

Undersøkelser av nye organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området

Stepan Boitsov og Jarle Klungsøyr



Prosjektrapport

Rapport: RAPPORT FRA HAVFORSKNINGEN
Nr. – År: 37-2018
Dato: 31.10.2018

Tittel (norsk og engelsk):
Undersøkelser av nye organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området

Emerging organic contaminants in sediments from MAREANO area

Forfattere:
Stepan Boitsov og Jarle Klungsøyr

Distribusjon: Åpen

Havforskningsprosjektnr.:
15312-02

Oppdragsgiver(e):
MAREANO

Program:
MAREANO

Forskningsgruppe:
2560 Miljøkjemi

Antall sider totalt:
27

Sammendrag (norsk):

Havforskningsinstituttet har gjennomført målinger av PFAS, alkylfenoler, alkylfenol etoksyler og bisfenol A (BPA) i sedimentprøver innsamlet i 2007-2017 ved 32-35 lokaliteter i MAREANO-området. Det ble funnet lave nivåer av PFAS, som ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse II for PFOA i alle prøver, og i klasse II eller rett over grensen til klasse III for PFOS. Dette knyttes til langtransport av disse persistente miljøgiftene. Nivåene av 4-nonylphenol ligger i klasse II i de fleste prøvene og rett over grensen til klasse III i to prøver. Nivåene av nonylfenol etoksyler er omtrent like eller lavere. Nivåene følger stort sett samme mønster som andelen finpartikulært materiale (silt/leire) i prøvene, og er dermed ansett som bakgrunnsnivåer i de fleste prøvene. I noen få prøver er det funnet litt høyere nivåer. Det er usikkert om dette gjenspeiler reell forurensning eller er forårsaket av uegnet prøvetakingsmetode i de gamle prøvene. 4-tert-oktylphenol og 4-tert-oktylphenol etoksyler finner man i spormengder kun i noen få prøver, og konsentrasjonene er ellers under målegrensen. Nivåer av BPA er under målegrensen i alle prøver.

Summary (English):

Institute of Marine Research has analysed PFAS, alkylphenols, alkylphenol ethoxylates and bisphenol A (BPA) in sediments collected at 32-35 locations in the MAREANO area in 2007-2017. Low levels of PFAS were found, in the Norwegian Environmental Agency's class II for PFOA at all the locations, and in class II or class III for PFOS. This may be due to long-range transport of these persistent compounds. The levels of 4-nonylphenol were in class III in two samples and in class II in the rest, while the levels of nonylphenol ethoxylates were approximately the same or somewhat lower. The levels largely follow the same pattern as fraction of silt/clay in the samples and are therefore assumed to reflect background concentrations. The levels in a few samples were slightly higher. It is uncertain whether this reflects real contamination in the environment or is due to unadjusted sampling procedure for the old samples. 4-tert-octylphenol and 4-tert-octylphenol ethoxylates were below or just over LOQ. The levels of BPA were below LOQ in all the samples.

Emneord (norsk):

1. Nye miljøgifter
2. PFAS
3. Alkylfenoler
4. Sedimenter
5. MAREANO

Subject heading (English):

1. Emerging contaminants
2. PFAS
3. Alkylphenols
4. Sediments
5. MAREANO

Stepan Boitsov

prosjektleder

Geir Lasse Taranger

forskningsdirektør



Innhold

Liste over forkortelser brukt i rapporten	3
1 Innledning	4
1.1 Bakgrunn for arbeidet.....	4
1.2 Beskrivelse av de studerte miljøgiftene	6
1.3 Tilstandsklasser for vurdering av miljøkvalitet.....	8
2 Metoder	9
2.1 Prøvetaking	9
2.2 Analysemetoder	11
3 Resultater.....	12
3.1 Nivåer av PFAS i overflatesedimenter	12
3.2 Nivåer av alkylfenoler, alkylfenol etoksyler og bisfenol A (BPA) i overflatesedimenter.....	17
4 Oppsummering og konklusjoner	23

Liste over forkortelser brukt i rapporten

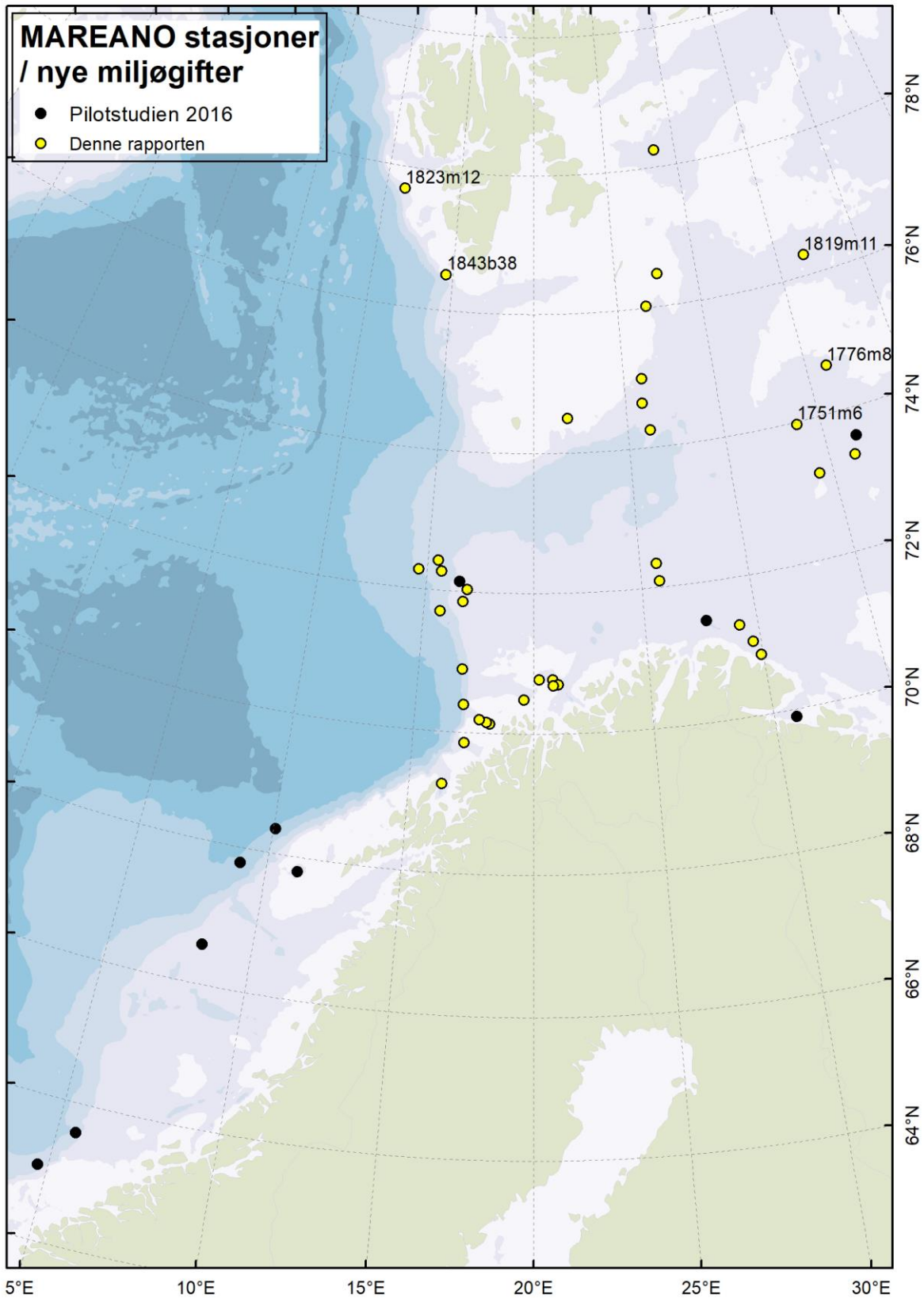
AA-EQS	Engelsk: <i>Environmental quality standard, annual average</i>
ASE	Engelsk: <i>Accelerated Solvent Extraction</i>
BPA	Bisfenol A
BX	Engelsk: <i>Boxcorer</i>
EQS	Engelsk: <i>Environmental quality standards</i>
GC	Engelsk: <i>Gas chromatography</i>
KS	Kornstørrelse, kornstørrelsesfordeling
LOD	Deteksjonsgrense (Engelsk: <i>Limit of Detection</i>)
LOQ	Kvantifiseringsgrense (Engelsk: <i>Limit of Quantification</i>)
MAC-EQS	Engelsk: <i>Environmental quality standard, maximum annual concentration</i>
MAREANO	Engelsk: <i>Marine AREA database for NORwegian waters</i>
MC	Multicorer
NCI	Engelsk: <i>Negative Chemical Ionisation</i>
NILU	Norsk Institutt for Luftforskning
NGU	Norges geologiske undersøkelse
PFAS	Per- og polyfluorerte alkylerte stoffer, engelsk: <i>per- and polyfluorinated alkylated substances</i>
PFOA	Perfluorooktanoat
PFNA	Perfluorononanoat
PFOS	Perfluorooktansulfonat
SIM	Engelsk: <i>Selected Ion Monitoring</i>
TOC	Organisk karboninnhold (Engelsk: <i>Total Organic Carbon</i>)
UPLC-MS/MS	Engelsk: <i>Ultra-Performance Liquid Chromatography-tandem Mass spectrometry</i>

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for arbeidet

Denne rapporten inneholder resultater av målinger av såkalte nye organiske miljøgifter (engelsk: *emerging contaminants*) i sedimentprøver samlet under MAREANO-toktene i Barentshavet i perioden 2007-2017. Dette er en fortsettelse av arbeidet påbegynt i 2016, da en pilotstudie ble utført på ti utvalgte sedimentprøver fra hele MAREANO-området. Resultatene av pilotstudiet er vist i rapport fra Havforskningen nr. 37-2016 (Boitsov et al., 2016; se under «Nye organiske miljøgifter 2016» på www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter). Pilotstudiet omfattet 5 stoffgrupper av nye organiske miljøgifter. Basert på resultatene av pilotstudiet, ble det bestemt å analysere to av de fem stoffgruppene i et bredere utvalg av tidligere innsamlete MAREANO-prøver (ca. 30) fra områdene dekket av MAREANO i Barentshavet, sammen med nye prøver samlet inn på MAREANO-tokt i 2017. De to stoffgruppene som ble vurdert som mest aktuelle er PFAS og alkylfenoler inkludert bisfenol A (BPA). Analyser av PFAS ble utført av en underleverandør (Norsk Institutt for Luftforskning, NILU), mens analyser av alkylfenoler og BPA ble utført på Havforskningsinstituttets kjemilaboratorie. Analysene ble utført i 2017 og første halvdel 2018.

Rapporten omfatter resultatene av målinger av disse to nye stoffgruppene i prøver fra de utvalgte lokalitetene (se kart i figur 1). Resultatene er også tilgjengelige i form av kart og som nedlastbar datafil på www.mareano.no. De miljøgiftene som inngår fast i regelmessig MAREANO-kartlegging («*legacy contaminants*») ble rapportert for de samme prøvene tidligere (se rapportene på www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter). Prøvene ble også analysert av Norges geologiske undersøkelse (NGU) for innhold av totalt organisk karbon (TOC), kornstørrelsesfordeling (KS) og tungmetaller (se rapporter fra NGU på samme webside).



Figur 1. Prøvetakingslokaliteter for sedimenter valgt ut til analyser av nye miljøgifter. Stasjonene rapportert tidligere i pilotstudien er vist med svart farge, mens stasjonene omfattet av denne rapporten er vist med gul farge. Stasjonene fra det siste toktet i 2017 er merket med stasjonsnavn.

1.2 Beskrivelse av de studerte miljøgiftene

Såkalte nye miljøgifter er de siste 10-15 år blitt vurdert å kunne utgjøre et potensielt miljøproblem. Det mangler regulering, nasjonalt og internasjonalt, for de fleste av disse stoffene, og det er derfor viktig å kunne påvise omfanget av problemet som grunnlag for å oppnå forsvarlig bruk og håndtering av stoffene. Problemet er størst først og fremst i belastede kystområder nær havner og industrielle områder, men også åpent hav kan bli påvirket av de nye typene miljøgifter gjennom langtransporterte tilførsler.

PFAS er en gruppe perfluoroalkylerte forbindelser som er persistente i marint miljø og kan tas opp av biota og bioakkumuleres. De mistenkes å kunne ha negative helseeffekter både for mennesker og andre levende organismer (Corsini et al., 2014), og er funnet i forskjellige mengder i vannmiljø over hele verden (Rayne & Forest, 2009). De produseres for bruk i en rekke ulike produkter, blant annet som flammehemmere i brannskum. Miljødirektoratets studie utført i 2007 i Barentshavet fant spormengder av enkeltstoffer i denne gruppen (PFOS) i sedimenter (SFT, 2008a), mens tidligere studier har rapportert tilsvarende lave nivåer i marine sedimenter fra forskjellige steder i norsk Arktis (SFT, 2008b). Spormengder av enkelte PFAS-forbindelser ble også funnet i marine sedimenter fra norske arktiske strøk i en nylig utført screening-studie (Miljødirektoratet, 2013). Studier utført i andre områder i arktiske strøk har påvist nivåer av enkelte PFAS som var like høye eller høyere enn nivåer av bromerte og klorerte miljøgifter, for eksempel Kelly et al., 2009.

Pilotstudiet utført under MAREANO i 2016 har vist relativt lave nivåer av perfluorerte stoffer (PFAS) på de ti utvalgte lokalitetene (Boitsov et al., 2016). Variasjon i nivåene var likevel ganske stor, alt fra 0,01 til 0,99 µg/kg tørrvekt for summen av de syv kvantifiserte PFAS-forbindelsene. Noen av enkeltforbindelsene ble påvist over målegrense på de fleste stasjonene, uten at man kunne peke på noen åpenbare geografiske trender. Dette var grunnlaget for at PFAS ble inkludert i den utvidete undersøkelsen omtalt her.

Bisfenol A (BPA), langkjedete alkylfenoler og deres etoksylater er en gruppe kjemiske stoffer som tilføres marint miljø fra forskjellige kilder (bl.a. avløpsvann; produsert vann fra oljeplattformer; m.m.) og kan ha hormonhermende effekt på marin biota (Servos, 1999; Bakke et al., 2013). I 2007-studiet ble det ikke funnet alkylfenoler over deteksjonsgrense i sedimentene, mens alkylfenoletoksylater ble funnet både på bakgrunnsnivå og ved noe høyere nivåer, noe som ga behov for videre undersøkelser. BPA ble funnet i lave konsentrasjoner innenfor betegnelsen bakgrunnsnivå (SFT, 2008a).

Pilotstudiet i 2016 har påvist stor variasjon i nivåene for enkelte stoffer i denne stoffgruppen. Mens alle alkylfenol etoksylatene var under deteksjonsgrensen på alle stasjoner, var nivå av både oktyl- og nonylfenol målt til å være mellom LOD og LOQ på noen stasjoner, og nivå av BPA varierte fra <LOD opp til 180 µg/kg tørrvekt. LOQ for noen av forbindelsene var for øvrig ganske høye i disse analysene, som ble levert til underleverandøren NILU av et eksternt laboratorium (IVL, Stockholm), noe som i seg selv skapte et problem med fortolkning av resultatene. Det var derfor usikkert hvorvidt resultatene gjenspeiler et reelt miljøproblem, og det ble bestemt å ta denne stoffgruppen med i den utvidete undersøkelsen omtalt her.

Alle stoffer analysert i denne studien er listet i tabell 1.

Tabell 1. Stoffer utvalgt til analyse.

Stoffgruppe i prioritert rekkefølge	Enkeltforbindelser (<i>engelsk</i>)	Forkortelse
1. PFAS (per- og polyfluorerte alkylerte stoffer, engelsk: <i>per- and polyfluorinated alkylated substances</i>)	<i>Perfluorooctane sulfonamide</i>	PFOSA
	<i>Perfluorobutane sulfonate</i>	PFBS
	<i>Perfluoropentane sulfonate</i>	PFPS
	<i>Perfluorohexane sulfonate</i>	PFHxS
	<i>Perfluoroheptane sulfonate</i>	PFHpS
	<i>Perfluorooctane sulfonate branched*</i>	brPFOS
	<i>Perfluorooctane sulfonate linear</i>	PFOSlin
	<i>Perfluorooctane sulfonate (sum of branched and linear)</i>	PFOS
	<i>Perfluorononane sulfonate</i>	PFNS
	<i>Perfluorodecane sulfonate</i>	PFDCS
	<i>Perfluorohexanoate</i>	PFHxA
	<i>Perfluoroheptanoate</i>	PFHpA
	<i>Perfluorooctanoate</i>	PFOA
	<i>Perfluorononanoate</i>	PFNA
	<i>Perfluorodecanoate</i>	PFDA
	<i>Perfluoroundecanoate</i>	PFUnDA
	<i>Perfluorododecanoate</i>	PFDoDA
	<i>Perfluorotridecanoate</i>	PFTTrDA
	<i>Perfluorotetradecanoate</i>	PFTeDA
<i>6:2 Fluorotelomer sulfonic acid</i>	6:2 FTS	
<i>8:2 Fluorotelomer sulfonic acid</i>	8:2 FTS	
2. Alkylfenoler og alkylfenollignende forbindelser	<i>4-tert-octylphenol</i>	4tOP
	<i>4-tert-octylphenol monoethoxylate</i>	4tOP-EO1
	<i>4-tert-octylphenol diethoxylate</i>	4tOP-EO2
	<i>4-nonylphenol (mixture of isomers)</i>	4NP
	<i>4-iso-nonylphenol monoethoxylate</i>	4NP-EO1
	<i>4-iso-nonylphenol diethoxylate</i>	4NP-EO2
	<i>Bisphenol A</i>	BPA

* Bare rapportert i pilotstudien i 2016.

1.3 Tilstandsklasser for vurdering av miljøkvalitet

Miljødirektoratet har utarbeidet et eget klassifiseringssystem for nivåene av enkelte organiske miljøgifter i marine sedimenter, basert på internasjonalt etablerte systemer for miljøkvalitetsstandarder (*Environmental Quality Standards, EQS*) og risikovurdering av kjemikalier i EU (Miljødirektoratet, 2016). Miljødirektoratets klassifisering er i utgangspunktet utviklet for fjord- og havneområder, men kan fungere som en nyttig pekepinn for vurdering av miljøtilstanden også i åpent hav. Miljødirektoratets tilstandsklasser for aktuelle miljøgifter i sedimenter er vist i tabell 2.

Tabell 2. Miljødirektoratets tilstandsklasser for nye organiske miljøgifter i marine sedimenter (Miljødirektoratet, 2016).

Tilstandsklasse	Klasse I Bakgrunn	Klasse II AA-EQS*	Klasse III MAC-EQS*	Klasse IV	Klasse V Omfattende akutt tox eff.
PFOS, µg/kg t.v.	-	<0,23	0,23-72	>72	-
PFOA, µg/kg t.v.	-	<71	>71	-	-
Bisfenol A, µg/kg t.v.	-	<1,1	1,1-79	79-790	>790
4-nonylfenol, µg/kg t.v.	0	< 16	16-107	107-214	>214
4-tert-oktylfenol, µg/kg t.v.	0	<0,27	0,27-7,3	7,3-36	>36

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

2 Metoder

2.1 Prøvetaking

Innsamling av sedimentprøver ble utført i perioden 2007-2017 i samarbeid mellom geokjemikere fra NGU og kjemikere fra Havforskningsinstituttet. Havforskningsinstituttets forskningsfartøy ble benyttet til prøvetakingstoktene. Vanlig sedimentprøvetakingsmetodikk for MAREANO ble benyttet for å samle inn sedimentprøvene. Metodikken går på bruk av multicorer eller boxcorer som prøvetakingsredskap og oppdeling (snitting) av sedimentkjernene i 1-cm tykke prøver direkte om bord, etterfulgt av umiddelbar nedfrysing av prøvene. Se detaljert metodebeskrivelse på www.mareano.no.

Detaljert beskrivelse av prøvetakingslokalteter er gitt i tabell 3, mens geografisk plassering er vist i figur 1. Betegnelsen på prøvetakingsstasjon består av to nummer, hvor den første bokstaven "R" står for MAREANO-programmets prøvetakingsstasjonsnummer. Dette er gjennomgående og unikt for alle MAREANO-toktene gjennom alle år. Det andre nummeret med "MC"-bokstavene står for multicorer-prøvetakingsnummer i det året prøven ble tatt. Der det ble brukt boxcorer står koden "BX".

Prøvene samlet inn i tidligere år ble også benyttet til analyser av andre stoffer, rapportert tidligere under MAREANO, og det ble derfor for enkelte av prøvene for lite prøvemateriale til analyser av både PFAS og alkylfenoler. Det er derfor analysert PFAS i 32 prøver fra tidligere prøvetakinger innsamlet gjennom perioden 2007-2017, og alkylfenoler i 30 prøver. Ny prøvetaking ble utført på høsten 2017 ved lokalitetene merket med stasjonsnavn i figur 1, noe som gav ytterligere 5 prøver til analyse av nye miljøgifter. Disse presenteres for alkylfenoler i rapporten, sammen med de 30 prøvene fra tidligere innsamlinger. Analysene ble utført på Havforskningsinstituttet som samlet gruppe («batch») for alle prøvene. Analyser av PFAS og andre nye miljøgifter, analysert av NILU, i de 5 prøvene fra siste toktet 2017 blir rapportert senere. En oversikt over analyserte prøver er gitt i tabell 3.

Tabell 3. Prøvetakingslokaliteter under MAREANO-toktene og analysene utført i prøvene

Stasjon	Dato	Breddegrad, N	Lengdegrad, Ø	Vanndybde, m	Utførte analyser	
					PFAS	Alkylfenoler
R96 MC08	10.04.2007	70°08.14'	18°08.96'	363	X	X
R100 MC10	11.04.2007	70°09.32'	18°01.27'	323	X	X
R104 MC11	12.04.2007	70°11.57'	17°43.68'	252	X	X
R117 MC05	03.10.2007	69°51.26'	17°07.78'	309	X	X
R223 MC06	09.06.2008	69°15.74'	16°19.72'	482	X	X
R367 MC25	07.04.2009	72°25.41'	15°29.74'	611	X	X
R384 MC28	10.04.2009	72°16.49'	14°36.25'	1037	X	X
R391 MC29	12.04.2009	72°16.66'	15°40.08'	728	X	X
R422 BX90	25.04.2009	72°02.11'	16°54.74'	342	X	X
R431 MC35	26.04.2009	71°51.73'	16°45.12'	357	X	X
R447 BX481	22.09.2009	71°42.36'	15°45.07'	778	X	X
R494MC30	25.07.2010	72°20.66'	25°47.24'	249	X	X
R498MC33	26.07.2010	72°05.77'	25°50.59'	236	X	X
R542MC37	02.08.2010	70°23.64'	17°01.54'	1072	X	X
R573MC43	08.08.2010	70°53.86'	16°54.41'	984	X	X
R595MC45	11.08.2010	70°28.90'	19°43.36'	304	X	X
R613 MC47	19.09.2010	70°46.23'	20°49.88'	247	X	X
R618 MC48	20.09.2010	70°41.74'	21°02.74'	259	X	X
R621MC49	21.09.2010	70°41.03'	20°50.63'	203	X	X
R628MC50	22.09.2010	70°46.37'	20°14.57'	213	X	X
R1312 MC39	18.04.2014	70°51.32'	29°54.57'	378	X	X
R1320 BX68	21.04.2014	71°03.35'	29°39.35'	337	X	X
R1331 MC41	24.04.2014	71°19.32'	29°11.71'	362	X	X
R1466 BX95	09.06.2015	73°12.73'	34°18.22'	207	X	X
R1487 BX100	13.06.2015	73°20.79'	36°15.47'	230	X	X
R1582 BX07	16.09.2016	78°15.12'	28°32.79'	307	X	
R1613 MC10	22.09.2016	76°28.77'	27°36.66'	134	X	X
R1627 BX12	24.09.2016	76°01.92'	26°41.68'	182	X	
R1649 BX16	27.09.2016	75°00.12'	25°59.93'	208	X	X
R1653 MC15	28.09.2016	74°39.03'	25°52.57'	297	X	X
R1661 BX19	29.09.2016	74°15.32'	26°11.04'	409	X	X
R1698 MC03	01.04.2017	74°30.29'	21°49.19'	203	X	X
R1751 MC06	23.10.2017	73°58.12'	33°46.54'	334	*	X
R1776 MC08	24.10.2017	74°40.94'	36°06.19'	265	*	X
R1819 MC11	26.10.2017	76°18.06'	36°37.29'	273	*	X
R1823 MC12	12.11.2017	77°41.13'	11°14.97'	303	*	X
R1843 BX38	15.11.2017	76°31.29'	14°34.87'	277	*	X

*.- rapporteres senere.

2.2 Analysemetoder

PFAS

Tørkede sedimentprøver (overflatelaget, 0-1 cm) ble sendt til NILU for analyse. Det ble veid ut 2 g sediment, tilsatt ¹³C-merkede internstandarder og 1 g vann. Deretter ble 1 mL 200 mM NaOH i metanol tilsatt. Etter 30 minutter ble 100 µL 2M HCl tilsatt før prøven ble ekstrahert på ultralydbad med metanol. Metanolekstraktet ble deretter oppkonsentrert og ekstraktet renses opp med aktivt kull før tilsetning av gjenvinningsstandard. Prøven ble analysert på UPLC-MS/MS, se flere detaljer i Hanssen et al., 2013. Det rapporteres resultater for 19 PFAS listet opp i tabell 1, hvorav 18 er enkeltforbindelser og PFOS er summen av forskjellige isomerer (lineær og forgrenete PFOS).

Alkylfenoler, alkylfenol etoksyler og bisfenol A

Tørkede sedimentprøver (overflatelaget, 0-1 cm) ble veid inn (ca. 20 g tørrvekt) og tilsatt interne standarder (¹³C-merket for alkylfenol etoksyler, og deutererte for alkylfenoler og BPA). Prøvene ble ekstrahert på ASE (*Accelerated Solvent Extraction*, 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 et al., 2004. Etter derivatiseringen ble prøvene tilsatt gjenvinningsstandard (pentafluorobenzofenon) og analysert på GC-MS (NCI) som beskrevet i Boitsov et al., 2004. Enkeltopper ble indentifisert og kvantitert for 4-*tert*-oktylfenol, 4-*tert*-oktylfenol etoksyler og BPA, mens 4-nonylfenol og 4-nonylfenol etoksyler ble kvantitert som cluster av topper og rapportert som summen av isomerer.

3 Resultater

3.1 Nivåer av PFAS i overflatesedimenter

Nivåene av PFAS funnet i prøvene er gitt i tabell 4 for de stoffene som var over LOQ (0,09 µg/kg tørrvekt). De andre stoffene var under LOQ (mellom 0,09 og 0,3 µg/kg tørrvekt) i alle prøver.

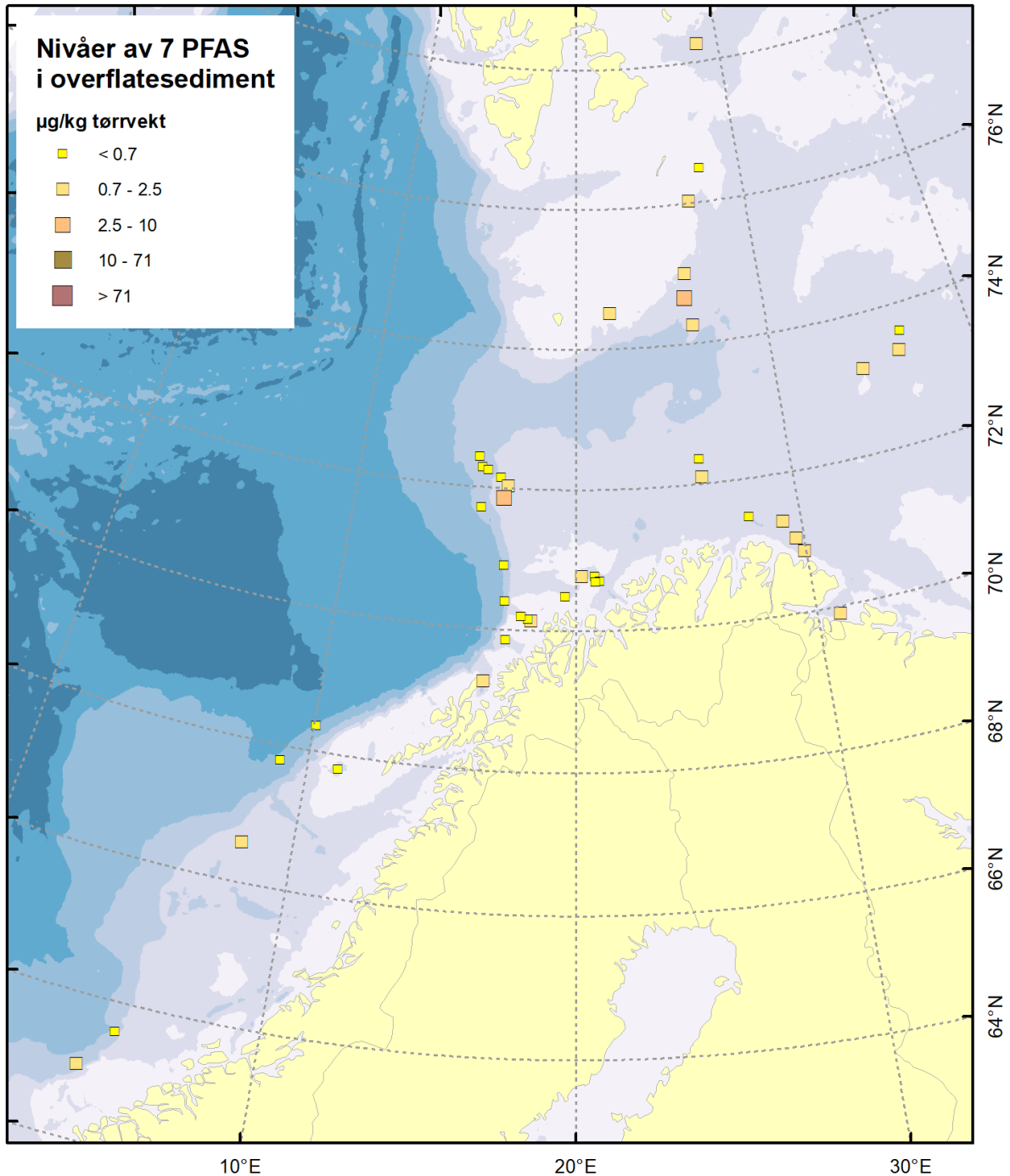
Tabell 4. Nivåene av PFAS i overflatesedimenter fra 32 lokaliteter i Barentshavet, i µg/kg tørrvekt. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 2.

Stasjon	PFOS	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	Sum 7 PFAS*
R96 MC08	0,34	<LOQ	<LOQ	0,33	0,18	<LOQ	<LOQ	0,85
R100 MC10	0,22	<LOQ	<LOQ	0,20	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,42
R104 MC11	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,12	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,12
R117 MC05	0,05	<LOQ	<LOQ	0,10	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,15
R223 MC06	0,35	<LOQ	<LOQ	0,43	0,32	<LOQ	0,19	1,3
R367 MC25	0,12	<LOQ	<LOQ	0,21	0,10	<LOQ	0,11	0,53
R384 MC28	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R391 MC29	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,10	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,10
R422 BX90	0,64	0,11	0,11	0,67	0,33	0,15	0,24	2,2
R431 MC35	0,87	0,12	0,12	0,90	0,41	0,15	0,35	2,9
R447 BX481	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R494 MC30	0,15	<LOQ	<LOQ	0,39	0,15	<LOQ	<LOQ	0,69
R498 MC33	0,37	<LOQ	<LOQ	0,57	0,25	<LOQ	<LOQ	1,2
R542 MC37	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R573 MC43	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R595 MC45	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R613 MC47	0,20	<LOQ	<LOQ	0,28	0,14	<LOQ	<LOQ	0,62
R618 MC48	0,09	<LOQ	<LOQ	0,16	0,10	<LOQ	<LOQ	0,35
R621 MC49	0,24	<LOQ	<LOQ	0,29	0,12	<LOQ	<LOQ	0,65
R628 MC50	0,29	<LOQ	<LOQ	0,46	0,18	<LOQ	<LOQ	0,93
R1312 MC39	0,46	<LOQ	<LOQ	0,61	0,42	0,10	0,19	1,8
R1320 BX68	0,20	<LOQ	<LOQ	0,30	0,27	<LOQ	<LOQ	0,77
R1331 MC41	0,54	0,13	0,11	0,77	0,38	0,12	0,24	2,3
R1466 BX95	0,40	<LOQ	<LOQ	0,68	0,40	0,09	0,11	1,7
R1487 BX100	0,19	<LOQ	<LOQ	0,45	0,26	<LOQ	<LOQ	0,89
R1582 BX07	0,21	<LOQ	<LOQ	0,47	0,13	<LOQ	<LOQ	0,80
R1613 MC10	0,09	<LOQ	<LOQ	0,19	0,13	<LOQ	<LOQ	0,41
R1627 BX12	0,27	<LOQ	<LOQ	0,34	0,29	<LOQ	0,13	1,0
R1649 BX16	0,27	<LOQ	<LOQ	0,33	0,25	<LOQ	<LOQ	0,86
R1653 MC15	0,61	0,12	0,19	1,28	0,52	0,11	0,12	3,0
R1661 BX19	0,26	0,13	0,16	1,16	0,53	<LOQ	0,12	2,4
R1698 MC03	0,18	<LOQ	<LOQ	0,31	0,22	<LOQ	<LOQ	0,71
Min.	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Gjennomsnitt**	0,25	<LOQ	<LOQ	0,39	0,20	<LOQ	<LOQ	0,93
Max.	0,87	0,13	0,19	1,3	0,53	0,15	0,35	3,0

* - kun kvantiterte forbindelser

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

Resultatene for de syv kvantiterte PFAS vises også på kart i figur 2 for summen av disse stoffene (oppgitt som Sum 7 PFAS) sammen med tilsvarende resultater fra 10 stasjoner undersøkt i pilotstudiet i 2016.



Figur 2. Summerte nivåer av 7 PFAS i overflatesedimenter (0–1 cm) ved 42 lokaliteter i Barentshavet og Norskehavet (basert på denne studien og Boitsov et al., 2016).

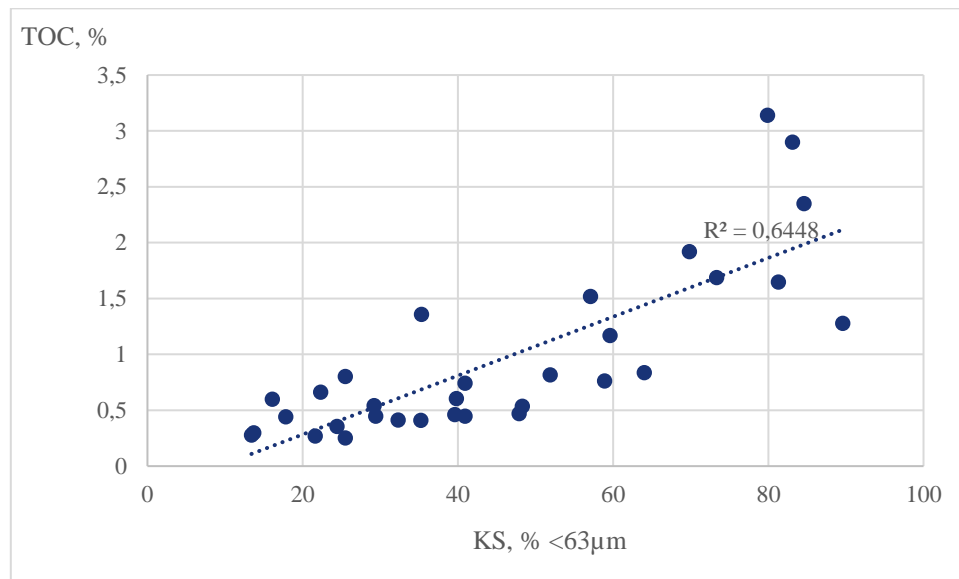
Det er bra samsvar mellom resultatene fra pilotstudiet og denne undersøkelsen i det at nærliggende stasjoner fra de to studiene viser omtrent like nivåer. Det er likevel en betydelig forskjell mellom studiene når det gjelder gjennomsnittsnivåer, som er noe høyere i prøvene undersøkt i dette studiet – 0,93 µg/kg tørrvekt for Sum7PFAS i gjennomsnitt, og maksimalt 3,0 µg/kg tørrvekt for Sum7PFAS. Maksimale nivåer for Sum7PFAS funnet i 2016 var 0,99 µg/kg tørrvekt. Mens alle lokaliteter i denne studien var fra åpent Barentshav, var kun 3 av 10 lokalitetene i 2016-studien fra åpent Barentshav, mens 1 prøve var fra Varangerfjorden og 6 prøver fra Norskehavet. Dette tyder på at nivåene av PFAS i gjennomsnitt er høyere i åpent Barentshav enn i de undersøkte delene av Norskehavet og i kystnære områder. Dette resultatet kan vanskelig forklares av direkte menneskelig påvirkning fra lokale kilder og tilskrives langtransport fra fjerne områder.

Sammensetningen av PFAS er sterkt dominert av kun 3 stoffer, PFOS, PFOA og PFNA. PFOS består av flere isomerer, men det er lineær PFOS som utgjør mesteparten av denne gruppen. Det finnes tilstandsklasser for to av de tre stoffene, se tabell 2. Ifølge klassifiseringen ligger PFOA i klasse II (AA-EQS) ved alle lokaliteter, mens PFOS ligger i tilstandsklasse III (MAC-EQS) ved 14 av de 32 lokalitetene, og i tilstandsklasse II ved resten. Nivåene som ligger i tilstandsklasse III er likevel relativt lave og ligger maksimalt på 0,87 µg/kg tørrvekt, det vil si rett over grensen mellom tilstandsklassene II og III (0,23 µg/kg tørrvekt).

De relativt lave nivåene bekrefter antakelsen om langtransport som hovedkilde for PFAS funnet i prøvene. Likevel kan dette vurderes som et negativt resultat, siden disse stoffene ikke finnes naturlig i miljøet og kun er produsert av mennesker. Nivåene funnet i denne studien kan ikke forbindes med sannsynlig akutt toksisk effekt for marin biota, men kan potensielt være problematiske med tanke på bioakkumulering og biomagnifisering i den marine næringskjeden, noe som kan påvirke dyr på det høyeste trofisk nivå (se, for eksempel, nylig arbeid om økende nivåer av PFAS i hval fra Nordatlantehavet, Dassuncao et al., 2017; imidlertid ble det kun funnet meget lave nivåer av PFAS i fiskelever fra norske nordområder sammenlignet med områdene i Skagerrak, Valdersnes et al., 2017).

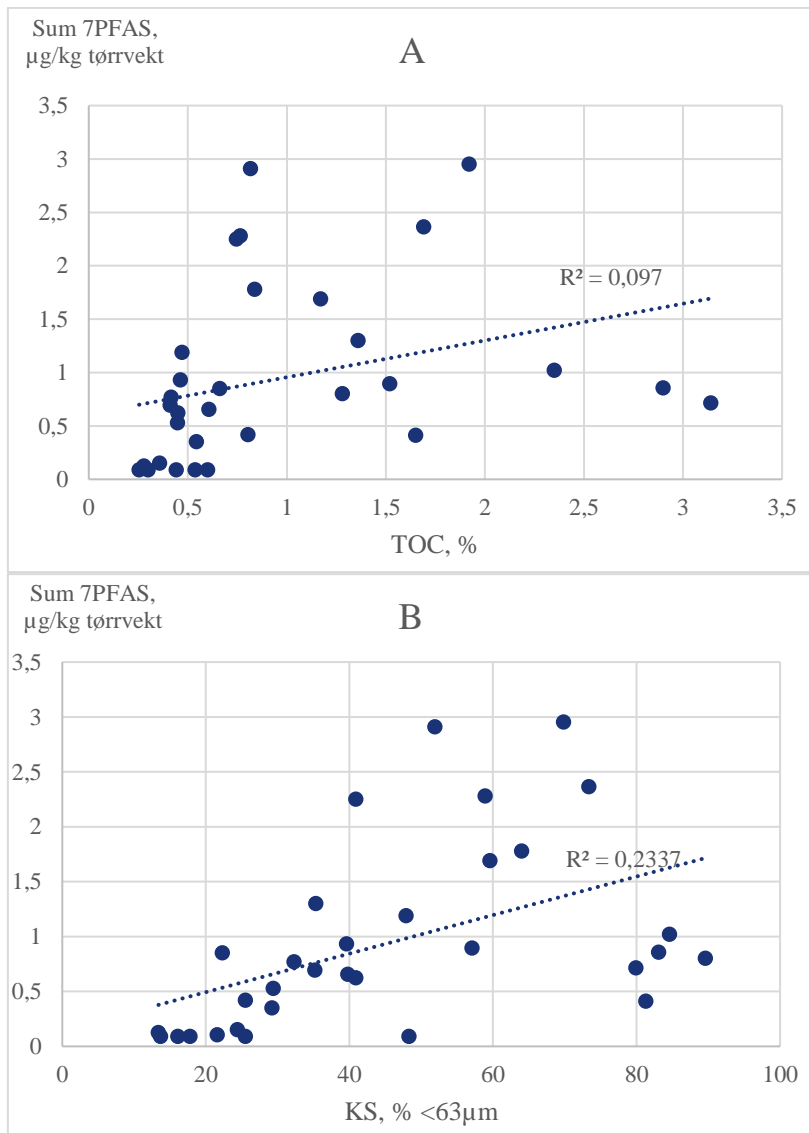
En av grunnene til noe høyere nivåer i Barentshavet enn i Norskehavet kan være relativt høyt andel finkornet materiale i sedimentene fra noen deler av Barentshavet, spesielt i områdene sør og øst for Svalbard, og dermed høyt innhold organisk materiale i sedimentene (se diskusjon i Boitsov et al., 2009). Det pleier å være en korrelasjon mellom sedimentets kornstørrelse (KS) og totalt organisk

karbon innhold (TOC). KS og TOC ble tidligere målt av NGU i disse prøvene og rapportert i årlige rapporter på www.mareano.no, se figur 3.



Figur 3. Forholdet mellom kornstørrelse (KS, angitt som % finkornet fraksjon <63 µm) og totalt organisk karbon innhold (TOC%) i sedimentprøver fra 32 lokaliteter i Barentshavet (NGU data).

Tilsvarende forhold mellom nivåer av Sum7PFAS og TOC, og mellom Sum7PFAS og KS er vist hhv. i figur 4a og 4b. Det er dårlig korrelasjon mellom nivåene av PFAS og både TOC og KS i prøvene. Dette viser at variasjon i KS eller TOC alene ikke kan forklare de observerte variasjonene i nivåene.



Figur 4. Forholdet mellom nivåer av Sum7PFAS og TOC (a), og mellom Sum7PFAS og KS (b).

3.2 Nivåer av alkylfenoler, alkylfenol etoksylder og bisfenol A (BPA) i overflatesedimenter

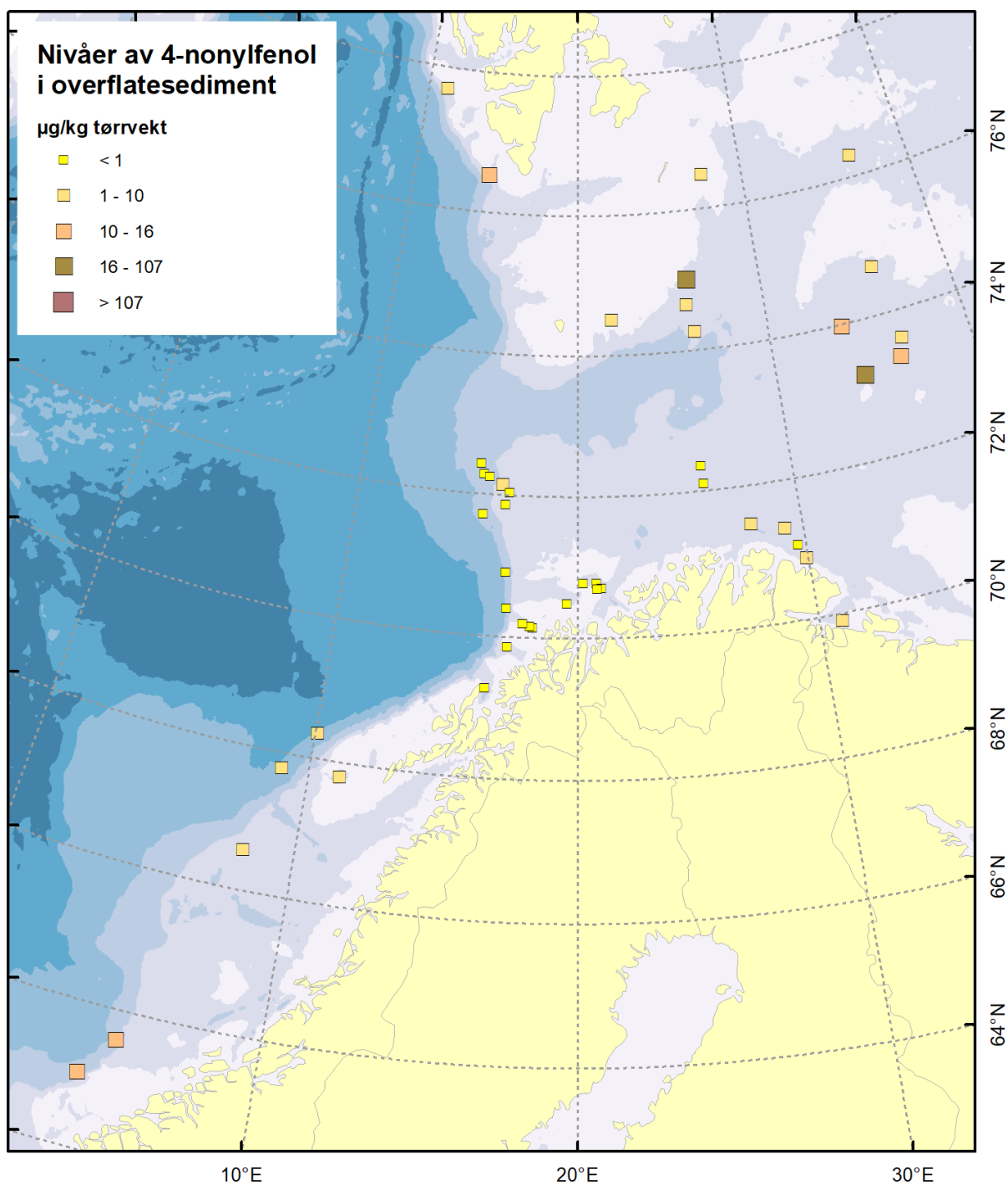
Nivåene av alkylfenoler og lignende forbindelser funnet i prøvene er gitt i tabell 5 sammen med LOQ.

Tabell 5. Nivåene av alkylfenoler i overflatesedimenter fra 35 lokaliteter i Barentshavet, i µg/kg tørrvekt. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 2.

Stasjon	4tOP	4NP	4tOP-EO1	4NP-EO1	4tOP-EO2	4NP-EO2	BPA
LOQ, µg/kg tørrvekt	0,10	0,25	0,15	1,0	0,15	1,0	1,5
R96 MC08	<LOQ	0,36	<LOQ	1,4	<LOQ	1,4	<LOQ
R100 MC10	<LOQ	0,43	<LOQ	1,5	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R104 MC11	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R117 MC05	<LOQ	0,45	<LOQ	1,4	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R223 MC06	<LOQ	0,42	<LOQ	2,0	<LOQ	2,3	<LOQ
R367 MC25	<LOQ	0,41	<LOQ	1,3	<LOQ	1,5	<LOQ
R384 MC28	<LOQ	0,30	<LOQ	1,5	<LOQ	1,7	<LOQ
R391 MC29	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,1	<LOQ	2,0	<LOQ
R422 BX90	<LOQ	0,33	0,20	1,3	<LOQ	1,4	<LOQ
R431 MC35	<LOQ	0,54	<LOQ	2,1	<LOQ	1,7	<LOQ
R447 BX481	<LOQ	0,29	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R494 MC30	<LOQ	0,27	<LOQ	1,2	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R498 MC33	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R542 MC37	<LOQ	0,31	0,17	<LOQ	<LOQ	1,2	<LOQ
R573 MC43	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R595 MC45	<LOQ	0,72	0,16	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R613 MC47	<LOQ	0,40	0,15	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R618 MC48	<LOQ	0,57	0,18	1,2	<LOQ	1,1	<LOQ
R621 MC49	<LOQ	0,33	<LOQ	1,2	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R628 MC50	<LOQ	<LOQ	0,16	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R1312 MC39	<LOQ	1,5	<LOQ	1,6	<LOQ	1,2	<LOQ
R1320 BX68	<LOQ	0,28	<LOQ	1,3	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R1331 MC41	<LOQ	1,0	<LOQ	2,3	<LOQ	1,3	<LOQ
R1466 BX95	<LOQ	16	<LOQ	4,5	<LOQ	2,1	<LOQ
R1487 BX100	<LOQ	12	<LOQ	4,0	<LOQ	2,8	<LOQ
R1613 MC10	0,14	5,5	<LOQ	2,2	<LOQ	2,0	<LOQ
R1649 BX16	0,20	9,8	<LOQ	4,8	<LOQ	2,9	<LOQ
R1653 MC15	0,12	4,7	<LOQ	3,9	<LOQ	3,3	<LOQ
R1661 BX19	<LOQ	2,1	<LOQ	5,4	<LOQ	3,5	<LOQ
R1698 MC03	0,11	12	<LOQ	5,7	<LOQ	6,2	<LOQ
R1751 MC06	<LOQ	2,6	<LOQ	2,3	<LOQ	3,3	<LOQ
R1776 MC08	<LOQ	3,1	<LOQ	3,2	<LOQ	2,8	<LOQ
R1819 MC11	<LOQ	1,3	<LOQ	2,6	<LOQ	3,0	<LOQ
R1823 MC12	<LOQ	14	<LOQ	3,3	<LOQ	2,6	<LOQ
R1843 BX38	<LOQ	24	<LOQ	3,9	<LOQ	2,8	<LOQ
Min.	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Gjennomsnitt*	<LOQ	3,3	<LOQ	2,1	<LOQ	1,7	<LOQ
Max.	0,20	24	0,20	5,7	<LOQ	6,2	<LOQ

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

Resultatene vises også på kart i figur 5 for 4-nonylfenol sammen med tilsvarende resultater fra 10 stasjoner undersøkt i pilotstudiet i 2016.



Figur 5. Nivåer av 4-nonylfenol i overflatesedimenter (0–1 cm) ved 45 lokaliteter i Barentshavet og Norskehavet (basert på dette studiet og Boitsov et al., 2016).

Resultatene viser kun lave nivåer av alkylfenoler og lignende forbindelser, men en del variasjon i nivåene for noen av enkeltstoffene. Det er 4-nonylfenol og 4-nonylfenol etoksylder som man finner i høyeste nivåer i dette studiet, mens 4-*tert*-oktylfenol og 4-*tert*-oktylfenol monoetoksylder finnes litt over målegrensen i noen få prøver, og 4-*tert*-oktylfenol dietoksylder er under målegrensen i alle

prøvene. BPA er også under målegrensen i alle prøvene, men siden målegrensen er litt høyere enn for de andre stoffene, LOQ=1,5 µg/kg tørrvekt, er det ikke mulig å klassifisere BPA i forhold til Miljødirektoratets tilstandsklasser, som har nedre grensen for klasse III (MAC-EQS) ved 1,1 µg/kg tørrvekt for BPA (se tabell 2). Blant de to andre stoffene som det er etablert tilstandsklasser for, ligger 4-*tert*-oktylfenol i alle prøver i klasse II (AA-EQS). Ved to stasjoner ligger 4-nonylfenol ligger rett over grensen til klasse III (16 µg/kg tørrvekt) og maksimalt på 24 µg/kg tørrvekt. Ved de øvrige stasjonene ligger nivåene i klasse II.

Resultatene er delvis i samsvar med tidligere studier, som også viste til dels sprikende resultater. For 4-nonylfenol ble det tidligere rapportert nivåer opptil 55 µg/kg tørrvekt i sedimenter fra åpent hav i den tyske delen av Nordsjøen (Bester et al., 2001), men alle verdier var under LOD (1,3 µg/kg tørrvekt) i SFT-studien av Barentshavet (SFT, 2008a) og alle under LOD (10 µg/kg tørrvekt) i pilotstudiet i 2016 (Boitsov et al., 2016). Lav målegrense for 4-nonylfenol oppnådd i studiet rapportert her, 0,25 µg/kg tørrvekt, gjorde det mulig å kvantifisere stoffet i de fleste prøvene, med gjennomsnittsnivået på 3,3 µg/kg tørrvekt. Dette nivået kan sammenlignes med studiene nevnt ovenfor. De maksimale nivåene for 4-nonylfenol som ble funnet var litt høyere enn forventet. De lave nivåene av 4-*tert*-oktylfenol er i samsvar med tidligere studier (alt under LOQ=2,3 µg/kg tørrvekt i pilotstudien og alt under LOD på 2,1 µg/kg tørrvekt i SFT, 2008a).

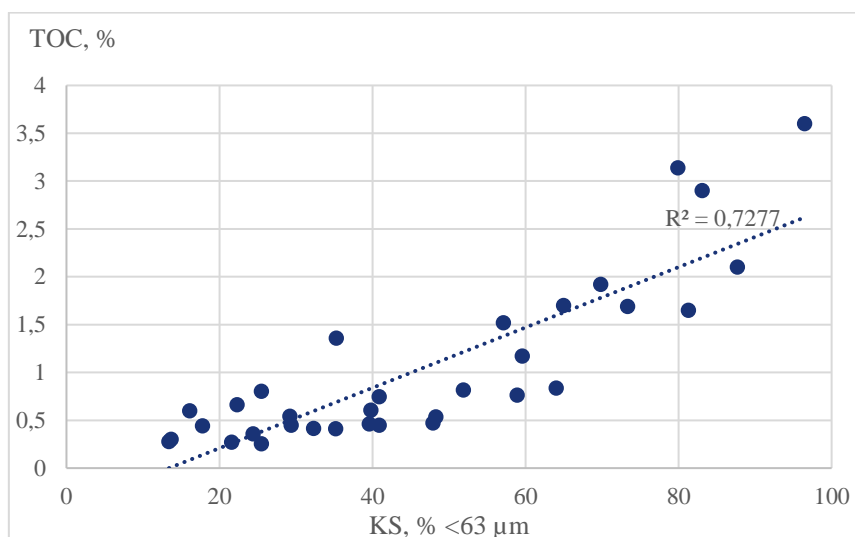
Alkylfenol etoksylater var alle under LOD (<10 µg/kg tørrvekt) i pilotstudiet, under LOD for 4NP-1EO (<10 µg/kg tørrvekt) i Bester et al., 2001, men varierte fra under målegrensen opp til 87 µg/kg tørrvekt i SFT, 2008a, og var vurdert som uforventet høye i flere prøver i dette studiet. Nivåene funnet her er derfor i samsvar med de første to studiene, og avkrefter de høye nivåene funnet i SFT, 2008a. Bedre målegrense enn i de to første studiene tillater kvantifisering av flere etoksylater.

BPA i sedimenter fra Barentshavet varierte fra 2,3 til 10 µg/kg tørrvekt i SFT, 2008a, og fra under LOQ (8,6 µg/kg tørrvekt) opp til 180 µg/kg tørrvekt i pilotstudiet 2016. Nivåene rapportert her ligger lavere enn dette, og er i bedre samsvar med bakgrunnsnivåene diskutert i SFT, 2008a, som var basert på flere studier (se SFT, 2008a, og referansene oppgitt der). Man kan konkludere med at de høye nivåene funnet i pilotstudien ikke er bekreftet.

Sammenstillingen av resultatene fra dette og tidligere studier viser at nivåene som er funnet stort sett viser lave bakgrunnsnivåer. De forhøyete nivåene for noen av stoffene funnet i noen av de tidligere studiene kunne ikke bekreftes. De eneste resultatene i dette studiet som peker seg ut er de maksimale nivåene for 4-nonylfenol funnet ved enkelte stasjoner. For å vurdere disse, kan man på lik

linje med PFAS vurdere KS- og TOC-data målt tidligere. I motsetning til PFAS, er ikke slike data tilgjengelige for alle stasjoner, siden alkylfenoler også ble målt i prøvene samlet på høsten 2017, som forklart i innledningen. KS- og TOC-data er derfor ikke tilgjengelige for 2 stasjoner, R1823 MC12 og R1843 BX38, og diskusjonen nedenfor er basert på resterende 33 stasjonene.

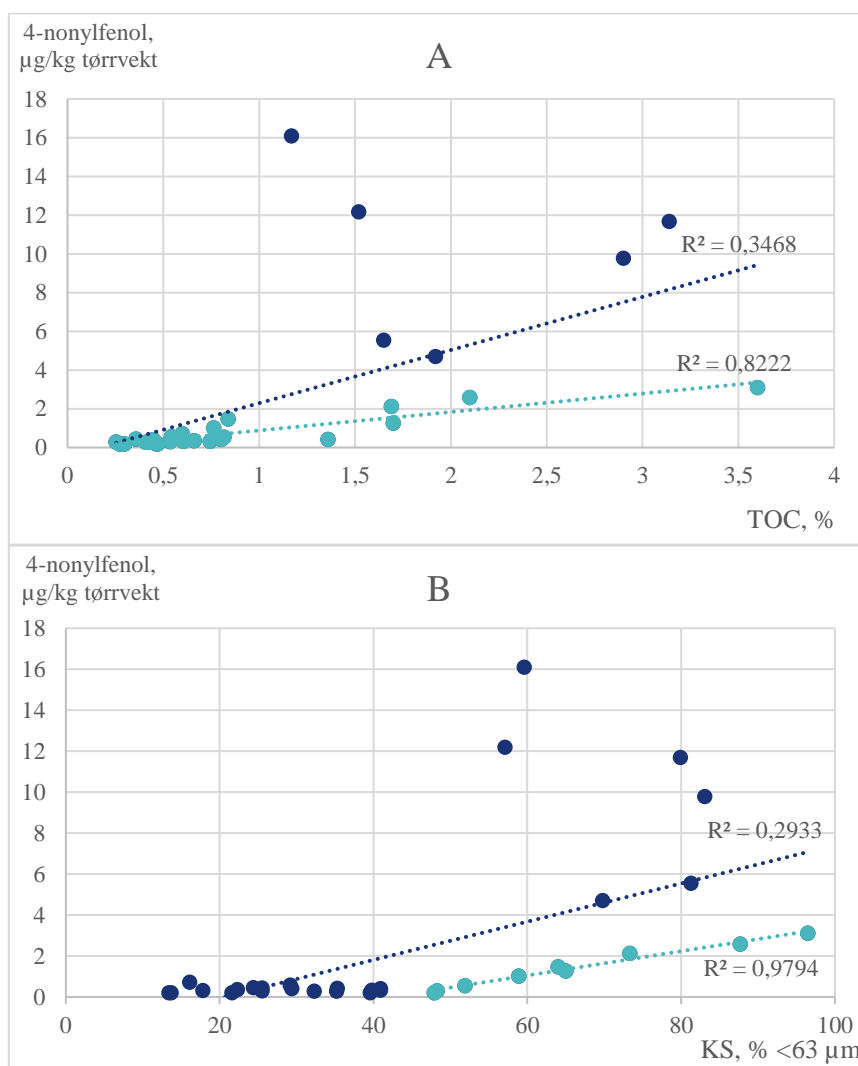
Forholdet mellom KS og TOC i sedimentprøver fra disse stasjonene er vist i figur 6.



Figur 6. Forholdet mellom kornstørrelse (KS, angitt som % finkornet fraksjon <63 μm) og totalt organisk karbon innhold (TOC%) i sedimentprøver fra 33 lokaliteter i Barentshavet (NGU data).

Tilsvarende forhold mellom nivåer av 4-nonylfenol og TOC, og mellom 4-nonylfenol og KS er vist hhv. i figur 7a og 7b. Mens det er dårlig korrelasjon mellom nivåene av 4-nonylfenol og TOC/KS i prøvene, skyldes dette noen få uteliggere i plottet. Fjerner man de seks punktene med de høyeste nivåene av 4-nonylfenol (dvs. alt over 4 μg/kg tørrvekt, vist med mørkeblå farge i figur 7a), oppnår man bedre linearitet i TOC%-plottet, $R^2=0,82$ (vist med blågrønn farge i figur 7a). Når det gjelder KS, er det ingen sammenheng mellom nivåene og KS under ca. 45% mudderfraksjon <63 μm. Slike sedimenter er sannsynligvis for grove og inneholder kun minimale mengde organisk materiale. Bruker man kun datapunktene som gjelder $KS>45\%$ mudderfraksjon, og fjerner de samme seks uteliggere som for TOC, oppnår man nesten perfekt linearitet, $R^2=0,98$ (vist med blågrønn farge i figur 7b). Dette viser at ved de aller fleste stasjonene forklares variasjon i nivåene av 4-nonylfenol av TOC% og KS, og kan dermed defineres som bakgrunnsnivå. Dette gjelder alle resultater opptil 3,1 μg/kg tørrvekt 4-nonylfenol, og den lineære trenden vist i figur 7b tyder på at den sannsynlige øvre grensen for bakgrunnsnivåene ligger ved ca. 3,5 μg/kg tørrvekt nonylfenol (dvs. ved teoretisk 100%

mudderfraksjon i sedimentet). Ved de få lokalitetene hvor nivåene ligger høyere enn det, kan ikke variasjon i KS eller TOC alene brukes som forklaring.



Figur 7. Forholdet mellom nivåer av 4-nonylfenol og TOC (a), og mellom 4-nonylfenol og KS (b). Blågrønn farge viser datapunkter med god linearitet mens mørkeblå farge viser uteliggere fra den lineære trenden.

Det er åtte stasjoner hvor nivåer av 4-nonylfenol overskrider det foreslåtte bakgrunnsnivå på 3,5 µg/kg tørrvekt. Geografisk ligger disse stasjonene helt sentralt i Barentshavet eller ved kysten av Svalbard, mens pilotstudiet i 2016 rapporterte også slike nivåer ved to stasjoner i den sørlige delen av Norskehavet (se figur 5). Det er et litt uventet resultat at dette stoffet er blitt sporet i åpent hav, selv om 4-nonylfenol er kjent å være persistent, kan transporteres over lange avstander med luftstrømmer (for eksempel Ebinghaus & Xie, 2006), og har evne til å binde seg til sedimenter (for eksempel Zhang et al., 2016). Det er likevel som oftest i kystnære strøk eller andre utsatte områder

at man tidligere har kunnet påvise 4-nonylfenol i miljøprøver (se bl.a. Bester et al., 2001, og referansene gitt der; Graca et al., 2016, og referansene gitt der).

En mulig alternativ forklaring kan ligge i metodiske utfordringer knyttet til analysene av 4-nonylfenol. Det er godt kjent at 4-nonylfenol finnes i mange typer plast som kan kontaminere miljøprøver etter at de er tatt til opparbeiding og analyse (se for eksempel diskusjon i Meier et al., 2005). Det ble tatt alle hensyn til disse utfordringene, og blankprøver ble kontrollert for mulig kontaminering under analysen, i tråd med tidligere publiserte metoder etablert på Havforskningsinstituttet (Boitsov et al., 2004; Meier et al., 2005). Det som imidlertid ikke har vært under tilsvarende kontroll var prøvetakingsprosedyre benyttet for disse prøvene. Prøvene ble samlet inn i perioden 2007-2017, før man har planlagt analyser av alkylfenoler. Det kan derfor ikke utelukkes at det under prøveinnsamling eller videre håndtering og oppbevaring av disse prøvene har skjedd noe kontaminering med 4-nonylfenol i noen av prøvene. Man bør derfor ta hensyn til dette under neste prøvetaking, for å kunne bekrefte resultatene rapportert her.

4 Oppsummering og konklusjoner

Ved alle de undersøkte lokalitetene i MAREANO-området prøvetatt i 2007-2017 ble det kun funnet lave nivåer av PFAS, som ligger i tilstandsklasse II for PFOA i alle prøver, og i klasse II eller rett over grensen til klasse III for PFOS. Dette knyttes til langtransport av disse svært persistente miljøgiftene.

Det er videre funnet relativt lave nivåer 4-nonylfenol i prøvene, i klasse II ved de fleste stasjonene og rett over grensen til klasse III i prøver fra to stasjoner. Nivåer av 4-nonylfenol etoksylder er også lave, omtrent like eller lavere enn nivåer av 4-nonylfenol i tilsvarende prøver. Nivåene følger stort sett samme mønster som kornstørrelsesfordeling i prøvene, og er dermed ansett som bakgrunnsnivåer i de fleste prøvene, mens det i noen få prøver funnet litt høyere nivåer av 4-nonylfenol. Det er usikkert om dette gjenspeiler reell forurensning i naturen eller er forårsaket av uegnet prøvetakingsmetode i de gamle prøvene. 4-*tert*-oktylfenol og 4-*tert*-oktylfenol etoksylder finner man kun i spormengder rett over målegrensen i noen få prøver, og ellers under målegrensen. Nivåer av BPA ligger under målegrensen i alle prøver. Forhøyete nivåene for disse stoffene funnet i noen av de tidligere studiene (SFT, 2008a; Boitsov et al., 2016) kunne dermed ikke bekreftes.

Det kan konkluderes at for PFAS og alkylfenoler i Barentshavet er det ikke funnet høye nivåer som kunne forårsake påvisbar toksisk effekt i marin biota. Samtidig tyder de lave nivåene som er funnet for noen av stoffene på det som er problematisk med nye organiske miljøgifter generelt, både i forhold til deres persistens i havmiljø (PFAS) og i forhold til metodiske utfordringer knyttet til analyser av slike stoffer i miljøprøver (alkylfenoler).

Referanser

- Bakke, T., Klungsøyr, J., Sanni, S. 2013. Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine Environmental Research* 92, 154-169.
- Bester, K., Theobald, N., Schröder, H.F. 2001. Nonylphenols, nonylphenol-ethoxylates, linear alkylbenzenesulfonates (LAS) and bis(4-chlorophenyl)-sulfone in the German Bight of the North Sea. *Chemosphere* 45, 817-826.
- Boitsov, S., Klungsøyr, J., Svardal, A., Meier, S. 2004. Gas chromatography-mass spectrometry analysis of alkylphenols in produced water from offshore oil installations as pentafluorobenzoate derivatives. *Journal of Chromatography A*, 1059, 131-141.
- Boitsov, S., Jensen, H.K.B., Klungsøyr, J. 2009. Geographical variations in hydrocarbon levels in sediments from the Western Barents Sea. *Norwegian Journal of Geology* 89, 91-100.
- Boitsov, S., Klungsøyr, J., Jensen, H.K.B. 2016. Pilotstudie av nye organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området. Rapport fra Havforskningen 37-2016, 16 s. Også tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>
- Corsini, E., Luebke, R.W., Germolec, D.R., DeWitt, J.C. 2014. Perfluorinated compounds: Emerging POPs with potential immunotoxicity. *Toxicology Letters* 230(2), 263-270.
- Dassuncao, C., Xindi, C.H., Zhang, X., Bossi, R., Dam, M., Mikkelsen, B., Sunderland, E.M. 2017. Temporal shifts in poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) in North Atlantic pilot whales indicate large contribution of atmospheric precursors. *Environmental Science and Technology* 51, 4512-4521.
- Ebinghaus, R., Xie, Z. 2006. Occurrence and air/sea-exchange of novel organic pollutants in the marine environment. *Journal de Physique IV* 139, 211-237.
- Graca, B., Staniszewska, M., Zakrewska, D., Zalewska, T. 2016. Reconstruction of the pollution history of alkylphenols (4-tert-octylphenol, 4-nonylphenol) in the Baltic Sea. *Environmental Science and Pollution Research* 23(12), 11598-11610.
- Hanssen, L., Dudarev, A.A., Huber, S., Odland, J.Ø., Nieboer, E., Sandanger, T.M. 2013. Partition of perfluoroalkyl substances (PFASs) in whole blood and plasma, assessed in maternal and umbilical cord samples from inhabitants of arctic Russia and Uzbekistan. *Science of Total Environment* 447, 430-437.
- 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.
- Meier, S., Klungsøyr, J., Boitsov, S., Eide, T., Svardal, A. 2005. Gas chromatography-mass spectrometry analysis of alkylphenols in cod (*Gadus morhua*) tissues as pentafluorobenzoate derivatives. *Journal of Chromatography A* 1062, 255-268.
- Miljødirektoratet. 2013. Perfluorinated alkylated substances, brominated flame retardants and chlorinated paraffins in the Norwegian environment – screening 2013. Miljødirektoratets rapport M-40, 2013. Ss. 110. Tilgjengelig på <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M-40/M40.pdf>

Miljødirektoratet. 2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Miljødirektoratets rapport M-608, 2016. 26 s. Tilgjengelig på <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M608/M608.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.

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. Ss. 135. Tilgjengelig på <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2400/ta2400.pdf>

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

Valdersnes, S., Nilsen, B.M., Breivik, J.F., Borge, A., Maage, A. 2017. Geographical trends of PFAS in cod liver along the Norwegian coast. *PLOS One* 12(5), e0177947.

Zhang, D., Duan, D., Huang, Y., Xiong, Y., Yang, Y., Ran, Y. 2016. Role of structure, accessibility and microporosity on sorption of phenanthrene and nonylphenol by sediments and their fractions. *Environmental Pollution* 219, 456-465.

Retur: Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
Institute of Marine Research

Nordnesgaten 50 – Postboks 1870 Nordnes
NO-5817 Bergen
Tlf.: +47 55 23 85 00
E-post: post@hi.no

www.hi.no

