

Totalkvikksølv og metylkvikksølv i filet og lever av
brosme fiska i Boknafjorden, samanlikna med
Hardangerfjorden og Lofoten

Av

Knut Arild Grunnaleite

Masteroppgåve i miljøkjemi



Kjemisk Institutt

Universitetet i Bergen

November 2014

Forord

I denne masteroppgåva har det blitt analysert for totalvikksølv og metylkvikksølv i filet og lever frå brosme fanga i Hardangerfjorden og Boknafjorden, samt frå ein lokalitet i Lofoten. Det praktiske arbeidet med oppgåva er utført ved NIFES (Nasjonalt institutt for ernæring og sjømatforskning). Totalvikksølvkonsentrasjonane blei bestemt med ICPMS, og metylkvikksølvkonsentrasjonane blei bestemt med GC-ICP-IDMS. Denne undersøkinga har vore ein del av eit kartleggingsprosjekt av fremmedstoff i brosme, lange, blålange og andre djupvassfiskar som NIFES utfører på oppdrag frå Mattilsynet som skal vere ferdig i 2016. Undersøkinga har dessutan vore ein del av overvåkinga i Vatsfjorden.

Først og fremst vil eg gjerne takke veiledarane mine Dr. Leif Sæthre, professor ved kjemisk institutt ved Universitetet i Bergen, Dr. Amund Måge, professor II ved universitetet i Bergen og forskningssjef ved NIFES og Dr. Sylvia Frantzen, forskar ved NIFES.

Eg vil òg gjerne få takke:

Trygve Helgesen på båten "Repsøy" som fiska i Boknafjorden, Arve Hersdal som fiska i Vatsfjorden, Ørjan Moe på båten "Ramona" som fiska i Hardangerfjorden og Thomas Andre Sivertsen på båten "T.Sivertsen" som fiska i Lofoten.

Anne Margrethe Aase og alle dei andre som jobbar på prøvemottaket for god opplæring, og hjelp med prøveopparbeiding og frysetørrking.

Edel Erdal for opplæring i våtoppslutting av prøvar i totalvikksølvmetoden.

Berit Solli og Vivian Mui for hjelp ved analysane av totalvikksølvprøvane mine.

Stig Valdersnes for hjelp og opplæring i metylkvikksølvmetoden.

Alle andre på grunnstofflaben som har hjulpet meg og gjort tida på laben triveleg.

Alle studentar på universitetet og ved NIFES som har gjort dei fem åra mine i Bergen til ei god og minneverdig tid.

Onklane og tantene mine i Bergen, og alle andre slektningar som har hjulpet meg med forskjellige ting og vist meg rundt i Bergen då eg var ny i byen.

Foreldra mine, som har støtta meg i desse fem åra.

Bergen, November 2014

Knut Arild Grunnaleite

Samandrag

Det har i lang tid vore kjend at Hardangerfjorden er forureina, spesielt innerst i fjorden. Tidlegare masteroppgåver som er blitt gjort ved NIFES har funne kvikksølvkonsentrasjonar i brosme (*Brosme brosme*) frå Hardangerfjorden langt over EUs grenseverdi for mattrygghet på 0,5 mg kvikksølv per kg filet. Kvikksølvtilstanden i andre fjordar, som til dømes Boknafjorden er ikkje like godt beskriven som den i Hardangerfjorden, og det er behov meir kunnskap om dette området. I denne oppgåva har det blitt fanga i alt 112 brosmar i ulike delar av Boknafjorden, samt eit område i Hardangerfjorden og eit i Lofoten.

Brosmene blei fiska av profesjonelle fiskarar mellom juli 2013 og juni 2014. Fisken blei filetert og lever tatt ut, og deretter blei filet og lever frå kvar fisk homogenisert og homogenatet av filet frysetørka. Prøvane blei deretter analysert for totalkvikksølv på Induktivt kopla plasma massespektroskopi, og for metylkvikksølv på gasskromatografisk induktivt kopla plasma isotopfortynning massespektroskopi.

Det blei observert store forskjellar i kvikksølvkonsentrasjon i både filet og lever i brosmar frå dei ulike lokalitetane. I filet varierte den gjennomsnittlege konsentrasjonen av totalkvikksølv frå 0,18 mg/kg i Lofoten til 0,63 mg/kg i Hardangerfjorden. Metylkvikksølvkonsentrasjonane i filet frå brosme utgjorde omtrent 100 % av totalkvikksølvkonsentrasjonen, og varierte på same måte som for totalkvikksølv. Totalt har 40 av 112 brosmar ein totalkvikksølvkonsentrasjon i filet som overstig Noreg og EU si grense for lovleg omsetjing på 0,50 mg/kg. Dei gjennomsnittlege konsentrasjonane i lever varierte mellom 0,10 mg/kg og 1,0 mg/kg for totalkvikksølv, og mellom 0,051 mg/kg og 0,29 mg/kg for metylkvikksølv. Den gjennomsnittlege total- og metylkvikksølvkonsentrasjonen i lever av brosme er lågast i Lofoten, og størst i Hardangerfjorden. Metylkvikksølvandelen i lever utgjer i snitt 48 % av totalkvikksølvet, og varierer mellom 12 og 110 %. Den gjennomsnittlege metylkvikksølvandelen i lever varierte mellom 39 % og 56 % mellom lokalitetane, med lågast metylkvikksølvandel i brosmar frå Hardangerfjorden og høgast i brosmar frå Lofoten. Brosmene av hokjønn har i snitt høgare totalkvikksølvkonsentrasjon i lever enn hannar, men forskjellen er ikkje signifikant. Det blei funne ein signifikant positiv korrelasjon mellom kvikksølvkonsentrasjon i filet og størrelse på brosmar. Då lengdefaktoren blei fjerna ved å utføre ei kovariansanalyse med lengde som kovariant, viste det seg at kvikksølvkonsentrasjonen i filet av brosme frå Hardangerfjorden signifikant høgare dei andre brosmene. Lever-muskel indeksane, det vil seie forholdet mellom kvikksølvkonsentrasjonen i filet og lever, var i snitt 0,87. Indeksane varierte mellom 0,22 og 4,7. Den lågaste gjennomsnittlege lever-muskel indeksen blei funne i Vatsfjorden, og den største i Hardangerfjorden. Det blei observert ein trend kor metylkvikksølvkonsentrasjonen i levra auka lineært med totalkvikksølvkonsentrasjonen i filet, mens totalkvikksølvkonsentrasjonen i levra auka eksponentsielt med konsentrasjonen i filet. Det blei vist at metylkvikksølvandelen i lever minka med aukande konsentrasjon av totalkvikksølv i filet og lever.

Det blei vist at den undersøkte lokaliteten i Hardangerfjorden var meir forureina enn Boknafjorden, og at Boknafjorden var meir forureina enn lokaliteten i Lofoten.

Innholdsliste

1	Innleiing	s. 9
1.1	Målsetting.....	s. 11
1.2	Forkortingar og tekniske uttrykk.....	s. 12
2	Teori	s. 14
2.1	Fysiske og kjemiske eigenskapar til kvikksølv.....	s. 14
2.2	Kvikksølv i miljøet.....	s. 15
2.3	Toksikologiske effektar av kvikksølv.....	s. 17
2.4	Kvikksølv i fisk.....	s. 19
2.5	Brosme.....	s. 21
2.6	Analyseteknikkar.....	s. 23
2.6.1	Induktiv kopla plasma massespektroskopi (ICP-MS).....	s. 23
2.6.2	Standardkurve.....	s. 25
2.6.3	Massespektroskopi ved isotop fortynning (IDMS).....	s. 25
2.6.4	Kromatografi og gasskromatografi (GC)	s. 26
2.6.5	Gasskromatografi induktiv kopla plasma isotopfortynning..... massespektroskopi (GC-ICP-IDMS)	s. 27
3	Metode	s. 28
3.1	Innsamling av prøvar.....	s. 28
3.2	Opparbeiding av fisk.....	s. 30
3.3	Frysetørking.....	s. 31
3.4	Bestemming av totalkvikksølvkonsentrasjon.....	s. 31
3.4.1	Blindoppslutting.....	s. 31
3.4.2	Opplysing av prøve ved våtoppslutting i mikrobølgeovn.....	s. 32
3.4.3	Standardkurve og standard referansemateriale (SRM).....	s. 33
3.5	Bestemming av metylkvikksølvkonsentrasjon.....	s. 34
3.6	Matematiske formlar og statistiske metodar.....	s. 35
3.6.1	Matematiske formlar og utrekningar.....	s. 35
3.6.2	Statistiske metodar.....	s. 37

4	Resultat	s. 38
4.1	Standard referansemateriale (SRM)	s. 38
4.2	Fysiske og biologiske parametrar av brosmer.....	s. 40
4.3	Konsentrasjon av totalkvikksølv i filet og lever av brosme.....	s. 46
4.4	Konsentrasjon av metylkvikksølv i filet og lever av brosme....	s. 54
5	Diskusjon	s. 60
5.1	Metode.....	s. 60
5.2	Fysiske og biologiske parametrar i brosme.....	s. 63
5.3	Kvikksølvkonsentrasjon i filet.....	s. 66
5.4	Kvikksølvkonsentrasjon i lever.....	s. 71
5.5	Forhold mellom kvikksølv i filet og lever.....	s. 73
5.6	Samanlikning av kvikksølv i brosme og andre fiskeslag frå... ulike delar av kysten	s. 75
5.5	Ernæringsmessige aspekt.....	s. 78
6	Konklusjonar	s. 80
7	Kjelder	s. 81
8	Vedlegg	s. 91
8.1	Forskjellane i parametrar mellom kjønn ved dei forskjellige... lokalitetane	s. 91
8.2	Statistikk.....	s. 94
8.3	Fysiske parametrar for enkelt fisk.....	s. 108
8.4	Kvikksølvkonsentrasjonsdata for enkelt fisk.....	s. 111
8.5	HSI plotta mot kvikksølvkonsentrasjon i lever.....	s. 116

1. Innleiing

Fisk er ei viktig næringskjelde som er rik på protein og feitt som inneheld mykje omega-3 fettsyrer. Dessutan finn ein essensielle mineral som Selen (Se) og jod (I) i fisk, og fiskeoljer er rike vitamin A og D (Coulter, 2009). Fisk inneheld òg miljøgifter som blant anna kvikksølv. Kvikksølv i fiskefilet består hovudsakleg av metylkvikksølv (CH_3Hg^+) som er den giftigaste og mest biotilgjengelege forma av kvikksølv. Fiskefilet er den største kjelda til denne miljøgifta i kosten (Clarkson, 2003; Olsvik, et.al, 2013). Kvikksølv som blir slept ut i miljøet kan bli metylert til metylkvikksølv av bakteriar i sedimenta (Celo et.al, 2005), og blir deretter tatt opp i næringskjeda. Kor eksponert fisken er for kvikksølv varierer frå område til område, blant anna på grunn av forureiningsnivå. Stort inntak av metylkvikksølv kan gi negative effektar på sentralnervesystemet (Díez, 2008), og det er derfor viktig å overvake kvikksølvkonsentrasjonane i fisk og sjømat.

Hardangerfjorden er Noregs nest lengste fjord. Fjorden er smal og strekker seg rundt 180 km inn i landet. Innerst i Hardangerfjorden ligg kommunen og bygda Odda, som er eit kjent industriområde. Metallindustri er den største industrien i dette området (snl1). Det har tidlegare vore betydelege utslepp av kvikksølv frå denne industrien (Berg et.al, 2003). Tidlegare studiar har vist at Hardangerfjorden er forureina, og brosme har vist svært høge kvikksølvkonsentrasjonar i filet og lever her (Måge et.al, 2012; Kvangarsnes et.al, 2012; VKM, 2005).

Boknafjorden er ein brei fjord med mange sidefjorlar og øyer, og er derfor ulik Hardangerfjorden. Det er ingen store kjente forureiningskjelder i Boknafjorden, men det er mistanke om kvikksølvforureining frå eit opphoggingsanlegg som demonterer gamle oljeinstallasjonar for gjenvinning. Opphoggingsanlegget ligg i Vatsfjorden, som er ein av sidefjordane til Boknafjorden. I ein annan sidefjord, Saudafjorden, ligg det eit smelteverk som produserer manganlegeringar (snl2). Byane Stavanger og Sandnes ligg dessutan i den sørlige delen av fjorden, og kan truleg òg ha ei vis miljøpåverknad på fjorden.

Brosme er ein djupvassfisk som er rekna som ein god matfisk, og har ein viss kommersiell betyding. Fleire tidlegare studiar har vist relativt høge kvikksølvkonsentrasjonar i brosme, samanlikna med andre fiskeartar (Kvangarsnes et.al 2012; Måge et.al 2012; Berge et.al, 2007; VKM 2005). Brosmer er relativt stasjonære, og ser derfor ut til å vere ein god indikatorart for kvikksølvforureining. Fisk frå områder med mykje kvikksølvforureining har ofte kvikksølvkonsentrasjonar i lever som er høgare enn konsentrasjonane i filet (Raldúa et.al, 2007; Gonzalez et.al, 2005). Forholdet mellom kvikksølvkonsentrasjonen i filet og lever av fisk (lever-muskel indeks) kan derfor brukast som ein forureiningsindikator. I fleire tidlegare studiar har det blitt spekulert i om metylkvikksølv blir demetylert i lever av fisk, dersom kvikksølvkonsentrasjonen i filet overstig ei vis grense (Havelková et.al, 2008; Gonzalez et.al, 2005). Ved å skaffe meir informasjon om forholdet mellom totalkvikksølv og metylkvikksølv i fiskelever, kan ein komme nærmare ei forståing av ei eventuell demetylering.

1.1 Målsetting

Målsettinga med denne oppgåva er å kartlegge kvikksølv-situasjonen for brosme i Boknafjorden, og samanlikne med brosmer frå Hardangerfjorden som er kjent for kvikksølvforureining, og med brosmer frå ein antatt lite forureina lokalitet i Lofoten. Dette blei oppnådd ved å:

- Analysera og samanlikne konsentrasjonane av totalkvikksølv og metylkvikksølv i filet og lever av brosme frå Boknafjorden, Hardangerfjorden og Lofoten.
- Undersøke forholdet mellom kvikksølvkonsentrasjonen i filet og konsentrasjonen av totalkvikksølv og metylkvikksølv i lever av brosme frå desse områda.
- Beskrive andelen metylkvikksølv av totalkvikksølv i lever av brosme frå dei same områda.

1.2 Forkortingar og tekniske uttrykk

Analytt	Den delen av ein prøve som skal bestemast i ei analyse.
Brosme	Brosme (<i>Brosme brosme</i>) er ein art av djupvassfisk.
¹³ C	Ein isotop av karbon med 7 nøytron i atomkjernen.
CONTAM-panelet	The Panel on Contaminants in the Food Chain
EFSA	European food safety authority
Et.al	Et alii, latin for 'og andre'
EU	Den europeiske union
GC-ICP-IDMS	Gasskromatografi-induktiv kobla plasma isotopfortynna massespetrometri.
Hg	Kjemisk symbol for kvikksølv.
HSI	Hepatosomatisk indeks: $HSI = \frac{\text{levervekt}}{\text{vekt heil fisk}} \times 100$
ICPMS	Induktiv kopla plasma massespektrometri
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives and Contaminants
LOD	Lowest Limit of Detection (lågaste deteksjonsgrense).
LOQ	Lowest Limit of Quantification (lågaste kvantifiseringsgrense)

LD ₅₀	Lethal dose (dødeleg dose), den dosen av ei gift som skal til for å ta livet av 50% av ein populasjon.
MeHg ⁺	Kjemisk forkorting for metylkvikksølv
MMeHg ⁺	Kjemisk forkorting for monometylkvikksølv
mol	Måleeinheit for antall partikklar. 1 mol = 6×10^{23} partikklar.
¹⁵ N	Ein isotop av nitrogen, med 8 nøytron i atomkjernen.
NIFES	Nasjonalt institutt for ernæring og sjømatforskning
NILU	Norsk Institutt for Luftforskning
NIVA	Norsk institutt for vannforskning
PTWI	Midlertidig tolerabelt vekleg inntak
SD	Standard avvik, eit mål for spreing i data.
Totalkvikksølv	Alle former av kvikksølv i eit organ.
tv	Tørrvekt
TWI	Tolerabelt vekeleg inntak.
VKM	Vitenskapskomiteen for mattryggleik
vv	Våtvekt

2. Teori

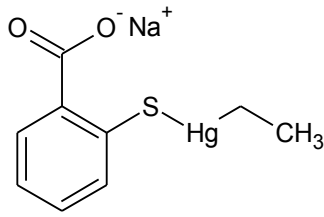
2.1 Fysiske og kjemiske eigenskapar til kvikksølv

Kvikksølv er eit grunnstoff som har tre oksidasjonstilstandar, 0, +1 og +2. Tungmetall er definert som stoff med massetettleik større enn 5 g/cm^3 (Järup, 2003), og kvikksølv har ein massetettleik på $13,59 \text{ g/cm}^3$ ved 25°C og 1 atm. (Ellis et. al, 2007) og er derfor definert som eit tungmetall. I det periodiske system finn ein kvikksølv i gruppe 12, med atomnummer 80 og molar masse $200,59 \text{ g/mol}$ (Baird og Cann, 2008). Kvikksølv finnes i tre hovudformer: Metallisk, uorganisk og organisk kvikksølv (Coulate, 2009), og dei fysiske og kjemiske eigenskapane er avhengig av kva form kvikksølvet er i.

Metallisk kvikksølv består av frie kvikksølvatom i oksidasjonstilstand 0, (Hg^0). I denne forma er kvikksølv ei sølvgrå væske, og ved 1 atm har kvikksølv smeltepunkt og kokepunkt på høvesvis -39°C og 357°C . (Ellis et. al, 2007). Kvikksølv er det einaste metallet som er flytande ved romtemperatur.

Uorganisk kvikksølv består av salt i oksidasjonstilstand +1 og +2 (Baird og Cann, 2008). I oksidasjonstilstand +1 har kvikksølvatoma blitt oksidert ved å kvitte seg med eit elektron kvar, og har forma Hg_2^{2+} . Kvikksølv i oksidasjonstilstand +2 finst i forma Hg^{2+} , og har to elektron mindre enn metallisk kvikksølv. Toverdig kvikksølv (Hg_2^{2+}) kan danna kovalente bindingar med nokre anion. HgCl_2 er til dømes eit molekyl, og ikkje eit salt.

Organisk kvikksølv består av eit kvikksølvatom som er bunde til ei eller to organiske grupper. Det mest kjende dømet på ei organisk kvikksølvsambinding er metylkvikksølv (CH_3Hg^+). Metylkvikksølv er den vanligaste organiske kvikksølvsambindinga i ernæringsssamanheng, og ein finn relativt mykje av denne sambindinga i sjømat. Eit anna døme på ein organisk kvikksølvsambinding er thimerosal (figur 2.1) som blir brukt i mange vaksiner for å hindre soppinfeksjonar (Clarkson et. al, 2003). Det finnes mange andre døme på organiske kvikksølvsambindingar, blant anna både etylkvikksølv ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-Hg}^+$) og



Figur 2.1: Den kjemiske strukturen til thimerosal.

fenylkvikksølv ($C_6H_5-Hg^+$) (Havarinasab og Hultman, 2005; Clarkson, 2002). Organiske kvikksølvambindingar har generelt lågare LD_{50} (leathal dose) enn andre kvikksølvambindingar. Kvikksølv kan danne amalgam med dei fleste andre metall. Eit amalgam er ein løysning eller ei legering som inneheld kvikksølv (Baird og Cann, 2008).

Amalgam blei tidlegare brukt av tannlegar til tannfyllingar, men bruken av denne typen fyllingar har vore forbode sidan 1. januar 2011 (Klima og forurensingsdirektoratet, 2010).

2.2 Kvikksølv i miljøet

Det er både naturlege og menneskeskapte utslepp av kvikksølv til miljøet. Størsteparten av kvikksølv i miljøet kjem frå naturlege kjelder, og rundt 5200 tonn kvikksølv kjem frå denne typen kjelder (Pirrone, 2010). Forvitring av steinar som inneheld kvikksølv, vulkanutbrot samt avgassingar frå havet og jordoverflata er døme på naturlege kvikksølvkjelder (Havarinasab og Hultman, 2005; Clarkson, 2002). Menneskeskapte kjelder bidrar årleg med utslepp på rundt 2000 tonn kvikksølv globalt (Streets et.al, 2011; Pirrone, 2010; UNEP, 2013), dette kvikksølv kjem hovudsakleg frå industrielle prosessar og brenning av kol i kolkraftverk (Klima-og forurensingsdirektoratet, 2010). Andre dømer på store kvikksølvkjelder er gullutvinning, kvikksølvutvinning, klor-alkaliproduksjon med kvikksølvteknologi, metallproduksjon, sementproduksjon, kremering og avfallsbehandling. Asia er den verdensdelen med høgast menneskeskapte kvikksølvutslepp, og rundt 50 % av dei globale utsleppa til atmosfæren kjem derifrå (UNEP, 2013). Spesielt i søraust Asia er utsleppa store, og Kina står for rundt 75 % av utsleppa frå søraust Asia. Det finst indikasjonar på at dei årlege globale kvikksølvutsleppa i verda kjem til å auke i åra framover, til tross for reduserte kvikksølvutslepp i Europa, Russland og Nord-Amerika. Dette kjem av auka utslepp av kvikksølv i søraust Asia.

Utsleppa av kvikksølv i Noreg har gått ned dei siste tiåra (Klima- og forurensingsdirektoratet, 2010). I 1985 var dei samla utsleppa av kvikksølv i Noreg på rundt 6 tonn, og i 2008 var dei redusert til 900 kg. Dei viktigaste norske kjeldene for kvikksølvutslepp er metallproduksjon, utslepp til luft frå vegtrafikk og avfallsforbrenningsanlegg. Reduksjonen i kvikksølvutslepp i Noreg skyldast hovudsakleg reduserte utslepp frå petroleumsindustri, metallurgisk industri og oppsamling av amalgam i avløpsvatnet frå tannlegekontor.

Kvikksølv kan bli transportert frå utlandet til Noreg via luftstraumar og sjøstraumar. I luft blir både metallisk kvikksølv i gassform og uorganisk kvikksølv i partikkelform transportert (Green et.al, 2013). Omtrent halvparten av alt kvikksølv som blir sleppt ut her til lands, blir avsett i Noreg. Likevel kjem størsteparten av kvikksølv som blir avsett i Noreg frå utlandet. Kvikksølvkonsentrasjonen i norsk jord låg rundt 0,15 mg/kg i år 2000. I vatn frå innsjøar låg kvikksølvkonsentrasjonane omtrent mellom 1 og 2 ng/l, mens sedimenta hadde ein kvikksølvkonsentrasjon mellom 0,14 og 0,42 mg/kg. Kvikksølvkonsentrasjonane i mose låg stort sett mellom 40 og 66 µg/kg (Berg et.al, 2003). I ei undersøking utført av NILU i 2012, blei det utført luftmålingar ved Birkenes på Sørlandet, Andøya i Nordnoreg og ved Zeppelinfjellet på Svalbard. Der viste det seg at kvikksølvkonsentrasjonen i luft var høvesvis 1,62, 1,61 og 1,51 ng/m³ (Aas et.al, 2013).

I vatn kan uorganisk kvikksølv bli metylert til metylkvikksølv (Celo, et al., 2005). Metyleringsprosessen kan skje gjennom både biotiske og abiotiske reaksjonar, men kvikksølv blir hovudsakleg metylert av mikroorganismar. Metyleringa føregår hovudsakleg i overflata på sedimenta (Baird og Cann, 2008), og oksygenfattig vatn, med sur eller nøytral pH bidrar til å drive prosessen. Dersom sulfation (SO_4^{2-}) er tilgjengeleg bidrar dette til auka metylering, medan sulfidion (S^{2-}) derimot bidrar til daning av kvikksølvulfid (HgS) som ikkje kan metylerast.

2.3 Toksikologiske effektar av kvikksølv

Kvikksølv er eit relativt giftig tungmetall, og ulike former for kvikksølv gir ulike effektar og giftigheit. Når ein samanliknar giftigheita til stoff, brukast ofte LD₅₀ (Lethal Dose / dødeleg dose). LD₅₀ er den mengda av eit stoff som tar livet av 50% av individa i ein populasjon (Baird og Cann, 2008). Kroppsvekt og alder påverkar LD₅₀-verdien (Lin et. al, 1975). Tabell 2.1 viser LD₅₀-verdiane til ei rekke kvikksølv sambindingar.

Tabell 2.1: LD₅₀-verdiane til ei rekke kvikksølv sambindingar for rotter.

Sambinding:	Type forbinding:	LD ₅₀ (mg/kg kroppsvekt)
Hg ₂ Cl ₂	Uorganisk einverdig	210*
HgCl ₂	Uorganisk toverdig	37*
MeHgCl	Organisk	23,9-39,6 ⁺
Fenyl-Hg-acetat	Organisk	22*
Et-Hg- <i>p</i> -toluen	Organisk	100*

*LD₅₀-verdiane er henta frå (UNEP/FAO, 1996).

⁺LD₅₀-verdiane er henta frå Lin F.M. et. al, 1975. LD₅₀-verdien varierer med alderen, dei yngste rottene har høgast LD₅₀ og dei eldste den lågaste. Gjennomsnittleg LD₅₀ for alle alderar var 29,8 mg/kg.

Metallisk kvikksølv utgjer ikkje nokon spesiell ernæringsmessig risiko på grunn av liten absorpsjonsevne (rundt 0,01%) frå mage-tarmkanalen (Aune, 2007). I praksis er det dessutan ingen førekomst av denne kvikksølvforma i næringsmiddel. Metallisk kvikksølv er likevel flyktig, og lungene kan effektivt absorbere opp dampen. Heile 80-90% av dampen kan absorberast ved innanding. Nyrene, hjernen, sentralnervesystemet og det perifere nervesystemet er målorgana til metallisk kvikksølv i menneske (Clarkson et. al, 2003).

Uorganisk kvikksølv er giftig, og gjer først og fremst skade på nyrene og levera (Baird og Cann, 2008). Toverdig kvikksølv er giftigare enn einverdig, og dette kjem truleg av at toverdig kvikksølv er meir lettløysleg enn einverdig kvikksølv (Aune, 2007). Ved eksponering av toverdig kvikksølv produserer kroppen eit protein, metallothionein, som bind seg til kvikksølv. På denne måten blir kvikksølv uskadeleggjort. Biotilgjengelegheita til uorganisk kvikksølv er låg, berre 5 - 10% av det uorganiske kvikksølv blir absorbert frå mage-tarmkanalen (WHO, 2011).

Organisk kvikksølv er som nemnt den giftigaste forma av dei ulike kvikksølvformene. Metylkvikksølv blir veldig lett tatt opp i kroppen, og heile 90-95% blir absorbert frå tarmen (VKM, 2005; Aune, 2007). Sentralnervesystemet er målorganet, og for høge inntak av metylikvikksølv kan gi skader på nervesystemet og permanent hjerneskade (Clarkson, T.W. et al, 2003). Dersom sentralnervesystemet ikkje er ferdigutvikla, er det ekstra sårbart for metylikvikksølv. Høge metylikvikksølvdosar kan føre til forstyrring av muskelkontroll (cerebral parese), reduksjon i syns og hørselsansen, og psykisk utviklingshemming (Castoldi et.al, 2001). Mødre kan overføre metylikvikksølv til fosteret under graviditeten og gjennom morsmjølka. Spedbarn som er født av mødrer som har blitt eksponert for for mykje metylikvikksølv under graviditeten får ofte fleire negative effektar. Desse effektane omfattar blant anna forandra tonus (normal spenningstilstand til musklane), forandra refleks og cerebral parese, samt at ungane bruker lenger tid på å lære å gå og snakke og gjer det dårlegare på nevrologiske undersøkingar (Díez, 2008; Mergler et.al 2007). Hos vaksne menneske har metylikvikksølv ei halveringstid på rundt 50-70 dagar (VKM, 2005; Baird og Cann, 2008; og Clarkson, 2002).

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives and Contaminants (JECFA) har satt ein TWI (tolerabelt vekeleg inntak) for uorganisk kvikksølv lik 4,0 µg/kg kroppsvekt, og ein PTWI (midlertidig tolerabelt vekeleg inntak) på 1,6 µg/kg kroppsvekt for metylikvikksølv (WHO, 2011; EFSA, 2012). EFSA (European food safety authority) sitt CONTAM panel har etablerte ein TWI på 1,3 µg/kg kroppsvekt, og EFSA kjem truleg til å bruke den nye TWI-en i løpet av 2014 (EFSA, 2012). Dette betyr at ein person på 70 kg kan tolerere eit metylikvikksølvinntak på 91 µg kvar veke. Til samanlikning kunne ein person på 70 kg tolerere eit inntak på 112 µg metylikvikksølv pr. veke ifølge den gamle PTWI-en.

Det har vore fleire tilfelle av kvikksølvforgifting igjennom historia, og ei av dei mest kjende i moderne tid er Minimata-katastrofa i Japan. I 1950-åra oppdaga ein i dei japanske byane Minimata og Niigata, nevrotiske skader på nyfødde babyar som følgje av at befolkninga åt forureina fisk etter utslepp frå ein kunstgjødsselfabrikk (McAlpine og Araki, 1958; WHO, 2011). Det blei funne veldig høge kvikksølvkonsentrasjonar i fisk og skaldyr i området, nokre så høge som 29 mg/kg

(Coultrate, 2009). Metylkvikksølv har ei halveringstid på over eit år i fisk (Amlund et.al, 2007; van Wallegghem et.al, 2007). Eit anna døme på kvikksølvforgifting skjedde i Irak i 1972. Korn som var blitt beisa med metylkvikksølv og etylkvikksølv blei brukt til å bake brød, som sidan blei ete (Bakir et.al, 1973). Rundt 500 menneske døyde og rundt 6000 blei sjuke etter denne tragedien. For å forhindre at liknande hendingar skjer igjen, har Noreg og EU satt øvre grenseverdier for kvikksølvkonsentrasjon for lovleg omsetjing av ulike matvarer (EU, 2006). For dei fleste fiskeslag er denne grensa 0,50 mg/kg, men for nokre få fiskeslag, til dømes kveite, uer, steinbit og breiflabb, er denne grensa heva til 1,0 mg/kg.

2.4 Kvikksølv i fisk

Menneske blir i hovudsak eksponert for kvikksølv gjennom inntak av fisk, kvikksølvfyllingar og vaksinar. Fisk er den viktigaste kjelda for kvikksølv i kosthaldet, men marine pattedyr, til dømes kval, kan og ha høge kvikksølvkonsentrasjonar (Clarkson, 2002; og Clarkson et.al, 2003). Vågekval som er fanga i norske farvatn ser likevel ikkje ut til å ha spesielt høge kvikksølvkonsentrasjonar (Julshamn et.al, 2012).

Ein stor andel av totalkvikksølvet i fiskefilet består av metylkvikksølv, ofte opp mot 100% (Bloom, 1992). Dette ser ein òg i mager fisk, til tross for at metylkvikksølv er meir feittløyseleg enn uorganisk kvikksølv. Dette kjem av at metylkvikksølv har høg affinitet for svovel, og bind seg til thiol-gruppa (SH-gruppa) til aminosyra cystein i fiskemuskel (Harris, et.al 2003; Havarinasab og Hultman, 2005). Ved inntak av fiskefilet er det i hovudsak metylkvikksølv som blir tatt opp i kroppen.

Dersom konsentrasjonen av ei miljøgift i ein organisme aukar gjennom eit livsløp, blir dette fenomenet kalla bioakkumulering (Baird og Cann, 2008; Lundebye, 2001). Dersom kvikksølvkonsentrasjonen aukar oppover i næringskjeda kallast dette for biomaginifisering. Fisk tar dessutan opp miljøgifter frå vatnet gjennom gjellene, og over eit livsløp kallast dette fenomenet biokonsentrasjon.

Kvikksølvkonsentrasjonen i fisk varierer ut frå fleire faktorar, som blant anna art, levevis, alder, størrelse, levetid, trofisk nivå og lokalitet.

Kvikksølvkonsentrasjon varierer mellom artar som følgje av ulike faktorar som blant anna levevis, trofisk nivå, alder og størrelse. Kvikksølvkonsentrasjonen kan variere innanfor ein art, og konsentrasjonane varierar då med alder, trofisk nivå og lokaliteten.

I enkelte artar aukar kvikksølvkonsentrasjonen lettare enn i andre, noko som kjem av variasjon i blant anna trofisk nivå, diett, størrelse og levetid mellom artane. Brosme er eit døme på ein fisk som kan akkumulera relativt høge kvikksølvkonsentrasjonar samanlikna med andre fiskeartar som torsk, sei og sild.

Alder er viktig når ein studerer kvikksølvkonsentrasjonen i fisk. Eldre fisk har akkumulert mykje kvikksølv igjennom eit langt liv, og har derfor generelt høgare kvikksølvkonsentrasjonar enn unge fiskar (Nilsen et.al, 2013a; Nilsen et.al, 2013b; Frantzen et.al, 2009; Chumchal et.al, 2010; Baeyens et.al, 2003; og Baird og Cann 2008). Ettersom størrelsen på fisken aukar med alderen, så vil ofte kvikksølvkonsentrasjonen auke med størrelse (Julshamn et.al, 2013b; Nilsen et.al, 2013b; Nilsen et.al, 2013b; Julshamn et.al, 2013c). Forskjellige fiskeartar har dessutan forskjellig levetid. Fiskar som sjeldan blir eldre enn 3 år, har ofte lågare kvikksølvkonsentrasjonar enn fiskar som kan bli eldre.

Trofisk nivå har mykje å seie for konsentrasjonen av kvikksølv i fisk (McIntyre og Beauchamp, 2007). Fisk som har ein diett bestående av andre dyr eller organismar får auka kvikksølvkonsentrasjonen igjennom biomagnifisering. Rovfisk har derfor ofte høgare kvikksølvkonsentrasjonar enn andre marine organismar som til dømes plankton (Gutiérrez-Mejía et.al, 2009; Baird og Cann, 2008). Dette er blant anna vist i ei undersøking frå islandske farvatn der ^{13}C og ^{15}N isotopane blei brukte til å samanlikna trofisk nivå og kvikksølvkonsentrasjon. Ein fann at fiskar med høgt trofisk nivå som håkjerring, brosme, lange og blålange, hadde høgare kvikksølvkonsentrasjonar enn fiskar med lågt trofisk nivå som raudspette, sei og torsk (McMeans et.al, 2010).

Lokaliteten kor fisken er fanga kan variere i grad av kvikksølvforureining, noko som avgjer kor mykje kvikksølv som kan tatt opp av fiskane (Havelková et.al, 2008). Dette er spesielt viktig for stasjonære fiskeartar som til dømes brosme. Mengda av kvikksølv i sedimenta kan òg spele ei rolle. Som nemnt kan kvikksølv bli metylert i sedimenta. Oksygeninnhaldet i vatnet samt pH, SO_4^{2-} -konsentrasjonen og S^{2-} -konsentrasjonen påverkar metyleringa. Dersom kvikksølvet i sedimenta er i ein form som lett kan bli tatt opp av fisken, til dømes metylkvikksølv, så aukar kvikksølvkonsentrasjon til fiskane fortare. Dersom kvikksølvet er i ei form som ikkje kan bli lett tatt opp av fisken, til dømes metallisk kvikksølv, så aukar ikkje kvikksølvkonsentrasjonen lika fort. Til dømes inneheld sedimenta rundt Fedje høge konsentrasjonar av metallisk kvikksølv (Uriansrud et.al, 2006), men fisk derifrå har relativt låge konsentrasjonar i filet (Kvangarsnes, 2010; Frantzen et.al 2014).

Etter at kvikksølvet har blitt tatt opp av fisken, fordeler det seg i dei ulike organa. Mesteparten av kvikksølvet i fileten er som nemnt tidlegare metylkvikksølv, og denne andelen kan variere frå 75-100% (VKM, 2005; Bloom, 1992; Olsvik et.al, 2013). Forholdet mellom metylkvikksølv og uorganisk kvikksølv i lever er mindre kjent. I eit eksperiment kor metylkvikksølvkontaminert fôr blei gitt til sebrafisk (*Danio rerio*) over 63 dagar, blei det observert ei auke i dei totale kvikksølvkonsentrasjonane i lever. Den prosentvise andelen metylkvikksølv i lever blei derimot gradvis redusert frå 66 % ved dag 0, til 36 % ved dag 63 (Gonzalez et.al, 2005). Dette tydar på at det føregår ei demetylering av metylkvikksølv i levra (Havelková et.al, 2008; Gonzalez et.al, 2005).

2.5 Brosme

Brosme (*Brosme brosme*) er ein djupvassfisk i torskefamilien (Gadidae). Brosmene oppheld seg nær havbotn mellom 50 og 1000 meter djup. Dei minste fiskane oppheld seg som regel på grunnare vatn, mens dei fleste finst mellom 200-500 meter djup. Brosma er truleg relativ stasjonær, noko som betyr at dei oppheld seg på same plass over lang tid. Leveområda deira strekker seg frå Irland i sør til Svalbard i nord (figur 2.2). I aust finn ein brosmar frå Sør-Noreg og heile vegen nordaust langs kysten til Kolahalvøya i Russland. Brosmene finst òg frå Skottland og nordover til Island, og

deretter vestover til Grønland. Ein finn dessutan brosmes på den nordamerikanske austkysten, frå Labrador (Canada) i nord til Cape Cod (USA) i sør. I Noreg finn ein brosmes hovudsakleg på djupt vatn langs eggkanten og i fjordane. Brosmes et fisk



Figur 2.2: Utbredelsesområda til brosmes.
(Havforskningsinstituttet)

og store krepsdyr som sjøkreps, trollhummar og reker, samt botndyr som børstemark og muslingar. Brosmes har ein brunleg farge, og ein lang ryggfinne som dekkjer heile ryggen og som skiljar den frå andre torskefiskar (figur 2.3). Brosmes kan bli opptil 15 kg tung og 1,1 meter lang. Brosmene blir kjønnsmodne ved 6 - 10 års alderen, avhengig av plassen dei oppheld seg. Dei kan truleg bli over 20 år gamle, og nokre kjelder melder at dei kan bli opptil 40 år gamle. Noreg er den største aktøren i brosmes fisket og står for omtrent 70 % av fangsten.

Færøyane og Island er døme på andre store aktørar (Helle, 2012; Cohen et.al, 1990; Pethon, 2005). I 2013 fanga norske fiskarar 11 428 tonn brosmes, som hadde ein førstehandsverdi på nesten 84 millionar norske kroner (Sandberg og Holmefjord, 2014). Brosmes er ein mager fisk som lagrar feitt i levra (Kryvi, 1992). Tidlegare studiar har vist at brosmes kan akkumulere høge konsentrasjonar av kvikksølv (Kvangarsnes et.al, 2012; Måge et.al, 2012; Julshamn et.al, 2013a).



Figur 2.3: Brosmer trives nær havbotn, og har ei karakteristisk lang ryggfinne. Bildet blei tatt på Akvariet i Bergen

2.6 Analyseteknikkar

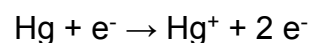
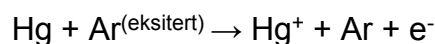
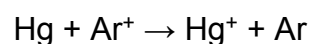
I oppgåva blei to analyseteknikkar brukte, 'Induktivt kobla plasma massespektrometer' (ICPMS), og gasskromatografi (GC) kopla til ein ICP-MS (GC-ICP-MS).

2.6.1 Induktiv kopla plasma massespektroskopi (ICP-MS)

Induktivt kopla plasma massespektroskopi (ICP-MS) kan brukast til kvantitativ analyse av fleire grunnstoff på ein gong, noko som er tidssparande, og gjer det til eit nyttig instrument på eit analyselaboratorium. Dette betyr at ein kan finne den totale mengda av fleire grunnstoff i ein prøve, men i denne oppgåva blei instrumentet berre brukt til å bestemme den totale mengda kvikksølv i prøvane. I ICP-MS blir prøven ført inn og ionisert i eit plasma, og deretter sendt til eit magnetisk felt, kor berre partiklane

med rett masse og ladning kjem igjennom til detektoren (Julshamn et.al, 2007). Kvar gong eit ion treff detektoren blir det produsert ein liten straum, og denne straumen blir registrert som eit treff på ein PC.

Prøven blir injisert som ei væske, som blir frakta vidare ved hjelp av ein bæregass (i denne oppgåva blei argongass brukt), og omdanna til aerosolar av ein forstøvar. Aerosolar er små partiklar av væske eller fast stoff i ein gass. Aerosolane har forskjellige størrelsar, og dei største krev meir energi for å atomiserast. Dei største aerosolane blir derfor selektert vekk i eit spreingskammer. Dei mindre aerosolane blir ført vidare til 'torch'-en. Før prøven når plasmaet, blir vatnet fjerna slik at det berre er ion igjen (Agilent technologies Inc, 2005; Julshamn et.al, 2007). Torch-en er bygd opp av tre kvartsrøyr som er konsentriske. Det betyr at dei har same sentrumspunkt, men ulik radius. Rundt torch-en ligg det ein lada spiral, som er kopl til ein radiofrekvens (RF) generator. Når RF-generatoren er slått på, produserer spiralen ein vekslende straum. Dette skaper eit kraftig elektromagnetisk felt ved enden av torchen, som skaper ein høgvoltsognist, som igjen fører til at nokre argonatom mistar eit elektron. Desse elektrona blir akseleret av magnetfeltet og kolliderer vidare med andre argonatom, som fører til at fleire elektron blir frigjort i ein kjedereaksjon. Plasmaet består derfor av argonatom, argonion og elektron (Thomas, 2001a). Argon har ein av dei høgaste valensioniseringsenergiene i det periodiske systemet (15,8 eV), berre helium, neon og fluor har høgare. Dette betyr at grunnstoff, til dømes kvikksølv, kan bli ionisert etter kollisjonar med argonion (Ar^+), eksiterte argonatom eller energetiske elektron.



Ioniseringa av analytten skjer hovudsakleg ved kollisjonar med elektron, og i mindre grad av kollisjonar med argonion (Harris, 2010; Thomas, 2001a). Etter torchen blir analytten sendt inn i grensesnittområdet, kor trykket går frå ca. 760 torr til ca. 2 torr, for å få til overgangen frå atmosfærisk trykk i plasmaet til vakuum i massespektrometeret (Thomas, 2001b). Nøytrale partiklar blir fjerna, og dei positive

iona blir sendt vidare til 'kvadrupolen'. Ein kvadrupol består av fire stavar som er parallelle med kvarandre, og genererer eit oscillerande elektromagnetisk felt. Ion med feil masse-ladningsforhold (m/z -forhold) vil få ein ustabil bane, og kollidere med ein av stavane. Berre ion med rett m/z -forhold vil passera kvadrupolen, og nå detektoren (Pavia et al., 2009). Detektoren som blir brukt er ein 'elektron multiplikator', og når eit ion treff overflata til detektoren blir to elektron slått laus. Desse elektrona slår igjen laus to eller fleire elektron når dei treff detektoren, som igjen slår laus enda fleire elektron. Når elektrona når enden på detektoren så registrerer ein PC straumen, og ein får eit signal. Ein finn deretter konsentrasjonen ved hjelp av ei standardkurve.

2.6.2 Standardkurve

Ei standardkurve blir laga ved å analysere standardløysningar, som inneheld ei kjent mengd av analytten (Harris, 2010). Ved å analysere standardløysningane på eit instrument, får ein forskjellige signal for forskjellige konsentrasjonar av analytt. Dersom ein plottar analyttkonsentrasjon mot signal, får ein ei standardkurve. Ved å sette signalet som blei registrert inn i standardkurva kan ein finne konsentrasjonen til prøvar med ukjent analyttkonsentrasjon.

2.6.3 Massespektrometri ved isotopfortynning (IDMS)

I massespektroskopi ved isotopfortynning (IDMS) utnyttar ein forskjellen mellom ei naturleg samansetting av analyttisotopar i ei prøve, og ei kjent unaturleg samansetting av analyttisotopar i ein intern standard. Ein finn isotopsamansettinga i den nye løysninga ved hjelp av massespektrometri, og reknar ut konsentrasjonen.

Isotopfortynning er ein metode brukt for å bestemme mengda av eit stoff i ein prøve. I denne analyseteknikken blir eit massespekter brukt som detektor, men signalet frå detektoren representerer ikkje nødvendigvis mengda eller konsentrasjonen av analytt i prøven, og ein må derfor tilsetje ein intern standard (Harte et al., 2002). Ei løysning av analytt, kor to eller fleire isotopar er unaturleg fordelt kallast ei 'spike'-løysning.

Den isotoptilsette prøven blir sendt til massespektrometeret, som berre lar ion med eit bestemt masse/ladningsforhold passere eit magnetfelt. På denne måten blir forholdet mellom dei ulike isotopane bestemt. Frå før veit ein isotopforholdet og den molare massen i spikeløysninga (oppgitt frå produsenten) og prøven (det naturlege forholdet av isotopar) (Heumann, et al., 1998). Etersom ein no veit massen til den innvega prøveløysninga og spikeløysninga som blir analysert, kan ein rekne ut konsentrasjonen av analytten ved hjelp av følgjande formel (Harte et al., 2002):

$$2.5 \quad C_s = C_{sp} \frac{m_{sp}}{m_s} \frac{M_s}{M_{sp}} \frac{A_{sp}^b}{A_s^a} \left(\frac{R_m - R_{sp}}{1 - R_m \cdot R_s} \right)$$

C_s	Analyttkonsentrasjon i prøven	A_s^a	Prosent av referanseisotop a i prøve
C_{sp}	Analyttkonsentrasjon i spikeløysning	A_{sp}^b	Prosent av referanseisotop b i spike
m_s	Masse prøve	R_s	Isotop-ratio av isotop a og b i prøve
m_{sp}	Masse tilsett spike-løysning	R_{sp}	Isotop-ratio av isotop a og b i spike
M_s	Molar masse analytt i prøve	R_m	Målt isotopratio mellom isotop a og b
M_{sp}	Molar masse analytt i spikeløysning		

2.6.4 Kromatografi og gasskromatografi (GC)

Kromatografi er ein viktig separasjonsmetode i analytisk kjemi. Heilt generelt består eit kromatografisk system av ein stasjonær fase, som kan bestå av både fast stoff eller ei væske, og ein mobilfase som kan bestå av ei væske eller ein gass.

Kromatografiske metodar går ut på å skilje to eller fleire stoff frå kvarandre, ved å utnytte forskjellen i fordelinga til stoffa i den stasjonære fasen og den mobile fasen (Miller, 2009).

Gasskromatografi, ofte forkorta til GC, er ein kromatografisk metode der gass blir brukt som mobil fase. På NIFES blir argon brukt som drivgass, mens kolonna består av fenyilmetylsiloksan som stasjonærfase. GC fungerer best på flyktige prøvar, ettersom analytten skal drivast igjennom systemet av ein drivgass (Miller, 2009).

2.6.5 Gasskromatografi induktiv kopla plasma isotopfortynning massespektroskopi (GC-ICP-IDMS)

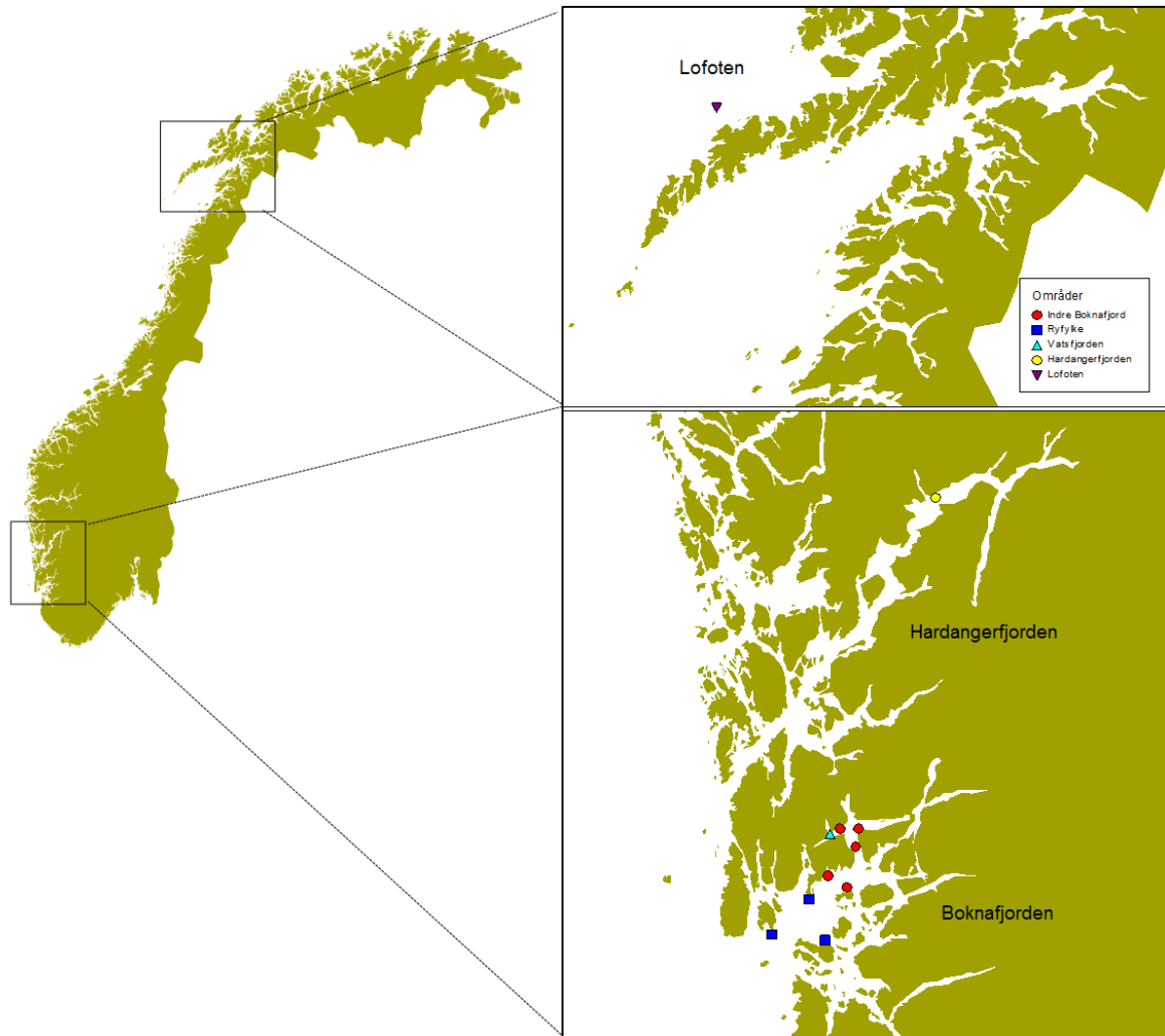
Prinsippet i denne metoden er å skilje analytten frå dei andre forbindelsane i prøvematriksen med GC, før ein skil dei forskjellige analyttisotopane frå kvarandre med ICP-IDMS.

Prøven blir injisert og varma opp. Drivgassen fører analytten til kolona, kor dei forskjellige sambindingane blir skilde frå kvarandre. Analyttane blir deretter sendt vidare til ICP-MS, kor analyttane blir ionisert og detektert. Sidan sambindingane blir separert i GC-en, blir dei ionisert av ICP på forskjellige tidspunkt, og dermed blir dei òg detektert med MS på forskjellige tidspunkt. Når analyttane blir detektert av MS får ein forholdet mellom dei forskjellige isotopane i form av areal i eit kromatogram, og ein kan bruke dette til å finne konsentrasjonen av analyttane i prøven (Miller, 2009).

3. Metode

3.1 Innsamling av prøvar

Til denne masteroppgåva blei det samla inn brosme frå Boknafjorden, Hardangerfjorden og Lofoten (figur 3.1). Brosmene blei prøvetatt i tre områder i Boknafjorden, med ti brosmar frå Vatsfjorden, 28 brosmar frå fem stasjonar i Indre Boknafjord og 23 brosmar brosmar frå tre stasjonar i Ytre Boknafjord (Ryfylke). I Hardangerfjorden blei det fanga 26 brosmar innan ein radius på 5 km ved Steinstøberget. Dessutan blei det fanga 25 brosmar utanfor Lofoten som 'referanse', ettersom dette område truleg har lågt forureiningsnivå. Totalt blei det samla 112 brosmar frå alle lokalitetane. Brosmene i Vatsfjorden blei fanga med teiner den 13 juli 2013 på 150-200 meter djup ved Vatsfjordinngangen, mens brosmene frå Ryfylke og Indre Boknafjord blei fanga med garn, line og teiner mellom den 14. og 18. desember 2013 på 40-350 meter djup. Brosmene frå Hardangerfjorden blei fanga med garn og krepseteiner i mars og april 2014 på 150 meter djup, og fiskane frå Lofoten blei fanga med line den 29. juni 2014 på 50-160 meter djup. Fiskinga blei utført av profesjonelle fiskarar i Havforskningsinstituttets kystreferanseflåte, med unnrak av Vatsfjorden, der ein lokal fiskar sto for fiskinga. Brosmene blei frosne heile og sendt til NIFES der dei blei lagra ved - 20°C til dei blei opparbeida.



Figur 3.1: Stasjonane kor det blei fanga brosmer til denne masteroppgåva. Punkta i blått, raudt og lyseblått representerer stasjonane frå høvesvis Ryfylke, Indre Boknafjord og Vatsfjorden i Boknafjorden. Det gule punktet i Hardangerfjorden representerer stasjonen ved Steinstøberget, og det brune punktet representerer stasjonen i Lofoten.

3.2 Opparbeiding av fisk

Dagen før opparbeidinga blei fiskane tatt ut av frysaren til tining (figur 3.2).



Figur 3.2: Brosmene er klare til prøveopparbeiding, etter å ha blitt tint opp over natta.

Vekt og lengde på fiskane blei målt og notert. Lever, gonade (kjønnskjertel) samt otolittane (øyresteinane) blei tatt ut, og fisken blei filetert. Levra og gonadane blei fjerna ved at buken til brosma blei skore opp med ein skalpell, og organa blei skore lause med skalpellen. Fileten blei skore laus med ein lang fileteringskniv ved at ein skar ned i brosma like ved brystfinna til ein traff beinet. Deretter skar langs lengda til fisken med kniven parallelt med beinet, heilt til ein kom til halen. Det var ein del filet over rygggrada til fisken, og dette blei skore laus ved at kniven blei pressa ned parallelt med ryggstrada, og deretter skar ein oppover med kniven. Skinnen blei fjerna frå fileten ved at kniven skar ned i fileten til den traff skinnen, som var tjukt og seigt, og deretter skar parallelt med skinnen. Fileten blei skore opp i små bitar og lagra til homogenisering. Med unntak av veldig små fiskar, blei berre ei side av brosma filetert. Kjønnen til fiskane blei bestemt ved å sjå på gonadane: Store raude gonadar betydde hokjønn, mens små 'sener' med små gule posar på betydde hankjønn. Etter

kjønnsbestemminga blei gonadane sendt til ein annan forskar som skulle bestemme modningsstaus. Massen til levra blei bestemt. Filet og lever blei homogenisert kvar for seg ved hjelp av ein food processor. Filet- og leverprøvane blei deretter overførte til prøveglass og prøvebeger, og frose ned. Filetprøvane blei lagra til dei skulle frysetørkast. Lever av brosme inneheld veldig mykje feitt, og er derfor ikkje egna til å frysetørking. Dei blei derfor analyserte i vått materiale.

3.3 Frysetørking

Frosne homogeniserte filetprøvar blei frysetørka. Vatnet i fileten gjekk frå faststoff til gassform ved at trykket blei senka til tilnærma vakuum. Dei tørre prøvane blei deretter tatt ut av prøvebegeret og pulverisert, før det blei tømt tilbake til begeret igjen. Vekta av prøvane blei målt før og etter frysetørking. Formel 3.1 blei brukt til å regne ut tørrstoffprosenten i prøven:

$$3.1 \quad \text{Tørrstoffprosent (\%)} = \frac{\text{Vekt av frysetørka prøve (g)} \times 100\%}{\text{Vekt av våt prøve (g)}}$$

3.4 Bestemming av totalkvikksølvkonsentrasjon

Under denne analysen var målet å finne ut kor mykje kvikksølv det var til saman i prøven. Før analysen på ICP-MS kunne begynne, måtte reaksjonsrøyra vaskast med konsentrert salpetersyre (HNO_3) og hydrogenperoksid (H_2O_2) under høgt trykk og temperatur for å fjerne eventuelle restar frå tidlegare analysar. Prøvane blei løyst opp på same måte, og blei deretter fortyнна.

3.4.1 Blindoppslutting

Analysen begynte med blindoppslutting, ein slags vask av teflonrøyra som blei brukt under analysen. Blindeoppsluttinga bestod av å helle 2 ml konsentrert salpetersyre (HNO_3) og 0,5 ml hydrogenperoksid (H_2O_2) oppi røyra. Teflonrøyra blei deretter satt oppi ein mikrobølgeovn av typen "Milestone UltraWAVE", og køyrd på programmet

”olje-pyseprogram.mpr”. Mikrobølgeomnen auka gradvis temperaturen inne i røyra i 37 minutt, før den avkjølte seg i 25 minutt. Etter avkjølinga blei innhaldet i røyra tømt ut, og deretter skylt i destillert vatn.

3.4.2 Oppløysing av prøve ved våtoppslutting i mikrobølgeomn

Etter blindoppsluttinga blei prøvane oppløyste. Først blei 0,5 ml destillert vatn tilsett røyra, før 0,20-0,25 g filet eller leverprøve blei vega inn (figur 3.3). Filetprøven blei overført til røyret ved å veie det inn på eit filterpapir, som sidan blei rulla saman, og brukt til å overføre prøven. Leverprøvane blei overført direkte ved å bruke to spatlar.



Figur 3.3: Prøvane blei lagra i små prøvebeger, før dei blei vega inn i teflonrøyr.

Etter at prøvane var vegne inn blei 2 ml salpetersyre (HNO_3) og 0,5 ml hydrogenperoksid (H_2O_2) tilsett røyra, før ein sette mikrobølgeomnen på ”olje-pyseprogram.mpr”, slik som for blindoppsluttinga. Innhaldet i røyra blei deretter overført til ein 25 ml kolbe og fortynna med destillert vatn til merket. Den fortynna prøveløysninga blei overført til eit 50 ml røyr for lagring fram til analyse.

3.4.3 Analyse ved ICP-MS

Det blei laga standardløysningar ved å ta ut 10, 20, 50, 100, 200 og 500 µl av 'utgangsløysning'. Utgangsløysinga bestod av ein 'multielementstandard' og 10 mg/L kvikksølvløysning. Multielementstandar bestod av 1000 mg/l Mg, Al, Fe og Zn, 50 mg/l Mn, Cu, As, Se, Sr og Ba, og 10 mg/l V, Cr, Co, Ni, Mo, Pb, Ag, Cd og U. Standardløysningane blei fortynna til 10 ml med 10% HNO₃ (salpetersyre), og i tillegg blei det laga ein standardblankprøve som bestod av 10% HNO₃. Instrumentet blei deretter 'tuna'. Standardkurva og standardblank blei analysert, etterfølgt av prøveblank og standard referansemateriale (SRM). I analysane blei 1566 B (oyster tissue/østers), tort-2 og tort-3 (lobster hepatopancreas/hummar) brukt som SRM. Dersom SRM-prøvane blei godkjende, blei resten av prøvane analyserte ved ICP-MS, og kvantifiserte ved hjelp av standard kurva.

Metoden hadde ei lågast kvantifiseringsgrensa (LOQ) på 0,005 mg/kg for kvikksølv, og ei lågast grense for detektering (LOD) på 0,01 µg/l. Måleområdet låg mellom 0,005 og 4,6 mg/kg. Måleusikkerheita for kvikksølv var delt opp i tre nivå, og desse uvissene er oppgitt i tabell 5.1 (NIFES, 2013a).

Tabell 3.1: Måleusikkerheit for kvikksølvkonsentrasjonsintervall.

Konsentrasjonsintervall (mg/kg)	Måleusikkerheit
0,005 - 0,05	70 %
0,05 - 0,5	25 %
0,5 - 4,6	20 %

Kvikksølvkonsentrasjonane som blei målt i denne oppgåva låg mellom 0,038 mg/kg og 5,2 mg/kg, og måleusikkerheita frå denne metoden var derfor 20 og 70 %, avhengig av konsentrasjonen som blei målt.

3.5 Bestemming av metylkvikksølvkonsentrasjon

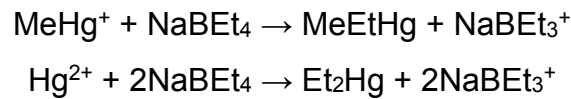
Prøvane blei veid inn i 15 ml plastrøyr, før spikeløysning av metylkvikksølv blei tilsett. Vekta av spikeløysninga blei notert. Spikeløysninga var ei løysning med ein stor andel ^{201}Hg , men det var òg ^{200}Hg og ^{202}Hg i løysninga. Løysningar på rundt 500, 50 og 5 ng/g spikeløysning blei brukte. Kor mykje spikeløysning som skulle tilsettast blei rekna ut frå mengde av totalkvikksølv i prøven. For å løyse opp prøven blei 3 ml TMAH (tetraMetyl-Ammonium Hydroksyl) tilsett, og prøvane blei sett på rotator over natta.



Figur 3.4: Prøvane blei tilsett tetrametylammoniumhydroksyl og sett på rotator over natta til oppløysing.

Etter at prøvane var blitt oppløyste, blei 1 ml eddiksyre/acetat-buffer med pH 5 tilsett. Dette blei gjort for at ein seinare skulle tilsette eit derivatiseringsreagens som virka best rundt pH 5. Løysninga hadde likevel ikkje pH 5, sidan TMAH er ei sterk base, og 500-560 μl konsentrert HNO_3 blei brukt til å justere pH til 5. For å estimere pH i prøven blei pH-papir brukt. Kor mykje salpetersyre som blei brukt var avhengig av

kva matriks prøven innehaldd (filet, lever eller SRM-prøvar, samt små variasjonar i mellom desse). Etter at pH-verdien var justert, blei først 1 ml heksan tilsett og deretter 500 µL av derivatiseringsreagenset natriumtetraetylborat (NaBEt₄). Då skjedde følgande reaksjonar:



Både MeEtHg og Et₂Hg er upolare sambindingar, og ligg i heksanfasen. Prøvane blei sett på sentrifuge, og det meste av heksanfasen blei overført til ein injeksjonsvial (små beholderar) av glass. Prøvane var no klare for analyse, og instrumentet blei kalibrert med Xenon. Prøvane blei deretter analyserte på GC-ICP-IDMS.

Metoden var validert i området 0,003 - 5,3 mg/kg, LOD var 0,001 og LOQ var 0,003 mg/kg i tørrstoff. Måleusikkerheiten var delt inn i tre konsentrasjonsintervall, som er gitt i tabell 5.2 (NIFES, 2013b).

Tabell 3.2: Måleusikkerheit for metylkvikksølvkonsentrasjonsintervall.

Konsentrasjonsintervall (mg/kg)	Måleusikkerheit
0,003 - 0,03	35 %
0,03 - 0,2	25 %
0,2 - 5,3	10 %

3.6 Matematiske formlar og statistiske metodar

3.6.1 Matematiske formlar og utrekningar

Kvar matematiske størelse blei rekna ut for kvar enkelt fisk, og deretter blei gjennomsnittet av størelsane gitt i tabellane i resultatata. Standardavvik og maksimums- og minimumsverdiane blei funne ved å bruke Statistica 12 (Statistica 12, 2013). Dataa for dei matematiske størelsane for kvar enkeltfisk er vist i vedlegg 8.1, saman med dei fysiske størelsane.

Hepatosomatisk indeks (HSI) kan brukast som ein indikator på helsesituasjonen til fisk (Larose et. al, 2008). HSI vart rekna ut ved å bruke følgjande formel (Sepúlveda et.al, 2004):

$$3.2 \quad HSI = \frac{\text{Levervekt (g)}}{\text{Vekt av heil fisk (g)}} \times 100$$

Kondisjonsfaktoren beskriv kor tjukk eller tynn ein fisk er, og denne størrelsen blir ofte brukt i oppdrettsnæringa for å avgjere om fisken er klar til å haustast. Dess større kondisjonen er, dess tjukkare er fisken. Kondisjonsfaktoren til ein fisk kan reknast ut ved formel 3.3:

$$3.3 \quad \text{kondisjonsfaktor} = \frac{\text{vekt(g)}}{\text{lengde(cm)}^3} \times 100$$

Når ein studerer kvikksølvkonsentrasjon i fisk brukast av og til Hg lever-muskel indeksen, som ein kan rekne ut ved å bruke formel 3.4 (Havelková et.al, 2008):

$$3.4 \quad \text{Hg Lever – muskel indeks} = \frac{\text{Konsentrasjon av Hg i lever}}{\text{Konsentrasjon av Hg i filet}}$$

Lever / muskel indeksen til metylkvikksølv reknast ut med formel 3.5:

$$3.5 \quad \text{MeHg Lever – muskel indeks} = \frac{\text{Konsentrasjon av metylkvikksølv i lever}}{\text{Konsentrasjon av metylkvikksølv i filet}}$$

3.6.2 Statistiske metodar

Alle statistiske uttrekingar og testar blei utført ved hjelp av Statistica 12 (Statistica 12; Tulsa, USA). Gjennomsnitt, standardavvik og minimums- og maksimumsverdiar blei rekna ut for dei ulike parametrane. For samanlikning av forskjellige grupper blei Levene's test og residualplot brukt for å sjekke om det var homogene variansar mellom gruppene. Ved homogene variansar blei einvegs variansanalyse (ANOVA) fulgt av Tukey's post hoc test brukt. Dersom det ikkje var homogene variasjonar blei Kruskal-Wallis ikkje-parametriske ANOVA brukt, fulgt av ikkje-parametrisk 'multiple comparison test.

For å undersøke samanhengar mellom parametrar blei enkel lineær korrelasjon (Pearson correlation) brukt.

Ved samanlikning av forskjellige grupper, kor ein samtidig tok hensyn til ein kovariant som variablane var korrelert med, blei kovariansanalyse (ANCOVA) brukt, variansane var generelt sett ikkje homogene, og konsentrasjonane blei derfor log-transformerte før ANCOVA. For å finne ut kva grupper som eventuelt var signifikant forskjellige blei ANCOVA gjennomført for to og to grupper med bonferroni-korreksjon. Ved bonferroni-korreksjon blir signifikansnivået dividert med antall testar, til dømes vil 10 testar gi eit signifikansnivå $\alpha = 0,05/10 = 0,005$. To og to grupper blei på denne måten samanlikna, og p-verdi blei samanlikna med det korrigerede signifikansnivået. Resultata av desse testane er gitt i vedlegg 8.2.

4. Resultat

4.1 Standard referansemateriale (SRM)

Alle resultatene frå analysane av standard referansemateriale (SRM) er gitt i tabell 4.1 og 4.2. For totalkvikksølvanalysane blei 1566 B (vev av østers), tort-2 og tort-3 (hummar Hepatopancreas) brukt som SRM. I metylkvikksølvmetoden blei CE 464 (tunfisk) og dorm-3 (fiskeprotein) brukt. Alle gjennomsnittskonsentrasjonane til SRM for totalkvikksølv (tabell 4.1) og metylkvikksølv (tabell 4.2) var innanfor 2 standardavvik frå kontrollkortverdien, bortsett frå 1566 B, men for denne SRM var måleusikkerheita på heile 70 %.

Tabell 4.1: Resultat frå analyse av totalkvikksølvkonsentrasjonen i standard referansemateriale. Gjennomsnitt av resultatene og standardavvik, samt kontrollkortverdi er vist i tabellen. Måleusikkerheiten for 'Oyster tissue' er 70 %, og for Tort-2 og Tort-3 er måleusikkerheita 25 %.

Parallell	Total Hg (mg/kg)		
	NIST	NRC	NRC
	1566 B Oyster tissue	Tort-2 Lobster Hepatopancreas	Tort-3 Lobster Hepatopancreas
1	0,0358	0,32	0,284
2	0,0355	0,30	0,272
3	0,0359	---	0,278
4	0,0329	---	0,271
5	0,0325	---	---
6	0,0324	---	---
Gjennomsnitt ± SD:	0,0342 ± 0,0017	0,31 ± 0,01	0,276 ± 0,006
Kontrollkortverdi:	0,0371 ± 0,0013	0,27 ± 0,06	0,292 ± 0,022

Tabell 4.2: Resultat frå analyse av metylkvikksølvkonsentrasjonen i standard referansemateriale.

Gjennomsnitt av resultatata og standardavvik, samt kontrollkortverdi er vist i tabellen. Måleusikkerheiten for tunfiskstandaren er 10 %, og for fiskeproteinstandaren 25 %.

Parallell	Total Hg (mg/kg)	
	ERM CE 464 Tunfisk	NRC Dorm-3 fiskeprotein
1	5,20	0,343
2	5,18	0,338
3	5,16	0,370
4	5,09	0,409
5	5,08	0,327
6	5,20	0,349
7	5,04	0,354
8	5,11	0,373
9	5,09	---
10	5,10	---
11	5,24	---
Gjennomsnitt ± SD:	5,14 ± 0,06	0,358 ± 0,026
Kontrollkortverdi:	5,12 ± 0,16	0,355 ± 0,056

4.2 Fysiske og biologiske parametrar av brosmme

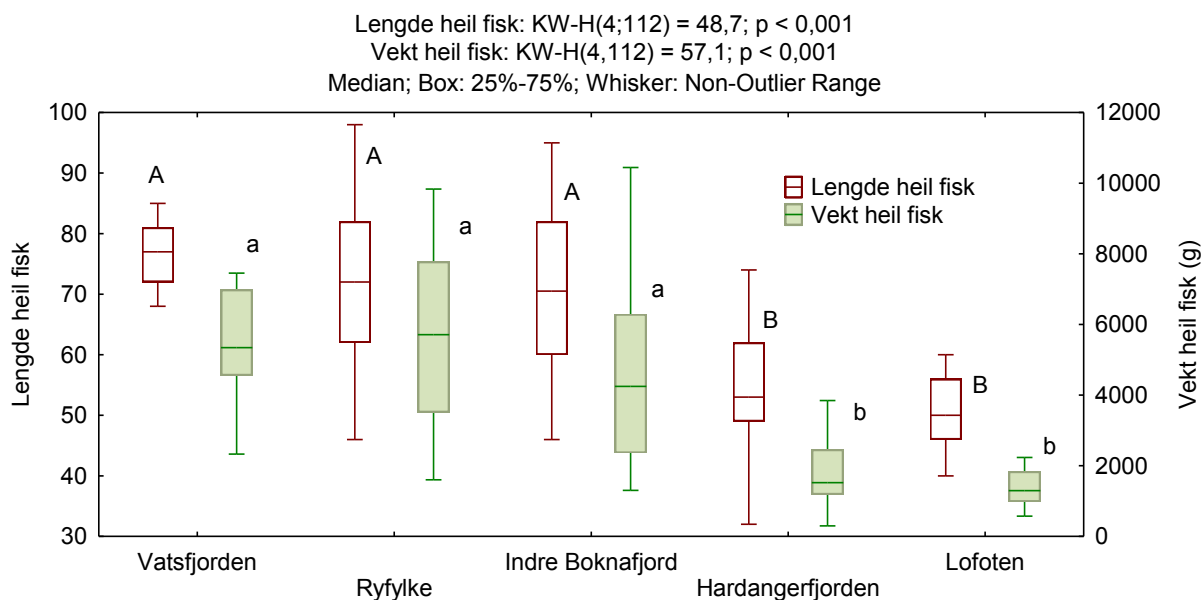
Gjennomsnittslengde og vekt til brosmene som blei fanga var 64 cm og 3,6 kg (tabell 4.3). Det var stor variasjon i størrelsen til brosmene. Den minste brosma var 32 cm og 0,30 kg, og den største var 98 cm og 10 kg. Brosmene som blei fanga i Vatsfjorden hadde ei gjennomsnittslengde på 75 cm, og brosmene frå Ryfylke hadde ei gjennomsnittsvekt på 5,5 kg. Dette var den største gjennomsnittslengda og den største gjennomsnittsvekta som blei observert. Dei minste brosmene kom frå Lofoten, og hadde ei gjennomsnittslengde på 51 cm og ei gjennomsnittsvekt på 1,5 kg. Brosmene frå Boknafjordlokalitetane (Vatsfjorden, Ryfylke og indre Boknafjord) var signifikant lengre og tyngre enn brosmene som var fanga i Hardangerfjorden og Lofoten (figur 4.1). Lengdene og vektene til brosmene frå Boknafjordlokalitetane var ikkje signifikant forskjellige frå kvarandre, og lengdene og vektene til brosmene frå Hardangerfjorden og Lofoten var heller ikkje signifikant forskjellige. Vekta til brosmene auka med lengda (figur 4.2), og viste ein stor signifikant positiv korrelasjon ($r = 0,96$ og $p < 0,0001$). Vekta aukar langsamt i starten, men ved ei lengde på rundt 70 cm auka vekta relativt fort.

Hannane var i snitt 2 cm lengre og 0,5 kg tyngre enn hoene (vedlegg 8.1, tabell 8.1). Den minste forskjellen mellom kjønn blei funne i Hardangerfjorden, kor hannane i snitt var 1 cm lenger og 5 g lettare enn hoene. Den største forskjellen mellom brosmer av ulikt kjønn blei funne i Ryfylke, kor hannane i snitt var 8 cm lenger og 2,2 kg tyngre. Det var berre signifikante forskjellar i lengde mellom brosmer av ulikt kjønn i Lofoten, mens brosmene av ulikt kjønn frå Ryfylke og Lofoten hadde signifikante forskjellar i vekt. Det var ingen signifikante forskjellar mellom kjønn i størrelse ved dei andre lokalitetane.

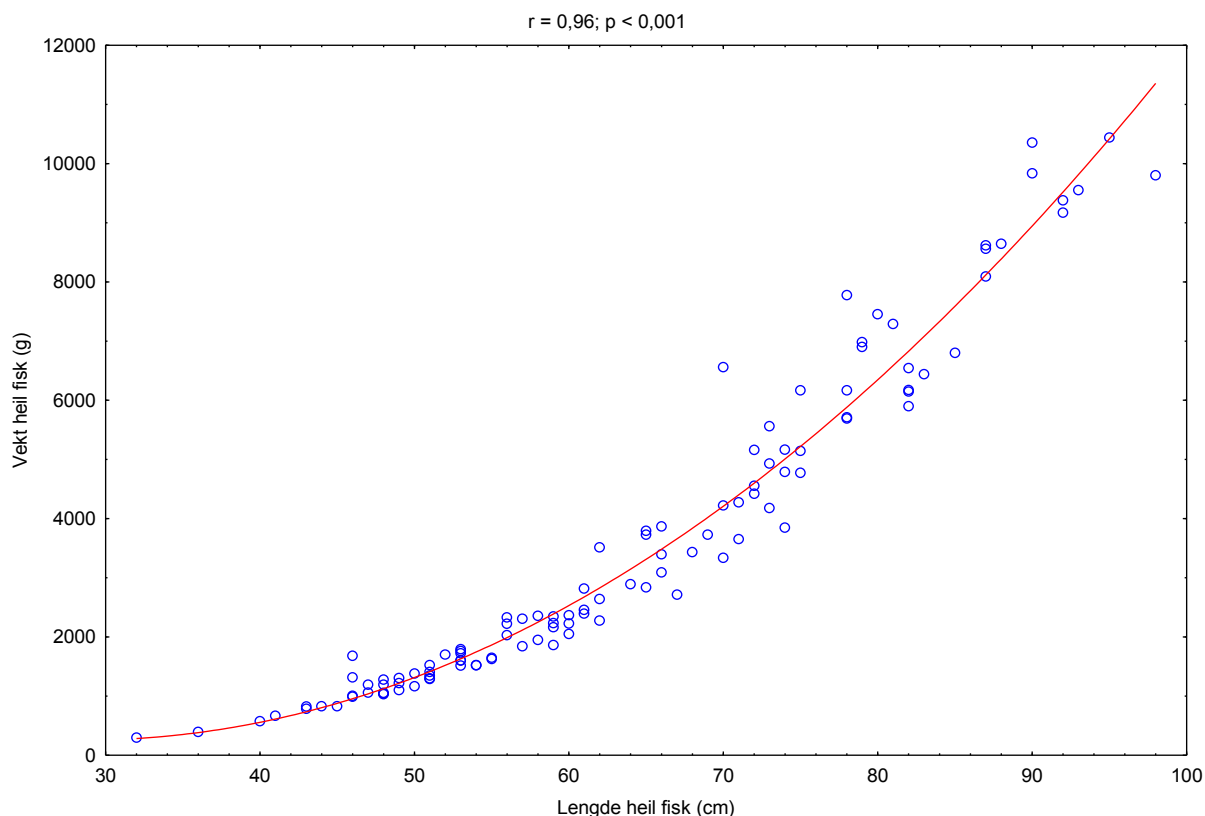
Tabell 4.3: Fysiske og biologiske parametrar for brosme frå fem ulike lokalitetar og totalt. Lengde, vekt, levervekt, hepatomatisk indeks (HSI) og kondisjonsfaktor ($\frac{vekt}{lengde^3} \times 100$) for brosmar frå forskjellige lokalitetar og fordelinga mellom kjønna er vist i tabellen. Standardavvik, minimums og maksimums verdiane er gitt for lengde, vekt, levervekt, HSI og kondisjonsfaktor.

Lokalitet	N	Lengde (cm) \pm SD (min-max)	Vekt (g) \pm SD (min-max)	Lever vekt (g) \pm SD (min-max) *	HSI \pm SD (min-max)	Kondisjonsfaktor (g/cm ³) \pm SD (min-max)	Kjønn han/ho (% hannar)
Vatsfjorden	10	75 \pm 8 (56-85)	5400 \pm 1700 (2331-7455)	175 \pm 98 (52,4-298,2)	3,28 \pm 1,55 (0,70-5,86)	1,24 \pm 0,14 (1,07-1,46)	5/5 (50%)
Ryfylke	23	73 \pm 14 (46-98)	5500 \pm 2700 (1600-9833)	208 \pm 130 (39,4-464,4)	4,06 \pm 2,63 (1,45-13,8)	1,31 \pm 0,22 (1,02-1,91)	11/12 (49%)
Indre Boknafjord	28	71 \pm 13 (46-95)	4800 \pm 2700 (1304-10442)	194 \pm 180 (4,6-638,8)	3,68 \pm 1,75 (0,35-7,23)	1,20 \pm 0,13 (0,903-1,43)	10/18 (36%)
Hardangerfjorden	26	56 \pm 12 (32-87)	2100 \pm 1600 (297-8093)	83 \pm 120 (1,9-599,1)	3,14 \pm 1,55 (0,62-7,40)	1,03 \pm 0,10 (0,849-1,27)	20/6 (77%)
Lofoten	25	51 \pm 7 (40-73)	1500 \pm 760 (575-4180)	52 \pm 37 (12,0-152,4)	3,21 \pm 1,03 (1,81-5,33)	1,03 \pm 0,08 (0,898-1,18)	13/12 (52%)
Alle lokalitetar	112	64 \pm 15 (32-98)	3600 \pm 2700 (297-10442)	136 \pm 140 (1,9-636,8)	3,48 \pm 1,76 (0,35-13,8)	1,15 \pm 0,18 (0,849-1,91)	59/53 (53%)

*5 levervekter har av ulike grunnar ikkje blitt notert ned.



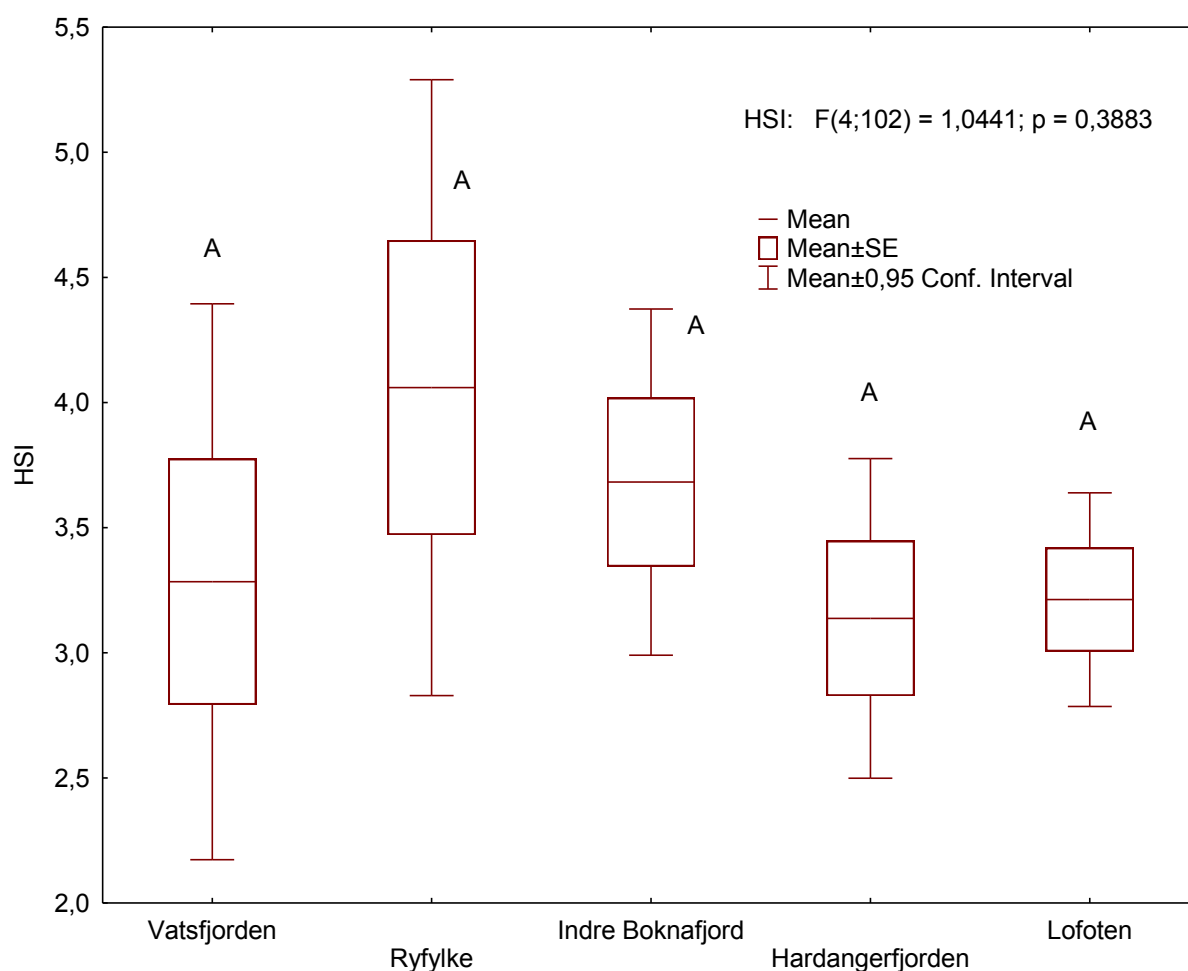
Figur 4.1: Figuren samanliknar lengde og vekt av brosmene frå dei ulike lokalitetane. Dataa er presentert som eit boksplott, der median, 25% og 75% prosentilane og uteliggjargrensa er gitt. Lokalitetar som ikkje er markert med same bokstav er signifikant forskjellige. Resultata frå Kruskal Wallis er vist.



Figur 4.2: Lengda av heil fisk (cm) plotta mot vekt av heil fisk (g) for alle lokalitetane totalt. Resultatet av lineær korrelasjon er vist.

Gjennomsnittsvakta til brosmelevrane var 136 g (tabell 4.3). Det var stor variasjon i levervektene, den lettaste levra vog 1,9 g, og den tyngste vog 637 g. Levrane reflekterte størrelsen til fiskane, og det er derfor meir interessant å studere den hepatosomatiske indeksen (HSI). Brosmene hadde ein gjennomsnittleg HSI på 3,48 (tabell 4.3). Variasjonen i HSI mellom brosmene var stor, den lågaste HSI som blei observert var 0,35 og største var 13,8. Brosmene med lågast gjennomsnittleg HSI kom frå Hardangerfjorden, og hadde ei gjennomsnittleg ein HSI på 3,14. I Ryfylke hadde brosmene høgast gjennomsnittleg HSI, og denne låg på 4,06. Det var ingen signifikante forskjellar i HSI mellom brosmene frå dei ulike lokalitetane (figur 4.3). For brosmene frå Indre Boknafjord, Hardangerfjorden og Lofoten var HSI signifikant positivt korrelert med lengda til brosmene (figur 4.4), mens det ikkje var noko samanheng med størelse i Vatsfjorden og Ryfylke.

Hoene hadde ein gjennomsnittleg HSI som var større enn hannane (vedlegg 8.1, tabell 8.1). Den gjennomsnittlege HSI var høvesvis for hannkjønn og hokjønn, 3,23 og 3,76. Hoene hadde høgast HSI ved alle lokalitetane bortsett frå ved Lofoten. Det var lågast differanse i gjennomsnittleg HSI mellom kjønn i Hardangerfjorden, kor hannane og hoene hadde gjennomsnittlege HSI på høvesvis 3,02 og 3,48. Den største forskjellen i HSI mellom kjønn blei funne i Ryfylke, kor hannane og hoene hadde HSI-verdiar på høvesvis 3,39 og 4,73. Det blei ikkje funne nokon signifikante forskjellar i HSI mellom kjønn.



Figur 4.3: Figuren samanliknar HSI til brosmene frå dei ulike lokalitetane. Dataa er presentert som eit boksplokk, der gjennomsnitt, gjennomsnitt ± standardfeil og konfidens intervall er gitt. Lokalitetar som ikkje er markert med same bokstav er signifikant forskjellige. Resultata frå einvegs variansanalyse er vist.

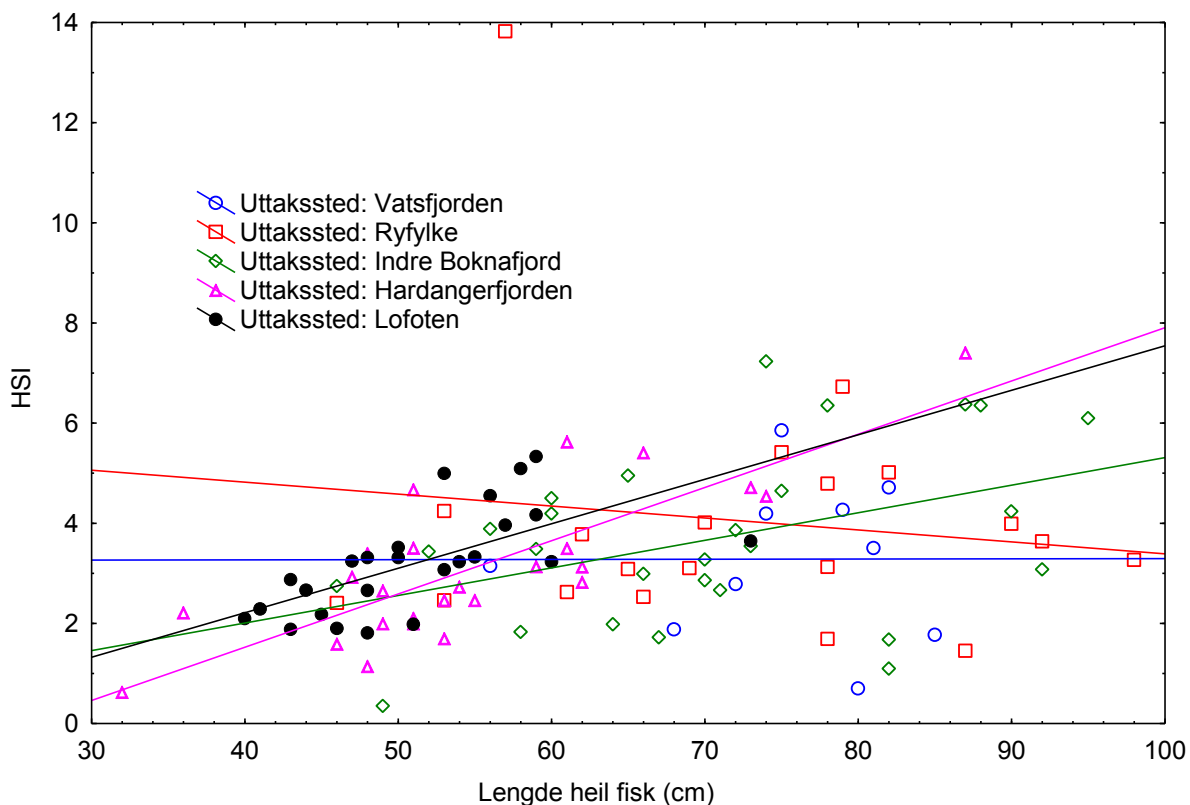
Vatsfjorden: $y = 3,25 + 0,0004x$; $r = 0,0023$; $p > 0,05$; $r^2 = 0,00$

Ryfylke: $y = 5,78 - 0,024x$; $r = -0,13$; $p > 0,05$; $r^2 = 0,017$

Indre Boknafjord: $y = -0,19 + 0,055x$; $r = 0,42$; $p < 0,05$; $r^2 = 0,18$

Hardangerfjorden: $y = -2,73 + 0,11x$; $r = 0,81$; $p < 0,001$; $r^2 = 0,65$

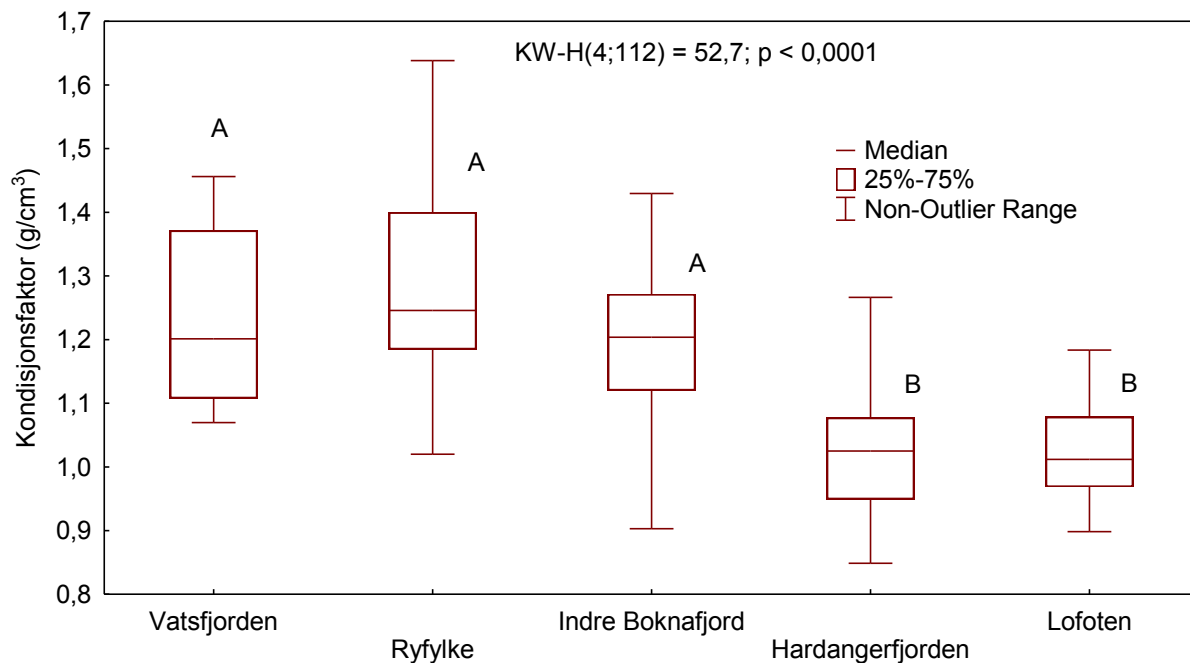
Lofoten: $y = -1,34 + 0,089x$; $r = 0,64$; $p < 0,001$; $r^2 = 0,41$



Figur 4.4: Hepatosomatisk indeks (HSI) plotta mot lengda (cm) til brosmene ved dei forskjellige lokalitetane. Resultatet av lineær korrelasjon er vist.

Den gjennomsnittlege kondisjonsfaktoren til brosmene var $1,15 \text{ g/cm}^3$ (tabell 4.3). Den lågaste verdien som blei observert var $0,898 \text{ g/cm}^3$, og den største var $1,91 \text{ g/cm}^3$. Brosmene som blei fanga i Lofoten og Hardangerfjorden hadde begge ein gjennomsnittleg kondisjonsfaktor på $1,03 \text{ g/cm}^3$, som var den lågaste som blei observert. Den gjennomsnittlege kondisjonsfaktoren til brosmene frå Ryfylke var $1,31 \text{ g/cm}^3$, og dette var den høgaste gjennomsnittlege kondisjonsfaktoren av alle lokalitetane. Kondisjonsfaktoren til brosmene frå Boknafjordlokalitetane var signifikant høgare enn kondisjonsfaktoren til brosmene frå Hardangerfjorden og Lofoten (figur 4.5).

Det var liten forskjellen i kondisjonsfaktorar mellom kjønna. I snitt hadde hannane og hoene ein gjennomsnittleg kondisjonsfaktor på høvesvis 1,13 og 1,15 g/cm³(vedlegg 8.1, tabell 8.1).



Figur 4.5: Figuren samanliknar kondisjonsfaktoren til brosmene frå dei ulike lokalitetane. Dataa er presentert som eit boksplott, der median, 25%-75% prosentilane og uteliggjargrensa er gitt. Lokalitetar som ikkje er markert med same bokstav er signifikant forskjellige. Resultata frå Kruskal Wallis er vist.

Kjønnsfordelinga til brosmene i denne oppgåva var 53% hannar, og dei fleste lokalitetane hadde ei kjønnsfordeling som låg rundt 50% av kvart kjønn (tabell 4.3). I Indre Boknafjord var likevel 10 av 28 brosmar (36%) hannkjønn, og i Hardangerfjorden var 20 av 26 brosmar (77%) hannkjønn.

4.3 Konsentrasjon av totalkvikksølv i filet og lever av brosme

Brosmene hadde ein gjennomsnittskonsentrasjon av totalkvikksølv i fileten på 0,47 mg/kg våtvekt (vv) (tabell 4.4), med variasjon frå 0,098 til 1,6 mg/kg vv. Brosma med lågast totalkvikksølvkonsentrasjon i filet, blei fanga ved Lofoten, og brosma med den høgaste totalkvikksølvkonsentrasjonen blei fanga i Hardangerfjorden. Den gjennomsnittlege totalkvikksølvkonsentrasjonen i filet frå Lofoten, var på 0,18 mg/kg, medan brosmene frå Hardangerfjorden hadde totalkvikksølvkonsentrasjonar på 0,63 mg/kg i fileten. Brosmene frå Boknafjordlokalitetane hadde gjennomsnittlege konsentrasjonar som låg mellom desse. Brosmene frå Lofoten hadde signifikant lågare totalkvikksølvkonsentrasjonar i filet enn alle dei andre lokalitetane (figur 4.6), elles var det ingen signifikante forskjellar i totalkvikksølvkonsentrasjonane. Det var generelt sett ikkje nokon forskjell mellom kjønna på totalkvikksølvkonsentrasjon i filet, og den gjennomsnittlege kvikksølvkonsentrasjonen var 0,47 mg/kg for begge kjønn (vedlegg 8.1, tabell 8.2). For brosmene frå Vatsfjorden var det likevel ein vis forskjell mellom kjønna, og hannane og hoene hadde i snitt kvikksølvkonsentrasjonar i filet på høvesvis 0,31 og 0,48 mg/kg. Det var likevel ingen signifikante forskjellar i totalkvikksølvkonsentrasjonen mellom kjønna.

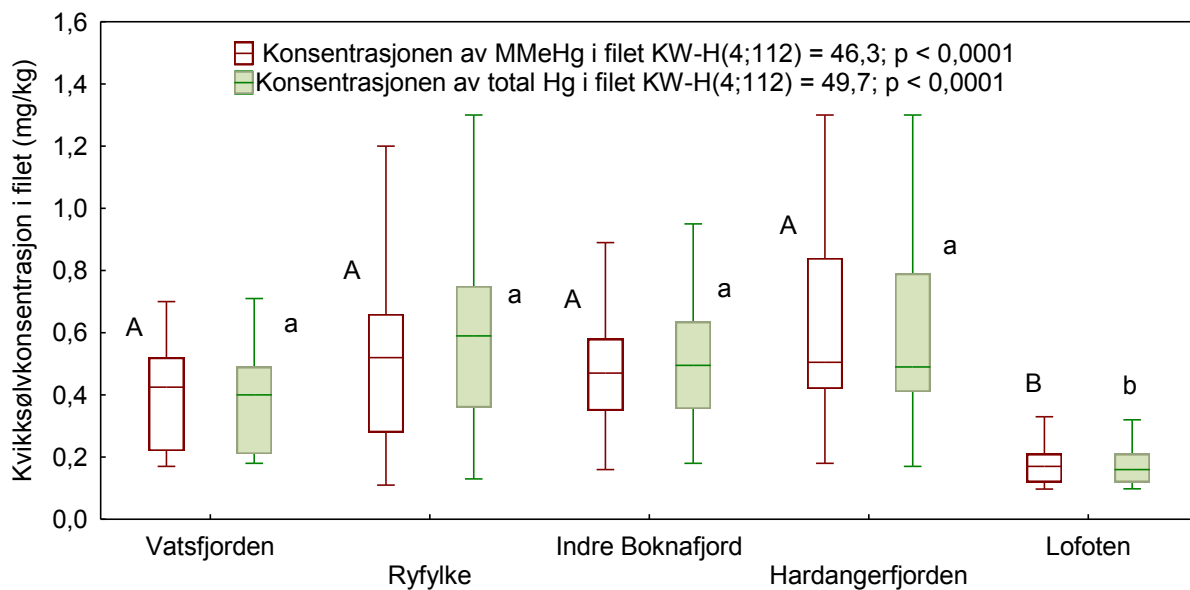
Av 112 brosmer som blei analyserte for totalkvikksølv i filet, hadde 40 (36%) ein konsentrasjon over EU og Noreg si øvre grense på 0,50 mg/kg vv for kvikksølv som gjeld for totalkvikksølv i fiskefilet til humant konsum (tabell 4.4). Lofoten var den einaste av lokalitetane der ingen brosmer hadde kvikksølvkonsentrasjon over grenseverdien. I Ryfylke hadde 14 av 23 brosmer kvikksølvkonsentrasjonar over 0,50 mg/kg, noko som tilsvara 61% av alle brosmene, og dette var den lokaliteten kor flest brosmer oversteig grenseverdien.

Tabell 4.4: Totalkvikksølvkonsentrasjonar i våt vekt for totalkvikksølv og metylkvikksølv i filet og lever av brosme, frå fem ulike lokalitetar og totalt. Totalkvikksølv konsentrasjon i lever og filet (mg/kg våtvekt), samt lever-muskel indeks ($\frac{\text{Total Hg i lever}}{\text{Total Hg i filet}}$) med \pm standardavvik for kvar lokalitet. Minste og største verdi for kvar lokalitet er oppgitt i parantes. Antall brosmar som har ein totalkvikksølvkonsentrasjon over EU si grense på 0,5 mg/kg i fileten er ført opp.

Lokalitet	n	Gjennomsnittleg total-Hg konsentrasjon (mg/kg vv) \pm SD, (min-max)		Total Hg Lever-muskel indeks \pm SD (min-max)	Antall brosmar med Hg konsentrasjon over 0,5 mg/kg i fileten.
		Filet	Lever		
Vatsfjorden	10	0,40 \pm 0,17 (0,18-0,71)	0,21 \pm 0,18 (0,057-0,58)	0,50 \pm 0,24 (0,22-0,86)	2 (20%)
Ryfylke	23	0,60 \pm 0,29 (0,13-1,3)	0,55 \pm 0,58 (0,038-2,2)	0,78 \pm 0,50 (0,24-2,2)	14 (61%)
Indre Boknafjord	28*	0,52 \pm 0,23 ⁺ (0,18-1,2)	0,50 \pm 0,50 (0,11-2,3)	0,81 \pm 0,43 (0,30-1,9)	14 (50%)
Hardangerfjorden	26	0,63 \pm 0,38 (0,17-1,6)	1,0 \pm 1,3 (0,13-5,2)	1,4 \pm 1,0 (0,51-4,7)	10 (39%)
Lofoten	25	0,18 \pm 0,07 (0,098-0,39)	0,10 \pm 0,05 (0,051-0,25)	0,58 \pm 0,18 (0,38-1,1)	0 (0%)
Alle lokalitetane	112	0,47 \pm 0,31 (0,098-1,6)	0,52 \pm 0,78 (0,038-5,2)	0,86 \pm 0,64 (0,22-4,7)	40 (36%)

(*) Berre 26 levrar frå indre Boknafjord blei analyserte. Dette kjem av at ei av levrane var for lita, og i ei brosme blei det ikkje funne lever.

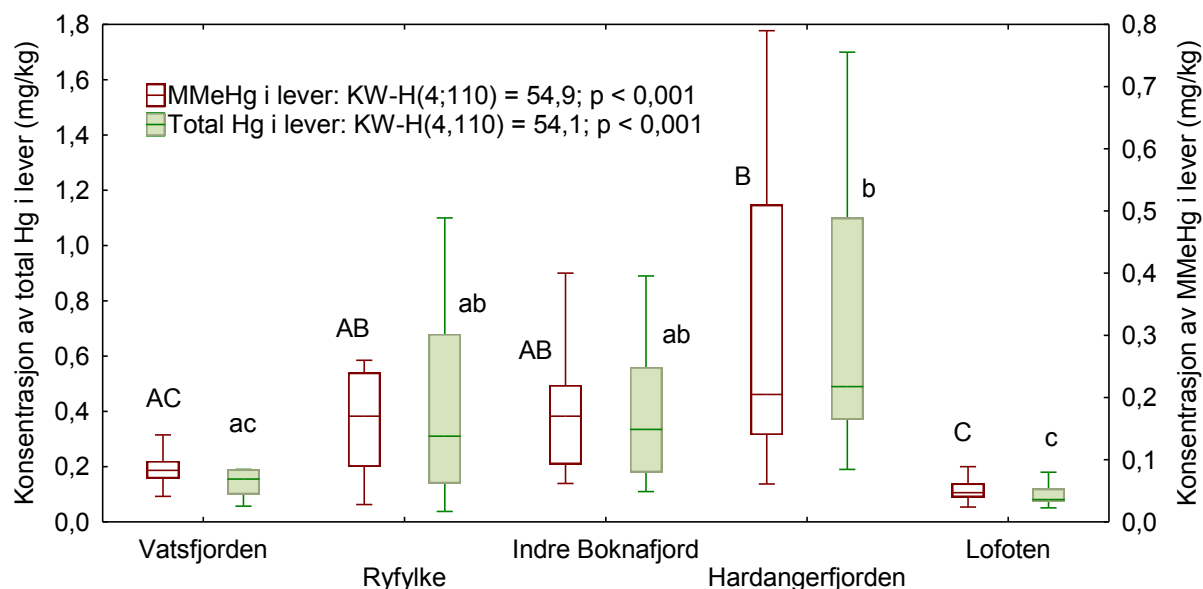
(⁺) Totalkvikksølvkonsentrasjonen som blei funne for ei av brosmene frå Indre Boknafjord var utanfor måleusikkerheitsområde og derfor blei fjerna.



Figur 4.6: Figuren samanliknar konsentrasjonane av totalkvikksølv og metylkvikksølv i filet av brosme frå dei ulike lokalitetane. Dataa er presentert som eit boksploott, der median, 25%-75% prosentilane og uteliggjargrensa er gitt. Lokalitetar som ikkje er markert med same bokstav er signifikant forskjellige. Resultat frå Kruskal Wallis er vist.

Den gjennomsnittlege totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever var $0,52 \pm 0,78$ mg/kg (tabell 4.4), med store variasjonar. Brosma med lågast totalkvikksølvkonsentrasjon i levra, blei fanga i Ryfylke, og hadde ein konsentrasjon på 0,038 mg/kg. Den høgaste totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever blei målt i ei brosme frå Hardangerfjorden, og var heile 5,2 mg/kg. Brosmene frå Lofoten hadde lågast gjennomsnittleg totalkvikksølvkonsentrasjon i lever av alle lokalitetane, og hadde ein gjennomsnittskonsentrasjon på 0,10 mg/kg. Den gjennomsnittlege totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever av brosme frå Hardangerfjorden var 1,0 mg/kg, noko som var den høgaste av alle lokalitetane. Medianen til brosmene frå Hardangerfjorden var likevel ikkje høgare enn 0,49 mg/kg. Brosmene frå Hardangerfjorden hadde totalkvikksølvkonsentrasjonar i lever som var signifikant høgare enn dei frå både Vatsfjorden og Lofoten (figur 4.7). Brosmene frå Boknafjordlokalitetane hadde signifikant høgare kvikksølvkonsentrasjonar enn brosmene frå Lofoten. Brosmer av hokjønn hadde generelt høgare totalkvikksølvkonsentrasjon i lever enn hannar, og spreinga var større for hoene. I

snitt hadde hoene og hannane totalkvikksølvkonsentrasjonar i lever som var høvesvis $0,59 \pm 0,92$ og $0,45 \pm 0,63$ mg/kg (vedlegg 8.1, tabell 8.2). I Vatsfjorden var kvikksølvkonsentrasjonane i lever mest like, og hannane og hoene hadde konsentrasjonar på høvesvis $0,14 \pm 0,05$ og $0,29 \pm 0,23$ mg/kg. Brosmene frå Hardangerfjorden hadde den største forskjellen mellom kjønna i kvikksølvkonsentrasjon i lever, og hannane og hoene hadde konsentrasjonar på høvesvis $0,84 \pm 0,90$ og $1,67 \pm 2,10$ mg/kg. Den einaste lokaliteten kor det ikkje var nokon spesielt stor forskjell i kvikksølvkonsentrasjonen i lever mellom kjønna var i Lofoten, kor hoene berre hadde ein kvikksølvkonsentrasjon i lever som var $0,02$ mg/kg høgare enn for hankjønn. Det var ingen signifikante forskjellar mellom kjønna i totalkvikksølvkonsentrasjon i lever. Det blei vist at HSI ikkje var korrelert med totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever (vedlegg 8.5, figur 8.1).

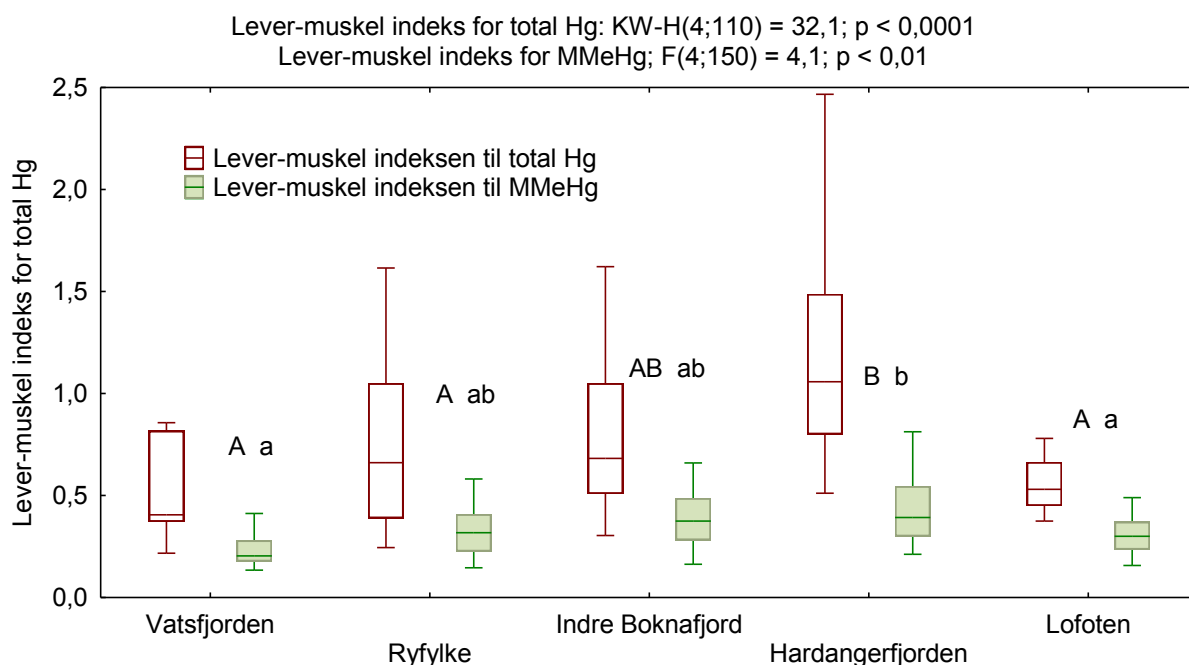


Figur 4.7: Figuren samanliknar konsentrasjonane av totalkvikksølv og metylkvikksølv i lever av brosme frå dei ulike lokalitetane. Dataa er presentert som eit boksplott, der median, 25%-75% prosentilane og uteliggjargrensa er gitt. Lokalitetar som ikkje er markert med same bokstav er signifikant forskjellige. Resultata frå Kruskal Wallis er gitt.

Brosmene hadde i gjennomsnitt ein lever-muskel indeks for totalkvikksølv på $0,87$, men det var stor variasjon. Den lågaste lever-muskel indeksen blei funne i ei brosme frå Vatsfjorden, og låg på $0,22$ (tabell 4.4). Brosma med den høgaste lever-muskel

indeksen kom frå Hardangerfjorden, og låg på 4,7. I dei fleste lokalitetane var totalkvikksølvkonsentrasjonen i filet høgare enn i lever, men i Hardangerfjorden var konsentrasjonen i lever høgare enn i filet. I Hardangerfjorden var den gjennomsnittlege lever-muskel indeksen til brosmene lik 1,4, og dette var den høgaste gjennomsnittlege lever-muskel indeksen av alle lokalitetane. Ved dei andre lokalitetane varierte den gjennomsnittlege lever-muskel indeksen mellom 0,50 og 0,81. Vatsfjorden var den lokaliteten kor brosmene i gjennomsnitt hadde lågast lever-muskel indeks, og utanom broamene frå Hardangerfjorden, var Indre Boknafjord den lokaliteten kor brosmene hadde høgast lever-muskel indeks. Brosmene frå Hardangerfjorden hadde signifikant høgare lever-muskel indeksar enn brosmene frå Vatsfjorden, Ryfylke og Lofoten (figur 4.8). Brosmene av hokjønn hadde generelt høgare lever-muskel indeks enn brosmene av hannkjønn (vedlegg 8.1, tabell 8.3).

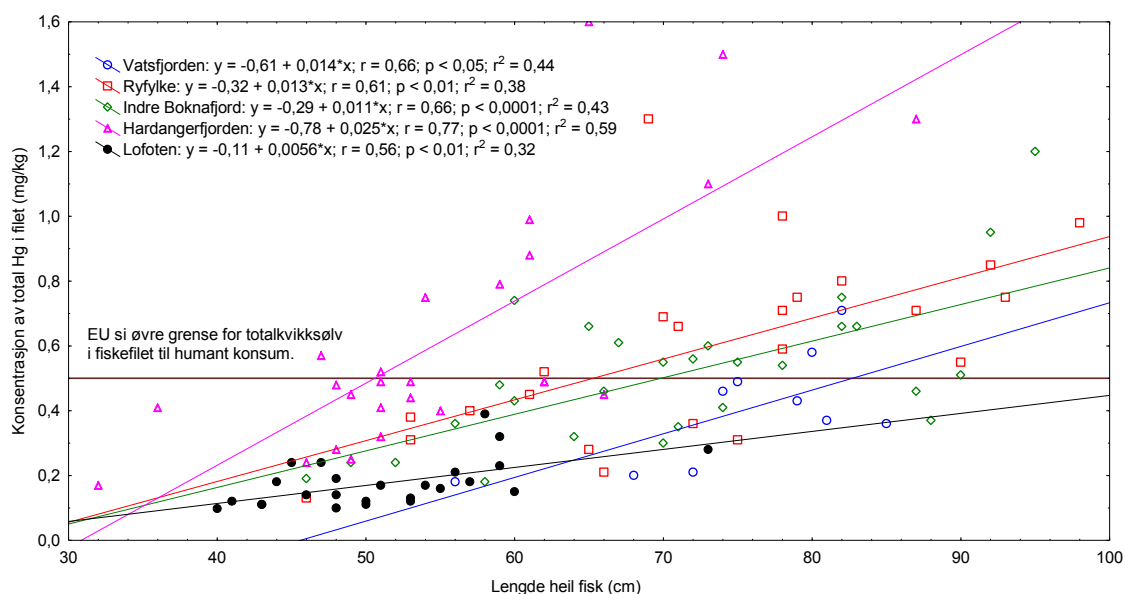
I Vatsfjorden var forskjellen mellom kjønnna minst, og indeksane til hannane og hoene var høvesvis $0,47 \pm 0,22$ og $0,53 \pm 0,28$. Den største forskjellen i lever-muskel indeks mellom kjønnna blei funne i Hardangerfjorden, kor hannane og hoene hadde indeksar på høvesvis $1,19 \pm 0,46$ og $1,97 \pm 1,79$.



Figur 4.8: Figuren samanliknar lever-muskel indeksane for totalkvikksølv og metylkvikksølv i brosmene frå dei ulike lokalitetane. Dataa er presentert som eit boksplott, der median, 25%-75% prosentilane og uteliggjargrensa er gitt. Lokalitetar som ikkje er markert med same bokstav er signifikant forskjellige. Resultata frå Kruskal Wallis vist for lever-

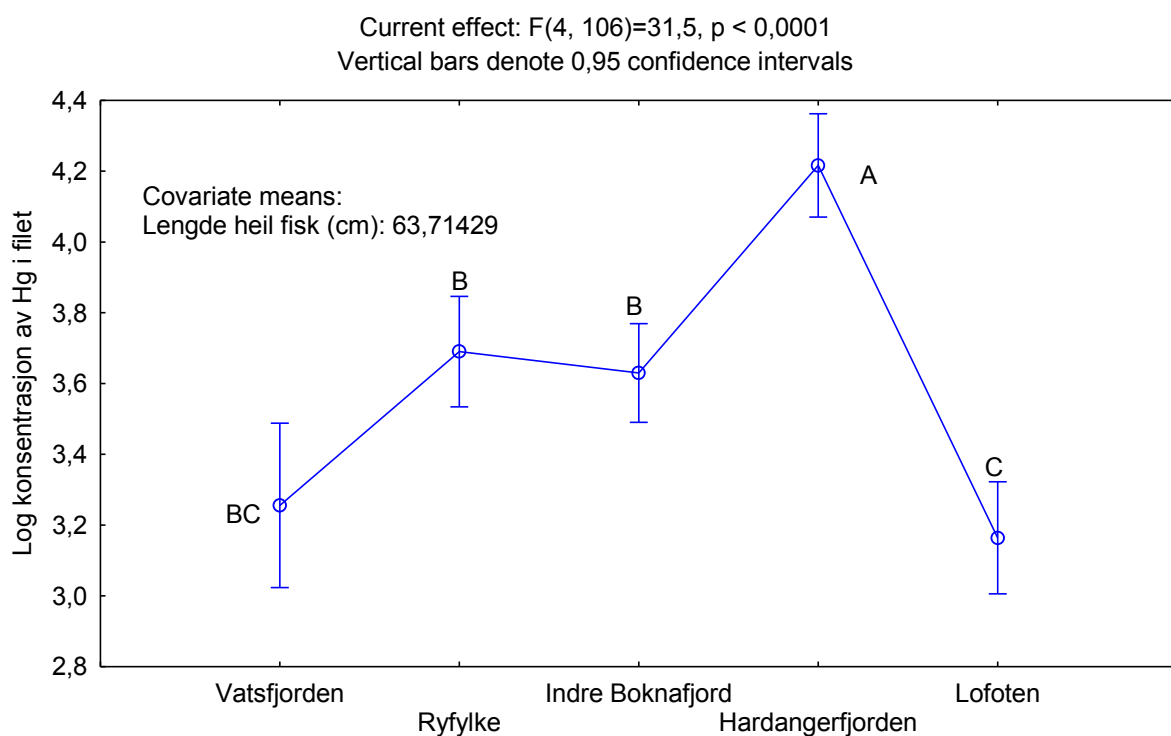
muskelindeksen for totalkvikksølv, og resultatata av einvegs variansanalyse er vist for lever-muskelindeksen for metylkvikksølv.

Den totale kvikksølvkonsentrasjon i filet var signifikant positivt korrelert med lengda til brosma (figur 4.9), noko som betyr at ein del av variasjonen i totalkvikksølvkonsentrasjon i filet skuldast fiskens lengde og størrelse. Brosmene frå Lofoten viste svakast korrelasjon mellom lengde og totalkvikksølvkonsentrasjon i filet ($r = 0,56$ og $p < 0,01$), og brosmene frå Hardangerfjorden var sterkast korrelert ($r = 0,77$ og $p < 0,001$). Alle regresjonslinjene kryssa kvarandre omtrent ved det same punktet ($x = 30$), bortsett frå kurva til Vatsfjorden som kryssa x-aksen omtrent ved $x = 46$. Hardangerfjorden hadde den høgaste stigningskoeffisienten på 0,025, og dermed den sterkaste aukinga i totalkvikksølvkonsentrasjon med aukande lengde. Figur 4.9 viser dessutan at brosmene frå Hardangerfjorden hadde dei høgaste kvikksølvkonsentrasjonane ved alle lengdene. Lofoten hadde den lågaste stigningskoeffisienten, på 0,0056.



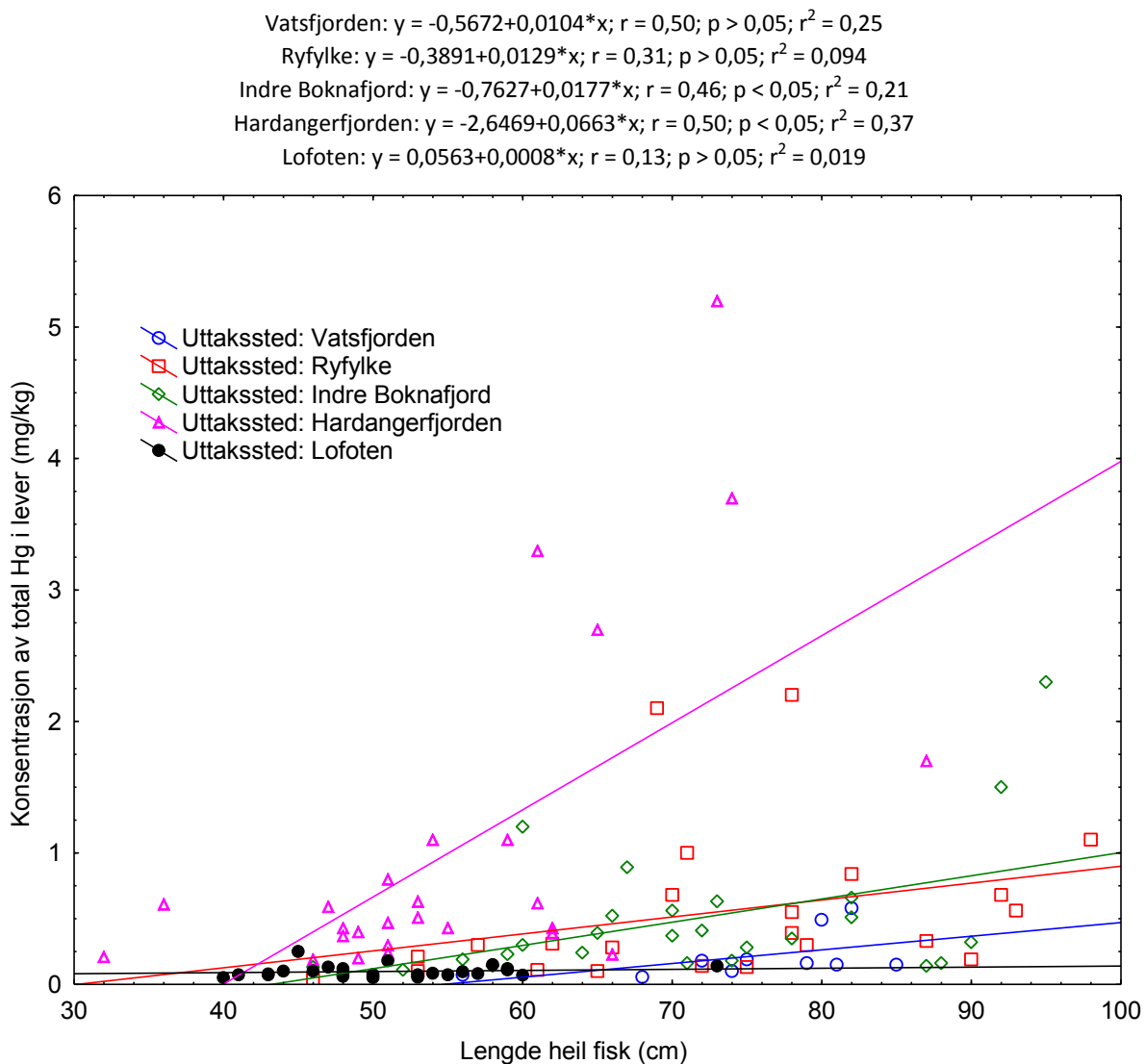
Figur 4.9: Konsentrasjon av totalkvikksølv i filet plotta mot lengda av heil fisk for kvar enkelt lokalitet. EU si grense for kvikksølv i filet på 0,50 mg/kg er markert med ei brun linje. Resultata for lineær korrelasjon er vist.

Ettersom lengda var korrelert med total kvikksølvkonsentrasjonen i filet, blei det utført ein kovariansanalyse (ANCOVA) for den logaritmetransformerte totalkvikksølvkonsentrasjonen i filet med lengde som kovariant. Resultatet av ANCOVA viste at kvikksølvkonsentrasjonane i filet til brosmene frå Hardangerfjorden var signifikant høgare enn konsentrasjonane til brosmene ved alle dei andre lokalitetane (Figur 4.10). Brosmene frå Indre Boknafjord og Ryfylke hadde signifikant høgare totalkvikksølvkonsentrasjonar enn brosmene frå Lofoten.



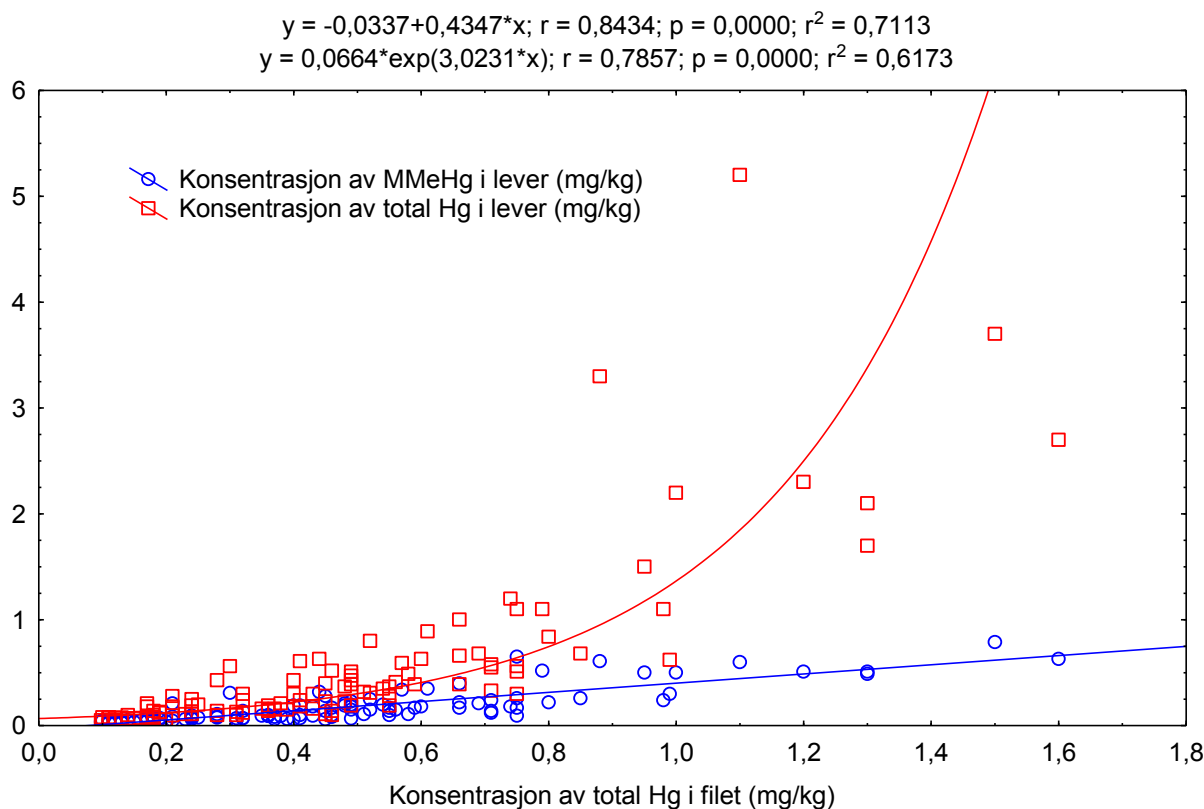
Figur 4.10: Logaritmen til totalkvikksølvkonsentrasjonen i filet ved dei forskjellige lokalitetane, når lengdefaktoren er tatt hensyn til. 95%-konfidensintervall er markert med blå barar. Lokalitetar som ikkje er markert med same bokstav er signifikant forskjellige.

Totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever til brosmene frå Indre Boknafjord og Hardangerfjorden var signifikant positivt korrelert med lengda til brosma, men for dei andre lokalitetane var det ingen signifikant korrelasjon (figur 4.11).



Figur 4.11: Konsentrasjonen av totalkvikksølv i lever (mg/kg) plotta mot lengde av heil fisk (cm). Resultata av lineær korrelasjon er vist.

Konsentrasjonen av totalkvikksølv i lever var tilnærma eksponensielt korrelert med totalkvikksølvkonsentrasjonen i filet (figur 4.13). Korrelasjonen var signifikant og positiv ($r = 0,79$ og $p < 0,001$). Punkta følger kurva godt, men med aukande total kvikksølvkonsentrasjon i filet, aukar spreinga i plottet.



Figur 4.13: Konsentrasjon av totalkvikksølv (raud) og metylkvikksølv (blå) i lever (mg/kg) plotta mot konsentrasjonen av kvikksølv i filet (mg/kg). Resultata av lineær korrelasjon er vist.

4.4 Konsentrasjon av metylkvikksølv i filet og lever av brosme

Metylkvikksølvkonsentrasjonen i filet utgjorde omtrent 100 % av den totale kvikksølvkonsentrasjonen i brosmene, med unntak av i Ryfylke kor metylkvikksølvkonsentrasjonen i snitt 'berre' utgjorde 84 % av totalkvikksølvkonsentrasjonen (tabell 4.5). Dermed varierte metylkvikksølvkonsentrasjonen på same måte som for totalkvikksølvkonsentrasjonen, med signifikant lågare konsentrasjon i Lofoten enn ved dei andre lokalitetane (figur 4.6). I gjennomsnitt utgjorde metylkvikksølv 96 % av total kvikksølvkonsentrasjonen i filet, men nokre enkeltlokalitetar har oppført ein metylkvikksølvandel på over 100%, noko som skuldast måleusikkerheit i begge metodane som blei brukte. Brosma med den lågaste metylkvikksølvandelen i fileten kom frå Ryfylke, og fileten inneheld 62 % metylkvikksølv. Den høgaste andelen av metylkvikksølv kom frå ei brosme som blei fanga i Indre Boknafjord, og inneheldt 160 % metylkvikksølv. Denne brosma var utanfor måleusikkerheita for metodane, og blei derfor fjerna frå resultata ettersom det truleg har skjedd ein feil under analysa.

Brosma med høgast metylkvikksølvandel som var innanfor måleområdet kom frå Vatsfjorden og hadde ein metylkvikksølvandel på 110 %. Brosmene frå Ryfylke hadde som nemnt ein gjennomsnittleg metylkvikksølvkonsentrasjon som utgjorde 84 % av den totale kvikksølvkonsentrasjonen i filet, og dette var den lågaste gjennomsnittlege andelen av alle lokalitetane. Den høgaste andelen metylkvikksølv i fileten hadde brosmene frå Hardangerfjorden, kor metylkvikksølv utgjorde i snitt 104 % av den totale kvikksølvkonsentrasjonen. Brosmer av hannkjønn hadde i snitt ein metylkvikksølvandel i filet som var høgare enn for hoene, men forskjellen var ikkje signifikant.

Tabell 4.5: Metylkvikksølvkonsentrasjon (MMeHg) i lever og filet (mg Hg/kg vv) og prosentvis andel metylkvikksølv i lever og filet (%) samt lever-muskel indeks for metylkvikksølv

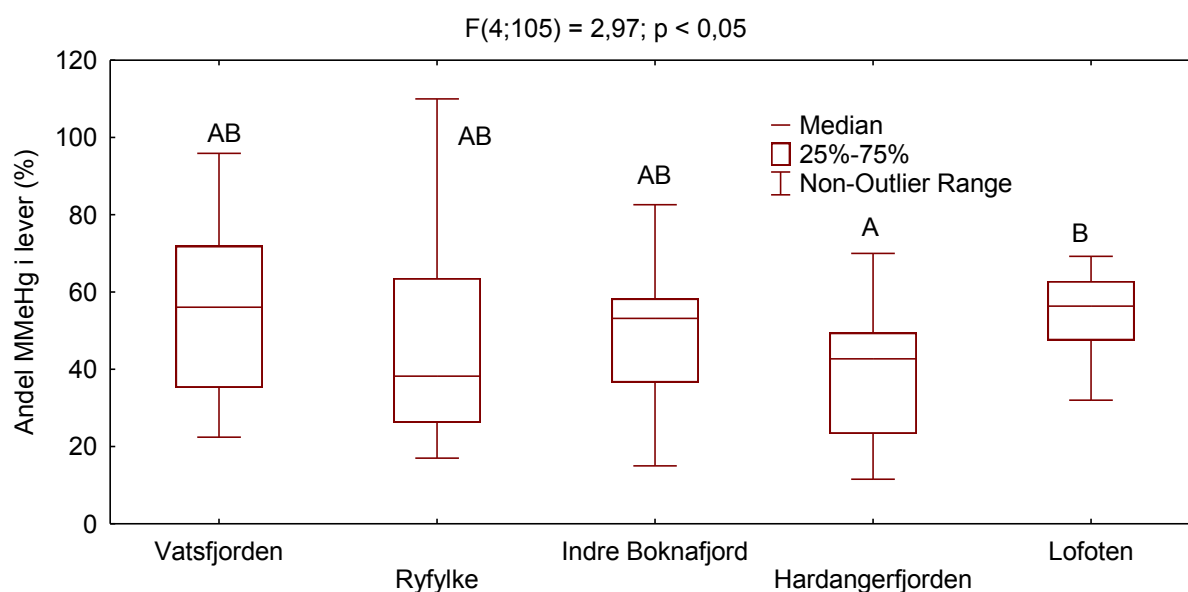
$\left(\frac{\text{Konsentrasjon MMeHg i lever}}{\text{Konsentrasjon MMeHg i filet}}\right)$ for brosme frå fem ulike lokalitetar og totalt. Gjennomsnitt \pm standardavik er vist, og minimums- og maksimumsverdiar er gitt i parantesar.

Lokalitet	n	MMeHg konsentrasjon (mg/kg) \pm SD (min-maks)		Andel MMeHg av total kvikksølv (%) \pm SD (min-maks)		MMeHg Lever-muskel indeks \pm SD (min-maks)
		filet	lever	filet	lever	
Vatsfjorden	10	0,41 \pm 0,18 (0,17-0,70)	0,087 \pm 0,027 (0,040-0,14)	102 \pm 7 (90-110)	56 \pm 24 (22-95)	0,24 \pm 0,09 (0,13-0,41)
Ryfylke	23	0,50 \pm 0,26 (0,11-1,2)	0,17 \pm 0,12 (0,028-0,50)	84 \pm 8 (62-96)	45 \pm 24 (17-110)	0,36 \pm 0,21 (0,15-1,2)
Indre Boknafjord	28*	0,48 \pm 0,21 ⁺ (0,16-1,1)	0,19 \pm 0,13 (0,062-0,51)	93 \pm 13 (80-100)	48 \pm 16 (15-83)	0,37 \pm 0,13 (0,16-0,63)
Hardangerfjorden	26	0,65 \pm 0,39 (0,18-1,7)	0,29 \pm 0,22 (0,061-0,79)	104 \pm 3 (98-110)	39 \pm 16 (12-70)	0,43 \pm 0,16 (0,21-0,81)
Lofoten	25	0,18 \pm 0,08 (0,097-0,40)	0,051 \pm 0,017 (0,024-0,089)	101 \pm 5 (91-110)	54 \pm 11 (32-69)	0,30 \pm 0,09 (0,16-0,49)
Alle lokalitetar	112	0,45 \pm 0,30 (0,097-1,7)	0,17 \pm 0,16 (0,024-0,79)	96 \pm 10 (62-110)	48 \pm 18 (12-110)	0,35 \pm 0,16 (0,13-1,2)

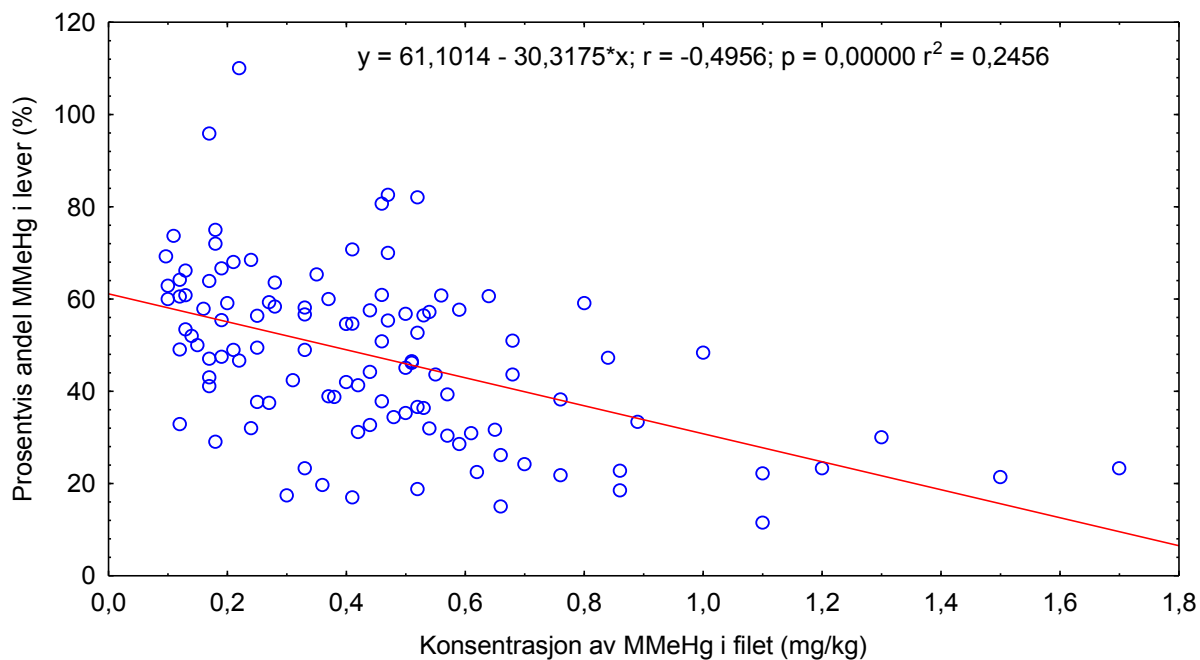
(*) Berre 26 levrar frå indre Boknafjord blei analyserte. Dette kjem av at ei av levrane var for lita, og ei brosme hadde ikkje lever i seg.

(⁺) Totalkvikksølvkonsentrasjonen som blei funne for ei av brosmene frå Indre Boknafjord var utanfor måleusikkerheitsområde og derfor blei fjerna.

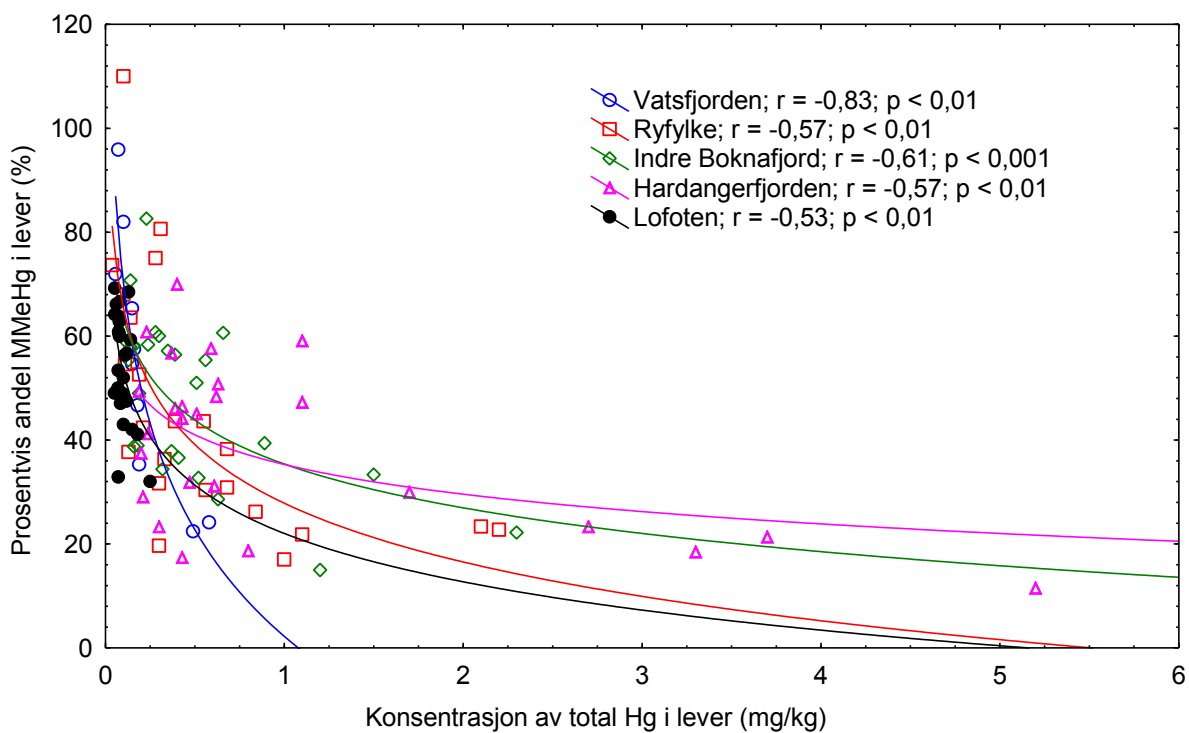
Metylkvikksølvandelen i lever var lågare enn i filet. Metylkvikksølvandelen i lever var i snitt 48 % (tabell 4.5). Brosma med den lågaste andelen metylikvikksølv i lever kom frå Hardangerfjorden, med berre 12 %. Den høgaste andelen metylikvikksølv i lever hadde ei brosmne frå Ryfylke, som inneheldt 110 % metylikvikksølv. Brosmene frå Hardangerfjorden hadde den lågaste gjennomsnittlege metylikvikksølvandelen i lever, med 39 %. I Vatsfjorden hadde brosmene ein gjennomsnittleg metylikvikksølvandel på 56 %, noko som var den høgaste andelen i lever. Metylikvikksølvandelen i lever av brosmne frå Lofoten var signifikant høgare enn andelen i brosmnelever frå Hardangerfjorden (figur 4.14). Andelen metylikvikksølv i lever minka ved aukande kvikksølvinnhald i filet (figur 4.15), det vil seie at brosmmer med høge kvikksølvkonsentrasjonar i fileten hadde ein låg prosentandel metylikvikksølv i lever. Forholdet viste ein signifikant negativ korrelasjon ($r = -0,50$ og $p < 0,001$). Andelen metylikvikksølv i lever minka òg med aukande konsentrasjon av totalkvikksølv i lever (figur 4.16). Alle lokalitetane viser ein signifikant negativ korrelasjon. Brosmene av hannkjønn hadde i snitt 3% meir metylikvikksølv i lever enn hoene (vedlegg 7.5). Det var likevel ingen signifikant forskjell i metylikvikksølvandelen i lever mellom kjønna.



Figur 4.14: Figuren samanliknar andelen metylikvikksølv i lever av brosmene frå dei ulike lokalitetane. Dataa er presentert som eit boksplott, der median, 25% og 75% prosentilane og uteliggjargrensa er gitt. Lokalitetar som ikkje er markert med same bokstav er signifikant forskjellige. Resultata frå einvegs variansanalyse er vist.

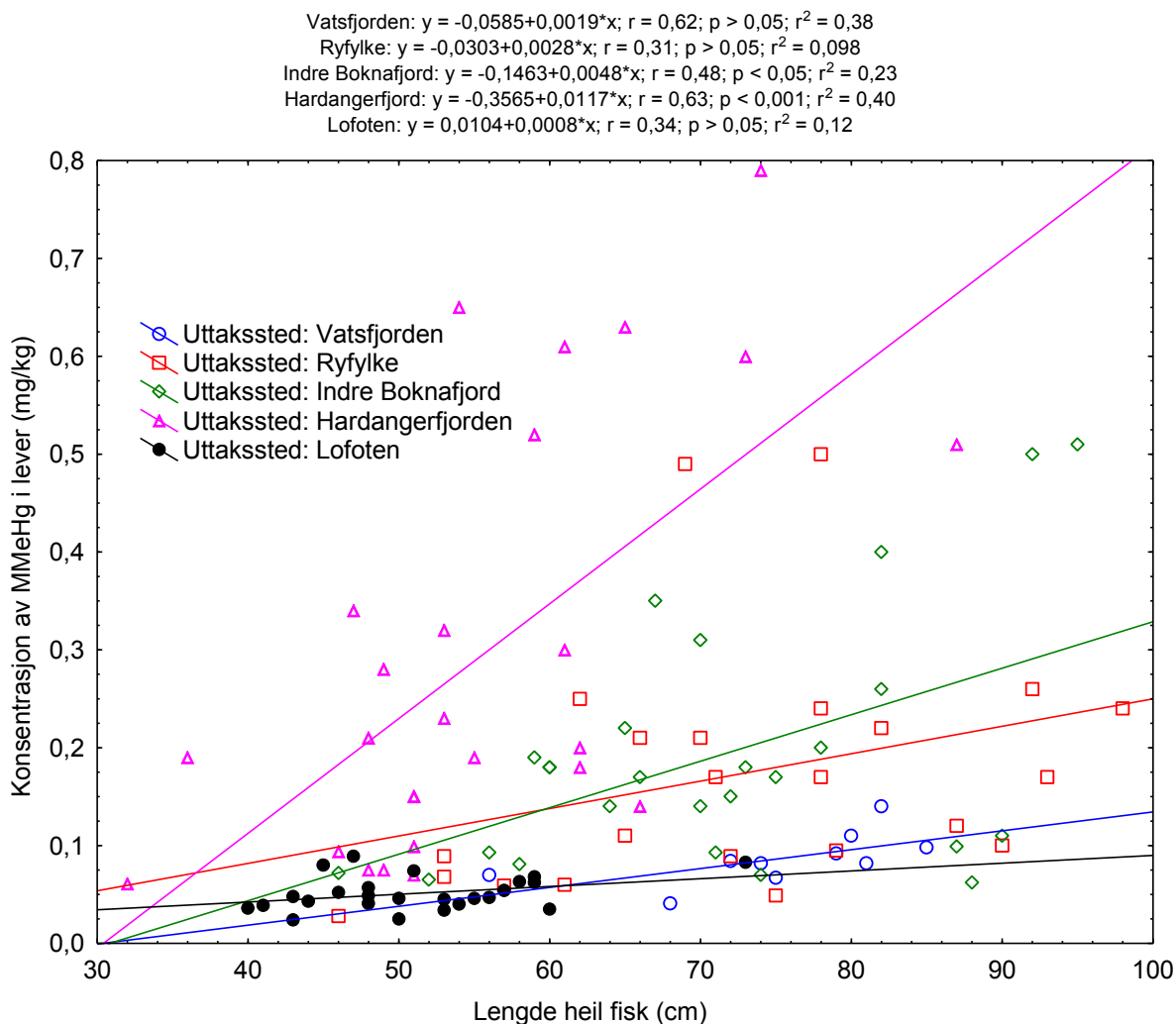


Figur 4.15: Prosentvis andel av metylkvikksølv i lever (%) plotta mot konsentrasjonen av metylkvikksølv i filet (mg/kg). Resultata av lineær korrelasjon er vist.



Figur 4.16: Prosentvis andel av metylkvikksølv i lever (%) plotta mot konsentrasjonen av total kvikksølv i lever for kvar lokalitet. Resultata av lineær korrelasjon er vist.

Gjennomsnittskonsentrasjonen av metylkvikksølv i brosmelever var 0,17 mg/kg (tabell 4.5). Den brosma med lågast metylkvikksølvkonsentrasjon i levra kom frå Lofoten, og hadde ein metylkvikksølvkonsentrasjon på 0,024 mg/kg. Brosma med høgast metylkvikksølvkonsentrasjon kom frå Hardangerfjorden, og hadde ein konsentrasjon på 0,79 mg/kg. Den lågaste gjennomsnittlege metylkvikksølvkonsentrasjonen i lever blei målt i brosmene frå Lofoten, med eit gjennomsnitt på 0,051 mg/kg. Brosmene frå Hardangerfjorden hadde den høgaste metylkvikksølvkonsentrasjonen i levra, med ein gjennomsnittleg metylkvikksølvkonsentrasjon på 0,29 mg/kg. Brosmene frå Ryfylke, Indre Boknafjord og Hardangerfjorden hadde signifikant høgare metylkvikksølvkonsentrasjonar i lever enn brosmene frå Lofoten (figur 4.7). Metylkvikksølvkonsentrasjonane som blei målt i Hardangerfjorden var dessutan signifikant høgare enn konsentrasjonane som blei målte i Vatsfjorden. Metylkvikksølvkonsentrasjonen auka med aukande kvikksølvkonsentrasjon i filet og hadde ein positiv signifikant korrelasjon ($r = 0,84$ og $p < 0,001$) (Figur 4.13). Totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever auka eksponentsielt med aukande konsentrasjon i filet, og totalkvikksølvkonsentrasjonen auka derfor raskare enn metylkvikksølvkonsentrasjonen. Punkta fylgde korreksjonslinja godt, og det var ikkje stor spreiding. Det var ein korrelasjon mellom metylkvikksølvkonsentrasjonen i filet og lengda til brosmene frå Indre Boknafjord og Hardangerfjorden, men ikkje for dei andre lokalitetane (figur 4.17). Brosmene frå Hardangerfjorden hadde høgare metylkvikksølvkonsentrasjonar enn i levra ved alle størrelsar, enn brosmene frå dei andre lokalitetane. Brosmene av forskjellig kjønn hadde i snitt like metylkvikksølvkonsentrasjonar i lever (vedlegg 8.1, tabell 8.2).



Figur 4.17: Konsentrasjon av metylkvikksølv i lever (mg/kg) plotta mot lengda til brosmene (cm). Resultata frå lineær korrelasjon er vist.

Metylkvikksølvkonsentrasjonen i filet var høgare enn i lever ved alle lokalitetane (tabell 4.5). Den gjennomsnittlege lever-muskel indeksen for metylkvikksølv i brosme var 0,35, med ein variasjon frå 0,13 til 1,2. Den største lever-muskel indeksen blei funne i ei brosme frå Ryfylke, og den minste i ei brosme frå Vatsfjorden. Brosmene frå Vatsfjorden hadde den lågaste gjennomsnittlege lever-muskel indeksen av alle lokalitetane med 0,24, mens brosmene frå Hardangerfjorden hadde den høgaste med 0,43. Lever-muskel indeksane for metylkvikksølv i brosme frå Hardangerfjorden var signifikant større enn indeksane frå Vatsfjorden og Lofoten (figur 4.8). Det var ingen kjønnsforskjell i lever-muskel indeksen til metylkvikksølv i lever av brosme (vedlegg 8.1, tabell 8.3).

5. Diskusjon

5.1 Metode

I Boknafjorden blei det tatt prøvar frå tre ulike område: Ryfylke, Indre Boknafjord og Ytre Boknafjord (Ryfylke). Brosmene frå Vatsfjorden blei brukt ved overvakinga i Vatsfjorden i tillegg til denne oppgåva (Frantzen og Måge, 2014). Resultata frå brosmene frå Vatsfjorden skulle i utgangspunktet slås saman med resultata frå brosmene frå Indre Boknafjorden. Det viste seg likevel at det var ein forskjell i kvikksølvkonsentrasjon på brosmes frå desse to lokalitetane, og det blei bestemt at desse lokalitetane skulle holdast fråskilt. Det blei òg fanga brosmes i Hardangerfjorden og i Lofoten. I tidlegare studiar har det blitt målt relativt høge kvikksølvkonsentrasjonar i brosmes frå Hardangerfjorden (Måge et.al 2012; Kvangarsnes et.al, 2012), og i Lofoten har det tidlegare blitt funne relativt låge kvikksølvkonsentrasjonar i brosmes (Beylish og Ruus, 2011). Desse to lokalitetane blei valt for å ha ein lokalitet med antatt låg og høg kvikksølvforureining, slik at brosmene frå Boknafjorden kunne samanliknast med dei.

Brosmene blei fanga på forskjellige årstider, og dette kan ha betydning for resultata. Spesielt resultata for lever kan bli påverka av årstidene, ettersom leverstørrelsen aukar og minkar avhengig av mattilgang og gytesesong. Det er lite truleg at resultata for filet var påverka av kva årstid fiskane blei samla.

Mange brosmes hadde magesekken og levera hengande ut av gapet (figur 5.1). Denne feilkjelda kunne føre til at fileten blei forureina med uorganisk kvikksølv eller andre miljøgifter som ikkje høyrer naturleg til (i store mengder) i filet av brosmes. Dette var noko som gjaldt spesielt dei største brosmene, sidan dette problemet sjeldnare blei observert i små brosmes. Dette kjem truleg av at større brosmes oppheld seg på større djupnar, og trykkforskjellen mellom desse djupa og overflata er så stor at organa blir pressa ut av gapet på fisken. Levera i brosmene bestod av mykje feitt, og dersom det blei holl i levera kunne feittet renne ut over fileten, sjølv utan at levera hang ut av gapet. Det blei i fleire fisk observert korkar i magesekken på fisken. I ei av brosmene blei det ikkje funne noko lever, og denne levera kan ha gått tapt ved at den har falt ut av gapet på brosmes då ho blei fanga. Det var viktig å homogenisere

prøvane, slik at ein ikkje analyserte ein del av prøven med for høg eller for låg kvikksølvkonsentrasjon. Forskjellig utstyr blei brukt for å homogenisere filet og lever. Dette blei gjort for å forhindre forureining mellom filet og lever. Under homogeniseringa blei forskjellige reiskap brukt, blant anna ein food processor og ein slikkepot. Etter kvar homogenisering blei reiskapane skylt med vatn for å hindre forureining mellom prøvane. Under prøveopparbeinga var ikkje vegefeil ei viktig feilkjelde, ettersom vekta av heil fisk og lever var mykje større enn måleusikkerheita til vektene. På laboratoriet derimot var feil i innveid prøve til analyse ei viktig feilkjelde, som kunne føre til feil i resultat. Vektene på laboratoriet blei derfor kalibrert kvar morgon for å unngå veiefeil.



Figur 5.1: Magesekken kom ofte ut av gapet på brosmene, men i dette tilfellet kom den ut av gjellene til brosma.

Standardkurva, prøveblank og standard referansemateriale (SRM) blei sjekka før kvar analyse. SRM-prøvane er prøvar som har blitt analysert mange gonger ved forskjellige laboratorier, og fått ein offisiell 'sann' verdi. Dersom ein fekk riktige resultat for SRM, så var sannsynlegvis dei andre prøvane òg riktige. SRM-prøvane

blei brukte til å teste treffsikkerheita, og dersom desse prøvane var innanfor ei usikkerheitsgrense på ± 2 standardavvik, blei prøvane køyrd på ICP-MS. For totalkvikksølvanalysane blei 1566 B (Oyster Tissue), Tort-2 og Tort-3 brukt som SRM. Gjennomsnittet til Tort-2 og Tort-3 var begge innanfor eit standardavvik av kontrollkortverdien, mens 1566 B var så vidt utanfor to standardavvik. 1566 B hadde likevel ein totalkvikksølvkonsentrasjon som var i eit måleområde kor måleusikkerheita er på 70 %, og gjennomsnittet var langt innanfor denne 70 % grensa.

Den viktigaste uvissa under totalkvikksølvanalysa var homogeniseringa (NIFES 2013a). Dette gjaldt spesielt for lever, ettersom feittet skilte seg frå resten av levra etter ei stund. Dette betydde at ein før innviing til analyse, måtte røre med ein spatel for å gjere prøven homogen igjen. Kvikksølvkonsentrasjonane som blei målt i denne oppgåva låg mellom 0,038 mg/kg og 5,2 mg/kg, og måleusikkerheita frå denne metoden var derfor 20, 25 og 70 %, avhengig av konsentrasjonen som blei målt.

For metylkvikksølvanalysane blei SRM køyrd samtidig med dei andre prøvane, og ein såg først etter analysen om SRM var innanfor usikkerheitsgrensa. I metylkvikksølvanalysen blei dorm-3 (fiskeprotein) og CE 464 (tunfisk) brukt som SRM, og gjennomsnittsverdiane var innanfor eit standardavvik frå kontrollkortverdien for begge SRM. For å hindre forureining frå prøvar med høg metylkvikksølvkonsentrasjon, til prøvar med låg metylkvikksølvkonsentrasjon, blei injektoren vaska med heksan etter kvar 5. prøve på GC-ICPMS. Det blei òg brukt ein blankprøve, og ein prøve bestående av 500 ng Metylkvikksølv med naturleg isotopsamansetting. Dei største feilkjeldene ved denne metoden kom frå homogenisering og oppløysing i tetrametylammoniumhydroksid (NIFES, 2013b). Metylkvikksølvkonsentrasjonane som blei målt i denne oppgåva låg mellom 0,024 og 1,7 mg/kg. Det betyr at konsentrasjonane låg i alle konsentrasjonsintervalla, og måleusikkerheita var 10, 25 og 35 % avhengig av konsentrasjonen som blei målt.

5.2 Fysiske og biologiske parametrar i brosmene

Det var ulik størrelse på fisken, og brosmene frå Boknafjordlokalitetane (Vatsfjorden, Ryfylke og Indre Boknafjord) var signifikant lengre og tyngre enn brosmene frå Hardangerfjorden og Lofoten. Forskjellige fangstmetodar er ei mulig forklaring på denne forskjellen i størrelse. Brosmene blei fanga med line, garn og teiner, og line gir generelt større fisk enn garn, og garn gir generelt større fisk enn teiner. I Hardangerfjorden blei brosmene fanga med garn og krepseteiner, og i følgje fiskaren blei dei fleste brosmene tatt med teinene. Dette kan forklare kvifor brosmene derifrå er små. I Lofoten blei derimot brosmene fanga på line, noko som burde gi større fiskar. I Boknafjorden blei alle fangstmetodane brukte, og dei fleste brosmene derifrå var relativt store. Fangstmetoden er derfor truleg ikkje den einaste faktoren som påverkar brosmestørrelsen. Ei anna mulig forklaring er at djupna kor brosmene blei fiska var annleis i Boknafjorden enn i Hardangerfjorden og Lofoten. Det er nesten berre dei minste brosmene som oppheld seg på grunt vatn (Pethon, 2005), og ein kan derfor forvente at brosmene var størst ved dei største djupa. Fiskane i Lofoten blei fiska mellom 50 og 150 meter djup, noko som var grunnare enn for brosmene frå dei andre lokalitetane. Dette kan forklare kvifor brosmene frå Lofoten var relativt små. I Hardangerfjorden blei brosmene fiska på 150 m djup, og ein kunne derfor forvente større fisk om ein ikkje visste at dei blei fanga med garn og teiner. Brosmene frå Boknafjorden blei fanga på 40 – 350 m djup, og det kan forklare kvifor ein fekk større fisk der. Kombinasjonen av fangstmetode og djupna som fiskane blei fanga på kan derfor forklare kvifor brosmene frå Boknafjordlokalitetane var større enn brosmene frå Hardangerfjorden og Lofoten.

Det blei funne ein forskjell i størelsen til brosmene mellom kjønna, kor hannane i snitt var større enn hoene. Dette kan kanskje komme av at hoene må bruke mykje energi på å produsere egg til gyting, noko som betyr at det var mindre energi igjen for hoene til å vokse i størrelse. Dette betyr i så fall at forskjellen mellom kjønna burde vere størst for dei største fiskane, ettersom nokre av dei minste fiskane truleg ikkje har nådd kjønnsmoden alder, og produserer derfor ikkje egg enda. I tillegg ville denne trenden hatt betydning over tid, og dei største (og antatt eldre) fiskane ville derfor hatt større forskjellar mellom kjønna. I Vatsfjorden, Ryfylke og Indre Boknafjord, kor

fiskane var størst, blei det observert at brosmene av hannkjønn var høvesvis 4 cm, 8 cm og 8 cm lenger og 0,8 kg, 2,2 kg og 1,8 kg tyngre enn hoene. Brosmene av hannkjønn frå Hardangerfjorden og Lofoten var høvesvis 1 og 6 cm lenger og 0 kg og 0,6 kg tyngre. Dette tyder på at lengdeforskjellen kanskje kjem av at hoene produserer egg. Ei anna mulig forklaring på forskjellen i størrelse er at hoene av genetiske grunnar i snitt er mindre enn hannar, men det er ingen logisk forklaring på kvifor det skulle vere slik.

Brosmene frå Hardangerfjorden blei fanga innan ein radius på 5 km frå Steinstøberget, og hadde ein gjennomsnittleg lengde og vekt på 56 cm og 2,1 kg. NIFES gjorde i 2011 ei undersøking av kvikksølv i brosme frå Hardangerfjorden (Måge et.al, 2012), og brosmene som blei fanga ved Steinstøberget hadde ei gjennomsnittleg lengde og vekt på 65 cm og 2,9 kg. Dette er ein forskjell i gjennomsnitt på 9 cm og 0,8 kg. Brosmene frå desse to studiane er likevel truleg ikkje signifikant forskjellig.

I ein NIVA-rapport frå 2011 blei 15 brosmer fanga litt sør for Lofoten, med ei gjennomsnittleg lengde og vekt på 64 cm og 2,3 kg (Beylish og Ruus, 2011). Brosmene blei fanga i oktober 2011, på 300-450 m djup. I denne masteroppgåva blei det fanga 25 brosmer litt nord for Lofoten, og desse hadde ei gjennomsnittleg lengde og vekt på 51 cm og 1,5 kg. Brosmene blei fanga i juni 2014, på 50-160 m djup. Brosmene i denne oppgåva var litt mindre. Dette kan komme av at stasjonane kor brosmene blei fanga er eit stykke frå kvarandre geografisk, og på ulike djup.

Størrelsen på lever følgde størrelsen på fisken, og det var derfor mest interessant å sjå på dei hepatosomatiske indeksane (HSI). Brosmene frå Hardangerfjorden hadde i gjennomsnitt den lågaste HSI på 3,14, og den høgaste gjennomsnittlege kvikksølvkonsentrasjonen i fillet og lever. Denne HSI-verdien var likevel ikkje mykje lågare enn HSI-verdiane til brosmene frå Vatsfjorden og Lofoten på 3,28 og 3,21, som hadde dei lågaste kvikksølvkonsentrasjonane i fillet og lever. Brosmene frå Ryfylke hadde den høgast HSI på 4,06. Ei av brosmene frå Ryfylke hadde likevel ein HSI på 13,82, noko som truleg er ein uteliggjar, og dersom ein reknar ut gjennomsnittet utan denne verdien får ein gjennomsnitt HSI frå Ryfylke på 3,55. Det er dessutan ei uvissa knytt til levervektene, spesielt dei frå Boknafjorden, ettersom

mange av brosmene hadde magesekken og levra ut av gapet då dei blei prøveopparbeida. Noko av levrane kan truleg gått tapt på denne måten, og dermed er nokon av levervektene som har blitt notert ned litt lågare enn det dei eigentleg er. Dette kan forklare kvifor nokre HSI-verdiar var relativt låge. Brosmene blei dessutan fanga på ulike deler av året, og dette kan ha påverka leverstørrelsen. Fleire studiar indikerer at HSI er negativt korrelert med tungmetallkonsentrasjon (Larose et.al, 2008; Norris et.al, 2000). Reduksjonen av HSI kjem av at levercellene mister lipid, og derfor blir levercellene og levra mindre (Larose et.al, 2008). I ein tidlegare studie viste det seg at HSI frå fiskearten 'Walleye' (*Sander vitreus*) var negativt korrelert til kvikksølvkonsentrasjonen i lever (Larose et.al, 2008). Dette forholdet blei ikkje funnet for brosmen i denne oppgåva (vedlegg 8.5, figur 8.1), kor HSI og totalkvikksølvkonsentrasjon i lever ikkje var korrelert. Dette kan komme av variasjon mellom artane, og at brosmen ikkje blir like påverka av kvikksølvkonsentrasjonen i levra som 'Walleye'. I tillegg er det truleg andre faktorar som er med på å avgjere leverstørrelsen, til dømes er det beskrive at eksponering av organiske miljøgifter kan bidra til større HSI (van der Oost et.al, 2003). Brosmen lagrar dessutan feitt i levra (Kryvi, 1992), så mattilgang, årstider og gytesesong vil òg påverke leverstørrelsen og dermed HSI. I tillegg til desse faktorane såg det ut til at kjønn påverkar HSI og levervekta til brosmene. Hoene hadde i snitt høgare HSI enn hannane ved alle lokalitetar, bortsett frå i Lofoten. Dette kjem truleg av at forskjellen mellom vekta av heil fisk mellom kjønn var større enn forskjellane mellom levervekt.

Brosmene frå Boknafjordlokalitetane hadde signifikant høgare kondisjonsfaktorar enn brosmene som blei fanga i Hardangerfjorden og Lofoten. Det blei vist i figur 4.2 at vekta til korte fiskar auka relativt langsamt, og at vekta auka relativt raskt for lange fiskar. Formelen for kondisjonsfaktor er som nemnt $\frac{vekt}{lengde^3} \times 100$, og ettersom vekta aukar raskare enn lengda i brosmen, auka òg kondisjonsfaktoren med aukande størrelse. Ettersom brosmene frå Hardangerfjorden og Lofoten var signifikant kortare enn brosmene frå Boknafjordlokalitetane, kan dette forklare kvifor kondisjonsfaktoren var lågare i Lofoten og Hardangerfjorden.

Kjønnsfordelinga var omtrent 50% av kvart kjønn ved dei fleste lokalitetane. Unntaket var i Hardangerfjorden som hadde ei sterk overvekt av hankjønn (20 hankjønn og 6 hokjønn), og Indre Boknafjord som hadde ei vis overvekt av hokjønn (11 hankjønn og 18 hokjønn). Dette kan vere reint tilfeldig, og av alle dei 112 brosmene som blei analyserte var 59 hankjønn og 53 hokjønn, dette tilsvara 52,7% hankjønn.

5.3 Kvikksølvkonsentrasjon i filet

Konsentrasjonen av totalkvikksølv og metylkvikksølvkonsentrasjonane i brosmefilet var tilnærma like. Den gjennomsnittlege prosentvise andelen av metylkvikksølv i filet varierte mellom lokalitetane, med eit gjennomsnitt på 96 ± 10 %. Dei gjennomsnittlege andelane metylkvikksølv i filet av brosme frå dei ulike lokalitetane varierte mellom 84 ± 8 % og 104 ± 3 %. Dei gjennomsnittlege metylkvikksølvandelen i brosmefilet var omtrent 100 % for alle lokalitetane. Brosmene frå Ryfylke var dei einaste som hadde ein metylkvikksølvandel som var lågare enn eit standardavvik frå 100 %. Dette passa bra overeins med litteraturen, og ein kunne rekne med at metylkvikksølv utgjorde 75 – 100 % av totalkvikksølvkonsentrasjonen i fisk (VKM, 2005; Bloom, 1998). Dette er fordi metylkvikksølv bind seg til aminosyra cystein i protein (Harris, et.al 2003). Andelen metylkvikksølv i brosmefilet frå Ryfylke var likevel overraskande låg ($84 \pm 8\%$), og dette kan kanskje komme av at fileten blei forureina av uorganisk kvikksølv frå lever under prøveopparbeinga.

Metylkvikksølvandelane i dei andre brosmene utgjorde mellom 93 ± 13 % og 104 ± 3 % av totalkvikksølv. Brosmefilet frå Vatsfjorden, Hardangerfjorden og Lofoten hadde alle i snitt ein metylkvikksølvandel som var høgare enn 100 %, noko som i utgangspunktet ikkje gav meining. Dette kom av målefeil i metodane som blei brukte. Den høgaste metylkvikksølvandelen som blei funne i filet var på heile 160%. Denne prøven hadde ei samla måleusikkerheit på 30 %, og var utanfor måleusikkerheitsgrensa. Dei målte konsentrasjonane av total- og metylkvikksølv frå filetprøven med metylkvikksølvandel på 160 % blei derfor fjerna frå resultatata. Den høgaste metylkvikksølvandelen i filet av brosme som blei målt, og ikkje var utanfor den samla måleusikkerheita var på 110%. I ein filetprøve blei det funne ein

prosentvis andel metylkvikksølv på 62 %, og dette var den lågaste metylkvikksølvandelen som blei funne.

Det blei funne ein klar korrelasjon mellom lengde og kvikksølvkonsentrasjon i filet. Tidlegare studiar viste òg korrelasjon mellom størrelse og kvikksølvkonsentrasjon i filet for brosme (Måge et.al 2012; Kvangarsnes et.al 2012). Denne korrelasjonen mellom kvikksølvkonsentrasjon i filet og fiskelengde har òg blitt beskrive for andre fiskeartar, som blant anna sei og torsk (Julshamn et.al, 2013c; Nilsen et.al, 2013a; Nilsen et.al, 2013b; Mathieson og McLusky, 1995; Leah, et.al, 1991). Dette kan komme av at eldre (lange) fisk har vore eksponert for kvikksølv i miljøet lenger enn yngre (korte) fisk, og dermed har eldre fisk generelt høgare kvikksølvkonsentrasjon i filet. I tillegg kan større brosmar fange større byttedyr, som har akkumulert meir kvikksølv enn mindre byttedyr, og dermed aukar kvikksølvkonsentrasjonen fortare. Ei tredje forklaring er at yngre fisk har høgare stoffskifte enn eldre fisk (Gutiérrez-Mejía et.al, 2009; Trudel og Rasmussen, 1997), og dermed aukar ikkje kvikksølvkonsentrasjonen like fort. Hardangerfjorden var lokaliteten kor brosmar hadde høgast gjennomsnittleg total- og metylkvikksølvkonsentrasjon i filet (0,63 og 0,65 mg/kg). Det var likevel ingen signifikante forskjell mellom kvikksølvkonsentrasjonane i brosmefilet frå Ryfylke (0,60 og 0,50 mg/kg), Indre Boknafjord (0,52 og 0,48 mg/kg) eller Vatsfjorden (0,40 og 0,41 mg/kg). Forskjellen i kvikksølvkonsentrasjon i filet av brosmene frå Boknafjordlokalitetane kan komme av ulike sedimentforhold. Konsentrasjonen av sulfat (SO_4^{2-}), sulfid (S^{2-}), og oksygen i vatnet, samt pH er andre døme på faktorar som påverkar metyleringa av kvikksølv i sediment (Baird og Cann, 2008). Ved Fedje er det til dømes mykje kvikksølv i sedimenta (Uriansrud et.al 2006), men kvikksølvkonsentrasjonane i brosme herifrå var relativt låge (Frantzen et.al, 2014). Lokaliteten i Ryfylke ligg nord for Stavanger og Sandnes. Desse områda er relativt tett befolka, og miljøpåverknaden frå desse stadane er truleg stor. Dette kan kanskje forklare kvifor den gjennomsnittlege kvikksølvkonsentrasjonen i Ryfylke var størst av alle Boknafjordlokalitetane. Brosmene frå Boknafjordlokalitetane (Vatsfjorden, Ryfylke og Indre Boknafjord) var signifikant større enn brosmene frå lokaliteten i Hardangerfjorden (Steinstøberget). I ein tidlegare studie blei det analysert for totalkvikksølv i brosme frå Steinstøberget (Måge et.al, 2012), og brosmene i Måge sin studie var større og hadde høgare

kvikksølvkonsentrasjon enn brosmene i denne studien. Dersom brosmene frå lokaliteten i Hardangerfjorden hadde vore like store som brosmene frå Boknafjordlokalitetane, er det derfor mulig at brosmene frå Hardangerfjorden hadde hatt signifikant høgare kvikksølvkonsentrasjon i filet.

Fordi kvikksølvkonsentrasjonen i filet var korrelert med størelsen på fisken, blei lengdefaktoren fjerna ved å bruke kovariansanalyse med lengde som kovariant. Resultatet viste at brosmene frå Hardangerfjorden hadde signifikant høgare kvikksølvkonsentrasjon i filet, enn brosmene frå dei andre lokalitetane. Det blei òg vist at brosmene frå Ryfylke og Indre Boknafjord hadde signifikant høgare kvikksølvkonsentrasjon i filet enn brosmene frå Lofoten. Brosmene frå Vatsfjorden og Lofoten hedde omtrent like kvikksølvkonsentrasjonar etter kovariansanalysa. At brosmene frå Hardangerfjorden hadde høgast kvikksølvkonsentrasjon i fileten etter å ha korrigert for størrelse, var som forventa. Tidlegare studiar har vist at brosmar frå denne fjorden hadde høge kvikksølvkonsentrasjonar, spesielt innerst i fjorden (Måge et.al, 2012; Kvangarsnes et.al, 2012; VKM, 2005, Olsvik et.al, 2013). Dette tydar på at Boknafjorden er mindre forureina enn den undersøkte lokaliteten i Hardangerfjorden, og meir forureina enn lokaliteten i Lofoten. Det var likevel litt overraskande at brosmene frå Vatsfjorden ikkje hadde kvikksølvkonsentrasjonar i filet som var signifikant høgare enn brosmene frå Lofoten. Dette kan komme av at Vatsfjorden ligg relativt avskjerma frå hovudfjorden, og derfor ikkje er lika forureina som resten av Boknafjorden. Det er blei likevel fanga relativt få brosmar frå Vatsfjorden, og dette betyr at den gjennomsnittlege kvikksølvkonsentrasjonen i filet som blei målt ikkje er like sikker som for brosmene frå dei andre lokalitetane.

Det blei ikkje funne nokon særleg forskjell i total- og metylkvikksølvkonsentrasjonane i filet mellom kjønna, men i Vatsfjorden hadde hoene ein total- og metylkvikksølvkonsentrasjon som i snitt var høvesvis 0,17 og 0,18 mg/kg høgare enn konsentrasjonen til hannane. Dette kjem truleg av at det berre blei prøvetatt 10 brosmar i Vatsfjorden, og dei tre brosmene frå Vatsfjorden som hadde høgast kvikksølvkonsentrasjon i filet var tilfeldigvis av hokjønn. Dette drog derfor opp snittet. Hadde det blitt prøvetatt meir enn 10 brosmar frå Vatsfjorden ville desse brosmene

truleg ikkje påverka snittet på denne måten, og kvikksølvkonsentrasjonane til begge kjønna ville sannsynligvis vore tilnærma like.

Vatsfjorden er ein sidefjord av Yrkjefjorden, og Yrkjefjorden er ein sidefjord av Krossfjorden. Brosmer frå Indre Boknafjord blei fanga ved 5 stasjonar og tre av desse blei fanga ved Yrkjefjorden og Krossfjorden. NIVA har tidlegare gjort kvikksølvanalyser i brosmene rundt Vatsfjorden (Kvassnes et.al, 2010; Kvassnes et.al, 2011; Beyer et.al, 2014). Brosmene som blei samla inn til desse analysane blei fanga ved Mula (like sør for Vatsfjordinngangen) og ved Mettenes (i Yrkjefjorden eit stykke aust for Mula). Dei gjennomsnittlege totale kvikksølvkonsentrasjonane i brosmene fanga ved Mula var i 2009, 2010 og 2013 høvesvis 0,37 mg/kg, 0,35 mg/kg og 0,43 mg/kg. Brosmene frå Metteneset blei fanga og analysert i 2009, 2010, 2012 og 2013, desse brosmene hadde gjennomsnittlege totale kvikksølvkonsentrasjonar på høvesvis 0,22 mg/kg, 0,27 mg/kg, 0,29 mg/kg og 0,31 mg/kg. Etersom Mula ligg like ved Vatsfjordinngangen, er det denne lokaliteten som det er mest naturleg å samanlikne resultatane frå Vatsfjorden med, og brosmene frå Mula hadde gjennomsnittlege totale kvikksølvkonsentrasjonar i filet som passar godt overeins med resultatet på 0,40 mg/kg som blei funne i Vatsfjorden i denne masteroppgåva. Metteneset ligg omtrent på same stad som den eine stasjonen i Indre Boknafjord. Brosmene frå Indre Boknafjord hadde ein gjennomsnittleg totalkvikksølvkonsentrasjon på 0,52 mg/kg i filet, som var klart høgare enn konsentrasjonane av totalkvikksølv som var målt ved Metteneset. I den første NIVA-rapporten (Kvassnes et.al, 2010), blei dessutan metylkvikksølvkonsentrasjonen i filet av brosmene bestemt. Brosmene frå Mula hadde i 2009 ei gjennomsnittleg metylkvikksølvkonsentrasjon på 0,40 mg/kg, som passar godt overeins med metylkvikksølvkonsentrasjonen på 0,41 mg/kg som blei funne i brosmene frå Vatsfjorden i denne studien. Ved Metteneset hadde brosmene ein metylkvikksølvkonsentrasjon på 0,21 mg/kg, noko som er mindre enn halvparten av metylkvikksølvkonsentrasjonen på 0,48 mg/kg, som blei funne i Indre Boknafjord i denne oppgåva. Grunnen til denne forskjellen kan vere at Indre Boknafjord bestod av fem stasjonar som var fordelt i ulike fjordsystem. To av stasjonane låg i den opne delen av Boknafjorden, mens tre av stasjonane låg i same fjordsystem som brosmene frå Metteneset.

Totalkvikksølvkonsentrasjonen i filet av brosmene som blei fanga i Hardangerfjorden (ved Steinstøberget) var $0,63 \pm 0,38$ mg/kg. Dette er lågare enn den gjennomsnittlege konsentrasjonen på $1,00 \pm 0,35$ mg/kg som blei målt i brosmene frå Steinstøberget av Måge et.al (2012). Brosmene som blei fanga i den tidlegare studien var i snitt 65 cm, og dermed større enn brosmene i denne oppgåva som var 56 cm. Forskjellane i størrelse kan forklare kvifor totalkvikksølvkonsentrasjonen var høgare i NIFES-rapporten. I figur 4.9 var den matematiske formelen for kurva til brosmene frå Hardangerfjorden oppgitt, og ved å sette inn $x = 65$ cm i formelen, kan ein estimera konsentrasjon brosmene i denne oppgåva ville hatt om dei var 65 cm. Ved å rekne dette ut fekk ein $y = 0,86$ mg/kg. Brosmene i NIFES-rapporten hadde derfor litt høgare kvikksølvkonsentrasjonar, sjølv om ein tok høgde for lengdeforskjellen. Dette kan komme av biologisk variasjon. Figur 4.9 viste dessutan at mange av punkta i grafen låg høgare på plottet enn for Hardangerfjordkurva, og det var derfor ei usikkerheit i figuren. Standardavvika som blei rekna ut for desse lokalitetane var like, og var 0,35 og 0,38 for høvesvis NIFES-rapporten og denne studien. Forskjellen i kvikksølvkonsentrasjon mellom desse to studiane var altså mindre enn eit standardavvik, og forskjellen var derfor truleg ikkje signifikant.

Den gjennomsnittlege totalkvikksølvkonsentrasjonen i brosmene frå Lofoten som blei bestemt i denne oppgåva var $0,18$ mg/kg, og den gjennomsnittlege lengda var 51 cm. Brosmene blei fanga på nordsida av Lofoten. Totalkvikksølvkonsentrasjonen i brosmene frå Lofoten var òg blitt bestemt i ein NIVA-rapport (Beylish og Ruus, 2011), og i gjennomsnitt hadde brosmene ei totalkvikksølvkonsentrasjon på $0,31$ mg/kg. Desse brosmene blei derimot fanga på sørsida av Lofoten (i Vestfjorden), men desse lokalitetane var ikkje geografisk langt frå kvarandre og kunne derfor samanliknast. Gjennomsnittslengda til brosmene var 64 cm i denne NIVA-undersøkinga. Brosmene i NIVA-rapporten var altså lengre enn brosmene i denne oppgåva, og det var derfor rimelig at dei hadde høgare kvikksølvkonsentrasjonar. I figur 4.9 blei korrelasjonskurva til brosmene frå Lofoten beskrive matematisk, og ved å sette $x = 64$ cm inn i likninga fann ein $y = 0,25$ mg/kg. Denne verdien var på nivå med verdien på $0,31$ mg/kg som blei funne i Niva-rapporten, og konsentrasjonane som blei funne i desse studiane var relativt like.

5.4 Kvikksølvkonsentrasjon i lever

Konsentrasjonane av totalkvikksølv i lever var for det meste høgare enn konsentrasjonane av metylkvikksølv. Dei gjennomsnittlege total- og metylkvikksølvkonsentrasjonane var høvesvis $0,52 \pm 0,78$ og $0,17 \pm 0,16$. Det var stor spreiding i dataa, og dette kan skyldast biologisk variasjon i størrelse og leverstørrelse mellom brosmene. I tillegg kan det vore varierende grad av forureining mellom lokalitetane kor det blei fanga fisk. Brosmene frå Hardangerfjorden hadde dei høgaste gjennomsnittlege total- og metylkvikksølvkonsentrasjonane i lever, som var høvesvis $1,0 \pm 1,3$ mg/kg og $0,29 \pm 0,22$ mg/kg. Konsentrasjonane av total- og metylkvikksølv i lever av brosme var lågast i Lofoten, kor konsentrasjonane var høvesvis $0,10 \pm 0,05$ mg/kg og $0,051 \pm 0,017$ mg/kg. Dette tydar på at kvikksølvkonsentrasjonane i lever var høge, når kvikksølvkonsentrasjonane i filet var høge.

Kvikksølvkonsentrasjonen i lever såg ut til å variere med kjønnet på fisken. Hoene hadde i gjennomsnitt høgare konsentrasjonar av total- og metylkvikksølv ved alle lokalitetar. Spesielt totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever var høgare for hoene, og ofte hadde hoene dobbelt så stor totalkvikksølvkonsentrasjon i levra som hannane. Ettersom hannane i snitt var større enn hoene ved alle lokalitetane, så skuldast ikkje forskjellen i kvikksølvkonsentrasjon i lever størrelse. Forskjellen kan kanskje skyldast at hoene må bruke energi på å produsera egg til gytinga, noko som kostar energi. Energien blir i så fall henta frå lipidlageret i lever, noko som gjer levra mindre. Kvikksølvinnhaldet i levra blir likevel uendra, og dermed så aukar kvikksølvkonsentrasjonen. Dette kan òg forklare kvifor det ikkje er noko særleg forskjell mellom kjønna i kvikksølvkonsentrasjon i filet, ettersom det er lite feitt i filet av brosme. Det var likevel ingen signifikant forskjell i totalkvikksølvkonsentrasjon mellom kjønna, verken mellom kjønna frå dei forskjellige lokalitetane, eller mellom kjønna frå alle lokalitetane. Dette skyldast sannsynlegvis store standardavvik for totalkvikksølvkonsentrasjonane i levrane til hoene.

Både totalkvikksølvkonsentrasjonen og metylkvikksølvkonsentrasjonen i lever var korrelert med lengda av fisken i Indre Boknafjord og Hardangerfjorden, men ikkje for dei andre lokalitetane. Dette kan kanskje forklarast med at kvikksølv-

konsentrasjonane i lever ikkje såg ut til å auke nemneverdig før fiskane hadde vore utsatt for ein viss grad av kvikksølvforureining. Dette har blant anna blitt vist i sebrafisk (Gonzalez et.al, 2005).

Den gjennomsnittlege metylkvikksølvandelen i lever var 48 ± 18 %, med variasjonar 12 % og 110 %. Den lågaste gjennomsnittlege metylkvikksølvandelen var på 39 ± 16 %, og blei funne i brosmar frå Hardangerfjorden. Brosmane med høgast gjennomsnittleg metylkvikksølvandel i lever kom frå Vatsfjorden, og hadde 56 ± 24 % metylkvikksølv i levra. Det blei vist at den prosentvise andelen metylkvikksølv i lever var signifikant negativt korrelert med totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever. Denne samanhengen blei òg funne i ein tidlegare studie av Gonzalez et.al (2005). I denne studien blei sebrafisk fôra med ein diett kontaminert med metylkvikksølv.

Sebrafiskane blei fôra i 63 dagar, og metylkvikksølvandelen i lever blei bestemt etter 0, 7, 21 og 63 dagar. I denne 63 dagar lange perioden auka dei gjennomsnittlege totalkvikksølvkonsentrasjonane i lever frå rundt 0 $\mu\text{g/g}$ tv, til rundt 40 $\mu\text{g/g}$ tv. Andelen metylkvikksølv i lever blei redusert frå 66 ± 16 % ved starten av eksperimentet, til 36 ± 8 % etter 63 dagar. Dette tydar på at fisk med høge totalkvikksølv i lever, generelt sett har låge andelar av metylkvikksølv i lever. Dette kan kanskje skuldast at konsentrasjonen av uorganisk kvikksølv aukar fortare i lever enn metylkvikksølv, sidan metylkvikksølv først og fremst bind seg til fileten på fisken.

Brosmane frå Vatsfjorden hadde i gjennomsnitt ei totalkvikksølvkonsentrasjon i levra på 0,21 mg/kg. I 2009 blei leverkonsentrasjonane til brosmar frå Mula og Metteneset analysert av NIVA (Kvassnes et.al, 2010), og totalkvikksølvkonsentrasjonane i lever var høvesvis 0,22 mg/kg og 0,10 mg/kg. Begge desse lokalitetane låg som nemnt i Yrkjefjorden, men spesielt Mula låg veldig nær Vatsfjordinngangen, og det var derfor mest naturleg å samanlikna desse to. Ein av stasjonane kor det blei fanga brosmar til Indre Boknafjord låg i nærleiken av Metteneset, og desse blei samanlikna.

Totalkvikksølvkonsentrasjonane som blei funne i Vatsfjorden og ved Mula var nesten identiske. I Indre Boknafjord hadde brosmene ein gjennomsnittleg totalkvikksølvkonsentrasjon på 0,50 mg/kg, noko som var fem gonger så mykje som i brosmene ved Metteneset.

5.5 Forholdet mellom kvikksølv i filet og lever

Dei gjennomsnittlege totalkvikksølvkonsentrasjonane til brosmene var lågare i lever enn i filet, bortsett frå i Hardangerfjorden. Der var den gjennomsnittlege totale kvikksølvkonsentrasjonen i lever på heile $1,0 \pm 1,3$ mg/kg, nesten dobbelt så høg som den gjennomsnittlege kvikksølvkonsentrasjonen i filet på $0,63 \pm 0,38$ mg/kg. Det var i likevel berre sju brosmar frå Hardangerfjorden som hadde kvikksølvkonsentrasjonar høgare enn $1,0$ mg/kg, og desse drog gjennomsnittet kraftig opp. Medianen til totalkvikksølvkonsentrasjonane i lever frå Hardangerfjorden var $0,49$ mg/kg. I tillegg blei det vist at brosmar av hokjønn i snitt hadde høgare totalkvikksølvkonsentrasjonar i lever enn hannar, og at det var heile 77 % hannar i Hardangerfjorden. Dette tydar på at den gjennomsnittlege totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever av brosmar frå Hardangerfjorden kunne vore høgare, dersom kjønnsfordelinga var rundt 50 % av kvart kjønn.

Lever-muskel indeksen for totalkvikksølvkonsentrasjon har tidlegare blitt brukt til å indikere kor forureina fisk er (Havelková et.al, 2008; Raldúa, 2007), dersom lever-muskel indeksen er større enn 1,00 (dvs. kvikksølvkonsentrasjonen i lever er større enn i filet), indikerer det nyleg forureining. Brosmene frå alle lokalitetane bortsett frå Hardangerfjorden hadde gjennomsnittlege lever-muskel indeksar som var lågare enn 1,00. Lever-muskel indeksen for totalkvikksølv som blei funne for brosmar frå Hardangerfjorden var på heile 1,4, og dette tyder på at den undersøkte lokaliteten i Hardangerfjorden er kvikksølvforureina. Brosmene frå Vatsfjorden og Lofoten hadde gjennomsnittlege konsentrasjonar av totalkvikksølv i filet, som var omtrent dobbelt så høge som konsentrasjonane i lever. Lever-muskel indeksane var på høvesvis 0,50 og 0,58. Dette tydde på at desse lokalitetane ikkje var særlig forureina av kvikksølv. Det var litt overraskande å finne at lever-muskel indeksen frå Lofoten var høgare enn den frå Vatsfjorden. Vestlandskysten og fjordane er generelt meir forureina av kvikksølv enn område lenger nord, men dette tydde likevel på at Vatsfjorden og Lofoten er omtrent like lite forureina av kvikksølv. Både i Ryfylke og i Indre Boknafjord var dei gjennomsnittlege totale kvikksølvkonsentrasjonane i filet av brosmar omtrent like høge som i lever. Brosmene frå Ryfylke og Indre Boknafjord hadde gjennomsnittlege lever-muskel indeksar på høvesvis 0,78 og 0,81. Dette

skyldas at nokre brosmar hadde relativt høge totalkvikksølvkonsentrasjonar i lever, og andre hadde relativt låge konsentrasjonar. Dette kan tyde på at brosmene frå desse lokalitetane var meir forureina av kvikksølv enn brosmene frå Vatsfjorden og Lofoten, men mindre forureina enn brosmene frå Hardangerfjorden.

Både total- og metylkvikksølvkonsentrasjonen i lever av brosme var signifikant positivt korrelert med kvikksølvkonsentrasjonen i filet. Ved låge konsentrasjonar av kvikksølv i filet av brosme auka konsentrasjonen av total- og metylkvikksølv i lever omtrent like fort, men ved ein konsentrasjon på rundt 0,4 - 0,6 mg/kg i filet, begynte konsentrasjonen av totalkvikksølv i lever av brosme å auke fortare enn konsentrasjonen av metylkvikksølv. I tidlegare studiar har det vore argumentert for ei mulig demetylering av metylkvikksølv i fiskelever. Ifølge denne hypotesa blir metylkvikksølv transportert til levra og omgjort til uorganisk kvikksølv når konsentrasjonen i filet kjem over eit visst nivå (Havelková, et.al, 2008; Gonzalez, et.al 2005). Her er det vist at metylkvikksølvandelen i lever minkar med aukande kvikksølvkonsentrasjon i filet, og med aukande totalkvikksølvkonsentrasjon i lever. Dette kan ha skjedd ved at metylkvikksølv har blitt demetylert i lever, men det fins andre mulige forklaringar òg. Det uorganiske kvikksølvet kan ha komme frå andre stadar, til dømes er det mulig at det uorganiske kvikksølvet tas opp gjennom vatnet eller føde og transporterast direkte til levra.

Andelen metylkvikksølv i lever av brosme minka med aukande konsentrasjon av kvikksølv i filet. Det blei vist at brosmar med høg kvikksølvkonsentrasjon i lever hadde låge andelar av metylkvikksølv i lever, og at dei med låge konsentrasjonar i lever hadde høge metylkvikksølvandelar i lever. Variasjonane mellom dei gjennomsnittlege andelane av metylkvikksølv i brosmar frå dei ulike lokalitetane var små, men forskjellen mellom den minste og den største andelen utgjorde 17 prosentpoeng. Brosmene frå Vatsfjorden og Lofoten, der dei lågaste kvikksølvkonsentrasjonane i filet blei målt, hadde metylkvikksølvandelar i lever på rundt 55%. Brosmene frå Hardangerfjorden, som var den lokaliteten med høgast kvikksølvkonsentrasjon i filet, hadde ein metylkvikksølvandel på 39 % i lever. Dette tydar på at andelen metylkvikksølv i lever er lågast i dei mest forureina lokalitetane.

Lever-muskel indeksane for metylkvikksølv var i snitt 0,36, og dei gjennomsnittlege indeksane for dei ulike lokalitetane låg mellom 0,24 og 0,43. I ei tidlegare masteroppgåve blei metylkvikksølvkonsentrasjonane i filet og lever av brosme frå Hardangerfjorden bestemt (Lindgren, 2012). Det blei funne eit resultat som viste at den gjennomsnittlege metylkvikksølvkonsentrasjonen i lever var omtrent lik metylkvikksølvkonsentrasjonen i filet, det vil seie at lever-muskel indeksen til metylkvikksølv var omtrent 1. Det resultatet var ulikt resultatet frå denne masteroppgåva. Det blei vist at metylkvikksølvkonsentrasjonen i lever auka med aukande kvikksølvkonsentrasjon i filet, og brosmene frå Lindgren si masteroppgåve hadde høgare metylkvikksølvkonsentrasjonar i filet enn brosmene i denne oppgåva. Dette er truleg grunnen til at det blei funne ulike lever-muskel indeksar for metylkvikksølv i desse to studiane.

5.6 Samanlikning av kvikksølvkonsentrasjon i brosme og andre fiskeslag frå ulike delar av kysten:

I tidlegare studiar har det blitt funne forskjellige kvikksølvkonsentrasjonar i ulike delar av landet, i ulike fiskeslag.

Tabell 5.1: Totalkvikksølvkonsentrasjonane i filet og lever av brosme, lange, blålange, torsk, sei og sild frå ulike delar av landet som er blitt målt i tidlegare studiar. Dersom det er fleire målingar frå same stad, vises den minste og den største konsentrasjonen.

Fiskeart	Område	Region	Total Hg konsentrasjon (mg/kg)		Fangst År
			Filet	Lever	
Brosme (<i>Brosme brosme</i>)	Metteneset	Boknafjorden, Vestlandet ⁺	0,22-0,31	0,10	2009-2013
	Mula		0,35-0,43	0,22	
	Steinstøberget	Hardangerfjorden, Vestlandet ^{+-c}	1,00		2010-2011
	Djønno		2,88		
	Tyssedal		1,91		
	Sørfjord		1,7	7,3	2008
	Akra fjorden		0,40		2011
	Høyangsfjorden	Sognefjorden, Vestlandet ^a	0,44		2011
	Storfjorden	Storfjorden, Vestlandet ^a	0,22		2011
	Saltenområdet	Norlandskysten, Nordnoreg ^b	0,47-0,61	0,27-0,76	2012
	Lofoten	Lofoten, Nordnoreg ^a	0,31		2011
	Skagerrak	Hav ^c	0,44		2008
	Nordsjøen		0,30		2008
	Norskehavet		0,11-0,15		2008
	Atlantehavet		0,13-0,23		2008
	Barentshavet		0,08-0,12		2008
Blålange (<i>Molva dypterygia</i>)	Steinstøberget	Hardangerfjorden, Vestlandet ⁺	1,38		2011
	Eidsfjord		1,67		
	Tyssedal		1,06		
Lange (<i>Molva molva</i>)	Tyssedal/Edna	Hardangerfjorden, Vestlandet ^d	0,21-2,22		2003-2004
	Hauso		0,10-0,32		
	Trondheimsfjorden	Trondheimsfjorden, Midtnoreg ⁻	0,28		2011
Torsk (<i>Gadus morhua</i>)	Metteneset	Boknafjorden, Vestlandet ^{*eh}	0,076-0,09	0,018-0,06	2009-2013
	Vats		0,058-0,087	0,025-0,07	
	Raunes		0,05-0,13	0,021-0,057	
	Eikanes		0,15	0,15	2013
	Ryfylke		0,13	0,07	
	Hardangerfjord	Hardangerfjorden, Vestlandet ^e	0,19	0,18	2010-2011
	Sognefjord	Sognefjorden, Vestlandet ^e	0,18	0,17	
	Vikna	Midtnoreg ^e	0,063	0,032	
	Lofoten	Nordnoreg ^e	0,071	0,028	
	Norskehavet	Hav ^e	0,11	0,051	
	Barentshavet	Hav ^e	0,036	0,020	2009-2010
Sei (<i>Pollachius virens</i>)	Barentshavet	Hav ^f	0,023		2011-2013
	Norskehavet		0,060		
	Nordsjøen		0,066	0,020	
Sild (<i>Clupea harengus</i>)	Norskehavet	Hav ^g	0,039		2006-2007

* Dataa er henta frå (Kvassnes et.al, 2010; Kvassnes et.al, 2011; Kvassnes og Hobæk, 2012; Kvassnes et.al, 2013; Beyer et.al, 2014)

⁺ Dataa er henta frå (Måge et.al, 2012)

⁻ Dataa er henta frå (Beylich og Ruus, 2011)

^a Dataa er henta frå (Berge et.al, 2007)

^b Dataa er henta frå (Julshamn et.al 2013a)

^c Dataa er henta frå (Kvangarsnes et.al 2012)

^d Dataa er henta frå (VKM, 2005)

^e Dataa er henta frå (Julshamn et.al, 2013b; Julshamn et.al, 2013c)

^f Dataa er henta frå (Nilsen et.al, 2013a; Nilsen et.al, 2013b)

^g Dataa er henta frå (Frantzen et.al, 2009)

^h Dataa er henta frå (Frantzen og Måge, 2014)

I tabell 5.1 er totalkvikksølvkonsentrasjonane i filet og lever for nokre fiskeslag som er blitt analysert i tidlegare studiar presentert. Her ser ein at spesielt djupvassfisk har høge kvikksølvkonsentrasjonar. Brosmer frå fjordane på Vestlandet generelt hadde gjennomsnittskonsentrasjonar mellom 0,20 mg/kg og 0,40 mg/kg, men Hardangerfjorden skilte seg ut med spesielt høge kvikksølvkonsentrasjonar. Dette passar overeins med observasjonane som blei gjort i denne oppgåva, kor brosmene frå Hardangerfjorden var meir kontaminerte enn brosmene frå Boknafjorden. I Nordnoreg blei det funne relativt høge kvikksølvkonsentrasjonar mellom 0,47 og 0,61 mg/kg i Saltenområdet, men i Lofoten var den gjennomsnittlege konsentrasjonen av totalkvikksølv berre 0,31 mg/kg. Som nemnt tidlegare passa resultatet frå brosmene i Lofoten godt overeins med resultatata i denne oppgåva. I Nordsjøen og Skagerrak hadde brosmene kvikksølvkonsentrasjonar i fileten på høvesvis 0,30 og 0,44 mg/kg, men elles var kvikksølvkonsentrasjonane i brosme frå havområda låge og låg mellom 0,08 og 0,23 mg/kg. I Hardangerfjorden hadde både Lange og Blålange høge kvikksølvkonsentrasjonar i filet, men lange hadde ein gjennomsnittleg konsentrasjon i filet på berre 0,28 mg/kg i Trondheimsfjorden. Torsk, sei og sild hadde mykje lågare kvikksølvkonsentrasjonar i filet og lever enn djupvassfiskane, og dette kjem av variasjon mellom artane som, levevis, levetid og trofisk nivå. Sei og sild hadde kvikksølvkonsentrasjonar mellom 0,023 og 0,066 mg/kg i fileten, noko som var rundt 10 gonger så låge konsentrasjonar som i djupvassfiskane. Torsk frå Barentshavet hadde omtrent same kvikksølvkonsentrasjon i filet som sei og sild, men torsk frå Nordsjøen hadde ein konsentrasjon i filet på heile 0,11 mg/kg. I fjordane var kvikksølvkonsentrasjonane i torsk høgare. I Hardangerfjorden og Sognefjorden var kvikksølvkonsentrasjonen i filet høvesvis 0,19 og 0,18 mg/kg, og konsentrasjonen i lever var høvesvis 0,18 og 0,17 mg/kg. Dette tydar på at torsk i desse områda var kontaminert, ettersom kvikksølvkonsentrasjonen i filet var lik konsentrasjonen i lever. I Ryfylke (Ytre Boknafjord) var konsentrasjonen på 0,13 mg/kg, men kvikksølvkonsentrasjonen i lever var ikkje større enn 0,07 mg/kg, noko som tyder på at forureininga av kvikksølv var mindre der. I Vatsfjorden og Yrkjefjorden (Metteneset, Vats og Raunes) var kvikksølvkonsentrasjonane i torsk omtrent på nivå med torskane i havet. Torskane frå Midtnoreg og Nordnoreg hadde låge

kvikksølvkonsentrasjonar i filet og lever. Dette tyder på at resultatane i denne oppgåva passar bra overeins med tidlegare studiar.

5.7 Ernæringsmessige aspekt

Brosmene frå Ryfylke, Indre Boknafjord og Hardangerfjorden hadde gjennomsnittskonsentrasjonar av kvikksølv i filet over 0,50 mg/kg, som er Noreg og EU si øvre grense for lovleg omsetjing av fisk til humant konsum (EU, 2006). I Ryfylke og Indre Boknafjord hadde høvesvis 14 av 23 (61 %) og 13 av 28 (46 %) av brosmene totalkvikksølvkonsentrasjonar over denne grensa. Dette kom truleg av at brosmene som blei fanga der var forholdsvis store, men dei største brosmene blei fanga i Vatsfjorden, kor berre 2 av 10 (20%) hadde kvikksølvkonsentrasjonar over grenseverdien. I Hardangerfjorden hadde 10 av 26 (39 %) brosmer totalkvikksølvkonsentrasjonar over 0,50 mg/kg. Tidlegare rapportar av brosmer frå Hardangerfjorden viser gjennomsnittlige totalkvikksølvkonsentrasjonar som var over 1,0 mg/kg (Kvangarsnes et.al, 2012; Måge et.al, 2012). Ved Lofoten var det ingen brosmer som oversteig grensa på 0,50 mg/kg.

Den kortaste brosma som oversteig grenseverdien på 0,50 mg/kg kom frå Hardangerfjorden og var berre 47 cm, noko som tydde på at berre små brosmer frå denne lokaliteten hadde låge nok kvikksølvkonsentrasjonar i filet til å omsettast. I Ryfylke og Indre Boknafjord var dei kortaste brosmene som oversteig grenseverdien 60 cm, mens i Vatsfjorden var dei 80 cm. I Lofoten kunne ein truleg omsetja brosmer uansett kor store dei var.

Metylkvikksølv har ein TWI (tolerabel vekeleg inntaksgrense) på 1,3 µg metylikvikksølv per kg kroppsvekt per veke (EFSA, 2012), noko som betyr at ein person på 70 kg kan tolerere eit inntak på 91 µg metylikvikksølv per veke. Brosmene hadde tilnærma 100 % av totalkvikksølvet i fileten i form av metylikvikksølv, og ein porsjon brosmeilet frå Hardangerfjorden måtte vere på maks 140 g dersom ein ikkje ville overstige TWI for metylikvikksølv. Dessutan kunne ein ikkje ete noko anna som inneheld metylikvikksølv resten av veka, utan å overstige TWI. Åt ein brosme frå Lofoten kunne ein derimot ete 500 g før ein TWI-grensa på 91 µg blei overskrid, det

vil seie rundt to måltid à 250 g. Små born på 10 kg ville likevel ikkje kunne få i seg meir enn 20 og 70 g brosmefilet frå høvesvis Hardangerfjorden og Lofoten utan å overstige TWI. 70 g er likevel ein stor porsjon til ein unge på 10 kg. Små born og gravide kvinner bør derfor unngå inntak av for mykje filet av brosme. Brosme er ikkje ein fisk som det er vanleg å ete, og det er derfor liten risiko for stort metylkvikksølvopptak i befolkninga.

Det finnes ikkje nokon grenseverdi for kvikksølv i Noreg og EU, for lovleg omsetting av fiskelever. Kor mykje ein kan ete utan å overgå TWI er litt vanskeligare å bestemme når ein snakkar om lever, sidan andelen av metylkvikksølv varierer så mykje mellom brosmene og ein må ta hensyn til TWI for både uorganisk kvikksølv og metylkvikksølv. Dersom ein tar utgangspunkt i gjennomsnittsbrosma frå Hardangerfjorden og Lofoten så kan ein finne ut kor mykje uorganisk kvikksølv det er i levra ved å trekke konsentrasjonen av metylkvikksølv frå totalkvikksølv. TWI for uorganisk kvikksølv er 4,0 µg kvikksølv per kg kroppsvekt, noko som betyr at ein person på 70 kg kan ha eit inntak på 280 µg uorganisk kvikksølv per veke. På dette viset kan ein rekne seg fram til det inntaket av lever som verken overgår TWI for uorganisk kvikksølv eller metylkvikksølv. Ein person på 70 kg kan ete rundt 310 g brosmelever frå Hardangerfjorden i veka, mens ein kan ete over 1,8 kg brosmelever frå Lofoten i veka utan å overgå TWI for verken uorganisk kvikksølv eller metylkvikksølv. Personar på 10 kg kan berre tolerere eit inntak av brosme lever frå Hardangerfjorden og Lofoten, på høvesvis 45 og 250 g utan å overstige TWI for metylkvikksølv eller uorganisk kvikksølv. Fiskelever inneheld likevel ofte relativt høge konsentrasjonar av organiske miljøgifter som polyklorete bifenyler (PCB) og dioksin. Dette gjeld særleg langs kysten og i fjordane, og mattilsynet har derfor anbefalt å ikkje ete lever av sjølvfanga fisk frå kysten og fjordane. Barn og kvinner i fruktbar alder anbefalast dessutan å ikkje ete fiskelever (matportalen.no).

6. Konklusjonar

Brosmene frå Hardangerfjorden hadde dei høgaste gjennomsnittlege kvikksølvkonsentrasjonane i både filet og lever, sjølv om dette var relativt små fiskar. Når størrelsen på fisken var tatt høgde for, viste det seg at desse kvikksølvkonsentrasjonane var signifikant høgare enn konsentrasjonane i brosmene frå Boknafjorden. Brosmene frå Hardangerfjorden hadde dessutan den klart høgaste lever-muskel indeksen og lågast andel metylkvikksølv i lever. Ut frå desse resultata ser det ut til at Boknafjorden er mindre forureina av kvikksølv enn det undersøkte området i Hardangerfjorden.

Bortsett frå brosmene frå Hardangerfjorden, hadde brosmene frå Boknafjordlokalitetane klart høgare kvikksølvkonsentrasjonar i filet og lever enn brosmene frå Lofoten. Fisken frå Boknafjorden var større enn dei frå Lofoten, men når størrelse var blitt tatt høgde for viste det seg likevel at brosmene frå Ryfylke og Indre Boknafjord, men ikkje Vatsfjorden, hadde signifikant høgare kvikksølvkonsentrasjonar i filet og lever enn brosmene frå Lofoten. Brosmene frå Ryfylke og Indre Boknafjord hadde dessutan høgare lever-muskel indeks og lågare andel metylkvikksølv i lever, enn brosmene frå Vatsfjorden og Lofoten. Vatsfjorden var den lokaliteten med lågast lever-muskel indeks og høgast metylkvikksølvandel i lever. Det ser altså ut til at størstedelen av Boknafjorden er meir forureina av kvikksølv enn den undersøkte lokaliteten i Lofoten. Vatsfjorden ikkje same trend som dei andre lokalitetane i Boknafjorden.

7. Kjelder

Aas W., Solberg S., Manø S. og Yttri K.E., 2013. "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfæriske tilførsler, 2012". Utført av NILU (Norsk Institutt for Luftforskning). Klima- og forurensingsdirektoratet (KLIF), rapportnummer 1148 /2013. 211 sider.

Agilent technologies Inc, 2005. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, A primer. s.1-81.

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

Aune, T. 2007. *Næringsmiddel toksikologi: Tilsetningsstoffer, miljøgifter og naturlige toksiner*, 2. utgave, Høyskoleforlaget., Kristiansand. 358 sider.

Baeyens, W., Leermakers, M., Papina, T., Saprykin, A., Brion, N., Noyen, J., De Gieter, M. og Elskens, M., 2003. "Bioconcentration and Biomagnification of Mercury and Methylmercury in North Sea and Scheldt Estuary Fish". *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 45, s 498-508.

Baird, C., Cann, M.C., 2008. *Environmental chemistry*, fourth edition. W. H. Freeman and company, New York. 773 sider.

Bakir, F., Damluji, S.F., Amin-Zaki, L. Murtadha, A., Khalidi, A., Al-Rawi, N.Y., Tikriti, S., Dhahir, H.I., Clarkson, T.W, Smith, J.C. og Doherty, R.A., 1973. "Methylmercury Poisoning in Iraq". *Science*. 181: s. 230-241.

Berg T., Fjeld E., Skjelkvåle B.L., Steinnes E., 2003. "Relativ betydning av nasjonale metallutslipp i forhold til avsetning fra atmosfærisk langtransport og naturlige kilder". NILU, prosjektnummer O-102121, 80 sider.

Berge J.A., Schlabach M. og Hareide N.R., 2007. "Kartlegging av bromerte flammehemmere, klor- og bromorganiske forbindelser, kvikksølv og metylkvikksølv i fjorder nær Ålesund". NIVA, rapportnummer 982 /2007. 102 sider.

Beyer J., Kvassnes A.J.S., Hobæk A. Beylich B.A. og Johnsen T., 2014. "Årsrapport for miljøovervåkning rundt AF Miljøbase Vats for 2013". NIVA, 6673-2014. 135 sider.

Beylich B. og Ruus A., 2011. "Overvåkning av miljøgifter i dypvannsfisk". NIVA, rapportnummer 2872-2011. 67 sider.

Bloom N.S., 1992. "On the Chemical Form of Mercury in Edible Fish and Marine Invertebrate Tissue". *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1010-1017.

Castoldi A.F., Coccini T., Ceccatelli S. og Manzo L., 2001. "Neurotoxicity and molecular effects of methylmercury". *Brain Research Bulletin*, 55: s.197-203.

Celo, V., Lean, D.R.S og Scott, S.L., 2006. "Abiotic methylation of mercury in the aquatic environment". *Science of the Total Environment*, 368: s 126-137.

Chumchal M.M., Drenner R.W., Cross D.R. og Hambright K.D., 2010. "Factors influencing mercury accumulation in three species of forage fish from Caddo Lake, Texas, USA". *Journal of Environmental Sciences*, 22: s.1158-1163.

Clarkson T.W. 2002. "The Three Modern Faces of Mercury". *Environmental Health Perspectives*, 110: s. 11-23.

Clarkson T.W., Mago L., Myers G.J. 2003. "The toxicology of mercury – current exposures and clinical manifestations". *The New England Journal of Medicine*, 349: s.1731-1737.

Cohen D.M., Inada T., Iwamoto T. og Scialabba N., 1990. "FAO species catalogue, Vol.10 gadiform fishes of the world, (Order Gadiformes), an annotated and Illustrated Catalogue of Cods, Hakes, Grenadiers and other Gadiform Fishes Known to Date". *FAO Fisheries Synopsis*, 10: s.29-31.

Coulter, Tom. 2009. "Food, the chemistry of its components", 5th edition, RSC publishing, Cambridge. 501 sider.

Díez S., 2008. "Human Health Effects of Methylmercury Exposure". *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 198: s. 111 – 132.

EFSA, 2012. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA journal 2012; 10(12):2985. 177 sider.

Ellis. H., Harrison R.D., Jenkins. H.D.B., 2007. Book of data, Revised Nuffield advanced science, revised edition, Longman group limited. 151 sider.

EU, 2006. "Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs". Commission regulation (EC) No 1881/2006. 24 sider.

Frantzen S., Furevik D., Ulvestad B.H., Måge A., 2014. "Rapport 2013 - Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje – Nye analyser i 2013". NIFES, 20 sider.

Frantzen S., Måge A. og Julshamn K., 2009. "Basisundersøkelse av fremmedstoffer i Norsk Vårgytende Sild". Nifes, Bergen. 24 sider.

Frantzen S. og Måge A., 2014. "Rapport 2013 - Metaller og organiske miljøgifter i sjømat fra Vatsfjorden". NIFES, 28 sider.

Gonzalez, P., Dominique, Y., Massabuau, J.C., Boudou, A. og Bourdineaud, J.P., 2005. "Comparative Effects of Dietary Methylmercury on Gene Expression in Liver, Skeletal Muscle, and Brain of the Zebrafish (*Danio rerio*)". Environmental Science & Technology, 39: s. 3972-3980.

Green N.W., Skogen M., Aas W., Iosjpe M., Måge A., Breivik K., Yakushev E., Høgåsen T., Eckhardt S., Ledang A.B., Jaccard P.F., Staalstrøm A., Isachsen P.E. og Frantzen S., 2013. "Tilførselsprogrammet 2012. Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Barentshavet og Lofotenområdet". Klima- og forurensingsdirektoratet (KLIF). (Utført av NIVA, havforskningsinstituttet, NIFES, NILU, statens strålevern, Bjerknes Centre for Climate Reseach og Metrologisk institutt). 149 sider.

Gutiérrez-Mejía, E., Lares, M.L. og Sosa-Nishizaki, O., 2009. "Mercury and Arsenic in Muscle and Liver of the Golden Cownose Ray, *Rhinoptera steindachneri*, Evermann and Jenkins, 1891, from the Upper Gulf of California, México". Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 83: s. 230-234.

Harris D.C., 2010. Quantitative Chemical Analysis, 8th edition, W.H Freeman and Company, New York, USA. 719 sider.

Harris H.H., Pickering I.J., George G.N., 2003, "The Chemical Form of Mercury in Fish". Science, 301: s. 1203.

Harte, R., Sargent, M. og Harrington, C., 2002, "Guidelines of achieving high accuracy in isotope dilution mass spectrometry (IDMS)". Laboratory of the Government Chemist (The Royal Society of Chemistry). 46 sider.

Havarinasab, S. og P. Hultman (2005). "Organic mercury compounds and autoimmunity". Autoimmunity Reviews 4: s. 270-275.

Havelková, M., Dusek, L., Némethová, D., Poleszczuk, G. og Svobodová, Z., 2008. "Comparison of Mercury Distribution Between Liver and Muscle – A Biomonitoring Fish from Lightly and Heavily Contaminated Localities". Sensors 2008, 8, s. 4095-4109.

Havforskningsinstituttet, 13.10.14, kl. 15.23;

http://www.imr.no/images/bildearkiv/2010/01/brosme_norskehavet.jpg/nn-no?size=large

Helle, K., 2012. "Lange, brosme og blålange". "Havforskningsrapporten 2012, Fisken og havet", særnummer 1-2012. s.118-119.

Heumann, K.G., Gallus, S.M., Rädlinger G. og Vogl, J., 1998. "Accurate determination of element species by on-line coupling of chromatographic systems with ICP-MS using isotope dilution technique". Elsevier. Spectrochimica Acta Part B 53: s. 273-287.

Järup, L. 2003. "Hazards of heavy metal contamination". British Medical Bulletin, 68: s. 167-182.

Julshamn K., Duinker A. og Måge A., 2013a. "Rapport 2013. Innhold av kadmium og andre tungmetaller i filet og lever av fisk fanget i Saltenområdet, november-desember 2012. Nifes, s.1-14.

Julshamn K., Duinker A., Nilsen B.M., Nedreaas K. og Måge A., 2013b. "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. Elsevier, Marine Pollution Bulletin, 72: s. 264-273.

Julshamn K., Duinker A., Nilsen B.M., Frantzen S., Måge A., Valdersnes S. og Nedreaas K., 2013c. "A baseline study of levels of mercury, arsenic, cadmium and lead in Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) from different parts of the Barents Sea". Elsevier, Marine Pollution Bulletin 67: s. 187-195.

Julshamn K., Maage A., Norli H.S., Grobecker K.H., Jorhem L. og Fecher P., 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: s. 844-856.

Julshamn K., Ringdal O. og Braekkan O.R., 1982. "Mercury Concentration in Liver and Muscle of Cod (*Gadus morhua*) as an Evidence of Migration Between Waters with Different Levels of Mercury". Bull. Environm. Contam. Toxicol. 29: s. 544-549.

Julshamn K., Valdersnes S., Nilsen B. og Måge A., 2012. "Årsrapport 2011 Mattilsynet – Fremmedstoffer i villfisk med vekt på kystnære farvann: Delrapport II- Undersøkelser av hval. NIFES, 20 sider.

Klima- og forurensningsdirektoratet, 2010. "Handlingsplan for å redusere utslipp av kvikksølv". Oslo, Noreg. 23 sider.

Kryvi H., 1992. Kapittel 1 "Struktur", s. 7-33. "Fiskens Fysiologi", redigert av Døving K. og Reimers E., John Grieg Forlag.

Kvangarsnes K., 2010. "Kvikksølv i Brosme fiska langs den norske kyststraumen – samanlikning med brosmefiska nær U-864 utanfor Fedje og frå dei opne havområda". Masteroppgåve i miljøkjemi, Universitetet i Bergen, 109 sider.

Kvangarsnes K., Frantzen S., Julshamn K., Sæthre L.J., Nedreaas K. og Maage A., 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: s. 603-615.

Kvassnes A.J.S., Hobæk A., Johnsen T., Walday M., Sweetman A.K., Gundersen H., Rygg B., Brkljacic M. og Borgersen G., 2010. "Årsrapport for miljøovervåking rundt AF Miljøbase Vats for 2009". NIVA, rapportnummer 5928-2010. 159 sider.

Kvassnes A.J.S., Hobæk A. og Johnsen T., 2011. "Årsrapport for miljøovervåking rundt AF Miljøbase Vats for 2010". NIVA, rapportnummer 6113-2011. 67 sider.

Kvasnes A.J.S. og Hobæk A., 2012. "Årsrapport for miljøovervåking rundt AF Miljøbase Vats for 2011". NIVA, 6302-2012. 117 sider.

Kvasnes A.J.S., Hobæk A., Borgersen G., Gitmark J. og Johnsen T.M., 2013. "Årsrapport for miljøovervåking rundt AF Miljøbase Vats for 2012". NIVA, 6456-2012. 277 sider.

Larose, C., Canuel, R., Lucotte, M. og Di Giulio, R.T., 2008. "Toxicological effects of methylmercury on walleye (*Sander vitreus*) and perch (*Perca flavescens*) from lakes of the boreal forest". *ScienceDirect, Elsevier, CBP. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*. 147: s. 139-149.

Leah, R.T, Evans, S.J., Johnson, M.S. og Collings, S., 1991. *Marine pollution Bulletin*. 22: s. 172-175.

Lin F.M., Malaiyandi M. og Romero-Sierra C. 1975. "Toxicity of Methylmercury: Effects on Different Ages of Rats". *Buletin of Environmental Contamination & Toxology*. 14: s. 140-148.

Lindgren M., 2012. "Methylmercury in fish and shellfish – The distribution of methylmercury in fish and shellfish from the Hardangerfjord". Masteroppgåve i miljøkjemi, Universitetet i Bergen. 103 sider.

Lundebye A.K., Goksøyr A. og Måge A., 2001. Kapittel 10. "Kontaminanter", s. 173-185. Waagbø R., Espe M., Hamre K. og Lie Ø, 2001. "Fiskeernæring".

©Kystnæringen Forlag & Bokklubb AS, Bergen, Noreg.

Mathieson, S og McLusky, D.S., 1995. "Inter-Species Variation of Mercury in Skeletal Muscle of Five Fish Species from Inshore Waters of the Firth of Clyde, Scotland. Marine Pollution Bulletin. 30: s. 283-286.

Matportalen.no,

http://www.matportalen.no/matvaregrupper/tema/fisk_og_skalldyr/ikke_spis_fiskelever_fra_selvfangst-2, 18.11.2014, kl 22.00.

McAlpine D. og Araki S., 1958. "Minamata Disease, an unusual neurological disorder caused by contaminated fish". Special Articles, s. 629-631.

McIntyre, J.K. og Beauchamp, D.A., 2007. "Age and tropic position dominate bioaccumulation of mercury and organochlorines in the food web of Lake Washington". ScienceDirect, Science of the Total Environment. 372: s. 571-584.

McMeans, B.C., Svavarsson J., Dennard S. og Fisk A.T., 2010. "Diet and resource use among Greenland sharks (*Somniosus microcephalus*) and teleosts sampled in Icelandic waters, using $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and mercury". Can. J. Fish. Aquat. Sci.. 67: s. 1428-1438.

Mergler, D., Anderson, H.A., Chan, L.H.M., Mahaffey, K.R., Murray, M., Sakamoto, M. og Stern, A.H., 2007. "Methylmercury Exposure and Health Effects in Humans: A Worldwide Concern". Ambio Vol. 36: s. 1-11.

Miller, J.M., 2009. 'Chromatography Concepts and Contrasts', 2th edition. John Wiley and Sons, Inc. New Jersey, USA. 473 sider.

Måge, A., Bjelland, O., Olsvik, P., Nilsen, B., Julshamn, K., 2012. "Miljøgifter i fisk og fiskevarer 2011: Kvikksølv I djupvassfisk og skalldyr frå Hardangerfjorden samt miljøgifter i marine oljer". NIFES, 31 sider.

NIFES, 2013a. Metodebeskrivelse “197 – Multielement bestemmelse med induktivt koblet plasma-massespektrofotometri (ICP-MS) etter våtoppslutning i mikrobølgeovn”, 13 sider.

NIFES, 2013b. Metodebeskrivelse “390-Metylkvikksølvbestemmelse v/isotopfortynning, GCICPMS”, 12 sider.

Nilsen B.M., Frantzen S., Julshamn K., Nedreaas K. og Måge A., 2013a. “Rapport 2012; Basisundersøkelse av fremmedstoffer i sei (*Pollachius virens*) fra Nordsjøen Sluttrapport for prosjektet Fremmedstoffer i villfisk med vekt på kystnære farvann”. NIFES, 57 sider.

Nilsen B.M., Julshamn K., Duinker A., Nedreaas K. og Måge A. 2013b. “Rapport 2013; Basisundersøkelse av fremmedstoffer i sei (*Pollachius virens*) fra Norskehavet og Barentshavet Sluttrapport”. NIFES, 44 sider.

Norris D.O., Camp J.M., Maldonado T.A. og Woodling J.D., 2000. “Some aspects of hepatic function in feral brown trout, *Salmo trutta*, living in metal contaminated water”. *Biochemistry and Physiology Part C*, 127: s. 71-78.

Olsvik, P.A., Lindgren, M. og Maage, A. 2013. “Mercury contamination in deep-water fish: Transcriptional responses in tusk (*Brosme brosme*) from a fjord gradient”. *Aquatic Toxicology*, s. 172-185.

Pavia D.L., Lampman G.M., Kriz G.S., Vyvyan J.R. 2009. *Introduction to Spectroscopy*, 4th edition, Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, USA. 473 sider.

Pethon, P., 2005. “Aschehougs store fiskebok: Norges fisker i farger”, rev 5. H. Aschehougs & co. (W. Nygaard) A/S 1985. 468 sider.

Pirrone, N., Cinnirella, S., Feng, X., Finkelman, R.B., Friedli, H.R., Leaner, J., Mason, R., Mukherjee, A.B., Stracher, G.B. og Telmer, K. 2010. “Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources”. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10: s. 5951-5964.

Raldúa D., Díez S., Bayona J.P. og Barceló D., 2007. "Mercury levels and liver pathology in feral fish living in the vicinity of a mercury cell chlor-alkali factory". *Chemosphere*. 66: s. 1217-1225.

Sandberg P. og Holmefjord L., 2014. "Økonomiske og biologiske nøkkeltal frå ei norske fiskeria". Fiskeridirektoratet. 40 sider.

Sepúlveda, M.S., Gallagher, E.P. og Gross, T.S., 2004. "Physiological Changes in Largemouth Bass Exposed to Paper Mill Effluents Under Laboratory and Field Conditions". *Ecotoxicology*, 13, s. 291-301.

snl1 (Store norske leksikon), <https://snl.no/Odda>. 20.10.14, kl. 13.00.

snl 2 (Store norske leksikon), https://snl.no/Sauda_Smelteverk. 09.11.14, kl 17.00.

Statisica 12, 2013. StatSoft Inc. "Data analysis software system version 12". Tulsa, USA.

Streets, D.G., Devane, M.K., Lu, Z., Bond, T.C., Sunderland, E.M., Jacob, D.J. 2011. "All-Time Releases of Mercury to the Atmosphere from Human Activities". *Environmental Science & Technology*. ACS Publications, 45 (24), 10485-10491.

Thomas, R., 2001a. A beginner's guide to ICP-MS – Part III: The Plasma Source. *Spectroscopy* 16(6), s.26-30.

Thomas, R., 2001b. A beginner's guide to ICP-MS – Part IV: The Interface Region. *Spectroscopy* 16(7), s.26-28.

Trudel M. og Rasmussen J.B., 1997. "Modeling the Elimination of Mercury by Fish". *Environmental science & technology*, Vol 21, no 31, s. 1716 – 1722.

UNEP (United Nations Environment Pogreamme), 2013. "Global Mercury Assessment 2013". 32 sider.

UNEP/FAO, 1996. "Decision Guidance Documents", 15 sider.

Uriansrud F., Skei J., Mortensen T., Dahl I. og Wehde H., 2006. "Miljøovervåkning, strømundersøkelser, sedimentkartlegging og vurdering av sedimenttildekking - Fase 2 kartlegging ved U-864 høsten 2006". NIVA, rapportnummer 5279/2006. 52 sider.

Van der Oost R., Beyer J. og Vermeulen N.P.E., 2003. "Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review". *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 13: s.57-149.

Van Wallegghem J., Blanchfield P.J., og Hintelmann H., 2007. "Elimination of Mercury by Yellow Perch in the Wild". *Environmental science & technology*. 41: s. 5895-5901.

VKM (Vitenskapskomiteen for mattrygghet), 2005. "Uttalelse fra Faggruppen for forurensinger, naturlige toksiner og medisinrester i matkjeden – Vudering av nye resultater i Sørfjorden". Dokumentnummer 05/507-3, 13 sider.

WHO (World Health Organization), 2011. "Evaluation of Certain Contaminants in Food", Seventy-second report of the joint FAO / WHO Expert Committee on Food Additives. 105 sider.

8. Vedlegg

8.1 Forskjellane i parametrar mellom kjønn ved dei forskjellige lokalitetane for parametrane.

Tabell 8.1: Gjennomsnitt av lengde, vekt, levervekt, hepatosomatisk indeks og kondisjonsfaktor for brosmer av hannkjønn og hokjønn frå dei forskjellige lokalitetane, samt differansen mellom kjønn.

Kjønn	Lokalitet	Lengde av heil fisk (cm) ± SD, (min-maks)	Vekt av heil fisk (g) ± SD, (min-maks)	Levervekt (g) ± SD, (min-maks)	HSI ± SD, (min-maks)	Kondisjonsfaktor (g/cm ³) ± SD, (min-maks)
Hannkjønn	Vatsfjorden	77 ± 7 (68 – 85)	5813 ± 1700 (3433-7289)	173 ± 100 (65 – 298)	2,84 ± 1,07 (1,77-4,27)	1,24 ± 0,15 (1,09 – 1,42)
Hokjønn		73 ± 10 (56 – 82)	5049 ± 1900 (2331-7455)	177 ± 110 (52 – 280)	3,72 ± 1,95 (0,70-5,86)	1,23 ± 0,16 (1,07 – 1,46)
Differanse mellom kjønn		4	764	4	0,88	0,01
Hannkjønn	Ryfylke	77 ± 13 (53 – 93)	6637 ± 2800 (1600-9833)	222 ± 150 (39 – 464)	3,39 ± 1,59 (1,45-6,73)	1,36 ± 0,23 (1,07 – 1,91)
Hokjønn		69 ± 14 (46 – 98)	4395 ± 2300 (1682-9802)	194 ± 110 (41 – 334)	4,73 ± 3,33 (2,41-13,8)	1,27 ± 0,21 (1,02 – 1,73)
Differanse mellom kjønn		8	2242	28	1,34	0,09
Hannkjønn	Indre Boknafjord	76 ± 15 (49 – 92)	5891 ± 3200 (1304-10357)	234 ± 210 (4,6 – 549)	3,26 ± 2,09 (0,35-6,37)	1,21 ± 0,10 (1,10 – 1,42)
Hokjønn		68 ± 12 (46 – 95)	4133 ± 2300 (1315-10442)	170 ± 150 (36 – 637)	3,93 ± 1,53 (1,68-7,23)	1,19 ± 0,15 (0,90 – 1,43)
Differanse mellom kjønn		8	1758	64	0,67	0,02
Hannkjønn	Hardangerfjorden	56 ± 12 (32 – 87)	2059 ± 1700 (297-8093)	84 ± 130 (1,9 – 599)	3,02 ± 1,66 (0,62-7,40)	1,00 ± 0,09 (0,85 – 1,23)
Hokjønn		55 ± 10 (46 – 73)	2064 ± 1500 (1006-4926)	81 ± 80 (16 – 232)	3,48 ± 1,17 (1,59-4,72)	1,11 ± 0,09 (1,02 – 1,27)
Differanse mellom kjønn		1	5	3	0,46	0,11
Hannkjønn	Lofoten	48 ± 8 (40 – 73)	1148 ± 900 (575-4180)	35 ± 40 (12 – 152)	2,87 ± 1,18 (1,81-5,33)	1,01 ± 0,09 (0,91 – 1,15)
Hokjønn		54 ± 4 (41 – 56)	1797 ± 380 (666-2028)	68 ± 20 (15 – 152)	3,53 ± 0,76 (1,90-4,55)	1,04 ± 0,07 (0,90 – 1,18)
Differanse mellom kjønn		6	649	33	0,66	0,03
Hannkjønn	Alle lokalitetar	65 ± 16 (32-93)	3822 ± 3000 (297-10357)	139 ± 150 (1,9 – 599)	3,23 ± 1,56 (0,35-7,40)	1,13 ± 0,19 (0,85 – 1,91)
Hokjønn		63 ± 14 (41-98)	3369 ± 2300 (666-10442)	133 ± 130 (15 – 637)	3,76 ± 1,94 (0,70-13,8)	1,16 ± 0,17 (0,90 – 1,73)
Differanse mellom kjønn		2	453	6	0,53	0,03

Tabell 8.2: Gjennomsnitt av konsentrasjon av total-og-metylkvikksølv i filet og lever av brosmer av hannkjønn og hokjønn frå dei forskjellige lokalitetane, samt differansen mellom kjønna.

Kjønn	Lokalitet	Konsentrasjon av total Hg i filet (mg/kg) ± SD, (min-maks)	Konsentrasjon av MeHg i filet (mg/kg) ± SD, (min-maks)	Konsentrasjon av Total Hg i lever (mg/kg) ± SD, (min-maks)	Konsentrasjon av MeHg i lever (mg/kg) ± SD, (min-maks)
Hannkjønn	Vatsfjorden	0,31 ± 0,10 (0,20 – 0,43)	0,32 ± 0,12 (0,18 – 0,44)	0,14 ± 0,05 (0,057 – 0,18)	0,079 ± 0,02 (0,041 – 0,098)
Hokjønn		0,48 ± 0,20 (0,18 – 0,11)	0,50 ± 0,20 (0,17 – 0,70)	0,29 ± 0,23 (0,073 – 0,58)	0,094 ± 0,03 (0,067 – 0,14)
Differanse mellom kjønn		0,17	0,18	0,15	0,015
Hannkjønn	Ryfylke	0,60 ± 0,20 (0,21 – 0,85)	0,51 ± 0,18 (0,18 – 0,76)	0,38 ± 0,21 (0,10 – 0,68)	0,15 ± 0,07 (0,060 – 0,26)
Hokjønn		0,59 ± 0,36 (0,13 – 1,3)	0,49 ± 0,32 (0,11 – 1,2)	0,71 ± 0,77 (0,038 – 2,2)	0,19 ± 0,16 (0,028 – 0,50)
Differanse mellom kjønn		0,01	0,02	0,33	0,04
Hannkjønn	Indre Boknafjord	0,47 ± 0,24 (0,18 – 0,95)	0,44 ± 0,22 (0,16 – 0,89)	0,38 ± 0,44 (0,14 – 1,5)	0,17 ± 0,14 (0,062 – 0,50)
Hokjønn		0,55 ± 0,23 (0,19 – 1,2)	0,51 ± 0,21 (0,19 – 1,1)	0,55 ± 0,53 (0,11 – 2,3)	0,20 ± 0,12 (0,065 – 0,51)
Differanse mellom kjønn		0,08	0,07	0,17	0,03
Hannkjønn	Hardangerfjorden	0,63 ± 0,41 (0,17 – 1,6)	0,65 ± 0,42 (0,18 – 1,7)	0,84 ± 0,90 (0,20 – 3,7)	0,29 ± 0,22 (0,061 – 0,79)
Hokjønn		0,62 ± 0,32 (0,24 – 1,1)	0,63 ± 0,31 (0,25 – 1,1)	1,67 ± 2,10 (0,19 – 5,2)	0,32 ± 0,24 (0,094 – 0,61)
Differanse mellom kjønn		0,01	0,02	0,83	0,03
Hannkjønn	Lofoten	0,17 ± 0,09 (0,098 – 0,39)	0,17 ± 0,10 (0,097 – 0,40)	0,11 ± 0,03 (0,052 – 0,15)	0,051 ± 0,015 (0,034 -0,083)
Hokjønn		0,19 ± 0,05 (0,11 – 0,24)	0,19 ± 0,04 (0,12 – 0,24)	0,088 ± 0,06 (0,051 – 0,25)	0,051 ± 0,021 (0,024 – 0,089)
Differanse mellom kjønn		0,02	0,02	0,022	0
Hannkjønn	Alle lokalitetar	0,47 ± 0,32 (0,098 – 1,6)	0,46 ± 0,32 (0,097 – 1,7)	0,45 ± 0,63 (0,052 – 3,7)	0,17 ± 0,17 (0,034 – 0,79)
Hokjønn		0,47 ± 0,29 (0,11 – 1,3)	0,44 ± 0,27 (0,11 – 1,2)	0,59 ± 0,92 (0,038 – 5,2)	0,17 ± 0,15 (0,024 – 0,61)
Differanse mellom kjønn		0	0,02	0,14	0

Tabell 8.3: Gjennomsnitt av andel metylkvikksølv i filet og lever, og lever-muskel indeks for total- og metylkvikksølv for brosmer av hannkjønn og hokjønn frå dei forskjellige lokalitetane, samt differansen mellom kjønn.

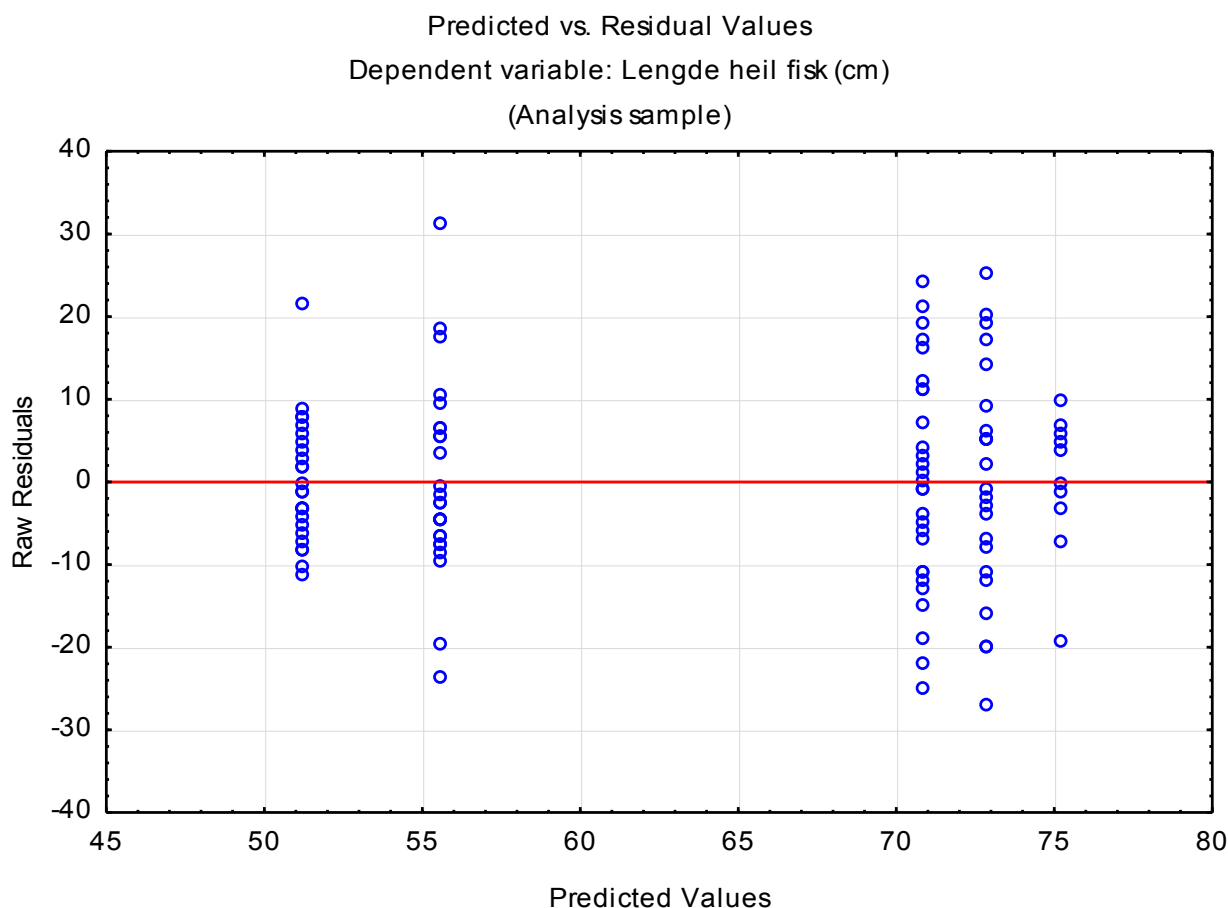
Kjønn	Lokalitet	Andel MeHg i filet (%) ± SD, (min-maks)	Andel MeHg i lever (%) ± SD, (min-maks)	Lever-muskel indeks for total Hg ± SD, (min-maks)	Lever-muskel indeks for MeHg ± SD, (min-maks)
Hannkjønn	Vatsfjorden	101 ± 8 (90 – 110)	59 ± 10 (47 – 72)	0,47 ± 0,22 (0,29 – 0,86)	0,26 ± 0,07 (0,20 – 0,38)
Hokjønn		103 ± 7 (94 – 110)	52 ± 34 (22 – 96)	0,53 ± 0,28 (0,22 – 0,84)	0,22 ± 0,11 (0,13 – 0,41)
Differanse mellom kjønn		2	7	0,06	0,04
Hannkjønn	Ryfylke	86 ± 9 (68 – 96)	46 ± 15 (30 – 75)	0,64 ± 0,33 (0,24 – 1,3)	0,35 ± 0,28 (0,15 – 1,2)
Hokjønn		82 ± 8 (62 – 92)	45 ± 30 (17 – 110)	0,90 ± 0,61 (0,29 – 2,2)	0,36 ± 0,13 (0,16 – 0,58)
Differanse mellom kjønn		4	1	0,26	0,01
Hannkjønn	Indre Boknafjord	93 ± 5 (88 – 100)	51 ± 13 (33 – 71)	0,68 ± 0,37 (0,30 – 1,6)	0,35 ± 0,14 (0,16 – 0,56)
Hokjønn		92 ± 6 (80 – 100)	46 ± 17 (15 – 83)	0,88 ± 0,45 (0,44 – 1,9)	0,38 ± 0,12 (0,19 – 0,63)
Differanse mellom kjønn		1	5	0,20	0,03
Hannkjønn	Hardanger- fjorden	104 ± 3 (100 – 110)	40 ± 15 (17 – 70)	1,19 ± 0,46 (0,51 – 2,5)	0,42 ± 0,16 (0,21 – 0,81)
Hokjønn		103 ± 4 (98 – 110)	35 ± 18 (12 – 58)	1,97 ± 1,79 (0,59 – 4,7)	0,45 ± 0,19 (0,24 – 0,71)
Differanse mellom kjønn		1	5	0,78	0,03
Hannkjønn	Lofoten	102 ± 5 (91 – 110)	48 ± 7 (42 – 69)	0,66 ± 0,12 (0,38 – 0,78)	0,30 ± 0,097 (0,16 – 0,49)
Hokjønn		100 ± 5 (94 – 110)	60 ± 10 (32 – 68)	0,51 ± 0,20 (0,43 – 1,1)	0,31 ± 0,078 (0,20 – 0,44)
Differanse mellom kjønn		2	12	0,15	0,01
Hannkjønn	Alle lokalitetar	98 ± 9 (68 – 110)	49 ± 15 (17 – 75)	0,79 ± 0,45 (0,24 – 2,5)	0,36 ± 0,17 (0,15 – 1,2)
Hokjønn		94 ± 10 (62 – 110)	46 ± 21 (12 – 110)	0,93 ± 0,80 (0,22 – 4,7)	0,35 ± 0,13 (0,13 – 0,71)
Differanse mellom kjønn		4	3	0,14	0,01

8.2 Statistikk

Under er resultatene frå einvegs variansanalyse (ANOVA) og for 'comparing multiple independent samples (groups)' for lengde, vekt, levervekt, kondisjonsfaktor, hepatosomatisk indeks, totalkvikksølvkonsentrasjon for filet og lever, metylkvikksølvkonsentrasjon for filet og lever, og lever-muskel indeks for totalkvikksølv og metylkvikksølv. Levenes test og residualplot blei brukte til å sjekke om det var homogene variansar. Dersom det var homogene variansar blei Tukey's HSD test brukt, og dersom det ikkje var homogene variansar blei Kruskal-Wallis ANOVA test brukt.

Lengde

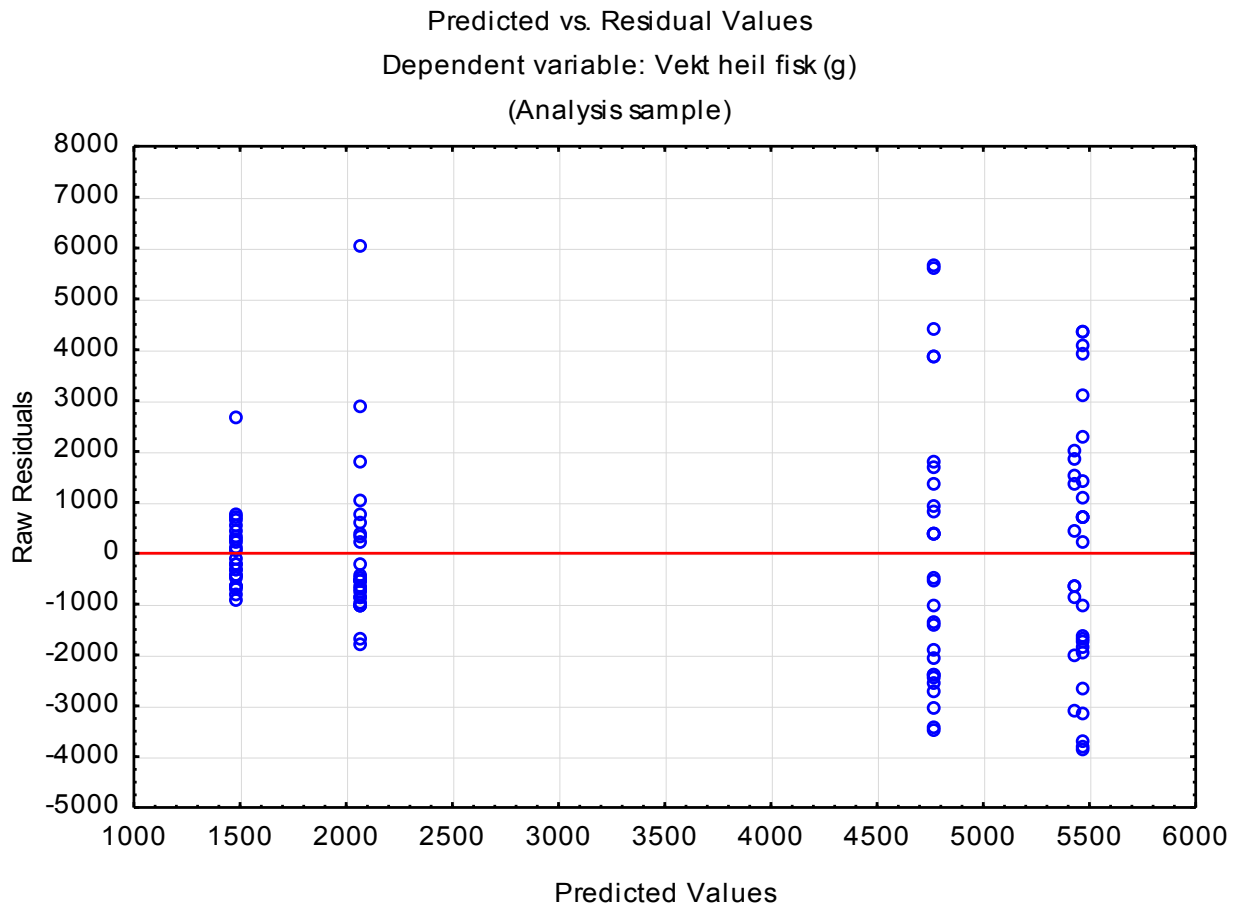
Levene's Test for Homogeneity of Variances (AlleH)				
Effect: "Uttakssted"				
Degrees of freedom for all F's: 4, 107				
	MS Effect	MS Error	F	p
Lengde heil fisk (cm)	129,4136	46,95686	2,756006	0,031597



Multiple Comparisons p values (2-tailed); Lengde heil fisk (cm) (AlleHg2)					
Independent (grouping) variable: Lokalitet					
Kruskal-Wallis test: H (4, N= 112) =48,67513 p =,0000					
Depend.: Lengde heil fisk (cm)	Vatsfjorden R:83,700	Ryfylke R:75,826	Indre Boknafjord R:72,375	Hardangerfjorden R:39,596	Lofoten R:27,640
Vatsfjorden		1,000000	1,000000	0,002626	0,000040
Ryfylke	1,000000		1,000000	0,000973	0,000003
Indre Boknafjord	1,000000	1,000000		0,002106	0,000006
Hardangerfjorden	0,002626	0,000973	0,002106		1,000000
Lofoten	0,000040	0,000003	0,000006	1,000000	

Vekt

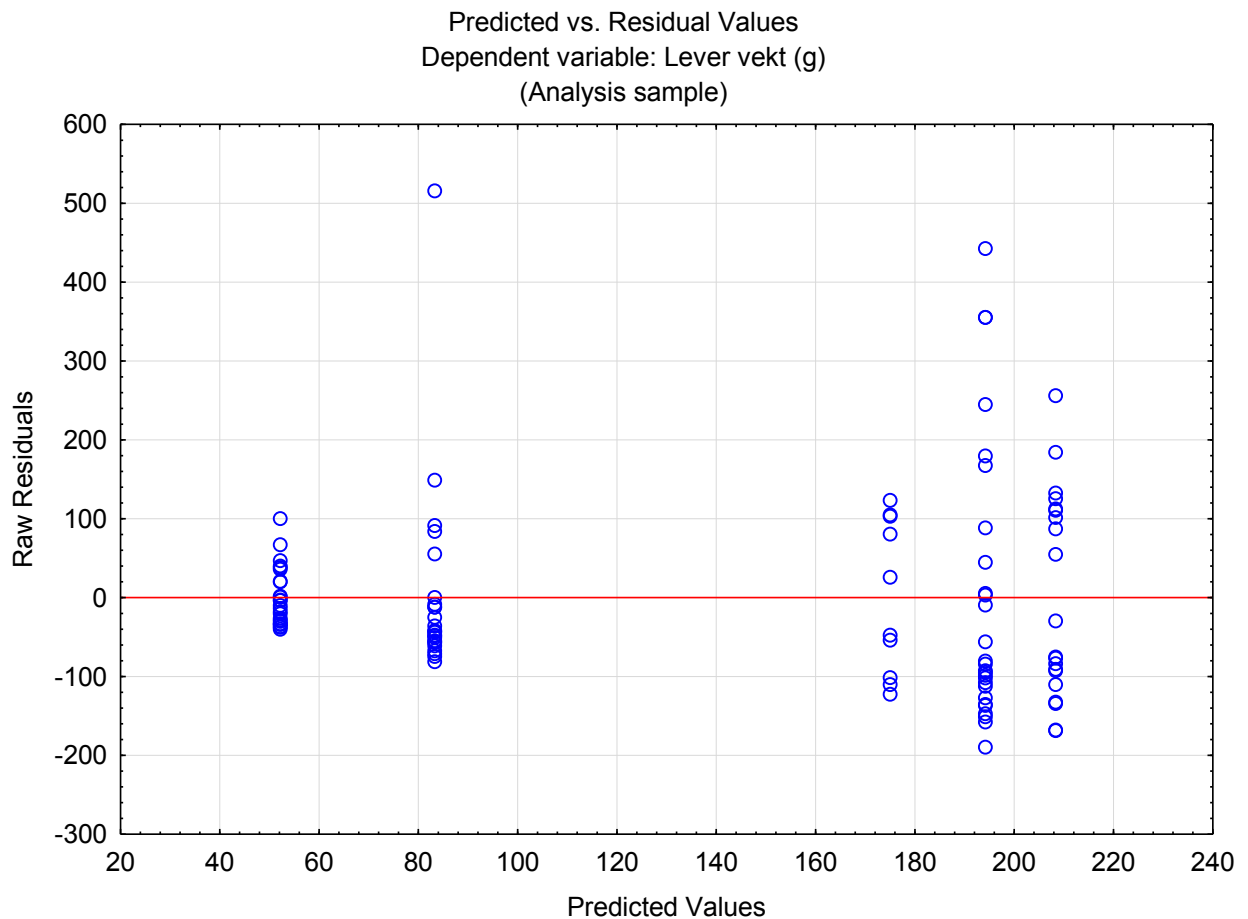
Levene's Test for Homogeneity of Variances (All effects)				
Effect: "Uttakssted"				
Degrees of freedom for all F's: 4, 107				
	MS Effect	MS Error	F	p
Vekt heil fisk (g)	1453870	1376475	10,5622	0,00000



Multiple Comparisons p values (2-tailed); Vekt heil fisk (g) (All effects)					
Independent (grouping) variable: Uttakssted					
Kruskal-Wallis test: H (4, N= 112) =57,14825 p =,0000					
Depend.:	Vatsfjorden	Ryfylke	Indre Boknafjord	Hardangerfjorden	Lofoten
Vekt heil fisk (g)	R:83,600	R:79,739	R:72,964	R:36,923	R:26,200
Vatsfjorden		1,00000	1,00000	0,00112	0,00002
Ryfylke	1,00000		1,00000	0,00004	0,00000
Indre Boknafjord	1,00000	1,00000		0,00046	0,00000
Hardangerfjorden	0,00112	0,00004	0,00046		1,00000
Lofoten	0,00002	0,00000	0,00000	1,00000	

Levervekt

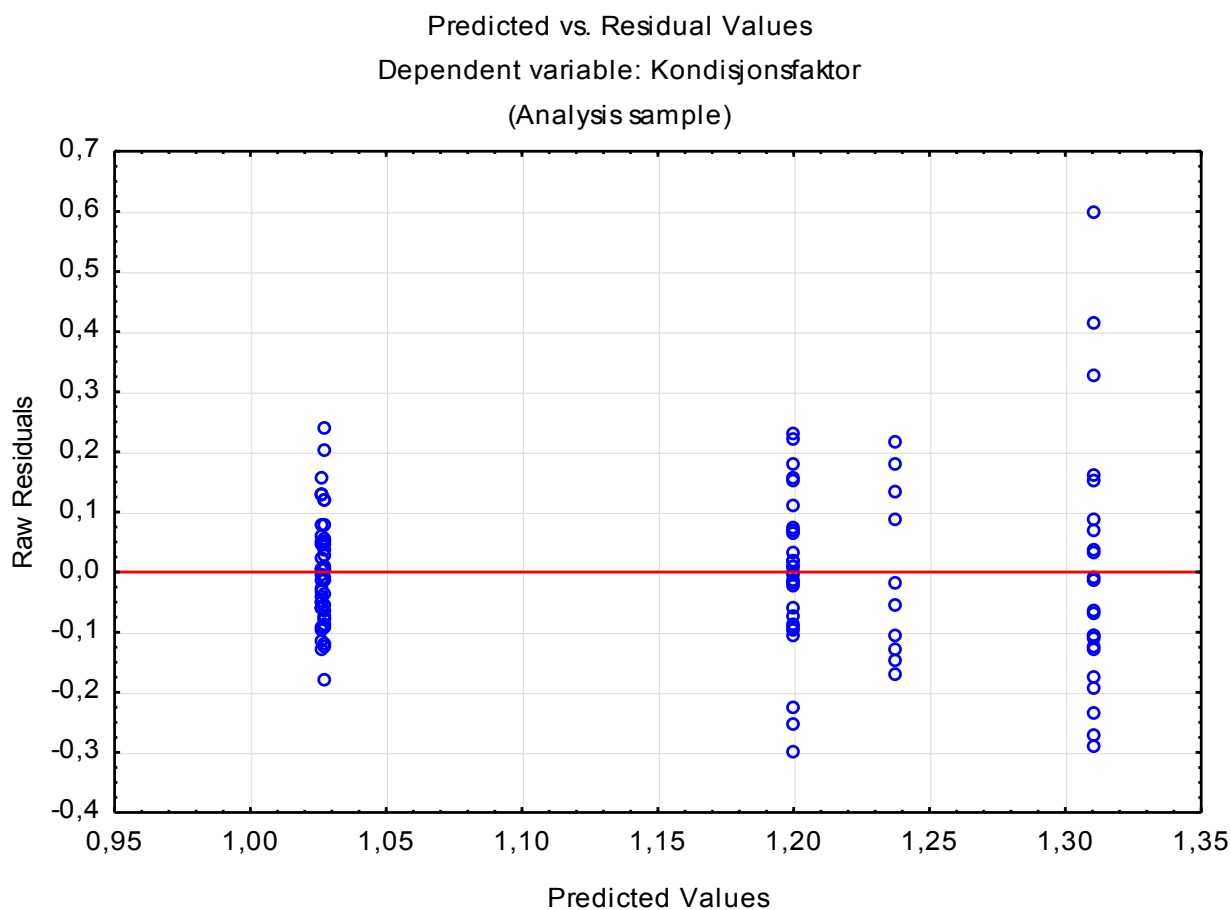
Levene's Test for Homogeneity of Variances (AlleHg)				
Effect: "Uttakssted"				
Degrees of freedom for all F's: 4, 102				
	MS Effect	MS Error	F	p
Lever vekt (g)	45003,3	5760,04	7,81301	0,00001



Multiple Comparisons p values (2-tailed); Lever vekt (g) (AlleHg)					
Independent (grouping) variable: Uttakssted					
Kruskal-Wallis test: $H(4, N=107) = 37,58341$ $p = ,0000$					
Depend.:	Vatsfjorden	Ryfylke	Indre Boknafjord	Hardangerfjorden	Lofoten
Lever vekt (g)	R:71,400	R:75,750	R:67,259	R:36,920	R:32,400
Vatsfjorden		1,00000	1,00000	0,02982	0,00782
Ryfylke	1,00000		1,00000	0,00030	0,00003
Indre Boknafjord	1,00000	1,00000		0,00427	0,00051
Hardangerfjorden	0,02982	0,00030	0,00427		1,00000
Lofoten	0,00782	0,00003	0,00051	1,00000	

Kondisjonsfaktor

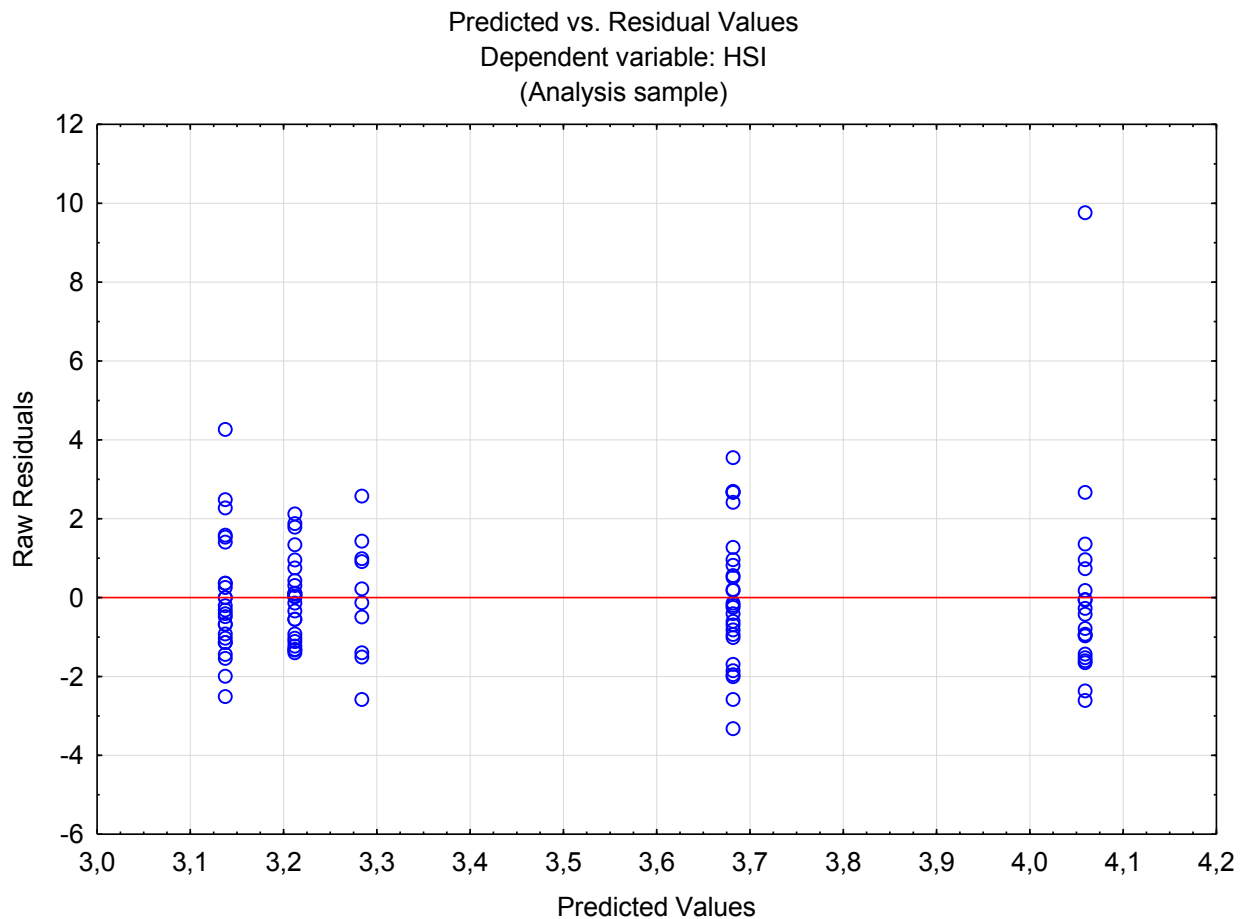
	Levene's Test for Homogeneity of Variances (AlleH Effect: "Uttakssted" Degrees of freedom for all F's: 4, 107			
	MS Effect	MS Error	F	p
Kondisjonsfaktor	0,035971	0,007600	4,733833	0,001481



	Multiple Comparisons p values (2-tailed); Kondisjonsfaktor (AlleHg2) Independent (grouping) variable: Lokalitet Kruskal-Wallis test: H (4, N= 112) =52,68584 p =,0000				
Depend.: Kondisjonsfaktor	Vatsfjorden R:76,100	Ryfylke R:82,957	Indre Boknafjord R:71,464	Hardangerfjorden R:32,769	Lofoten R:32,240
Vatsfjorden		1,000000	1,000000	0,003362	0,003068
Ryfylke	1,000000		1,000000	0,000000	0,000000
Indre Boknafjord	1,000000	1,000000		0,000121	0,000114
Hardangerfjorden	0,003362	0,000000	0,000121		1,000000
Lofoten	0,003068	0,000000	0,000114	1,000000	

Hepatosomatisk indeks (HSI)

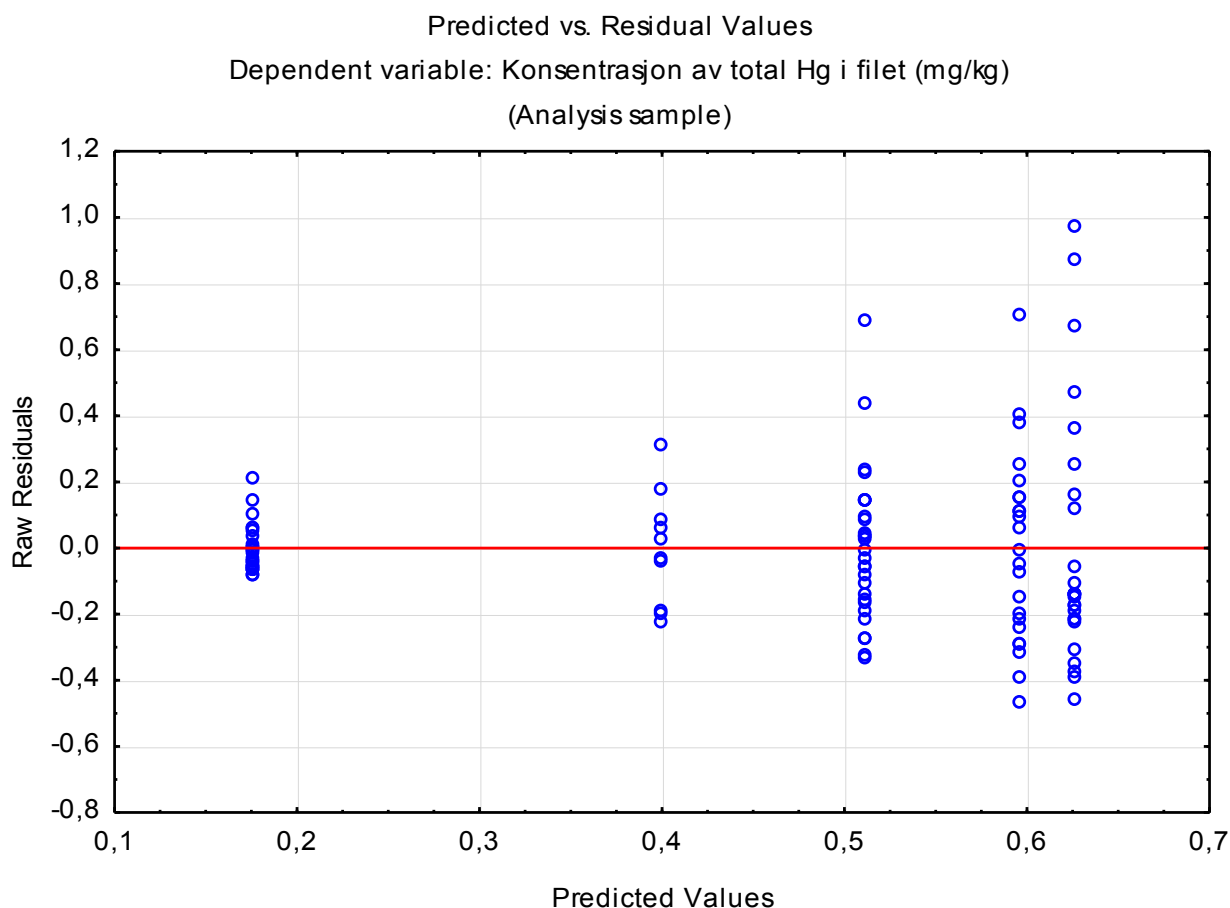
Levene's Test for Homogeneity of Variances (AlleH)				
Effect: "Uttakssted"				
Degrees of freedom for all F's: 4, 102				
	MS Effect	MS Error	F	p
HSI	1,896404	1,485069	1,276980	0,283972



Tukey HSD test; variable HSI (AlleHg)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = 3,0953, df = 102,00						
Cell No.	Uttakssted	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		3,2839	4,0596	3,6821	3,1376	3,2124
1	Vatsfjorden		0,785817	0,973064	0,999516	0,999972
2	Ryfylke	0,785817		0,949738	0,410405	0,497640
3	Indre Boknafjord	0,973064	0,949738		0,798404	0,871588
4	Hardangerfjorden	0,999516	0,410405	0,798404		0,999897
5	Lofoten	0,999972	0,497640	0,871588	0,999897	

Totalkvikksølvkonsentrasjon i filet

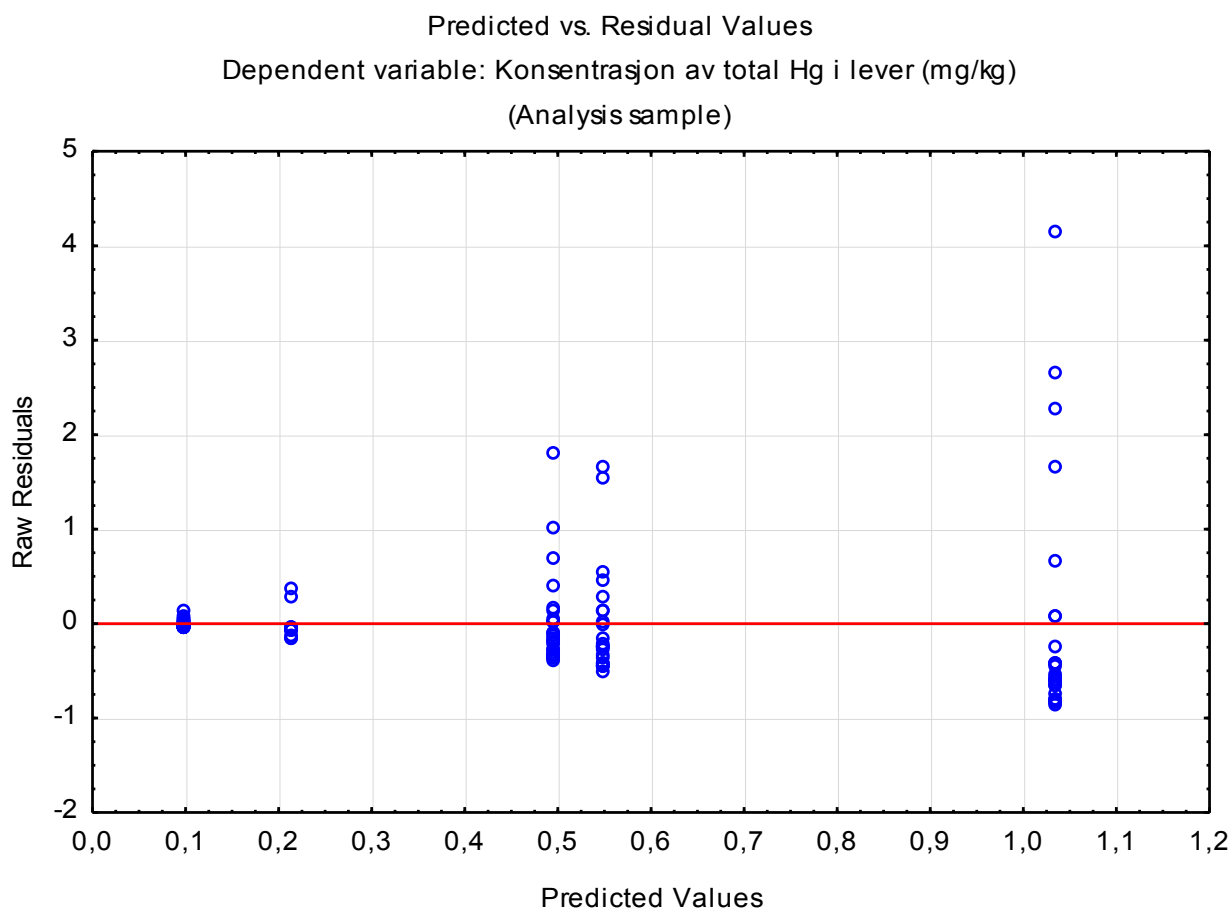
	Levene's Test for Homogeneity of Variances (AlleH Effect: "Uttakssted" Degrees of freedom for all F's: 4, 107			
	MS Effect	MS Error	F	p
Konsentrasjon av total Hg i filet (mg/kg)	0,211018	0,024767	8,520258	0,000005



Depend.: Konsentrasjon av total Hg i filet (mg/kg)	Multiple Comparisons p values (2-tailed); Konsentrasjon av total Hg i filet (mg/kg) (AlleHg) Independent (grouping) variable: Uttakssted Kruskal-Wallis test: $H(4, N=112) = 49,71816$ $p = ,0000$				
	Vatsfjorden R:52,950	Ryfylke R:72,630	Indre Boknafjord R:65,982	Hardangerfjorden R:71,019	Lofoten R:17,360
Vatsfjorden	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,034015
Ryfylke	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,000000
Indre Boknafjord	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,000000
Hardangerfjorden	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,000000
Lofoten	0,034015	0,000000	0,000000	0,000000	

Totalkvikksølvkonsentrasjon i lever

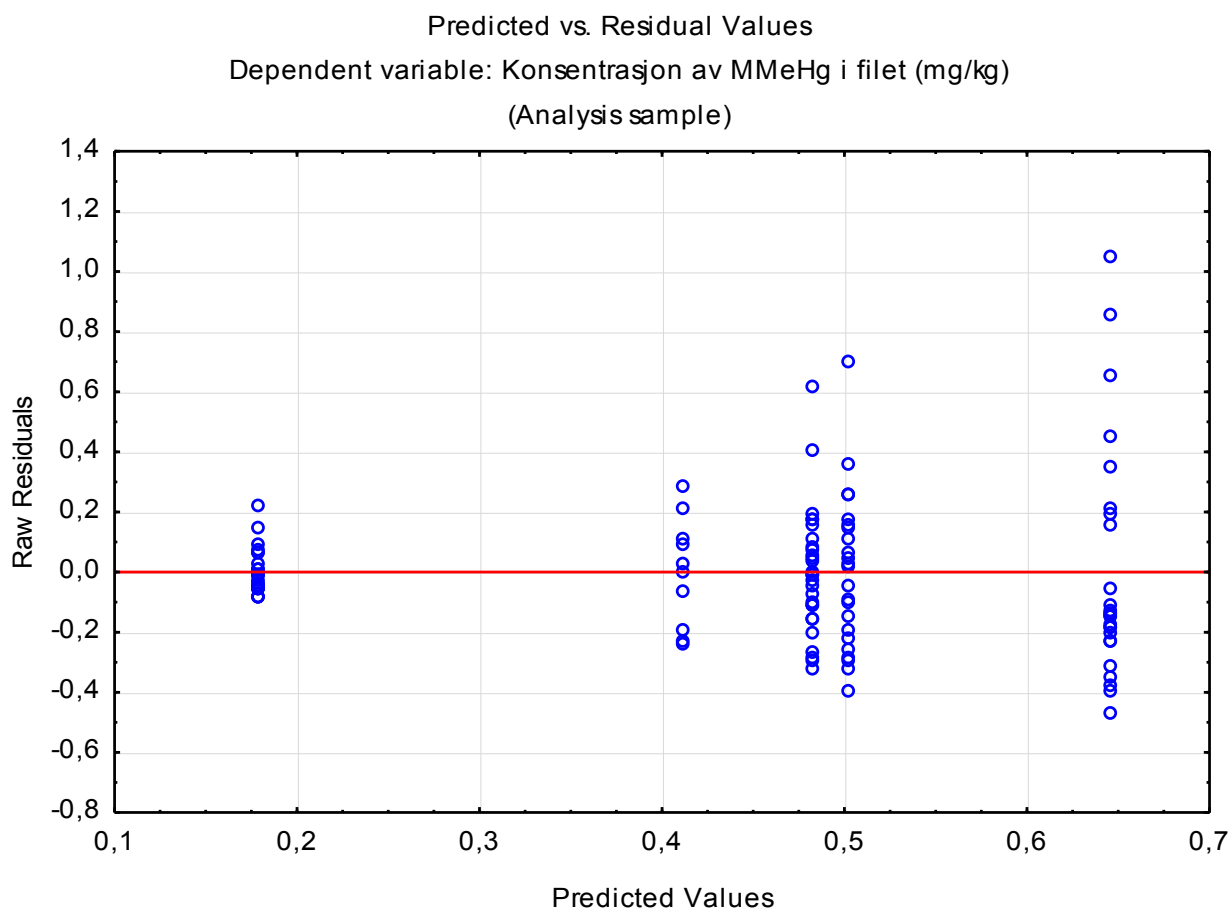
	Levene's Test for Homogeneity of Variances (Aller Effect: "Uttakssted") Degrees of freedom for all F's: 4, 105			
	MS Effect	MS Error	F	p
Konsentrasjon av total Hg i lever (mg/kg)	2,618469	0,256374	10,21349	0,000001



Depend.: Konsentrasjon av total Hg i lever (mg/kg)	Multiple Comparisons p values (2-tailed); Konsentrasjon av total Hg i lever (mg/kg) (Aller Effect: "Uttakssted") Kruskal-Wallis test: H (4, N= 110) =54,07661 p =,0000				
	Vatsfjorden R:40,250	Ryfylke R:63,283	Indre Boknafjord R:64,865	Hardangerfjorden R:80,154	Lofoten R:19,060
Vatsfjorden		0,56616	0,38094	0,00774	0,75829
Ryfylke	0,56616		1,00000	0,64645	0,00001
Indre Boknafjord	0,38094	1,00000		0,83970	0,00000
Hardangerfjorden	0,00774	0,64645	0,83970		0,00000
Lofoten	0,75829	0,00001	0,00000	0,00000	

Metylkvikksølvkonsentrasjon i filet

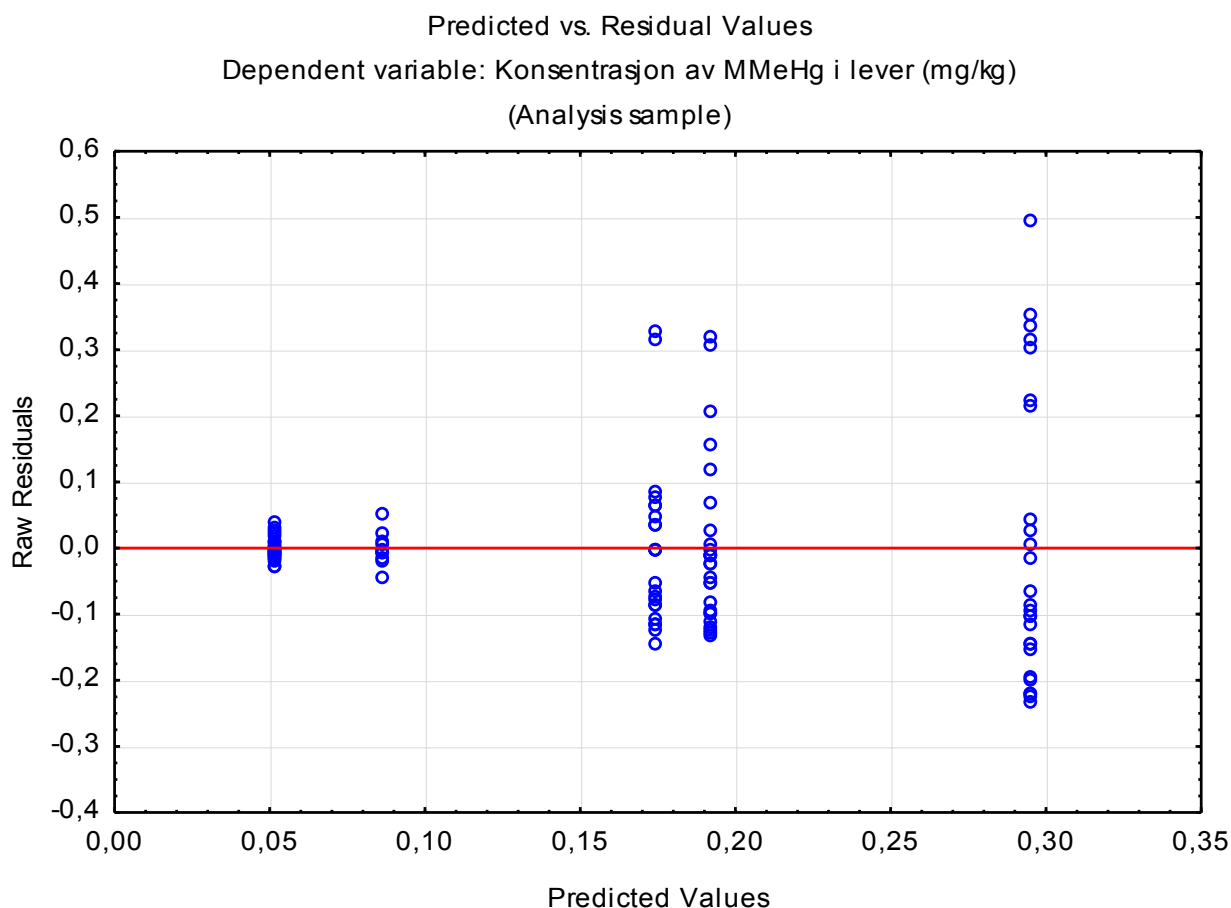
	Levene's Test for Homogeneity of Variances (AlleH Effect: "Uttakssted" Degrees of freedom for all F's: 4, 107			
	MS Effect	MS Error	F	p
Konsentrasjon av MMeHg i filet (mg/kg)	0,20299	0,024117	8,417049	0,000006



Depend.: Konsentrasjon av MMeHg i filet (mg/kg)	Multiple Comparisons p values (2-tailed); Konsentrasjon av MMeHg i filet (mg/kg) (AlleHg) Independent (grouping) variable: Uttakssted Kruskal-Wallis test: H (4, N= 112) =46,30722 p =,0000				
	Vatsfjorden R:56,550	Ryfylke R:66,326	Indre Boknafjord R:65,589	Hardangerfjorden R:74,442	Lofoten R:18,600
Vatsfjorden		1,00000	1,00000	1,00000	0,017894
Ryfylke	1,00000		1,00000	1,00000	0,000004
Indre Boknafjord	1,00000	1,00000		1,00000	0,000007
Hardangerfjorden	1,00000	1,00000	1,00000		0,000000
Lofoten	0,017894	0,000004	0,000007	0,000000	

Metylkvikksølvkonsentrasjon i lever

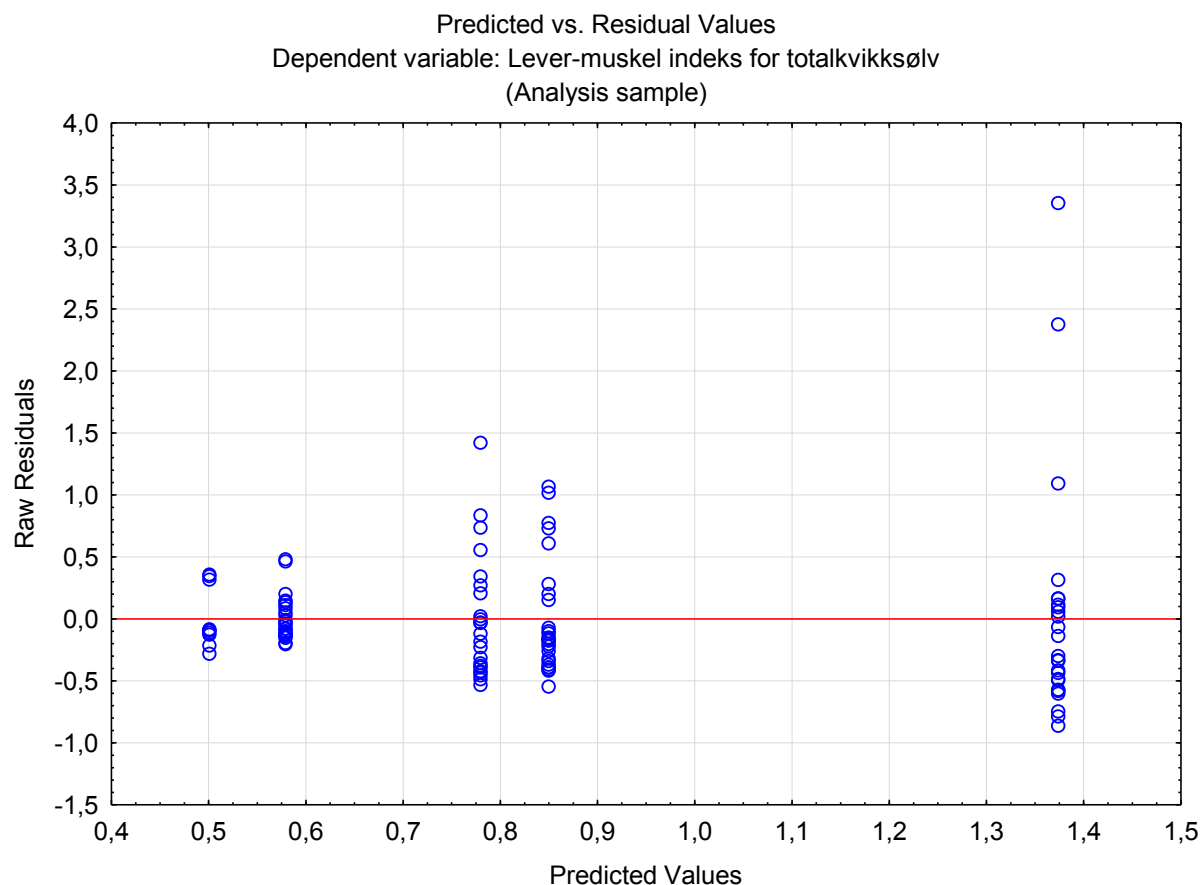
	Levene's Test for Homogeneity of Variances (AlleHg) Effect: "Uttakssted" Degrees of freedom for all F's: 4, 105			
	MS Effect	MS Error	F	p
Konsentrasjon av MMeHg i lever (mg/kg)	0,10026	0,00643	15,5825	0,00000



Depend.: Konsentrasjon av MMeHg i lever (mg/kg)	Multiple Comparisons p values (2-tailed); Konsentrasjon av MMeHg i lever (mg/kg) (AlleHg) Independent (grouping) variable: Uttakssted Kruskal-Wallis test: H (4, N= 110) =54,92871 p =,0000				
	Vatsfjorden R:42,000	Ryfylke R:62,413	Indre Boknafjord R:67,692	Hardangerfjorden R:78,519	Lofoten R:17,920
	Vatsfjorden	0,91131	0,30420	0,02092	0,43637
	Ryfylke		1,00000	0,77746	0,00001
	Indre Boknafjord	0,30420		1,00000	0,00000
	Hardangerfjorden	0,02092	0,77746		0,00000
Lofoten	0,43637	0,00001	0,00000	0,00000	

Lever-muskel indeks for totalkvikksølv

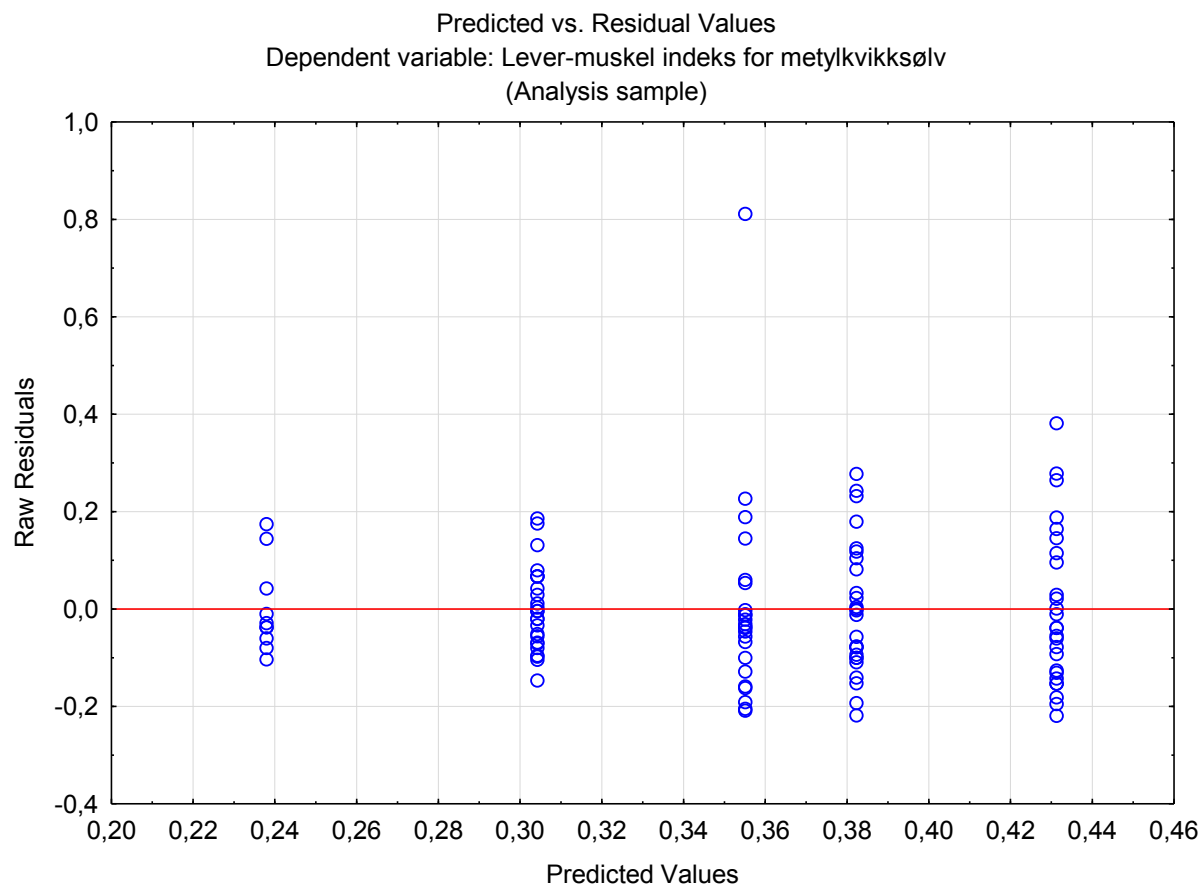
		Levene's Test for Homogeneity of Variances (AlleH Effect: "Uttakssted") Degrees of freedom for all F's: 4, 105			
		MS Effect	MS Error	F	p
Lever-muskel indeks		0,739100	0,170942	4,323690	0,002812



Depend.: Lever-muskel indeks for totalkvikksølv	Multiple Comparisons p values (2-tailed); Forholdet mellom total Hg imellom lever og filet (AlleHg) Independent (grouping) variable: Uttakssted Kruskal-Wallis test: H (4, N= 110) =32,11527 p =,0000				
	Vatsfjorden R:29,200	Ryfylke R:49,804	Indre Boknafjord R:58,404	Hardangerfjorden R:82,481	Lofoten R:40,180
Vatsfjorden		0,88140	0,13877	0,00007	1,00000
Ryfylke	0,88140		1,00000	0,00345	1,00000
Indre Boknafjord	0,13877	1,00000		0,06499	0,41390
Hardangerfjorden	0,00007	0,00345	0,06499		0,00002
Lofoten	1,00000	1,00000	0,41390	0,00002	

Lever-muskel indeks for metylkvikksølv

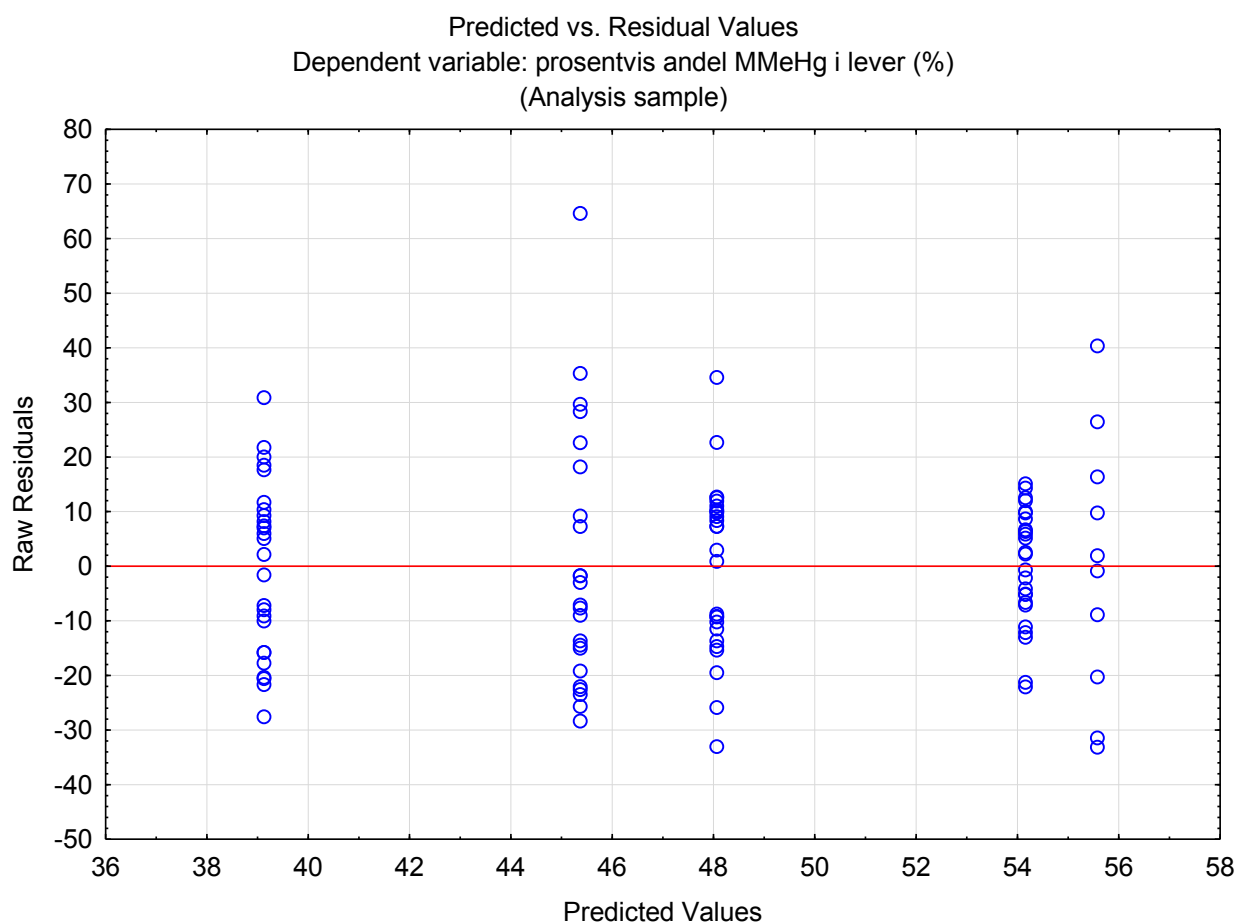
Levene's Test for Homogeneity of Variances (All Effects)				
Effect: "Uttakssted"				
Degrees of freedom for all F's: 4, 105				
	MS Effect	MS Error	F	p
Lever-muskel indeks for metylkvikksølv	0,01827	0,01005	1,81840	0,13074



Tukey HSD test; variable Lever-muskel indeks for metylkvikksølv (All Effects)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = ,02239, df = 105,00						
Cell No.	Uttakssted	{1} ,23796	{2} ,35515	{3} ,38231	{4} ,43130	{5} ,30431
1	Vatsfjorder		0,24204	0,07916	0,00669	0,75990
2	Ryfylke	0,24204		0,96921	0,39186	0,76511
3	Indre Boknafjord	0,07916	0,96921		0,76243	0,34495
4	Hardangerfjorder	0,00669	0,39186	0,76243		0,02517
5	Lofoter	0,75990	0,76511	0,34495	0,02517	

Prosentvis andel metylkvikksølv i lever

	Levene's Test for Homogeneity of Variances (AlleH Effect: "Uttakssted" Degrees of freedom for all F's: 4, 105			
	MS Effect	MS Error	F	p
prosentvis andel MMeHg i lever (%)	358,3980	93,1000	3,84960	0,00585



	Tukey HSD test; variable prosentvis andel MMeHg i lever (%) (AlleHg) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 310,85, df = 105,00					
Cell No.	Uttakssted	{1} 55,584	{2} 45,375	{3} 48,069	{4} 39,127	{5} 54,158
1	Vatsfjorden		0,546415	0,782050	0,096610	0,999567
2	Ryfylke	0,546415		0,983698	0,729365	0,423789
3	Indre Boknafjord	0,782050	0,983698		0,362886	0,732310
4	Hardangerfjorden	0,096610	0,729365	0,362886		0,024226
5	Lofoten	0,999567	0,423789	0,732310	0,024226	

Resultata frå Analysis of covariance som blei brukt med bonferroni-korreksjon. Det var fem lokalitetar, og det blei gjort 10 testar. Det er derfor berre signifikant forskjell dersom p er mindre enn $0,05 / 10 = 0,005$. Signifikante forskjellar er markert i raudt og ikkje-signifikante forskjellar er markert i grønt.

Resultat frå analysis of covariance, for totalkvikksølvkonsentrasjon i filet

Lokalitet	Vatsfjorden	Ryfylke	Indre Boknafjord	Hardangerfjorden	Lofoten
Vatsfjorden	---	0,00675	0,00806	0,00000	0,98437
Ryfylke	0,00675	---	0,51502	0,00010	0,00038
Indre Boknafjord	0,00806	0,51502	---	0,00000	0,00003
Hardangerfjorden	0,00000	0,00010	0,00000	---	0,00000
Lofoten	0,98437	0,00038	0,00003	0,00000	---

Resultat frå analysis of covariance, for metylkvikksølvkonsentrasjon i filet

Lokalitet	Vatsfjorden	Ryfylke	Indre Boknafjord	Hardangerfjorden	Lofoten
Vatsfjorden	---	0,15462	0,02790	0,00000	0,88562
Ryfylke	0,15462	---	0,58070	0,00000	0,02292
Indre Boknafjord	0,02790	0,58070	---	0,00000	0,00023
Hardangerfjorden	0,00000	0,00000	0,00000	---	0,00000
Lofoten	0,88562	0,02292	0,00023	0,00000	---

8.3 Fysiske parametrar for enkelt fisk

Tabell 8.4: I denne tabellen er journalnummeret i LIMS, uttakssted, lengde, kjønn og levervekt gitt for kvar individuelle brosme.

Jnr	Uttakssted	Lengde heil fisk (cm)	Vekt heil fisk (g)	Kjønn	Lever vekt (g)
2013-1356 FISK1	Vatsfjorden	72	4556	Hankjønn	127,02
2013-1356 FISK2	Vatsfjorden	81	7289	Hankjønn	255,49
2013-1356 FISK3	Vatsfjorden	74	4789	Hunkjønn	200,83
2013-1356 FISK4	Vatsfjorden	82	5898	Hunkjønn	278,17
2013-1356 FISK5	Vatsfjorden	68	3433	Hankjønn	64,58
2013-1356 FISK6	Vatsfjorden	56	2331	Hunkjønn	73,39
2013-1356 FISK7	Vatsfjorden	80	7455	Hunkjønn	52,39
2013-1356 FISK8	Vatsfjorden	85	6803	Hankjønn	120,72
2013-1356 FISK9	Vatsfjorden	79	6983	Hankjønn	298,24
2013-1356 FISK10	Vatsfjorden	75	4773	Hunkjønn	279,61
2013-1864 FISK1	Ryfylke	61	2816,7	Hankjønn	73,97
2013-1864 FISK2	Ryfylke	66	3866	Hankjønn	97,89
2013-1864 FISK3	Ryfylke	82	6173,7	Hunkjønn	309,8
2013-1864 FISK4	Ryfylke	53	1600,4	Hankjønn	39,37
2013-1864 FISK5	Ryfylke	79	6902,7	Hankjønn	464,31
2013-1864 FISK6	Ryfylke	72	4421,6	Hunkjønn	
2013-1864 FISK7	Ryfylke	78	6170	Hankjønn	295,6
2013-1864 FISK8	Ryfylke	75	6168	Hunkjønn	333,88
2013-1864 FISK9	Ryfylke	70	6559	Hankjønn	263,24
2013-1864 FISK10	Ryfylke	46	1682	Hunkjønn	40,54
2013-1864 FISK11	Ryfylke	62	3513	Hunkjønn	132,8
2013-1864 FISK12	Ryfylke	65	3795	Hunkjønn	117,06
2013-1864 FISK13	Ryfylke	78	7775	Hankjønn	131,51
2013-1864 FISK14	Ryfylke	92	9378	Hankjønn	341,03
2013-1864 FISK15	Ryfylke	90	9833	Hankjønn	392,53
2013-1864 FISK16	Ryfylke	98	9802	Hunkjønn	320,56
2013-1864 FISK17	Ryfylke	93	9552	Hankjønn	
2013-1864 FISK18	Ryfylke	69	3728	Hunkjønn	115,71
2013-1864 FISK19	Ryfylke	71	3651	Hunkjønn	
2013-1864 FISK20	Ryfylke	87	8557	Hankjønn	124,43
2013-1864 FISK21	Ryfylke	78	5713	Hunkjønn	178,64
2013-1864 FISK22	Ryfylke	57	2307	Hunkjønn	318,85
2013-1864 FISK23	Ryfylke	53	1791	Hunkjønn	75,96
2013-1872 FISK1	Indre Boknafjord	75	5142,9	Hankjønn	238,89
2013-1872 FISK2	Indre Boknafjord	71	4273,4	Hankjønn	113,78
2013-1872 FISK3	Indre Boknafjord	95	10442,2	Hunkjønn	636,82

8. Vedlegg

Jnr	Uttakssted	Lengde heil fisk (cm)	Vekt heil fisk (g)	Kjønn	Lever vekt (g)
2013-1872 FISK4	Indre Boknafjord	65	3728,3	Hunkjønn	184,64
2013-1872 FISK5	Indre Boknafjord	78	5692,1	Hunkjønn	361,47
2013-1872 FISK6	Indre Boknafjord	88	8644	Hankjønn	549,18
2013-1872 FISK7	Indre Boknafjord	74	5165	Hunkjønn	373,6
2013-1872 FISK8	Indre Boknafjord	90	10357	Hankjønn	438,81
2013-1872 FISK9	Indre Boknafjord	87	8618	Hankjønn	549,29
2013-1872 FISK10	Indre Boknafjord	73	5561	Hunkjønn	197,15
2013-1872 FISK11	Indre Boknafjord	83	6439	Hunkjønn	
2013-1872 FISK12	Indre Boknafjord	64	2892	Hankjønn	57,39
2013-1872 FISK13	Indre Boknafjord	66	3396	Hunkjønn	101,4
2013-1872 FISK14	Indre Boknafjord	46	1315	Hunkjønn	36,09
2013-1872 FISK15	Indre Boknafjord	82	6540	Hunkjønn	109,71
2013-1872 FISK16	Indre Boknafjord	59	2342	Hunkjønn	81,6
2013-1872 FISK17	Indre Boknafjord	56	2220	Hunkjønn	86,27
2013-1872 FISK18	Indre Boknafjord	70	3337	Hunkjønn	95,51
2013-1872 FISK19	Indre Boknafjord	72	5159	Hunkjønn	199,35
2013-1872 FISK20	Indre Boknafjord	92	9173	Hankjønn	282,41
2013-1872 FISK21	Indre Boknafjord	49	1304	Hankjønn	4,6
2013-1872 FISK22	Indre Boknafjord	82	6144	Hankjønn	67,13
2013-1872 FISK23	Indre Boknafjord	60	2048	Hunkjønn	92,14
2013-1872 FISK24	Indre Boknafjord	58	2357	Hankjønn	43,14
2013-1872 FISK25	Indre Boknafjord	52	1702	Hunkjønn	58,49
2013-1872 FISK26	Indre Boknafjord	60	2367	Hunkjønn	99,17
2013-1872 FISK27	Indre Boknafjord	70	4222	Hunkjønn	138,17
2013-1872 FISK28	Indre Boknafjord	67	2716	Hunkjønn	46,81
2014-589 FISK1	Hardangerfjorden	65	2837,3	Hankjønn	
2014-589 FISK2	Hardangerfjorden	53	1513,7	Hankjønn	25,64
2014-589 FISK3	Hardangerfjorden	47	1189	Hunkjønn	34,82
2014-589 FISK4	Hardangerfjorden	61	2458,6	Hankjønn	138,24
2014-589 FISK5	Hardangerfjorden	51	1524,2	Hunkjønn	71,17
2014-589 FISK6	Hardangerfjorden	48	1049,7	Hankjønn	35,63
2014-589 FISK7	Hardangerfjorden	32	296,6	Hankjønn	1,85
2014-589 FISK8	Hardangerfjorden	36	396	Hankjønn	8,76
2014-589 FISK9	Hardangerfjorden	48	1041,1	Hankjønn	11,88
2014-589 FISK10	Hardangerfjorden	46	1006,1	Hunkjønn	15,99
2014-589 FISK11	Hardangerfjorden	49	1099,5	Hankjønn	21,96
2014-589 FISK12	Hardangerfjorden	51	1347,1	Hunkjønn	47,2
2014-589 FISK13	Hardangerfjorden	51	1286,5	Hankjønn	27,07
2014-589 FISK14	Hardangerfjorden	51	1409,1	Hankjønn	28,16
2014-589 FISK15	Hardangerfjorden	61	2391,8	Hunkjønn	83,62
2014-589 FISK16	Hardangerfjorden	62	2272,5	Hankjønn	71,12
2014-589 FISK17	Hardangerfjorden	54	1516,5	Hankjønn	41,37

8. Vedlegg

Jnr	Uttakssted	Lengde heil fisk (cm)	Vekt heil fisk (g)	Kjønn	Lever vekt (g)
2014-589 FISK18	Hardangerfjorden	55	1645,1	Hankjønn	40,47
2014-589 FISK19	Hardangerfjorden	49	1221,2	Hankjønn	32,38
2014-589 FISK20	Hardangerfjorden	62	2639,6	Hankjønn	74,56
2014-589 FISK21	Hardangerfjorden	59	1862,2	Hankjønn	58,42
2014-589 FISK22	Hardangerfjorden	53	1603,9	Hankjønn	39,45
2014-589 FISK23	Hardangerfjorden	66	3088	Hankjønn	167,11
2014-589 FISK24	Hardangerfjorden	74	3846,4	Hankjønn	174,79
2014-589 FISK25	Hardangerfjorden	73	4926	Hankjønn	232,32
2014-589 FISK26	Hardangerfjorden	87	8092,5	Hankjønn	599,14
2014-999 FISK1	Lofoten	43	821	Hankjønn	23,57
2014-999 FISK2	Lofoten	46	985	Hankjønn	18,72
2014-999 FISK3	Lofoten	48	1193	Hankjønn	31,74
2014-999 FISK4	Lofoten	48	1277	Hankjønn	42,28
2014-999 FISK5	Lofoten	51	1296	Hankjønn	25,69
2014-999 FISK6	Lofoten	48	1032	Hankjønn	18,66
2014-999 FISK7	Lofoten	55	1627	Hankjønn	54,08
2014-999 FISK8	Lofoten	53	1723	Hankjønn	52,92
2014-999 FISK9	Lofoten	59	2235	Hankjønn	119,22
2014-999 FISK10	Lofoten	56	2028	Hankjønn	92,21
2014-999 FISK11	Lofoten	58	1947	Hankjønn	99,11
2014-999 FISK12	Lofoten	57	1838	Hankjønn	72,85
2014-999 FISK13	Lofoten	73	4180	Hankjønn	152,42
2014-999 FISK14	Lofoten	40	575	Hankjønn	12,06
2014-999 FISK15	Lofoten	43	783	Hankjønn	14,7
2014-999 FISK16	Lofoten	45	830	Hankjønn	18,11
2014-999 FISK17	Lofoten	41	666	Hankjønn	15,23
2014-999 FISK18	Lofoten	44	825	Hankjønn	21,97
2014-999 FISK19	Lofoten	47	1060	Hankjønn	34,4
2014-999 FISK20	Lofoten	50	1163	Hankjønn	38,5
2014-999 FISK21	Lofoten	53	1762	Hankjønn	88,03
2014-999 FISK22	Lofoten	50	1382	Hankjønn	48,63
2014-999 FISK23	Lofoten	54	1524	Hankjønn	49,22
2014-999 FISK24	Lofoten	60	2227	Hankjønn	71,89
2014-999 FISK25	Lofoten	59	2160	Hankjønn	89,97

8.4 Kvikksølvkonsentrasjonsdata for enkelt fisk

Tabell 8.5: I denne tabellen er alle journalnummer i LIMS, uttakssted, totalkvikksølvkonsentrasjon i filet og lever, metylkvikksølvkonsentrasjon i filet og lever samt andel metylkvikksølv i filet og lever gitt.

Jnr	Uttakssted	Konsentrasjon av total Hg i filet (mg/kg)	Konsentrasjon av MMeHg i filet (mg/kg)	Konsentrasjon av total Hg i lever (mg/kg)	Konsentrasjon av MMeHg i lever (mg/kg)	Andel MMeHg i filet (%)	Andel MMeHg i lever (%)
2013-1356 FISK1	Vatsfjorden	0,21	0,22	0,18	0,084	104,8	46,67
2013-1356 FISK2	Vatsfjorden	0,37	0,41	0,15	0,082	110,8	54,67
2013-1356 FISK3	Vatsfjorden	0,46	0,52	0,1	0,082	113	82
2013-1356 FISK4	Vatsfjorden	0,71	0,7	0,58	0,14	98,59	24,14
2013-1356 FISK5	Vatsfjorden	0,2	0,18	0,057	0,041	90	71,93
2013-1356 FISK6	Vatsfjorden	0,18	0,17	0,073	0,07	94,44	95,89
2013-1356 FISK7	Vatsfjorden	0,58	0,62	0,49	0,11	106,9	22,45
2013-1356 FISK8	Vatsfjorden	0,36	0,35	0,15	0,098	97,22	65,33
2013-1356 FISK9	Vatsfjorden	0,43	0,44	0,16	0,092	102,3	57,5
2013-1356 FISK10	Vatsfjorden	0,49	0,5	0,19	0,067	102	35,26
2013-1864 FISK1	Ryfylke	0,45	0,4	0,11	0,06	88,89	54,55
2013-1864 FISK2	Ryfylke	0,21	0,18	0,28	0,21	85,71	75
2013-1864 FISK3	Ryfylke	0,8	0,66	0,84	0,22	82,5	26,19
2013-1864 FISK4	Ryfylke	0,31	0,21	0,1	0,068	67,74	68
2013-1864 FISK5	Ryfylke	0,75	0,65	0,3	0,095	86,67	31,67
2013-1864 FISK6	Ryfylke	0,36	0,28	0,14	0,089	77,78	63,57
2013-1864 FISK7	Ryfylke	0,71	0,68	0,55	0,24	95,77	43,64
2013-1864 FISK8	Ryfylke	0,31	0,25	0,13	0,049	80,65	37,69
2013-1864 FISK9	Ryfylke	0,69	0,61	0,68	0,21	88,41	30,88
2013-1864 FISK10	Ryfylke	0,13	0,11	0,038	0,028	84,62	73,68
2013-1864 FISK11	Ryfylke	0,52	0,46	0,31	0,25	88,46	80,65

8. Vedlegg

Jnr	Uttakssted	Konsentrasjon av total Hg i filet (mg/kg)	Konsentrasjon av MMeHg i filet (mg/kg)	Konsentrasjon av total Hg i lever (mg/kg)	Konsentrasjon av MMeHg i lever (mg/kg)	Andel MMeHg i filet (%)	Andel MMeHg i lever (%)
2013-1864 FISK12	Ryfylke	0,28	0,22	0,1	0,11	78,57	110
2013-1864 FISK13	Ryfylke	0,59	0,55	0,39	0,17	93,22	43,59
2013-1864 FISK14	Ryfylke	0,85	0,76	0,68	0,26	89,41	38,24
2013-1864 FISK15	Ryfylke	0,55	0,52	0,19	0,1	94,55	52,63
2013-1864 FISK16	Ryfylke	0,98	0,76	1,1	0,24	77,55	21,82
2013-1864 FISK17	Ryfylke	0,75	0,57	0,56	0,17	76	30,36
2013-1864 FISK18	Ryfylke	1,3	1,2	2,1	0,49	92,31	23,33
2013-1864 FISK19	Ryfylke	0,66	0,41	1	0,17	62,12	17
2013-1864 FISK20	Ryfylke	0,71	0,53	0,33	0,12	74,65	36,36
2013-1864 FISK21	Ryfylke	1	0,86	2,2	0,5	86	22,73
2013-1864 FISK22	Ryfylke	0,4	0,36	0,3	0,059	90	19,67
2013-1864 FISK23	Ryfylke	0,38	0,31	0,21	0,089	81,58	42,38
2013-1872 FISK1	Indre Boknafjord	0,55	0,56	0,28	0,17	101,8	60,71
2013-1872 FISK2	Indre Boknafjord	0,35	0,33	0,16	0,093	94,29	58,13
2013-1872 FISK3	Indre Boknafjord	1,2	1,1	2,3	0,51	91,67	22,17
2013-1872 FISK4	Indre Boknafjord	0,66	0,53	0,39	0,22	80,3	56,41
2013-1872 FISK5	Indre Boknafjord	0,54	0,54	0,35	0,2	100	57,14
2013-1872 FISK6	Indre Boknafjord	0,37	0,38	0,16	0,062	102,7	38,75
2013-1872 FISK7	Indre Boknafjord	0,41	0,37	0,18	0,07	90,24	38,89
2013-1872 FISK8	Indre Boknafjord	0,51	0,48	0,32	0,11	94,12	34,38
2013-1872 FISK9	Indre Boknafjord	0,46	0,41	0,14	0,099	89,13	70,71
2013-1872 FISK10	Indre Boknafjord	0,6	0,59	0,63	0,18	98,33	28,57
2013-1872 FISK11	Indre Boknafjord	0,66	0,66			100	
2013-1872 FISK12	Indre Boknafjord	0,32	0,28	0,24	0,14	87,5	58,33
2013-1872 FISK13	Indre Boknafjord	0,46	0,44	0,52	0,17	95,65	32,69

8. Vedlegg

Jnr	Uttakssted	Konsentrasjon av total Hg i filet (mg/kg)	Konsentrasjon av MMeHg i filet (mg/kg)	Konsentrasjon av total Hg i lever (mg/kg)	Konsentrasjon av MMeHg i lever (mg/kg)	Andel MMeHg i filet (%)	Andel MMeHg i lever (%)
2013-1872 FISK14	Indre Boknafjord	0,19	0,19	0,13	0,072	100	55,38
2013-1872 FISK15	Indre Boknafjord	0,66	0,64	0,66	0,4	96,97	60,61
2013-1872 FISK16	Indre Boknafjord	0,48	0,47	0,23	0,19	97,92	82,61
2013-1872 FISK17	Indre Boknafjord	0,36	0,33	0,19	0,093	91,67	48,95
2013-1872 FISK18	Indre Boknafjord	0,55	0,46	0,37	0,14	83,64	37,84
2013-1872 FISK19	Indre Boknafjord	0,56	0,52	0,41	0,15	92,86	36,59
2013-1872 FISK20	Indre Boknafjord	0,95	0,89	1,5	0,5	93,68	33,33
2013-1872 FISK21	Indre Boknafjord	0,24	0,22			91,67	
2013-1872 FISK22	Indre Boknafjord	0,75	0,68	0,51	0,26	90,67	50,98
2013-1872 FISK23	Indre Boknafjord	0,74	0,66	1,2	0,18	89,19	15
2013-1872 FISK24	Indre Boknafjord	0,18	0,16	0,14	0,081	88,89	57,86
2013-1872 FISK25	Indre Boknafjord	0,24	0,2	0,11	0,065	83,33	59,09
2013-1872 FISK26	Indre Boknafjord	0,43	0,37	0,3	0,18	86,05	60
2013-1872 FISK27	Indre Boknafjord	0,3	0,47	0,56	0,31	156,7	55,36
2013-1872 FISK28	Indre Boknafjord	0,61	0,57	0,89	0,35	93,44	39,33
2014-589 FISK1	Hardangerfjorden	1,6	1,7	2,7	0,63	106,3	23,33
2014-589 FISK2	Hardangerfjorden	0,44	0,46	0,63	0,32	104,5	50,79
2014-589 FISK3	Hardangerfjorden	0,57	0,59	0,59	0,34	103,5	57,63
2014-589 FISK4	Hardangerfjorden	0,99	1	0,62	0,3	101	48,39
2014-589 FISK5	Hardangerfjorden	0,41	0,42	0,24	0,099	102,4	41,25
2014-589 FISK6	Hardangerfjorden	0,48	0,5	0,37	0,21	104,2	56,76
2014-589 FISK7	Hardangerfjorden	0,17	0,18	0,21	0,061	105,9	29,05
2014-589 FISK8	Hardangerfjorden	0,41	0,42	0,61	0,19	102,4	31,15
2014-589 FISK9	Hardangerfjorden	0,28	0,3	0,43	0,075	107,1	17,44
2014-589 FISK10	Hardangerfjorden	0,24	0,25	0,19	0,094	104,2	49,47

8. Vedlegg

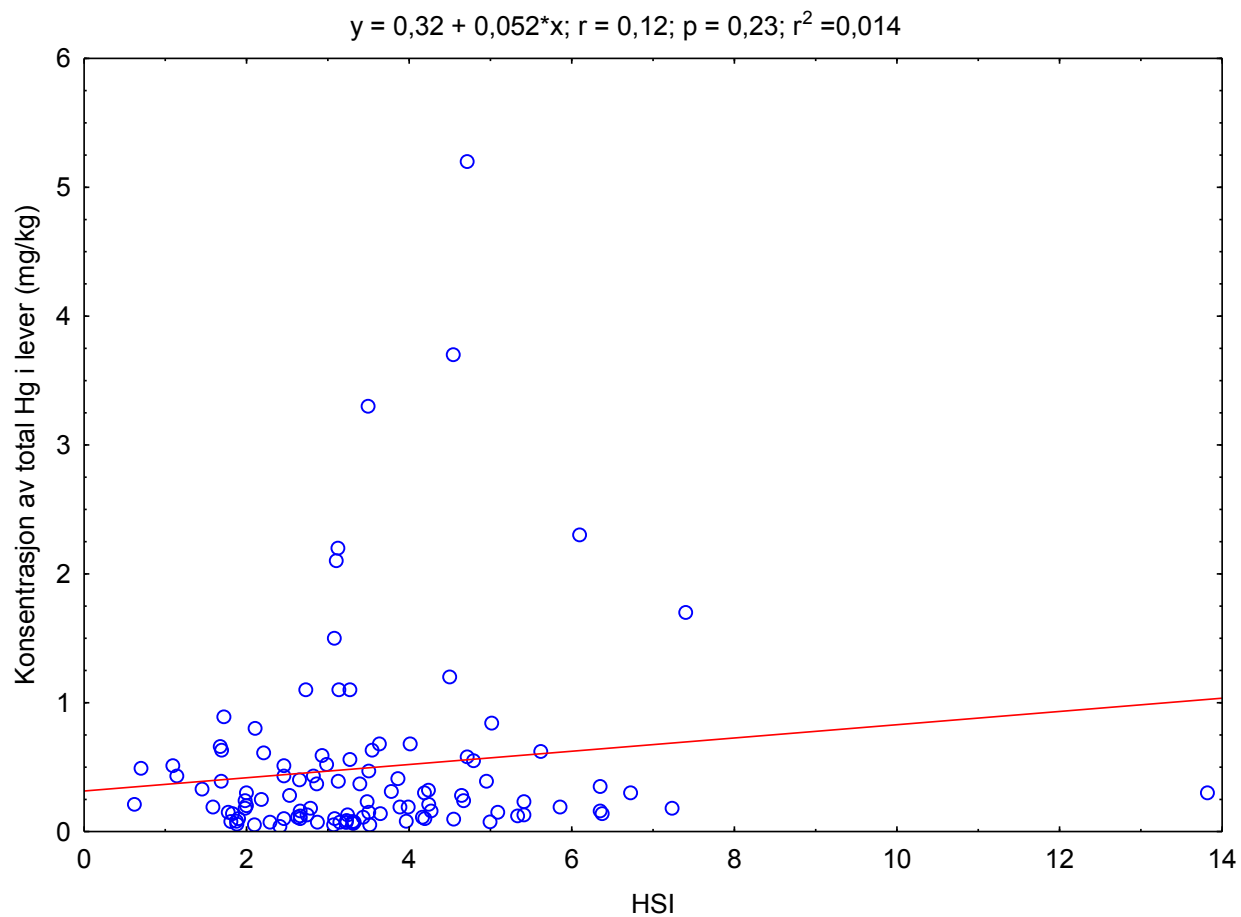
Jnr	Uttakssted	Konsentrasjon av total Hg i filet (mg/kg)	Konsentrasjon av MMeHg i filet (mg/kg)	Konsentrasjon av total Hg i lever (mg/kg)	Konsentrasjon av MMeHg i lever (mg/kg)	Andel MMeHg i filet (%)	Andel MMeHg i lever (%)
2014-589 FISK11	Hardangerfjorden	0,25	0,27	0,2	0,075	108	37,5
2014-589 FISK12	Hardangerfjorden	0,49	0,54	0,47	0,15	110,2	31,91
2014-589 FISK13	Hardangerfjorden	0,52	0,52	0,8	0,15	100	18,75
2014-589 FISK14	Hardangerfjorden	0,32	0,33	0,3	0,07	103,1	23,33
2014-589 FISK15	Hardangerfjorden	0,88	0,86	3,3	0,61	97,73	18,48
2014-589 FISK16	Hardangerfjorden	0,49	0,51	0,39	0,18	104,1	46,15
2014-589 FISK17	Hardangerfjorden	0,75	0,8	1,1	0,65	106,7	59,09
2014-589 FISK18	Hardangerfjorden	0,4	0,44	0,43	0,19	110	44,19
2014-589 FISK19	Hardangerfjorden	0,45	0,47	0,4	0,28	104,4	70
2014-589 FISK20	Hardangerfjorden	0,49	0,51	0,43	0,2	104,1	46,51
2014-589 FISK21	Hardangerfjorden	0,79	0,84	1,1	0,52	106,3	47,27
2014-589 FISK22	Hardangerfjorden	0,49	0,5	0,51	0,23	102	45,1
2014-589 FISK23	Hardangerfjorden	0,45	0,46	0,23	0,14	102,2	60,87
2014-589 FISK24	Hardangerfjorden	1,5	1,5	3,7	0,79	100	21,35
2014-589 FISK25	Hardangerfjorden	1,1	1,1	5,2	0,6	100	11,54
2014-589 FISK26	Hardangerfjorden	1,3	1,3	1,7	0,51	100	30
2014-999 FISK1	Lofoten	0,11	0,12	0,073	0,024	109,1	32,88
2014-999 FISK2	Lofoten	0,14	0,14	0,1	0,052	100	52
2014-999 FISK3	Lofoten	0,19	0,19	0,12	0,057	100	47,5
2014-999 FISK4	Lofoten	0,14	0,13	0,062	0,041	92,86	66,13
2014-999 FISK5	Lofoten	0,17	0,17	0,18	0,074	100	41,11
2014-999 FISK6	Lofoten	0,1	0,1	0,078	0,049	100	62,82
2014-999 FISK7	Lofoten	0,16	0,17	0,072	0,046	106,3	63,89
2014-999 FISK8	Lofoten	0,12	0,12	0,053	0,034	100	64,15
2014-999 FISK9	Lofoten	0,32	0,33	0,12	0,068	103,1	56,67

8. Vedlegg

Jnr	Uttakssted	Konsentrasjon av total Hg i filet (mg/kg)	Konsentrasjon av MMeHg i filet (mg/kg)	Konsentrasjon av total Hg i lever (mg/kg)	Konsentrasjon av MMeHg i lever (mg/kg)	Andel MMeHg i filet (%)	Andel MMeHg i lever (%)
2014-999 FISK10	Lofoten	0,21	0,21	0,096	0,047	100	48,96
2014-999 FISK11	Lofoten	0,39	0,4	0,15	0,063	102,6	42
2014-999 FISK12	Lofoten	0,18	0,19	0,081	0,054	105,6	66,67
2014-999 FISK13	Lofoten	0,28	0,27	0,14	0,083	96,43	59,29
2014-999 FISK14	Lofoten	0,098	0,097	0,052	0,036	98,98	69,23
2014-999 FISK15	Lofoten	0,11	0,1	0,08	0,048	90,91	60
2014-999 FISK16	Lofoten	0,24	0,24	0,25	0,08	100	32
2014-999 FISK17	Lofoten	0,12	0,13	0,073	0,039	108,3	53,42
2014-999 FISK18	Lofoten	0,18	0,17	0,1	0,043	94,44	43
2014-999 FISK19	Lofoten	0,24	0,24	0,13	0,089	100	68,46
2014-999 FISK20	Lofoten	0,11	0,12	0,076	0,046	109,1	60,53
2014-999 FISK21	Lofoten	0,13	0,13	0,074	0,045	100	60,81
2014-999 FISK22	Lofoten	0,12	0,12	0,051	0,025	100	49,02
2014-999 FISK23	Lofoten	0,17	0,17	0,085	0,04	100	47,06
2014-999 FISK24	Lofoten	0,15	0,15	0,07	0,035	100	50
2014-999 FISK25	Lofoten	0,23	0,25	0,11	0,062	108,7	56,36

8.5 HSI plotta mot totalkvikksølvkonsentrasjon i lever

Hepatosomatisk indeks var ikkje korrelert med totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever, slik som det var vist i Larose sin artikkel frå 2008 (Larose et.al, 2008).



Figur 8.1: HSI plotta mot totalkvikksølvkonsentrasjonen i lever.