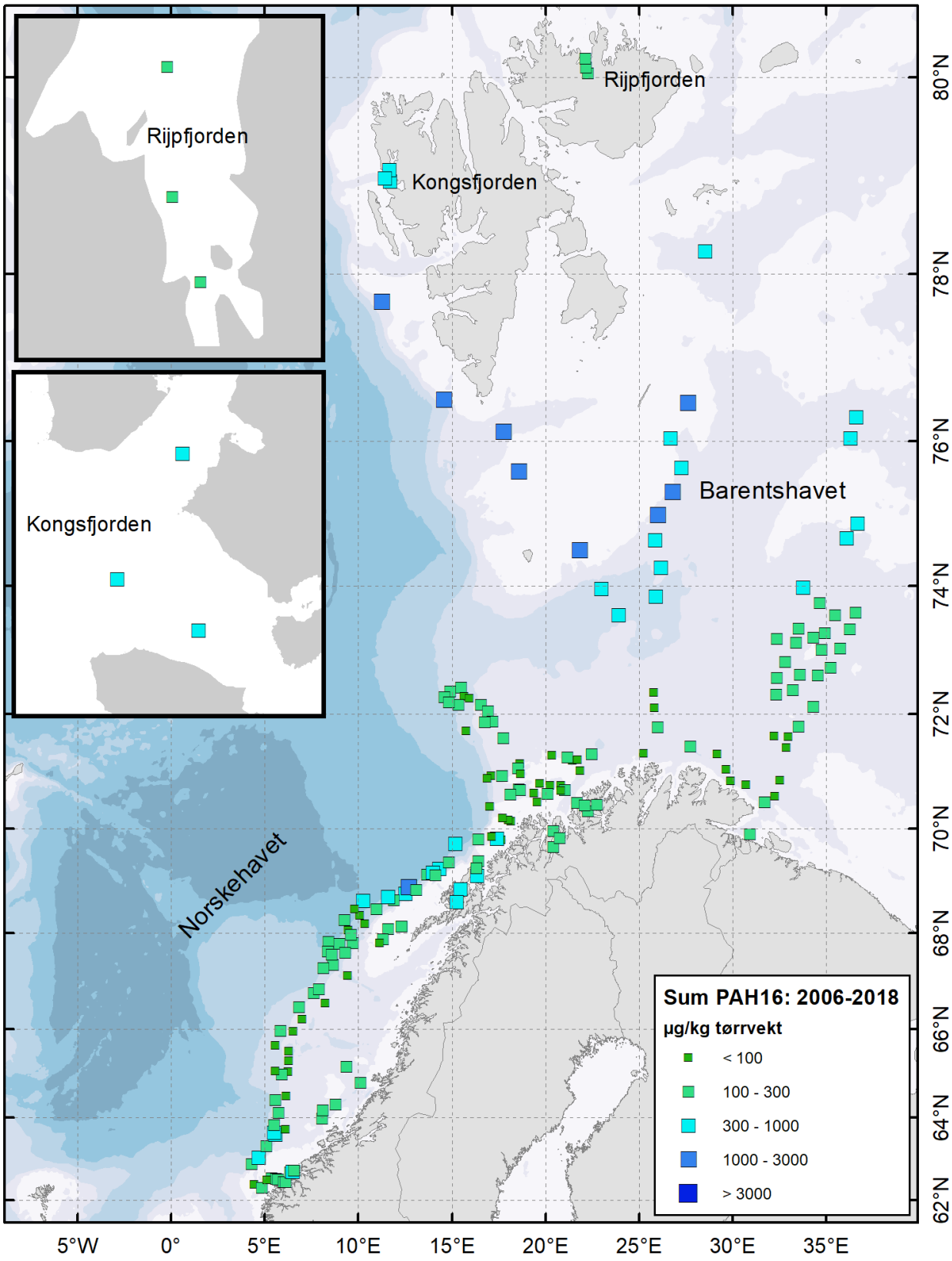
De høyeste nivåene er funnet ved de to stasjonene sørvest for Svalbard. Nivåene er ca. 3 ganger lavere i Kongsfjorden, og ca. 20 ganger lavere i Rijpfjorden. NPD utgjør likevel rundt 70% av den totale PAH-sammensetningen i Rijpfjorden, slik at også her står fossile stoffer for en stor del av PAH-nivåene. Det er for øvrig et godt samsvar i nivåene mellom tre stasjoner både i Kongsfjorden og Rijpfjorden, som viser ingen lokale forskjeller.



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.

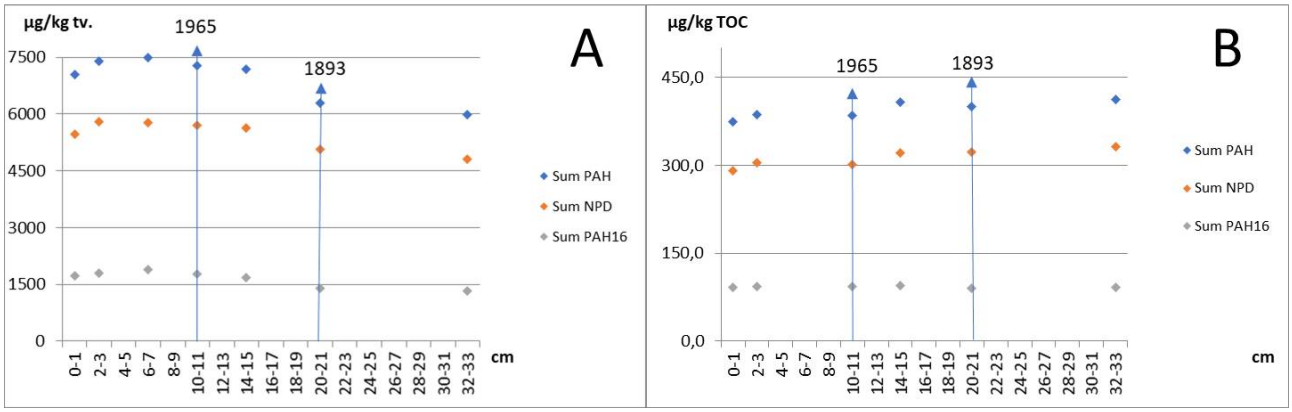


Figur 9 . PAH16-nivåer i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

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 er vist i figurene 10-12 under som absolutte nivåer, og normalisert til TOC for de kjernene som det ble målt TOC for.

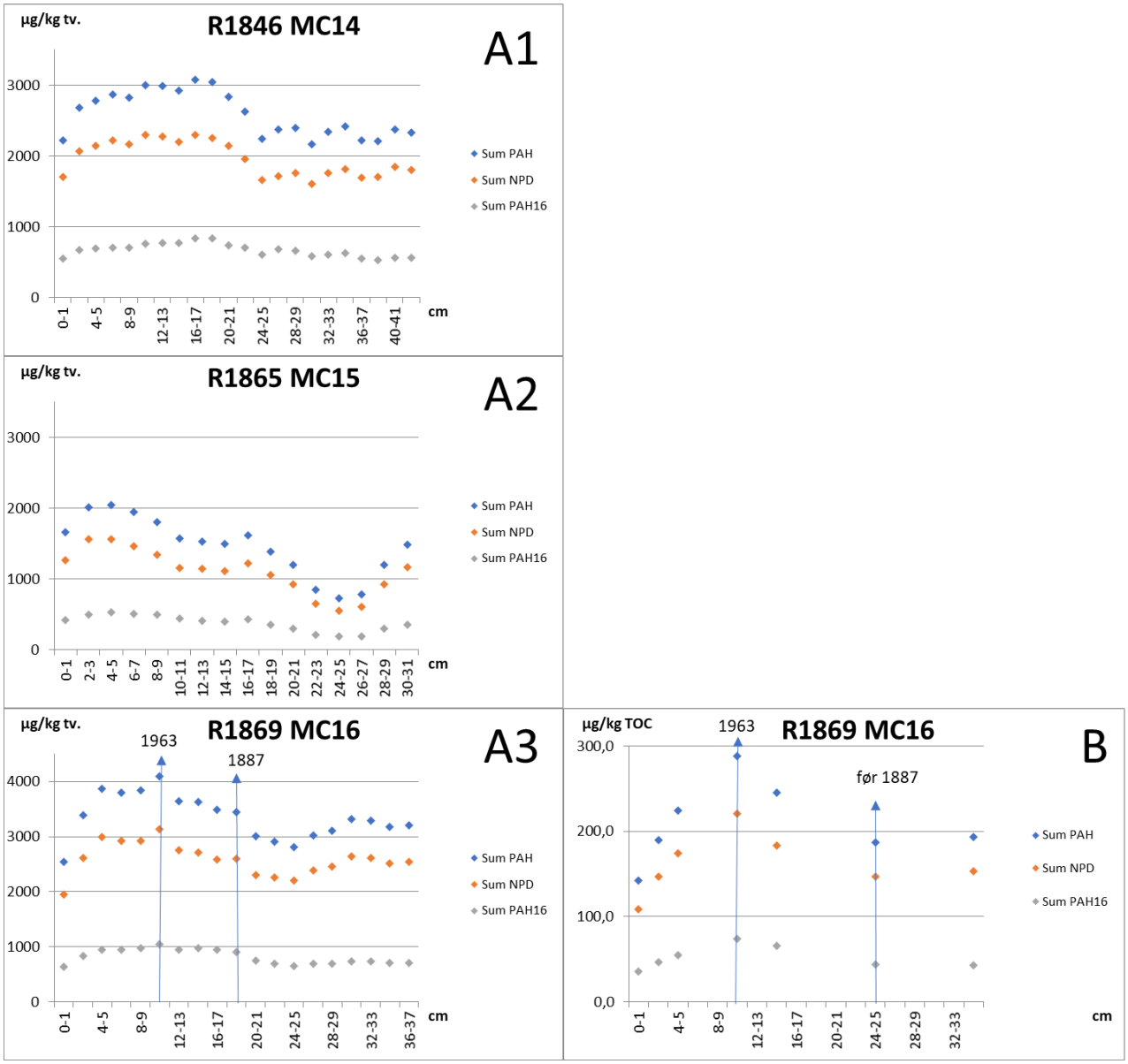
Områdene sørvest for Svalbard. Det ble kun hentet en overflateprøve fra stasjon R1843 (se stasjonsplasseringen i figur 2). Ved stasjon R1823 ble det tatt en kjerne som det kun ble analysert på syv snitt valgt ut fra hele kjernen. Resultatene er vist i figur 9 som absolutte nivåer (figur 10a) og normalisert til TOC (figur 10b).



Figur 10 . Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i sedimentkjerne fra stasjon R1823 MC12. A: PAH-nivåer i µg/kg tv.; B: PAH-nivåer korrigert for TOC. Ca. årstall er vist for to snitt. Til 20-21 cm og 32-33 cm i TOC-normaliserte resultater er det brukt TOC-verdi for hhv. 24-25 cm og 36-37 cm fra NGU.

De summerte PAH-nivåene vist med blå farge i figur 10 gjenspeiler bidrag fra forskjellige kilder. Ser man derimot på profilene til kildespesifikke PAH-indikatorer som PAH16 (grå farge i figur 10) eller NPD (oransje farge), kan man ofte forklare trender i dybdeprofilene. I tråd med diskusjon i seksjon 4.1, er det NPD-nivåer som fullstendig dominerer PAH-sammensetningen gjennom hele kjernen, inkludert de dypeste sedimentlagene fra 19.århundre og tidligere. Dette bekrefter naturlig, petrogen opprinnelse av PAH-nivået i sedimenter fra denne lokaliteten, som er noe av det høyeste man har funnet under MAREANO. Det virker imidlertid som om det var en økning i nivåene i moderne sedimentlag hvis man ser på de absolutte nivåene vist i figur 10a. Denne økningen forsvinner etter normalisering til TOC (figur 10b), og nivåene ligger omtrent konstant gjennom hele kjernen, slik man skal forvente ved dominerende naturlige tilførsler, og slik man har sett tidligere i kjerner fra Svalbard-område (se Boitsov og Klungsøyr 2018a). Dette viser viktigheten av TOC-data for å kunne fortolke resultatene riktig. I dette tilfellet må man likevel ta forbehold om usikkerheten i normalisering til TOC, siden kun fire av datapunktene har TOC-innholdet målt i samme sedimentsnitt som PAH-nivåer. Det er derfor kun seks datapunkter vist i figur 10b, og to av disse har et annet sedimentsnitt med TOC-data enn det snittet som PAH-målingen hører til (4 cm dypere for TOC enn for PAH, dvs. med ca. 30-40 års forskjell i avsetningstiden). Årsaken til dette er at det ble bestemt å kun analysere syv prøver i hele kjernen på HI og NGU, men siden kjernene på NGU var av forskjellig lengde enn på HI, ble det målt litt forskjellige sedimentsnitt på NGU for å oppnå beste fordelingen gjennom kjernen og ta med dypeste sedimentlag. Dette peker på en av ulempene med analyser av kun få prøver per kjerne hvis man ønsker å oppnå en pålitelig tolkning av trendene i sedimentkjerner.

Kongsfjorden. Det ble tatt sedimentkjerner fra tre lokaliteter i Kongsfjorden, se figur 2 for stasjonsplassering. TOC ble målt under overflaten kun i kjerne fra stasjon R1869 MC16. Resultatene er vist i figur 11 som absolutte nivåer (figur 11a) og normalisert til TOC (figur 11b).

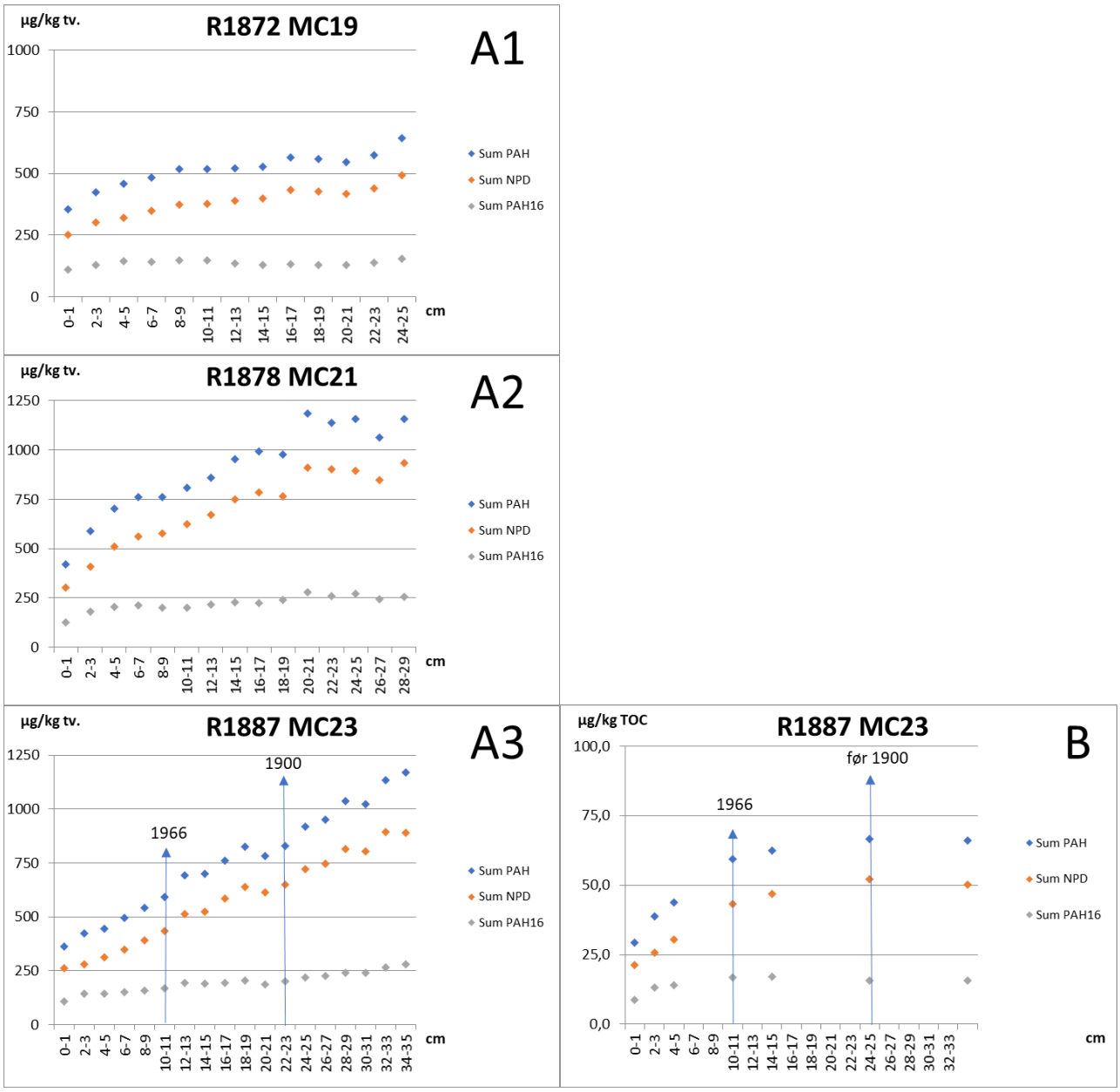


Figur 11 . Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i sedimentkjerner fra Kongsfjorden. A: PAH-nivåer i µg/kg tv.; B: PAH-nivåer korrigert for TOC. Ca. årstall er vist for to snitt i den daterte kjernen.

Som i andre sedimentkjerner fra Svalbard-område, er det NPD som utgjør mesteparten av PAH-sammensetningen i kjernene fra Kongsfjorden. Det er imidlertid enkelte spesielle trekk i PAH-profilene funnet i disse sedimentkjernene. Ved stasjon R1846 er det en antydning til noe forhøyet nivå i sedimentlag mellom ca. 2 og 22 cm (figur 11a1). En mulig forklaring for dette er det samme som ved stasjon R1823 omtalt ovenfor, dvs. at det er endring i tilførsler av organisk materiale. TOC-data er dessverre ikke tilgjenglige for denne kjernen for å kunne bekrefte denne hypotesen. Ved stasjon R1865 MC15 (figur 11a2) er det en mulig antydning på samme

type økning, men også her er TOC-data ikke tilgjengelige. Samtidig er det en ujevnhet i trendene i de dypeste sedimentlagene ved denne stasjonen. Dette kan være et tegn på fysisk forstyrrelse av sedimentene, tidligere observert ved enkelte andre lokaliteter under MAREANO. Slike forstyrrelser kan forklares av bioturbasjon eller annen fysisk påvirkning av sedimentene. Ved den tredje lokaliteten undersøkt i Kongsfjorden, stasjon R1869 MC16, er det også en viss likhet til trendene fra de andre to stasjonene (figur 11a3). Her er det også tilgjengelig TOC-data for syv av sedimentsnittene (figur 11b). Etter normalisering til TOC, ser PAH-profilen ut til å ha en topp rundt 10 cm under overflaten, datert til ca. 1963, og noe lavere nivå mot overflaten. Dette kan være en indikasjon på menneskelig påvirkning i moderne tid, sannsynligvis knyttet til utslipp fra gruveindustri på Svalbard som har forårsaket en økning i kullholdige tilførsler til sedimenter, og dermed en økning i NPD-nivåer. Dette er likevel svært usikkert ut fra de få prøvene som er analysert gjennom kjernen. De samme resultatene kan tolkes annerledes hvis man tilpasser en annen trend til de få datapunktene. For eksempel, en trend som er observert i prøvene fra Rijpfjorden (se under), med nedadgående nivåer i moderne sedimentlag og stabile høye bakgrunnsnivåer i eldre sedimenter. En eventuell fysisk forstyrrelse av sedimenter, som observert i kjernen fra stasjon R1865, skulle heller ikke være lett å oppdage ved kun få målinger gjennom kjernen.

Rijpfjorden. Det ble fått sedimentkjerner fra tre lokaliteter i Rijpfjorden, se figur 2 for stasjonsplassering. TOC ble målt under overflaten kun i kjerne fra stasjon R1887 MC23. Resultatene er vist i figur 12 som absolutte nivåer (figur 12a) og normalisert til TOC (figur 12b).



Figur 12 . Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i sedimentkjerner fra Rijpfjorden. A: PAH-nivåer i µg/kg tv.; B: PAH-nivåer korrigert for TOC. Ca. årstall er vist for to snitt i den daterte kjernen.

PAH-sammensetningen i kjernene fra Rijpfjorden følger samme mønster som andre steder i Svalbard-område, med NPD som hovedkomponent gjennom hele kjernen. Selv om nivåene her er noe lavere enn andre steder rundt Svalbard, er det fortsatt samme kildebilde for PAH ved disse lokalitetene. Trenden i de absolutte PAH-nivåene, vist i figur 12a, er derimot ganske forskjellig fra det som ble funnet de fleste andre stedene tidligere. Mens det ikke er noen åpenbare tegn på fysisk forstyrrelse av sedimenter, går nivåene stadig ned fra de dypeste til de høyeste og nyeste sedimentlagene. Dette er mest tydelig i sedimentkjernen fra stasjon R1887 (figur 12a3), hvor det også ble foretatt målinger av TOC i syv av snittene. Etter normalisering til TOC (figur 12b) skjer det en vesentlig endring i trendene, som ligger stabilt på samme nivå i gamle sedimenter og kun begynner å gå ned siden ca. 1960-tallet. Det at PAH-nivåene ligger stabilt høyt i gamle sedimenter er tilsvarende andre undersøkte lokaliteter rundt Svalbard og krever derfor ingen ny forklaring. Betydelig lavere PAH-nivåer i moderne sedimentlag sammenlignet med naturlig bakgrunnsnivå i gamle sedimenter (ca. 2 ganger lavere for

NPD) er noe som ikke har vært observert andre steder hvor sedimentkjerner ble analysert under MAREANO. Det kan stilles et spørsmål om det har skjedd endringer i miljøet i moderne tid som kan ha ført til disse observasjonene, som for eksempel endringer i tilførsler av hydrokarboner til sedimenter via atmosfære og havstrømmer, og/eller endringer i sedimentasjonsforhold knyttet til mer aktiv nedsmelting av isbreene i nærheten med økt avrenning fra land. Mer data kreves for å avklare dette. Uansett skal man være forsiktig med å tolke trendene basert på få punkter i plottet, spesielt i den nedre delen av kjernen (figur 12b), og i fravær av tilsvarende målinger på de to andre kjernene fra området. For å få et mer komplett bilde og en mer sikker tolkning trenger man flere målinger gjennom kjernen eller helst data fra flere kjerner.

4.3 - Nivåer av PBDE i overflatesedimenter

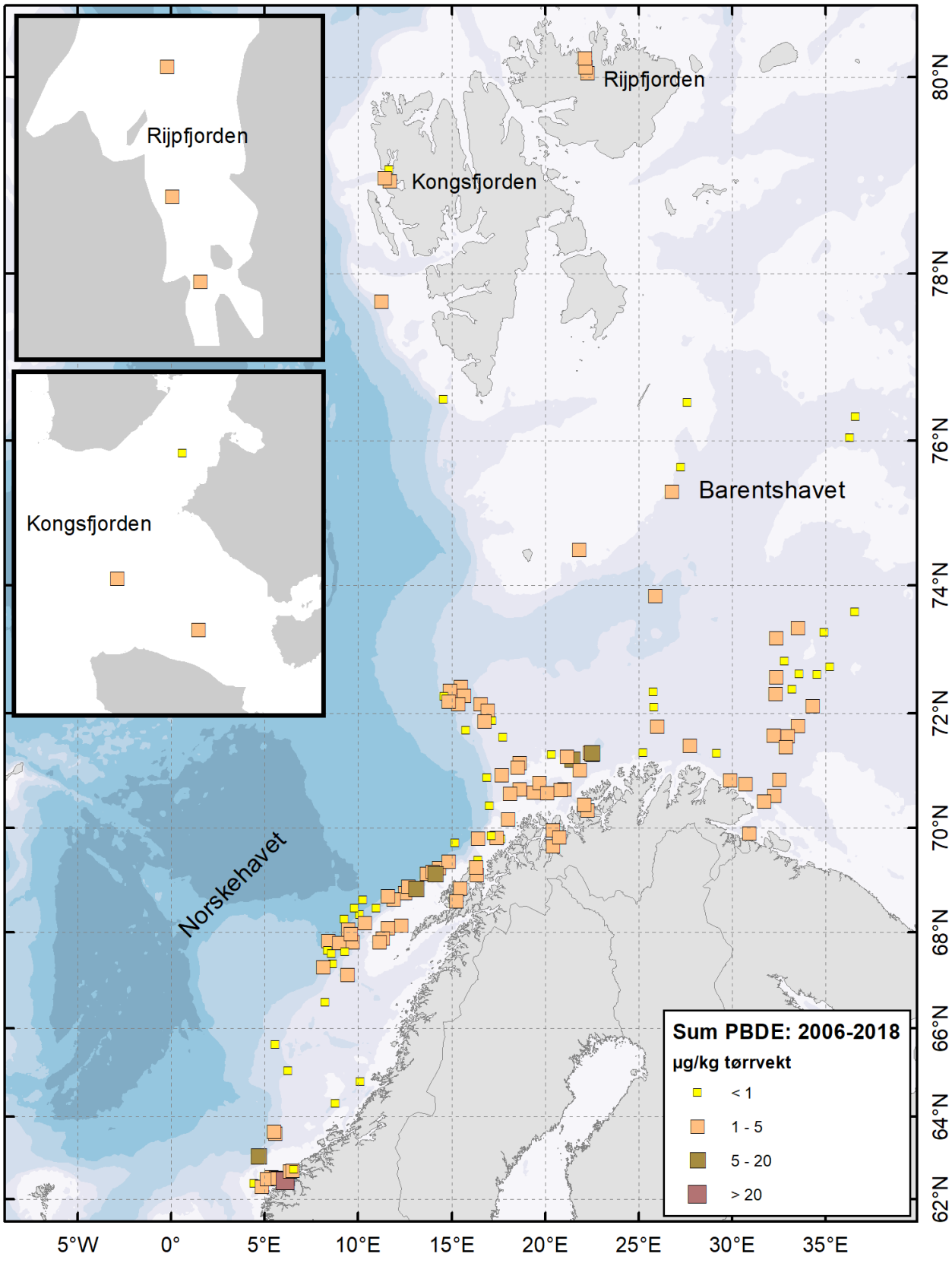
Oppsummering av PBDE-nivåene funnet i overflatesediment fra åtte lokaliteter i MAREANO-området er gitt i tabell 10 og vist på kart i figur 13, mens alle resultater for PBDE i overflatesedimenter er gitt i MAREANOs Kjemidatabase på https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata .

Tabell 10. Nivåer av PBDE i overflatesedimenter fra åtte lokaliteter i MAREANO-området. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 3.

Nivå, µg/kg tv.	**Sum 20 PBDE**	**Sum 6 PBDE**	**BDE-99**	**BDE-183**	**BDE-209**
R1823 MC12	1,2	0,78	0,04	<0,03	0,07
R1843 BX38	0,51	0,27	0,04	<0,03	<0,03
R1846 MC14	1,2	0,23	<0,03	0,34	<0,03
R1865 MC15	0,75	0,22	<0,03	0,23	<0,03
R1869 MC16	1,0	0,44	<0,03	<0,03	<0,03
R1872 MC19	1,5	0,20	<0,03	0,05	<0,03
R1878 MC21	2,4	0,11	<0,03	0,10	<0,03
R1887 MC23	1,0	0,09	<0,03	0,10	<0,03
Min.	*0,51*	*0,09*	*<0,03*	*<0,03*	*<0,03*
*Gjennomsnitt**	*1,2*	*0,20*	*<0,03*	*0,11*	*<0,03*
Maks.	*2,4*	*0,44*	*0,04*	*0,34*	*0,07*

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

Nivåene av PBDE i alle undersøkte prøver ligger lavt, under deteksjonsgrensen for noen kongenere. De summerte nivåene er omtrent like det som ble funnet enkelte andre steder i Norskehavet og Barentshavet (se MAREANO rapporter fra tidligere år). Nivåene av 6 PBDE som Miljødirektoratet har utarbeidet tilstandsklasser for (se tabell 3) er ved alle stasjoner klassifisert som Miljødirektoratets Klasse II (AA-EQS). De høyeste nivåene blant de åtte stasjonene er funnet i Rijpfjorden, som kan tyde på langtransporterte tilførsler også til disse fjerne nordlige strøk. Det er okta-blandingen som ser ut til å gi mest bidrag til nivåene funnet i prøvene fra både Rijpfjorden og Kongsfjorden.



Figur 13 . Summerte nivåer av 20 PBDE i overflatesedimenter (0–1 cm) fra MAREANO-området. Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

4.4 - Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter

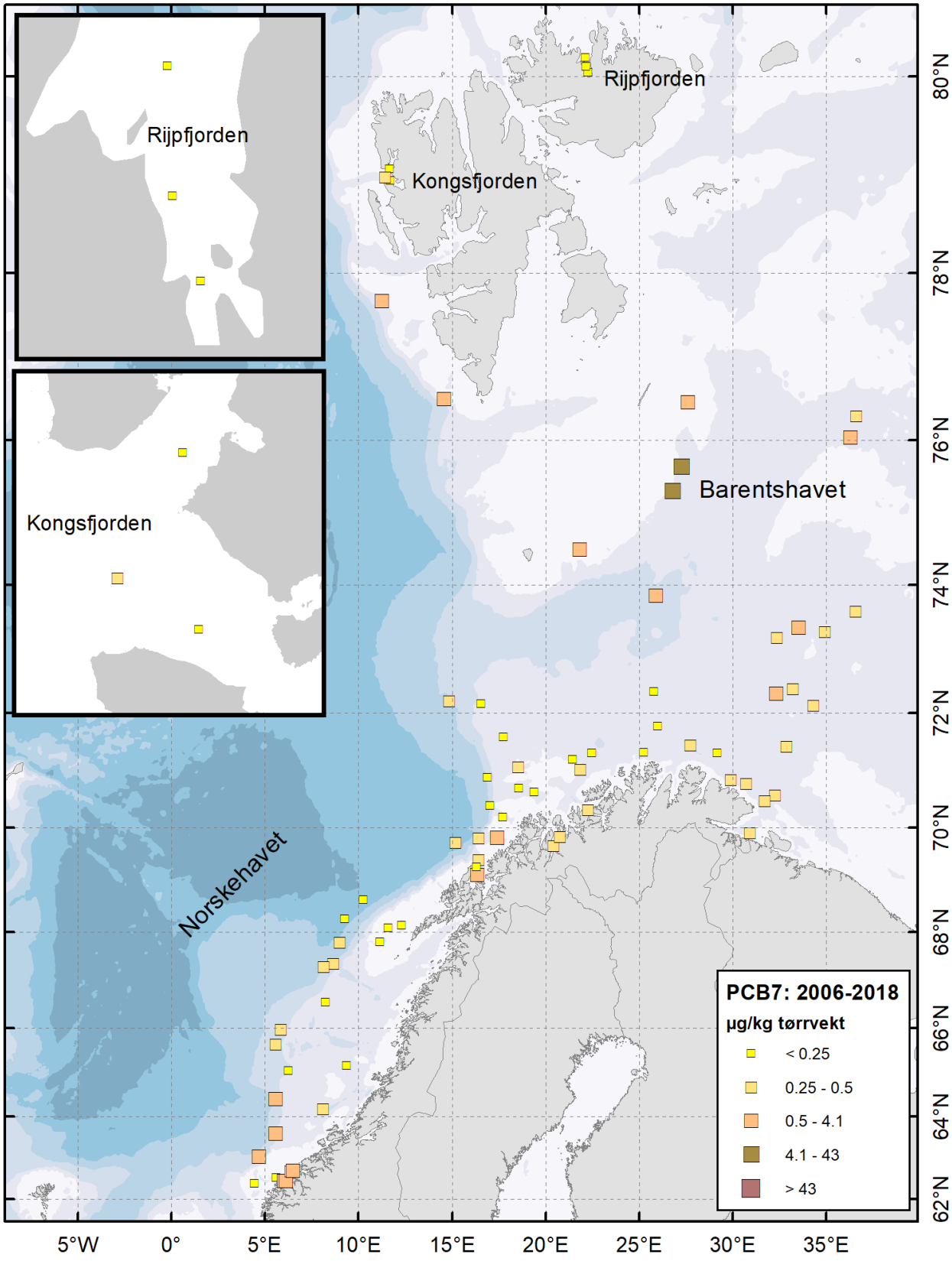
Oppsummering av PCB- og OCP-nivåer funnet i overflatesediment fra åtte lokaliteter i MAREANO-området er gitt i tabell 11, og vist for to av stoffgruppene på kart i figurene 14 og 15. Alle resultater for PCB og OCP i overflatesedimenter er gitt i MAREANOs Kjemidatabase på https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata.

Tabell 11. Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter fra åtte lokaliteter i MAREANO-området. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 4.

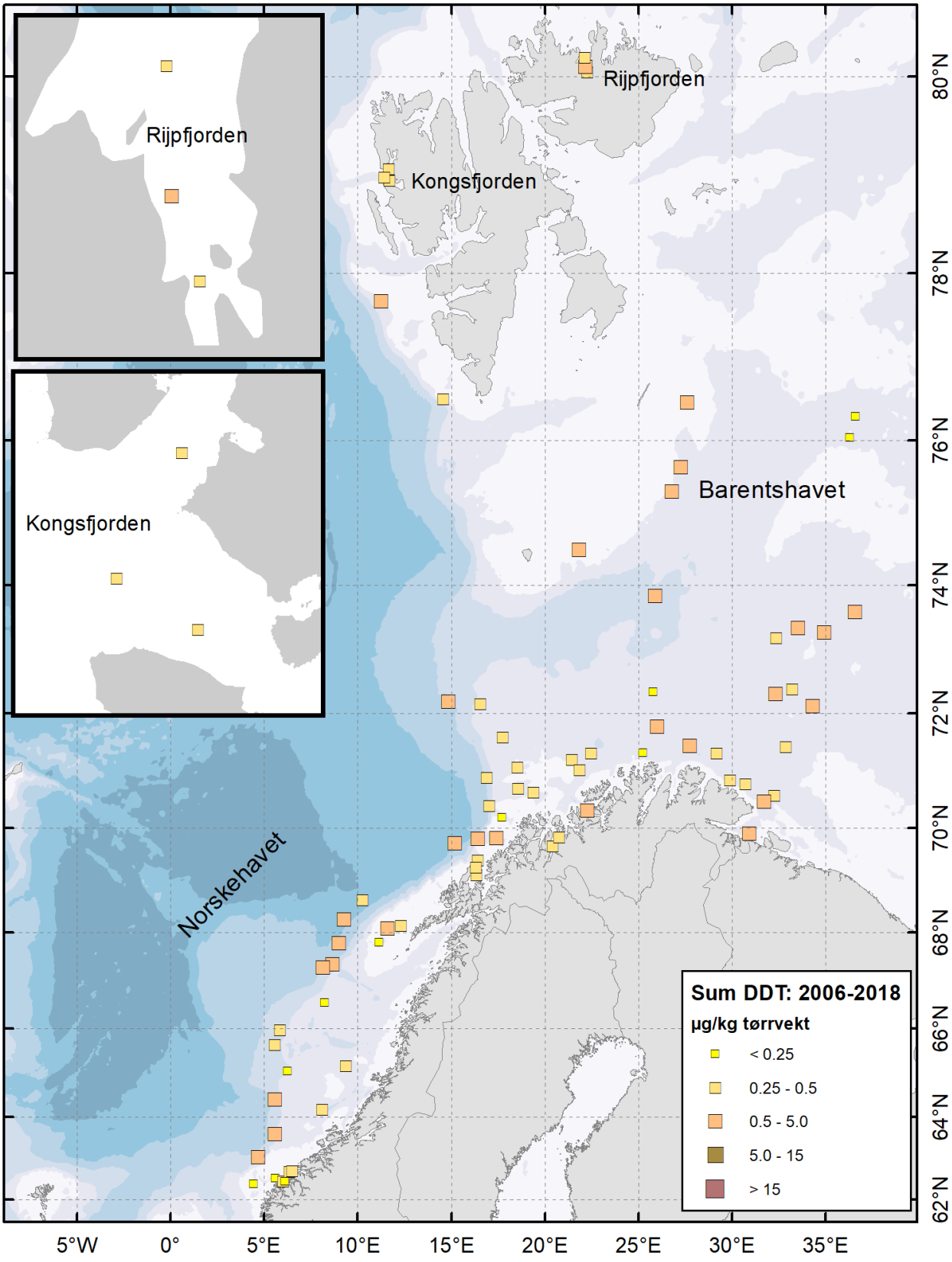
Nivå, µg/kg tv.	PCB7	Sum 10 PCB	Sum DDT	γ-HCH (lindan)	Sum HCH	HCB	TNC	Dieldrin
R1823 MC12	1,4	1,7	0,84	0,07	0,80	1,3	0,06	0,58
R1843 BX38	0,91	1,2	0,26	0,07	0,65	0,82	0,04	0,64
R1846 MC14	0,24	0,28	0,36	<0,02	0,06	0,42	<0,02	<0,02
R1865 MC15	0,23	0,26	0,32	<0,02	0,06	0,28	<0,02	<0,02
R1869 MC16	0,26	0,31	0,40	<0,02	0,07	0,44	<0,02	<0,02
R1872 MC19	0,03	0,03	0,46	<0,02	0,04	0,14	<0,02	<0,02
R1878 MC21	0,16	0,19	0,51	<0,02	0,04	0,24	0,03	<0,02
R1887 MC23	0,10	0,10	0,41	<0,02	0,03	0,21	0,02	<0,02
Min.	*0,03*	*0,03*	*0,26*	*<0,02*	*0,03*	*0,14*	*<0,02*	*<0,02*
*Gjennomsnitt**	*0,42*	*0,50*	*0,44*	*0,03*	*0,22*	*0,48*	*0,02*	*0,16*
Maks.	*1,4*	*1,7*	*0,84*	*0,07*	*0,80*	*1,3*	*0,06*	*0,64*

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

Nivåene i prøvene fra Kongsfjorden og Rijpfjorden ligger stort sett meget lavt, og er for de fleste stoffene blant de laveste som er funnet av MAREANO noe sted i Norskehavet og Barentshavet (se rapporter fra tidligere år). Ifølge tilstandsklassene etablert av Miljødirektoratet for disse stoffene i sedimenter (Miljødirektoratet 2016), ligger PCB7, ΣDDT, lindan og HCB i klasse II (AA-EQS) i alle disse prøvene. Nivået i prøvene fra åpent hav sørvest for Svalbard (de to øverste i tabell 11) er noe høyere, men fortsatt godt innenfor klasse II (AA-EQS) for de fleste komponentene, og tilsvarer nivåene funnet flere andre steder i Barentshavet. Nivået av lindan i disse prøvene ligger imidlertid rett over grensen til klasse III (MAC-EQS). Dette nivået er likevel lavt, og var også funnet tidligere noen få andre steder i Barentshavet. Stasjon R1823, som har de høyeste nivåene av både lindan og andre PCB og OCP blant de åtte stasjonene, også har høyest innhold TOC på 1,9%. Likevel er det ingen stor forskjell fra Kongsfjorden, hvor TOC-innholdet varierer mellom 1,1 og 1,8%. Mens de to lokalitetene sørvest for Svalbard kan være mer eksponert til langtransporterte tilførsler av PCB og OCP, kan disse stoffene knapt spores i sedimenter i Svalbardfjordene.



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



Figur 15 . Nivåer av ΣDDT i overflatesedimenter (0–1 cm) fra MAREANO-området. Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

4.5 - Nivåer av dekloraner i overflatesedimenter

Det er første gang at man har målt på dekloraner under MAREANO. I tillegg til de åtte lokalitetene omtalt i denne rapporten ble det valgt 30 prøver samlet inn under MAREANO tidligere for å kunne gjenspeile hele det geografiske området studert av MAREANO. Resultatene er vist i tabell 12, og for DP også på kart i figur 16.

Det er kun funnet lave nivåer av dekloraner i MAREANO-området. Ingen av stoffene er funnet over målegrensen i prøvene fra Svalbardfjordene samlet inn i 2018. Noen steder videre sørover i Barentshavet, og flere steder i Norskehavet (inkludert stasjon R1064 i fjordområdet ved Ålesund), er det funnet spormengder av enkelte dekloran-forbindelser, men også her er nivåene lave. Av de syv analyserte stoffene, er det funnet fire, D602, D603, DP *syn* og DP *anti*, mens DBA, D604 og D601 finner man ikke i noen av prøvene. Det er de to DP-isomerene som man finner mest av i prøvene. På sitt høyeste, ligger de mellom 0,22 og 0,41 µg/kg tv. for summen av de to isomerene. Dette er lavere enn det som tidligere ble rapportert for Oslofjorden, der det ble funnet DP-nivå på 1,67 µg/kg tv. (Ruus et al. 2019), men kan sammenlignes med resultater fra enkelte andre steder i verden (Sverko et al. 2011, Fang et al. 2014). De høyeste nivåene av DP funnet i utsatte områder ved produksjonssteder i USA og Kina ligger opptil 100-1000 ganger høyere enn nivåene funnet i MAREANO-området (Sverko et al. 2011). Enkelte studier har derimot også påvist DP i sedimenter fra Svalbard, bl.a. 0,016 µg/kg tv. ved siden av Longyearbyen (Carlsson et al. 2018), 0,06 µg/kg tv. i Kongsfjorden (Ma et al. 2015), og opptil 0,65 µg/kg tv. for DP *syn* også i Kongsfjorden (Na et al. 2015). De to første resultatene ligger under målegrensen for denne studien, og er slikt sett ikke i uenighet med resultatene rapportert her.

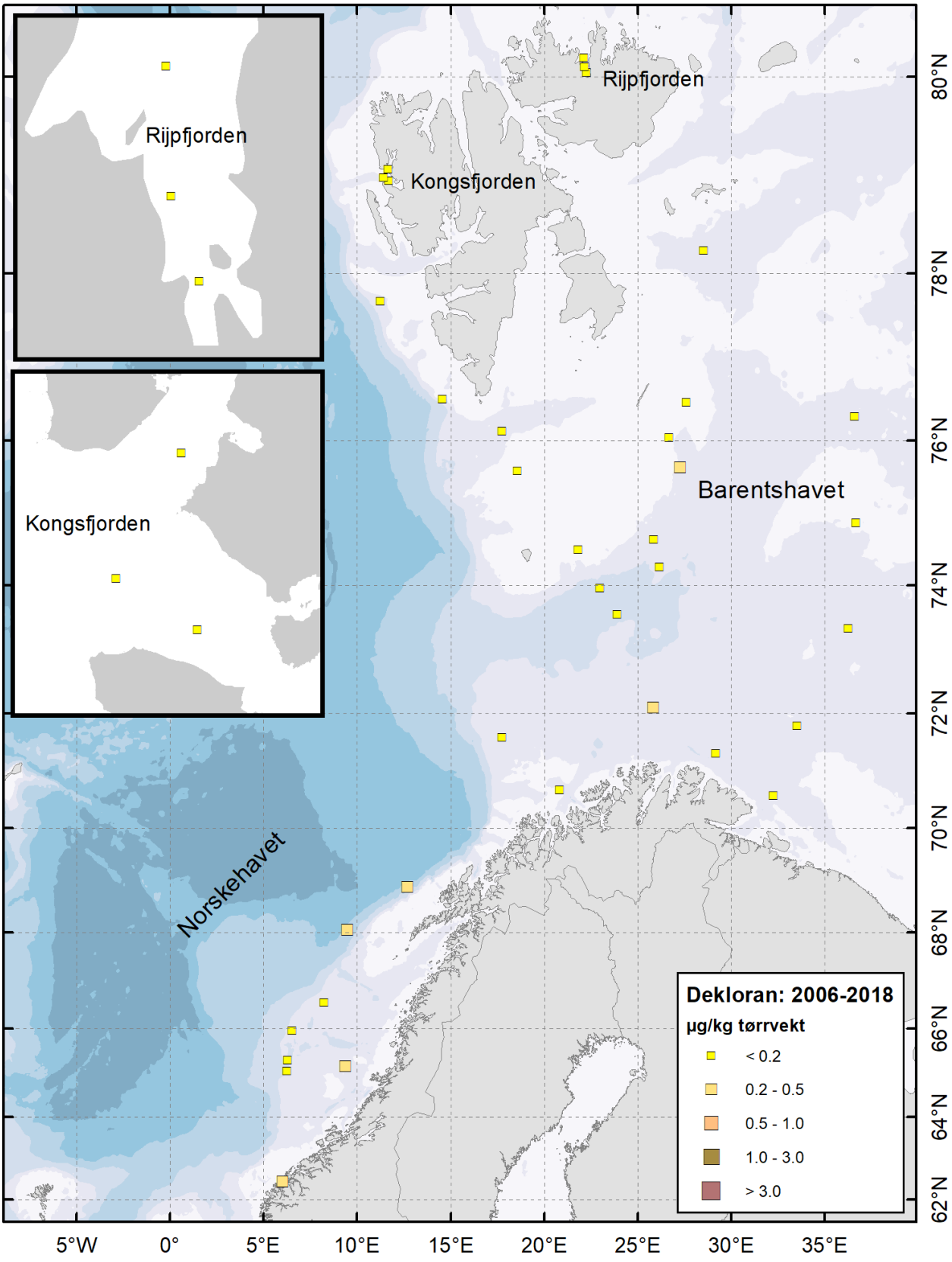
Resultatene rapportert her viser lave nivåer av dekloraner med en svak antydning til økning i de sørligste områdene sammenlignet med nordlige strøk. Nivåene tyder ikke på vesentlig forurensning noen av stedene, og skyldes sannsynligvis langtransporterte tilførsler. Det er likevel viktig å merke seg at også i MAREANO-området kan disse menneskeskapte, tungt nedbrytbare miljøgiftene spores i havmiljø.

Tabell 12. Nivåer av dekloraner i overflatesedimenter fra 36 lokaliteter i MAREANO-området, i µg/kg tv. Nivåene over LOQ er vist med grå farge.

Stasjon	DBA	D602	D603	D604	D601	DP *syn*	DP *anti*	DP
R311 BX59	<0,047	0,012	0,004	<0,161	<0,006	0,062	0,179	0,24
R457 MC39	<0,047	0,004	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	<0,061	<0,10
R498 MC33	<0,047	0,027	0,008	<0,161	<0,006	0,088	0,324	0,41
R621 MC49	<0,047	0,004	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	0,069	<0,11
R782 MC07	<0,047	0,008	<0,004	<0,161	<0,006	0,064	0,155	0,22
R949 MC28	<0,047	0,010	0,004	<0,161	<0,006	0,065	0,151	0,22
R1064 MC21	<0,047	0,012	0,004	<0,161	<0,006	0,061	0,200	0,26
R1096 MC02	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	<0,061	<0,10
R1129 MC05	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	0,046	0,096	0,14
R1165 MC12	<0,047	0,004	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	0,069	<0,11
R1205 MC17	<0,047	0,005	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	0,063	<0,10
R1331 MC41	<0,047	0,005	0,027	<0,161	<0,006	0,057	0,103	0,16

R1487 BX100	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	0,070	<0,11
R1509 MC94	<0,047	0,006	<0,004	<0,161	<0,006	0,045	0,121	0,17
R1565 MC97	<0,047	0,005	0,024	<0,161	<0,006	0,057	0,121	0,18
R1582 BX07	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,042	0,069	<0,11
R1613 MC10	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,042	<0,061	<0,10
R1627 BX12	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	<0,061	<0,10
R1636 MC14	<0,047	0,004	<0,004	<0,161	<0,006	0,082	0,197	0,28
R1653 BX18	<0,047	0,005	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	0,067	<0,11
R1661 BX19	<0,047	0,006	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	0,110	<0,15
R1676 MC01	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	0,046	0,144	0,19
R1689 MC02	<0,047	<0,003	<0,004	<0,160	<0,006	<0,041	0,087	<0,13
R1698 MC03	<0,047	0,004	<0,004	<0,160	<0,006	0,057	0,135	0,19
R1709 MC04	<0,047	0,006	<0,004	<0,161	<0,006	<0,042	0,134	<0,18
R1717 BX10	<0,047	0,004	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	0,072	<0,11
R1812MC009	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	0,055	0,117	0,17
R1819 MC11	<0,047	<0,003	<0,004	<0,160	<0,006	<0,041	<0,061	<0,10
R1823 MC12	<0,047	0,005	<0,004	<0,161	<0,006	0,046	0,136	0,18
R1843 BX38	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,042	0,096	<0,14
R1846 MC14	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	<0,061	<0,10
R1865 MC15	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	<0,061	<0,10
R1869 MC16	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	<0,061	<0,10
R1872 MC19	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	<0,061	<0,10
R1878 MC21	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	<0,061	<0,10
R1887 MC23	<0,047	<0,003	<0,004	<0,161	<0,006	<0,041	<0,061	<0,10
Min.	*<0,047*	*<0,003*	*<0,004*	*<0,161*	*<0,006*	*<0,041*	*<0,061*	*<0,10*
*Gjennomsnitt**	*<0,047*	*0,004*	*<0,004*	*<0,161*	*<0,006*	*<0,041*	*0,095*	*0,12*
Maks.	*<0,047*	*0,027*	*0,027*	*<0,161*	*<0,006*	*0,088*	*0,324*	*0,41*

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



Figur 16 . Nivåer av dekloran pluss i overflatesedimenter (0–1 cm) fra MAREANO-området.

4.6 - Nivåer av andre nye organiske miljøgifter i overflatesedimenter

Det er fem stoffgrupper som presenteres her, PFAS, alkylfenoler, PFR, klorparafiner og siloksaner. Av disse, er det kun de to førstnevnte som ble funnet over målegrensen i flere prøver og for flere forbindelser. Oppsummering av resultatene er gitt i tabell 13 som aggregerte nivåer samt nivåer av de enkeltforbindelsene som det er etablert tilstandsklasser for, og på kart i figur 17 og 18. Alle resultater for nye organiske miljøgifter er gitt i MAREANOs Kjemidatabase på https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata .

Tabell 13. Nivåer av PFAS, alkylfenoler og BPA i overflatesedimenter fra åtte lokaliteter i MAREANO-området, i µg/kg tørrvekt. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 5. Forklaringen av forkortelsene er gitt i tabell 6.

Stasjon	PFOS	PFOA	Sum 7 PFAS	4*t*OP	4NP	BPA[a]
R1823 MC12	0,14	0,36	0,71	*b*	*b*	*b*
R1843 BX38	0,08	0,16	0,36	*b*	*b*	*b*
R1846 MC14	0,18	0,29	0,91	-	-	-
R1865 MC15	0,16	0,09	0,33	<0,10	17	2,2
R1869 MC16	0,12	0,05	0,21	-	-	-
R1872 MC19	0,25	0,79	1,7	-	-	-
R1878 MC21	1,0	1,1	3,4	<0,10	1,7	<1,5
R1887 MC23	0,97	1,2	3,5	-	-	-
Min.	*0,08*	*0,05*	*0,21*	<0,10	*1,7*	*<1,5*
Gjennomsnitt[c]	*0,36*	*0,51*	*1,4*	<0,10	*9,4*	*<1,5*
Maks.	*1,0*	*1,2*	*3,5*	<0,10	*17*	*2,2*

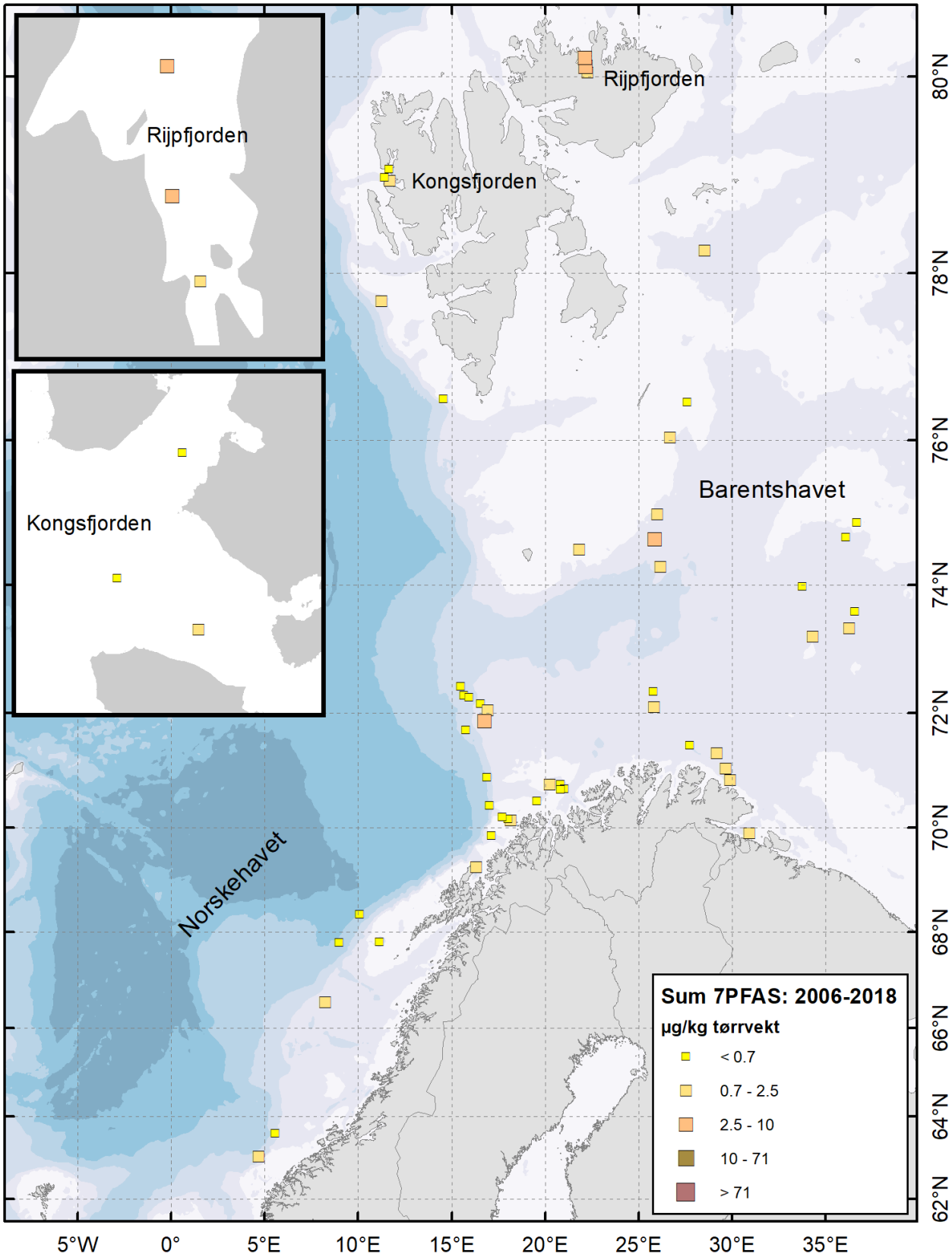
a – Siden LOQ for BPA, 1,5 µg/kg tv., er høyere enn øvre grensen for Miljødirektoratets tilstandsklasse II, 1,1 µg/kg tv., er det ikke mulig å klassifisere nivåene under LOQ for BPA.

b - rapportert tidligere, se Boitsov & Klungsøyr 2018b.

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

4.6.1 - Nivåer av PFAS i overflatesedimenter

Nivåer av PFAS ligger relativt lavt ved de undersøkte lokalitetene. Kun syv av de 20 analyserte forbindelsene finnes over målegrensen i noen av prøvene, de samme syv som tidligere ble funnet over målegrensen i andre prøver fra MAREANO-området (Boitsov & Klungsøyr 2018b). Nivåene ligger spesielt lavt i Kongsfjorden og i åpent hav sørvest for Svalbard, i Miljødirektoratets klasse II for PFOA og PFOS. I Rijpfjorden er nivåene noe høyere, i Miljødirektoratets klasse II for PFOA og klasse III for PFOS. Disse nivåene er noe av det høyeste som er hittil funnet i MAREANO-området (se Boitsov & Klungsøyr 2018b). Dette kan muligvis ses i sammenheng med et relativt forhøyet nivå av PBDE funnet i Rijpfjorden (se kapittel 4.3), selv om både nivåene av PBDE og PFAS ikke er spesielt høye.



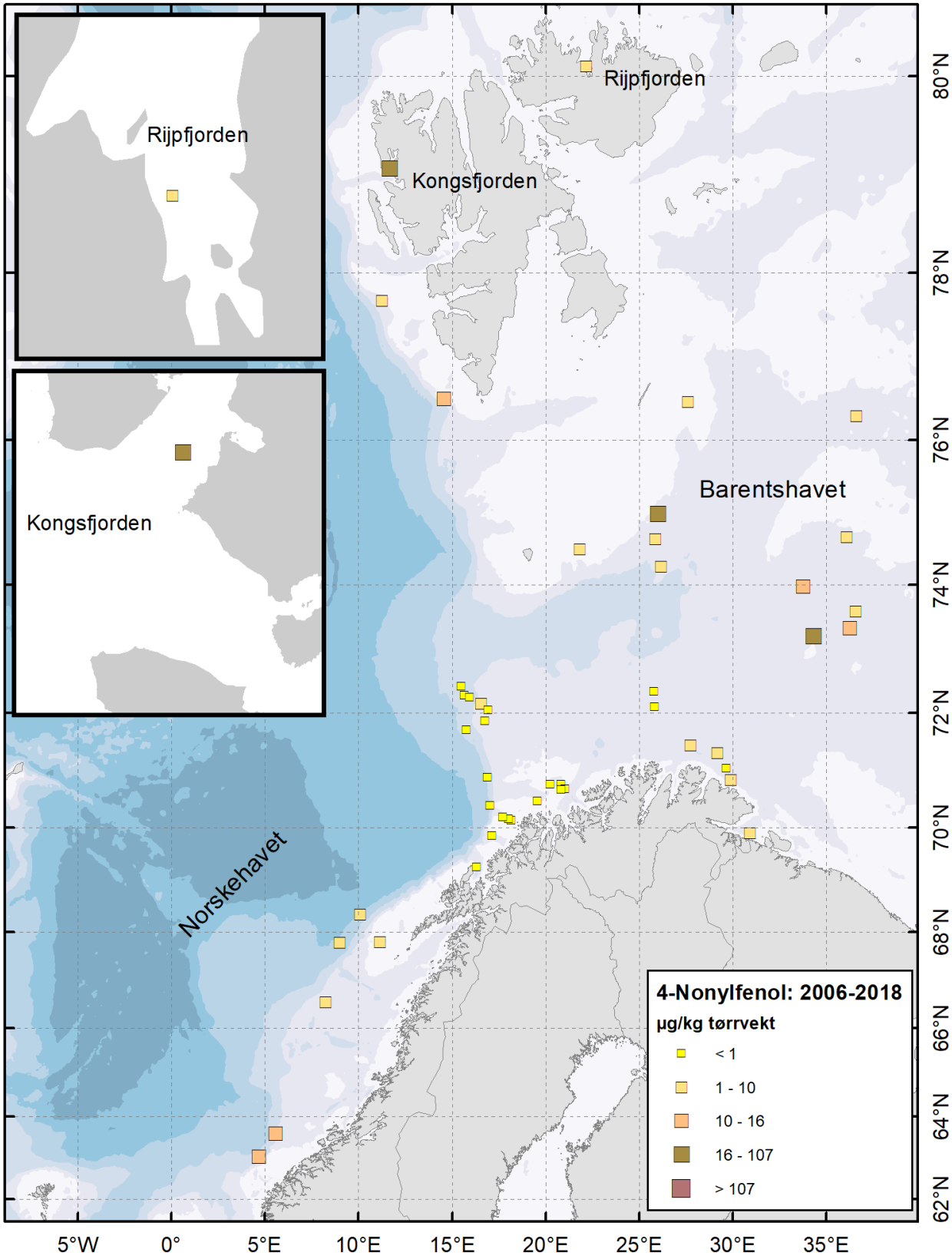
Figur 17 . Summerte nivåer av syv PFAS forbindelser i overflatesedimenter (0–1 cm) fra MAREANO-området. Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

4.6.2 - Nivåer av alkylfenoler i overflatesedimenter

Nivåene av alkylfenoler ved de to stasjonene i åpent hav sørvest for Svalbard ble tidligere rapportert (Boitsov & Klungsøyr 2018b), og kun nivåer i Svalbardfjordene rapporteres her. Det ble kun analysert alkylfenoler ved en stasjon i hver av de to fjordene. Resultatene vist i tabell 13 ovenfor er meget lave for 4*t*OP som ligger i Miljødirektoratets klasse II ved begge stasjonene. Nivåer av alkylfenol etoksylater er også lave ved begge stasjonene, for det meste under målegrense for de fleste stoffene, som er i samsvar med det som ble tidligere funnet andre steder i MAREANO-området (Boitsov & Klungsøyr 2018b).

Nivåer av 4-nonylfenol, også vist på kart i figur 18 under, er svært forskjellige mellom de to lokalitetene. Nivået ligger relativt lavt på 1,7 µg/kg tv. ved stasjon R1878 i Rijpfjorden, som kan forklares som bakgrunnsnivå gitt TOC-innholdet på 1,3% ved denne lokaliteten (se Boitsov & Klungsøyr 2018b, for bestemmelse av bakgrunnsnivå for 4-nonylfenol i marine sedimenter i MAREANO-området). Nivået er betydelig høyere ved stasjon R1865 i Kongsfjorden, 17 µg/kg tv., til tross for lavere TOC-verdi (1,1%). Det er tidligere observert lignende nivå ved to andre lokaliteter i Barentshavet, og en sannsynlig forklaring kan være enten langtransport fra fjerne områder eller kontaminering av prøven (Boitsov & Klungsøyr 2018b). Ifølge Miljødirektoratets klassifisering, hører nivåene ved stasjon R1878 i Rijpfjorden til klasse II, og ved stasjon 1865 i Kongsfjorden til klasse III.

Nivåer av BPA ved de to stasjonene har samme mønster som for 4-nonylfenol, med forhøyet nivå i Kongsfjorden som ligger i tilstandsklasse III, og et nivå under målegrensen i Rijpfjorden.



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

4.6.3 - Nivåer av klorparafiner i overflatesedimenter

Nivåer av klorparaffiner (SCCP og MCCP) i prøver fra de åtte lokalitetene ligger for det meste under målegrensen. Kun ved den ene stasjonen R1869 i Kongsfjorden kommer nivåene rett over målegrensen og ligger på 105 µg/kg tv. for SCCP og 410 µg/kg tv. for MCCP, mens ved en stasjon i Rijpfjorden, R1872, er det kun MCCP som er målt over målegrense til et nivå på 536 µg/kg tv. Disse resultatene tilsvarer Miljødirektoratets tilstandsklasse II for MCCP. Disse nivåene er meget lave, og skyldes en kraftig forbedring i kvantifiseringsgrense sammenlignet med tidligere år. Prøver fra to stasjoner i åpent hav sørvest fra Svalbard, R1823 og R1843, ble analysert et år tidligere med de gamle kvantifiseringrensene på 1376 µg/kg tv. for SCCP og 655 µg/kg tv. MCCP, målegrenser som ligger høyere enn noen av de målte nivåene i Kongsfjorden og Rijpfjorden.

4.6.4 - Nivåer av PFR i overflatesedimenter

Nivåer av PFR (16 forbindelser) ligger nesten alle under målegrensen, unntatt nivåer av én forbindelse, TCiPP, som ligger på et nivå mellom 0,21 og 0,36 µg/kg tv. ved de seks stasjonene i Kongsfjorden og Rijpfjorden. Dette er rett over målegrensen på 0,20 µg/kg tv. Også her er det skjedd en forbedring i kvantifiseringsgrensen, og prøvene fra de to stasjonene i åpent hav sørvest for Svalbard, analysert tidligere, har et nivå under målegrense på 0,48 µg/kg tv. Det er fram til nå ikke funnet vesentlig forurensning med PFR ved noen av lokalitetene i MAREANO-området.

4.6.5 - 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 siloksanene D4 og D5 ligger under kvantifiseringsgrensen i prøver fra alle åtte lokalitetene. Siloksan D6 ble målt over kvantifiseringsgrense i syv av de åtte prøvene, hvorav en (fra stasjon R1823) regnes som mindre pålitelig siden nivået på 0,85 µg/kg tv. var lavere enn feltblanknivå ved samme stasjon (1,3 µg/kg tv.). Resterende prøver fra Kongsfjorden og Rijpfjorden hadde etter korrigering for blankbidraget lave nivåer på mellom 0,40 og 0,80 µg/kg tv.

5 - Planlagt arbeid

Prøvetaking i nye deler av MAREANO-området blir videreført. Det er tatt sedimentkjerner på fire nye lokaliteter ved Bjørnøya i april 2019. Høsten 2019 ble det gjennomført et tokt i Kvitøyrenna, hvor det ble tatt en sedimentkjerne. Prøvetakingen ble begrenset av isfronten, og fortsatt videre i ytre Kongsfjorden, hvor tre sedimentkjerner til ble tatt. Det ble dermed samlet prøver fra åtte lokaliteter i forskjellige områder i 2019. Prøvene vil bli analysert for hydrokarboner (PAH, THC), og for PBDE, PCB, klorerte pesticider og nye miljøgifter i løpet av 2020. Analyseresultatene er planlagt for rapportering i desember 2020.

6 - Konklusjoner

6.1 - Hydrokarboner

- Hydrokarbon-nivåer ligger naturlig høyt ved de undersøkte lokalitetene i åpent hav sørvest for Svalbard, i Kongsfjorden og i Rijpfjorden, i likhet med andre steder i Svalbard-område undersøkt tidligere.
- Det er naturlige tilførsler av petrogene PAH på grunn av erosjon og utvasking av kullholdige bergarter til havet på Svalbard som forårsaker de høye nivåene.
- De høyeste nivåene finner man i åpent hav sørvest for Svalbard mens de laveste nivåene finner man i Rijpfjorden.
- Nivåene er lavere for høymolekylære PAH som finnes kun i små mengder i fossile stoffer. Bl.a. benzo[*a*]pyren ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse II.
- Det er en usikkerhet knyttet til fortolkning av flere av PAH-profiler i sedimentkjernene på grunn av for få sedimentsnitt analysert gjennom kjernen. For å oppnå pålitelig fortolkning av resultatene, bør man ha data for hvert 2.snitt i kjernen.
- PAH-profil i sedimentkjernen fra åpent hav sørvest for Svalbard ser ut til å vise et stabilt høyt PAH-nivå gjennom tiden, med petrogene PAH som utgjør mesteparten av PAH-sammensetningen. Dette bekrefter naturlig opphav av PAH i sedimentene. Profilen er likevel noe usikker og dårlig oppløst på grunn av få målinger i kjernen.
- I Kongsfjorden og Rijpfjorden er det også petrogene PAH som preger PAH-sammensetningen, men profilene er noe forskjellig fra det som er observert i åpent hav andre steder rundt Svalbard. I Rijpfjorden finner man lavere nivåer i moderne sedimentlag (fra ca. 1960-tallet) i forhold til naturlig høyt bakgrunnsnivå i gamle sedimenter. Årsaken er ukjent men kan være knyttet til endringer i havmiljø. Dette er også en usikker tolkning pga. få datapunkter for kjernen. Det er også mulig at lignende trender er funnet i Kongsfjorden.
- TOC-data er viktige for riktig fortolkning av PAH-trender i sedimentkjerner, siden det er først etter normalisering til TOC at man får et bilde på riktig konsentrasjonsprofil gjennom kjernen.

6.2 - Menneskeskapte persistente organiske miljøgifter

- Det er funnet kun lave nivåer av PBDE, med marginalt høyere nivåer ved de tre stasjonene i Rijpfjorden enn ved de andre fem lokalitetene. Nivåene ligger i Miljødirektoratets klasse II.
- Nivåer av PCB og OCP er meget lave i Kongsfjorden og Rijpfjorden, og er noe høyere ved de to lokalitetene i åpent hav sørvest for Svalbard. Nivåene ligger i Miljødirektoratets klasse II for alle stoffer unntatt lindan som ligger rett over grensen til klasse III i en av prøvene.
- Dekloraner ble undersøkt for første gang under MAREANO. Prøver fra 36 lokaliteter ble analysert, inkludert de åtte lokalitetene fra den siste prøvetakingen. Nivåene var under målegrensen i Svalbardfjordene og flere andre steder, og meget lave ellers i MAREANO-området. De høyeste nivåene funnet for DP regnes som normale bakgrunnsnivåer tidligere funnet andre steder i verden.
- PFAS er funnet kun i lave nivåer i Kongsfjorden og i åpent hav sørvest for Svalbard, men i noe høyere nivå i Rijpfjorden, i Miljødirektoratets tilstandsklasse III for PFOS. PFOA ligger i tilstandsklasse II i alle prøver.

- Alkylfenoler er funnet i lave nivåer for 4*t*OP og etoksylater i alle prøver. Det samme gjelder 4-nonylfenol og BPA i Rijpfjorden, mens det ved én stasjon i Kongsfjorden ble funnet forhøyet nivå av både 4-nonylfenol og BPA, som for begge stoffene tilsvarer Miljødirektoratets klasse III.
- PFR, klorparafiner og siloksaner ligger veldig lavt og er under målegrensen for de fleste stoffene i de fleste prøvene.

7 - Referanser

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.

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., Jensen, H.K.B., Klungsøyr, J. 2009. Geographical variations in hydrocarbon levels in sediments from the Western Barents Sea. Norwegian Journal of Geology, 89, 91-100.

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

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.

Corsini, E., Luebke, R.W., Germolec, D.R., DeWitt, J.C. 2014. Perfluorinated compounds: Emerging POPs with potential immunotoxicity. Toxicology Letters 230(2), 263-270.

Dahle, S., Savinov, V., Petrova, V., Klungsøyr, J., Savinova, T., Batova, G. & Kursheva, A. 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Norwegian and Russian Arctic marine sediments: concentrations, geographical distribution and sources. Norwegian Journal of Geology, 86, 41-50.

Everaert, G., Ruus, A., Hjermann, D.Ø., Borgå, K., Green, N., Boitsov, S., Jensen, H., Poste, A. 2017. Additive models reveal sources of metals and organic pollutants in Norwegian marine sediments. Environmental Science and Technology, 51, 12764-12773.

Fang, M., Kim, J.-C., Chang, Y.-S. 2014. Investigating Dechlorane Plus (DP) distribution and isomer specific behavior in size fractionated marine sediments. Science of Total Environment 481, 114-120.

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 (137Cs, 238Pu, 239, 240Pu and 341Am) in marine sediments with emphasis on the Spitsbergen-Bear Island area. Science of the Total Environment 293, 233–245.

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

Ma, Y., Xie, Z., Halsall, C., Möller, A., Yang, H., Zhong, G., Cai, M., Ebinghaus, R. 2015. The spatial distribution of organochlorine pesticides and halogenated flame retardants in the surface sediments of an Arctic fjord: The influence of ocean currents *vs.* glacial runoff. Chemosphere 119, 953-960.

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.

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. Mijlødirektoratets rapport M-608, 2016. 26 s. Tilgjengelig på http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M608/M608.pdf

Na, G., Wei, W., Zhou, S., Gao, H., Ma, X., Qiu, L., Ge, L., Bao, C., Yao, Z. 2015. Distribution characteristics and indicator significance of Dechloranes in multi-matrices at Ny-Ålesund in the Arctic. Journal of Environmental Sciences 28, 8-13.

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 environmentalbehaviors of Dechlorane Plus and related compounds – a review. Environment International 88, 206-220.

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.

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

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