



N I F E S
NASJONALT INSTITUTT
FOR ERNÆRINGS- OG
SJØMATFORSKNING

Rapport 2015

Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje Nye analyser i 2014

Sylvia Frantzen og Amund Måge

**Nasjonalt institutt for ernærings- og
sjømatforskning (NIFES)**

15.04.2015

ISBN 978-82-91065-21-2

FORORD

NIFES overvåker årlig kvikksølv i fisk og krabbe fanget nær vraket av ubåten U-864 ved Fedje, på oppdrag av Kystverket. I 2014 var det ellevte gang denne overvåkningen ble gjennomført, og i 2014 er det for første gang i tillegg til totalkvikksølv også bestemt metylkvikksølv i krabbeprovne.

Prøveinnsamling ble som tidligere utført av kystfisker Helge Torsvik, koordinert av Havforskningsinstituttet ved Dag Furevik. NIFES' Laboratorium for grunnstoffer ledet av Marita Kristoffersen sto for både prøveopparbeidelse og analyse av prøvene. Registrering av prøver, filetering av fisk, koking og plukking av krabbe, samt homogenisering og frysetørring av prøvene ble gjort av Anne Margrethe Aase, Manfred Torsvik, Vidar Fauskanger, Nawaraj Gautam, Siren Hatland og Aina Bruvik. Kvikksølvanalysene ble gjennomført av Siri Bargård, Tonja Lill Eidsvik, Edel Erdal, Vivian Mui, Georg Olsen og Berit Solli, og Berit Solli utførte metylkvikksølvanalysene. Vi takker alle som har deltatt i gjennomføringen av prosjektet i 2014.

INNHold

Forord.....	3
Innhold	4
Sammendrag.....	5
1. Innledning	6
2. Materiale og metoder	8
2.1 Områdebeskrivelse og prøveinnsamling	8
2.2 Opparbeiding og analyser.....	9
3. Resultater	10
3.1 Brosme	10
3.2 Krabbe	11
3.2.1 Totalkvikksølv i krabbe.....	11
3.2.2 Metylkvikksølv i krabbe.....	11
3.3 Bunnlus.....	13
4. Diskusjon.....	14
4.1 Brosme	14
4.2 Krabbe	15
4.2.1 Totalkvikksølv i krabbe.....	15
4.2.2 Metylkvikksølv i krabbe.....	16
4.3 Bunnlus.....	17
5. Konklusjon	17
6. Litteraturliste.....	18
7. Vedlegg. Historiske data	20

SAMMENDRAG

Det er påvist høye konsentrasjoner av kvikksølv i sedimenter ved vraket av ubåten U-864 vest av Fedje. Kvikksølv fra sedimentene, og eventuelt fra lasten i selve vraket, kan lekke ut og forurense fisk og annen sjømat i området. NIFES har på oppdrag fra Kystverket overvåket kvikksølvinnholdet i sjømat fra området rundt vraket hvert år siden 2004.

Sommeren 2014 ble det tatt nye prøver av brosme og krabbe fra området ved vraket samt fire sjømil nord og fire sjømil sør for vraket. Det ble fanget til sammen 75 brosmes og 75 krabber, og filet av enkeltfisk samt klokjøtt og brunmat av enkeltkrabber ble analysert for kvikksølv. Resultatene er presentert i sammenheng med data fra 2005-2013. I tillegg ble det for andre gang analysert samleprøver av åtsetende bunnlus, isopoden *Natatolana borealis* (Synonym: *Cirolana borealis*) og amfipoden *Tmetonyx cicada*, fra de samme stasjonene. Nytt av året er at brunmat og klokjøtt av krabbene ble analysert for metylkvikksølv i tillegg til totalkvikksølv.

Den gjennomsnittlige kvikksølvkonsentrasjonen i filet av brosme fanget i 2014 ved vraket av U-864, fire sjømil nord og fire sjømil sør for vraket var henholdsvis 0,27, 0,25 og 0,23 mg/kg våtvekt. Én enkelt av de 75 analyserte brosmene hadde kvikksølvkonsentrasjon i filet over EUs øvre grenseverdi på 0,5 mg/kg våtvekt som gjelder ved omsetning, med 0,69 mg/kg våtvekt. Gjennomsnittskonsentrasjonen av kvikksølv i filet av brosme fisket ved vraket var i 2014 omtrent som gjennomsnittet for hele perioden 2005-2014. Brosmene fanget ved vraket har ikke høyere kvikksølvkonsentrasjon enn de som er fanget lenger sør og nord, noe som tyder på at det er liten sammenheng mellom forurensning fra selve vraket og nivået av kvikksølv i fisk fra området. Brosme fanget nær vraket av U-864 har heller ikke høyere nivå av kvikksølv enn bakgrunnsnivå for kysten, men nivået er høyere enn i åpent hav.

Krabbe fanget i området nær U-864 i 2014 hadde gjennomsnittskonsentrasjoner av kvikksølv i brunmat som varierte fra 0,064 til 0,11 mg/kg våtvekt og i klokjøtt varierte gjennomsnittskonsentrasjonene fra 0,074 til 0,094 mg/kg våtvekt. Nivået var lavere enn de fleste tidligere år, og det lave kvikksølvnivået kan skyldes at prøvene ble tatt litt tidlig i sesongen, allerede 1. juni. Kvikksølvkonsentrasjonene i brunmat var noe høyere i krabbe fanget fire sjømil nord for vraket sammenlignet med krabbe fanget ved vraket og fire sjømil sør for vraket. I klokjøtt var gjennomsnittskonsentrasjonene av kvikksølv sammenlignbare for alle de tre posisjonene. Alle år sett under ett er nivåene av kvikksølv i brunmat i krabbe fanget ved vraket og fire mil nord for vraket noe høyere enn bakgrunnsnivå.

Analyser av metylkvikksølv i krabber fra de tre lokalitetene rundt U-864 og to lokaliteter i Nordland viste at brunmat av krabber fanget fire sjømil nord for vraket hadde noe lavere andel metylkvikksølv (52 %) enn krabber fanget sør for vraket og i Nordland (63-67 %). Det ser ut til at det ekstra kvikksølvet disse krabbene har tatt opp er uorganiske kvikksølvformer, og det kan stemme med at lite av kvikksølvforurensningen i sedimentet rundt vraket er metylkvikksølv. I klokjøtt var omtrent alt kvikksølv metylkvikksølv ved alle lokalitetene.

Konsentrasjonen av kvikksølv i bunnlus varierte i 2014 fra 0,033 til 0,037 mg/kg våtvekt, og var lavere enn det som ble målt i 2013.

Konsentrasjonene av kvikksølv i brosme og krabbe fra området rundt vraket av U-864 er i hovedsak under EUs og Norges øvre grenseverdi for humant konsum på 0,5 mg/kg våtvekt. I 2014 hadde kun én av de 75 brosmene som ble analysert en kvikksølvkonsentrasjon over grenseverdien. I de ti årene fra 2005 til 2014 har 27 av i alt 697 brosmes (3,9 %) vist kvikksølvkonsentrasjoner over 0,5 mg/kg våtvekt. I 2014 hadde ingen av krabbeprovne konsentrasjoner av kvikksølv over EU og Norges øvre grenseverdi som for krabbe kun gjelder klokjøtt. Mattilsynet advarer gravide og ammende mot å spise sjømat fra området rundt vraket. De nye resultatene vurderes ikke å endre mattrygghetsbildet.

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 60-70 tonn metallisk kvikksølv var lagret i jernflasker i kjølen. Vraket av ubåten med den farlige lasten ble liggende på rundt 150 meters dyp om lag tre kilometer vest for Fedje, og ble identifisert først i 2003.

Analyser utført i 2003, verifisert gjennom en større kartlegging i 2005 (Uriansrud et al. 2005), viste at prøver av sedimenter tatt ved vraket inneholdt høye konsentrasjoner av kvikksølv. Dette bekreftet at det var kvikksølv i lasten og at noen av flaskene med kvikksølv trolig ble ødelagt under torpederingen slik at kvikksølv ble spredd til sedimentene.

Siden 2005 har det vært mye fokus på hva som skal skje med vraket, lasten med kvikksølv og sedimentene rundt. I desember 2006 la Kystverket frem en innstilling som anbefalte tildekking av både ubåten og sedimentene, men Fiskeri- og kystdepartementet (FKD) gikk i november 2008 inn for å heve ubåten. Etter en ekstern kvalitetssikring av hevingsprosjektet i 2010, valgte FKD å oppheve hevingskontrakten og å få gjennomført en ny konseptvalgutredning. I den nye utredningen ble det igjen konkludert med at tildekking var det beste alternativet for å hindre fremtidig kvikksølvforurensning. I tillegg ble det utført enda en ny utredning der også mudringsalternativet var tatt med. I løpet av januar 2013 – januar 2014 gjennomførte Kystverket et forprosjekt med nye undersøkelser av vrakdelene av U-864 og havbunnen rundt for å utrede de to alternativene kun tildekking eller heving av last med påfølgende tildekking. Etter dette arbeidet leverte Kystverket i 2014 en ny anbefaling om tildekking av vraket.

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 et al. 2006; 2007; Frantzen et al. 2008; 2010; 2011; 2012; Haldorsen et al. 2013; Frantzen et al. 2014). Kvikksølvbestemmelsene har blitt gjort på de artene det har vært mulig å få med teiner i området. Siden 2009 har fokuset vært på brosme og krabbe, ettersom det nesten utelukkende er disse to artene som har vært fanget i teinene de siste årene. Fra 2013 ble også bunnlus (*Tmetonyx cicada* og *Natatolana borealis* (syn. *Cirolana borealis*)) inkludert.

Kvikksølv er et grunnstoff som finnes overalt i miljøet som et resultat av både menneskelig aktivitet og naturlig forekomst, og er tilstede i et bakgrunnsnivå selv på steder helt uten menneskelig aktivitet. Kvikksølv overføres gjennom næringskjeden hovedsakelig i form av metylkvikksølv. Fisk bruker særlig lang tid på å skille ut metylkvikksølv, og inneholder mer metylkvikksølv jo eldre og større de er og jo høyere i næringskjeden de lever (Amlund et al. 2007). Det betyr at gammel rovfisk vil kunne ha relativt høye kvikksølvnivåer selv i områder uten kjent forurensning. Når en skal vurdere om sjømaten fra området rundt U-864 har blitt påvirket av kvikksølv fra vraket og sedimentet rundt må man derfor sammenligne med bakgrunnsnivå for de artene som undersøkes, det vil si det nivået man finner andre steder langs norskekysten.

I overvåkingen fra 2004 har ingen av de undersøkte artene vist gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon for noen stasjon over EUs øvre grenseverdi for kvikksølv i fisk og sjømat til humant konsum, selv om noen enkeltindivider har vist konsentrasjoner over grenseverdien (Frantzen et al. 2014). Kvikksølvkonsentrasjonene i brosme har i løpet av overvåkingen ikke vist forhøyet nivå sammenlignet med bakgrunnsnivå for brosme fra Vestlandet (Kvangarsnes 2010; Kvangarsnes et al. 2012). Det er heller ikke funnet at brosme fanget ved vraket har høyere kvikksølvkonsentrasjoner enn brosme fanget fire sjømil nord eller fire sjømil sør for vraket. Dette tyder på at brosmemuskel ikke tar opp kvikksølv fra sedimentet rundt vraket i særlig grad, kanskje fordi kvikksølvet i sedimentet er lite metylert

(Uriansrud et al. 2005). Det kvikksølv vi finner i brosmene kan altså ha sitt opphav i andre, mer diffuse kilder.

Når det gjelder krabbe prøvetatt ved U-864, så har det særlig i brunmat vært funnet konsentrasjoner av kvikksølv som er betydelig høyere enn det som har vært vist i andre undersøkelser andre steder langs kysten (Måge og Frantzen 2008; Frantzen og Måge 2009; Frantzen et al. 2011; Julshamn et al. 2012). For brunmat av krabbe har det også i flere år vært funnet høyere konsentrasjoner av kvikksølv ved vraket og fire sjømil nord for vraket enn fire sjømil sør for vraket, noe som kan forklares med spredning av kvikksølv nordover med strømmen. Det ser altså ut til at brunmat av krabbe, som består hovedsakelig av fordøyelseskjertel («levermasse») og noe rogn, i større grad enn muskel av brosme og krabbe akkumulerer kvikksølv fra sedimentet.

Hovedhensikten med den årlige overvåkingen av sjømat i området ved U-864 er å fange opp eventuelle endringer i innholdet av kvikksølv i sjømat fanget i området. Så langt, fra 2005 til 2012, har kvikksølvkonsentrasjonen i brosme fanget ved ubåten variert en del, men det ser ikke ut til å ha vært noen endring i perioden. For krabbe har det vært store variasjoner, men her har årstidsvariasjoner i vandring og fødeopptak trolig bidratt mye til variasjonene i kvikksølvnivå. Hvis vi tar hensyn til slike variasjoner er det ikke noe som tyder på at det har vært noen endring i perioden for krabbe heller. Det er viktig at vi tar krabbeprovne på riktig tid av året for å unngå årstidsvariasjoner, og det har vi gjort de siste årene.

Etter nesten ti år med overvåkning ble det fra 2013 besluttet å inkludere noen flere organismer som lever i området ved vraket. Såkalte bunnlus er svært vanlige i området, og består av to arter: *T. cicada* (Orden Amfipoda) og *N. borealis* (Orden Isopoda). Disse er små åtseletende bunndyr, i hovedsak mindre enn 2 cm i lengde. De er et stort problem for fiskere i mange områder, da de eter opp fangsten. Siden det er så mye av de i området ved ubåtvraket kan de være viktige byttedyr for større dyr som brosme og krabbe, og slik representere et lavere nivå i næringskjeden. Selv om de ikke er relevant som menneskeføde per i dag, så har det vært gjort forsøk på å finne måter å utnytte de på (Bakke et al. 2011). Da ble det også utført noen få analyser for tungmetaller, inkludert kvikksølv, som til en viss grad kan brukes som sammenligningsgrunnlag i denne overvåkingen. I 2013 ble det funnet nivåer av kvikksølv i bunnlus som delvis var litt høyere enn det som ble funnet av Bakke et al. 2011.

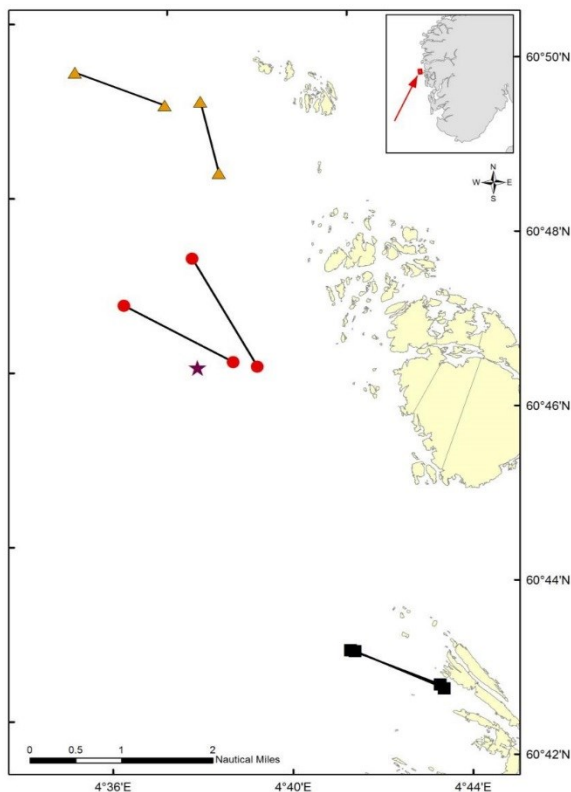
De forhøyede nivåene av kvikksølv i brunmat av krabbe, men ikke i klokjøtt av krabbe og muskel av brosme, kan skyldes at kvikksølv som er tilgjengelig i sedimentet i liten grad er metylkvikksølv, som er den formen som tas lettest opp i muskelvev (Bjerregaard og Christensen 1993, Torres et al. 2014). For å undersøke dette nærmere ble det besluttet at det i prosjektet for 2014 også skulle inkluderes analyser for metylkvikksølv.

I 2014 ble det, som i årene 2009-2013, tatt prøver av brosme og krabbe ved vraket, fire sjømil sør for vraket og fire sjømil nord for vraket. I tillegg ble det tatt prøver av bunnlus fra de samme områdene. Prøvene ble tatt i begynnelsen av juni. Prøver av brosmefilet samt klokjøtt og brunmat av krabbe og samleprøver av henholdsvis *T. cicada* og *N. borealis* ble analysert for kvikksølv. Prøver av brunmat og klokjøtt av krabbe ble også analysert for metylkvikksølv. Resultatene er sammenlignet med resultater fra tidligere år for å se om det har vært noen endring.

2. MATERIALE OG METODER

2.1 Områdebeskrivelse og prøveinnsamling

Fedje er en øykommune som ligger åpent til mot havet omlag 50 km nordvest for Bergen. Vraket av U-864 ligger på 150 meters dyp omlag tre kilometer vest for Fedje, ved 60°46' N, 4°37' Ø (Figur 1). Prøvefisket koordineres av Havforskningsinstituttet (HI), og som i tidligere år ble fisket i 2014 gjennomført av kystfisker Helge Torsvik med hans 43 fots fiskebåt M/K Vikingfjord (H-1-A). Mer detaljert informasjon finnes i prøvetakingsrapporten som er utgitt av Havforskningsinstituttet (Furevik og Bakkeplass 2014). Det ble fisket 25 brosmer og 25 krabber ved vraket samt rundt fire sjømil nord og fire sjømil sør for vraket. I tillegg ble det tatt samleprøver av bunnflus i agnposer festet til teinene. Det ble tatt én samleprøve av amfipoden *T. cicada* og én samleprøve av isopoden *N. borealis* i hvert av de tre områdene. Bilder av de to bunnflusartene er vist i Figur 2.



Figur 1. Kart over havområdet utenfor Fedje med teinelenker inntegnet. Lilla stjerne: ubåt, røde sirkler: område 0, Svarte firkanter: område 4-S, Oransje trekanter: område 4-N.



Figur 2. Amfipoden *Tmetonyx cicada* til venstre og isopoden *Natatolana borealis* til høyre.

I tillegg til prøver tatt i området rundt U-864 ble det i 2014 også analysert noen prøver av krabber fra to referansestasjoner i Nordland, prøvetatt gjennom et annet prosjekt. Det ble benyttet kløkjøtt og brunmat av 10 krabber hver av fra to ulike lokaliteter henholdsvis i Hamarøy og Bodøområdet med posisjonene 68°43' N 15°17' E (Ref. Nordland 1) og 67°24'N 14°24'E (Ref. Nordland 2). Disse var allerede analysert for totalkvikksølv, og ble analysert for metylkvikksølv til bruk som referanse i dette prosjektet.

2.2 Opparbeiding og analyser

Prøvene ble lagt på is og levert til NIFES' prøvemottak for opparbeiding. Her ble de oppbevart frosne frem til opparbeiding. Hver fisk og krabbe ble lengdemålt og veid, og det ble tatt filetprøver av fisken. Krabbene ble tint og deretter kokt, og "pave" og gjeller ble fjernet før det ble tatt prøver av klør og brunmat fra hver krabbe. "Brunmat" er det vi kaller innmaten i krabbeskjellet, som i tillegg til rogn for en stor del består av hepatopankreas (også kalt fordøyelseskjertelen, eller levermassen). Bunnlusene ble sortert i amfipoder og isopoder (figur 2) før det ble laget en samleprøve av over 100 individer av hver sort fra hvert område.

Hver prøve ble homogenisert og frysetørket før oppslutning og analyse for totalkvikksølv med ICPMS (Julshamn et al. 2007). Før selve bestemmelsen av kvikksølv ble prøven dekomponert med syre i mikrobølgeovn slik at kvikksølvet forelå som ioner i løsning.

Metylkvikksølv ble bestemt ved GC-ICPMS med isotopfortynning (Valdersnes et al. 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.

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

3. RESULTATER

3.1 Brosme

Brosme fanget i 2014 ved vraket av U-864, fire sjømil nord for vraket og fire sjømil sør for vraket varierte i størrelse fra et gjennomsnitt på 1,3 kg nord for vraket til 1,6 kg sør for vraket (Tabell 1). Brosmene var relativt jevnstore sammenlignet med de som har blitt fanget i området tidligere år, unntatt i 2010, da brosmene var noe større (Se vedlegg tabell A1).

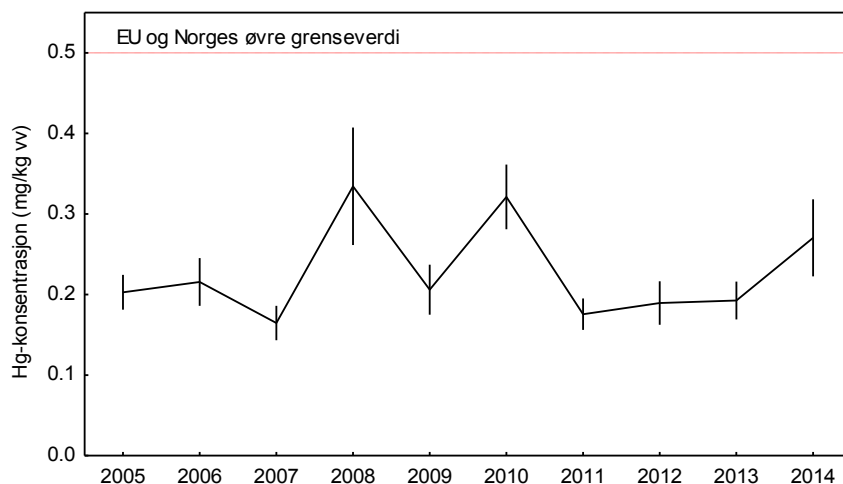
Kvikksølvkonsentrasjonen i filetprøver av de enkelte brosmene fanget i 2014 ved vraket av U-864, fire sjømil nord for vraket og fire sjømil sør for vraket varierte fra 0,070 til 0,69 mg/kg våtvekt (Tabell 1). Én av de 75 brosmene hadde kvikksølvkonsentrasjon høyere enn EUs øvre grenseverdi på 0,5 mg/kg våtvekt. Denne var fanget ved vraket og veide 2 kg.

I 2014 hadde brosme fanget ved vraket kvikksølvkonsentrasjoner på samme nivå som brosme fanget både nord og sør for vraket (Tabell 1). Gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon i filet av brosme fanget like ved vraket, fire sjømil nord og fire sjømil sør for vraket i 2014 var henholdsvis 0,27, 0,25 og 0,23 mg/kg våtvekt.

Brosme fanget like ved vraket av U-864 hadde gjennomsnittlig konsentrasjon av kvikksølv noe høyere i 2014 enn de fleste år med unntak av 2008 og 2010 (Figur 1; tabell A1). Kvikksølvkonsentrasjonene varierer fra år til år, og det er ikke mulig å se noen økende eller avtakende trend.

Tabell 1 Kvikksølvkonsentrasjoner (Hg, mg/kg våtvekt) i filet av brosme fanget ved og i nærheten av vraket av ubåten U-864 ved Fedje i 2014. Hel fisk vekt (g) og kvikksølvkonsentrasjon (Hg, mg/kg våtvekt) er vist med gjennomsnitt, minste og største verdi. Prøvene ble tatt ved vraket, 4 nautiske mil (n mil) nord for vraket, samt 4 n mil sør for vraket.

Lokalitet	Dato	Vekt (g)		Hg (mg/kg våtvekt) EU-øvre grenseverdi: 0,5	
		N	snitt (min – maks)	snitt (min – maks)	Antall > 0,5
Ved vraket	01.06.14	25	1424 (850 – 2112)	0,27 (0,11 - 0,69)	1
4 n mil nord	01.06.14	25	1310 (757 – 2270)	0,25 (0,13 - 0,38)	0
4 n mil sør	01.06.14	25	1554 (85 – 2260)	0,23 (0,070 - 0,49)	0



Figur 1 Kvikksølvkonsentrasjoner (mg/kg våtvekt) i filet av brosme fanget like ved vraket av U-864 hvert år fra 2005 til og med 2014, 25 fisk hvert år. Gjennomsnitt $\pm$ 95 % konfidensintervall er vist.

3.2 Krabbe

3.2.1 Totalkvikksølv i krabbe

Krabbene som ble fanget ved vraket av U-864, fire sjømil nord for vraket og fire sjømil sør for vraket i 2014 varierte i størrelse fra 218 til 1026 g (Tabell 2). Gjennomsnittsvekten var nokså lik ved de tre lokalitetene: 395 g fire mil nord for vraket, 427 g fire mil sør for vraket og 394 g like ved vraket. Størrelsen på krabbene var på linje med de krabbene som ble prøvetatt i 2012-2013.

Krabbene hadde kvikksølvkonsentrasjoner fra 0,012 til 0,44 mg/kg våtvekt i brunmat og fra 0,019 til 0,29 mg/kg våtvekt i klokjøtt (Tabell 2). Gjennomsnittskonsentrasjonen av kvikksølv i klokjøtt og brunmat av krabbe fanget ved vraket i 2014 var henholdsvis 0,074 og 0,066 mg/kg våtvekt. Dette er relativt lavt sammenlignet med de fleste årene (Figur 2; tabell A3-A5). For brunmat var kvikksølvkonsentrasjonen på nivå med 2009, og for klokjøtt på nivå med 2010.

Krabbe fanget fire sjømil nord for vraket i 2014 hadde noe høyere gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon både i klokjøtt og brunmat enn krabbe fanget ved vraket og fire sjømil sør for vraket (Tabell 2). I 2014 ble det også inkludert krabber fra to referanselokaliteter i Nordland, og lokaliteten nord for vraket hadde høyere konsentrasjoner også i forhold til disse.

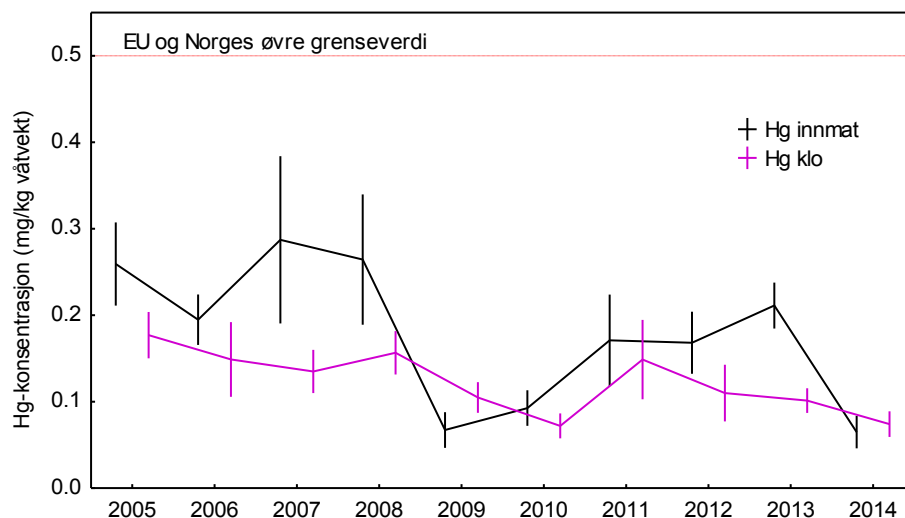
3.2.2 Metylkvikksølv i krabbe

Gjennomsnittlig konsentrasjon av metylikvikksølv i klokjøtt av krabbe fanget nær U-864 varierte fra 0,066 mg Hg/kg våtvekt ved vraket til 0,093 mg Hg/kg våtvekt fire sjømil nord for vraket. Gjennomsnittlig andel metylikvikksølv var 90 % ved vraket og sør for vraket og 96 % nord for vraket (Tabell 2). Ved de to referanselokalitetene i Nordland var gjennomsnittlig andel metylikvikksølv rundt 100 % angitt med ett signifikant siffer.

Når vi beregner måleusikkerhet for andel metylikvikksølv av totalkvikksølv, må måleusikkerhetene til begge analysemetodene tas hensyn til. Den summerte måleusikkerheten for totalkvikksølvanalysen og metylikvikksølvanalysen er på 50 %. I analysene av klokjøtt fra referanselokalitetene i Nordland fikk vi generelt høyere konsentrasjoner av metylikvikksølv enn totalkvikksølv, noe som ikke er teoretisk mulig. Men alle resultatene var innenfor

Tabell 2 Konsentrasjoner av totalkvikksølv (TotHg, mg/kg våtvekt) og metylikvikksølv (MMeHg, mg Hg/kg vv) i brunmat og klokjøtt av krabbe fanget ved og i nærheten av vraket av ubåten U-864 ved Fedje i 2014. Metylikvikksølv er også vist som andel av totalkvikksølv. Vekt på krabbene er også gitt. Alle resultater er oppgitt som gjennomsnitt, minste og største verdi. Prøvene ble tatt ved vraket, 4 nautiske mil (n mil) nord for vraket, 4 n mil sør for vraket, samt to referanselokaliteter i Nordland.

Vev	Lokalitet	Vekt (g)		TotHg (mg/kg vv)	MMeHg (mg Hg/kg vv)	MMeHg (% av TotHg)
		N	Snitt (min – maks)	Snitt (min – maks)	Snitt (min – maks)	Snitt (min – maks)
Klokjøtt	Ved vraket	25	394 (218 - 818)	0,074 (0,024 - 0,14)	0,066 (0,020 - 0,13)	89 (70 - 100)
	4 n mil nord	25	395 (247 - 632)	0,094 (0,019 - 0,29)	0,093 (0,018 - 0,29)	95 (80 - 100)
	4 n mil sør	24	427 (235 - 1026)	0,075 (0,019 - 0,18)	0,069 (0,015 - 0,16)	90 (80 - 100)
	Ref. Nordland 1	10	412 (262 - 594)	0,068 (0,034 - 0,17)	0,082 (0,038 - 0,19)	100 (100 - 100)
	Ref. Nordland 2	10	787 (601 - 1218)	0,061 (0,032 - 0,093)	0,063 (0,031 - 0,089)	100 (100 - 100)
Brunmat	Ved vraket	25	394 (218 - 818)	0,065 (0,016 - 0,17)	0,036 (0,011 - 0,084)	62 (40 - 90)
	4 n mil nord	22	395 (247 - 632)	0,11 (0,020 - 0,22)	0,055 (0,015 - 0,14)	52 (20 - 100)
	4 n mil sør	24	427 (235 - 1026)	0,064 (0,019 - 0,13*)	0,039 (0,010 - 0,11)	63 (40 - 90)
	Ref. Nordland 1	9	412 (262 - 594)	0,068 (0,029 - 0,15)	0,045 (0,017 - 0,087)	66 (50 - 90)
	Ref. Nordland 2	10	787 (601 - 1218)	0,038 (0,022 - 0,055)	0,025 (0,013 - 0,045)	67 (40 - 80)

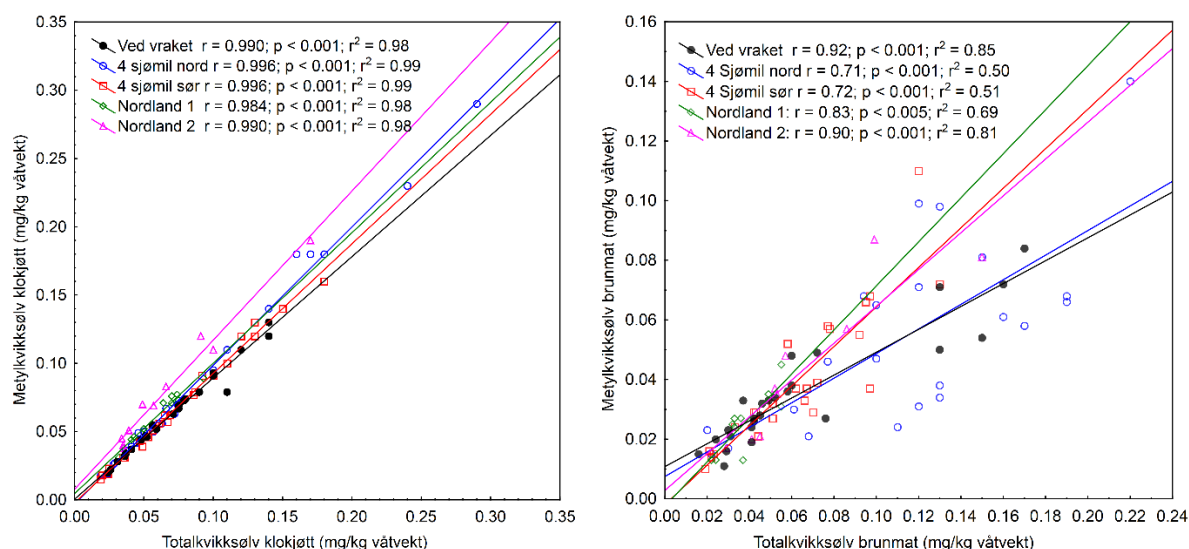


Figur 2 Kvikksølvkonsentrasjoner (mg/kg våtvekt) i taskekrabbe, henholdsvis brunmat (svart linje) og klokjøtt (lilla linje), fanget like ved vraket av U-864 hvert år fra 2005 til og med 2014, 25 krabber per år. Gjennomsnitt $\pm$ 95 % konfidensintervall er vist.

metodeusikkerhetene til de to metodene. Dersom det har vært forskjeller i en eller begge analysene fra dag til dag der det noen dager har blitt litt høye nivåer og noen dager har blitt litt lave nivåer er det godt mulig at alle klokjøttprøvene reelt sett hadde en andel metylkvikksølv rundt 100 %.

Brunmat av krabbe hadde lavere og mer varierende andel metylkvikksølv enn klokjøtt, med fra 22 til 120 % i enkeltkrabber ved Fedje og med gjennomsnitt for de tre lokalitetene fra 52 til 63 % (Tabell 2). I Nordland var gjennomsnittlig andel henholdsvis 66 % og 67 % ved de to lokalitetene.

Det var en positiv sammenheng mellom konsentrasjonene av totalkvikksølv og metylkvikksølv ved alle lokalitetene og for både klokjøtt og brunmat (Figur 3). I klokjøtt var forholdet mellom totalkvikksølv og metylkvikksølv nær 1:1 for alle tre lokalitetene.



Figur 3 Korrelasjon mellom totalkvikksølv (mg/kg våtvekt) og metylkvikksølv (mg/kg våtvekt) i klokjøtt (venstre) og brunmat (høyre), for hver av de tre lokalitetene ved vraket i 2014 og de to referanselokalitetene i Nordland.

I brunmat var det ulikt forhold mellom totalkvikksølv og metylkvikksølv avhengig av lokalitet (figur 3). De to lokalitetene ved vraket og fire mil nord for vraket hadde svakere økning i metylkvikksølv med økende totalkvikksølv sammenlignet med lokaliteten fire sjømil sør og de to Nordlandslokalitetene.

Krabbene med de høyeste konsentrasjonene av totalkvikksølv i brunmat hadde også lavest andel metylkvikksølv av totalkvikksølv, og andelen avtok med økende totalkvikksølv ved lokalitetene ved vraket og fire sjømil nord for vraket, men ikke ved fire sjømil sør for vraket og de to nordlandslokalitetene.

3.3 Bunnlus

Resultat av analysene av kvikksølvinnhold i samleprøver av bunnlus er vist i Tabell 3. Hver samleprøve inneholdt mer enn 100 individer av enten isopoden *N. borealis* eller amfipoden *T. cicada*. Kvikksølvkonsentrasjonen i ispodene fanget i 2014 varierte fra 0,033 til 0,036 mg/kg våtvekt, med den høyeste konsentrasjonen fire sjømil sør for vraket og den laveste konsentrasjonen ved vraket, men forskjellene var svært små. I amfipodene var konsentrasjonene på samme nivå, fra 0,034 mg/kg våtvekt ved vraket til 0,037 mg/kg våtvekt fire sjømil nord for vraket. I og med at det bare ble analysert én samleprøve fra hvert område er det ikke mulig å sammenligne de tre områdene statistisk, men for hver art lå konsentrasjonene for de tre områdene godt innenfor analysemetodens måleusikkerhet på 25 %.

Det var betydelig lavere konsentrasjoner av kvikksølv i bunnlusene analysert i 2014 enn de som ble analysert i 2013, særlig i ispodene (tabell 3).

Tabell 3 Konsentrasjon av kvikksølv (mg/kg våtvekt) i samleprøver av *Natanolana borealis* og *Tmetonyx cicada*, prøvetatt henholdsvis ved vraket av U-864, fire nautiske mil (nm) nord for vraket og fire nm sør for vraket i 2014 og 2013.

Uttakssted	Uttaksdato	N	Isopode, <i>Natanolana borealis</i>	Amfipode, <i>Tmetonyx cicada</i>
			Hg (mg/kg vv)	Hg (mg/kg vv)
Ved vraket	26.06.2014	1*	0.033	0.034
4 nm nord	26.06.2014	1*	0.034	0.037
4 nm sør	26.06.2014	1*	0.036	0.036
Ved vraket	31.05.2013	1*	0.085	0.059
4 nm nord	29.05.2013	1*	0.091	0.052
4 nm sør	06.06.2013	1*	0.080	0.063

*Samleprøve av >100 individer

4. DISKUSJON

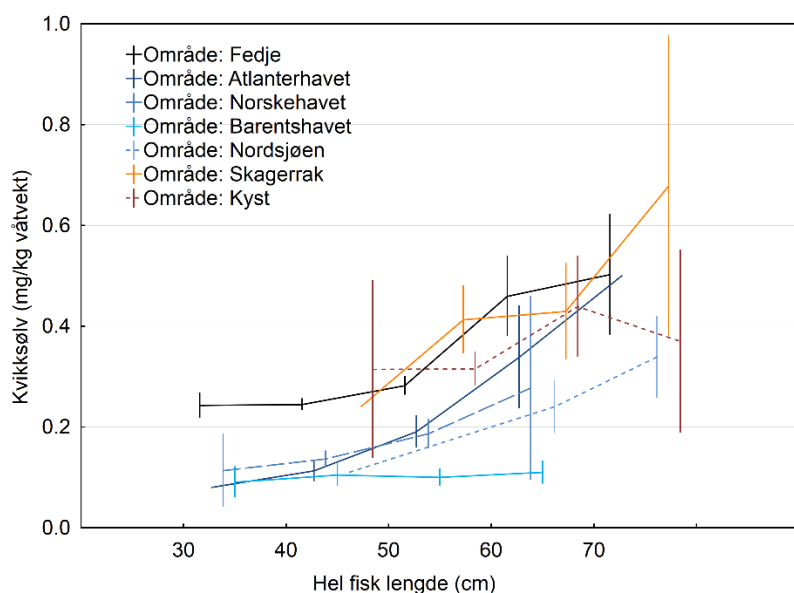
4.1 Brosme

I 2014 hadde én av de 75 brosmene fanget nær U-864 kvikksølvkonsentrasjon over 0,5 mg/kg våtvekt, som er den øvre grenseverdien som gjelder for kvikksølv ved omsetning av fisk til humant konsum i EU og Norge. I løpet av de ti årene overvåkingen av kvikksølv i brosme har pågått i området har kvikksølvinnholdet i totalt 27 av 697 prøver (3,9 %) av brosmeilet oversteget 0,5 mg/kg våtvekt. Ingen gjennomsnittskonsentrasjoner av kvikksølv for noen stasjoner noe år har vært over 0,5 mg/kg våtvekt.

Gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon analysert i brosme i 2014 var svært lik gjennomsnittet for hele perioden 2005-2013, med 0,25 mg/kg våtvekt i 2014 mot 0,26 mg/kg våtvekt i 2005-2013. Sammenlignet med for eksempel torsk og sei som vi spiser mye av og har mye data på, er kvikksølvnivåene i brosme fra dette området relativt høye. Basisundersøkelser har vist at torsk fra vestlandske fjorder hadde gjennomsnittlig kvikksølvnivå mellom 0,13 og 0,19 mg/kg våtvekt (Julshamn et al. 2013) og sei fra vestlandske kyst- og fjordområder hadde et totalgjennomsnitt på 0,065 mg/kg våtvekt (Nilsen et al. 2013). Det er mye som tyder på at brosme har potensiale for å akkumulere relativt høye kvikksølvnivåer.

Brosme fra Fedje er i snitt relativt små, og fordi kvikksølvkonsentrasjon er sterkt størrelsesavhengig må vi ta høyde for størrelse på fisken for å kunne sammenligne nivåene i brosme fra området rundt U-864 med brosmes prøvetatt andre steder. Figur 4 viser kvikksølvkonsentrasjon i filet av brosme fra ulike områder, delt inn i størrelsesintervaller på 10 cm. Dataene er blant annet fra en mastergradsoppgave gjennomført ved NIFES og senere publisert internasjonalt (Kvangarsnes 2010; Kvangarsnes et al. 2012). Figuren viser at brosme fra Fedje (alle år) har klart høyere kvikksølvnivå enn det som er funnet i brosme fra de ulike havområdene, men at nivåene ikke er ulik de nivåene som er funnet i brosme prøvetatt andre steder langs kysten.

Vi arbeider for tiden med en omfattende kartleggingsundersøkelse (basisundersøkelse) av fremmedstoffer i brosme fra 55 ulike lokaliteter fordelt på fjorder, kyst og åpent hav, der resultatene skal rapporteres til Mattilsynet sommeren 2016. Resultatene vil gi et enda bedre datamateriale å sammenligne resultatene fra denne overvåkingen med.



Figur 4. Konsentrasjon av kvikksølv (mg/kg våtvekt) i filet av brosme fra ulike områder, fordelt på ulike størrelsesintervaller (30-40, 40-50, 50-60, 60-70 og >70 cm). For hvert størrelsesintervall er gjennomsnitt $\pm$ 95 % konfidensintervall vist.

I 2014 hadde brosme fanget ved vraket av U-864 ikke forskjellig kvikksølvnivå fra brosme fanget fire sjømil nord og sør for vraket. I 2011-2013 og flere år tidligere hadde brosme prøvetatt ved vraket faktisk kvikksølvkonsentrasjoner som var lavere enn brosme fanget fire sjømil nord eller fire sjømil sør for vraket, uten at vi har noen forklaring på det. Men det som er helt klart er at brosme fanget ved vraket ikke har forhøyet nivå sammenlignet med brosme fanget fire sjømil lenger nord eller sør. Og dersom de to stasjonene fire sjømil nord og fire sjømil sør for vraket regnes som referansestasjoner er det enda en indikasjon på at brosme fanget like ved vraket ikke har forhøyet kvikksølvnivå i filet i forhold til naturlig bakgrunnsnivå for kysten av Vestlandet.

Det er altså ikke funnet forhøyede nivåer av kvikksølv i muskel av brosme fra området ved U-864, selv om det helt klart er mye kvikksølv i sedimentet. Dette tyder på at brosme akkumulerer lite av den kvikksølvforurensningen som finnes der. En sannsynlig forklaring er at fiskemuskel i hovedsak tar opp metylkvikksølv, som er den kvikksølvformen som binder seg til proteiner og altså muskelvev. Ifølge Uriansrud et al. (2005) var lite av kvikksølvet i sedimentet rundt U-864 metylkvikksølv. Resultatene fra vår overvåkning av brosme tyder også på at lite av kvikksølvet i sedimentet har blitt omdannet til metylkvikksølv, kommet inn i næringskjeden og blitt tatt opp i fiskens muskulatur. Bestemmelse av metylkvikksølv var for første gang inkludert i prosjektet for 2014, men i første omgang kun med analyser av klokjøtt og brunmat av krabbe.

Det er ukjent hvor mye av kvikksølvet i brosmen som stammer fra U-864, da de nivåene vi finner kan være et resultat av det generelle bakgrunnsnivået av kvikksølv i miljøet fra diffuse kilder. Selv om brosme regnes for å være en relativt stasjonær fiskeart, vandrer den trolig mellom oppvekstområde og gyteområde, og hvor fisken har oppholdt seg tidligere i livet vil også ha betydning for innholdet av kvikksølv. En måte å prøve å finne ut mer om hvor kvikksølvet i fisken stammer fra kan være at prøver fra brosme og noe av kvikksølvet fra vraket blir analysert for sammensetning av stabile kvikksølvisotoper. Slike analyser gjennomføres som et eget prosjekt med prøvene fra 2014, men i første omgang bare for krabbe.

4.2 Krabbe

4.2.1 Totalkvikksølv i krabbe

Ingen enkeltindivider av krabbe prøvetatt i området nær vraket av U-864 i 2014 hadde konsentrasjoner av kvikksølv høyere enn EU og Norges grenseverdi på 0,5 mg/kg våtvekt som bare gjelder klokjøtt av krabbe. Gjennomsnittskonsentrasjonene i klokjøtt varierte fra 0,074 til 0,094 mg/kg våtvekt og i brunmat fra 0,066 til 0,077 mg/kg våtvekt. Det er ingen grenseverdi som gjelder brunmat, men kvikksølvkonsentrasjonen var under 0,5 mg/kg våtvekt også i alle prøvene av brunmat.

Nivåene av kvikksølv i brunmat og klokjøtt av krabbe var relativt lave i 2014 sammenlignet med de foregående årene, bortsett fra 2009-2010 da det også var relativt lavt nivå. De lave nivåene i 2014 kan skyldes at prøvene ble tatt tidlig på sommeren, allerede 1. juni. Krabbe er svært følsom for temperaturvariasjoner, og har en lav aktivitet og lavt matopptak når temperaturen er lav (van der Meeren et al. 2008). Krabben foretar også vandringer slik at de ikke oppholder seg i området ved ubåtvraket hele året, og vi vet ikke hvorvidt de kommer tilbake hvert år. Det betyr at de sannsynligvis bør ha vært i området og tatt til seg føde en stund før kvikksølvnivået øker. Prøvene av krabbe i området rundt U-864 har gjennom årene som oftest blitt tatt i juni-juli. Mye tyder på at mai og tidlig juni kan være for tidlig til at krabben har fått "spist seg opp" på kvikksølv, og det bør tilstrebes i dette arbeidet at krabbe fiskes på samme tid på året gjennomgående i overvåkingen, det vil si et stykke ut i juni så langt dette er mulig.

Mange av krabbene i 2014 hadde svært lite innmat, noe som støtter teorien om at de ikke har tatt til seg så mye føde ennå og derfor hadde lavt innhold av kvikksølv også. Hvis krabben om vinteren oppholder seg i andre områder uten påvirkning fra vraket, må de være en stund i

området nær vraket og ta til seg føde der for å få forhøyet nivå av kvikksølv. Det er liten grunn til å tro at nivåene av kvikksølv i krabbe i området brått har avtatt fra 2013 til 2014.

Gjennomsnittlig kvikksølvnivå i brunmat for hele perioden 2005-2014 var på 0,16 mg/kg våtvekt, og legger vi hele perioden til grunn er kvikksølvnivået i brunmat av krabbe fanget nær U-864 forholdsvis høyt sammenlignet med et bakgrunnsnivå for hele kysten på 0,067 mg/kg våtvekt fastsatt ved en større kartlegging i 2011/2012 (Julshamn et al. 2012). Kvikksølvnivået i brunmat av krabbe i 2014 var ikke mye høyere enn bakgrunnsnivået.

I klokjøtt var gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon i krabbe fanget ved Fedje i perioden 2005-2014 på 0,11 mg/kg våtvekt (N = 670), som bare var litt høyere enn bakgrunnsnivå for klokjøtt for hele kysten på 0,095 mg/kg våtvekt (Julshamn et al. 2012). Nivået i klokjøtt målt i 2014 var lavere enn bakgrunnsnivået. Det er nødvendig å ha i minne at prøvene av krabbe fra Fedje er tatt tidligere på året enn de fleste av prøvene i kartleggingen, der de fleste prøvene ble tatt om høsten.

I løpet av 2014-2015 vil det bli gjennomført en studie av årstidsvariasjoner i metaller i taskekrabbe som del av et doktorgradsarbeid, og dette vil forhåpentligvis gi ny kunnskap som kan hjelpe oss å forstå de variasjonene vi ser i overvåkingen ved Fedje.

4.2.2 Metylkvikksølv i krabbe

Metylkvikksølv utgjorde en stor andel av det totale kvikksølvinnholdet (gjennomsnitt 90-96 %) i klokjøtt av krabbe fra Fedje, mens en langt mindre andel av kvikksølvet i brunmaten var metylikvikksølv (gjennomsnitt 52-63 %). Ved to referanselokaliteter var andelen metylikvikksølv i alle klokjøttprøvene tilnærmet 100 %.

Andelen metylikvikksølv av totalkvikksølv i klokjøtt var nær 100 %, og når metylikvikksølv ble plottet mot totalkvikksølv, ga det en rett linje og et tilnærmet 1:1-forhold for alle lokalitetene. Med en samlet metodeusikkerhet for totalkvikksølv og metylikvikksølv på rundt 50 % var trolig metylikvikksølvandelen i klokjøtt nærmere 100 % ved alle lokalitetene.

At klokjøtt inneholdt i hovedsak metylikvikksølv var som forventet, ettersom metylikvikksølv binder seg til proteiner i muskelen. Det at det er funnet lite metylikvikksølv i sedimentet ved ubåten (Uriansrud, 2005) er trolig årsaken til at det ikke er forhøyet kvikksølvnivå i klokjøtt av krabbe fra dette området, og det er lite som tyder på at klokjøttet har tatt opp noe særlig av uorganiske kvikksølvformer fra det forurensede sedimentet. Eksperimentelle forsøk der strandkrabber har fått tilført kvikksølv har vist at når metylikvikksølv tilføres, øker kvikksølvkonsentrasjonene både i klokjøtt og brunmat og kanskje aller mest i klokjøtt (Bjerregaard og Christensen 1993; Torres et al. 2014). Når uorganisk kvikksølv tilføres øker kvikksølvkonsentrasjonen nesten bare i brunmat. Resultatene fra våre analyser tyder altså på at lite av kvikksølvet i sedimentet er omdannet til metylikvikksølv.

I brunmat var forskjellen mellom lokalitetene mindre for metylikvikksølv enn for totalkvikksølv. Andelen metylikvikksølv av totalkvikksølv i brunmat var lavere (53 %) ved lokaliteten nord for vraket enn de to lokalitetene ved vraket (62 %) og sør for vraket (63 %) og de to referanselokalitetene i Nordland (66 % og 67 %). Når totalkvikksølv og metylikvikksølv ble plottet mot hverandre viste dette at det var lineær positiv sammenheng mellom totalkvikksølv og metylikvikksølv også for brunmat. Stigningen på kurven var imidlertid mye mindre bratt ved de to lokalitetene ved vraket og nord for vraket enn ved alle de tre øvrige lokalitetene. Det betyr at ved økende konsentrasjonen av totalkvikksølv var mer av kvikksølvet andre former enn metylikvikksølv.

I tidligere overvåkning har det i stor grad sett ut til å være høyere konsentrasjoner av kvikksølv i brunmat av krabbe fanget ved vraket og nord for vraket sammenlignet med sør for vraket og bakgrunnsnivå (Frantzen et al. 2014). Det ser altså ut til at krabbe fra de to lokalitetene som er mest påvirket av kvikksølv fra ubåtvraket har størst andel av uorganiske former av kvikksølv.

Det stemmer med oppfatningen av at brunmat av krabbe i større grad enn klokjøtt tar opp uorganiske former av kvikksølv. Hvorvidt det er metallisk kvikksølv fra sedimentet krabben får i seg eller om noe av det metalliske kvikksølvet er omdannet til uorganisk kvikksølv, Hg^{2+} , er ukjent.

Disse funnene støtter de tidligere konklusjonene om at brunmat av krabbe fanget ved vraket og fire mil nord for vraket er påvirket av kvikksølvet som vi vet finnes i sedimentet og som stammer fra vraket av U-864. Men for å få bekreftet at kvikksølvet faktisk stammer fra ubåtvraket blir krabbeprovne analysert for stabile kvikksølv isotoper ved Universitetet i Gent i Belgia. Dette gjennomføres som et eget prosjekt, og selve metoden er under utvikling. Resultatene av disse analysene er ikke ferdig og vil bli rapportert senere.

4.3 Bunnlus

Bunnlusene prøvetatt i 2014 hadde lavere konsentrasjoner av kvikksølv enn de som ble prøvetatt året før, og dette gjaldt særlig isopodene. Det er trolig naturlig variasjon, og med en "tidsserie" på to år er det for tidlig å si noe om årsaker.

Alle bunnlusprøvene hadde kvikksølvkonsentrasjoner som var betydelig lavere enn det som er funnet både i brosme og krabbe. Det er lite data på kvikksølv i bunnlus å sammenligne med, men det er rapportert resultater fra analyser av to prøver av *Tmetonyx* og en prøve av *Natatolana* i 2011 (Bakke et al. 2011). De fant konsentrasjoner av Hg i *Tmetonyx* på henholdsvis 0,051 og 0,066 mg/kg våtvekt, som er mellom det vi fant i denne undersøkelsen i 2013 (0,052-0,063 mg/kg våtvekt) og 2014 (0,033-0,037 mg/kg våtvekt). I *Natatolana* fant de en konsentrasjon på 0,049 mg/kg våtvekt, som er litt over det halve av det vi fant ved Fedje i 2013 (0,080 – 0,091 mg/kg våtvekt), men høyere enn det vi fant i 2014 (0,033 til 0,036 mg/kg våtvekt). Det kan se ut som om det er store variasjoner mellom prøver i kvikksølvkonsentrasjoner i bunnlus.

Det var ingen forskjell i kvikksølvnivå mellom bunnlusene prøvetatt ved vraket og fire sjømil nord og sør for vraket, og dette gjaldt for begge artene. Det vil være nødvendig med flere analyser for å få sikrere data på dette, men resultatene så langt tyder på at bunnlus ikke er særlig påvirket av kvikksølvet i sedimentet rundt U-864. Det kan muligens skyldes at kvikksølvet er lite metylert og derfor ikke så lett går inn i næringskjeden.

Siden det var relativt stor forskjell mellom konsentrasjonene av kvikksølv i bunnlus i to påfølgende år er det usikkert om disse organismene er egnet som indikator for kvikksølvforurensning.

5. KONKLUSJON

Konsentrasjonene av kvikksølv i brosme og krabbe fra området rundt vraket av ubåten U-864 er for det meste under EUs og Norges øvre grenseverdi for humant konsum på 0,5 mg/kg våtvekt. I 2014 hadde kun én av 75 brosmer som ble analysert kvikksølvkonsentrasjon over grenseverdien. I perioden fra 2005 til 2014 har 27 av totalt 697 brosmer (3,9 %) vist kvikksølvkonsentrasjoner over 0,5 mg/kg. Ingen krabber fra Fedje i 2014 hadde konsentrasjon av kvikksølv over 0,5 mg/kg våtvekt.

Mens klokjøtt av krabbe virker upåvirket av kvikksølvforurensningen i sedimentet, har brunmaten over flere år vist et noe forhøyet nivå sammenlignet med bakgrunnsnivå. Analyser av metylkvikksølv i 2014 viste at brunmat fra krabber fanget ved vraket og fire sjømil nord for vraket hadde en lavere andel metylkvikksølv enn krabber fanget ved mindre påvirkede lokaliteter, kanskje fordi de har tatt opp uorganiske kvikksølvformer fra det forurensede sedimentet.

Ut fra disse resultatene ser det ut til at kvikksølvnivåene i sjømat ved U-864 er relativt stabile over tid og det er da ingen endring i den situasjonen som medførte kostadvarsel og fiskeforbud.

6. LITTERATURLISTE

Amlund, H., A. K. Lundebye and M. H. G. Berntssen (2007). "Accumulation and elimination of methylmercury in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) following dietary exposure." Aquatic Toxicology 83(4): 323-330.

Bakke, S., K. L. Fjørtoft, T. Barnung and O. Ween (2011). Utnyttelse av bunnlus - Fangst, kjemisk karakterisering og potensielle anvendelsesområder. Ålesund, Møreforskning. 11-15: 53 s.

Bjerregaard, P. and L. Christensen (1993). "Accumulation of organic and inorganic mercury from food in the tissues of *Carcinus maenas* - Effect of waterborne selenium." Marine Ecology Progress Series 99(3): 271-281.

Frantzen, S., D. Furevik, B. H. Ulvestad and 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., B. T. Lunestad, A. Duinker and K. Julshamn (2011). Årsrapport 2010 Mattilsynet. Tilsynsprogrammet for skjell 2010. Fremmedstoffer (tungmetaller og organiske miljøgifter i skjell og tungmetaller i snegler og krabbe). Mikroorganismer. . NIFES-rapport. Bergen, NIFES: 54 s.

Frantzen, S. and A. Måge (2009). Utvidet kostholdsrådsundersøkelse, Bergen Byfjord 2009. NIFES-rapport. Bergen, NIFES: 44 s.

Frantzen, S., A. Måge, D. Furevik and 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 and 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 and 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 and 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.

Furevik, D. and K. Bakkeplass (2014). Innsamling av fisk ved u-båt vest av Fedje juni 2014. Rapport fra Havforskningen. Bergen, HI. 25-2014: 7

Haldorsen, A.-K. L., S. Frantzen, K. Julshamn, D. Furevik and 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. Duinker, B. M. Nilsen, K. Nedreaas and A. Maage (2013). "A baseline study of metals in cod (*Gadus morhua*) from the North Sea and coastal Norwegian waters, with focus on mercury, arsenic, cadmium and lead." Marine Pollution Bulletin 72(1): 264-273.

Julshamn, K., A. Måge, H. Norli Skaar, K. Grobecker, L. Jorheim and 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 and 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.

Kvangarsnes, K. (2010). Kvikksølv i brosme fiska langs den norske kyststraumen - samanlikning med brosme fiska nær U-864 utanfor Fedje og frå dei opne havområda. Kjemisk Institutt. Bergen, Universitetet i Bergen. Master of science: 89 s.

Kvangarsnes, K., S. Frantzen, K. Julshamn, L. J. Sætre, K. Nedreaas and A. Maage (2012). "Distribution of mercury in a gadoid fish species, tusk (*Brosme brosme*), and its implication for food safety." Journal of Food Science and Engineering 2: 603-615.

Måge, A. and S. Frantzen (2008). Kostholdsrådsundersøkelse, Bergen Byfjord 2007. Bergen, NIFES: 37 s.

Måge, A., K. Julshamn, A. Storaker and D. M. Furevik (2006). Kvikksølvinnhold 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 and D. Furevik (2007). Kvikksølvinnhold 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.

Nilsen, B. M., S. Frantzen, K. Julshamn, K. Nedreaas and A. Måge (2013). Basisundersøkelse av fremmedstoffer i sei (*Pollachius virens*) fra Nordsjøen. Sluttrapport for prosjektet "Fremmedstoffer i villfisk med vekt på kystnære farvann". Bergen, NIFES: 56 s.

Torres, D. P., S. Cadore, A. Raab, J. Feldmann and E. M. Krupp (2014). "Evaluation of dietary exposure of crabs to inorganic mercury or methylmercury, with or without co-exposure to selenium." Journal of Analytical Atomic Spectrometry 29(7): 1273-1281.

Uriansrud, F., J. Skei and 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 and 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.

van der Meeren, G., A. K. Woll and G. Søvik (2008). En utredning for Mattilsynet for kunnskapsstøtte om anatomi og fysiologi hos tinfotkreps - med vekt på nervesystemet og velferd. Rapport fra Havforskningen. Bergen, Havforskningsinstituttet 74 s.

7. VEDLEGG. HISTORISKE DATA

Tabell A1. Kvikksølvkonsentrasjoner (Hg) i filet av brosme fanget ved og i nærheten av vraket av ubåten U-864 ved Fedje fra 2005 til 2014. Hel fisk vekt (g) og Hg (mg/kg våtvekt) er vist med gjennomsnitt, minste og største verdi. Prøvene ble tatt ved vraket, og 4 nautiske mil (n mil) nord for vraket, samt 4 n mil sør.

År	Lokalitet	Dato	N	Vekt (g)			Hg (mg/kg våtvekt)			
				snitt	min	maks	snitt	min	maks	# > 0,5
2014	Ved vraket	01.06.14	25	1424	850	2112	0,27	0,11	0,69	1
	4 n mil nord	01.06.14	25	1310	757	2270	0,25	0,13	0,38	
	4 n mil sør	01.06.14	25	1554	885	2260	0,23	0,070	0,49	
2013	Ved vraket	30.05.13	25	1194	656	1708	0,19	0,084	0,32	
	4 n mil nord	29.05.13	25	1033	434	2036	0,25	0,15	0,34	
	4 n mil sør	31.05.13	25	1401	462	4035	0,27	0,11	0,56	1
2012	Ved vraket		25	1384	528	3029	0,19	0,10	0,32	
	4 n mil nord		25	1307	451	2395	0,24	0,15	0,42	
	4 n mil sør		25	1548	680	2274	0,25	0,16	0,48	
2011	Ved vraket	10.06.11	25	1090	391	1660	0,18	0,10	0,28	
	4 n mil nord	10.06.11	25	963	449	1707	0,22	0,11	0,37	
	4 n mil sør	10.06.11	25	1472	551	2321	0,29	0,12	0,59	
2010	Ved vraket	20.05.10	25	1751	451	3540	0,32	0,14	0,46	
	4 n mil nord	20.05.10	25	1751	605	5053	0,36	0,15	0,60	
	4 n mil sør	20.05.10	25	1893	644	3209	0,27	0,13	0,80	
2009	Ved vraket	15.07.09	25	931	380	2640	0,21	0,11	0,41	
	4 n mil nord	10.07.09	25	1036	420	1900	0,35	0,21	0,54	
	4 n mil sør	22.10.09	25	837	480	1620	0,22	0,10	0,53	
2008	Ved vraket	30.06.08	25	1182	340	3360	0,33	0,16	0,73	
	2 n mil nord	30.06.08	25	1383	420	3600	0,39	0,14	0,62	
	4 n mil sør	30.06.08	25	1290	520	2780	0,42	0,28	0,58	
2007	Ved vraket	19.06.07	25	1422	540	2840	0,16	0,09	0,26	
	2 n mil nord	26.06.07	22	783	320	2160	0,24	0,10	0,39	
	4 n mil nord	22.06.07	25	1148	480	2440	0,25	0,14	0,64	
2006	Ved vraket	12.06.06	25	964	340	2080	0,22	0,13	0,49	
	1 n mil nord	13.06.06	25	1222	360	3540	0,28	0,19	0,53	
	2 n mil nord	17.06.06	25	1142	280	3000	0,28	0,16	0,53	
2005	Ved vraket	27.10.05	25	1007	539	2195	0,20	0,08	0,35	

Tabell A2. Kvikksølvkonsentrasjoner i filet av brosme fanget i området rundt U-864, der resultater er slått sammen for alle lokalitetene. For hvert år og totalt er gjennomsnitt, antall prøver (N) minste (min) og største (maks) verdi, standardavvik (SD), median samt 25 % og 75 % kvartiler (Q25 og Q75) vist.

År	Hg filet Snitt	Hg filet N	Hg filet Min	Hg filet Maks	Hg filet SD	Hg filet Q25	Hg filet Median	Hg filet 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
Totalt	0,262	697	0,070	0,80	0,110	0,19	0,24	0,31

Tabell A3, Kvikksølvkonsentrasjoner (Hg, mg/kg våtvekt) i brunmat av krabbe fanget ved og i nærheten av vraket av ubåten U-864 ved Fedje fra 2004 til 2012. Krabbevekt (g) og Hg er vist med gjennomsnitt, minste og største verdi. Prøvene ble tatt ved vraket, 4 nautiske mil (n mil) nord for vraket, samt 4 n mil sør for vraket.

Brunmat			N	Vekt (g)			Hg (mg/kg våtvekt)		
År	Lokalitet	Dato		snitt	min	maks	snitt	min	maks
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

Tabell A4, Kvikksølvkonsentrasjoner (Hg, mg/kg våtvekt) i klokjøtt av krabbe fanget ved og i nærheten av vraket av ubåten U-864 ved Fedje fra 2004 til 2012. Krabbevekt (g) og Hg er vist med gjennomsnitt, minste og største verdi. Prøvene ble tatt ved vraket, 4 nautiske mil (n mil) nord for vraket, samt 4 n mil sør for vraket.

Klokjøtt			Vekt (g)				Hg (mg/kg våtvekt) EU-grense: 0,5		
År	Lokalitet	Dato	N	snitt	min	maks	snitt	min	maks
2014	Ved vraket	01.06.2014	25	394	218	818	0,074	0,024	0,14
	4 n mil nord	01.06.2014	25	395	247	632	0,094	0,019	0,29
	4 n mil sør	01.06.2014	24	427	235	1026	0,075	0,019	0,18
2013	Ved vraket	05.06.2013	25	339	159	515	0,10	0,045	0,19
	4 n mil nord	29.05.2013	25	349	199	742	0,12	0,033	0,21
	4 n mil sør	05.06.2013	25	431	247	788	0,10	0,037	0,20
2012	Ved vraket	18-21.06.12	25	395	205	689	0,11	0,032	0,32
	4 n mil nord	18-21.06.12	25	387	182	636	0,11	0,039	0,27
	4 n mil sør	18-21.06.12	25	427	249	742	0,10	0,046	0,21
2011	Ved vraket	10.06.11	25	386	182	634	0,15	0,039	0,48
	4 n mil nord	10.06.11	25	308	183	457	0,085	0,002	0,18
	4 n mil sør	10.06.11	24	385	164	704	0,097	0,034	0,18
2010	Ved vraket	20.05.10	25	344	136	578	0,07	0,02	0,17
	4 n mil nord	20.05.10	25	269	155	417	0,07	0,02	0,23
	4 n mil sør	20.05.10	25	356	200	577	0,06	0,02	0,18
2009	Ved vraket		25	375	212	531	0,11	0,05	0,22
	4 n mil nord		21	457	260	718	0,11	0,05	0,25
	4 n mil sør		24	505	316	754	0,11	0,05	0,17
2008	Ved vraket	30.06.08	23	314	217	463	0,16	0,07	0,26
	2 n mil nord	30.06.08	18	362	5	675	0,14	0,06	0,30
	4 n mil sør	30.06.08	17	368	209	685	0,14	0,04	0,29
2007	Ved vraket	19.06.07	25	326	168	485	0,13	0,03	0,27
	2 n mil nord	20.06.07	23	387	229	621	0,14	0,07	0,31
	4 n mil nord	21.06.07	22	342	137	558	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	350	199	486	0,18	0,08	0,37

Tabell A5. Kvikksølvkonsentrasjoner i krabbe fanget i området rundt U-864, der resultater er slått sammen for alle lokalitetene. For hvert år og totalt er gjennomsnitt, antall prøver (N) minste (min) og største (maks) verdi, standardavvik (SD), median samt 25 % og 75 % kvartiler (Q25 og Q75) vist for henholdsvis klokjøtt og innmat.

År	Hg klo Mean	Hg klo N	Hg klo Min	Hg klo Max	Hg klo SD,	Hg klo Q25	Hg klo Median	Hg klo Q75	Hg innmat Mean	Hg innmat N	Hg innmat Min	Hg innmat Max	Hg innmat SD,	Hg innmat Q25	Hg innmat Median	Hg innmat Q75
2005	0,177	25	0,083	0,37	0,065	0,141	0,171	0,201	0,259	25	0,090	0,56	0,116	0,170	0,240	0,34
2006	0,138	74	0,040	0,60	0,084	0,090	0,120	0,160	0,198	74	0,040	0,41	0,073	0,150	0,190	0,24
2007	0,139	70	0,033	0,31	0,063	0,089	0,120	0,180	0,229	71	0,053	1,70	0,238	0,140	0,190	0,24
2008	0,146	58	0,041	0,30	0,064	0,084	0,140	0,190	0,220	58	0,059	0,77	0,135	0,130	0,190	0,26
2009	0,110	70	0,050	0,25	0,045	0,080	0,100	0,130	0,057	70	0,010	0,26	0,034	0,040	0,050	0,06
2010	0,069	75	0,020	0,23	0,039	0,040	0,060	0,080	0,089	69	0,030	0,21	0,048	0,050	0,080	0,12
2011	0,110	74	0,002	0,48	0,077	0,066	0,092	0,130	0,153	75	0,031	0,70	0,095	0,089	0,140	0,21
2012	0,106	74	0,032	0,32	0,059	0,061	0,086	0,143	0,160	75	0,049	0,54	0,092	0,084	0,142	0,21
2013	0,110	75	0,033	0,21	0,043	0,077	0,100	0,130	0,181	75	0,042	0,44	0,085	0,120	0,170	0,22
2014	0,081	75	0,019	0,29	0,052	0,045	0,069	0,110	0,083	73	0,012	0,44	0,065	0,042	0,066	0,12
Alle	0,113	670	0,002	0,60	0,066	0,069	0,100	0,148	0,155	665	0,010	1,70	0,126	0,070	0,140	0,21

ISBN 978-82-91065-21-2