



UNDERSØKELSER AV HYDROKARBONER OG ORGANISKE MILJØGIFTER I SEDIMENTER FRA MAREANO- OMRÅDET I 2024

Tittel (norsk og engelsk):

Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra Mareano-området i 2024
Hydrocarbons and organic contaminants in sediments from the Mareano area in 2024

Rapportserie: Rapport fra havforskningen
År - Nr.: 2025-81
Dato: 12.12.2025
ISSN:1893-4536

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

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

Distribusjon:
Åpen

Prosjektnr:
16155-02

Oppdragsgiver(e):
Mareano

Program:
Marine prosesser og menneskelig
påvirkning

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

Antall sider:
54

Sammendrag (norsk):

Havforskningsinstituttet har gjennomført målinger av hydrokarboner (PAH) i sedimenter fra 15 lokaliteter i Mareano-området, inkludert seks sedimentkjerner. I overflatesedimenter ble det i tillegg målt totalt hydrokarbon innhold (THC), bromerte flammehemmere (PBDE), klorerte miljøgifter (PCB og pesticider) og ved fire lokaliteter også «nye» organiske miljøgifter (PFAS, alkylfenoler, bisfenol A (BPA), dekloraner, fosfororganiske flammehemmere (PFR), klorparafiner og siloksaner). Alkylfenoler og BPA ble videre studert i overflatesedimenter fra åtte lokaliteter i områder planlagt for havvind-utbygging, på oppdrag fra NVE. Disse stoffene ble også studert i sedimentkjerner fra fem av de samme lokalitetene. Prøvene var innsamlet i 2024 i områdene Sørvest F, Vestavind B, Vestavind F, Lista og Fedafjorden i Nordsjøen og i Kvitøyrenna i Barentshavet. Meget lave nivåer av hydrokarboner ble funnet i grove sedimenter fra område Sørvest F, mens noe høyere nivåer ble funnet i andre deler av Nordsjøen og i Kvitøyrenna. Benzo[a]pyren og PAH16 var i Miljødirektoratets klasse I («Bakgrunn») ved flere lokaliteter i område Sørvest F, og ellers i klasse II («God tilstand»). PAH-konsentrasjonsprofiler i kjernene tydet på tilførsler av pyrogene PAH i moderne sedimentlag, knyttet til antropogen påvirkning overalt i Nordsjøen, utenom område Sørvest F der nivåene var ekstremt lave og viste ingen trender. I Kvitøyrenna fant man stabilt høye nivåer av petrogene PAH forårsaket av naturlige kilder i området. Nivåene av menneskeskapte organiske miljøgifter av alle typer listet ovenfor var relativt lave eller meget lave, som regel lavest i område Sørvest F i Nordsjøen. Nivåene tilsvarte Miljødirektoratets klasse II for de stoffene som det er etablert tilstandsklasser for, med unntaket av PFOS som var i tilstandsklasse III ved tre lokaliteter i Nordsjøen og Kvitøyrenna, og 4-nonylfenol som var i denne klassen ved én lokalitet i område Sørvest F. Resultatene fra områder planlagt for utbygging for havvind danner et grunnlag for fremtidig overvåkning.

Sammendrag (engelsk):

Institute of Marine Research has analysed hydrocarbons (PAH) in sediments from 15 locations in the Mareano area, including six sediment cores. In addition, total hydrocarbon contents (THC), brominated flame retardants (PBDE), chlorinated contaminants (PCB and pesticides) and at four locations also contaminants of emerging concern (PFAS, alkylphenols, bisphenol A (BPA), dechloranes, phosphorus flame retardants (PFR), chlorinated paraffins, siloxanes) were analysed in surface sediments only. Alkylphenols and BPA were also analysed in surface sediments from eight locations in areas planned for wind energy construction on assignment from NVE. These substances were also studied in sediment cores from five of the same locations. The samples were collected in 2024 in the North Sea areas Sørvest F, Vestavind B, Vestavind F, Lista and Feda Fjord, and in Kvitøyrenna in the Barents Sea. Low levels of hydrocarbons were found in coarse sediments from area Sørvest F, while somewhat higher levels were found in other parts of the North Sea and in Kvitøyrenna. Levels of benzo[a]pyrene and PAH16 were in the Norwegian Environmental Agency's class I ("Background") at most locations in Sørvest F area, and otherwise in class II ("Good condition") everywhere. PAH concentration profiles in sediment cores showed an increase in the levels of pyrogenic PAH in modern times due to anthropogenic impact everywhere in the North Sea apart from area Sørvest F, where the low levels showed no trends. The levels of all the anthropogenic contaminants listed above were low or very low, generally at their lowest in area Sørvest F. The levels corresponded to class II for those compounds that the condition classes are established for, with the exception of PFOS which was in class III at three locations in the North Sea and Kvitøyrenna, and 4-nonylphenol which was in this class at one location in Sørvest F area. The results for the areas planned for wind energy construction will form the basis for future monitoring.

Innhold

1	Liste over forkortelser brukt i rapporten	5
2	Innledning	7
2.1	Studier av miljøgifter gjennomført under Mareano	7
2.2	Bakgrunn for målinger av organiske miljøgifter	9
2.2.1	<i>Sedimentstudier</i>	9
2.2.2	<i>Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og andre hydrokarboner</i>	9
2.2.3	<i>Polybromerte difenyletere (PBDE)</i>	11
2.2.4	<i>Polyklorete bifenyler (PCB) og organiske klorete pesticider (OCP)</i>	12
2.2.5	<i>Nye organiske miljøgifter</i>	14
3	Metoder	18
3.1	Prøvetaking	18
3.2	Analysemetoder	22
3.2.1	<i>PAH og THC i sedimenter</i>	22
3.2.2	<i>PBDE og klorete miljøgifter i sedimenter</i>	22
3.2.3	<i>Nye organiske miljøgifter</i>	23
4	Resultater	24
4.1	Nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter	24
4.2	PAH i sedimentkjerner	30
4.3	Nivåer av PBDE i overflatesedimenter	32
4.4	Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter	35
4.5	Nivåer av nye organiske miljøgifter i overflatesedimenter	39
4.5.1	<i>Nivåer av PFAS i overflatesedimenter</i>	40
4.5.2	<i>Nivåer av alkylfenoler og bisfenol A i overflatesedimenter og sedimentkjerner</i>	41
4.5.3	<i>Nivåer av dekloraner i overflatesedimenter</i>	44
4.5.4	<i>Nivåer av klorparafiner i overflatesedimenter</i>	45
4.5.5	<i>Nivåer av PFR i overflatesedimenter</i>	45
4.5.6	<i>Nivåer av siloksaner i overflatesedimenter</i>	45
5	Planlagt arbeid	46
6	Konklusjoner	47
6.1	Hydrokarboner	47
6.2	Persistente organiske miljøgifter – havvind	47
6.3	Andre persistente organiske miljøgifter	47
7	Referanser	49
8	Vedlegg	53
8.1	Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 korrigert for TOC	53

1 - Liste over forkortelser brukt i rapporten

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

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

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

2 - Innledning

2.1 - Studier av miljøgifter gjennomført under Mareano

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

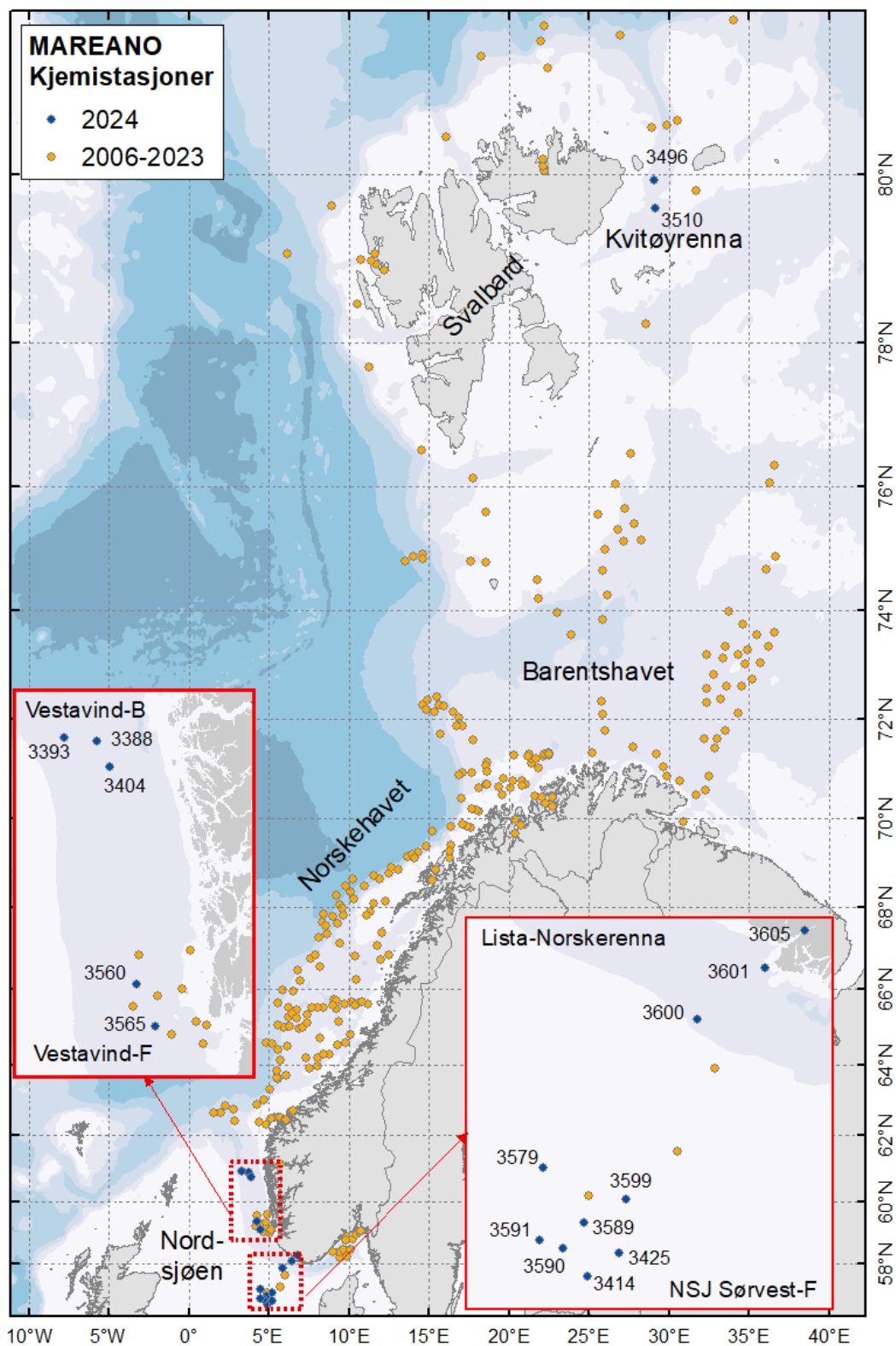
I denne rapporten presenteres resultater av målinger av organiske miljøgifter i sedimentprøver innsamlet under Mareano-toktene med forskningsfartøyet «Kronprins Haakon» i mars 2024 i Nordsjøen (tokt 2024007003) og i april 2024 i Kvitøynna og Barentshavet (tokt 2024007005), og med forskningsfartøyet «G. O. Sars» i november-desember 2024 i Nordsjøen (tokt 2024001021). Prøvetakingslokalitetene er vist i figur 2.



Figur 1 . Forskningsfartøyene benyttet til Mareano-toktene i 2024: "G.O. Sars" (til venstre, foto: Erlend Astad Lorentzen, Havforskningsinstituttet), "Kronprins Haakon" (til høyre, foto: Michael Poltermann / Havforskningsinstituttet).

Innsamling av sedimentprøver ble utført i samarbeid mellom Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Havforskningsinstituttet. Havforskningsinstituttet analyserte prøvene for innhold av hydrokarboner, klorerte og bromerte organiske miljøgifter, alkylfenoler, og PFAS, mens analyser av andre organiske miljøgifter ble utført på oppdrag av Norsk Institutt for Luftforskning (NILU). Resultater av analysene er omtalt i denne rapporten. NGU analyserte prøver fra de samme lokalitetene for innhold av totalt organisk karbon (TOC), kornstørrelsesfordeling og tungmetaller (se rapporter fra NGU på www.mareano.no). Datering av et utvalg av prøvene ved hjelp av ^{210}Pb -målinger ble utført på Gamma Dating Center ved Universitetet i København. Analysene ble utført i 2025.

I tillegg til den regelmessige Mareano-kartleggingen, ble det i 2024 utført en ekstra kartlegging av havbunnen i områdene Vestavind B og Sørvest F i Nordsjøen (se kart i figur 2) på oppdrag fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og finansiert av en bevilgning fra Energidepartementet (ED). Kartleggingen hadde som formål å øke kunnskapsnivået om miljø i de områdene som er aktuelle for havvind-utlysning i nær framtid, og hadde derfor en del forskjell fra vanlig Mareano-aktivitet når det gjelder analyseprogram for kjemi. Detaljer om analyseprogrammet er gitt i tabell 7 i seksjon 3.1.



Figur 2 . Prøvetakingslokaliteter for sedimenter i Mareano-området. 2024-stasjoner er vist med blå farge og er merket med stasjonsnumre. Kart: her og videre, Kjell Bakkeplass, Havforskningsinstituttet.

2.2 - Bakgrunn for målinger av organiske miljøgifter

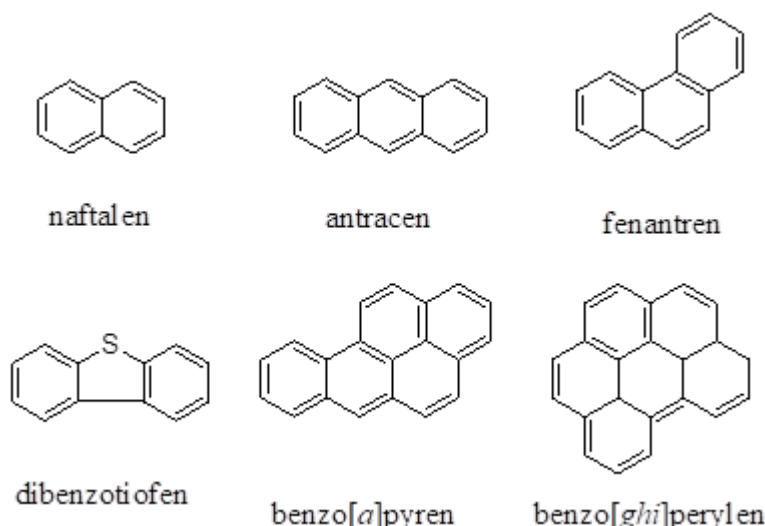
2.2.1 - Sedimentstudier

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

2.2.2 - Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og andre hydrokarboner

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

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



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

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

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

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

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

Indikatoren PAH16 består for det meste av pyrogene PAH og vurderes opp mot ulike miljøkvalitetsstandarder (se under). NPD består av petrogene PAH og er en indikator på oljerelaterte kilder. Det er først og fremst petrogene og pyrogene PAH som skaper forurensningsproblemer. Nivåer av PAH i sedimenter varierer sterkt i norske havområder, 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 de pyrogene PAH-forbindelsene, benzo[*a*]pyren, vurderes som spesielt viktig siden den er sterkt kreftfremkallende. Denne forbindelsen måles ofte for å kunne vurdere både miljøtilstand og sjømattrygghet. Miljødirektoratets tilstandsklasser for PAH 16 og benzo[*a*]pyren i sedimenter er vist i tabell 2. Det er ikke etablert tilstandsklasser for alkylerte PAH og dermed NPd.

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

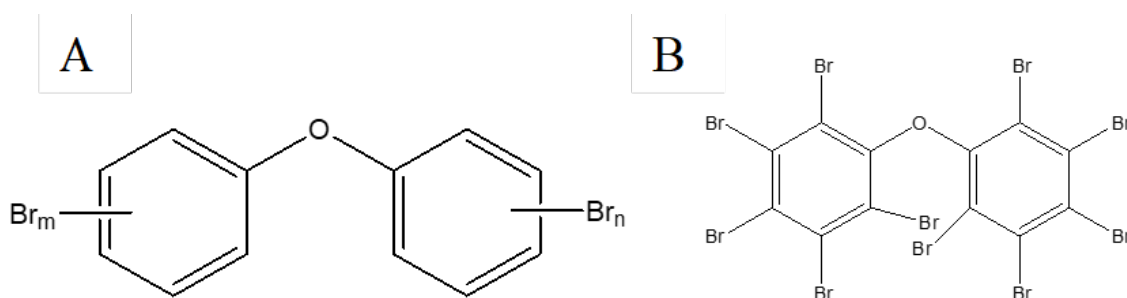
Tilstandsklasse	Klasse I Bakgrunn	Klasse II God	Klasse III Moderat	Klasse IV Dårlig	Klasse V Svært dårlig
Benzo[<i>a</i>]pyren, µg/kg tv.	<6	6–183	183–230	230–13100	> 13100
PAH16, µg/kg tv.	<300	300-2000	2000-6000	6000-20000	>20000

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

2.2.3 - Polybromerte difenyletere (PBDE)

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

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



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

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

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

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

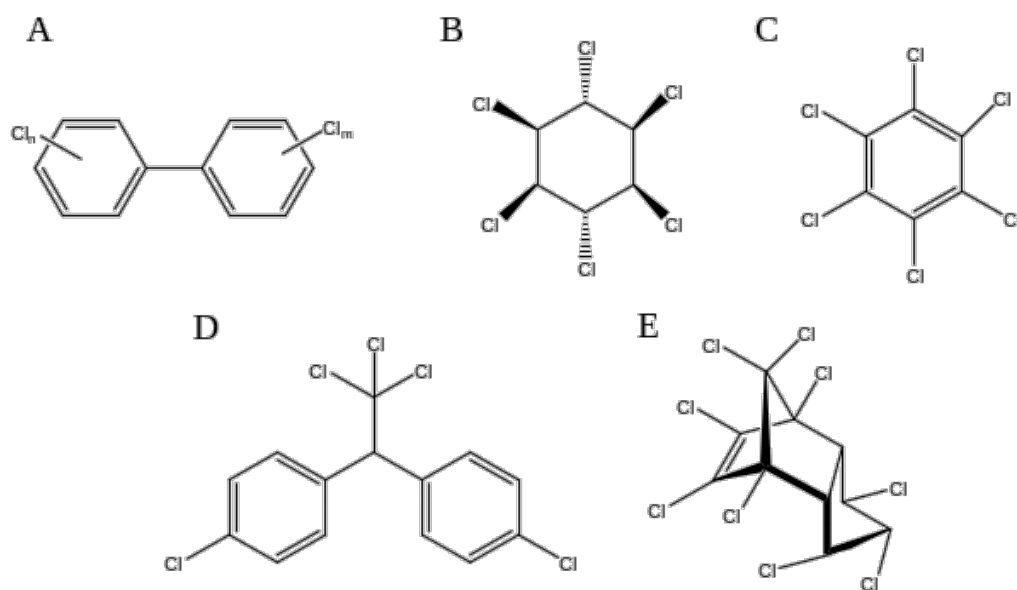
* Summerte nivåer av BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154.

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

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

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

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



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

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

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

Pesticidet DDT (diklordifenyltrikloretan) er et av de mest og lengst brukte i verden. Havforskningsinstituttet analyserer i sedimenter på p,p' -DDT (figur 5D), som utgjør mesteparten i den kommersielle DDT-blandingen, og på degraderingsproduktene p,p' -DDD (diklordifenyldikloretan) og p,p' -DDE (diklordifenyldikloretylen), rapportert sammen som Σ DDT. Til tross for reguleringer og forbud mot bruken av stoffet er det fortsatt i bruk i enkelte land, selv om forbruket minker (van den Berg mfl. 2025). India fortsetter å produsere stoffet. Også i land hvor det har vært forbudt produsert i mange år, som Sovjetunionen, tok det gjerne flere tiår før bruken av DDT opphørte. Dette bidrar til fortsatt godt sporbare nivåer i miljøet. DDT ble ført opp på Stockholm-konvensjonens liste i 2004 (se <http://chm.pops.int>).

$Trans$ -nonaklor (figur 5E) er et stoff som finnes som en komponent i tekniske blandinger av pesticidet klordan,

som er toksiske også for fisk. Klordan ble omfattet av Stockholm-konvensjonen siden 2004.

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

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

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

2.2.5 - Nye organiske miljøgifter

Såkalte nye organiske miljøgifter (engelsk: *contaminants of emerging concern*) er de siste 20 årene blitt vurdert å kunne utgjøre et 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 polyfluoroalkyl substances*) er en gruppe fluoralkylerte forbindelser som er svært persistente i marint miljø og kan tas opp av biota og bioakkumulere (for eksempel Ali mfl. 2021). De har negative helseeffekter både for mennesker og andre levende organismer (Fenton mfl. 2021), og er funnet i forskjellige mengder i vannmiljø over hele verden (Rayne & Forest 2009). Alle PFAS undersøkt av Mareano er utelukkende menneskeskapte. De har vært produsert i flere tiår for bruk i en rekke ulike produkter, og noen av dem har blitt brukt som flammehemmere i brannskum. Miljødirektoratets kartleggingsundersøkelse utført i 2007 i Barentshavet fant spormengder av enkeltstoffer i denne gruppen i sedimenter (SFT 2008a), mens tidligere studier har rapportert tilsvarende lave nivåer i marine sedimenter fra forskjellige steder i norsk Arktis (SFT 2008b). Spormengder av enkelte PFAS-forbindelser ble også funnet i en screening-studie i marine sedimenter fra norske arktiske strøk (Miljødirektoratet 2013). Studier utført i andre områder i Arktis har påvist nivåer av enkelte PFAS i sediment og biota som var like høye eller høyere enn nivåer av bromerte og klorerte miljøgifter (for eksempel Kelly mfl. 2009). Mareano har kartlagt PFAS i overflatesedimenter siden 2016, og resultatene viser et nokså stabilt bakgrunnsnivå uten signifikante geografiske forskjeller i åpent hav over hele området fra Nordsjøen i sør til Nordishavet nord for Svalbard i nord (Boitsov mfl. 2024a). Enkelte PFAS, som PFOS og PFOA, ble nylig omfattet av Stockholm-konvensjonen (siden 2019, se <http://chm.pops.int>), og Miljødirektoratet har utarbeidet tilstandsklasser for disse stoffene (se tabell 5 under). Samtidig øker produksjon av PFAS globalt og stadig nye forbindelser i denne klassen produseres, med flere tusen adskilte PFAS rapportert eller estimert (Wang mfl. 2017).

Klorparafiner er persistente forbindelser som kan tas opp og akkumuleres av biota. De er toksiske og kreftfremkallende. De brukes som tilsetninger til materialer ved høytemperaturprosesser, til maling, som flammehemmere, m.m. (Marvin mfl. 2003). Kortkjedete klorparafiner (SCCP) ble funnet i lave nivåer i

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

Fosfororganiske 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 & Kümmeler 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.; se for eksempel Bakke mfl. 2013.) Enkelte alkylfenoler, som nonylfenol, og bisfenol A finnes i mange typer plast, og bisfenol A finnes bl.a. i høye konsentrasjoner i enkelte plasttyper brukt i turbinblader i havvindinstallasjoner (Meier mfl. 2005; Kabacki & Senlik 2025). Disse stoffene kan ha hormonhermende effekt på marin biota (Servos 1999). I SFT sin kartleggingsundersøkelse ble det ikke funnet alkylfenoler over deteksjonsgrense i sedimentene, men alkylfenoletoksylater ble funnet både på bakgrunnsnivå og ved noe høyere nivåer (SFT 2008a). BPA ble funnet i lave konsentrasjoner innenfor betegnelsen bakgrunnsnivå.

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

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

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

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

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

Tabell 6. Nye organiske miljøgifter analysert av Mareano.

Stoffgruppe	Enkeltforbindelser	Forkortelse
PFAS	<i>Perfluoroktansulfonamid</i>	PFOSA
	<i>Perfluorheksansulfonat</i>	PFHxS
	<i>Perfluorheptansulfonat</i>	PFHpS
	<i>Perfluoroktansulfonat lineær</i>	PFOSlin
	<i>Perfluornonansulfonat</i>	PFNS
	<i>Perfluordekansulfonat</i>	PFDCS
	<i>Perfluordodekansulfonat</i>	PFDoS
	<i>Perfluorheksanoat</i>	PFHxA
	<i>Perfluorheptanoat</i>	PFHpA
	<i>Perfluoroktanoat</i>	PFOA
	<i>Perfluornonanoat</i>	PFNA
	<i>Perfluordekanoat</i>	PFDA
	<i>Perfluorundekanoat</i>	PFUnDA
	<i>Perfluordodekanoat</i>	PFDoDA
	<i>Perfluortridekanoat</i>	PFTDA
Klorparafiner	<i>Kortkjedete klorparafiner (C10-C13)</i>	SCCP
	<i>Mellomkjedete klorparafiner (C14-C17)</i>	MCCP
	<i>Langkjedete klorparafiner (>C17)</i>	LCCP
Fosfororganiske flammehemmere (PFR, engelsk: <i>phosphorus flame retardants</i>)	<i>Trietylfosfat</i>	TEP
	<i>Tris(2-kloretyl)fosfat</i>	TCEP
	<i>Tripetylfosfat</i>	TPPrP
	<i>Tris(2-klorisopropyl)fosfat (3 isomerer)</i>	TCIPP
	<i>Triisobutylfosfat</i>	TiBP

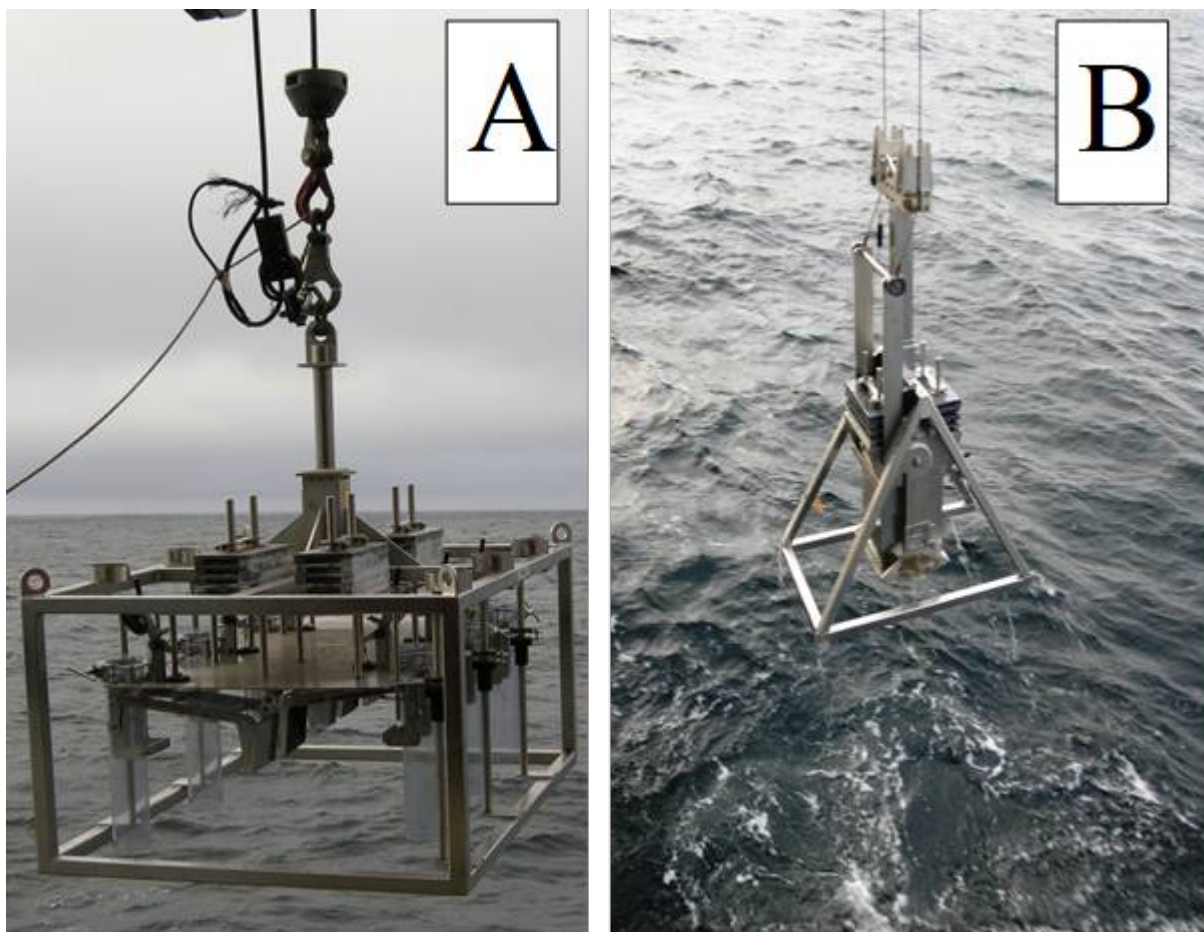
	<i>Butyldifenylfosfat</i>	BdPhP
	<i>Trifenyfosfat</i>	TPHP
	<i>Dibutylfenylfosfat</i>	DBPhP
	<i>Tri-n-butylfosfat</i>	TnBP
	<i>Tris(1,3-diklor-2-propyl)fosfat</i>	TDCIPP
	<i>Tris(2-butoksyetyl)fosfat</i>	TBOEP
	<i>Trikresylfosfat</i>	TCP
	<i>2-Etylheksyldifenylfosfat</i>	EHDP
	<i>Triksylfosfat</i>	TXP
	<i>Tris(2-etylheksyl)fosfat</i>	TEHP
	<i>Tris(isopropylfenyl)fosfat</i>	TIPPP
	<i>2-Isopropylfenyldifenylfosfat</i>	2-IPDPDP
	<i>4-Isopropylfenyldifenylfosfat</i>	4-IPDPDP
	<i>Bis(4-isopropylfenyl)fenylfosfat med isomerer</i>	B4IPPPP
Siloksaner	<i>Oktametylsyktotetrasiloksan</i>	D4
	<i>Dekametylsyklopentasiloksan</i>	D5
	<i>Dodekametylsykloheksasiloksan</i>	D6
Alkylfenoler, alkylfenol etoksylater og bisfenol A	<i>4-tert-oktylfenol</i>	4tOP
	<i>4-tert-oktylfenolmonoetoksylat</i>	4tOP-EO1
	<i>4-tert-oktylfenoldietoksylat</i>	4tOP-EO2
	<i>4-nonylfenol (blanding av isomerer)</i>	4NP
	<i>4-iso-nonylfenolmonoetoksylat</i>	4NP-EO1
	<i>4-iso-nonylfenoldietoksylat</i>	4NP-EO2
	<i>Bisfenol A</i>	BPA
Dekloraner	<i>Dibromaldrin</i>	DBA
	<i>Dekloran 602</i>	D602
	<i>Dekloran 603</i>	D603
	<i>Dekloran 604</i>	D604
	<i>Dekloran 601</i>	D601
	<i>Dekloran pluss syn</i>	DP <i>syn</i>
	<i>Dekloran pluss anti</i>	DP <i>anti</i>

3 - Metoder

3.1 - Prøvetaking

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

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



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

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

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

Detaljert beskrivelse av prøvetakingslokaliteter er gitt i tabell 7, mens geografisk plassering er vist i figur 2. Betegnelsen på prøvetakingsstasjon består av to numre, hvor det første, med bokstaven «R», står for Mareano-programmets prøvetakingsstasjonsnummer. Dette er gjennomgående og unikt for alle Mareano-toktene gjennom alle år. Det andre nummeret med «MC», «BC» eller «GR» står for hhv. multicorer-, bokscorer- eller grabb-prøvetakingsnummer i det året prøven ble tatt. Lengden på sedimentkjernene og analyseprogram for prøvene er også vist i tabell 7. Områdene dekket av Mareano-toktene i 2024 var Vestavind B, Vestavind F, Sørvest F og Lista i Nordsjøen, og Kvitøyrenna i Barentshavet. I tillegg ble det analysert en overflateprøve fra Fedafjorden, hvor fartøyet måtte oppholde seg på grunn av dårlig vær i åpent hav. Analysene finansiert av ED i prøver fra områdene planlagt for havvind-utbygging er merket i tabell 7 som «Mareano-havvind», mens resten av prøvene tilsvarer den regelmessige Mareano-kartleggingen og er merket «Mareano». Analyseprogram for prøvene analysert som Mareano-havvind var utvidet i forhold til alkylfenoler og bisfenol A, siden bisfenoler kan inneholdes i høye konsentrasjoner i plasten fra turbinbladene (Kabakci & Senlik 2025), i tillegg til mikroplast og metallene indium og gallium. Sistnevnte miljøgifter omfattes av andre rapporter fra hhv. HI og NGU.

Tabell 7. Prøvetakingslokaliteter under Mareano-tokt i 2024 og utførte analyser.

R- Stasjon	Redskaps- nummer	Dato	Område*	Program	Breddegrad, N	Lengdegrad, Ø	Vann- dybde, m	Kjerne- lengde, cm	Prøver analysert for organiske miljøgifter					Data fra NGU	
									THC	PAH	PBDE, PCB, OCP	Alkylfenoler og bisfenol A	Nye miljøgifter	TOC	²¹⁰ Pb
R3388	MC01	09.03.2024	Vestavind B	Mareano- havvind	60°54.13'	3°44.94'	344	42	a	b	a	b	-	b	b
R3393	BC01	10.03.2024	Vestavind B	Mareano- havvind	60°55.18'	3°19.83'	344	2	-	-	-	a	a	-	-
R3393	MC02	10.03.2024	Vestavind B	Mareano- havvind	60°55.18'	3°19.83'	344	39	a	a	a	-	-	a	-
R3404	MC03	12.03.2024	Vestavind B	Mareano- havvind	60°44.03'	3°55.28'	318	34	a	a	a	a	-	a	-
R3414	BC02	15.03.2024	Sørvest F	Mareano- havvind	56°37.19'	4°54.85'	65	2	-	-	-	a	-	-	-
R3496	BC08	19.04.2024	Kvitøyrenna	Mareano	79°56.66'	29°04.52'	326	2	-	-	-	a	a	-	-
R3496	MC04	19.04.2024	Kvitøyrenna	Mareano	79°56.63'	29°04.54'	327	32	a	b	a	-	-	b	b
R3510	MC05	22.04.2024	Kvitøyrenna	Mareano	79°37.79'	29°08.75'	313	38	a	b	a	-	-	b	b
R3560	MC20	22.11.2024	Vestavind F	Mareano	59°21.85'	4°14.69'	271	44	a	b	a	-	-	b	b
R3560	BC447	22.11.2024	Vestavind F	Mareano	59°21.85'	4°14.69'	271	2	-	-	-	a	a	-	-
R3565	MC21	23.11.2024	Vestavind F	Mareano	59°05.41'	4°28.88'	249	32	a	a	a	-	-	a	-
R3579	GR20	28.11.2024	Sørvest F	Mareano- havvind	57°08.47'	4°31.77'	58	7	a	a	-	b	-	b	-
R3589	GR34	29.11.2024	Sørvest F	Mareano- havvind	56°52.70'	4°53.15'	67	15	a	a	-	b	-	b	b
R3590	GR41	30.11.2024	Sørvest F	Mareano- havvind	56°45.43'	4°41.96'	61	9	a	b	a	b	-	b	-
R3591	GR47	30.11.2024	Sørvest F	Mareano- havvind	56°47.63'	4°29.63'	60	10	a	a	-	b	-	b	-

R3425	MC23	01.12.2024	Sørvest F	Mareano-havvind	56°43.93'	5°11.89'	64	24	a	a	-	-	-	b	b
R3599	MC25	01.12.2024	Sørvest F	Mareano	56°59.51'	5°15.37'	57	17	a	a	-	a	-	b	b
R3600	BC452	02.12.2024	Lista-NSJ-1	Mareano	57°50.65'	5°52.64'	224	2	-	-	-	a	a	-	-
R3605	GR59	02.12.2024	Fedafjorden	Mareano	58°15.49'	6°49.45'	66	22	a	a	a	-	c	a	-
R3601	MC26	03.12.2024	Lista-NSJ-1	Mareano	58°04.98'	6°28.70'	368	47	a	b	a	-	-	b	b

* SN2: Sørilige Nordsjø 2; NSJ-1: Nordsjøen 1.

^a Kun overflatesediment analysert.

^b Sedimentkjerner analysert.

^c Kun PFAS analysert i overflateprøven.

3.2 - Analysemetoder

3.2.1 - PAH og THC i sedimenter

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

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

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

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

3.2.2 - PBDE og klorerte miljøgifter i sedimenter

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

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

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

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

3.2.3 - Nye organiske miljøgifter

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

PFAS. Tørkede sedimentprøver (ca. 2 g) ble tilsatt 17 ^{13}C -merkede internstandarder og ekstrahert på ultralydbad med 1 % maursyre i acetonitril. Ekstraksjonen ble gjentatt med 1 % ammonium hydroksid i acetonitril. Ekstraktet ble sentrifugert og supernatantene ble renset opp på ENVI-Carb SPE-kolonner. Prøven ble analysert på UHPLC-MS/MS med *elektrospray ionisation* (ESI). Det rapporteres resultater for 15 PFAS listet opp i tabell 6. I tillegg rapporteres det summen av syv PFAS fra denne listen, som består av følgende PFAS tidligere funnet over kvantifiseringsgrensen (LOQ) i sedimenter fra Mareano-område: PFOSlin, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA.

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

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

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

Alkylfenoler, alkylfenoletoksylder og BPA. Tørkede sedimentprøver (ca. 20 g tørrvekt) ble tilsatt interne standarder (^{13}C -merket for alkylfenoletoksylder, 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*-oktylfenoletoksylder og BPA, mens 4-nonylfenol og 4-nonylfenoletoksylder ble kvantitert som grupper av topper og rapportert som summen av isomerer.

4 - Resultater

4.1 - Nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter

Områdene undersøkt av Mareano i 2024 (se detaljert stasjonsoversikt gitt i tabell 7) kan deles i tre grupper, som skilles fra hverandre geografisk og har til dels sterkt forskjellig sedimentsammensetning. Oppsummerte resultater av hydrokarbonmålinger i overflateprøvene fra 15 lokaliteter undersøkt i 2024 er vist i tabell 8 fordelt i disse tre gruppene, med syv lokaliteter i områdene Vestavind B, Vestavind F, Lista og Fedafjorden i Nordsjøen, seks lokaliteter i området Sørvest F i Nordsjøen og to stasjoner i Kvitøyrenna i Barentshavet (se stasjonsplassering i figur 2). Resultatene er også vist på kartene i figurene 7–10 sammen med resultater fra tidligere år. Alle resultater for THC og PAH i sedimentprøver er gitt i MarChem-database på

<https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

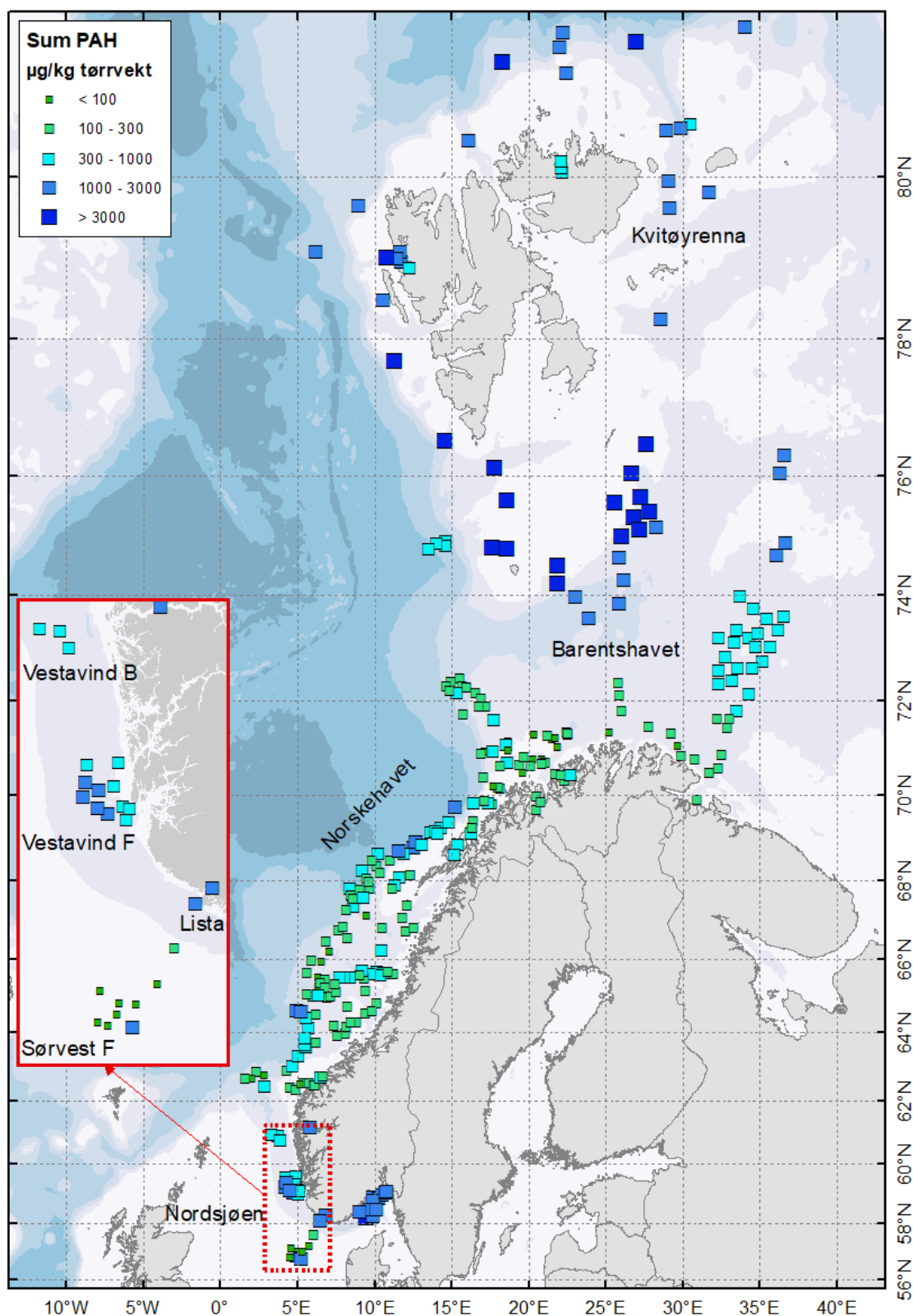
Tabell 8. Gjennomsnitts-, minimale og maksimale nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter fra 15 lokaliteter undersøkt i 2024. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 2 (blå farge: tilstandsklasse I, Bakgrunnsnivå; grønn farge: tilstandsklasse II, God tilstand).

Nivå	n	THC ^a mg/kg tv.	Sum 49 PAH µg/kg tv.	NPD ^b µg/kg tv.	PAH16 µg/kg tv.	Benzo[a]pyren µg/kg tv.	TOC ^c %
Nordsjøen (Vestavind B, Vestavind F, Lista og Fedafjorden)	7						
Min.		11	678	191	406	19	1,2
Gjennomsnitt		19	1570	321	971	51	1,6
Maks.		41	2723	663	1631	130	2,7
Nordsjøen (Sørvest F)	6						
Min.		<2,0	7,8	<0,5	5,7	<0,5	<0,1
Gjennomsnitt		8,7	203	55	128	11	0,59
Maks.		25	1060	311	660	48	2,7
Barentshavet (Kvitøyrenna)	2						
R3496 MC04		25	1292	849	407	14	1,6
R3510 MC05		30	1625	710	620	44	1,5

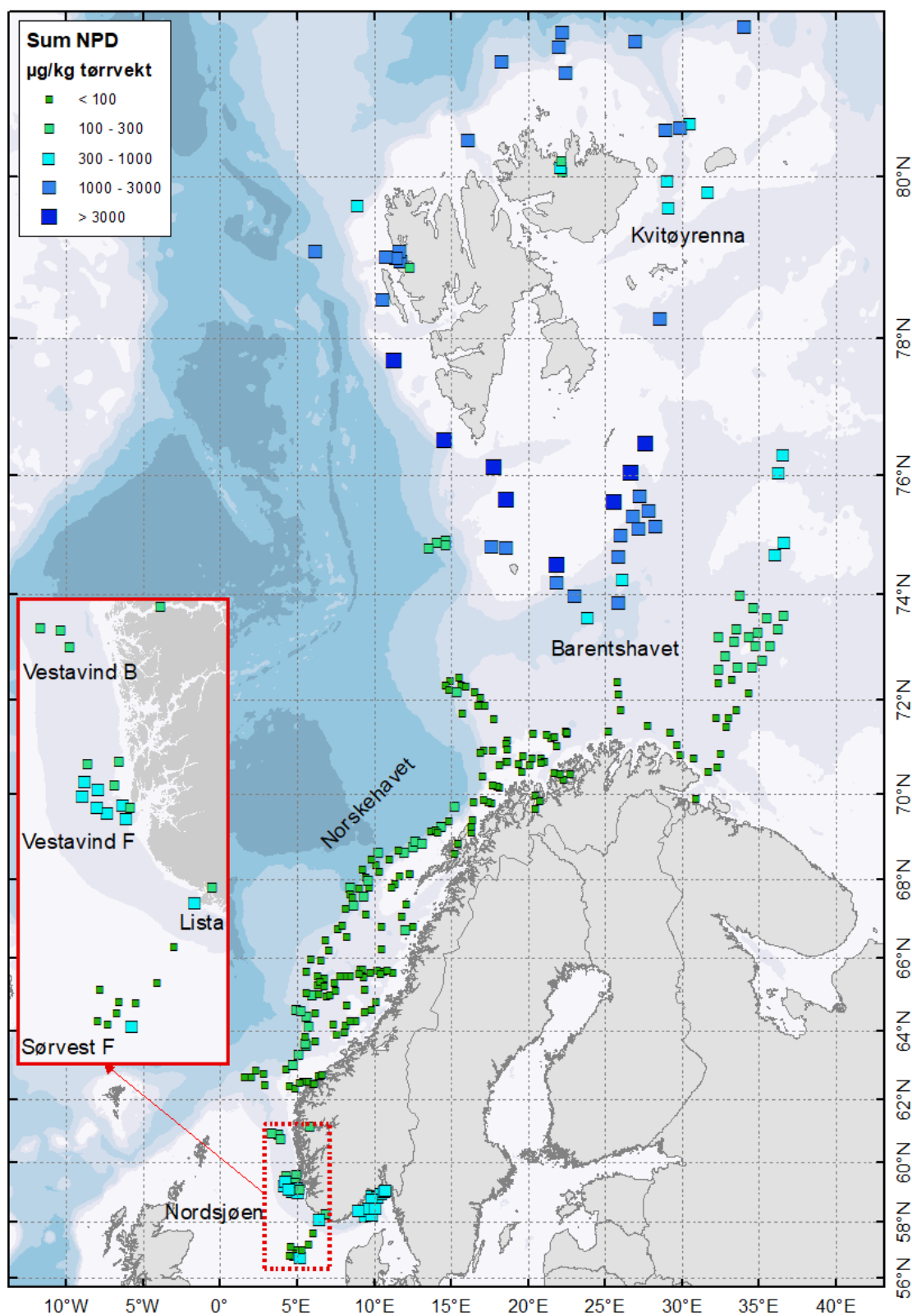
^a – THC: totalt hydrokarboninnhold.

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

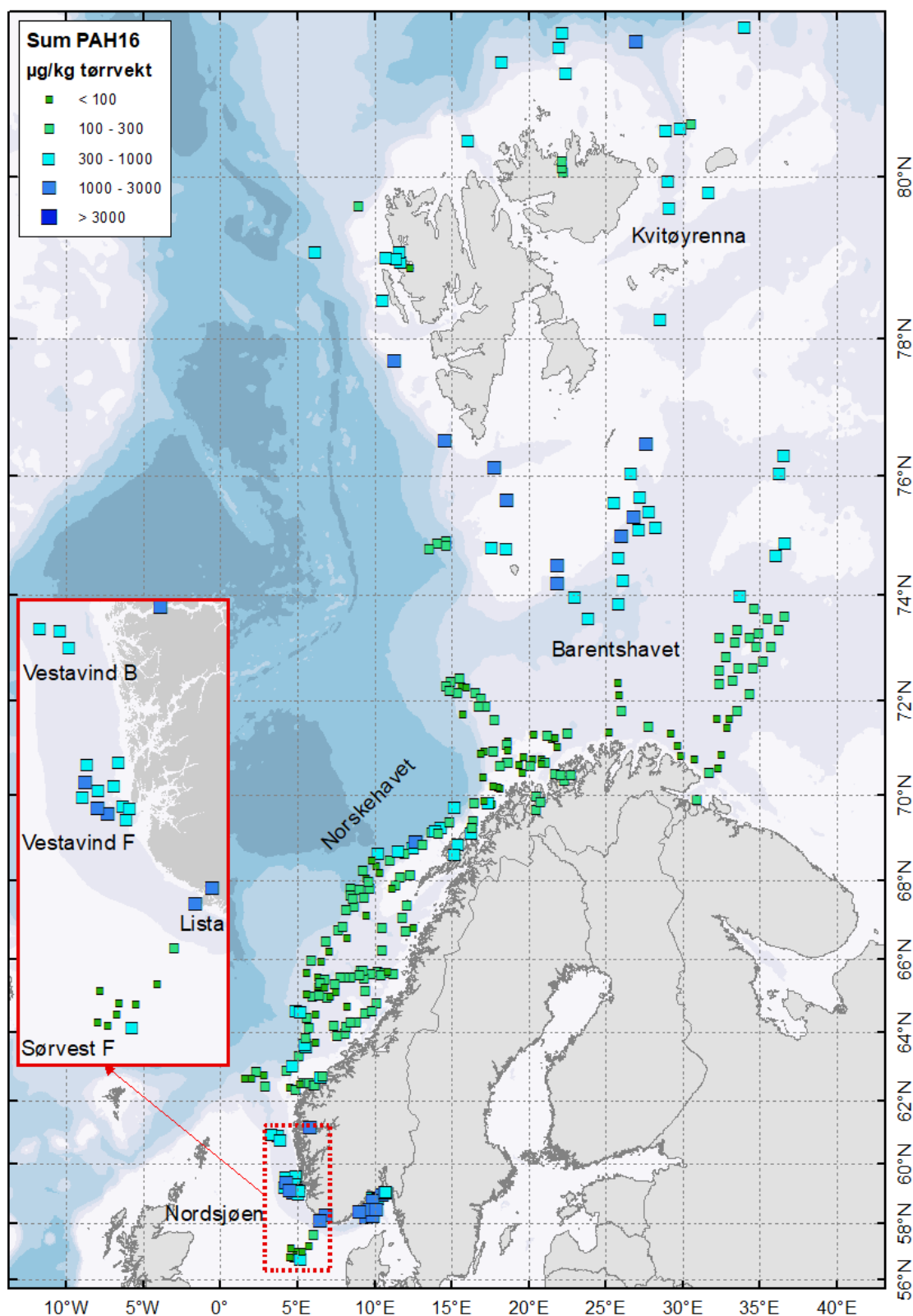
^c – TOC: totalt organisk karbon innhold. Rapportert av NGU. For Vestavind B, Vestavind F, Lista og Fedafjorden, n=5.



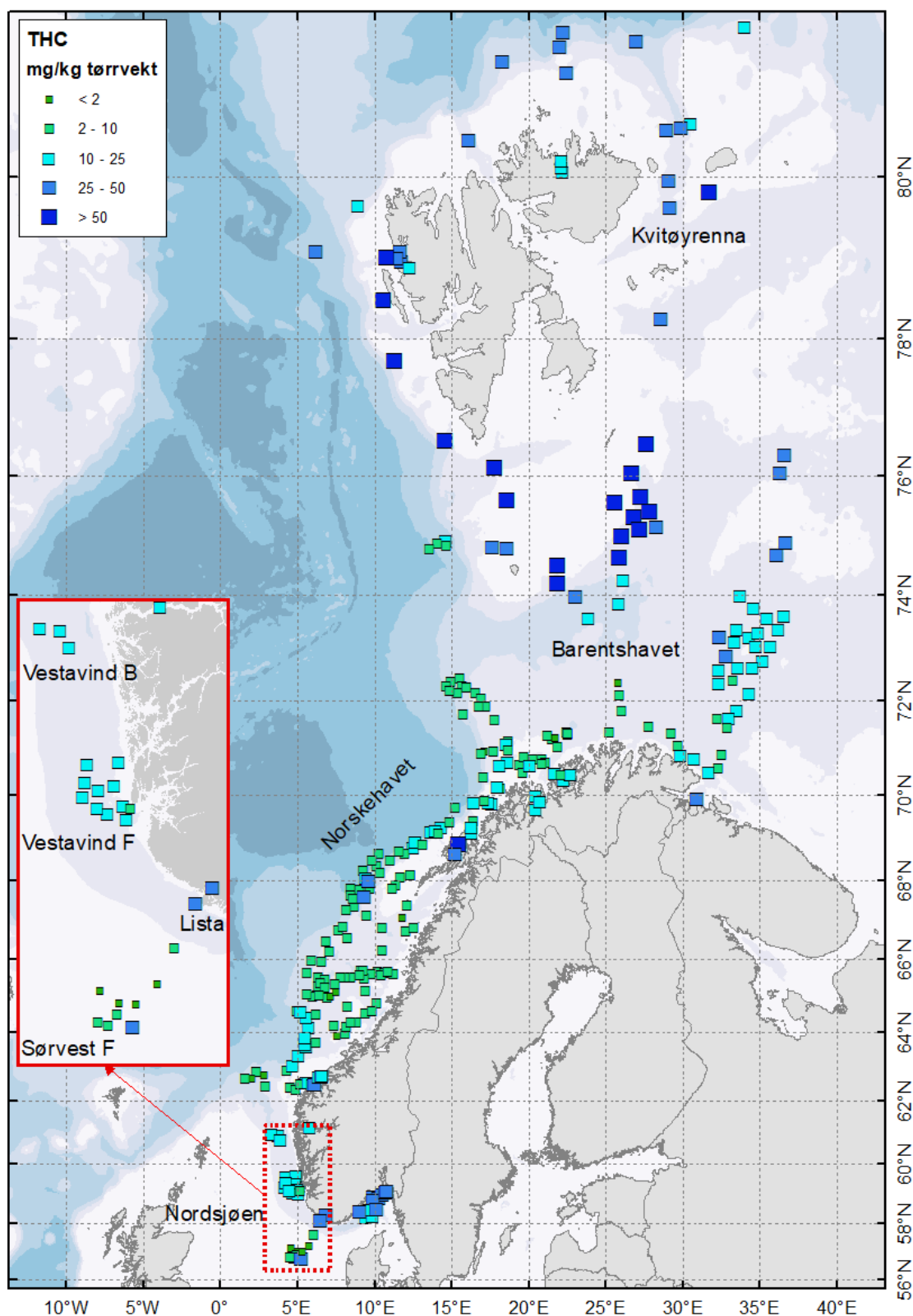
Figur 7. Summerte nivåer av 49 PAH i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.



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



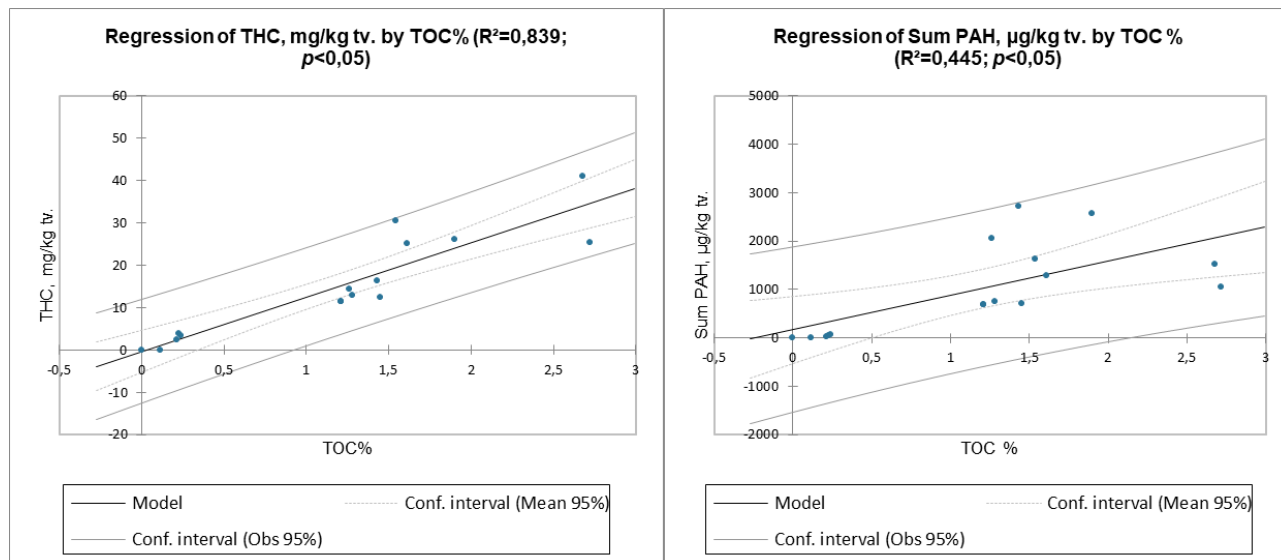
Figur 9 . PAH16-nivåer i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.



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

De aggregerte hydrokarbon-parameterne, totalt hydrokarbon innhold (THC) og summerte PAH-nivåer (Sum PAH), for begge de to områdene viser en signifikant lineær korrelasjon med totalt organisk karbon innhold

(TOC%), som vist på figur 11 under. Det er ingen uteliggere i korrelasjonene, og selv om korrelasjon mellom THC og TOC% er mye sterkere enn mellom Sum PAH og TOC% (hhv. $R^2=0.84$ og $R^2=0.45$), kan man konkludere at nivåene betinges i stor grad av tilførsler av organisk karbon til sedimentene.



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

Som forklart i 2.2.1, har TOC-innholdet i sedimenter ofte sammenheng med sedimentenes kornstørrelse, dvs. andel finkornet fraksjon. Sedimentene studert i 2024 har en tydelig forskjell i sammensetningen mellom områdene. Området Sørvest F i sentrale deler av Nordsjøen ligger meget grunt (57 – 67 m havdyp, se tabell 7) og har de groveste sedimentene med lavest innhold av organisk materiale, <10% finkornet sediment og <0,25% TOC ved alle stasjoner unntatt R3425 MC23, som skiller seg kraftig ut med 74% finkornete sedimenter og 2,7% TOC. Andre områder i åpent hav i Nordsjøen prøvetatt i 2024 (Vestavind B, Vestavind F, Lista) ligger på større dyp i Norskerenna (226-368 m havdyp) og har mye høyere andel finkornet sediment (76% – 96%) og TOC-innhold (1,2% – 1,9%). Også den ene fjordstasjonen i Fedafjorden hører til her med 57% finkornet sediment og 2,7% TOC. De to stasjonene i Kvitøyrenna i Barentshavet har ganske lik sedimentsammensetning med høyt innhold finkornet sediment, 98%, og relativt høyt TOC-innhold, 1,5% – 1,6%.

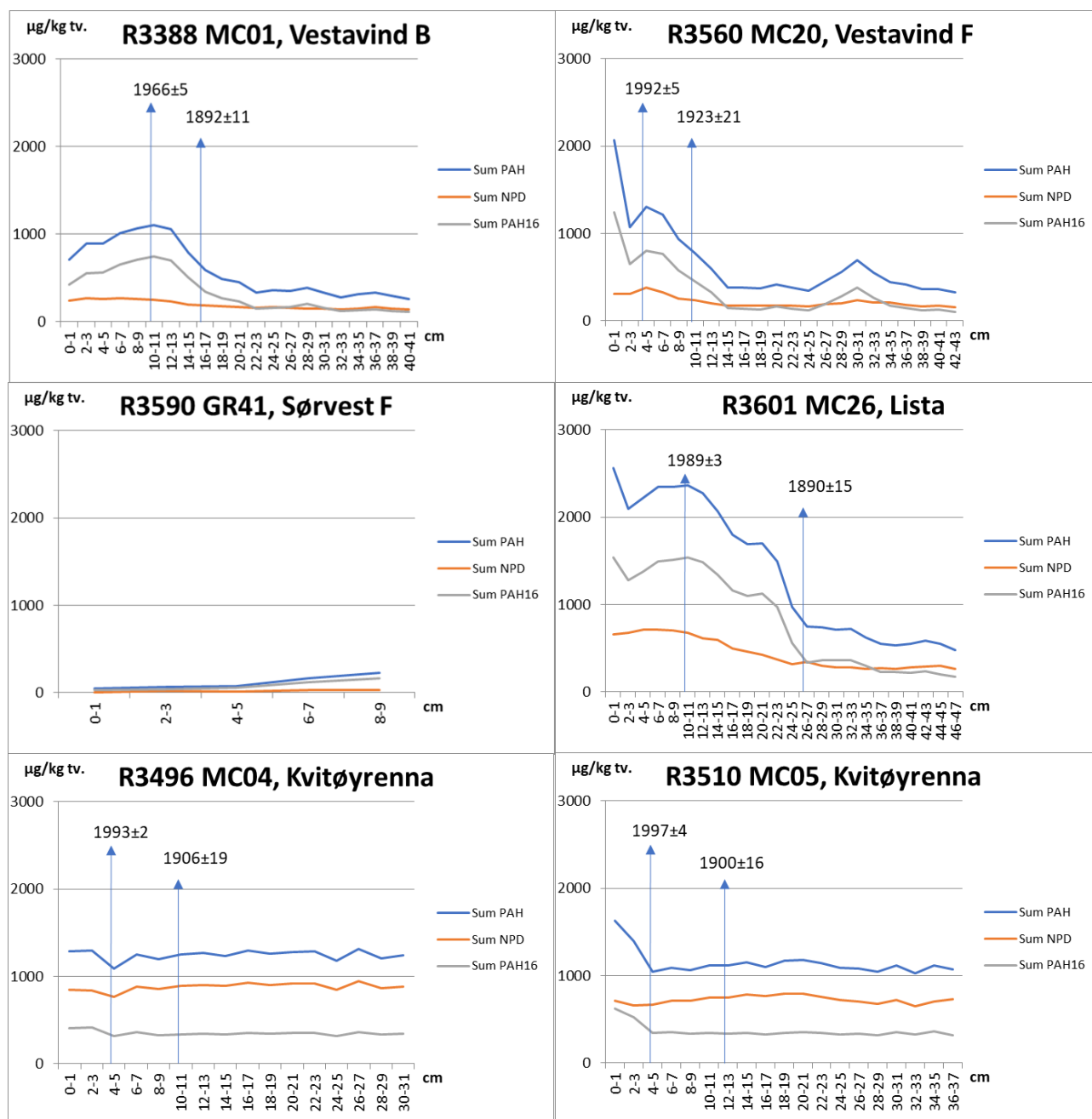
Dette forklarer i stor grad nivåer av hydrokarboner funnet i disse prøvene. De laveste nivåene er funnet i område Sørvest F, der de aller fleste PAH-forbindelsene ligger under kvantifiseringsgrensen på 0,5 µg/kg tørrvekt ved fem av stasjonene, med både PAH16 og benzo[a]pyren i tilstandsklasse I («bakgrunn»), og summerte PAH nivåer er under 100 µg/kg tørrvekt (figur 7). Den ene stasjonen med finkornete sedimenter i dette området, R3425 MC23, har betydelig høyere PAH-nivåer, på 1060 µg/kg tørrvekt for summerte nivåer, som tilsvarer tilstandsklasse II («God tilstand») for PAH16 og benzo[a]pyren. NPD-nivåer (figur 8) utgjør ca. halvparten av PAH16-nivåer ved denne stasjonen (hhv. 311 og 660 µg/kg tørrvekt), som kan tyde på stort sett tilførsler av pyrogene PAH. I områdene Vestavind B, Vestavind F og Lista i Norskerenna og i Fedafjorden er nivåene i gjennomsnitt høyere og ligger på mellom 678 og 2723 µg/kg tørrvekt for summen av PAH (figur 7). PAH16 ligger her på mellom ca. 406 og 1631 µg/kg tørrvekt (figur 9), betydelig høyere enn NPD som varierer i disse områdene mellom 191 og 663 µg/kg tørrvekt (figur 8). Dette kan tyde på en del menneskelig påvirkning med pyrogene PAH ved disse stasjonene som ligger relativt kystnært og utsettes for bl.a. en god del trafikk.

Nivåer av både PAH16 og benzo[*a*]pyren ligger her i Miljødirektoratets tilstandsklasse II («God tilstand»). De aller høyeste nivåer av hydrokarboner funnet i 2024 er funnet i Norskerenna ved de tre lokalitetene i Vestavind F og Lista, alle over 2000 µg/kg tørrvekt for summen av PAH. Dette er de sørligste og de mest kystnære lokasjoner studert i 2024 utenom Fedafjorden, hvor nivåene ligger noe lavere. I Kvitøryenna er hydrokarbonnivåene også i samsvar med høy andel finkornet materiale og TOC-innhold, og ligger for summen av PAH på mellom 1292 og 1625 µg/kg tørrvekt. Her er det dog ikke PAH16 men NPD som dominerer i prøvene. Dette tyder på tilførsler av petrogene PAH, som var også funnet tidligere andre steder rundt Svalbard og i det nordvestlige Barentshav, og har med naturlige forekomster av olje og kull å gjøre (se f.eks. Boitsov & Sanden 2023). PAH16 og benzo[*a*]pyren ligger her i tilstandsklasse II.

THC (figur 10) ligger i likhet med PAH meget lavt i område Sørvest F (<5 mg/kg tørrvekt) unntatt stasjon R3425 MC23 hvor den kommer på 25 mg/kg tørrvekt. Ellers varierer nivåene mellom 11 og 41 mg/kg tørrvekt i andre områdene i Nordsjøen, og mellom 25 og 30 mg/kg tørrvekt i Kvitøryenna. Dette er relativt lave nivåer, vanlige for åpent hav og er under effektgrensen på 50 mg/kg tv. alle steder. De høyeste nivåene er funnet i Fedafjorden (41 mg/kg tørrvekt), som kan ha med avrenning fra kysten å gjøre, og i Kvitøryenna (25 – 30 mg/kg tørrvekt), som har naturlige forekomster av olje og kull.

4.2 - PAH i sedimentkjerner

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



Figur 12 . Dybdeprofiler av Sum PAH, NPD og PAH16 i studerte sedimentkjerner. Dateringen er vist for utvalgte kjernesnitt i kjernene som ble datert.

De summerte PAH-nivåene vist med blå farge i figur 12 gjenspeiler bidrag fra forskjellige kilder. Ser man derimot på profilene til kildespesifikke PAH-indikatorer som PAH16 (grå farge i figur 12) eller NPD (oransje farge), kan man ofte forklare trender i dybdeprofilene. I tre av de seks analyserte sedimentkjernene er det observert en tydelig økning i PAH-nivåer i den øverste delen av sedimentkjernen (se profiler for R3388, R3560 og R3601 i figur 12). Økningen skjer uavhengig av mengde organisk materiale tilført sedimentene, siden den også er til stede når dybdeprofilene er korrigert for TOC (se plottene i Vedlegg 1). Økningen skyldes først og fremst økning i nivåer av PAH16, mens NPD-nivåer ligger lavt gjennom hele kjernen. Dette tyder på et vesentlig bidrag fra pyrogene PAH, gjenspeilet av PAH16, mens petrogene PAH, uttrykt her som NPD, viser stort sett bakgrunnsnivåer. En økning i pyrogene PAH i sedimenter fra ca. siste 100-150 år har vært funnet tidligere i

sedimentkjerner fra de fleste havområder og knyttes til menneskelig påvirkning gjennom kullfyring, trafikk, industri m.m. (for mer detaljert diskusjon av dette knyttet til tidligere Mareano-undersøkelser i Norskehavet og Barentshavet, se Boitsov mfl. 2020). En topp i nivåene rundt 1950-1960-tallet etterfulgt av en nedgang i senere tid, spesielt tydelig i kjerne fra stasjon R3388 (figur 12), har også vært observert i tidligere studier, og forklart av reduksjon i kullforbruket de siste tiårene. Når det gjelder kjerne R3590 fra område Sørvest F, viser PAH-dybdeprofiler i denne korte kjernen ekstremt lave nivåer uten tydelige trender. Dette er i tråd med lavt innhold finkornet materiale i dette området, se diskusjon i 4.1 over.

I sedimentkjernene fra Kvitøyrenna finner man helt andre trender enn i kjernene fra Nordsjøen (se dybdeprofiler for R3496 og R3510 i figur 12). De ligner på det som ble funnet tidligere i dette området, se for eksempel Boitsov & Sanden, 2023. Her domineres PAH-nivåene av NPD gjennom hele kjerner, mens PAH16 ligger mye lavere. Som forklart i seksjon 4.1, skyldes dette naturlige kilder for petrogene PAH i Barentshavet, og PAH-dybdeprofiler i sedimentkjerner bekrefter dette. NPD ligger stabilt høyt gjennom hele kjernen inkludert de dypeste sedimentlagene avsatt for flere hundre år tilbake, lenge før mulig menneskelig påvirkning. Selv om det er en antydning til noe økning i PAH16-nivåene i de øverste sedimentlagene i kjernen fra den sørligste av de to lokalitetene, R3510, er denne økningen fortsatt under det naturlig høye nivået av NPD i denne kjernen.

4.3 - Nivåer av PBDE i overflatesedimenter

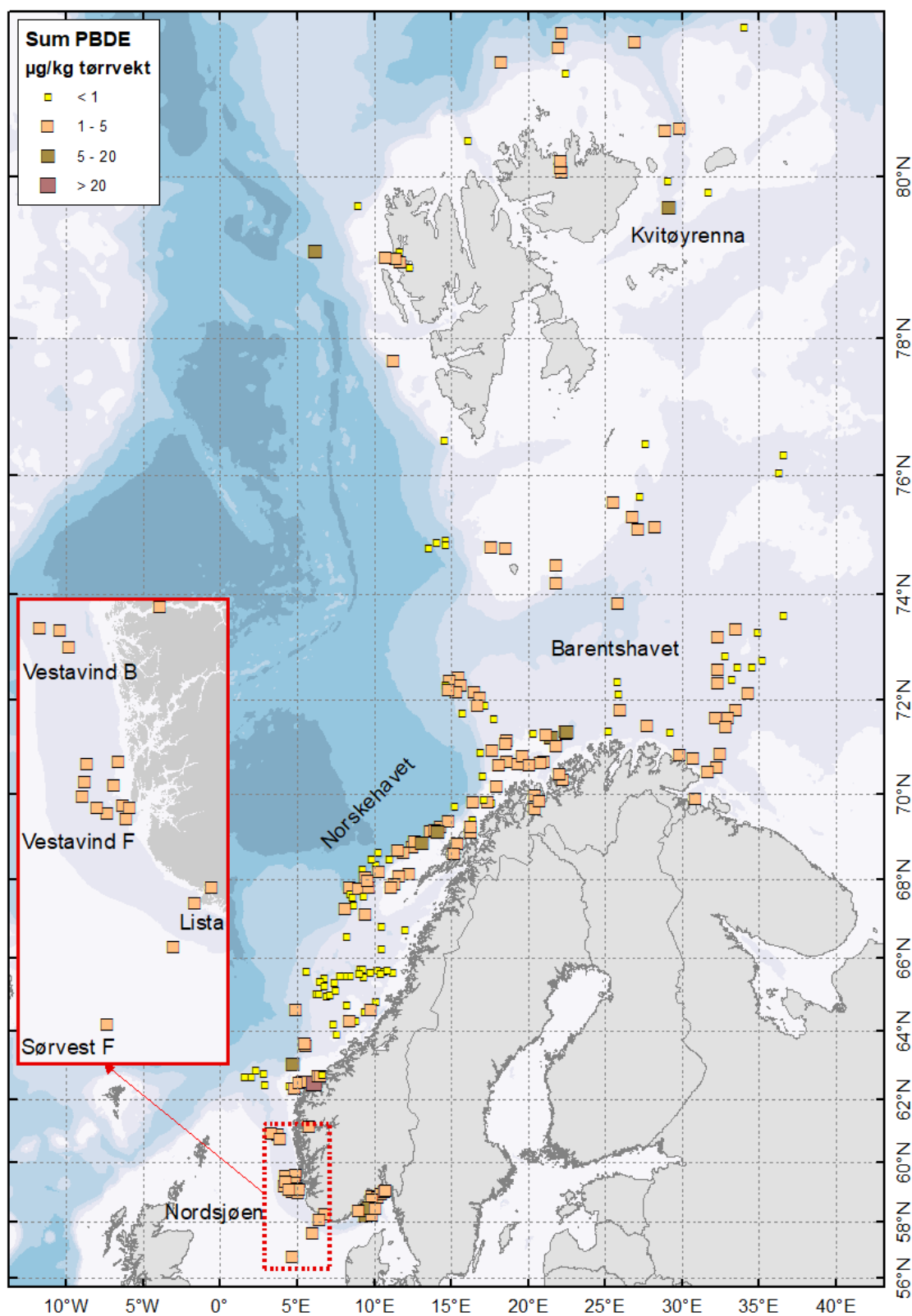
PBDE ble i 2024 undersøkt i overflatesedimenter fra 10 lokaliteter. Oppsummering av PBDE-nivåene funnet i disse prøvene er gitt i tabell 9 og vist på kart i figur 13 sammen med resultater fra tidligere år, mens alle resultater for PBDE er gitt i MarChem-database på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

Tabell 9. Nivåer av PBDE i overflatesedimenter fra 10 lokaliteter undersøkt i 2024. 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
<i>Nordsjøen (Vestavind B, Vestavind F, Lista og Fedafjorden)</i>	7					
Min.		1,3	0,06	0,04	<0,03	1,0
Gjennomsnitt		2,3	0,18	0,06	0,14	1,6
Maks.		3,5	0,29	0,07	0,38	2,3
<i>Nordsjøen (Sørvest F)</i>	1					
R3590 GR41		1,2	<0,18	<0,03	<0,03	1,2
<i>Kvitøyrenna</i>	2					
R3496 MC04		0,94	0,24	0,12	0,12	<0,03
R3510 MC05		9,8	0,46	0,20	0,09	8,2

Nivåene av PBDE i de fleste prøvene ligger relativt lavt, under deteksjonsgrensen for flere kongenere. De summerte nivåene ligger i områdene Vestavind B, Vestavind F, Lista og Fedafjorden i Nordsjøen på 2,3 µg/kg tørrvekt i gjennomsnitt, som er i samsvar med det som ble funnet tidligere i disse og andre områder i Norskerenna (se for eksempel Boitsov mfl. 2024b). PBDE-sammensetningen i prøvene fra disse områdene domineres av den fullbromerte kongeneren BDE-209, som utgjør mellom 65% og 84% av summen av 19 PBDE. I område Sørvest F ble kun én stasjon, R3590 GR41, undersøkt for PBDE. Sedimenter ved denne lokaliteten har lav andel finkornet sediment og lavt innhold TOC. Den eneste PBDE-kongeneren som ligger over kvantifiseringsgrensen i denne prøven er BDE-209, som ligger på 1,2 µg/kg tørrvekt. I Kvitøyrenna er det funnet både de laveste og de høyeste PBDE-nivåene av alle prøver som ble undersøkt i 2024. Mens resultatene fra

den nordligste lokaliteten, R3496 MC04, viser svært lave nivåer på 0,94 µg/kg tørrvekt for summen av 19 PBDE, og er under kvantifiseringsgrensen for BDE-209, ligger nivåene ved lokalitet R3510 MC05 på 9,8 µg/kg tørrvekt for summen av 19 PBDE. BDE-209 utgjør her 83% av den totale PBDE-sammensetningen og ligger på 8,2µg/kg tørrvekt. Dette er noe høyere enn det som var tidligere funnet i områdene rundt Svalbard (se for eksempel Boitsov & Sanden 2020), men er fortsatt mye lavere enn i et område med kjent lokal tilførsel av PBDE-forurensning i nærheten av Ålesund, der over 30 µg/kg tørrvekt BDE-209 ble funnet i sedimentene (Boitsov mfl. 2013). Summen av 6 PBDE ligger meget lavt i alle områdene, og tilsvarer i alle prøver Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand». Det er ikke etablert tilstandsklasse I («Bakgrunn») for menneskeskapte miljøgifter som PBDE.



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

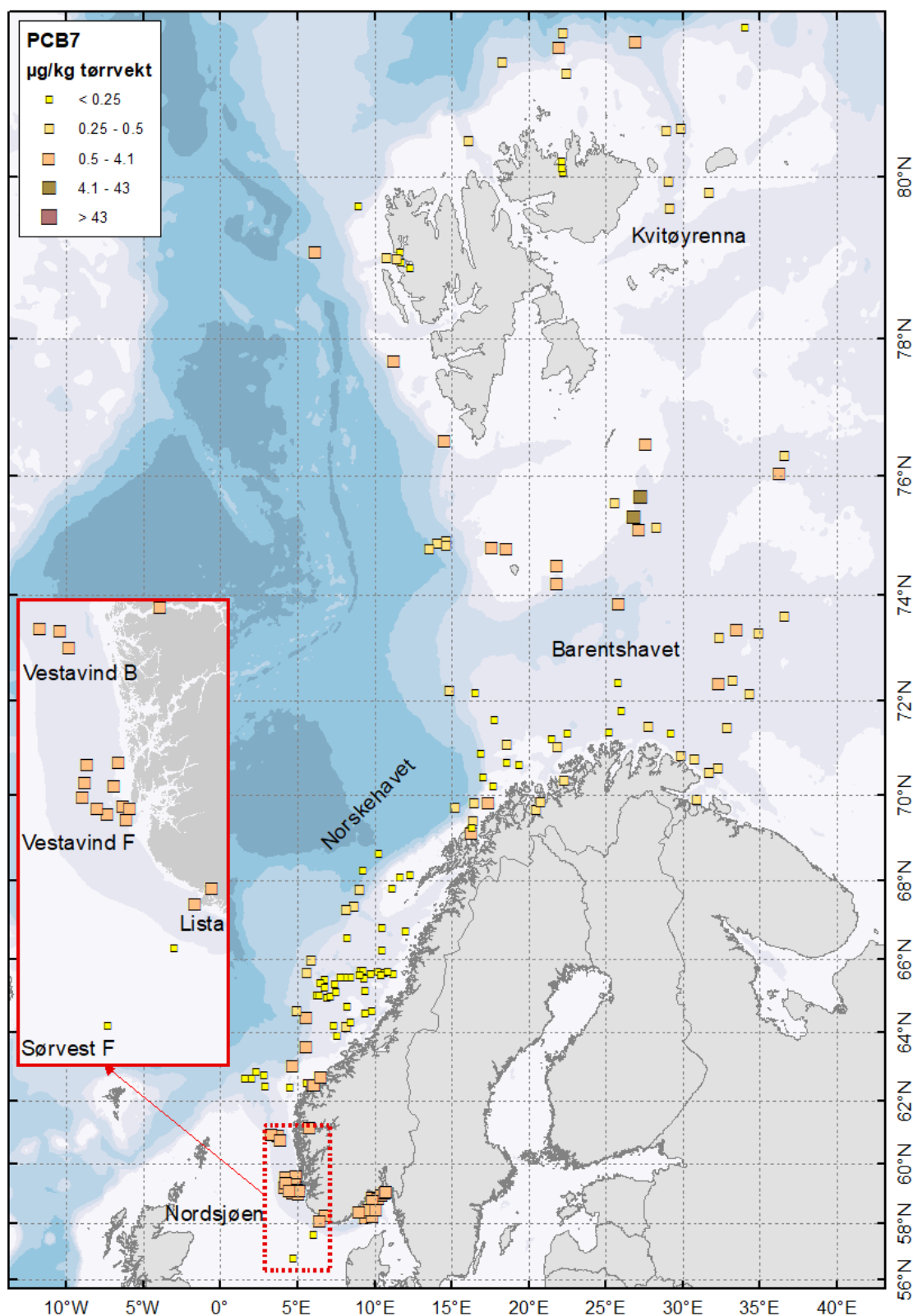
4.4 - Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter

PCB og OCP ble i 2024 undersøkt i overflatesedimenter fra 10 lokaliteter. Oppsummering av PBDE-nivåene funnet i disse prøvene er gitt i tabell 10 og vist for tre av stoffgruppene på kart i figurene 14 – 16 sammen med resultater fra tidligere år. Alle resultater for PCB og OCP i overflatesedimenter er gitt i MarChem-database på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

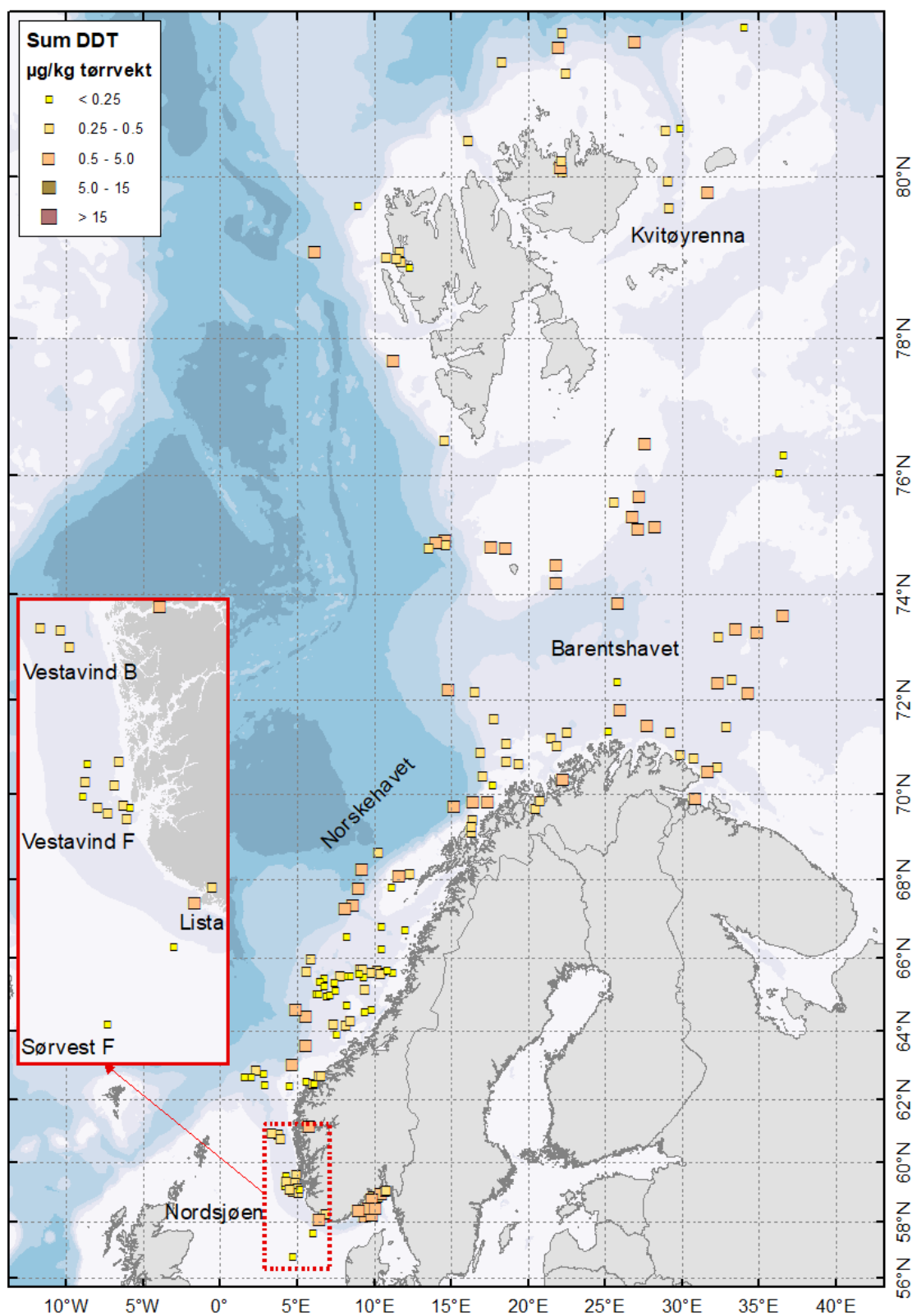
Tabell 10. Nivåer av PCB og OCP i overflatesedimenter fra 10 lokaliteter undersøkt i 2024. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 4 (grønn farge: tilstandsklasse II, «God tilstand»).

Nivå µg/kg tv.	n	PCB7	ΣDDT	γ-HCH (lindan)	ΣHCH	HCB	TNC
<i>Nordsjøen (Vestavind B, Vestavind F, Lista og Fedafjorden)</i>	7						
Min.		0,53	0,27	<0,02	<0,06	0,09	<0,02
Gjennomsnitt		1,0	0,38	0,01	0,01	0,22	<0,02
Maks.		1,9	0,56	0,04	0,04	0,38	<0,02
<i>Nordsjøen (Sørvest F)</i>	1						
R3590 GR41		<0,14	<0,06	<0,02	<0,06	<0,02	<0,02
<i>Kvitøyrenna</i>	2						
R3496 MC04		0,29	0,25	0,03	0,06	0,45	0,02
R3510 MC05		0,30	0,38	<0,02	<0,06	0,67	0,04

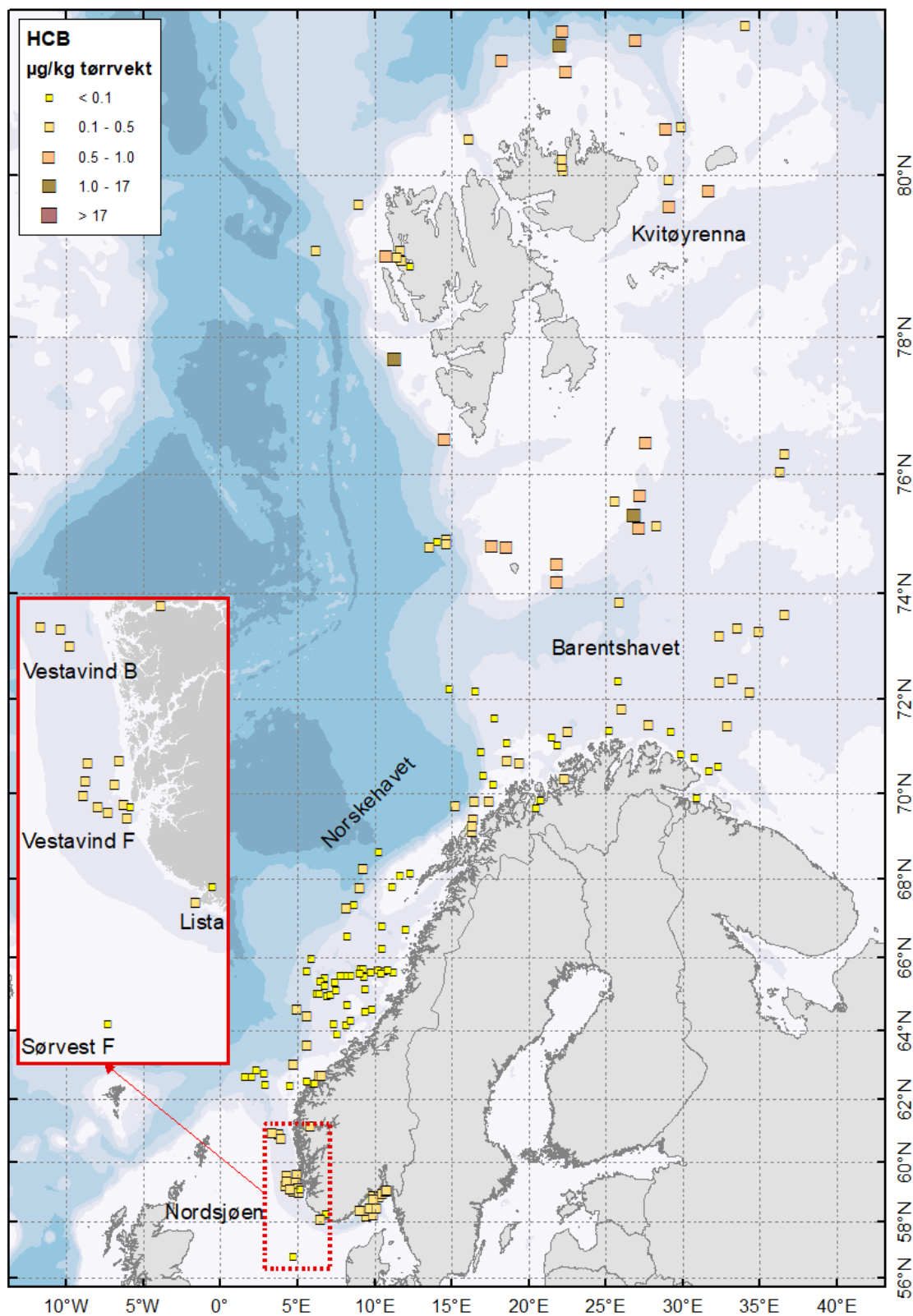
Nivåene av PCB og OCP i prøvene fra 2024 ligger lavt eller veldig lavt i alle prøver, og tilsvarer utelykkende tilstandsklasse II («God tilstand») for de stoffene som tilstandsklassene er etablert for (se tabell 10). Nivåene målt til over LOQ varierer noe i tråd med sedimentkarakteristikk, med de høyeste nivåene funnet i finkornete sedimenter, enten i Norskerenna eller i Kvitøyrenna, og de laveste nivåene funnet i de groveste sedimentene i område Sørvest F i Nordsjøen, hvor alle stoffer er målt til under LOQ. Stoffgruppen som er funnet i største mengder er PCB7 (figur 14), som ligger noe høyere i Lista og Fedafjorden enn i andre områder. Dette gjenspeiler den relativt sterkere belastning av havmiljøet i kystnære områder i Sør-Norge.



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



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



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

4.5 - Nivåer av nye organiske miljøgifter i overflatesedimenter

Det er seks stoffgrupper av nye miljøgifter som presenteres her: per- og polyfluorerte alkylerte stoffer (PFAS, inkludert stoffene perfluoroktansulfonat (PFOS) og perfluoroktanoat (PFOA)); alkylfenoler og lignende stoffer (inkludert 4-nonylfenol (4NP) og bisfenol A (BPA)); dekloraner (inkludert dekloran pluss (DP)); fosfororganiske flammehemmere (PFR); klorparafiner; og siloksaner. Nye miljøgifter ble analysert i prøver av overflatesediment fra fire lokaliteter etter vanlig Mareano-program (fem lokaliteter for PFAS). Prøvene var fra områdene Vestavind B, Vestavind F og Lista i Nordsjøen og Kvitøyrenna i Barentshavet, og for PFAS også fra Fedafjorden. I tillegg til dette, ble det utført ekstra analyser av alkylfenoler og BPA i overflateprøver fra åtte lokaliteter i områdene Vestavind B og Sørvest F i Nordsjøen etter bestillingen for Mareano-havvind (NVE oppdrag), siden bisfenol A finnes bl.a. i enkelte plasttyper brukt i turbinblader i havvindinstallasjoner (Kabakci & Senlik 2025). Ved fem av disse lokalitetene ble også sedimentkjerner analysert for de samme stoffene. Oppsummering av resultatene for utvalgte stoffgrupper er gitt i tabell 11. Resultater for PFAS og 4NP er også vist på kart i figurene 17 - 18. Alle resultater er gitt i MarChem-database på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

Tabell 11. Nivåer av PFAS, alkylfenoler, BPA, DP og MCCP i overflatesedimenter undersøkt i 2023, 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	PFOS	PFOA	Sum 7 PFAS ^a	4tOP	4NP	BPA ^b	DP	PFR ^c	MCCP ^d
<i>Nordsjøen (Vestavind B, Vestavind F, Lista og Fedafjorden)</i>									
<i>n</i>	4	4	4	5	5	5	3	3	2
Min.	0,11	0,03	0,29	<0,10	0,26	<1,5	0,27	<0,9	<5,3
Gjennomsnitt	0,23	0,24	1,0	<0,10	0,36	<1,5	0,43	<0,9	<5,3
Maks.	0,32	0,45	1,8	<0,10	0,51	<1,5	0,66	1,1	5,9
<i>Nordsjøen (Sørvest F)</i>									
<i>n</i>	0	0	0	6	6	6	0	0	0
Min.	-	-	-	<0,10	<0,25	<1,5	-	-	-
Gjennomsnitt	-	-	-	<0,10	2,9	<1,5	-	-	-
Maks.	-	-	-	<0,10	17	<1,5	-	-	-
<i>Kvitøyrenna</i>									
<i>n</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R3496 BC08	0,71	0,70	2,8	<0,10	0,96	<1,5	<0,02	<0,9	<5,3

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

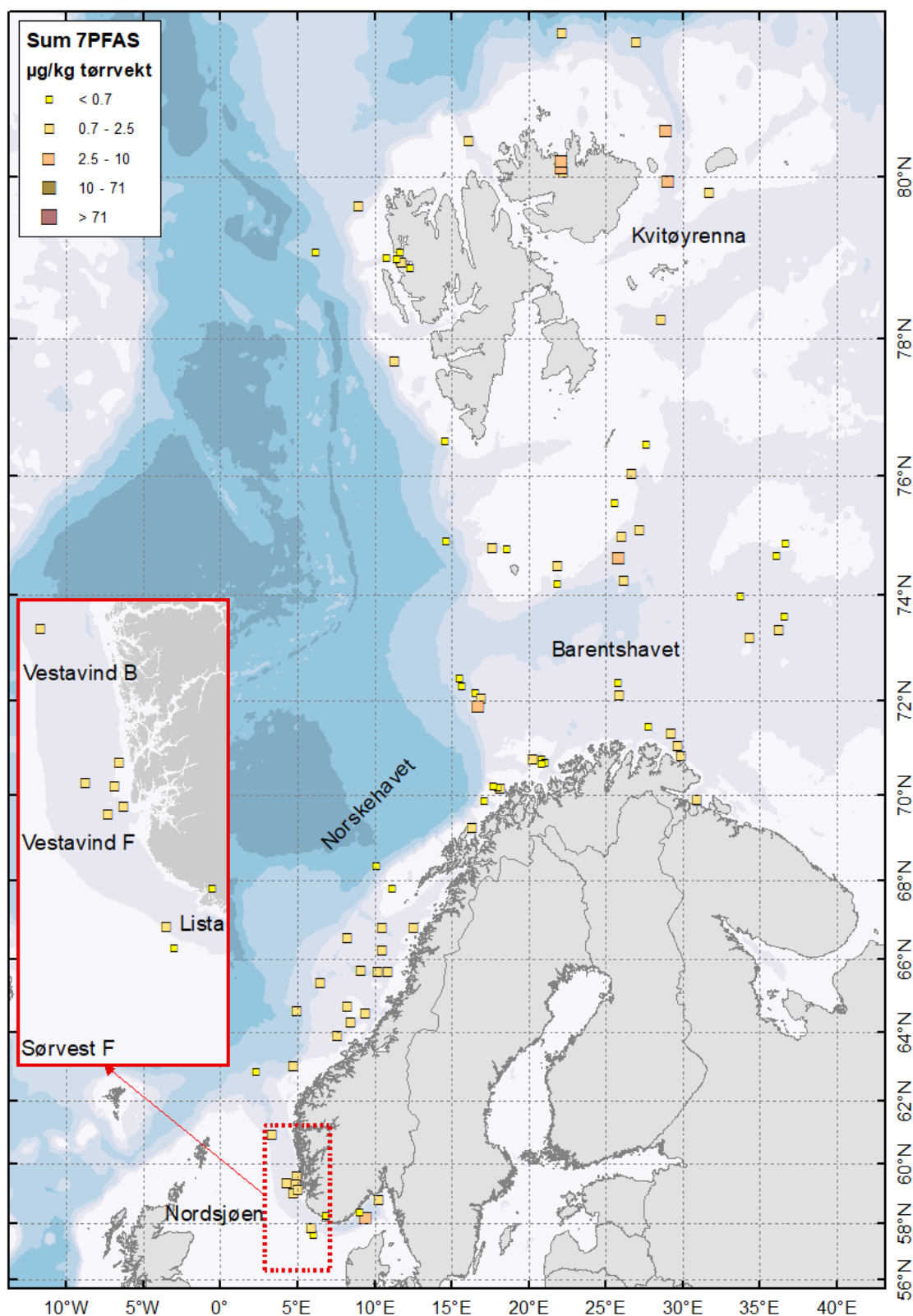
b – Siden LOQ for BPA, 1,5 µg/kg tv., er høyere enn øvre grensen for Miljødirektoratets tilstandsklasse II, 1,1 µg/kg tv., er det ikke mulig å klassifisere nivåene under LOQ for BPA.

c – Summen av TXP og TCIPP, som er funnet over LOQ i Nordsjøen. For forklaringen av forkortelsene, se tabell 6.

d – MCCP ble ikke bestemt i prøve R3393 BX01 fra Vestavind B.

4.5.1 - Nivåer av PFAS i overflatesedimenter

Kun ni PFAS-forbindelser ble funnet over LOQ i minst en prøve i 2024. Syv av disse stoffene ble tidligere ofte funnet over LOQ under Mareano (se for eksempel Boitsov & Klungsøyr 2018), og rapporteres som «7 PFAS» (listet i fotnote a i tabell 11). De laveste nivåene er funnet i Fedafjorden, med kun 0,29 µg/kg tørrvekt for 7PFAS, mens nivåene i de tre områdene i Norskerenna undersøkt i 2024 ligger også relativt lavt og varierer mellom 0,93 og 1,8 µg/kg tørrvekt, se figur 17 under. Noe høyere nivå funnet i Kvitøyrenna, 2,8 µg/kg tørrvekt ved stasjon R3496 BC08, er i tråd med det som tidligere ble funnet i dette området (Boitsov & Sanden, 2023). Alle resultater for PFAS i 2024 viser god sammenheng med sedimentsammensetningen, med andel finkornet sediment lavest i Fedafjorden (57%) og høyest i Kvitøyrenna (98%), og ellers samsvarer med «bakgrunnsnivåer» funnet i åpent hav flere andre steder tidligere under Mareano (Boitsov mfl. 2024a). De tre prøvene med høyest andel finkornet sediment, fra Kvitøyrenna, Vestavind B og Vestavind F, ligger i Miljødirektoratets klasse III («Moderat») for PFOS, mens resterende prøver er i klasse II («God tilstand»). For PFOA ligger alle prøvene i tilstandsklasse II. Det er ikke etablert tilstandsklasse I («Bakgrunn») for disse menneskeskapte miljøgiftene.



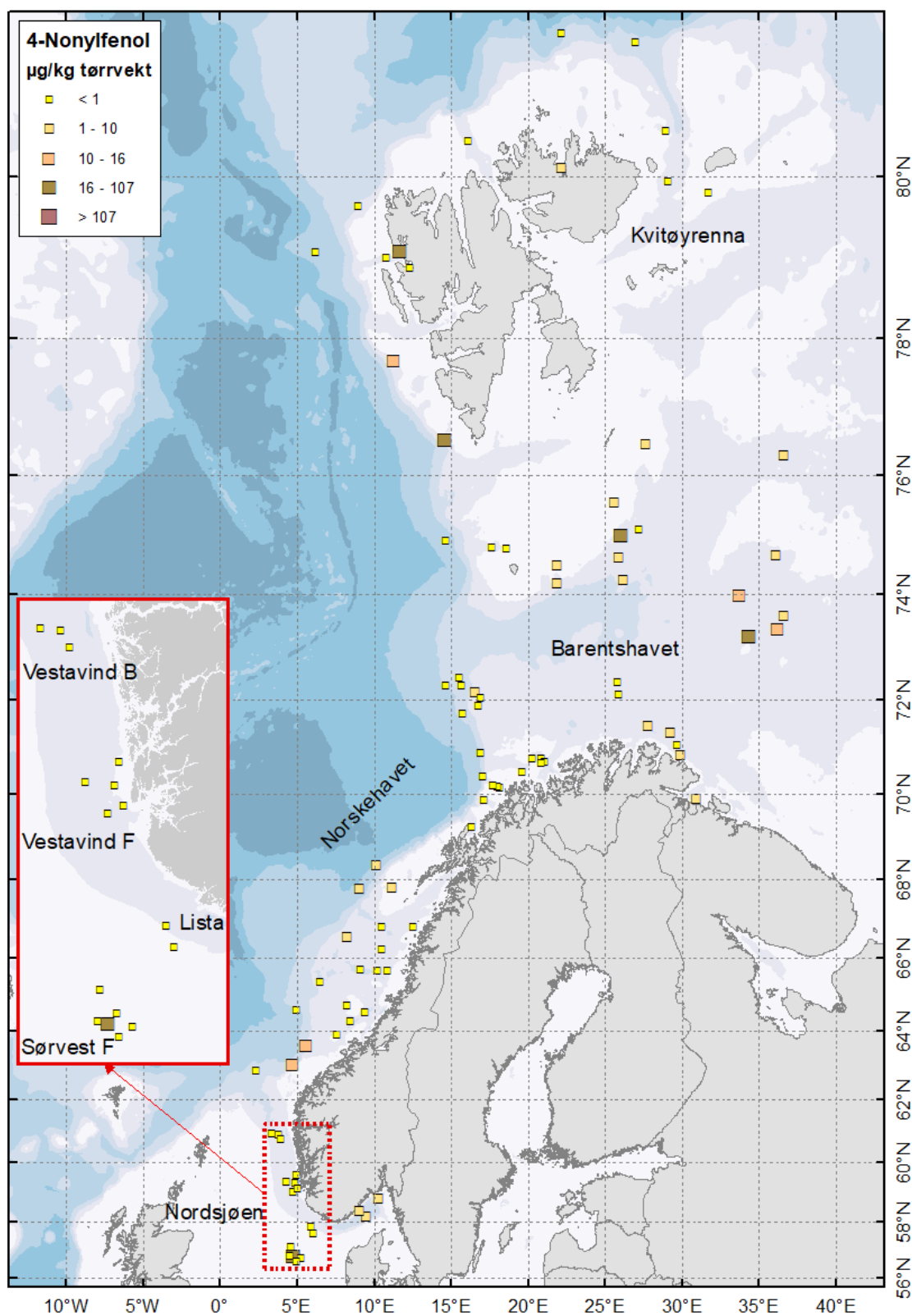
Figur 17. Summerte nivåer av syv PFAS-forbindelser i overflatesedimenter (0–1 cm). Stasjonsnumrene for prøvetakingslokalitetene omtalt i denne rapporten er vist på kart i figur 2.

4.5.2 - Nivåer av alkylfenoler og bisfenol A i overflatesedimenter og sedimentkjerner

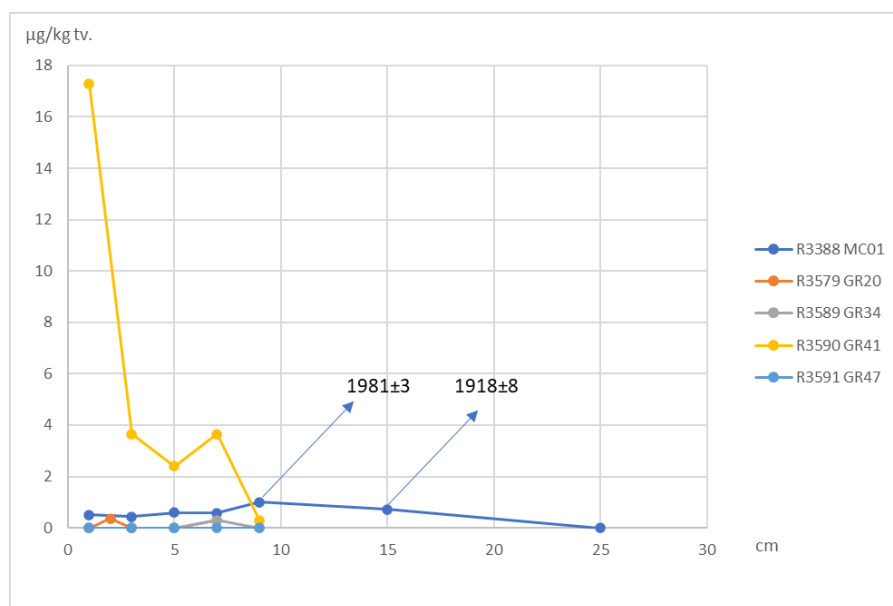
Det er funnet for det meste meget lave nivåer av alkylfenoler i prøver innsamlet i 2024. Alle resultater er under

LOQ for 4NP, alkylfenoletoksyler og BPA i alle prøver. For 4NP varierer nivåene mellom områdene noe, og ligger i gjennomsnitt på 0,36 µg/kg tørrvekt for fem lokaliteter i områdene Vestavind B, Vestavind F og Lista (se tabell 11 og figur 18). Dette er meget lave nivåer i tråd med tidligere funn gjort under Mareano i nærliggende områder (Boitsov mfl. 2024b). Også i Kvitøyrenna ligger nivåene lavt ved den ene lokaliteten som ble studert for alkylfenoler, 0,96 µg/kg tørrvekt, i likhet med tidligere kartlegging av området (Boitsov & Sanden 2023). I området Sørvest F ble alkylfenoler studert ved seks lokaliteter, og ved fem av disse ligger nivåene under LOQ for alle stoffer inkludert 4NP. Dette er i samsvar med meget grove sedimenter i dette området (andel finkornet sediment mellom 2% og 7% i overflateprøver). Ved én lokalitet i dette området, R3590 GR41, er det funnet høyere nivå 4NP, som ligger på 17 µg/kg tørrvekt i overflatesediment. Andel finkornet sediment ved denne lokaliteten er lav, 8%, og nivåene tyder på forurensning med 4NP. Det har vært funnet lignende nivåer av 4NP i Mareano ved noen få anledninger tidligere (Boitsov & Klungsøyr 2018). Forurensningen er ikke sterk, og kommer rett over grensen til Miljødirektoratets klasse III («Moderat forurensset», 16 – 107 µg/kg tørrvekt). Alle andre prøver ligger i Miljødirektoratets klasse II («God tilstand»).

Sedimentkjerner var analysert for alkylfenoler ved fem lokaliteter, inkludert R3388 MC1 i område Vestavind B og fire lokaliteter i område Sørvest F (se detaljer for analyseprogram i tabell 7). Dybdeprofiler for 4NP i de fem sedimentkjernene er vist i figur 19. To av kjernene, R3388 MC1 fra Vestavind B og R3589 GR34 fra Sørvest F, ble datert med ²¹⁰Pb, men resultater av datering for kjerne R3589 GR34 ble vurdert som kun indikative pga. enten veldig lav sedimentasjonsrate eller sterk sedimentblanding på stedet. Resultater av datering for kjerne R3388 MC1 er vist i figur 19 for utvalgte snitt.



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



Figur 19 . Nivåer av 4-nonylfenol (4NP) i fem sedimentkjerner fra områdene Vestavind B og Sørvest F. Resultater av radiodatering er vist for kjerne R3388 MC01 for utvalgte snitt.

Det er kun meget lave nivåer, for det meste under LOQ, som er funnet i tre av de fire kjernene fra området Sørvest F, i tråd med resultatene for overflatesediment diskutert ovenfor. Årsaken til dette er at kjernene bestod for det meste av grove partikler som sand, med andelen finkornet sediment under 15% i alle prøver. Dette omfatter den daterte kjernen fra stasjon R3589 GR34, hvor det dypeste av de analyserte sedimentsnittene (8-9 cm) ble indikativt datert til året 2002±4. Den fjerde kjernen fra dette området, R3590 GR41, hadde relativt høye nivåer i overflatelaget (se over) men lavere nivåer i dypere sedimentlag i kjernen, se den gule profilen i figur 19. Nivåene går nesten helt til null i det dypeste snittet (8-9 cm), og er i dette snittet på nivå med resultater i andre sedimentkjerner hvor det ikke er påvist forurensning med 4NP. Kjerneprøver mellom det dypeste snittet og overflatesnittet i denne kjernen viser nivåer på mellom ca. 2,0 og 4,0 µg/kg tørrvekt 4-NP, som tyder på en gradvis økning mot overflaten, og bekrefter 4NP-forurensning i denne kjernen. Dybdeprofilen for sedimentkjerner fra området Vestavind B, R3388 MC01, vist med mørkeblå farge i figur 19, viser relativt lave nivåer 4NP som likevel er over LOQ i alle sedimentlagene unntatt det dypeste (24-25 cm). Dette er i tråd med høy andel finkornet sediment i denne kjernen, 96-98% i de analyserte lagene. Profilen viser økende nivåer 4NP fra bunnen opp til sedimentsnittet 8-9 cm i kjernen, som ble datert til året 1981±3, og en svak nedgang mot overflaten etter det. De høyeste nivåene 4NP funnet i prøve fra 8-9 cm ligger på 1,0 µg/kg tørrvekt. Dette kan tyde på en nedadgående trend i tilførsler fra menneskelige aktiviteter i området de siste tiårene.

Resultatene diskutert her viser at det ikke er avdekket noe BPA-forurensning i sedimenter fra områdene planlagt for havvind-utbygging per dags dato. Når det gjelder 4-NP, som også brukes som plasttilsetning, er det funnet svake bakgrunnsnivåer i finkornete sedimenter fra område Vestavind B, med en mulig nedgang i nivåene i ca. de siste 40 år, og moderat forurensning begrenset til én lokalitet i område Sørvest F med ellers ingen funn av forurensning i grove sedimenter der. Alt dette kan være viktig baselinje-informasjon for fremtidig overvåkning etter oppstart av energiproduksjon på havvindanlegg.

4.5.3 - Nivåer av dekloraner i overflatesedimenter

Det er funnet lave nivåer av dekloraner i Nordsjøen, med snittnivået på 0,43 µg/kg tørrvekt for DP ved de tre lokalitetene i Vestavind B, Vestavind F og Lista i Norskerenna (tabell 11). Dette er i tråd med det som tidligere

ble funnet i områdene rundt, og er noe lavere enn enkelte resultater fra Skagerrak (Boitsov mfl. 2024b). I Kvitøyrenna ligger alle dekloraner under LOQ ved den ene lokaliteten hvor de ble målt. Det er DP *anti* som er den dominerende forbindelsen av dekloran-type i alle 2024-prøver.

4.5.4 - Nivåer av klorparaffiner i overflatesedimenter

Klorparaffiner ble funnet i meget lave nivåer ved de fire lokalitetene som ble analysert for nye miljøgifter. Kun LCCP ble rapportert for prøve fra R3393 BC01 fra område Vestavind B på grunn av mislykket analyse av SCCP og MCCP. SCCP og LCCP var under LOQ ved alle lokaliteter der de ble rapportert. MCCP ble funnet i et lavt nivå over LOQ, 5,9 µg/kg tørrvekt, ved kun én lokalitet, R3560 BC447 i område Vestavind F. Dette tilsvarer Miljødirektoratets tilstandsklasse II («God tilstand») for MCCP.

4.5.5 - Nivåer av PFR i overflatesedimenter

Det ble ikke funnet fosfororganiske flammehemmere (PFR) over LOQ i den ene prøven fra Kvitøyrenna som ble analysert for nye miljøgifter. I Nordsjøen ble det funnet lave nivåer av kun to PFR-stoffer over LOQ, TCIPP og TXP, ved én lokalitet R3600 BC452 i Lista-område (se tabell 6 for fullstendige stoffnavn). Nivåene var på 1,1 µg/kg tørrvekt for summen av de to stoffene.

4.5.6 - Nivåer av siloksaner i overflatesedimenter

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

Nivåer av siloksanene D4, D5 og D6 var under LOQ i samtlige prøver tatt i 2024. LOQ-verdiene ble satt relativt høyt ved årets analyser, på 2,7 µg/kg tv. for enkelstoffene. Det ble kun funnet meget lave nivåer av siloksaner i få prøver under Mareano i tidligere år.

5 - Planlagt arbeid

Prøvetaking i nye deler av Mareano-området blir videreført. Det er samlet inn sedimentkjerner på nye lokaliteter i Nordsjøen og på dyphavet på den nordatlantiske midthavsryggen i Norskehavet på to tokt i 2025. Prøvene vil bli analysert for hydrokarboner (PAH, THC), og for PBDE, PCB, klorerte pesticider og nye miljøgifter i løpet av 2025. Mikroplast skal også analyseres i et utvalg av sedimentkjernene. Analyseresultatene er planlagt for rapportering av HI i desember 2026.

6 - Konklusjoner

6.1 - Hydrokarboner

- Nivåer av PAH i overflatesedimenter er godt korrelert med sedimentkarakteristikk (kornstørrelse, TOC-innhold) og ligger meget lavt i grove sedimenter fra område Sørvest F i sentrale Nordsjøen, og noe høyere i finkornete sedimenter fra områdene Vestavind B, Vestavind F, Lista i Norskerenna samt i Fedafjorden, og i Kvitøyrenna i Barentshavet. Nivåene av PAH16 ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse I («Bakgrunn») ved alle lokasjoner unntatt én lokasjon i område Sørvest F, og ellers i klasse II («God tilstand») overalt.
- I sedimentkjerner fra områdene Vestavind B, Vestavind F og Lista i Nordsjøen er det funnet en klar trend med forhøyet nivå av PAH16 i moderne sedimentlag fra siste ca. 100-150 år. Dette tolkes som tilførsler av pyrogene PAH knyttet til menneskelig påvirkning. Sedimentkjernen fra område Sørvest F viser ingen trend og gjennomgående lave nivåer. I Kvitøyrenna finner man stabilt høye nivåer av petrogene PAH (NPD) i alle sedimentlag, som forklares av naturlige kilder for petrogene hydrokarboner i dette området.

6.2 - Persistente organiske miljøgifter – havvind

- Alkylfenoler og BPA finner man i overflatesedimenter under LOQ overalt, med unntaket av alkylfenolen 4NP, som finnes i lave bakgrunnsnivåer flere steder, og i et moderat forhøyet nivå (tilstandsklasse III) ved én lokasjon i område Sørvest F. Nivåene ligger ellers i tilstandsklasse II («God tilstand») overalt.
- I sedimentkjerner fra områdene planlagt for havvind-utbygging ligger alkylfenoler og BPA under LOQ, unntatt 4NP ved to lokaliteter. Ved én lokalitet i område Sørvest F med høyest nivå av 4NP i overflaten, er det en nedadgående trend i kjernen til under LOQ i bunnen av kjernen. En kerne fra område Vestavind B viser lave bakgrunnsnivåer 4NP med en topp datert til ca. 1980-tallet.
- Resultatene viser ingen forurensning med BPA, som er den viktigste miljøgiften i forhold til mulig forurensning fra rotorbladene på vindturbiner, og lite forurensning med andre stoffer i disse områdene. Denne baselinjeundersøkelsen danner dermed grunnlag for videre overvåkning av disse stoffene etter oppstart av produksjon av energi fra havvindanlegg.

6.3 - Andre persistente organiske miljøgifter

- Miljøgifter i denne gruppen er nesten utelukkende menneskeskapt, og i marint miljø stammer de i hovedsak fra menneskelig aktivitet. Det er derfor funnet gjennomgående lave nivåer av de fleste av disse miljøgiftene i sedimenter fra åpent hav, noe som forklares av langtransporterte tilførsler, og som vanligvis viser god korrelasjon med sedimentkarakteristikk. Man finner dermed gjerne de laveste nivåene i grove sedimenter fra område Sørvest F i Nordsjøen og de høyeste nivåene i finkornete sedimenter fra de andre områdene.
- Miljøgiftene PBDE, PCB og klorerte pesticider ligger alle i Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand», overalt.
- PFAS er funnet i lave nivåer overalt, i tråd med tidligere funn i Mareano, men kommer på sitt høyeste i tilstandsklasse III, «Moderat forurensning», for PFOS ved tre lokaliteter. Nivåene ligger ellers i tilstandsklasse II for PFOS, og er overalt i denne klassen for PFOA.
- Miljøgiftene PFR, dekloraner og klorerte parafiner finner man i meget lave nivåer overalt, tilsvarende tilstandsklasse II («God tilstand»). Nivåene ligger under kvantifiseringsgrensen eller rett over denne grensen

enkelte steder i Nordsjøen. Siloksaner ligger under kvantifiseringsgrensen overalt.

7 - Referanser

- Ali, A., Langberg, H.A., Hale, S.E., Kallenborn, R., Hartz, W.F., Mortensen, Å.K., Ciesielski, T.M., McDonough, C.A., Munro Jenssen, B., Breedveld, G.D. 2021. The fate of poly- and perfluoroalkyl substances in a marine food web influenced by land-based sources in the Norwegian Arctic. *Environmental Science Processes and Impacts* 23, 588-604.
- Bakke, T., Klungsøyr, J., Sanni, S. 2013. Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine Environmental Research* 92, 154-169.
- Barber, J., Sweetman, A.J., van Wijk, D., Jones, K.C. 2005. Hexachlorobenzene in the global environment: Emissions, levels, distribution, trends and processes. *Science of the Total Environment* 349, 1-44.
- Berger, M., Löffler, D., Ternes, T., Heininger, P., Ricking, M., Schwarzbauer, J. 2016. The effect of distribution processes on the isomeric composition of hexachlorocyclohexane in a contaminated riverine system. *International Journal of Environmental Science and Technology* 13, 995-1008.
- Boitsov, S., Klungsøyr, J., 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. 2013. Undersøkelser av organiske miljøgifter i sedimenter fra Mareano-området i 2012. Rapport fra Havforskningen 27-2013, 80 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>
- Boitsov, S., Klungsøyr, J. 2018. Undersøkelser av nye organiske miljøgifter i sedimenter fra Mareano-området. Rapport fra Havforskningen 37-2018, 27 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>
- Boitsov, S., Klungsøyr, J., Jensen, H.K.B. 2020. Background concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in deep core sediments from the Norwegian Sea and the Barents Sea: A proposed update of the OSPAR Commission background values for these sea areas. *Chemosphere* 251, 126344. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126344.
- Boitsov, S., Sanden, M. 2020. Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra Mareano-området i 2019. Rapport fra Havforskningen 2020-47, 51 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>
- Boitsov, S., Sanden, M. 2023. Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra Mareano-området i 2022. Rapport fra Havforskningen 2023-64, 54 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>
- Boitsov, S., Bruvold, A., Hanssen, L., Jensen, H.K.B., Ali, A. 2024a. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in surface sediments of the North-east Atlantic Ocean: A non-natural PFAS background. *Environmental Advances* 16, 100545. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100545>
- Boitsov, S., Ali, A., Sanden, M. 2024b. Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra Mareano-området i 2023. Rapport fra Havforskningen 2024-59, 52 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>
- Carlsson, P., Vrana, B., Sobotka, J., Borgå, K., Bohlin Nizzetto, P., Varpe, Ø. 2018. Investigation of new

brominated and organophosphorous flame retardants in Svalbard benthic marine food web; FlammePlank. NIVA rapport 7261-2018, 29 s.

Fenton, S.E., Ducatman, A., Boobis, A., DeWitt, J.C., Lau, C., Ng, C., Smith, J., Roberts, S.M. 2021. Per- and polyfluoroalkyl substance toxicity and human health review: Current state of knowledge and strategies for informing future research. *Environmental Toxicology and Chemistry* 40, 606-630.

Glüge, J., Schinkel, L., Hungerbühler, K., Cariou, R., Bogdal, C. 2018. Environmental risks of medium-chain chlorinated paraffins (MCCPs): A review. *Environmental Science and Technology* 52, 6743-6760.

Heldal, H.E., Varskog, P., Føyn, L. 2002. Distribution of selected anthropogenic radionuclides (^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{241}Am) in marine sediments with emphasis on the Spitsbergen-Bear Island area. *Science of the Total Environment* 293, 233–245.

Ho, Q.T., Bank, M.S., Azad, A.M., Nilsen, B.M., Frantzen, S., Boitsov, S., Maage, A., Kögel, T., Sanden, M., Frøyland, L., Hannisdal, R., Hove, H., Lundebye, A.K., Nøstbakken, O.J., Madsen, L. 2021. Co-occurrence of contaminants in marine fish from the North East Atlantic Ocean: Implications for human risk assessment. *Environment International* 157, 106858.

Jensen, H.K.B., Boitsov, S., Finne, T.E., Klungsøyr, J., Knies, J. 2009. Physical and chemical traces of anthropogenic influence at the seabed and in the sediments in Ingøydjupet, Southern Barents Sea. *Norwegian Journal of Geology* 89, 101-108.

Kabakci, S.B., Senlik, A. 2025. End-of-life wind turbine blades as a resource: A comparative study of pyrolysis and combustion. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 192, 107308. Doi: [10.1016/j.jaap.2025.107308](https://doi.org/10.1016/j.jaap.2025.107308)

Kelly, B.C., Ikonomidou, M.G., Blair, J.D., Surridge, B., Hoover, D., Grace, R., Gobas, F.A.P.C. 2009. Perfluoroalkyl contaminants in an Arctic marine food web: trophic magnification and wildlife exposure. *Environmental Science and Technology* 43, 4037-4043.

Klif. 2011. Organophosphorous flame retardants in Arctic biota. Klif rapport 1092/2011, TA2791-2011. 50 s. Tilgjengelig på <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2791/ta2791.pdf>

Longva, O., Thorsnes, T. 1997. Skagerrak in the Past and at the Present. An Integrated Study of Geology, Chemistry, Hydrography and Microfossil Ecology. NGU Special Publication No. 8, 98 s.

Marvin, C.H., Painter, S., Tomy, G.T., Stern, G.A., Braekevelt, E., Muir, D.C.G. 2003. Spatial and temporal trends in short-chain chlorinated paraffins in Lake Ontario sediments. *Environmental Science and Technology* 37, 4561-4568.

Meier, S., Klungsøyr, J., Boitsov, S., Eide, T., Svoldal, A. 2005. Gas chromatography–mass spectrometry analysis of alkylphenols in cod (*Gadus morhua*) tissues as pentafluorobenzoate derivatives. *Journal of Chromatography A* 1062, 255-268. Doi: [10.1016/j.chroma.2004.11.041](https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.11.041)

Meier, S., Karlsen, Ø., Le Goff, J., Sørensen, L., Sørhus, E., Pampanin, D.M., Donald, C.E., Fjellidal, P.G., Dunaevskaya, E., Romano, M., Caliani, I., Casini, S., Bøgevik, A.S., Olsvik, P.A., Myers, M., Grøsvik, B.E. 2020. DNA damage and health effects in juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) exposed to PAHs associated with oil-polluted sediment or produced water. *PLoS ONE* 15 (10), e0240307.

Miljødirektoratet. 2013. Perfluorinated alkylated substances, brominated flame retardants and chlorinated paraffins in the Norwegian environment – screening 2013. Miljødirektoratets rapport M-40, 2013. 110 s.

Tilgjengelig på <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M-40/M40.pdf>

Miljødirektoratet. 2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota – revidert 30.10.2020.

Miljødirektoratets rapport M-608, 2016. 13 s. Tilgjengelig på

<http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M608/M608.pdf>

Neff, J.M. 2002. Bioaccumulation in marine organisms. Elsevier, Oxford. 452 s.

OSPAR. 2009. Assessment of impacts of offshore oil and gas activities in the North-East Atlantic. OSPAR Commission 453/2009. 39 s.

Powell, D.E., Durham, J., Huff, D.W., Böhmer, T., Gerhards, R., Koerner, M. 2010. Bioaccumulation and trophic transfer of cyclic volatile methylsiloxane (cVMS) materials in the aquatic marine food webs of the Inner and Outer Oslofjord, Norway. Final Report, Dow Corning, HES Study no 11060–108. Tilgjengelig på

http://www.epa.gov/oppt/tsca8e/pubs/8ehq/2010/feb10/8ehq_0210_17834a.pdf

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

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

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

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

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

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

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

Van den Berg, H., Amwele, H.R., Brooke, B.D., Fortelius, L.E., Jain, T., Karunaratne, S.H.P.P., Munyinda, N.S., Rubio-Palis, Y., Yadav, R.S., Kleinschmidt, I. 2025. DDT: last mile in the global phase-out of its use for disease vector control? The Lancet Planetary Health 9, 101283.

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.

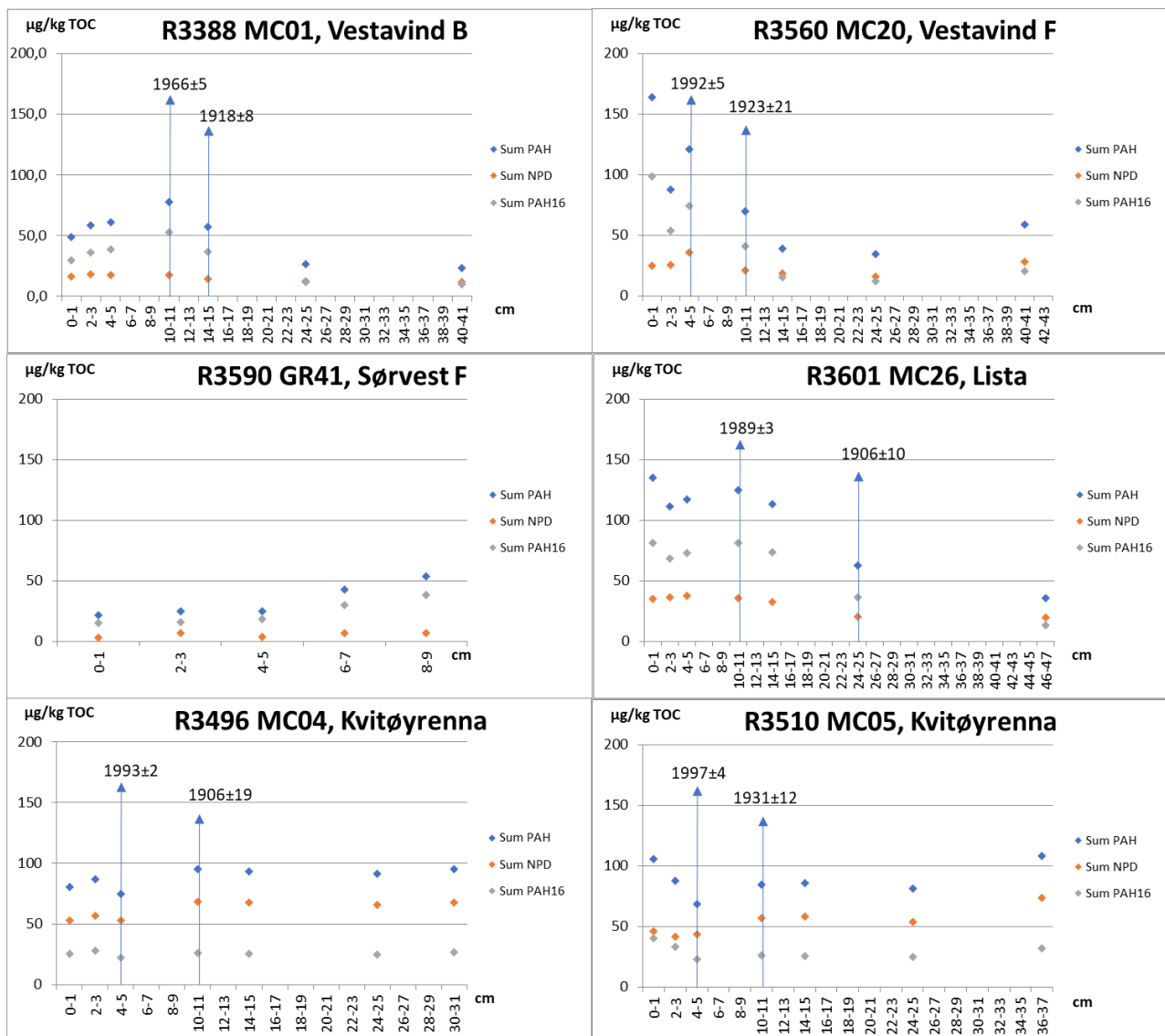
Wang, P., Zhang, Q., Zhang, H., Wang, T., Sun, H., Zheng, S., Li, Y., Liang, Y., Jiang, G. 2016. Sources and environmental behaviors of Dechlorane Plus and related compounds – a review. Environment International 88, 206-220.

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 korrigert for TOC





HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

Tlf: 55 23 85 00

E-post: post@hi.no

www.hi.no