

Kartlegging av fremmedstoffer i mesopelagiske arter fra norske farvann

– *Mesopelagisk fisk fra Norskehavet og Sognefjorden*

Martin Wiech, Arne Duinker, Monica Sanden



Prosjektrapport

Rapport: RAPPORT FRA HAVFORSKNINGEN **Nr. – År:** 36-2018 **Dato:** 16.10.2018

Tittel (norsk og engelsk):

Kartlegging av fremmedstoffer i mesopelagiske arter fra norske farvann
-Mesopelagisk fisk fra Norskehavet og Sognefjorden

Monitoring of contaminants in mesopelagic species from Norwegian waters
-Mesopelagic fish from Norwegian Sea and Sognefjorden

Forfattere:

Martin Wiech, Arne Duinker, Monica Sanden

Fotograf (forsidebilde):

Espen Strand

Distribusjon: Åpen

Havforskningsprosjektnr.:
15223

Oppdragsgiver(e):
Mattilsynet

Oppdragsgivers referanse:
M17120 Tiltaksnummer 43390

Forskningsgruppe:
Fremmed- og Smittestoff

Antall sider totalt:
26

Livar Frøyland

programleder

Gro-Ingunn Hemre

forskningsdirektør



Innhold

1	Oppsummering/Summary	4
2	Innledning	6
3	Materiale og Metoder	8
3.1	Innsamling av prøver.....	8
3.2	Prøveopparbeiding og analyser.....	9
3.2.1	Bestemmelse av metaller med ICP-MS.....	9
3.2.2	Bestemmelse av PBDE, PCB ₆ , PCB ₇ , dioksiner, furaner, non-orto og mono-orto PCB med felles opparbeidelsesmetode.....	10
3.2.3	Bestemmelse av poly- og perfluorerte alkylstoffer (PFAS).....	10
3.2.4	Bestemmelse av klorerte pesticider.....	11
3.2.5	Bestemmelse av totalt fettinnhold med etylacetat-metode.....	12
3.2.6	Bestemmelse av fettsyrer og lipidklasser	12
3.3	Estimering av fremmedstoffer i fiskeolje og mel.....	12
3.4	Statistiske analyser	13
4	Resultater og diskusjon	14
4.1	Metaller	14
4.1.1	Variasjon mellom stasjoner i Nordlig lysprikkfisk.....	15
4.1.2	Variasjon mellom arter.....	16
4.1.3	Variasjon mellom dybder i Nordlig lysprikkfisk og sammenheng med fiskestørrelse	16
4.2	Organiske miljøgifter	18
4.2.1	Variasjon mellom stasjoner i Nordlig lysprikkfisk.....	19
4.2.2	Variasjon mellom arter.....	19
4.2.3	Variasjon mellom dybder i Nordlig lysprikkfisk og sammenheng med fiskestørrelse	20
4.3	Klorerte Pesticider.....	21
4.4	Voksesterer og Erukasyre	22
5	Konklusjon	23
6	Referanser	24

1 Oppsummering/Summary

Oppsummering

I dette arbeidet er det gjennomført analyser av innholdet av fremmedstoffer og noen andre stoffer med potensielt negative helseeffekter i tre arter av mesopelagisk fisk fra Norskehavet og Sognefjorden.

Det ble tatt 34 samleprøver, hvorav 28 var prøver av nordlig lysprikkfisk (*Benthosema glaciale*), fem av laksesild (*Maurolicus muelleri*) og en av liten laksetobis (*Arctozenus risso*). Prøvene av nordlig lysprikkfisk ble tatt på syv forskjellige stasjoner i det nordlige Norskehavet og i Sognefjorden. For å se på effekten av fiskedybde på fremmedstoffkonsentrasjonene og størrelse på fisken, ble det på noen stasjoner fisket nordlig lysprikkfisk på forskjellige dybder. Liten laksetobis ble kun tatt på en stasjon i Norskehavet og laksesild kun i Sognefjorden.

Samleprøver av minst 25 hele fisker av samme art ble analysert for metaller inkludert arsen, kadmium, kvikksølv og bly, for de organiske fremmedstoffene ble det analysert for dioksiner/furaner og dioksinlignende PCB, ikke-dioksinlignende PCB (PCB₆), polybromerte difenyletere (PBDE₇) og poly- og perfluorerte alkylstoffer (PFAS) i tillegg til klorerte pesticider. Samleprøvene ble også analysert for lipidklasser og fettsyrer med særlig vekt på voksester og erukasyre.

Prøvene av nordlig lysprikkfisk fra Norskehavet hadde kadmiumkonsentrasjoner over grenseverdien på 0,05 mg/kg våtvekt som gjelder for muskelkjøtt av fisk til mat og eventuelt hele fisken når fisken skal spises hel. Kadmiumkonsentrasjonene i prøvene tatt i Sognefjorden var mye lavere og under grenseverdien. Ellers var metallkonsentrasjonene i nordlig lysprikkfisk lave og noen metaller viste en sterk korrelasjon med størrelse og fiskedybde på nordlig lysprikkfisk. Siden fisken var mindre på grunnere vann, er det ikke overraskende at også kvikksølvkonsentrasjonen var lavere i fisk fra grunt vann.

I liten laksetobis var blykonsentrasjonen over grenseverdien som gjelder for muskelkjøtt av fisk til mat, men siden det kun ble målt én samleprøve må dette resultatet følges opp videre. Mens de andre metallkonsentrasjonene i nordlig lysprikkfisk og liten laksetobis fra Norskehavet stort sett var på samme lave nivået, var konsentrasjonen av flere metaller i laksesild fra Sognefjorden høyere enn i nordlig lysprikkfisk. Estimater beregninger av nivåene for metallkonsentrasjoner av prøvene i denne rapporten til prosessert fiskemel var langt under gjeldende grenseverdier gitt i forskrift om fôrvarer.

Konsentrasjonene av de organiske miljøgiftene og de klorerte pesticidene som ble målt, var generelt lave. For de stoffene det er satt grenseverdi for, var konsentrasjonen langt under grenseverdiene gitt for muskelkjøtt av fisk til human konsum. Estimater beregninger av nivåene for PCDD/F, PCDD/F+dIPCB og PCB₆ av prøvene i denne rapporten til prosessert fiskeolje, var under gjeldende grenseverdier gitt i forskrift om fôrvarer, mens nivåene for dioksiner alene (PCDD/F) ikke var langt under grenseverdi gitt for fiskeolje. De virkelige konsentrasjonene vil avvike i henhold til den endelige prosesseringen. Det er ønskelig å beregne prosesseringsfaktorer når prosesseringen er ferdig utviklet, for å kunne estimere konsentrasjonen i fiskeolje ut ifra konsentrasjonen i hel fisk.

Nivåene av voksester i nordlig lysprikkfisk og liten laksetobis fra Norskehavet var på henholdsvis 105 og 130 g/kg våtvekt, noe som er litt under nivåene som ble funnet i escolar og oljefisk, som var på 180 g/kg våtvekt. Ved konsum av 140g escolar kan negative helseeffekter (keriorrhea) forekomme og 240 g nordlig lysprikkfisk og 195 g liten laksetobis inneholder en tilsvarende mengde voksester. Konsentrasjonene av erukasyre i mesopelagiske arter rapportert her, var sammenlignbare med nivåene som har blitt funnet i annen fettrik fisk som for eksempel vårgytende sild.

Summary

In this study, the content of several contaminants and other substances potentially causing negative health effects was analyzed in different abundant mesopelagic fish species from Norwegian waters. Several pooled samples of three different species were taken in the Norwegian Sea and Sognefjord. The report is in Norwegian, however the summary, figure- and table headings are presented in English.

In total, 34 pooled samples were taken. From this, 28 were samples of glacier lantern fish *Benthoosema glaciale*, five of silvery lightfish *Maurolicus muelleri* and one of spotted barracudina *Arctozenus risso*. The samples of *Benthoosema glaciale* were taken at seven different locations of the Norwegian Sea and one fjord location (Sognefjord). To study the effect of fishing depth on the contaminant levels and size distribution, at some locations in the Norwegian Sea, it was fished twice to three times at different depths. *Arctozenus risso* was only caught at one station in the Norwegian Sea and *Maurolicus muelleri* only in Sognefjord.

Pooled samples consisting of at least 25 whole fish of the same species were analyzed for metals including arsenic, cadmium, mercury and lead, for the organic pollutants it was analyzed for dioxins and dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs), non-dioxin-like PCBs (PCB₆) and polybrominated diphenyl ethers (PBDE₇), and poly- and perfluorinated alkyl substances (PFAS) in addition to chlorinated pesticides. To investigate other ingredients with potentially negative health effects, lipid classes and fatty acids were analyzed with special focus on wax esters and erucic acid.

Samples of *Benthoosema glaciale* from the Norwegian Sea had concentrations of cadmium above the maximum legal level of 0.05 mg/kg wet weight set for muscle meat of fish and whole fish, if they are intended to be eaten whole. Cadmium concentrations in samples from Sognefjord had much lower levels and were all under the legal maximum level. The other metal concentrations in *Benthoosema glaciale* were low and some showed a strong correlation with fish size and fishing depth. Since fish were smaller in shallower water, it was not surprising that mercury concentrations also were lower in these fish.

The lead concentration in *Arctozenus risso* was above the maximum level given for muscle meat of fish for human consumption. However, since only one pooled samples was measured, this finding should be confirmed by further measurements. While the other metal concentrations in *Benthoosema glaciale* and *Arctozenus risso* were mainly on the same level, *Maurolicus muelleri* from Sognefjord had higher concentrations for several metals compared with the levels found in *Benthoosema glaciale*. Calculated estimate levels for metal concentrations of the samples in this report to processed fishmeal, showed concentrations of metals far below the maximum levels given in the feed regulation.

Concentrations of the measured organic pollutants were generally low and far below the legal limits set for muscle meat of fish for human consumption. Calculated estimate levels for PCDD/F, PCDD/F+dlPCB and PCB₆ concentrations of the samples in this report to processed fish oil, showed concentrations below the maximum levels given in the feed regulation, except for the dioxins (PCDD/F) which had concentrations just below the maximum level. Since the final concentrations will depend on the final processing, is it desirable to establish processing factors when the final processing is established.

The levels of wax esters in *Benthoosema glaciale* and *Arctozenus risso* from the Norwegian Sea was 105 and 130 mg/kg wet weight, which is lower than the levels reported for escolar and oil fish with levels of 180 g/kg wet weight. Consumption of 140g escolar can lead to negative health effects (keriorrhea). The concentrations of erucic acid were comparable with the levels found in other fatty fish species like for example Norwegian spring spawning herring.

2 Innledning

Protein og fett fra havet blir enda viktigere i fremtiden, ettersom den globale befolkningen vokser og dermed også etterspørselen etter mat. Det er antatt at mesopelagiske organismer, altså fisk, krepsdyr, maneter og blekkspruter som lever i havet mellom 200 og 1000m dybde, er en av verdens største ubrukte ressurser. Estimater for biomasse av mesopelagisk fisk er usikre og varierer avhengig av metoden. Rapporterte biomassetall varierer mellom omtrent 1 og 10 milliarder tonn (Gjøsaeter & Kawaguchi, 1980; Irigoien, et al., 2014; Proud, et al., 2018). Ressursen har potensiale som verdifull olje, rik på blant annet marine omega-3 fettsyrer, og protein av høy kvalitet til bruk som mat til mennesker og/eller dyrefôr. Det er viktig å kunne dokumentere nivåer av uønskede stoffer i nye marine ressurser før en eventuell næringsutvikling kommer på plass.

I Norskehavet består det mesopelagiske fiskesamfunnet hovedsakelig av fire arter: Nordlig lysprikkfisk (*Benthosema glaciale*), vassild (*Argentina silus*), laksesild (*Maurolanicus muelleri*) og liten laksetobis (*Arctozenus risso*) (Skjoldal, 2004). En undersøkelse fra sommer 1994 estimerte biomassen i Norskehavet til 2,3 millioner tonn våtvekt av nordlig lysprikkfisk, 1,3 millioner tonn liten lasketobis og 0,25 millioner tonn av laksesild. Nordlig lysprikkfisk viste den største utbredelsen, mens laksesild foretrekker varmere vannmasser (Dalpadado, et al., 1998). Amfipoder utgjorde den største delen av biomassen med 110 millioner tonn våtvekt, fulgt av krill med 50 millioner tonn, kronemaneten *Periphylla periphylla* med 11 millioner tonn, og blekkspruten *Gonatus fabricii* med 4,10 millioner tonn våtvekt (Dalpadado, et al., 1998).

De fleste mesopelagiske arter gjennomfører vertikal migrasjon. Noen migrerer opp til flere hundre meter i løpet av et døgn, hvor de står mye dypere om dagen enn om natten. Nordlig lysprikkfisk og laksesild står generelt dypere i det åpne havet i forhold til i fjordene (Skjoldal, 2004). Lys ser ut til å være den avgjørende faktoren for migrasjonen. Jo høyere i vannsøylen fisken står, jo mer mat får han spist, men jo mer utsatt er den også for predasjon. Andre grunner for migrasjonen kan være å redusere konkurranse blant forskjellige arter, minimalisering av horisontal drift og bioenergetiske fordeler ved spising i varmt vann og fordøyelse i kaldt vann (Skjoldal, 2004). Fiskens alder er også av betydning. Juvenil laksesild står generelt høyere i vannsøylen. Det er antatt at juvenil fisk er villig til å ta en høyere risiko for å bli spist, siden den kan forkorte perioden de er mest utsatt for predasjonen ved å spise. Voksen fisk derimot kun kan øke fekunditeten, noe som ikke er verdt å ta sjanse for å bli spist (Dypvik, et al., 2012; Giske, et al., 1998). I tillegg er mindre fisk ikke så lett synlig for predatorer (Skjoldal, 2004). Voksen fisk spiser lite om vinteren og kan til og med miste vekt, mens juvenil fisk har en positiv vekstrate hele året. Det er påstått at mesopelagisk fisk på grunn av sin generell liten størrelse ikke kan bevege seg mot sterk havstrøm og derfor drifter horisontalt med strømmen (Giske, et al., 1998). Denne horisontale driftingen med strømmen nordover i Norskehavet, gjør at mesopelagiske arter kan bli sett på som plankton.

De fleste mesopelagiske fiskearter spiser zooplankton som kalanus og andre små pelagiske organismer (Giske, et al., 1990). Derfor burde det trofiske nivået ligge på lik linje med pelagiske arter som makrell og sild. Det trofiske nivået av lysprikkfisk er relativt lavt og varierte mellom 3 to 4.2 i sørlige strøk (Cherel, et al., 2010). Mange arter høyere i næringskjeden er kjent for å spise på mesopelagisk fisk. I tillegg til et relativt lavt trofisk nivå lever mange arter kun mellom ett og fem år. Derfor er det ikke forventet å finne høye verdier av fremmedstoffer som er kjent for å biomagnifisere, som for eksempel kvikksølv, i mesopelagisk fisk. Siden fisk på forskjellige størrelser og ulike alder står i forskjellige dybder, ble det undersøkt om fiskedybde påvirker fremmedstoffnivåene i fisken.

Kommersiell fangst av mesopelagisk fisk har blitt prøvd noen steder, inkludert Gulf av Oman, rund Island og i Sør-Atlanteren. Men så langt har det ikke blitt etablert et langvarig, økonomisk bærekraftig

fiskeri. Fangst- og prosesseringsmetoder er fortsatt under utvikling. Det er avgjørende, at fangsten prosesseres fort, siden mesopelagisk fisk brytes fort ned når den kommer om bord.

For å utnytte ressursen på en trygg måte, er det viktig å skaffe kunnskap om nivå av fremmedstoffer og andre stoffer med potensielt negative helseeffekter i de forskjellige artene i det mesopelagiske samfunnet. Dette er arter som ikke har vært brukt til human konsum eller dyrefôr tidligere. En grunnleggende kartlegging er derfor nødvendig i norske farvann, før man kan vurdere bruk av denne biomassen fra havet som mat eller fôr. En utfordring som kan gjøre det vanskelig å bruke mesopelagisk fisk direkte som menneskemat er en høy andel av voksestere i fett (Skjoldal, 2004). Voksestere kan ikke brytes ned og et høyt inntak kan føre til en spesiell form av diare; en fettrik løs avføring, «keriorrhea». Derfor var hovedfokuset ved fett- og lipidanalysene i rapporten, voksestere i tillegg til fettsyren erukasyre som også kan ha negative helseeffekter (EFSA CONTAM Panel, 2016).

Denne rapporten viser resultatene for metaller, organiske fremmedstoffer inkludert klorerte pesticider, lipidklasser og fettsyrer målt i tre forskjellige mesopelagiske fiskearter, ifra Norskehavet og Sognefjorden.

Rapporten gir en indikasjon på om mesopelagisk fisk er egnet som mat til human konsum og dyrefôr. Mens mesopelagisk fisk til human konsum ikke trenger noen spesiell prosessering, er det veldig sannsynlig at mesopelagisk fisk må prosesseres før bruk som dyrefôr. Det kan forandre sammensetningen og dermed nivå av fremmedstoffer. I rapporten blir det vist estimater for potensielle nivå av noen fremmedstoffer i hovedproduktene av prosesseringen, fiskeolje og fiskemel.

3 Materiale og Metoder

3.1 Innsamling av prøver

Prøver fra stasjonene 1-7 (Figure 1) ble samlet inn på HI sitt tokt i Norskehavet med mesopelagisk trål fra 250 - 699 m dyp (Table 1) mellom 15. og 28. juni 2016 på dagtid. Det ble tatt nordlig lysprikkfisk (*Benthoosema glaciale*) og liten laksetobis (*Arctozenus risso*). Prøver fra stasjon 8 ble tatt på UiB sitt tokt i Sognefjorden med mesopelagisk trål fra 60-130 m dyp mellom 21. og 29. september 2016 på forskjellige tider på dagen. Her ble det også tatt nordlig lysprikkfisk i tillegg til laksesild (*Maurolicus muelleri*).

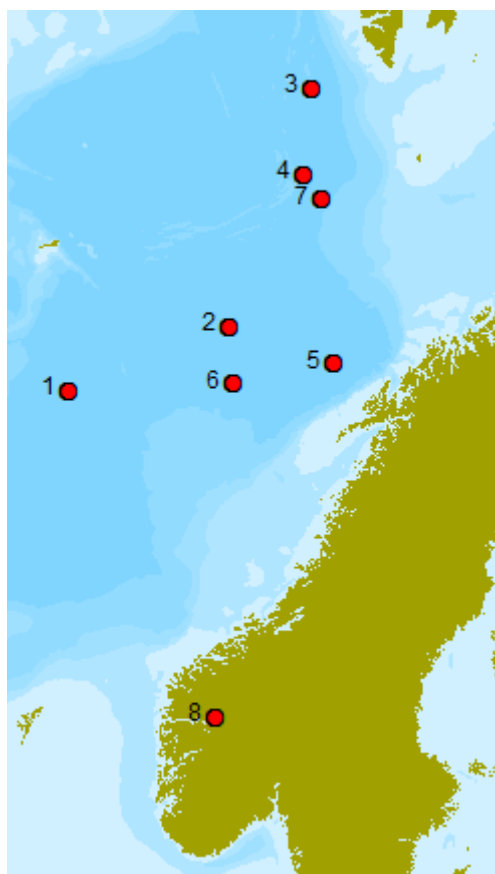


Figure 1 Map indicating sampling stations. *Benthoosema glaciale* was sampled at all stations, while *Arctozenus risso* only was sampled at station 1 and *Maurolicus muelleri* only at station 8

Table 1 Overview of pooled samples analysed for metals, persistent organic pollutants (POPs), chlorinated pesticides, fatty acids and lipid classes including fishing depth, average weight, length and species. Number of performed analysis of pooled samples per station are indicated.

Station	Pooled samples [N]	Depth [m]	Weight [g]	Length [cm]	Species	Metals [n]	POPs [n]	Chlorinated Pesticides	Fatty acids/lipid class
1	1	440-450	2.06	5.9	<i>Benthoosema glaciale</i>	1	1	1	1
	1	250-350	23.9	25.4	<i>Arctozenus risso</i>	1	1	1	1
2	3	585-615	2.57	6.2	<i>Benthoosema glaciale</i>	3	3	-	1
	3	488-520	2.16	6.4		3	3	1	1
	3	393-410	1.6	5.2		3	3	1	1
3	1	400	1.71	5.5	<i>Benthoosema glaciale</i>	1	1	1	1
4	1	348-354	-	-	<i>Benthoosema glaciale</i>	1	1	1	-
5	3	585-608	1.98	6.1	<i>Benthoosema glaciale</i>	3	3	-	-
	3	495-500	2.12	6		3	3	1	1
	3	387-397	1.34	5.1		3	3	1	-
6	1	690-699	2.03	6.1	<i>Benthoosema glaciale</i>	1	1	-	-
	1	496-499	1.87	5.8	<i>Benthoosema glaciale</i>	1	1	1	-
7	1	288-303	-	-	<i>Benthoosema glaciale</i>	1	-	-	1
8	5	81-125	0.75	4.48	<i>Maurolicus muelleri</i>	5	5	4	-
	4	65-125	1.67	5.1	<i>Benthoosema glaciale</i>	4	4	4	-

3.2 Prøveopparbeiding og analyser

Prøvene ble frosset ned om bord. Etter at fisken var kommet til HI ble den tint, og samleprøver av minst 25 hele fisker ble laget. Lengde og vekt ble bestemt for alle prøver unntatt stasjon 4 og 7. Fisk fra samme art, dybde og lokalitet ble homogenisert til en samleprøve.

3.2.1 Bestemmelse av metaller med ICP-MS

Det ble veid inn to paralleller fra hvert frysetørket prøvemateriale til bestemmelse av metaller. Metaller ble bestemt ved hjelp av plasmamassespektrometer (ICP-MS) etter dekomponering i mikrobølgeovn som beskrevet av Julshamn et al. (2007). Metoden er akkreditert for kobber, sink, selen, arsen, kadmium, kvikksølv og bly. Kvantifiseringsgrensen er beregnet på tørr prøve for hvert av disse grunnstoffene og er presentert i Table 2.

Table 2 Limits of quantification (LOQ) and measurement uncertainty for analyzed metals

Metal	Hg	Cd	As	Pb	Se	Zn	Cu	Fe*	Mn*	Co*	Mo*	V*
LOQ [mg/kg dw]	0.005	0.005	0.01	0.03	0.01	0.5	0.1	0.1	0.03	0.02	0.1	0.005
MU [%]	LOQ-10xLOQ	70	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	>10xLOQ	20-25	20	20	25	25	20	25	20	20	20	20

*not accredited

3.2.2 Bestemmelse av PBDE, PCB₆, PCB₇, dioksiner, furaner, non-orto og mono-orto PCB med felles opparbeidelsesmetode

Frysetørkede prøver ble ekstrahert, renet og analysert for dioksiner og furaner, PCB og PBDE som beskrevet av Julshamn et al. (2013).

Metoden kvantifiserer ti ulike kongener av PBDE, inkludert syv kongener som summeres til en upperbound "standard sum PBDE" (PBDE-28, 47, 99, 100, 153, 154 og 183). I tillegg kvantifiseres PBDE-66, 119, og 138. Kvantifiseringsgrensene varierer mellom 0,001 og 0,1 µg/kg for de ulike PBDE-kongenerne. Metoden kvantifiserer PCB₆ (PCB 28, 52, 101, 138, 153 og 180) samt PCB₇ som i tillegg inkluderer PCB 118. Kvantifiseringsgrensen for hver enkelt PCB₆-kongener varierer mellom 0,012 og 0,3 µg/kg våtvekt. For dioksiner, furaner og dioksinlignende PCB ble toksiske ekvivalent verdier (TEQ), beregnet ved å multiplisere konsentrasjonene med kongenernes toksiske ekvivalent faktorer (TEF) i henhold til Verdens helseorganisasjon (WHO), ved bruk av WHO-TEF (toksitetsekvivalensfaktor, 2005)¹. Kvantifiseringsgrensen for de ulike kongenerne av dioksiner, furaner og non-orto PCB varierer mellom 0,008 og 0,4 pg/g mens mono-orto PCB varierer mellom 4 og 150 pg/g. Beregningen av kongenersummer blir utført etter en "upper bound" prosedyre, som beskrevet i EU (2006b). Metoden er akkreditert i henhold til NS-ISO 17025, og analysekvaliteten kontrolleres jevnlig ved deltakelse i ringtester og ved analyse av sertifiserte prøver.

3.2.3 Bestemmelse av poly- og perfluorerte alkylstoffer (PFAS)

Prøver ble veid inn og tilsatt massemerket intern standard og metanol og ekstrahert i ultralydbad. Etter sentrifugering ble supernatanten dekantert over i en sprøyte og filtrert gjennom 0,45 µm nylonfilter før vann ble tilsatt etterfulgt av opprensing på ASPEC. Ekstraktet fra ASPEC ble videre opprenset ved filtrering gjennom 3K ultrafilter. Prøvene ble til slutt analysert på LC-MS/MS og kvantifisert ved hjelp av intern standard. Forbindelsene som kan kvantifiseres med metoden er vist i Table 3, og der er også LOQ og måleusikkerhet vist for de enkelte analyttene, samt hvilke analytter metoden er akkreditert for. Metoden er validert for fiskemuskel, fiskelever og fiskerogn, i konsentrasjonsområdet 0,3 til 100 ng/g prøve. Metoden er akkreditert i henhold til NS-ISO 17025 for fet og mager fisk og lever av disse.

¹ WHO-TEF til vurdering av helserisiko for mennesker, basert på konklusjoner fra WHO's ekspertmøte for det internasjonale programmet for kjemisk sikkerhet, som ble holdt i Genève i juni 2005 (Martin van den Berg et al., The 2005 World Health Organisation Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds. Toxicological Sciences 93(2), 223-241 (2006)).

Table 3 List of poly- and perfluorinated alkyl substances (PFAS) determined with LOQ ($\mu\text{g}/\text{kg}$ sample), measurement uncertainty (MU, %) and accreditation status* for each compound.

Abbreviation	Name	LOQ [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	MU [%]	Accreditation*
PFBS	Perfluorobutanesulfonic acid	0.8	80	No
PFHxS	Perfluorohexanesulfonic acid	0.8	40	No
PFOS	Perfluorooctanesulfonic acid	0.8	35	Yes
PFDS	Perfluorodecanesulfonic acid	1	60	No
PFOSA	Perfluorooctanesulfonamide	1.2	80	No
PFBA	Perfluorobutanoic acid	1	35	No
PFPeA	Perfluoropentanoic acid	6	35	No
PFHxA	Perfluorohexanoic acid	0.9	60	No
PFHpA	Perfluoroheptanoic acid	0.7	50	Yes
PFOA	Perfluorooctanoic acid	1.3	35	Yes
PFNA	Perfluorononanoic acid	0.9	35	Yes
PFDA	Perfluorodecanoic acid	0.5	40	Yes
PFUdA	Perfluoroundecanoic acid	1	40	Yes
PFDoDA	Perfluorododecanoic acid	0.8	40	Yes
PFTTrDA	Perfluorotridecanoic acid	1.2	80	Yes
PFTeDA	Perfluorotetradecanoic acid	1.1	80	No
PFHxDA	Perfluorohexadecanoic acid	13	80	No
PFODA	Perfluorooctadecanoic acid	7	80	No

*The method is accredited for muscle meat and liver from fatty fish and lean fish.

3.2.4 Bestemmelse av klorerte pesticider

Pesticidene ble ekstrahert med organisk løsemiddel og ekstraktet renset ved bruk av kolonnekromatografi, før pesticidene ble analysert med HRGC-HRMS. Prøvene ble analysert av Eurofins.

For noen pesticider (DDT, endosulfan, aldrin og dieldrin, klordan, heptachlor, toksafen) ble det beregnet en sum av metabolitter og andre transformasjonsprodukter. For å justere for de ulike molekylvektene ble det brukt beregningsfaktorer som er vist i Table 4.

Table 4 Calculation of sums for certain pesticides including conversion factors

Summation of metabolites and other transformation products	Substances included in the sum	Conversion factor
DDT	op-DDT	1
	pp-DDT	1
	op-DDD	1.108
	pp-DDD	1.108
	op-DDE	1.115
	pp-DDE	1.115
Endosulfan	alpha-endosulfan	1
	beta-endosulfan	1
	endosulfan sulphite	0.962
Chlordane	trans-chlordane	1
	cis-chlordane	1
	oxychlordane	0.967
Heptachlor	heptachlor	1
	trans-heptachlor epoxide	0.959
	cis-heptachlor epoxide	0.959
Toxaphene	Toxaphene 26	1
	Toxaphene 50	1
	Toxaphene 62	1

Resultatene er presentert som «upperbound» det vil si at der konsentrasjonen av kongener ikke kan kvantifiseres settes den lik LOQ (Table 5).

Table 5 List of chlorinated pesticides determined with the corresponding proportion of measurements above LOQ (% > LOQ) and the LOQ based on dry weight.

Pesticide	% > LOQ	LOQ [µg/kg dw]	Pesticide	% > LOQ	LOQ [µg/kg dw]
alpha-Endosulfan	0	1.04	Pentachlorobenzene	28	1.04
beta-Endosulfan	0	0.27	trans-Nonachlor	33	1.28
Endosulfan sulphite	0	0.27	Dieldrin	94	0.31
trans-Chlordane	22	0.21	Endrin	6	0.63
cis-Chlordane	33	0.21	Aldrin	0	0.21
Oxychlordane	0	1.04	Mirex	6	0.21
Hexachlorobenzene (HCB)	78	1.04	Toxaphene Parlar 26	33	1.04
alpha-HCH	6	0.52	Toxaphene Parlar 50	50	1.04
beta-HCH	0	0.52	Toxaphene Parlar 62	0	2.08
gamma-HCH (Lindane)	0	0.52	o,p'-DDD	94	0.21
delta-HCH	0	0.52	o,p'-DDE	39	0.21
Heptachlor	0	0.21	o,p'-DDT	28	0.21
trans-Heptachlor epoxide	0	0.63	p,p'-DDD	100	0.21
cis-Heptachlor epoxide	33	0.31	p,p'-DDE	100	0.21
Octachlorstyrene	11	0.10	p,p'-DDT	100	0.21

3.2.5 Bestemmelse av totalt fettinnhold med etylacetat-metode

Våte prøver ble ekstrahert med 30% isopropanol i etylacetat, ekstraksjonsmidlet ble dampet av og fettene ble veid. Metoden er akkreditert i henhold til NS-ISO 17025, og laboratoriet har deltatt i ringtester med metoden siden 1998 med godt resultat. Kvantifiseringsgrensen er 0,1g/100g.

3.2.6 Bestemmelse av fettsyrer og lipidklasser

Lipidene fra prøvene ble ekstrahert med organisk løsemiddel. Etter en filtrering ble HPTLC brukt for å kvantifisere lipidklassene som beskrevet av Torstensen et al. (2011). For bestemmelse av fettsyrer, ble prøvene først ekstrahert før det ble tilsatt intern standard (19:0 metyl). Etter ekstraksjon av fettene, ble prøvene filtrert, forsåpet og metylert ved å bruke 12% BF₃ i metanol som beskrevet i Torstensen et al. (Torstensen, et al., 2004). Kvantifiseringsgrensen for voksesterer var 0,25 mg/g og for erukasyre 0,01 mg/g.

3.3 Estimering av fremmedstoffer i fiskeolje og mel

For å estimere nivå av fremmedstoffer etter prosesseringen til mulige føremidler som fiskeolje og fiskemel, ble det gjort noen antakelser:

- Kvikksølv, kadmium og bly går 100% til fiskemelet fordi det følger proteinet
- Alt fett målt med etylacetat-metoden blir ekstrahert
- POPs følger fettene under prosesseringen

Konsentrasjonen av kvikksølv, kadmium eller bly ($C_{Hg,Cd,Pb}^{Mel}$) i fiskemel med et vanninnhold av 12%, som beskrevet i forskrift om fôrvarer (FOR-2002-11-07-1290), ble estimert som:

$$C_{Hg,Cd,Pb}^{Mel} = \frac{C_{Hg,Cd,Pb}^{Fisk}}{(1 - C_{Totalfett}^{Fisk}) * dw_{fisk}} \times dw_{mel} \quad (1),$$

hvor $C_{Hg,Cd,Pb}^{Fisk}$ tilsvarer konsentrasjonen av kvikksølv, kadmium eller bly i hel fisk, dw_{fisk} tørrstoff i hel fisk og dw_{mel} tørrstoffandel i mel som er satt til 88% (andel på 0.88).

Konsentrasjonene av POPs i fiskeolje (C_{POPs}^{Olje}) ble estimert som:

$$C_{POPs}^{Olje} = \frac{C_{POPs}^{Fisk}}{C_{Totalfett}^{Fisk}} \quad (2),$$

hvor C_{POPs}^{Fisk} tilsvarer konsentrasjonen av POPs i hel fisk og $C_{Totalfett}^{Fisk}$ konsentrasjonen av totalfett i hel fisk.

Det ble ikke gjort noen estimater for arsen, siden det kan foreligge i mange forskjellige former i fisken (Cubadda, et al., 2017; Sele, et al., 2012) og det er ikke forutsigbart, hvor mye som vil følge mel eller oljefraksjonen under en prosessering.

3.4 Statistiske analyser

For å undersøke korrelasjonene mellom fremmedstoffene og gjennomsnittslengde av fisken i samleprøvene tatt på forskjellige dybder, ble det brukt Pearsons korrelasjonsanalyse.

4 Resultater og diskusjon

4.1 Metaller

Metallkonsentrasjonene (gjennomsnitt samt største og minste målte verdi) i de tre fiskeartene som ble tatt i Norskehavet og Sognefjorden er vist i Table 6.

Table 6 Metal concentrations [mg/kg ww] measured in the different species from the Norwegian Sea and Sognefjord. (Upper bound) Means, minima and maxima are shown for all measured samples with n>1.

Area	Species	Element [mg/kg ww]	Hg	Cd	As	Pb	Se	Zn	Cu	Fe	Mn	Co	Mo	V
Northern Norwegian Sea	<i>Benthosema glaciale</i>	Mean	0.019	0.067	1.4	0.021	0.58	8.0	0.55	8.0	0.78	0.009	0.030	0.046
		Min	0.014	0.044	1.2	0.007	0.54	7.3	0.45	5.0	0.65	0.007	0.030	0.037
		Max	0.024	0.086	1.8	0.089	0.67	8.9	0.65	14	0.89	0.013	0.030	0.057
	<i>Arctozenus risso</i>	Mean	0.019	0.024	1.2	0.61	0.79	14	0.89	130	2.4	0.027	0.031	0.030
		Min	0.013	0.006	1.8	0.007	0.51	6.5	0.54	5.0	0.87	0.007	0.020	0.015
		Max	0.02	0.018	2.0	0.010	0.74	8.3	0.97	18	1.8	0.011	0.030	0.74
Sognefjorden	<i>Benthosema glaciale</i>	Mean	0.016	0.009	1.9	0.008	0.60	7.1	0.77	9.0	1.1	0.008	0.027	0.20
		Min	0.013	0.006	1.8	0.007	0.51	6.5	0.54	5.0	0.87	0.007	0.020	0.015
		Max	0.02	0.018	2.0	0.010	0.74	8.3	0.97	18	1.8	0.011	0.030	0.74
	<i>Maurolicus muelleri</i>	Mean	0.026	0.034	3.8	0.009	0.63	12	1.1	22	1.3	0.010	0.027	0.26
		Min	0.018	0.024	2.5	0.006	0.48	9.9	0.9	18	1.2	0.008	0.022	0.14
		Max	0.032	0.049	4.6	0.014	0.82	12	1.5	25	1.4	0.014	0.035	0.37

I noen prøver var konsentrasjonen av toksiske metaller over grenseverdien for muskelkjøtt av fisk til mat (FOR-2015-07-03-8700; EU, 2006a). Den gjennomsnittlige konsentrasjonen av kadmium i prøvene av nordlig lysprikkfisk, *Benthosema glaciale*, fra Norskehavet var over grenseverdien på 0,05 mg/kg våtvekt som også gjelder for hel fisk, når fisken skal spises hel. Kadmium akkumuleres hovedsakelig i nyre og lever av fisken, og det er ikke overraskende å finne høyere verdier i hel fisk sammenlignet med rent muskelkjøtt. For noen andre fiskearter som ansjos og sardin, som ofte spises hel, er grenseverdien satt til 0,25 mg/kg våtvekt i muskelkjøtt og hel fisk.

Grenseverdien på 0,3 mg/kg våtvekt for bly ble overskredet i prøven av liten laksetobis, *Arctozenus risso*. Her ble det dessverre kun tatt en samleprøve og resultatet burde bekreftes med flere målinger. Ellers var konsentrasjonene lave eller under kvantifiseringsgrensen. Ingen av prøvene hadde konsentrasjoner av kvikksølv over grenseverdien på 0,5 mg/kg våtvekt gitt for fiskemuskel beregnet til humant konsum.

Estimatene for gjennomsnittlige konsentrasjoner av metallene kadmium, kvikksølv og bly i fiskemel etter en tenkt prosessering bestemt ved hjelp av formel (1) er vist i Table 7. Verdiene ligger under grenseverdien for kvikksølv, kadmium og bly gitt for fiskemel med et vanninnhold på 12 % på henholdsvis 0,1, 2 og 10 mg/kg våtvekt (FOR-2002-11-07-1290) for alle arter og begge områder. Siden prosesseringsmetoden av mesopelagisk fisk til fôrmidler ikke er fullt utviklet enda, kan tallene vist her kun ansees som en indikasjon. Avhengig av prosesseringsmetoden kan tallene avvike i større grad. Det hadde vært ønskelig å utvikle prosesseringsfaktorer for den endelige prosesseringen. Det ville gi mulighet for å estimere innholdet av de forskjellige fremmedstoffene i prosesseringsproduktene.

I en vurdering av *Benthoosema pterotum*, fisket i Gulfen av Oman, som fôringmiddel i fiskefôr ble det også målt metaller (El-Mowafi, et al., 2010). Nivåene av Hg, Cd, Pb og As ble målt til henholdsvis 0,10, 1,73, 0,09 og 13,8 mg/kg tørrvekt og ligger på samme nivåene som våre målinger i *Benthoosema glaciale*.

Table 7 Estimated concentrations [mg/kg] of mercury (Hg), cadmium (Cd) and lead (Pb) in fish meal with a water content of 12% from different species of mesopelagic fish from the Norwegian Sea and Sognefjord.

Area	Species	Element in fish meal [mg/kg]	Hg	Cd	Pb	Dry matter
Northern Norwegian Sea	<i>Benthoosema glaciale</i>	Mean	0.061	0.22	0.068	0.31
	<i>Arctozenus risso</i>	Mean	0.061	0.077	2.0	0.32
Sognefjorden	<i>Benthoosema glaciale</i>	Mean	0.055	0.031	0.027	0.29
	<i>Maurolicus muelleri</i>	Mean	0.096	0.13	0.033	0.27
Maximum limit			0.1	2	10	-

De andre metallene som ble målt, selen, sink, kobber, jern og mangan og vanadium var tilstede i målbare konsentrasjoner, men med lave konsentrasjoner i alle prøvene. Med unntak av prøven av liten laksetobis med en høy konsentrasjon på 130 mg/kg våtvekt jern, var konsentrasjonene ellers ikke spesiell høye eller lave i forhold til andre fiskearter. Som nevnt, burde resultatene for bly i laksetobis bekreftes med flere analyser av arten.

Elementene kobolt og molybden var enten under kvantifiseringsgrensen eller tilstede i svært lave konsentrasjoner.

4.1.1 Variasjon mellom stasjoner i Nordlig lysprikkfisk

Noen metallkonsentrasjoner i nordlig lysprikkfisk varierte mellom Norskehavet og Sognefjorden.

Konsentrasjonene av kadmium i nordlig lysprikkfisk fra Norskehavet var sammenlignbare mellom stasjonene, mens prøvene som ble tatt i Sognefjorden var mye lavere (Figure 2). Det er interessant siden alle prøvene fra Norskehavet (stasjon 1-7) overskred grenseverdien for kadmium gitt for fiskemuskel til humant konsum, mens prøvene fra Sognefjorden (stasjon 8), var betydelig under denne grenseverdien (0,5 mg/kg våtvekt).

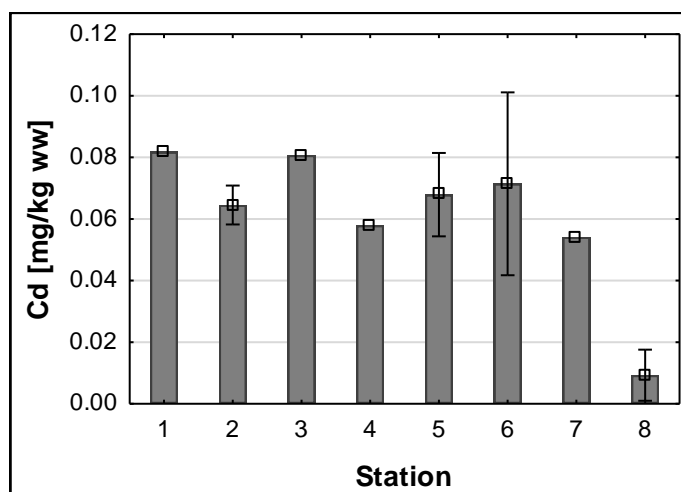


Figure 2 Concentrations of Cadmium in *Benthosema glaciale* sampled at the different stations (1-7 Norwegian sea, 8 Sognefjorden). Mean and 95% confidence intervals are indicated if $n > 1$.

Dette funnet bør følges opp med analyser fra flere stasjoner og flere arter for å se om mønsteret er artsspesifikt, siden kadmiumkonsentrasjonen i fisk fra Norskehavet ligger over grenseverdien for kadmium gitt for fiskemuskel til human konsum. Konsentrasjonen av kvikksølv, bly og mangan viste samme trenden med lave konsentrasjoner i fisk fra Sognefjorden (stasjon 8), men ikke like tydelig (Table 6).

Konsentrasjonen av metallene arsen, kobber og mangan var noe høyere i lysprikkfisk fra Sognefjorden enn fra Norskehavet (Table 6).

4.1.2 Variasjon mellom arter

I Norskehavet var konsentrasjonene av kadmium i nordlig lysprikkfisk høyere enn i liten lasketobis. Ellers var konsentrasjonene av bly, sink, kobber og mangan lavere i nordlig lysprikkfisk.

I prøvene tatt i Sognefjorden, var konsentrasjonene i nordlig lysprikkfisk generelt lavere enn konsentrasjonen i laksesild. Det var mest tydelig for kvikksølv, kadmium, arsen, sink, kobber og jern.

4.1.3 Variasjon mellom dybder i Nordlig lysprikkfisk og sammenheng med fiskestørrelse

Trenden for lengde og vekt på de forskjellige dybdene viser at små fisk står grunnere (Table 8), som vist tidligere (Giske, et al., 1998). Konsentrasjonene av metallene Hg, Cd, Cu og V er også lavere på mindre dybder, mens konsentrasjonene av Fe og Zn er høyere jo grunnere fisken ble tatt (Table 8). I tillegg var korrelasjonene mellom lengde og konsentrasjon statistisk signifikant for flere metaller (Table 9).

Table 8 Mean metal concentrations [mg/kg ww], length [cm] and weight [g] measured in *Benthosema glaciale* from the Norwegian Sea at different depths [m].

Station	Depth	Hg	Cd	As	Pb	Se	Zn	Cu	Fe	Mn	V	Weight	Length
2	600	0.022	0.064	1.2	0.017	0.57	7.8	0.58	6.8	0.81	0.057	2.57	6.25
	500	0.022	0.074	1.7	0.019	0.65	7.9	0.58	6.0	0.75	0.045	2.16	6.36
	400	0.016	0.0566	1.3	0.028	0.61	8.2	0.51	11	0.77	0.039	1.60	5.25
5	600	0.022	0.086	1.3	0.0088	0.54	8.2	0.65	5.7	0.86	0.055	1.98	6.12
	500	0.0202	0.073	1.4	0.0076	0.55	7.7	0.54	7.9	0.76	0.043	2.06	5.99
	400	0.016	0.045	1.2	0.055	0.63	8.8	0.51	11	0.86	0.044	1.34	5.12
6	700	0.023	0.074	1.2	0.007	0.55	7.9	0.52	4.9	0.84	0.053	2.03	6.11
	500	0.020	0.073	1.4	0.008	0.55	7.7	0.54	7.9	0.76	0.043	2.06	5.98

Table 9 Correlation coefficient of the concentration of the measured elements and measured average length of the pooled samples of *Benthosema glaciale* from different fishing depths at station 2, 5 and 6. Total N=22 for all metals. Significant correlations ($p<0.05$) are indicated with an asterisk.

Correlation coefficient	Hg	Cd	As	Pb	Se	Zn	Cu	Fe	Mn	V
Length	0.82*	0.53*	0.31	-0.33*	-0.11	-0.53	0.74*	-0.58*	0.12	0.58*

Kvikksølv viser den sterkeste korrelasjonen mellom konsentrasjon og fiskestørrelse. Det ble vist tidligere, at kvikksølvkonsentrasjonen er korrelert med størrelse, siden kvikksølv blir bioakkumulert over tid (Canli & Atli, 2003). I tillegg ble det vist tidligere, at konsentrasjonen av kvikksølv i fisk kan øke med dybden uavhengig av størrelse, noe som kan ha bidratt til den sterke korrelasjonen funnet her (Choy, et al., 2009). Flere analyser er nødvendig for å finne ut hva som driver korrelasjonen. Den positive korrelasjonen mellom kadmiumkonsentrasjon og størrelse funnet i fisk fra Norskehavet kan forklare de lavere konsentrasjonene i *Benthosema glaciale* fra Sognefjorden sammenlignet med Norskehavet, siden fisk fra Sognefjorden var mindre. Å fokusere fiskeriet på fisk som står grunnere kunne bidra til lavere nivå av kvikksølv, kadmium og arsen i fangsten.

4.2 Organiske miljøgifter

Konsentrasjoner av de ulike målte organiske miljøgiftene (gjennomsnitt samt største og minste målte verdi) i de ulike fiskeartene som ble tatt i Norskehavet og Sognefjorden er vist i Table 10.

Table 10 Concentrations of the sum dioxins and furans (PCDD/F), sum mono-ortho and non-ortho PCB (dl-PCB), sum PCDD/F+dioxin-like PCBs (PCDD/F+dl-PCB), sum PCB₆, sum PCB₇, sum of PBDE₇ and the major PBDE congener PBDE-47 in the different mesopelagic fish species from the Norwegian Sea and Sognefjorden. (Upper bound) Means, minima and maxima are shown for all measured samples with n>1 including the EU maximum level in fish muscle for human consumption.

Area	Species	POPs	Sum PCDD/F [ng 2005-TEQ/kg ww]	Sum dl-PCBs [ng 2005-TEQ/kg ww]	PCDD/F + dl-PCB [ng 2005-TEQ/kg ww]	PCB ₆ [µg/kg ww]	PCB ₇ [µg/kg ww]	PBDE ₇ [µg/kg ww]	PBDE47 [µg/kg ww]	
Northern Norwegian Sea	<i>Benthosema glaciale</i>	Mean	0.59	0.42	1.0	2.7	3.1	0.24	0.12	
		Min	0.42	0.29	0.73	2.0	2.4	0.18	0.091	
		Max	0.83	0.55	1.35	4.0	4.4	0.31	0.15	
	<i>Arctozenus risso</i>	Mean	0.32	0.22	0.54	3.5	3.9	0.26	0.13	
		<i>Benthosema glaciale</i>	Mean	0.51	0.51	1.1	5.0	5.7	0.46	0.23
			Min	0.44	0.43	0.87	4.5	5.2	0.43	0.20
Max	0.58		0.61	1.1	5.7	6.5	0.50	0.25		
Sognefjorden	<i>Maurolicus muelleri</i>	Mean	0.51	0.33	0.84	5.7	6.3	0.54	0.30	
		Min	0.34	0.21	0.54	3.2	3.5	0.34	0.19	
		Max	0.72	0.47	1.2	8.1	9.1	0.74	0.42	
Maximum level			3.5	-	6.5	75	-	-		

Alle prøvene hadde konsentrasjoner langt under grenseverdiene på 3,5 ng TE/kg våtvekt som gjelder sum dioksiner og 6,5 ng TE/kg våtvekt som gjelder sum dioksiner og dl-PCB i filet. Konsentrasjonene av PCB₆ var også godt under grenseverdien for PCB₆ i filet av fisk til humant konsum, på 75 µg/kg våtvekt.

Estimatene for konsentrasjonene av dioksiner og furaner, summen av dioksiner, furaner og dl-PCBs og PCB₆ i fiskeolje etter prosessering (Formel (2)) er vist i Table 121. Ingen av estimatene overskrider grenseverdiene gitt for føremidler til fisk (fiskeolje), men estimatene for dioksiner og furaner som ble beregnet til 4.9 ng 2005-TEQ/kg ww er ikke langt under gitt grenseverdi for sum dioksiner og furaner som er på 5 ng 2005-TEQ/kg ww. Også her må det tas hensyn til usikkerheten i forbindelse med de utførte estimatene. De endelige konsentrasjonene vil være avhengig av flere ukjente faktorer og variere mye, alt etter den faktiske prosesseringen.

I *Benthosema pterotum*, fisket i Gulfen av Oman, ble sum PCDD/F og sum PCDD/F+dlPCB målt til henholdsvis 0,1 og 0,249 TEQ ng/kg tørrvekt (El-Mowafi, et al., 2010). Det betyr at *Benthosema glaciale* målt her, var litt høyere.

Table 11 Estimated mean concentrations of sum PCDD/F, sum PCDD/F + dl-PCB [ng 2005-TEQ/kg] and PCB6 [µg/kg] in fish oil from different species of mesopelagic fish from the Norwegian Sea and Sognefjord assuming that all POPs end up in the fish oil fraction after processing.

Area	Species	Conc in fish oil	Sum PCDD/F [ng 2005-TEQ/kg ww]	PCDD/F + dl-PCB [ng 2005-TEQ/kg ww]	PCB6 [µg/kg ww]	Total fat [%]
Northern Norwegian Sea	<i>Benthoosema glaciale</i>	Mean	4.9	8.3	23	12
	<i>Arctozenus risso</i>	Mean	2.3	3.9	25	14
Sognefjorden	<i>Benthoosema glaciale</i>	Mean	4.6	10	45	11
	<i>Maurolicus muelleri</i>	Mean	4.3	7.0	48	12
Maximum level			5.0	20	175	-

Kun prøvene av *Benthoosema glaciale* tatt i Sognefjorden inneholdt en kvantifiserbar mengde av PFOS med en gjennomsnittsverdi på 1,9 µg/kg våtvekt og en maksimumsverdi på 2,3 µg/kg våtvekt. Konsentrasjonen av perfluoreerte alkylstoffer i de øvrige prøvene var under kvantifiseringsgrensen.

4.2.1 Variasjon mellom stasjoner i Nordlig lysprikkfisk

Konsentrasjonene av dioksiner og furaner, dl-PCBs og summen av dem, varierte ikke tydelig mellom stasjonene. Konsentrasjonene for PCB og PBDE derimot var mye høyere i nordlig lysprikkfisk fra Sognefjorden (Table 10). I tillegg inneholdt, som nevnt, kun fisk fra Sognefjorden en kvantifiserbar konsentrasjon av PFOS. Dette kan tyde på en høyere konsentrasjon av PFOS i dette fjordområdet sammenlignet med mesopelagiske prøver fra havområdene.

4.2.2 Variasjon mellom arter

I Norskehavet var konsentrasjonene av dioksiner og furaner, dl-PCBs og summen av dem høyere i nordlig lysprikkfisk enn i liten laksetobis.

I prøvene tatt i Sognefjorden, var konsentrasjonene i nordlig lysprikkfisk omtrent på samme nivå som i laksesild.

4.2.3 Variasjon mellom dybder i Nordlig lysprikkfisk og sammenheng med fiskestørrelse

Det ble ikke funnet noe sammenheng mellom fiskedybde og konsentrasjon av de målte organiske miljøgiftene.

Table 12 Mean concentrations of the different measured organic pollutants, fat content and length measured in *Benthosema glaciale* at different depths [m] from station 2, 5 and 6.

Station	Depth [m]	Sum PCDD/F [ng 2005-TEQ/kg ww]	Sum dl-PCBs [ng 2005-TEQ/kg ww]	PCDD/F + dl-PCB [ng 2005-TEQ/kg ww]	PCB6 [µg/kg ww]	PBDE7 [µg/kg ww]	Fat content* [g/100g]	Length [cm]
2	600	0.60	0.47	1.1	3.2	0.25	11	6.25
	504	0.76	0.54	1.3	3.3	0.29	15	6.36
	402	0.49	0.32	0.82	2.1	0.19	12	5.25
5	597	0.64	0.43	1.1	2.8	0.25	12	6.12
	498	0.64	0.47	1.1	3.0	0.27	13	5.99
	392	0.48	0.30	0.78	2.2	0.20	11	5.12
6	695	0.58	0.39	0.96	2.4	0.23	11	6.11
	498	0.56	0.40	0.96	2.4	0.23	13	5.98

*basert på etylacetat-metoden

Kun Sum PCDD/F og sum PCDD/F+dioksin-lignende PCBs viste en signifikant korrelasjon med størrelse av fisken med en korrelasjonskoeffisient på 0,75 og 0,61.

4.3 Klorerte Pesticider

For fem av de klorerte pesticidene (Aldrin, endosulfan, beta-HCH, delta-HCH, gamma-HCH,) var alle målte konsentrasjonene under kvantifiseringsgrensen. Konsentrasjonene for de resterende målte pesticidene i de ulike fiskeartene som ble tatt i Norskehavet og Sognefjorden samt største målte verdi er vist i Table 13.

Table 13 Concentrations [$\mu\text{g}/\text{kg}$ wet weight] of the measured chlorinated pesticides in the mesopelagic fish species from the Norwegian Sea and Sognefjord. For DDT, endosulfan, chlordane, heptachlor and toxaphene, the sum of metabolites are shown. Upper bound means and maxima are shown for all measured samples with $n > 1$.

Area	Species	[$\mu\text{g}/\text{kg}$ ww]	DDT	Chlordane	Heptachlor	Toxaphene	Alpha-HCH	Dieldrin	Endrin	Mirex	Pentachloro-benzene	Trans-Nanochlor	Octachloro-styrene	HCB
Northern Norwegian Sea	<i>Benthoosema glaciale</i>	Mean	5.0	2.0	0.8	5.3	0.39	1.83	0.60	0.15	0.91	1.0	0.08	2.3
		Max	6.6	3.3	1.2	7.4	0.53	3.7	0.85	0.21	1.2	2.8	0.11	3.5
Sognefjorden	<i>Arctozenus risso</i>	Mean	5.6	2.2	1.1	6.3	0.50	2.0	0.60	0.20	1.0	1.0	0.10	3.0
		Max	6.7	1.4	1.0	3.7	0.47	1.3	0.56	0.19	0.93	0.62	0.09	0.93
Sognefjorden	<i>Benthoosema glaciale</i>	Mean	6.7	1.4	1.0	3.7	0.47	1.3	0.56	0.19	0.93	0.62	0.09	0.93
		Max	16	1.6	1.1	4.0	0.49	1.6	0.59	0.20	0.98	0.83	0.10	0.98
Sognefjorden	<i>Maurolicus muelleri</i>	Mean	8.9	0.9	0.53	2.2	0.17	1.9	0.22	0.07	0.33	0.73	0.09	1.0
		Max	12	1.1	0.67	2.3	0.17	2.84	0.26	0.07	0.35	0.88	0.09	1.5

Verdiene er generelt lave og mange verdier ligger under kvantifiseringsgrensene (Table 4 og Table 13). Derfor ble det ikke gjennomført flere sammenligninger og ikke estimert verdier i fiskeolje. Det er ikke grenseverdier for pesticider i fisk beregnet til humant konsum.

Sammenlignet med innholdet av DDT i andre arter av lysprikkfisk fra det nord-vestlige Stillehavet var konsentrasjonene funnet her i norske farvann forholdsvis lave. I Stillehavet ble det funnet konsentrasjoner mellom 3 og opp til 35 $\mu\text{g}/\text{kg}$ våtvekt og konsentrasjonen varierte mellom de forskjellige undersøkte artene (Takahashi, et al., 2000). *Benthoosema suborbitale* fisket i Gulfen av Mexico inneholdt 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ våtvekt (Baird, et al., 1975) og er dermed sammenlignbar med nordlig lysprikkfisk undersøkt her.

4.4 Voksestere og Erukasyre

Konsentrasjonene av voksestere var høye i både nordlig lysprikkfisk og liten laksetobis fisket i Norskehavet, med gjennomsnittlig konsentrasjon på 102 mg/g og 130 mg/g våtvekt. Dette utgjør en stor andel av det totale fettinnholdet som var 125 mg/g våtvekt i nordlig lysprikkfisk og 135 mg/g våtvekt i liten laksetobis. Det ble ikke funnet noe klar sammenheng mellom nivåene av lipider og voksestere og dybde eller stasjon (Table 14).

Siden voksestere ikke blir absorbert i tarmen hos mennesker, kan et høyt inntak føre til «oily diarrhoea» eller «keriorrhea», altså løs mage fulgt av oppkast og svimmelhet. Keriorrhea ble hovedsakelig observert i forbindelse med konsum av de to fiskeartene oljefisk (*Ruvettus pretiosus*) og escolar (*Lepdocybium flavobrunneum*), som inneholder 20% fett med en andel av 90% voksestere, noe som tilsvarer 18 % voksestere i filet (Ling, et al., 2008; Ling, et al., 2009). Fettinnholdet i nordlig lysprikkfisk var på omtrent 13% og andel voksestere på nesten 82%. I liten laksetobis var fettinnholdet på 14% og derav var 93% voksestere. Dermed vil et kilo filet av oljefisk inneholde omtrent 180 g voksestere i forhold til 105 g voksestere i hel nordlig lysprikkfisk og henholdsvis 130 g per kilo hel liten laksetobis. Det er ikke etablert noe tolerabelt inntak, men siden et inntak av 140 g escolar kan føre til kerriorrhea (Ling, et al., 2009), kunne konsum av 240 g nordlig lysprikkfisk og 195 g liten laksetobis eventuelt føre til symptomer. Voksesterne blir ikke brutt ned under koking eller frysing og må derfor tas hensyn til hvis fisk med høy innhold skal konsumeres (Ling, et al., 2009).

Table 14 Concentrations of the sum of lipids, wax esters and erucic acid in the different species from the Norwegian Sea from different stations and depths.

Species	Station	Depth	Total fat [mg/g ww] (Mean ± SD)	Wax esters [mg/g ww]	Erucic acid [mg/g ww]	Sum omega-3 [mg/g ww]	Sum omega-6 [mg/g ww]
<i>Bentosema glaciale</i>	1	450	120	100	1.1	14	1.5
	2	600	110	93	1.0	13	1.3
	2	500	140	130	1.1	15	1.6
	2	400	120	79	0.82	15	1.2
	7	300	130	110	1.0	15	1.4
	3	400	130	100	1.2	15	1.4
	5	500	130	110	0.94	14	1.3
<i>Arctozenus risso</i>	1	450	140	130	0.67	22	1.8

Konsentrasjonene av erukasyre (22:1n-9) er høyere i nordlig lysprikkfisk med gjennomsnittlig 1,0 mg/g våtvekt sammenlignet med samleprøven av liten laksetobis med 0.67 mg/g. Ingen klar sammenheng mellom konsentrasjonene og dybder eller stasjoner er synlig. Erukasyre kan være skadelig for hjertet og EFSA har foreslått et begrenset inntak (EFSA CONTAM Panel, 2016). I forhold til andre fiskearter fra norske farvann, er de målte konsentrasjonene ikke spesielt høye. For eksempel finner man omtrent like høyere konsentrasjoner av erukasyre i filet av fettrik fisk som villaks, oppdrettslaks eller norsk vårgytende sild. Makrell og blåkveite har mye høyere gjennomsnittlige konsentrasjoner på over 2 mg/g våtvekt (Sissener, et al., 2018).

5 Konklusjon

Kadmiumkonsentrasjonene i sampleprøvene av nordlig lysprikkfisk fra Norskehavet var over grenseverdien som er satt for muskelkjøtt av fisk og eventuelt hele fisken når fisken skal spises hel, mens konsentrasjonene i nordlig lysprikkfisk fra Sognefjorden var langt under. Grenseverdien for bly ble overskredet i prøven av liten laksetobis, men siden det kun ble målt en samleprøve burde resultatet bekreftes med flere målinger. De øvrige målte metallkonsentrasjonene var lave.

Sammenhengen som ble funnet mellom fiskedybde og noen metallkonsentrasjoner kan delvis forklares av størrelsen av fisken på de forskjellige dybder. Estimatberegninger av nivåene for metallkonsentrasjoner av prøvene til prosessert fiskemel var langt under gjeldende grenseverdier gitt i forskrift om fôrvarer.

Konsentrasjonene av de organiske miljøgiftene var lave og langt under grenseverdiene som gjelder for fiskemuskel til humant konsum. Estimatene for organiske miljøgifter i fiskeolje var også under grenseverdien gitt i forskrift om fôrvarer. Nordlig lysprikkfisk fra Sognefjorden viste høyere verdier av PCB₆ og PBDE₇ sammenlignet med de andre prøvene i denne rapporten.

Nivåene av voksestere i nordlig lysprikkfisk og liten laksetobis fra Norskehavet på henholdsvis 105 og 130 g/kg våtvekt og dette ligger litt under de nivåene som ble funnet i escolar og oljefisk på 180 g/kg våtvekt. For escolar er det rapportert at konsum av 140g, iblant førte til negative helseeffekter og 240 g nordlig lysprikkfisk og 195 g liten laksetobis inneholder en tilsvarende mengde voksestere. Konsentrasjonene av erukasyre var sammenlignbare med nivåene som har blitt rapportert for annen fettrik fisk som for eksempel sild.

6 Referanser

- FOR-2002-11-07-1290. Forskrift om fôrvarer. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2002-11-07-1290>.
- FOR-2015-07-03-8700. Forskrift om visse forurensende stoffer i næringsmidler. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-07-03-8700>.
- Baird, R., Thompson, N., Hopkins, T., & Weiss, W. (1975). Chlorinated hydrocarbons in mesopelagic fishes of the eastern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 25(4), 473-481.
- Canli, M., & Atli, G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution*, 121(1), 129-136.
- Cherel, Y., Fontaine, C., Richard, P., & Labatc, J.-P. (2010). Isotopic niches and trophic levels of myctophid fishes and their predators in the Southern Ocean. *Limnology and Oceanography*, 55(1), 324-332.
- Choy, C. A., Popp, B. N., Kaneko, J. J., & Drazen, J. C. (2009). The influence of depth on mercury levels in pelagic fishes and their prey. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(33), 13865-13869.
- Cubadda, F., Jackson, B. P., Cottingham, K. L., Van Horne, Y. O., & Kurzius-Spencer, M. (2017). Human exposure to dietary inorganic arsenic and other arsenic species: State of knowledge, gaps and uncertainties. *Science of the Total Environment*, 579, 1228-1239.
- Dalpadado, P., Ellertsen, B., Melle, W., & Skjoldal, H. R. (1998). Summer distribution patterns and biomass estimates of macrozooplankton and micronekton in the Nordic Seas. *Sarsia*, 83(2), 103-116.
- Dypvik, E., Klevjer, T. A., & Kaartvedt, S. (2012). Inverse vertical migration and feeding in glacier lanternfish (*Benthosema glaciale*). *Marine Biology*, 159(2), 443-453.
- EFSA CONTAM Panel. (2016). Erucic acid in feed and food. *EFSA Journal*, 14(11).
- El-Mowafi, A., Nanton, D., & Berntssen, M. (2010). Evaluation of lantern fish (*Benthosema Pterotum*) as marine source in fish feeds: nutrient composition and contaminants assessment. *Proc. 3rd Global Fisheries Aquacult. Res. Conf. Foreign Agricultural Relations (FAR), Egypt* (Vol. 29, pp. 12-23).
- EU. (2006a). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 49(L364), 5-24.
- EU. (2006b). Commission Regulation (EC) No 1881/2006, of 19 December 2006, setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *The Official Journal of the European union*, 49(OJ L 364 20.12.2006, p. 5).
- Giske, J., Aksnes, D. L., Baliño, B. M., Kaartvedt, S., Lie, U., Nordeide, J. T., Salvanes, A. G. V., Wakili, S. M., & Aadnesen, A. (1990). Vertical distribution and trophic interactions of zooplankton and fish in Masfjorden, Norway. *Sarsia*, 75(1), 65-81.
- Giske, J., Skjoldal, H. R., & Slagstad, D. (1998). Ecological modelling for fisheries. In *Models for multispecies management* (pp. 11-68): Springer.
- Gjøsaeter, J., & Kawaguchi, K. (1980). *A review of the world resources of mesopelagic fish*: Food & Agriculture Org.
- Irigoiien, X., Klevjer, T. A., Røstad, A., Martinez, U., Boyra, G., Acuña, J., Bode, A., Echevarria, F., González-Gordillo, J. I., & Hernandez-Leon, S. (2014). Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nature communications*, 5, ncomms4271.
- Julshamn, K., Duinker, A., Berntssen, M., Nilsen, B. M., Frantzen, S., Nedreaas, K., & Maage, A. (2013). A baseline study on levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans, non-ortho and mono-ortho PCBs, non-dioxin-like PCBs and polybrominated diphenyl ethers in Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) from different parts of the Barents Sea. *Marine pollution bulletin*, 75(1-2), 250-258.

-
- Julshamn, K., Maage, A., Norli, H. S., Grobecker, K. H., Jorhem, L., & Fecher, P. (2007). Determination of arsenic, cadmium, mercury, and lead by inductively coupled plasma/mass spectrometry in foods after pressure digestion: NMKL1 interlaboratory study. *Journal of AOAC International*, *90*(3), 844-856.
- Ling, K. H., Cheung, C. W., Cheng, S. W., Cheng, L., Li, S.-L., Nichols, P. D., Ward, R. D., Graham, A., & But, P. P.-H. (2008). Rapid detection of oilfish and escolar in fish steaks: A tool to prevent keriorrhea episodes. *Food chemistry*, *110*(2), 538-546.
- Ling, K. H., Nichols, P. D., & But, P. P. H. (2009). Fish induced keriorrhea. *Advances in food and nutrition research*, *57*, 1-52.
- Proud, R., Handegard, N. O., Kloser, R. J., Cox, M. J., & Brierley, A. S. (2018). From siphonophores to deep scattering layers: uncertainty ranges for the estimation of global mesopelagic fish biomass. *ICES Journal of Marine Science*.
- Sele, V., Sloth, J. J., Lundebye, A.-K., Larsen, E. H., Berntssen, M. H., & Amlund, H. (2012). Arsenolipids in marine oils and fats: a review of occurrence, chemistry and future research needs. *Food chemistry*, *133*(3), 618-630.
- Sissener, N., Ørnsrud, R., Sanden, M., Frøyland, L., Remø, S., & Lundebye, A.-K. (2018). Erucic Acid (22: 1n-9) in Fish Feed, Farmed, and Wild Fish and Seafood Products. *Nutrients*, *10*(10), 1443.
- Skjoldal, H. R. (2004). *The Norwegian Sea Ecosystem*. Trondheim: Tapir Academic Press.
- Takahashi, S., Tanabe, S., & Kawaguchi, K. (2000). Organochlorine and butyltin residues in mesopelagic myctophid fishes from the western North Pacific. *Environmental science & technology*, *34*(24), 5129-5136.
- Torstensen, B., Frøyland, L., & Lie, Ø. (2004). Replacing dietary fish oil with increasing levels of rapeseed oil and olive oil—effects on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) tissue and lipoprotein lipid composition and lipogenic enzyme activities. *Aquaculture Nutrition*, *10*(3), 175-192.
- Torstensen, B. E., Espe, M., Stubhaug, I., & Lie, Ø. (2011). Dietary plant proteins and vegetable oil blends increase adiposity and plasma lipids in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British Journal of Nutrition*, *106*(5), 633-647.

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

