KVIKKSØLV I SJØMAT VED U-864

Resultater fra overvåkning i 2018

Sylvia Frantzen, Amund Måge og Monica Sanden (HI)



RAPPORT FRA HAVFORSKNINGEN NR. 2019-38

Tittel (norsk og engelsk):

Kvikksølv i sjømat ved U-864

Mercury in seafood at U-864

Undertittel (norsk og engelsk):

Resultater fra overvåkning i 2018

Results from monitoring in 2018

Rapportserie:	**År - Nr.:**	**Dato:**
Rapport fra Havforskningen	2019-38	14.10.2019

ISSN:1893-4536

Forfatter(e):

Sylvia Frantzen, Amund Måge og Monica Sanden (HI)

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): *Gro-Ingunn Hemre* Programleder(e): *Livar Frøyland*

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr:

15224

Oppdragsgiver(e):

Kystverket

Oppdragsgivers referanse:

3260BHPM

Program:

Trygg og sunn sjømat

Forskningsgruppe(r):

Fremmed- og smittestoff (FRES)

Antall sider:

26

Sammendrag (norsk):

Vraket av ubåten U-864 som ligger på rundt 150 m dyp ved Fedje hadde store mengder kvikksølv om bord da den ble senket, og sjøbunnen rundt er sterkt forurenset av metallisk kvikksølv. Havforskningsinstituttet overvåker årlig, på vegne av Kystverket, innholdet av kvikksølv i sjømat fisket rundt vraket samt fire nautiske mil nord og sør for vraket. I 2018 analyserte vi filet av 70 brosmer (*Brosme brosme*) og klokjøtt og innmat av 79 taskekrabber (*Cancer pagurus*). Syv brosmer hadde kvikksølvnivå over grenseverdien satt for mattrygghet i EU og Norge, og gjennomsnittlig kvikksølvnivå var relativt høyt. Nivåene var likevel innenfor det normale for kysten av Vestlandet, og ikke noe tilsier en økende trend. Både klokjøtt og innmat av krabber hadde relativt høyt kvikksølvnivå ved vraket og fire mil nord, men ingen var over grenseverdien som bare gjelder klokjøtt. Brunmat av kokte krabber og hepatopankreas av rå krabber hadde forhøyet nivå av totalkvikksølv, mens metylkvikksølvnivået var lavt. Dette skyldes trolig metallisk kvikksølv som krabbene har fått i seg direkte fra sedimentet, og analyser av stabile kvikksølvistoper har vist at en del av kvikksølvet i innmaten stammer fra U-864. Også klokjøtt av krabbe prøvetatt ved vraket og nord for vraket i 2018 hadde relativt høyt kvikksølvnivå. Siden alt kvikksølvet var metylkvikksølv er det lite sannsynlig at dette stammer fra vraket, og isotopsammensetningen tyder på at det forhøyede kvikksølvnivået i klokjøtt skyldes annen påvirkning. Det høye nivået i 2018 trenger ikke å bety en økning, men det er likevel viktig å følge med videre.

Sammendrag (engelsk):

The wreck of submarine U-864 located at around 150 m depth near the island of Fedje contained large amounts of mercury when it was sunk, and the surrounding sea floor is heavily polluted by elemental mercury. The Institute of Marine Resarch annually monitor, on behalf of the Norwegian Coastal Administration, the level of mercury in seafood caught around the wreck as well as four nautical miles north and south of the wreck. In 2018, we analysed fillet of 70 tusk (*Brosme brosme*) and claw meat and brown meat of 79 edible crabs (*Cancer pagurus*). Seven tusk had mercury levels above the maximum level set for food safety (EU and Norway), and the mean mercury level was relatively high. The levels were still within the normal range for the coast of south-west Norway, and nothing indicates an increasing trend. Both claw meat and brown meat of crabs had relatively high mercury levels at the wreck and four miles north, but none were above the maximum level, which only applies to claw meat. Brown meat of boiled crabs and hepatopancreas of raw crabs had elevated levels of total mercury, while the methyl mercury level was low. This is probably because metallic mercury is ingested by the crabs directly from the sediment, and analyses of stable mercury isotopes have shown that a part of the mercury in the brown meat originates from U-864. Also claw meat of crabs sampled at the wreck site and north of the wreck in 2018 had relatively high mercury levels. Since all the mercury was methyl mercury it unlikely that this originates from the wreck, and the isotope composition indicates that the elevated mercury level in claw meat has other sources. The high level in 2018 does not necessarily mean that there is an increase, but it is still important to pay attention to the development.

Innhold

1 Innledning 5

2 Materiale og metoder 6

2.1 Prøveinnsamling 6

2.2 Opparbeiding og analyse 7

3 Resultater og diskusjon 8

3.1 Brosme 8

3.2 Krabbe 10

3.2.1 *Klokjøtt* 10

3.2.2 *Brunmat og hepatopankreas* 13

4 Konklusjoner 16

5 Litteraturliste 17

6 Vedlegg 19

1 - Innledning

Den 9. februar 1945 ble den tyske ubåten U-864 torpedert og senket av en britisk ubåt vest av Fedje. Ubåten var på vei til Japan med en last krigsutstyr, og det er estimert at 67 tonn metallisk kvikksølv var lagret i jernflasker i kjølen. Vraket av ubåten og den farlige lasten ble liggende på rundt 150 meters dyp om lag tre kilometer vest for Fedje, og ble lokalisert først i 2003.

Analyser utført i 2003, verifisert gjennom en større kartlegging i 2005 (Uriansrud m.fl. 2005), viste at prøver av sedimenter tatt ved vraket inneholdt høye konsentrasjoner av kvikksølv. Dette bekreftet at det var kvikksølv i lasten og at en del av flaskene med kvikksølv ble ødelagt under torpederingen slik at kvikksølv ble spredd til sedimentet. En ny kartlegging ved vraket i 2013 bekreftet de høye kvikksølvnivåene i sedimentene (Solhjell og Lunne 2013). De høyeste kvikksølvkonsentrasjonene i sedimentet er funnet nærmest vraket, innenfor en radius på ca. 100 meter, og nivåene avtar gradvis med økende avstand fra vraket. Et forsøk har vist at det er liten grad av metylering i sediment fra vrakområdet på grunn av lite organisk materiale (Kystverket 2015).

For å kunne vurdere i hvilken grad kvikksølv fra ubåtvraket og sedimentet rundt påvirker sjømattryggheten har NIFES årlig siden 2004 overvåket kvikksølvinnholdet i fisk og krabbe fra området (Måge m.fl. 2006; 2007; Frantzen m.fl. 2008; 2010; 2011; 2012; 2014; 2018; 2019: Haldorsen m.fl. 2013; Frantzen og Måge 2015; 2016). Kvikksølvanalysene har hvert år siden 2009 blitt utført på prøver av brosme (*Brosme brosme*) og taskekrabbe (*Cancer pagurus*).

Overvåkningen viser at det er noe forhøyede nivåer av kvikksølv i brunmat av taskekrabbe fanget i vrakområdet, men ikke i klokjøtt av krabbe og muskel av brosme. Dette skyldes sannsynligvis at kvikksølvet i sedimentet i liten grad er metylkvikksølv, som er den formen som tas lettest opp i muskelvev (Bloom 1992). Metallisk kvikksølv fra sedimentet kan likevel inntas og være i fordøyelseskjertelen til krabben før det eventuelt skilles ut. I 2014 ble de kokte krabbeprøvene analysert for metylkvikksølv, og disse analysene viste at 100 % av kvikksølvet i klokjøttet var i form av metylkvikksølv, men at det i brunmat var lavere andel metylkvikksølv ved vraket og nord for vraket (Frantzen og Måge, 2015). At kvikksølv i brunmat av krabbene stammer fra vraket og sedimentet rundt ble bekreftet ved analyse for stabile kvikksølvisotoper, gjennomført ved Universitetet i Gent i et samarbeidsprosjekt (Rua-Ibarz m.fl. 2016). Her ble det funnet at brunmat av krabbene fisket nærmest vraket hadde en sammensetning av kvikksølvisotoper mer lik metallisk kvikksølv fra vraket og sedimentet enn de krabbene som var fisket fire nautiske mil nord og fire nautiske mil sør for vraket.

Muskel av brosme inneholder nesten bare metylkvikksølv, mens lever av brosme også inneholder uorganisk kvikksølv i ulik grad, og det er vanlig å finne høyere andel uorganisk kvikksølv i lever i områder forurenset av kvikksølv. Undersøkelser fra 2015 viste at det ikke var uvanlig mye uorganisk kvikksølv i lever av brosme fisket nær de forurensede sedimentende rundt ubåtvraket (Frantzen og Måge 2016). Lever og filet av brosme prøvetatt i 2015 ble også analysert for stabile kvikksølvisotoper, og dette arbeidet viste at brosme fra området ved U-864 ikke har annerledes isotopsammensetning enn brosme prøvetatt andre steder langs kysten av Vestlandet eller i Skagerrak (Rua-Ibarz m.fl. 2019). Disse resultatene støtter de tidligere antakelsene om at brosme i svært liten grad akkumulerer det metalliske kvikksølvet i sedimentet rundt ubåtvraket, hverken i filet eller lever.

I 2017 ble krabbe opparbeidet både med og uten koking. Dette viste at hepatopankreas av krabber som ikke var kokt hadde høyere nivå av kvikksølv, men ikke metylkvikksølv, enn brunmat av krabber som var kokt. Dette tyder på at koking medfører tap av metallisk kvikksølv, og i videre overvåkning vil det bli analysert både rå og kokte krabber.

I 2018 ble det igjen tatt prøver av krabbe og brosme ved vraket samt fire nautiske mil sør for vraket og fire nautiske mil nord for vraket. Filet av brosme, samt klokjøtt og brunmat av kokte krabber og klokjøtt og hepatopankreas av rå krabber ble analysert for totalkvikksølv. Krabbeprøver tatt ved vraket og fire mil sør for vraket ble i tillegg analysert for metylkvikksølv og stabile kvikksølvisotoper. Resultat fra kvikksølvisotopanalysene er beskrevet i en masteroppgave fra Universitetet i Gent (Dumont 2019).

2 - Materiale og metoder

2.1 - Prøveinnsamling

Vraket av U-864 ligger på 150 meters dyp omlag tre kilometer vest for øya Fedje, ved 60°46' N, 4°37' Ø (Figur 1). Prøvetakingen av brosme og krabbe ble gjennomført i perioden 23.-28. mai 2018 av Havforskningsinstituttets Jan Pedersen og Jan Hinriksson sammen med kystfisker Helge Torsvik med hans 43 fots fiskebåt M/K Vikingfjord (H-1-A). Prøvene ble tatt innenfor en to kilometers radius av posisjonene vist i figur 1; det vil si ved vraket, fire nautiske mil sør for vraket (4 nm S) og fire nautiske mil nord for vraket (4 nm N).

Målet var å få 25 brosme og 30 krabbe fra hver posisjon, men minimum 15 brosme og 20 krabbe. Det var utfordrende å få nok av både brosme og krabbe. Den samlede fangsten i hvert område er gitt i Tabell 1.

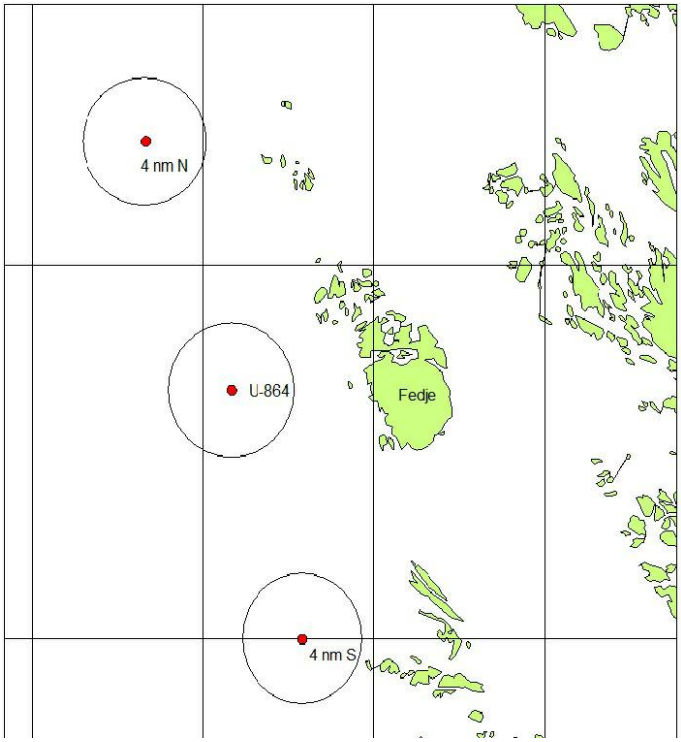

Figure 1. Map of the sea area off Fedje indicating the sampling areas. The red points mark the site of the submarine wreck (U-864), four nautical miles south of the wreck (4 nm S) and four nautical miles north of the wreck (4 nm N). The circles mark the areas within where the fishing gear was placed (2 km radius).

*Table 1. Total number of individuals caught of tusk (*Brosme brosme*) and edible crab (*Cancer pagurus*), respectively, during sampling in May 2018. The samples were taken at the site of the U-864 wreck, four nautical miles south (4 nm S) and four nautical miles north (4 nm N) of the wreck.*

Sampling area	Tusk	Edible crab
Wreck site U-864	25	21
4 nm S/ 5 nm S*	20	30
4 nm N /5 nm N	25	28

*Due to problems getting enough tusk at the stations, they were supplemented with fish caught further north and south.

Av brosme ble det fanget og analysert i alt 70 individer; 25 individer fra området ved vraket og fra 4 nm N og 20 individer fra 4 nm S. Av krabbe ble det tatt til sammen 79 individer; 21 fra vrakområdet, 30 fra 4 nm S og 28 fra 4 nm N.

Prøvene ble hver dag fraktet til kai ved Hellesøy i Øygarden og kjørt med bud til prøvemottaket i Bergen, hvor krabbene ble opparbeidet fra fersk, levende tilstand. Brosmene ble oppbevart ved -20°C frem til opparbeiding.

2.2 - Opparbeiding og analyse

Hver fisk ble lengdemålt og veid, og fisken ble filetert og skinnet fjernet. Taskekrabbene ble kjønnsbestemt, veid, og bredden på ryggskjoldet ble målt.

Halvparten av taskekrabbene ble kokt hele, og mage («pave») og gjeller ble fjernet før det ble tatt prøver av klokjøtt og brunmat fra hver krabbe. «Brunmat» vil si innmaten i krabbeskjellet som i tillegg til rogn og noe bindevev for det meste består av hepatopankreas (også kalt fordøyelseskjertelen, eller levermassen).

Den andre halvparten av krabbene ble avlivet ved stikking med syl gjennom to nervesentre etter standard metode fra Codex Alimentarius (WHO/FAO 2012), før klørne ble fjernet og det ble tatt prøve av hepatopankreas. For å ta prøve av hepatopankreas ble skallet åpnet, vann fikk renne av, og deretter ble så mye som mulig av hepatopankreas plukket ut ved hjelp av en pinsett. Klørne ble frosset ned, og klokjøttet ble plukket ut etter tining av klørne.

Hver prøve ble homogenisert, og prøvene av brosmefilet ble frysetørket før kvikksølvanalyse. For å unngå evt. avdamping av metallisk kvikksølv, ble prøvene av krabbe ikke frysetørket men analysert i våt tilstand.

Tørrstoff i krabbeprøvene ble bestemt ved at en prøve ble tørket i varmeskap ved 103°C.

Før bestemmelse av totalkvikksølv med induktivt koblet plasma-massespektrometer (ICPMS) ble prøven dekomponert med syre i mikrobølgeovn slik at kvikksølvet forelå som ioner i løsning. Metoden ble beskrevet i detalj av Julshamn m.fl. (2007).

Krabbeprøver ble også analysert for metylkvikksølv ved GC-ICPMS med isotopfortynning (Valdersnes m.fl. 2012). Innveid prøve ble tilsatt "spikeløsning" og tetrametyl ammonium hydroksid (TMAH) og satt på rotator for dekomponering. Løsningen ble pH-justert, tilsatt derivatiseringsreagens, og derivatiserte kvikksølvforbindelser ble ekstrahert over i heksan. Prøvene ble til slutt analysert på GC-ICPMS og kvantifisert ved isotopfortynning. Metylkvikksølvkonsentrasjon er oppgitt som konsentrasjon kvikksølv og som andel metylkvikksølv-kvikksølv av totalkvikksølv.

Analysemetodene for bestemmelse av totalkvikksølv og metylkvikksølv er akkreditert i henhold til ISO-EN 17025.

3 - Resultater og diskusjon

3.1 - Brosme

Brosme prøvetatt i 2018 varierte i vekt fra 0,65 til 4,05 kg (Tabell 2). Gjennomsnittsvekt for de tre prøvelokalitetene varierte fra 2,2 kg ved den sørlige lokaliteten til 2,7 kg ved den nordlige lokaliteten, mens brosme prøvetatt ved vraket hadde en snittvekt på 2,3 kg, som i 2017. Fisken prøvetatt i 2018 var i likhet med 2017 og 2016 større enn i de fleste tidligere år (Figur 2). Det at størrelsen på fisken varierer fra år til år gjør direkte sammenligning mellom år utfordrende, siden kvikksølv i fisk generelt øker med størrelse.

Gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon i filet av brosme prøvetatt i 2018 ved vraket, fem nautiske mil nord (5 nm N) og fem nautiske mil sør (5 nm S) var henholdsvis 0,29, 0,39 og 0,33 mg/kg våtvekt (Tabell 2; Tabell A1). Tre fisk prøvetatt ved vraket, tre prøvetatt nord for vraket og en prøvetatt sør for vraket var over den øvre grenseverdien på 0,5 mg/kg våtvekt satt i EU og Norge for kvikksølv i fisk som omsettes som mat (EC, 2006; Forskrift 3. juli 2015 nr. 870 om visse forurensende stoffer i næringsmidler). Gjennomsnittskonsentrasjonene var noe høyere i 2018 enn i 2017 og de fleste tidligere år bortsett fra 2008 og 2010 (Figur 2; Tabell A1).

Gjennomsnittlig kvikksølvinnhold i brosme prøvetatt ved vraket var lavere enn i brosme prøvetatt ved referanselokalitetene lenger sør og nord (Tabell 2), men forskjellene var ikke statistisk signifikante. Noen av forskjellene skyldes kanskje ulik størrelse på fisken vi fikk ved de tre lokalitetene (Figur 3).

Ved vraket var kvikksølvnivået i brosme målt i 2018 signifikant høyere enn i 2007, 2011 og 2012. I 2018 var gjennomsnittsvekten av brosmene de høyeste vi har målt og det var spesielt tre store fisk prøvetatt ved vraket som hadde relativt høye kvikksølvnivåer, over 0,5 mg/kg våtvekt, og som påvirket dette relativt høye gjennomsnittet. Disse tre brosmene var 62, 65 og 68,5 cm. Selv om nivåene var noe høyere i brosme analysert i 2018 er det ikke grunnlag for å kunne fastslå at det har vært en endring over tid (økning).

Tidligere har vi vist at kvikksølvnivåene i brosme fra Fedje ikke er høyere enn andre steder langs kysten mot Nordsjøen (Frantzen m.fl. 2018), og dette gjelder fremdeles. Analyser av stabile kvikksølvisotoper i brosme prøvetatt i 2015 og endelig publisert nå i 2019 viste at kvikksølvet som vi finner i brosme prøvetatt nær U-864 har samme isotopsammensetning som kvikksølv i brosme fisket andre steder uten spesielle punktkilder, som ved Skagerrakkysten og i Sognefjorden (Rua-Ibarz m.fl. 2019). I motsetning til dette hadde kvikksølvet i brosme prøvetatt i Hardangerfjorden, nær den forurensede sjøbunnen i Sørfjorden, en egen profil som skilte seg fra de andre områdene. Isotopsammensetningen så ellers ut til å endre seg gradvis nordover i Norskehavet. Disse resultatene viser med stor grad av sannsynlighet at kvikksølvet vi finner i brosme i områdene nær U-864 ikke stammer fra ubåtvraket, og at kvikksølvet i brosme prøvetatt her er et resultat av generell langtransportert forurensning. For å undersøke om dette bildet kan ha endret seg, vil det i 2019 igjen bli tatt prøver av brosme ved U-864 og i andre områder til analyse for stabile kvikksølvisotoper.

*Table 2. Fish weight (g), length (cm) and mercury concentration (Hg, mg/kg ww) in fillet of tusk (*Brosme brosme*) sampled in May 2018 at the wreck site (U-864), five nautical miles south (5 nm S) and five nautical miles north (5 nm N) of the wreck. The results are given as mean ± standard deviation, minimum and maximum values.*

Sampling site	N	Fish weight (g)	Fish length (cm)	Hg (mg/kg ww)
		Mean ± SD (Min – max)	Mean ± SD (Min – max)	Mean ± SD (Min – max)
U-864	25	2317 ± 931 (651 – 4050)	58.6 ± 8.8 (40 – 70)	0.29 ± 0.15 (0.082 - 0.71) (3)
5 nm N	25	2705 ± 632 (1681 – 3888)	60.1 ± 5.0 (51 – 70)	0.39 ± 0.21 (0.20 – 1.1) (3)
5 nm S	20	2192 ± 701 (1206 – 3442)	56.5 ± 5.7 (48 – 69)	0.33 ± 0.09 (0.20 - 0.55) (1)

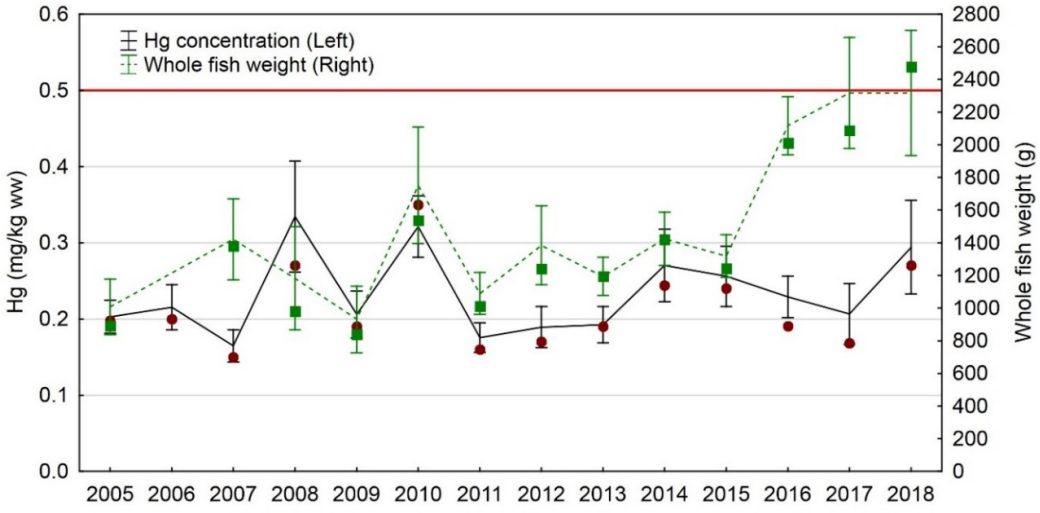

Figure 2. Concentration of mercury (mg/kg ww, left) in fillet and fish weight (g, right) of tusk (Brosme brosme) caught near the wreck of U-864 every year from 2005-2018. For each year, mean ± 95% confidence intervals are given, and median values are shown as separate points. The red line marks the maximum level for Hg in fish for human consumption (EU and Norway).

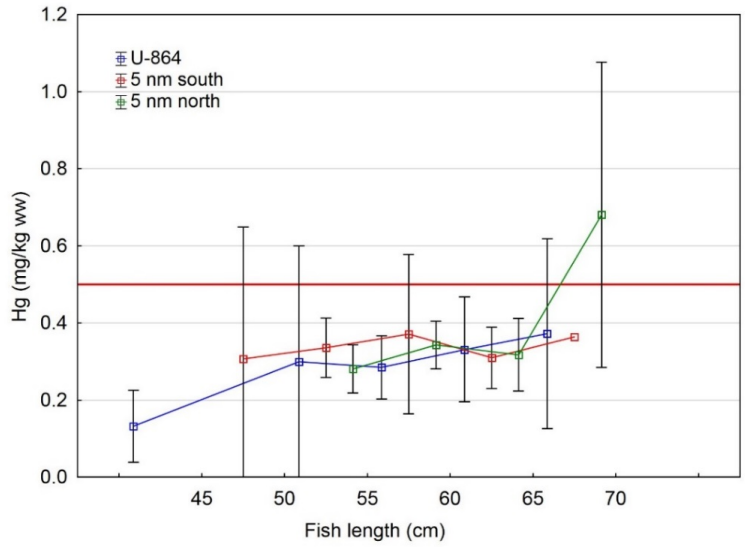

Figure 3. Concentration of mercury (mg/kg ww) in fillet of tusk (Brosme brosme) caught in 2018 at the wreck of U-864, five nautical miles south (5 nm S) and five nautical miles north (5 nm N) of U-864, at different fish size intervals (<45, 45-50, 50-55, 55-60, 60-65, 65-70 and >70 cm). Means ± 95% confidence intervals are given. The red line marks the maximum level for Hg in fish for human consumption (EU and Norway).

Forklaringen på at vi ikke finner kvikksølv fra ubåtvraket i brosme fisket her, er at det metalliske kvikksølvet i sedimentet er lite tilgjengelig for opptak i næringskjeden. Det er metylkvikksølv som er den kvikksølvformen som er mest tilgjengelig for opptak i næringskjeden. Metyleringsforsøk gjennomført på vegne av Kystverket med forurenset sediment fra bunnen ved ubåtvraket viste ingen betydelig metylering, men at tilførsel av organisk materiale økte metyleringen (Kystverket 2015). Dette tyder på at kvikksølvet ved vraket er lite metylert fordi det er lite organisk materiale i sedimentet.

3.2 - Krabbe

Krabbene som ble fanget i 2018 hadde skallbredde fra 106 til 177 mm og vekt fra 185 til 1004 g (Tabell 3). Gjennomsnittsstørrelse varierte fra 131 cm og 352 g for krabbene prøvetatt fire nautiske mil nord for vraket og behandlet rå til 146 cm og 550 g for krabbene tatt ved U-864 og kokt. Variasjon i størrelse har tidligere vist liten betydning for kvikksølvnivå i krabbe.

*Table 3. Crab size of cooked and raw edible crab (*Cancer pagurus*) caught in 2018 at the wreck site of U-864, four nautical miles south (4 nm S) and four nautical miles north (4 nm N) of the wreck. Results are given as means ± standard deviations, minimum and maximum values.*

			Weight (g)	Carapace width (mm)
Area	**Treatment**	**N**	**Mean ± SD (Min – Max)**	**Mean ± SD (Min – max)**
U-864	Cooked	9	550 ± 249 (273 – 1004)	146 ± 19 (121 – 177)
	Raw	12	418 ± 137 (249 – 677)	135 ± 11 (120 – 153)
4 nm S	Cooked	15	469 ± 140 (266 – 778)	141 ± 14 (120 – 165)
	Raw	15	467 ± 105 (263 – 671)	143 ± 9 (121 – 159)
4 nm N	Cooked	14	426 ± 116 (190 – 667)	139 ± 13 (106 – 166)
	Raw	14	352 ± 98 (185 – 537)	131 ± 13 (109 – 156)

3.2.1 - Klokjøtt

Konsentrasjonen av totalkvikksølv i klokjøtt av krabbe varierte fra 0,036 til 0,50 mg/kg våtvekt (Tabell 4). Den høyeste konsentrasjonen var lik grenseverdien, men ingen krabbe var over grenseverdi. Den høyeste gjennomsnittlige konsentrasjonen av kvikksølv i klokjøtt var 0,25 mg/kg våtvekt, målt i klokjøtt fra kokte krabber prøvetatt 4 nm nord for U-864. Den laveste snittverdien, 0,068 mg/kg våtvekt, ble målt i klokjøtt av rå krabber fisket 4 nm sør.

Det var altså store variasjoner mellom prøvene, og noe av variasjonen kan skyldes variasjon i vanninnhold i prøvene. Sammenligning av lokalitetene ble derfor gjort på konsentrasjoner omregnet til tørr prøve (Figur 4). Klokjøtt av krabber fra den sørlige lokaliteten hadde generelt noe lavere totalkvikksølvnivå enn klokjøtt av krabber fisket ved vraket og 4 nm nord (Figur 4). I klokjøtt av kokte krabber var det signifikant forskjell mellom den sørlige lokaliteten og de to lenger nord.

I 2018 målte vi også metylkvikksølv i klokjøtt av krabber tatt ved vraket og 4 nm sør, og gjennomsnittlig andel metylkvikksølv varierte fra 96 til 102 %. Det vil si at så å si alt kvikksølvet i klørne var metylkvikksølv, og dette er som forventet da vi vet at metylkvikksølv er den kvikksølvformen som akkumuleres i muskelvev. Andelen metylkvikksølv var like høy i kokte som i rå krabbeklør.

Når vanninnhold ble tatt høyde for ved å sammenligne tørrstoffkonsentrasjoner (Figur 4), var det ingen betydelig forskjell i konsentasjon av total- eller metylkvikksølv mellom kokte og rå klør. Vanninnholdet avtar ved koking, og de gjennomsnittlige våtvektskonsentrasjonene var derfor stort sett litt høyere i kokte enn i rå krabbeklør (Tabell 4).

I kokt klokjøtt var det en positiv sammenheng mellom konsentrasjonen av total- og metylkvikksølv og krabbens størrelse målt som skallbredde, og denne økningen var større ved vraket av U-864 enn ved lokaliteten 4 nm sør for vraket (Figur A1, A2). Lavere konsentrasjoner ved den sørlige lokaliteten sammenlignet med de øvrige lokalitetene skyldtes imidlertid ikke forskjeller i størrelse. Ved den nordlige lokaliteten var det ingen sammenheng mellom kvikksølvnivå og størrelse. For rått klokjøtt var det ikke signifikant sammenheng med størrelse, og dette kan kanskje skyldes at det var et mindre størrelsesspenn blant de krabbene som ble behandlet rå, med de største krabbene litt over 15 cm.

*Table 4. Concentrations of mercury in cooked and raw edible crab (*Cancer pagurus*) caught in 2018 at the wreck site of U-864, four nautical miles south (4 nm S) and four nautical miles north (4 nm N) of the wreck. For cooked crab, claw meat and brown meat (BM) were analysed, and for raw crab, claw meat and hepatopancreas (HP) were analysed. Total mercury (THg, mg/kg wet weight) was determined in all samples, while methyl mercury (MeHg) was determined in a limited number of samples crabs from U-864 and 4 nm S. MeHg results are given both as concentrations (mg/kg wet weight) and as portion of total mercury (% of THg). Results are given as means ± standard deviations (SD), minimum and maximum values.*

			THg claw	**MeHg claw**	**THg BM/HP**	**MeHg BM/HP**	**MeHg% claw**	**MeHg% BM/HP**
			Mean ± SD	**Mean ± SD**	**Mean ± SD**	**Mean ± SD**	**Mean ± SD**	**Mean ± SD**
Area	**Treat- ment**	**N**	**Min – max**	**Min - max**	**Min – max**	**Min - max**	**Min - max**	**Min - max**
U-864	Cooked	9/9	0.185 ± 0.065	0.184 ± 0.069	0.241 ± 0.082	0.095 ± 0.050	98 ± 5	41 ± 19
			0.089 - 0.26	0.081 - 0.26	0.10 - 0.40	0.034 - 0.17	90 - 103	13 - 73
	Raw	12/10	0.157 ± 0.116	0.170 ± 0.121	0.532 ± 0.218	0.107 ± 0.051	102 ± 11	25 ± 14
			0.072 - 0.50	0.065 - 0.49	0.28 - 0.96	0.047 - 0.23	78 - 119	10 - 53
4 nm S	Cooked	15/5	0.116 ± 0.053	0.090 ± 0.045	0.117 ± 0.063	0.072 ± 0.085	96 ± 9	38 ± 24
			0.053 - 0.23	0.046 - 0.14	0.043 - 0.28	0.025 - 0.22	88 - 108	19 - 79
	Raw	15/5	0.068 ± 0.026	0.067 ± 0.018	0.188 ± 0.091	0.068 ± 0.037	99 ± 9	46 ± 18
			0.036 - 0.12	0.040 - 0.089	0.077 - 0.38	0.044 - 0.13	87 - 110	20 - 65
4 nm N	Cooked	14	0.246 ± 0.098		0.202 ± 0.073			
			0.12 - 0.39		0.098 - 0.34			
	Raw	14	0.127 ± 0.054		0.301 ± 0.105			
			0.062 - 0.23		0.17 - 0.48			

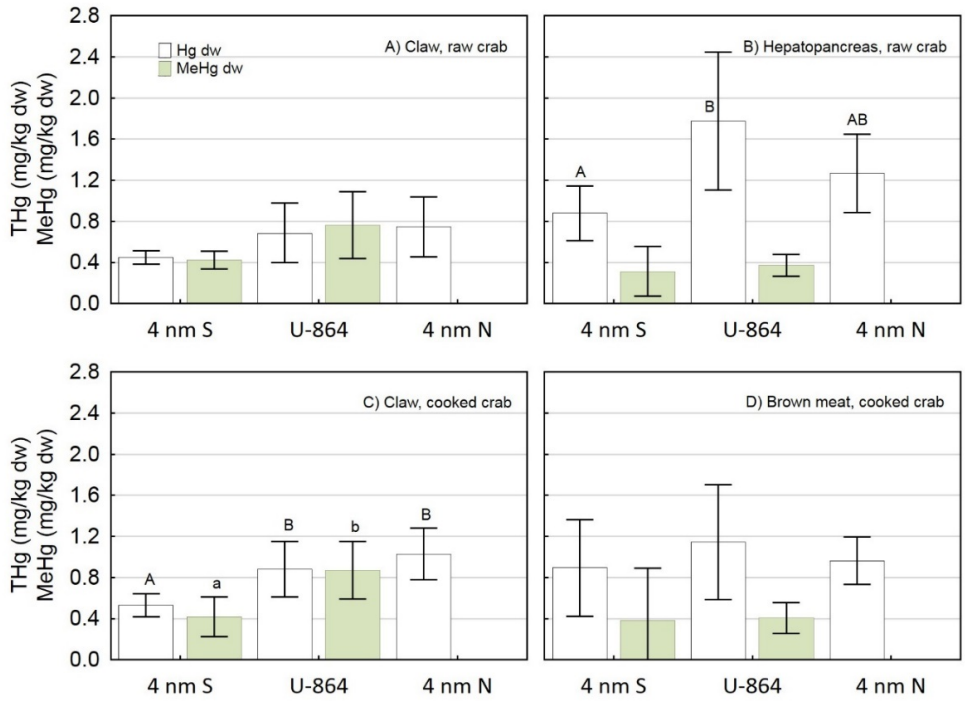

Figure 4. Total mercury (THg, mg/kg dry weight) and methyl mercury (MeHg, mg/kg dry weight) in crab (Cancer pagurus) caught at the wreck of U-864, four nautical miles south of the wreck (4 nm S) and four nautical miles north of the wreck (4 nm N). Results are given for A) raw claw meat, B) hepatopancreas of raw crab, C) claw meat of cooked crab and D) brown meat of cooked crab. Means ± 95% confidence intervals are shown.

Gjennomsnittsnivået av totalkvikksølv i klokjøtt av de kokte krabbene fra vrakområdet analysert i 2018, 0,19 mg/kg våtvekt, var det høyeste gjennomsnittet målt siden starten av overvåkningen i 2006 (Figur 5A; Tabell A3), og til sammenligning var gjennomsnittskonsentrasjonen målt ved vraket i 2017 0,14 mg/kg våtvekt og gjennomsnittet for 2008-2017 0,11 mg/kg våtvekt (Frantzen m.fl. 2019). Men variasjonen er stor både mellom år og mellom individuelle krabber. Klokjøttnivået målt i 2018 var signifikant høyere kun i forhold til nivåene målt i 2010, 2012 og 2015, sammenlignet på tørrvektsbasis. Det er så langt ikke grunnlag for å fastslå at det har vært en generell økning i perioden overvåkningen har pågått.

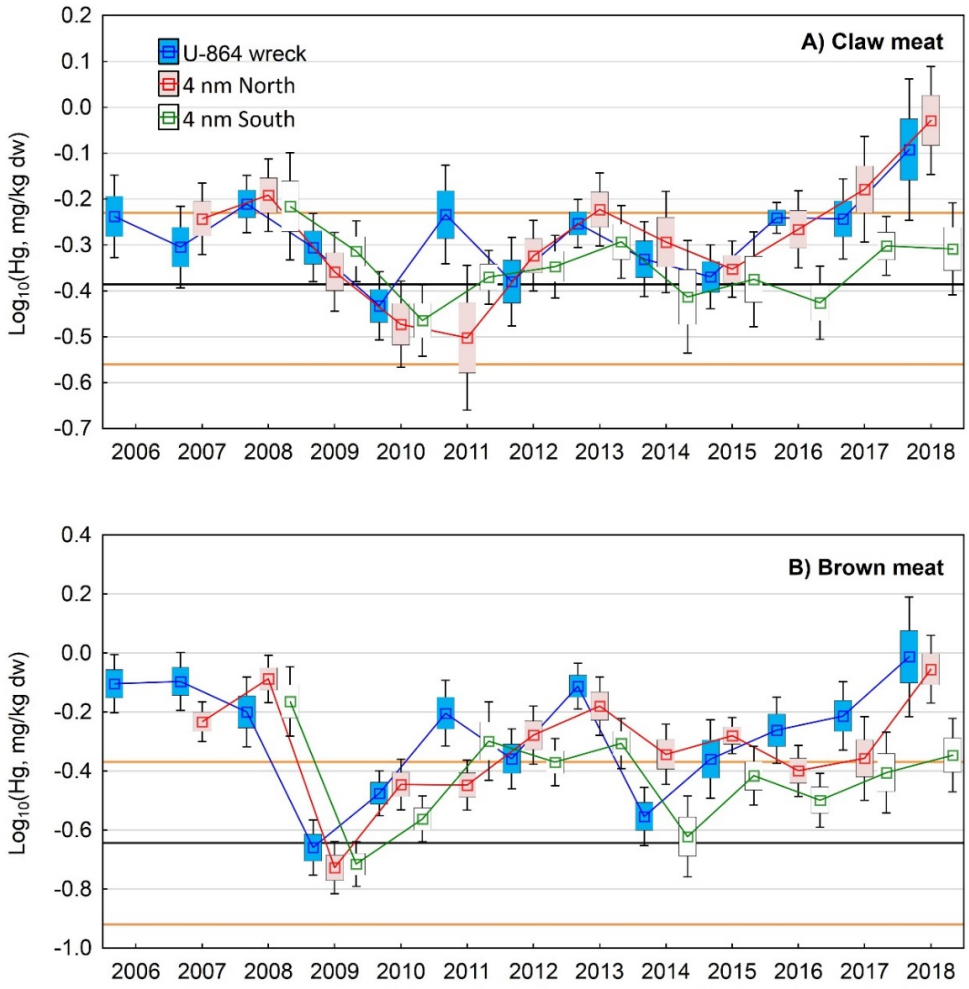

Figure 5. Concentrations (mg/kg dry weight, dw) of Hg over time from 2006-2018 analysed in A) claw meat and B) brown meat of boiled crabs captured at the site of U-864, 4 nautical miles (nm) south and 4 nm north of the wreck. Concentrations are given as log10 transformed values, and mean, standard errors and 95% confidence intervals are givens. The horizontal lines represent reference sites on the west coast of Norway south of 62°N. The black horizontal line represents the mean Hg concentration of all 110 crab samples analysed in 2011 on the coast of west Norway south of 62°N (Julshamn m.fl. 2012). The orange lines represent the highest and the lowest mean values among all 11 stations included in the study.

3.2.1.1 - Sammenligning med bakgrunnsnivå

For å sammenligne kvikksølvkonsentrasjoner i krabbe med bakgrunnsnivå er det her tatt utgangspunkt i den store kartleggingen av fremmedstoffer i taskekrabbe langs kysten som ble gjennomført i 2011 (Julshamn m.fl. 2012). For en mest mulig relevant sammenligning er det denne gangen inkludert data fra stasjoner på Vestlandet sør for 62 °N. Det vil si totalt 110 krabber fra 11 ulike lokaliteter i Rogaland, Hordaland og Sogn og Fjordane. Disse lokalitetene var valgt ut slik at krabbene ikke skulle være prøvetatt i områder med kjent forurensning og ikke inne i fjorder. Figur 5A viser at kvikksølvkonsentrasjonene målt i klokjøtt av krabber fra de tre lokalitetene ved Fedje de fleste år har vært innenfor de høyeste og de laveste gjennomsnittsverdiene fra lokaliteter andre steder på Vestlandet. Bare i 2018 var konsentrasjonene både ved vraket og 4 nm nord betydelig høyere enn referanselokaliteten fra 2011 med det høyeste gjennomsnittet (0,12 mg/kg vv ved en lokalitet i Fitjar kommune).

Det ser altså ut til at krabber fisket i 2018 nær ubåtvraket og 4 nm nord for vraket hadde forhøyet kvikksølvnivå i klokjøtt sammenlignet med bakgrunnsnivå. Dette skiller seg fra tidligere funn som viser at kvikksølvnivået i klokjøtt rundt U-864 ikke er forhøyet (f.eks. Frantzen m.fl. 2019). Men det forhøyede kvikksølvnivået stammer ikke nødvendigvis fra kvikksølvlasten fra U-864, det kan også skyldes eventuelle andre påvirkningskilder.

For å undersøke nærmere om kvikksølvet i krabbene tatt ved vraket kan spores tilbake til U-864 og det forurensede sedimentet rundt, ble ti av krabbene fisket ved vraket og fem av krabbene fisket 4 nm sør for vraket analysert for stabile kvikksølvisotoper gjennom et samarbeid med Universitetet i Gent. Resultatene fra disse analysene er blitt en masteroppgave ved Universitetet i Gent (Dumont 2019). Resultatene støtter resultatene fra isotopanalysene med krabber prøvetatt i 2014, som tydet på at klokjøtt av krabber fisket i området ikke hadde tatt opp kvikksølv fra vrakstedet (Rua-Ibarz m.fl. 2016). Det var ikke signifikant forskjell i isotopsammensetningen mellom krabber fisket ved vraket og de fisket fire nautiske mil sør for vraket. Videre sammenlignet vi denne gangen isotopsammensetning i kokte og rå krabber, og for klokjøtt ble det vist at koking ikke påvirket isotopsammensetningen i krabbeklørne. Dette er trolig fordi kvikksølvet i klørne var rundt 100 % metylkvikksølv, som er sterkt bundet til proteinene i muskelvevet og ikke frie molekyler som lett kan løses i kokevannet eller fordampe i kokeprosessen.

Resultatene fra isotopanalysene tyder altså på at det forhøyede metylkvikksølvnivået målt i klokjøtt av krabber fra vrakområdet og fire mil lenger nord i 2018 skyldes annen påvirkning enn vraket. Det bør imidlertid også bemerkes at metylering av kvikksølv i seg selv medfører fraksjonering som gir endret isotopsammensetning, samtidig som metylkvikksølvet som er tilstede i næringskjeden vil bestå av kvikksølv fra ulike kilder. Derfor kan det være vanskeligere å skille ulike kilder fra hverandre når metylkvikksølv er den dominerende kvikksølvformen, sammenlignet med når det er mye uorganisk kvikksølv til stede. Likevel skulle man forvente en forskjell i signatur med en såpass dominerende kvikksølvkilde som kvikksølvet i sedimentet rundt U-864.

3.2.2 - Brunmat og hepatopankreas

Brunmat av kokte krabber varierte i konsentrasjon av totalkvikksølv fra 0,043 mg/kg våtvekt til 0,40 mg/kg våtvekt, og gjennomsnittet for de tre lokalitetene varierte fra 0,12 mg/kg våtvekt ved lokaliteten 4 nm sør til 0,24 mg/kg våtvekt ved vraket av U-864 (Tabell 4). Hepatopankreas av de rå krabbene hadde som tidligere noe høyere konsentrasjon av totalkvikksølv enn brunmat av kokte krabber, med gjennomsnitt for de tre lokalitetene fra 0,19 mg/kg ved den sørlige lokaliteten til 0,53 mg/kg våtvekt ved vraket. Variasjonen for hepatopankreas fra individuelle krabber var fra 0,077 til 0,96 mg/kg våtvekt. Det er ingen grenseverdier for mattrygghet som gjelder for hepatopankreas eller brunmat av krabber.

Gjennomsnittlig konsentrasjon av metylkvikksølv i brunmat/hepatopankreas varierte fra 0.068 mg/kg våtvekt i rå krabber prøvetatt ved den sørlige lokaliteten til 0,11 mg/kg våtvekt i rå krabber tatt ved ubåtvraket, og den høyeste enkeltverdien for metylkvikksølv var 0,23 mg/kg våtvekt, målt i hepatopankreas av en rå krabbe prøvetatt ved vraket (Tabell 4). Konsentrasjonen av metylkvikksølv i brunmat/hepatopankreas av enkeltkrabber prøvetatt ved vraket og 4 nm sør var mellom 13 og 79 % av totalkvikksølvkonsentrasjonen, og den gjennomsnittlige andelen metylkvikksølv varierte fra 25 % i hepatopankreas av rå krabber fra vrakstedet til 46 % i hepatopankreas av rå krabber tatt fire mil sør for vraket.

Fordi tørrstoffinnholdet i innmaten av krabben påvirkes av koking og fordi vanninnholdet kan variere mye er det videre valgt å sammenligne konsentrasjoner omregnet til tørr prøve.

Det var ingen sammenheng mellom størrelse på krabbene og kvikksølvkonsentrasjon i tørr prøve hverken for brunmat av kokte eller hepatopankreas av rå krabber (Figur A1, A2). Dette gjaldt både total- og metylkvikksølv.

Det var ingen vesentlig forskjell i kvikksølvkonsentrasjon på tørrvektsnivå mellom brunmat av kokte og hepatopankreas av rå krabber, selv om det ved vraket var litt høyere gjennomsnittskonsentrasjon i de rå krabbene (1,8 mg/kg tørrvekt) enn i de kokte krabbene (1,1 mg/kg tørrvekt) (Figur 4). Det var imidlertid stor variasjon og antallet prøver relativt lavt. Det var ingen forskjell i metylkvikksølvkonsentrasjon mellom rå og kokte prøver, og den lille forskjellen som var for totalkvikksølv kan skyldes at noe uorganisk kvikksølv forsvinner i kokeprosessen.

Ti av krabbene prøvetatt ved vraket i 2018 ble analysert for stabile kvikksølvisotoper ved Universitetet i Gent, og resultatene er nå ferdigstilt. De viser at det er forskjell i isotopsammensetning mellom brunmat av kokte og hepatopankreas av rå krabber, der kokte krabber har en høyere andel av tyngre kvikksølvisotoper enn rå krabber (Dumont, 2019). Dette kan forklares med at lettere isotoper lettere fordamper ved varmebehandling enn tyngre isotoper, og det støtter også oppunder vår antakelse om at noe av det metalliske kvikksølvet forsvinner fra brunmaten ved koking.

Disse resultatene understreker behovet for å fortsette å overvåke både rå og kokte krabber for å fange opp både eventuell kontaminering av krabber fra det metalliske kvikksølvet som forurenser sedimentet og for å ivareta mattryggheten ettersom tilbereding av krabbene påvirker kvikksølvnivåene.

3.2.2.1 - Sammenligning mellom lokaliteter

I hepatopankreas av de rå krabbene var det vesentlig lavere nivå av totalkvikksølv (tørrvekt) i krabber tatt sør for vraket sammenlignet med vrakområdet (Figur 4). For metylkvikksølv var det ingen forskjell. For kokte krabber var det ingen vesentlig forskjell mellom lokalitetene, hverken for totalkvikksølv eller metylkvikksølv.

I enkelte tidligere år har brunmat av kokte krabber prøvetatt ved vraket hatt høyere kvikksølvkonsentrasjon enn de prøvetatt sør for vraket, mens vi andre år ikke har sett noen forskjeller (Se vedlegg i rapporten for 2017, Frantzen m.fl. 2019). I 2017 var det tydeligere forskjeller mellom lokalitetene for de kokte krabbene enn for de rå krabbene, mens det nå i 2018 bare var forskjell for de rå krabbene.

Omregnet til tørr prøve var det tre rå krabber og to kokte krabber prøvetatt ved vrakområdet som hadde spesielt høye totalkvikksølvkonsentrasjoner i henholdsvis hepatopankreas og brunmat med over 1,0 mg/kg tørrvekt. Tilsvarende høye verdier ble ikke funnet for metylkvikksølv. Dette skyldes trolig at bare noen få hadde fått i seg betydelige mengder metallisk kvikksølv fra sedimentet. Dette har vi også sett tidligere, og store forskjeller fra år til år skyldes etter all sannsynlighet at det bare er noen få enkeltkrabber som får i seg vesentlige mengder metallisk kvikksølv, og hvor mange det er og hvor mye de har fått i seg varierer fra år til år.

Resultatene fra kvikksølvisotopanalyse både med krabber fra 2014 (Rua-Ibarz m.fl. 2016) og fra 2018 (Dumont 2019) støtter også denne forklaringen. Resultatene fra begge undersøkelsene viste at jo større andel uorganisk kvikksølv det var, jo mer lik var isotopsammensetningen den som er målt i sedimentet og i metallisk kvikksølv fra ubåten. Basert på dette ble det konkludert med at det metalliske kvikksølvet i krabbene syntes å stamme fra ubåtvraket, mens metylkvikksølvet synes å stamme fra andre, mer diffuse kilder som langtransportert forurensning.

Dette reflekteres også i variasjonen fra år til år som vi ser i de kokte krabbene (Figur 5). I 2018 var gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon i brunmat av kokte krabber prøvetatt ved vraket relativt høyt, med et gjennomsnitt blant de høyeste som er målt. Det kan nesten se ut som om det har vært en økning siden 2014, men samtidig ser vi at gjennomsnittskonsentrasjonene også var relativt høye i 2011-2013. Det kan være naturlige svingninger eller tilfeldig variasjon, men det er uansett nødvendig å overvåke videre for å se om det kan være en reell økning eller ikke.

3.2.2.2 - Sammenligning med bakgrunnsnivå

Når det gjelder sammenligning av kvikksølvkonsentrasjoner i brunmat med andre områder på Vestlandet sør for Stadt, så viser Figur 6B at kvikksølvnivået i krabber fra lokalitetene ved U-864 samt fire mil nord og fire mil sør de fleste år var over gjennomsnittlig bakgrunnsnivå for Vestlandet målt i 2011, på 0,063 mg/kg våtvekt. Enkelte år har gjennomsnittet også vært høyere enn den høyeste av referanselokalitetene fra 2011 (0,096 mg/kg våtvekt målt ved Karmøy).

For brunmat er resultatene fra denne sammenligningen altså ikke så ulik det som har vært registrert i tidligere rapporter, at nivået er noe forhøyet. Dette skyldes i hovedsak som tidligere nevnt at metallisk kvikksølv kan finnes i brunmaten hos enkeltkrabber. Det som er nytt for 2018 er det relativt høye nivået av kvikksølv i klokjøtt, som gir god grunn til å følge godt med videre. Det hadde kanskje vært behov for nyere bakgrunnsdata fra andre områder på Vestlandet for å kunne se bakgrunnsnivået nå kan være høyere enn i 2011, særlig ettersom isotopanalysene indikerer at metylkvikksølvet som vi finner i klokjøttet av krabbene stammer fra andre kilder enn fra ubåtvraket.

4 - Konklusjoner

Av i alt 70 brosmer analysert i 2018 hadde syv fisk (10 %) kvikksølvnivå over grenseverdien for mattrygghet på 0,5 mg/kg våtvekt; tre var tatt ved vraket, tre fire nautiske mil nord for vraket og én fire nautiske mil sør for vraket. Gjennomsnittskonsentrasjonene for alle de analyserte brosmene var under grenseverdien ved alle de tre lokalitetene. I løpet av perioden overvåkningen har foregått til nå (2005-2018) har til sammen 51 av 1053 brosmer, 4,8 %, hatt kvikksølvnivå over grenseverdien som gjelder mattrygghet.

Det var ingen forskjell i kvikksølvnivå mellom brosme prøvetatt ved vraket og de to lokalitetene fire nautiske mil nord og sør for vraket, og kvikksølvnivået var heller ikke forhøyet sammenlignet med bakgrunnsnivå for kysten av Vestlandet.

Filet av brosme prøvetatt i 2018 nær vraket av U-864 hadde forholdsvis høyt kvikksølvnivå sammenlignet med flere tidligere år. Dette skyldtes trolig delvis at noen av fiskene var forholdsvis store med den høyeste gjennomsnittsvekten vi har hatt på denne lokaliteten. Nivåene har variert mye fra år til år, og det er så langt ikke grunn til å konkludere med noen økning i kvikksølvnivået i brosme fra området.

Ingen taskekrabber fisket i 2018 ved vraket av U-864 eller fire nautiske mil nord eller sør for vraket hadde kvikksølvnivå i klokjøtt over EU og Norges grenseverdi på 0,5 mg/kg våtvekt.

Gjennomsnittlig nivå av både totaltkvikksølv og metylkvikksølv i klokjøtt av krabbe prøvetatt ved vraket og fire nautiske mil nord for vraket var forholdsvis høyt sammenlignet med tidligere år og sammenlignet med bakgrunnsnivå. Nivået i klokjøtt av krabbe var også høyere ved vraket og nord for vraket sammenlignet med fire nautiske mil sør for vraket.

Analyser av stabile kvikksølvisotoper i noen av disse krabbene viste at kvikksølvet i klokjøtt av krabbe fisket ved vraket og fire nautiske mil sør for vraket ikke hadde signifikant forskjellig isotopsammensetning. Det er derfor grunn til å tro at det forhøyede kvikksølvnivået i klokjøtt målt i 2018 har andre årsaker enn forurensning fra ubåtvraket. Men det er viktig å følge godt med på utviklingen fremover.

Brunmat og hepatopankreas av henholdsvis kokte og rå krabber hadde også relativt høyt nivå av totalkvikksølv i 2018, men nivået av metylkvikksølv var ikke forhøyet. Det er ingen grenseverdi for mattrygghet som gjelder for brunmat og hepatopankreas.

I hepatopankreas av rå krabber var konsentrasjonen av totalkvikksølv høyere ved vraket enn 4 nautiske mil sør for vraket. I brunmat av kokte krabber var det ingen forskjell mellom lokalitetene. For metylkvikksølv var det ingen forskjell mellom lokalitetene hverken i rå eller kokt krabbe, og trolig var det det metalliske kvikksølvet fra U-864 tatt opp fra sedimentet som utgjorde forskjellen for totalkvikksølv. Dette støttes av analyse av stabile kvikksølvisotoper, som viste at det i hepatopankreas og brunmat var ulik isotopsammensetning ved vraket og fire nautiske mil sør for vraket.

Resultatene fra de nye isotopanalysene støtter tidligere konklusjoner om at det metalliske kvikksølvet i krabbene synes å stamme fra ubåtvraket, mens metylkvikksølvet synes å stamme fra andre kilder.

Relativt høye kvikksølvnivåer i både klokjøtt og brunmat av krabbe prøvetatt ved vraket og fire nautiske mil nord for vraket i 2018 sammenlignet med tidligere år og sammenlignet med bakgrunnsnivå kan skyldes naturlige svingninger eller tilfeldig variasjon. Uansett årsak er det viktig å overvåke videre for å se hvorvidt det pågår en reell økning. Det er imidlertid viktig å påpeke at de målte kvikksølvnivåene ikke er så høye at de gir grunn til bekymring for mattryggheten.

5 - Litteraturliste

Bloom, N. S. (1992). On the chemical form of mercury in edible fish and marine invertebrate tissue. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 49: 1010-1017.

Dumont, L. (2019). High-precision mercury isotopic analysis in an environmental context. Department of Chemistry, Atomic and Mass Spectrometry. Ghent, Belgium, Gent University. Master of Science: 76 s.

EC (2006). Commission regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union 364: 5-24.

Forskrift om visse forurensende stoffer i næringsmidler (2015). Forskrift om visse forurensende stoffer i næringsmidler (FOR-2015-07-03-870). Hentet fra https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-07-03-870

Frantzen, S., D. Furevik, B. H. Ulvestad og A. Maage (2014). Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje. Nye analyser i 2013. Bergen, NIFES: 20 s.

Frantzen, S. og A. Maage (2015). Kvikksølv i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje. Nye analyser i 2014. Bergen, NIFES: 24 s.

Frantzen, S. og A. Måge (2016). Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje. Nye analyser i 2015. Bergen, NIFES: 31 s.

Frantzen, S., A. Måge, D. Furevik og K. Julshamn (2008). Kvikksølvinnhold i fisk og sjømat ved vraket av U864 vest av Fedje. Nye analyser i 2008 og sammenligning med data fra perioden 2004 til 2007. Bergen, NIFES: 20 s.

Frantzen, S., A. Måge, D. Furevik og K. Julshamn (2010). Kvikksølvinnhold i fisk og sjømat ved vraket av U864 vest av Fedje - Nye analyser i 2009 og sammenligning av data fra perioden 2004-2008. Bergen, NIFES: 18 s.

Frantzen, S., A. Måge, D. Furevik og K. Julshamn (2011). Kvikksølv i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje - Nye analyser i 2010 og sammenligning med perioden 2004 til 2009. Bergen, NIFES: 20 s.

Frantzen, S., A. Måge, D. Furevik, B. H. Ulvestad og K. Julshamn (2012). Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje - Nye analyser i 2011 og sammenligning med data fra perioden 2004 til 2010. Bergen, NIFES: 20 s.

Frantzen, S., H. M. Otterå, H. E. Heldal og A. Måge (2018). Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje - Resultater fra fast overvåkning og ekstra prøvetaking i 2016. Rapport fra Havforskningen, Havforskningsinstituttet. 8-2018: 36 s.

Frantzen, S., M. Sanden og A. Maage (2019). Kvikksølvinnhold i sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje - Resultater fra fast overvåkning i 2017. Rapport fra Havforskningen. Bergen, Institute of Marine Research. 2019-9: 34 s.

Haldorsen, A.-K. L., S. Frantzen, K. Julshamn, D. Furevik og A. Måge (2013). Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje. - Nye analyser i 2012. Bergen, NIFES: 17 s.

Julshamn, K., A. Måge, H. Norli Skaar, K. Grobecker, L. Jorheim og P. Fecher (2007). Determination of arsenic, cadmium, mercury, and lead by inductively coupled plasma/mass spectrometry in foods after pressure digestion: NMKL Interlaboratory Study. Journal of AOAC International 90: 844-456.

Julshamn, K., B. M. Nilsen, S. Valdersnes og S. Frantzen (2012). Årsrapport 2011. Mattilsynets program: Fremmedstoffer i villfisk med vekt på kystnære farvann: Delrapport I: Undersøkelser av miljøgifter i taskekrabbe. Bergen, NIFES: 52 s.

Kystverket (2015). Oppsummering av metyleringsforsøk på kvikksølvforurensede sedimenter ved U-864, DNV GL AS

Oil & Gas. 2015-8063: 58 s.

Li, H., X. Y. Lin, J. T. Zhao, L. W. Cui, L. M. Wang, Y. X. Gao, B. Li, C. Y. Chen og Y. F. Li (2019). Intestinal Methylation and Demethylation of Mercury. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 102(5): 597-604.

Måge, A., K. Julshamn, A. Storaker og D. M. Furevik (2006). Kvikksølvinnhald i fisk og sjømat ved søkkt ubåt (U-864) vest av Fedje - Nye analysar i 2006 - Samanlikning med data frå 2004 og 2005. . Rapport til Kystverket. Bergen, NIFES: 15 s.

Måge, A., L. Vågenes, S. Frantzen, K. Julshamn og D. Furevik (2007). Kvikksølvinnhald i fisk og sjømat ved søkkt ubåt (U864) vest av Fedje - Nye analysar 2007 - Samanlikning med data frå perioden 2004 til 2006. Bergen, NIFES: 17 s.

Rua-Ibarz, A., E. Bolea-Fernandez, A. Maage, S. Frantzen, S. Valdersnes og F. Vanhaecke (2016). Assessment of Hg Pollution Released from a WWII Submarine Wreck (U-864) by Hg Isotopic Analysis of Sediments and *Cancer pagurus* Tissues. Environmental Science & Technology 50(19): 10361-10369.

Rua-Ibarz, A., E. B. Fernandez, A. Maage, S. Frantzen, M. Sanden og F. Vanhaecke (2019). Tracing mercury pollution along the Norwegian coast via elemental and isotopic analysis of deep-water marine fish (*Brosme brosme*). Environmental Science & Technology 53: 1776-1785.

Solhjell, E. og T. Lunne (2013). U-864 2013 Soil Survey. Geotechnical report, NGI, Norwegian Geotechnical Institute. 20120738-01-R.

Uriansrud, F., J. Skei og P. Stenstrøm (2005). Miljøovervåkning, strømundersøkelser, sedimentkartlegging og miljørisikovurdering knyttet til Fase 1, kartlegging og fjerning av kvikksølvforurensing ved U-864. NIVA-rapport, NIVA. 2092-2005: 61 s.

Valdersnes, S., A. Maage, D. Fliegel og K. Julshamn (2012). A Method for the Routine Determination of Methylmercury in Marine Tissue by GC Isotope Dilution-ICP-MS. Journal of Aoac International 95(4): 1189-1194.

WHO/FAO (2012). Codex Alimentarius. Code of practice for fish and fisheries products. Second edition. Rome, WHO/FAO: 250 s.

6 - Vedlegg

*Table A1. Mercury concentrations in fillet of tusk (*Brosme brosme*) caught at and at different distences from the site of the U-864 wreck at Fedje from 2005 until 2018. Whole fish weight (g) and Hg (mg/kg wet weight) are given for each year and each station with mean, minimum and maximum values.*

				Vekt (g)			Hg (mg/kg våtvekt) EU-øvre grenseverdi: 0,5			
År	**Lokalitet**	**Dato**	**N**	**snitt**	**min**	**maks**	**snitt**	**min**	**maks**	**# > 0.5**
2018	Ved vraket	23.05.2018	25	2317	651	4050	0.294	0.082	0.71	3
	4 n mil nord	25.05.2018	25	2705	1681	3888	0.391	0.197	1.1	3
	4 n mil sør	25.05.2018	20	2192	1206	3442	0.334	0.20	0.55	1
2017	Ved vraket	15.06.2017	25	2317	1230	4085	0.207	0.105	0.47	
	4 n mil nord	21.06.2017	25	2775	1571	4268	0.246	0.042	0.53	1
	4 n mil sør	16.06.2017	19	2539	802	4595	0.264	0.050	0.44	
2016	Ved vraket	12.05.2016	47	2292	848	4952	0.26	0.090	0.72	5
		15.08.2016	25	1739	901	2741	0.212	0.11	0.39	
		09.09.2016	20	2179	375	4576	0.18	0.055	0.78	1
	4 n mil nord	15.08.2016	25	2536	1109	5117	0.234	0.10	0.47	
	4 n mil sør	15.08.2016	25	3784	1452	7539	0.44	0.14	1.3	9
2015	Ved vraket	04.07.2015	25	1318	931	2204	0.26	0.11	0.44	
	4 n mil nord	04.07.2015	25	1573	960	2164	0.24	0.15	0.41	
	4 n mil sør	04.07.2015	25	1791	834	4004	0.24	0.099	0.57	1
2014	Ved vraket	01.06.2014	25	1424	850	2112	0.27	0.11	0.69	1
	4 n mil nord	01.06.2014	25	1310	757	2270	0.25	0.13	0.38	
	4 n mil sør	01.06.2014	25	1554	885	2260	0.23	0.070	0.49	
2013	Ved vraket	30.05.2013	25	1194	656	1708	0.19	0.084	0.32	
	4 n mil nord	29.05.2013	25	1033	434	2036	0.25	0.15	0.34	
	4 n mil sør	31.05.1013	25	1401	462	4035	0.27	0.11	0.56	1
2012	Ved vraket	21.06.2012	25	1384	528	3029	0.19	0.10	0.32	
	4 n mil nord	21.06.2012	25	1307	451	2395	0.24	0.15	0.42	
	4 n mil sør	21.06.2012	25	1548	680	2274	0.25	0.16	0.48	1
2011	Ved vraket	10.06.2011	25	1090	391	1660	0.18	0.10	0.28	
	4 n mil nord	10.06.2011	25	963	449	1707	0.22	0.11	0.37	
	4 n mil sør	10.06.2011	25	1472	551	2321	0.29	0.12	0.59	2
2010	Ved vraket	20.05.2010	25	1751	451	3540	0.32	0.14	0.46	
	4 n mil nord	20.05.2010	25	1751	605	5053	0.36	0.15	0.60	4
	4 n mil sør	20.05.2010	25	1893	644	3209	0.27	0.13	0.80	2
2009	Ved vraket	15.07.2009	25	931	380	2640	0.21	0.11	0.41	
	4 n mil nord	10.07.2009	25	1036	420	1900	0.35	0.21	0.54	1
	4 n mil sør	22.10.2009	25	837	480	1620	0.22	0.10	0.53	1
2008	Ved vraket	30.06.2008	25	1182	340	3360	0.33	0.16	0.73	5

	2 n mil nord	30.06.2008	25	1383	420	3600	0.39	0.14	0.62	5
	4 n mil sør	30.06.2008	25	1290	520	2780	0.42	0.28	0.58	2
2007	Ved vraket	19.06.2007	25	1422	540	2840	0.16	0.09	0.26	
	2 n mil nord	26.06.2007	22	783	320	2160	0.24	0.10	0.39	1
	4 n mil nord	22.06.2007	25	1148	480	2440	0.25	0.14	0.64	
2006	Ved vraket	12.06.2006	25	964	340	2080	0.22	0.13	0.49	
	1 n mil nord	13.06.2006	25	1222	360	3540	0.28	0.19	0.53	1
	2 n mil nord	17.06.2006	25	1142	280	3000	0.28	0.16	0.53	1
2005	Ved vraket	27.10.2005	25	1007	539	2195	0.20	0.08	0.35	

Table A2. Mercury concentrations (mg/kg wet weight) in fillet of tusk caught in the area around U-864, where results are pooled for all the sites. For each year and total, mean, number of samples (N), minimum (min) and maximum (max) values, standard deviatioln (SD), median and 25 and 75 % percentiles (Q25 and Q75) are shown.

	Hg filet (mg/kg ww)							
	Snitt	**N**	**Min**	**Max**	**SD**	**Q25**	**Median**	**Q75**
2005	0.203	25	0.082	0.35	0.052	0.18	0.20	0.24
2006	0.257	75	0.130	0.53	0.083	0.20	0.24	0.29
2007	0.217	72	0.088	0.64	0.083	0.16	0.21	0.25
2008	0.383	75	0.140	0.73	0.134	0.28	0.36	0.48
2009	0.259	75	0.100	0.54	0.103	0.17	0.24	0.34
2010	0.316	75	0.130	0.80	0.128	0.23	0.30	0.39
2011	0.227	75	0.100	0.59	0.092	0.15	0.22	0.27
2012	0.230	75	0.096	0.48	0.079	0.17	0.23	0.26
2013	0.236	75	0.084	0.56	0.086	0.17	0.22	0.29
2014	0.250	75	0.070	0.69	0.094	0.18	0.23	0.30
2015	0.247	75	0.099	0.57	0.095	0.18	0.23	0.28
2016	0.266	142	0.055	1.3	0.187	0.16	0.21	0.30
2017	0.237	69	0.042	0.53	0.109	0.16	0.21	0.31
2018	0.340	70	0.082	1.1	0.164	0.26	0.30	0.39
Total	0.265	1053	0.042	1.3	0.128	0.18	0.24	0.32

*Table A3. Mercury concentrations (Hg) in claw meat of crab (*Cancer pagurus*) caught at and near the site of U-864 wreck off Fedje each year from 2005 to 2018. Carapace width (mm) and Hg (mg/kg wet weight) are given as mean, minimum and maximum values.*

Claw meat	**(EU max level: 0.5)**			**Carapace width (cm)**			**Hg (mg/kg ww)**		
Year	**Site**	**Date**	**N**	**mean**	**min**	**max**	**mean**	**min**	**max**
2018	Ved vraket	23.05.2018	9	14.6	12.1	17.7	0.185	0.089	0.26
	4 n mil nord	26.05.2018	14	13.9	10.6	16.6	0.246	0.12	0.39
	4 n mil sør	24.05.2018	15	14.1	12.0	16.5	0.116	0.053	0.23
2017	Ved vraket	15.06.2017	11	13.7	11.5	15.7	0.141	0.090	0.22
	4 n mil nord	22.06.2017	10	14.5	13.2	16.7	0.146	0.082	0.22
	4 n mil sør	16.06.2017	15	15.1	12.9	17.2	0.103	0.029	0.17
2016	Ved vraket	12.05.2016	48	13.6	11.1	17.2	0.096	0.046	0.26
		15.08.2016	25	13.8	11.8	16.6	0.114	0.031	0.27
		09.09.2016	27	13.1	11.6	15.3	0.151	0.073	0.40
	4 nm nord	04.08.2016	23	15.0	12.7	16.9	0.084	0.040	0.15
	4 nm sør	13.08.2016	23	13.6	10.4	17.1	0.070	0.026	0.15
2015	Ved vraket	04.07.2015	25	13.5	10.8	16.5	0.082	0.032	0.14
	4 n mil nord	04.07.2015	24	14.0	10.5	17.2	0.084	0.033	0.16
	4 n mil sør	04.07.2015	25	13.7	10.0	16.7	0.079	0.031	0.20
2014	Ved vraket	01.06.2014	25	14.2	11.3	17.9	0.074	0.024	0.14
	4 n mil nord	01.06.2014	25	14.4	12.0	16.9	0.094	0.019	0.29
	4 n mil sør	01.06.2014	24	14.4	12.0	18.0	0.075	0.019	0.18
2013	Ved vraket	05.06.2013	25	13.6	11.4	16.5	0.10	0.045	0.19
	4 n mil nord	29.05.2013	25	13.6	11.4	17.2	0.12	0.033	0.21
	4 n mil sør	05.06.2013	25	14.1	11.7	16.5	0.10	0.037	0.20
2012	Ved vraket	18-21.06.12	25	14.0	10.8	18.0	0.11	0.032	0.32
	4 n mil nord	18-21.06.12	25	14.2	11.1	17.0	0.11	0.039	0.27
	4 n mil sør	18-21.06.12	25	14.4	11.6	17.6	0.10	0.046	0.21
2011	Ved vraket	10.06.11	25	13.6	10.5	16.7	0.15	0.039	0.48
	4 n mil nord	10.06.11	25	12.8	10.7	15.4	0.085	0.002	0.18
	4 n mil sør	10.06.11	24	14.0	10.7	16.6	0.097	0.034	0.18
2010	Ved vraket	20.05.10	25	14.3	10.8	17.5	0.07	0.02	0.17
	4 n mil nord	20.05.10	25	13.3	10.3	18.9	0.07	0.02	0.23
	4 n mil sør	20.05.10	25	14.2	11.3	16.2	0.06	0.02	0.18
2009	Ved vraket		25	14.7	13.0	17.0	0.11	0.05	0.22
	4 n mil nord		21	14.5	11.7	17.1	0.11	0.05	0.25
	4 n mil sør		24	15.2	12.7	17.4	0.11	0.05	0.17
2008	Ved vraket	30.06.08	23	13.5	12.0	16.0	0.16	0.07	0.26
	2 n mil nord	30.06.08	18	14.0	12.0	17.0	0.14	0.06	0.30
	4 n mil sør	30.06.08	17	13.9	12.0	16.5	0.14	0.04	0.29

2007	Ved vraket	19.06.07	25	13.8	11.0	17.0	0.13	0.03	0.27
	2 n mil nord	20.06.07	23	14.1	12.0	17.0	0.14	0.07	0.31
	4 n mil nord	21.06.07	22	14.1	11.0	18.0	0.14	0.06	0.27
2006	Ved vraket	17.06.06	25				0.15	0.04	0.60
	1 n mil nord	13.06.06	24				0.15	0.05	0.45
	2 n mil nord	17.06.06	25				0.12	0.05	0.21
2005	Ved vraket	27.10.05	25				0.18	0.08	0.37

*Table A4. Mercury concentrations (Hg) in brown meat of crab (*Cancer pagurus*) caught at and near the site of U-864 wreck off Fedje each year from 2005 to 2018. Carapace width (mm) and Hg (mg/kg wet weight) are given as mean, minimum and maximum values.*

Brown meat				**Vekt (g)**			**Hg (mg/kg våtvekt)**		
Year	**Site**	**Date**	**N**	**mean**	**min**	**max**	**mean**	**min**	**max**
2018	Ved vraket	23.05.2018	9	550	273	1004	0.241	0.10	0.40
	4 n mil nord	26.05.2018	14	426	190	667	0.202	0.098	0.34
	4 n mil sør	24.05.2018	15	469	266	778	0.117	0.043	0.28
2017	Ved vraket	15.06.2017	11	403	245	719	0.164	0.11	0.25
	4 n mil nord	22.06.2017	10	500	345	780	0.059	0.031	0.10
	4 n mil sør	16.06.2017	15	544	332	851	0.061	0.024	0.11
2016	Ved vraket	12.05.2016	57	292	108	633	0.23	0.067	0.64
	Ved vraket	15.08.2016	25	385	164	652	0.136	0.016	0.27
	Ved vraket	09.09.2016	28	302	165	480	0.42	0.11	2.6
	4 nm nord	04.08.2016	24	462	261	808	0.077	0.033	0.17
	4 nm sør	13.08.2016	25	357	140	715	0.069	0.033	0.10
2015	Ved vraket	04.07.2015	25	334	148	554	0.21	0.042	2.4
	4 n mil nord	04.07.2015	24	374	170	671	0.15	0.075	0.24
	4 n mil sør	04.07.2015	25	358	145	635	0.090	0.039	0.20
2014	Ved vraket	01.06.2014	25	394	218	818	0.065	0.016	0.17
	4 n mil nord	01.06.2014	25	395	247	632	0.11	0.012	0.22
	4 n mil sør	01.06.2014	25	423	235	1026	0.077	0.019	0.44
2013	Ved vraket	05.06.2013	25	339	159	515	0.21	0.099	0.39
	4 n mil nord	29.05.2013	25	349	199	742	0.21	0.059	0.44
	4 n mil sør	05.06.2013	25	431	247	788	0.12	0.042	0.28
2012	Ved vraket	18-21.06.12	25	395	205	689	0.17	0.056	0.33
	4 n mil nord	18-21.06.12	25	387	182	636	0.18	0.050	0.54
	4 n mil sør	18-21.06.12	25	427	249	742	0.13	0.049	0.33
2011	Ved vraket	10.06.11	25	386	182	634	0.17	0.040	0.70
	4 n mil nord	10.06.11	25	308	183	457	0.13	0.050	0.24
	4 n mil sør	10.06.11	25	385	164	704	0.16	0.031	0.34
2010	Ved vraket	20.05.10	23	343	136	578	0.09	0.04	0.20

	4 n mil nord	20.05.10	24	272	155	417	0.12	0.04	0.21
	4 n mil sør	20.05.10	22	371	200	577	0.06	0.03	0.13
2009	Ved vraket	16.11.09	25	375	212	531	0.07	0.01	0.26
	4 n mil nord	16.11.09	21	457	260	718	0.05	0.03	0.12
	4 n mil sør	16.11.09	24	505	316	754	0.05	0.03	0.10
2008	Ved vraket	30.06.08	23	314	217	463	0.26	0.08	0.77
	2 n mil nord	30.06.08	18	373	144	675	0.21	0.09	0.49
	4 n mil sør	30.06.08	17	368	209	685	0.18	0.06	0.34
2007	Ved vraket	19.06.07	25	326	168	485	0.29	0.11	1.3
	2 n mil nord	20.06.07	22	377	162	621	0.24	0.05	1.7
	4 n mil nord	21.06.07	24	333	137	558	0.16	0.06	0.29
2006	Ved vraket	17.06.06	25				0.19	0.06	0.34
	1 n mil nord	13.06.06	24				0.22	0.04	0.41
	2 n mil nord	17.06.06	25				0.18	0.08	0.33
2005	Ved vraket	27.10.05	25	350	199	486	0.26	0.09	0.56
2004	Ved vraket	16.1.04	24				0.20	0.08	0.50

*Table A5. Mercury concentrations in crab (*Cancer pagurus*) caught in the area around U-864, where results are pooled for all the sites. For each year and total, mean, number of samples (N), minimum (min), maximum (max) values, standard deviation (SD), median and 25 and 75% percentiles (Q25 and Q75) are given for claw meat and brown mean of boiled crabs, respectively.*

	Hg brown meat								**Hg claw**							
	Mean	**N**	**Min**	**Max**	**SD**	**Q25**	**Median**	**Q75**	**Mean**	**N**	**Min**	**Max**	**SD**	**Q25**	**Median**	**Q75**
2005	0.26	25	0.090	0.56	0.12	0.17	0.24	0.34	0.177	25	0.083	0.37	0.065	0.14	0.17	0.20
2006	0.198	74	0.040	0.41	0.073	0.15	0.19	0.24	0.138	74	0.040	0.60	0.084	0.090	0.12	0.16
2007	0.23	71	0.053	1.70	0.24	0.14	0.19	0.24	0.139	70	0.033	0.31	0.063	0.089	0.12	0.18
2008	0.22	58	0.059	0.77	0.14	0.13	0.19	0.26	0.146	58	0.041	0.30	0.064	0.084	0.14	0.19
2009	0.057	70	0.010	0.26	0.034	0.040	0.050	0.06	0.110	70	0.050	0.25	0.045	0.080	0.10	0.13
2010	0.089	69	0.030	0.21	0.048	0.050	0.080	0.12	0.069	75	0.020	0.23	0.039	0.040	0.060	0.080
2011	0.153	75	0.031	0.70	0.095	0.089	0.14	0.21	0.110	74	0.002	0.48	0.077	0.066	0.092	0.13
2012	0.160	75	0.049	0.54	0.092	0.084	0.14	0.21	0.106	74	0.032	0.32	0.059	0.061	0.086	0.14
2013	0.181	75	0.042	0.44	0.085	0.12	0.17	0.22	0.110	75	0.033	0.21	0.043	0.077	0.10	0.13
2014	0.083	73	0.012	0.44	0.065	0.042	0.066	0.12	0.081	75	0.019	0.29	0.052	0.045	0.069	0.11
2015	0.15	74	0.039	2.4	0.27	0.079	0.11	0.17	0.082	74	0.031	0.20	0.038	0.051	0.074	0.10
2016	0.20	159	0.016	2.6	0.24	0.081	0.15	0.25	0.103	146	0.026	0.40	0.055	0.065	0.090	0.13
2017	0.127	36	0.029	0.22	0.045	0.097	0.12	0.16	0.092	36	0.024	0.25	0.057	0.044	0.074	0.13
2018	0.178	38	0.043	0.40	0.087	0.11	0.17	0.25	0.180	38	0.053	0.39	0.093	0.095	0.15	0.24
Alle	0.158	947	0.010	2.6	0.165	0.072	0.13	0.20	0.111	944	0.002	0.60	0.064	0.066	0.097	0.14

*Table A6. Mercury concentrations in crab (*Cancer pagurus*) caught in the area around U-864, where results are pooled for all the sites. For each year and total, mean, number of samples (N), minimum (min), maximum (max) values, standard deviation (SD), median and 25 and 75% percentiles (Q25 and Q75) are given for hepatopancreas and claw meat of raw crabs.*

	Hg hepatopankreas								Hg klo, rå							
	Mean	**N**	**Min**	**Max**	**SD**	**Q25**	**Median**	**Q75**	**Mean**	**N**	**Min**	**Max**	**SD**	**Q25**	**Median**	**Q75**
2016	11.8	5	0.32	26	11.1	0.56	15	17	.	.	.	.	.	.	.	.
2017	0.251	39	0.023	1.3	0.191	0.20	0.22	0.29	0.094	39	0.002	0.22	0.045	0.068	0.086	0.12
2018	0.327	41	0.077	0.96	0.199	0.18	0.31	0.4	0.114	41	0.036	0.50	0.079	0.070	0.093	0.14
Alle	0.967	85	0.023	26	3.65	0.19	0.26	0.35	0.105	80	0.002	0.50	0.065	0.069	0.089	0.13

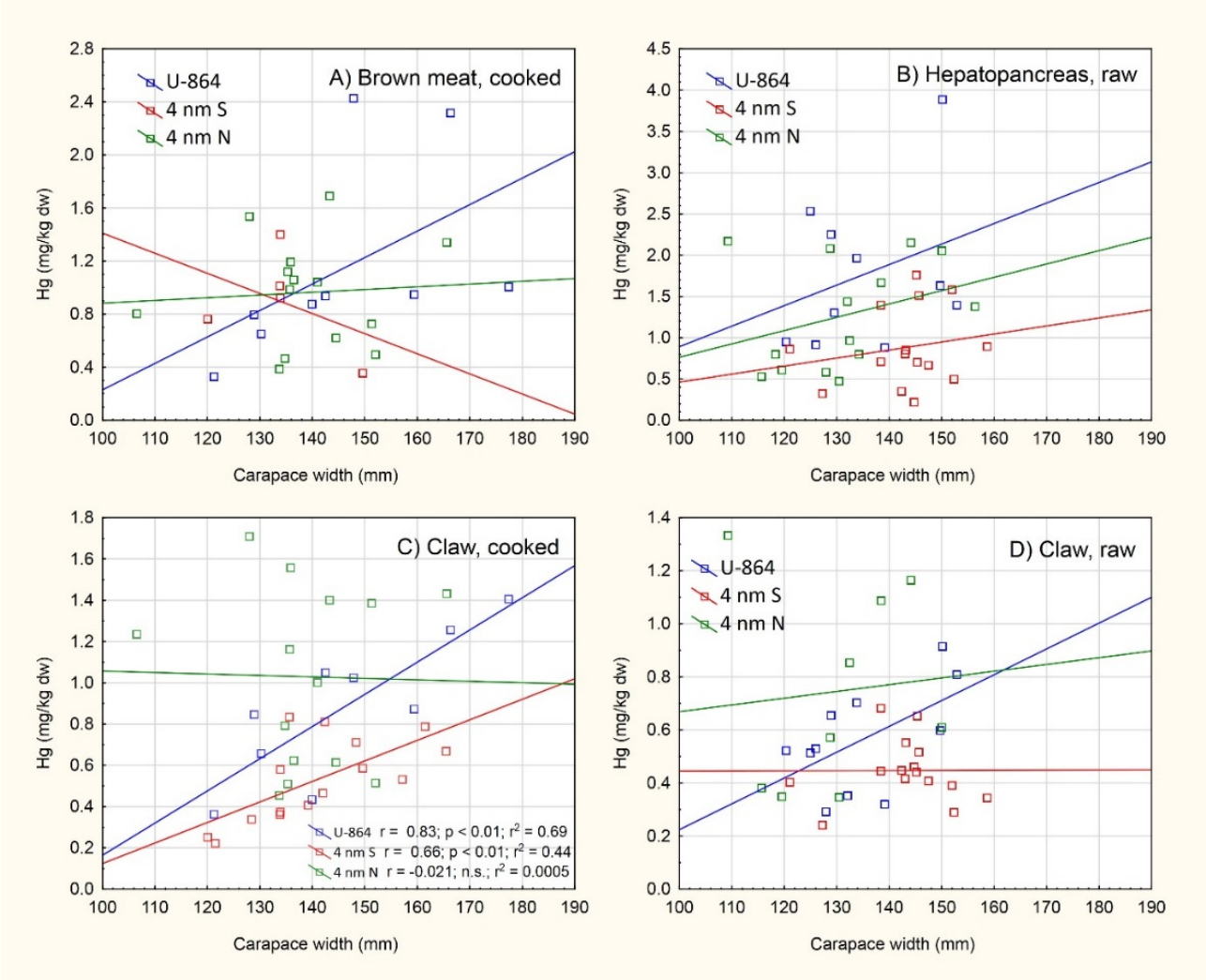

Figure A1. Scatterplots between crab size (carapace width, mm) and dry weight total mercury concentration (Hg, mg/kg dw), given for A) brown meat of cooked crab, B) hepatopancreas of raw crab, C) claw meat of cooked crab and D) Claw meat of raw crab. Different sampling sites are indicated with different colours: Blue: Site of U-864 wreck; Red: 4 nautical mils south (nm S) of the wreck; Green: 4 nm north of the wreck. Correlation results are shown where there was any significant correlation.

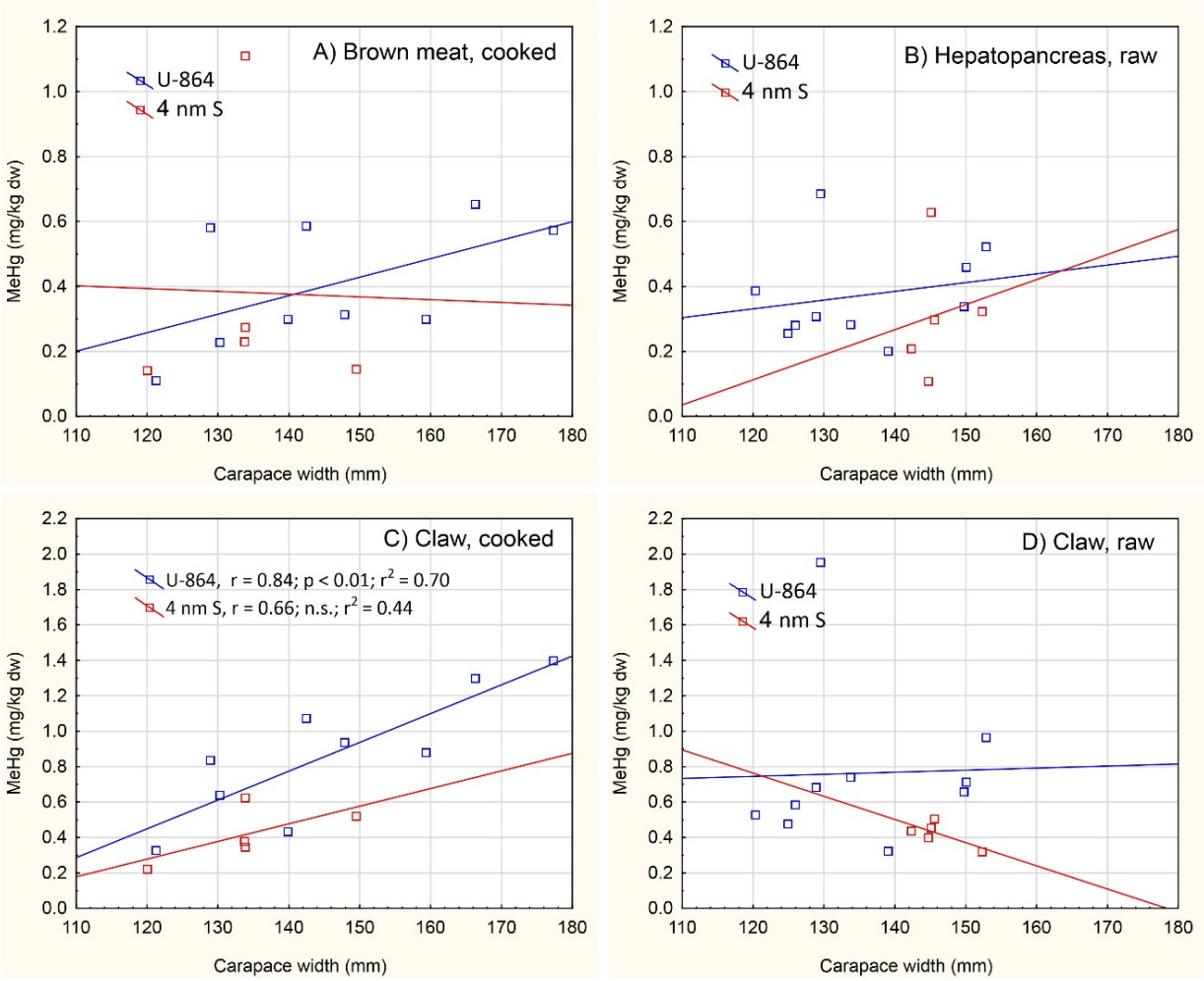

Figure A2. Scatterplots between crab size (carapace width, mm) and dry weight MeHg concentration (mg/kg dw), given for A) brown meat of cooked crab, B) hepatopancreas of raw crab, C) claw meat of cooked crab and D) Claw meat of raw crab. Different sampling sites are indicated with different colours: Blue: Site of U-864 wreck; Red: 4 nautical mils south (nm S) of the wreck; Correlation results are shown where there was any significant correlation.



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
E-post: post@hi.no
www.hi.no