



RAPPORT LNR 4073-99

Miljøgifter i fisk fra Randsfjorden, 1998

Kvikksølv og klororganiske forbindelser



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Miljøgifter i fisk fra Randsfjorden, 1998 Kvikksølv og klororganiske forbindelser	Løpenr. (for bestilling) 4073-99	Dato 30.06.99
	Prosjektnr. Undemr. 98089	Sider Pris 29 s.
Forfatter(e) Eirik Fjeld	Fagområde Miljøgifter, ferskvann	Distribusjon Fri
	Geografisk område Øst-Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Randsfjordforbundet	Oppdragsreferanse Tore Stenseng
---	------------------------------------

Sammendrag

Nivåene av kvikksølv og utvalgte klororganiske miljøgifter har blitt bestemt i ørret, røye, sik, abbor og gjedde fra Randsfjorden i 1998. Generelt hadde fisken et lavt til moderat kvikksølvnivå, men det ble funnet betenkelig høye nivåer i store individer av fiskespisende rovfisk som gjedde og stor-ørret. Konsentrasjonene i abbor under 0,5 kg, røye under 2 kg (med få unntak) og sik var under 0,5 mg Hg/kg. Store individer av gjedde (3–6 kg) syntes generelt å ha konsentrasjoner i området 1–3 mg Hg/kg. Høyeste konsentrasjon som ble målt var 4,2 mg Hg/kg i en ørret på 3,6 kg. Dette er overraskende høyt tatt i betraktning at Randsfjorden ikke har vært utsatt for større lokale tilførsler av kvikksølvforurensninger. Materialet av ørret er for spinkelt til å si noe generelt om kvikksølvnivåene da kun fire individer ble analysert. Det anbefales derfor at nivåene i ørreten kartlegges bedre. Kvikksølvnivåene i sik og abbor lå generelt noe lavere enn gjennomsnittet i like stor fisk fra en større landsomfattende undersøkelse. Det samme var også tilfelle for gjedde mindre enn 3 kg, men kvikksølvnivåene tiltok betydelig når gjedda ble større enn dette. Nivåene i røye lå generelt noe høyere enn i røye av sammenliknbar størrelse fra den landsomfattende undersøkelsen. Konsentrasjonene av de klororganiske miljøgiftene PCB og DDT i ørret, gjedde og abbor var lave og i samme størrelsesorden som de en kan forvente å finne i innsjøer med ubetydelige lokale tilførsler.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. miljøgifter 2. kvikksølv 3. klororganiske forbindelser 4. ferskvannsfisk 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. pollutants 2. mercury 3. organochlorines 4. freshwater fish
---	--


Prosjektleder


Forskningsleder


Forskningssjef

**Miljøgifter i fisk
fra Randsfjorden, 1998**

Kvikksølv og klororganiske forbindelser

Forord

Foreliggende undersøkelse er utført på oppdrag fra Randsfjordforbundet. Undersøkelsen er finansiert med støtte fra Fiskefondet, Randsfjordforbundet og SFT.

Analysene av kvikksølv i fisk er utført ved Veterinærinstituttet, seksjon for kjemi. De øvrige analysene av klororganiske miljøgifter er gjort ved NIVA. De klororganiske analysene inngår i en landsomfattende undersøkelse av klororganiske miljøgifter i ferskvannsfisk som NIVA gjør på oppdrag fra SFT.

Innsamling av fiskematerialet er for en stor del gjort ved hjelp av frivillige entusiaster. Vi vil rette særlig takk til H. Bekken, I. Bjør, Gundersen, G. Høitomt, J. Olsen, E. Ovnerud, A. Strandeng og T. Wacheck. Prøvetakning av fisk er i hovedsak gjort av Sigurd Øxnevad som også har stått for aldersanalysene.

Resultatene fra kvikksølvanalysene av fisk fanget til denne undersøkelsen er sammenliknet med data fra en større nasjonal undersøkelse på kvikksølv i ferskvannsfisk, innsamlet under ledelse av Sigurd Rognerud, NIVA.

For oppdragsgiver har saksbehandler vært miljøvernkonsulent Tore Stenseng, Søndre Land kommune, og fiskeforvalter Ola Hegge, Fylkesmannen i Oppland, Miljøvernavdelingen.

Ved NIVA har Eirik Fjeld vært prosjektleder.

Oslo, juni 1999

Eirik Fjeld

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Materiale og metoder	7
2.1 Innsamling av fisk	7
2.2 Prøvetakning og analyse	7
2.3 Kort om utvalgte miljøgifter	9
2.3.1 Kvikksølv	9
2.3.2 Klororganiske miljøgifter	10
3. Områdebeskrivelse	11
4. Kvikksølv i Randsfjord-fisk	13
4.1 Ørret	13
4.2 Røye	17
4.3 Sik	19
4.4 Abbor	21
4.5 Gjedde	23
4.6 Sammenlikning med nasjonale data	20
5. Klororganiske miljøgifter i Randsfjord-fisk	25
6. Konklusjoner	27
7. Litteraturhenvisninger	29
Vedlegg	

Sammendrag

Nivåene av kvikksølv og utvalgte klororganiske miljøgifter har blitt bestemt i ørret, røye, sik, abbor og gjedde fra Randsfjorden. Materialet ble innsamlet i 1998. Generelt hadde den analyserte fisken et lavt til moderat kvikksølvnivå, men det ble funnet betenkelig høye nivåer i store individer av fiskepisende rovfisk som gjedde og stor-ørret.

Konsentrasjonene i abbor under 0,5 kg, røye under 2 kg (med få unntak) og sik var under 0,5 mg Hg/kg. Store individer av gjedde (3–6 kg) syntes generelt å ha konsentrasjoner i område 1–3 mg Hg/kg. Høyeste konsentrasjon som ble målt var 4,2 mg Hg/kg i en ørret på 3,6 kg, noe som er overraskende høyt tatt i betraktning at Randsfjorden ikke har vært utsatt for større lokale tilførsler av kvikksølvforurensninger. Grensa som næringsmiddelmyndighetene har satt for salg av fisk til konsum er 0,5 mg Hg/kg for ferskvannsfisk i sin alminnelighet, men for gjedde er grensa satt til 1,0 mg Hg/kg.

Materialet av ørret er for spinkelt til å si noe generelt om kvikksølvnivåene da kun fire individer ble analysert. Det anbefales derfor at nivåene i ørret kartlegges bedre. Stor røye (fra 2 kg og oppover) mangler også i undersøkelsen, og det ville også være av interesse å se om kvikksølvakkumuleringen i slik fisk i vesentlig grad øker med størrelsen.

Kvikksølvnivåene i sik og abbor fra Randsfjorden lå generelt noe lavere enn gjennomsnittet i like stor fisk fra en større landsomfattende undersøkelse. Det samme var også tilfelle for gjedde mindre enn 3 kg, men kvikksølvakkumuleringen i gjedde fra Randsfjorden tiltok betydelig når fisken ble større enn dette. Nivåene i røye lå generelt noe høyere enn i røye av sammenliknbar størrelse fra den landsomfattende undersøkelsen.

Konsentrasjonene av de klororganiske miljøgiftene PCB og DDT i ørret, gjedde og abbor var lave og av samme størrelsesorden som de en kan forvente å finne i innsjøer med ubetydelige lokale tilførsler.

1. Innledning

NIVA har fått i oppdrag av Randsfjordforbundet om å gjøre en undersøkelse av miljøgifter i fisk fra Randsfjorden. Prosjektet skal gi en bred kartlegging av kvikksølvkonsentrasjonene i en rekke fiskeslag, samt inkludere en undersøkelse av klororganiske forurensninger i et mindre utvalg arter.

Ønsket om en undersøkelse av miljøgifter i fisk fra Randsfjorden er delvis motivert ut fra resultatene til en landsomfattende kvikksølvundersøkelse utført av NIVA (Rognerud m. fl. 1996). Det ble her dokumentert tildels foruroligende høye konsentrasjoner av kvikksølv i visse arter ferskvannsfisk. Nivåene i gjedde og stor abbor var såvidt høye at Statens næringsmiddeltilsyn anbefalte begrensninger i konsumet av slik fisk. Resultatene fra Norge, i likhet med de fra andre nordiske land og nord-Amerika, viser at de langtransporterte atmosfæriske avsetninger av kvikksølv oppkonsentreres i næringskjedene og kan resultere i betydelig forhøyede konsentrasjoner i ferskvannsfisk.

Randsfjorden og de andre store innsjøene på Østlandet var ikke tatt med i den nasjonale undersøkelsen — som i første rekke tok sikte på å undersøke innsjøer uten kjente punktutslipp av kvikksølv. Det er imidlertid velkjent at fisken i flere av disse store innsjøene, så som Mjøsa og Tyrifjorden, har hatt problematisk høye nivåer av kvikksølv på grunn av punktutslipp fra treforedlingsindustri.

Da det ikke finnes noen oppdaterte data over kvikksølvinnholdet i fisk fra Randsfjorden har det fra lokal miljøforvaltning blitt uttrykt et behov for en grundig statusbeskrivelse av kvikksølvnivåene i de ulike fiskeartene i innsjøen.

Etterhvert har det også blitt dokumentert at det er forvaltningsmessig behov for en systematisk registrering av klororganiske forbindelser i ferskvannsfisk, så som PCB, visse pesticider og dioksinliknende stoffer. Dette er forbindelser som i likhet med kvikksølv oppkonsentreres i næringskjedene, men forekomsten og nivåene av slike stoffer i fisk fra norske innsjøer har hittil vært lite kjent.

Vi har derfor formulert følgende hovedmål for undersøkelsen:

1. Framskaffe statusoversikt over kvikksølvnivåene hos
 - abbor og gjedde fra tre ulike områder (nord, midt og sør) i Randsfjorden
 - ørret, røye og sik fra Randsfjorden (uavhengig av område)
2. Bestemme nivåene av aktuelle klororganiske miljøgifter på blandprøver av henholdsvis abbor, gjedde og ørret.

2. Materiale og metoder

2.1 Innsamling

Prøvematerialet ble i all hovedsak samlet inn i løpet av sommersesongen og høsten 1998 av lokale fiskere, mens et mindre antall fisk ble innfanget året før. Innsamlingen av materialet ble dessverre igangsatt noe seint i 1998. Dette fikk uheldige konsekvenser for ørretfisket, da det beste fisket skjer tidlig på forsommeren. Det ble derfor kun innlevert fire ørret til denne miljøgiftundersøkelsen. Dette er naturligvis for lite til å angi de generelle kvikksølvnivåer i Randsfjord-ørreten. Et antall omkring 20 fisk av varierende størrelse ville ha vært ønskelig. I tabell 1 har vi presentert det analyserte materialet, fordelt på de enkelte artene og ulike hovedområder av Randsfjorden.

Tabell 1. Antall fisk analysert for kvikksølv, fordelt på ulike arter og områder fra Randsfjorden.

art/sted	Randsfjorden - sør	Randsfjorden - midt	Randsfjorden - nord	sum
Abbor	25	11	24	60
Gjedde	11	7	12	30
Røye	19	0	6	25
Sik	11	6	7	24
Ørret	1	1	2	4
sum	67	25	51	143

2.2 Prøvetakning og analyse

All fisk ble frosset ned like etter innfangning og ble sendt til NIVA hvor den ble oppbevart i dypfryser (-18 °C) inntil prøvetakning. De fleste fiskene ble sendt «runde» til NIVA, men for noen store gjedder og ørret ble det sendt hode- og nakkestykker.

Under prøvetakningen ved NIVA ble fisken målt og veid, og strukturer til alderbestemmelse ble dissekert ut. For noen fisk hvor det kun var innsendt hode/nakke-stykke manglet lengde eller vekt. For disse ble lengda eller vekten estimert ut fra lengde-vekt forholdene i det resterende materialet fra Randsfjorden.

Til aldersbestemmelse av abbor ble det benyttet gjellelokk, for gjedde ble det benyttet skulderbein, for sik og røye – øresteiner (otolither), mens det for ørret ble benyttet både skjell og øresteiner.

Under kontrollerte, ukontaminerte forhold ble det dissekert ut skinn- og beinfrie prøver av skjelettmuskulaturen (muskelfilet) fra hver fisk. Hver prøve som skulle analyseres for kvikksølv ble pakket inn i ren aluminiumsfolie som igjen ble lagt inn i en tett plastpose med lynlås. For analyser av klororganiske mikroforurensninger ble det preparert blandprøver av skjelettmuskulaturen. Hver blandprøve besto av jamnstore muskelprøver fra mer enn 10 individer (kun 4 for ørret) som ble lagret på glødede glass forseglet med glødet aluminiumsfolie. Alle prøvene ble oppbevart i fryser ved -18°C inntil de ble sendt til laboratoriet for analyse.

Kvikksølvanalysene i muskel ble gjort ved Veterinærinstituttet, seksjon for kjemi, Oslo. Prøvene ble dekomponert med salpetersyre og hydrogenperoksyd. Oppsluttet prøve ble tilført tinnklorid og saltsyre. Atomært kvikksølv ble dannet, og ledet av nitrogengass til en kvartscelle plassert i lysveien. Mengde kvikksølv ble bestemt atomabsorpsjonsspektrofotometrisk med D2-bakgrunnskorreksjon ved 253,7 nm mot ekstern standardkurve. Deteksjonsgrensen for metoden er 0,01 mg Hg/kg våtvekt. Alle kvikksølvkonsentrasjonene det refereres til i denne rapporten oppgis på våtvektsbasis.

Analysene av klororganiske mikroforurensninger ble gjort ved NIVAs laboratorium med NIVA-metode H 3-4, ekstraksjon og opparbeidelse av klororganiske forbindelser i biologisk materiale. I det følgende gis det en kortfattet metodebeskrivelse: Prøvene tilsettes en indre standard og ekstraheres med organiske løsemidler. Ekstraktene gjennomgår ulike rensetrinn for å fjerne interfererende stoffer. Til slutt analyseres ekstraktet ved bruk av gasskromatograf utstyrt med elektroninnfangingsdetektor, GC/ECD. De klororganiske forbindelsene identifiseres utfra de respektives retensjonstider på to kolonner med ulik polaritet. Kvantifisering utføres ved hjelp av indre standard. Deteksjonsgrensen for metoden varierer, alt etter mengden ekstraherbart fett fra prøven og eventuell interferens fra andre komponenter i prøven.

I forbindelse med det landsomfattende prosjektet for bestemmelse av nivåene av klororganiske miljøgifter i ferskvannsfisk skal fisken fra Randsfjorden også analyseres for dioksin og dioksinbeslektede forbindelser. Disse analysene har vil imidlertid bli gjort høsten 1999 og kunne derfor ikke bli behandlet i foreliggende rapport.

2.3 Kort om utvalgte miljøgifter

2.3.1 Kvikksølv

Kvikksølv (Hg) er et giftig metallisk grunnstoff som kan danne meget giftige organiske forbindelser slik som metylkvikksølv (CH_3Hg^+). Metylkvikksølv kan dannes ved at bakterier i vann og sedimenter metylerer uorganiske kvikksølvforbindelser. Metylkvikksølv forbinder seg til proteiner i organismene og oppkonsentreres i næringskjedene (bio-magnifiseres). En regner med at mellom 95–99% av kvikksølvet i fisk foreligger som metylkvikksølv. Metylkvikksølv kan gi motoriske og mentale forstyrrelser som følge av skader på sentralnervesystemet, særlig er utviklingen av sentralnervesystemet til fostre følsomme for påvirkning (Grandjean 1997).

Verdens helsorganisasjon (WHO) har fastsatt et provisorisk, tolerabelt ukeinntak av metylkvikksølv på 0,2 mg Hg/uke for en voksen person (60 kg) (JECFA, 1989). Bakgrunnen for dette er erfaringen for at den tidligste langtidseffekten hos voksne opptrer etter langtids daglig inntak på 3–7 mg/kg kroppsvekt. Ved dette inntaket opptrer effekter på perifere nerver med parestesier hos ca 5% av voksne individer. En sikkerhetsfaktor på 10 som skal ta hensyn til individuelle forskjeller i følsomhet er lagt inn i beregningsgrunnlaget for det antatt tolerable ukeinntaket (0,2 mg Hg/uke).

Som en del av et felles EU-reglement er det blitt innført grenser på konsentrasjoner på kvikksølv i fisk beregnet for salg til konsum. I henhold til dette reglementet skal konsentrasjonene i fisk ikke overstige 0,5 mg Hg/kg, men for gjedde (som det antas konsumeres mindre av) er grensa satt til 1,0 mg Hg/kg. I denne rapporten har vi imidlertid valgt å ikke komme med konkrete kostholdsrad vedrørende konsum av fisk fra Randsfjorden da slikt bør gjøres av rette forvaltningsmyndigheter (Statens næringsmiddeltilsyn, eventuelt lokale næringsmiddeltilsyn)

Bruken av kvikksølv er i dag strengt regulert, og de store kildene til punktutslipp er i dag sanert. Tidligere betydelige punktutslipp av kvikksølv i Norge stammet særlig fra produksjonen av papirmasse (eks. treforedlingsindustrien rundt Randselva, Begna, Drammenselva og Mjøsa) og elektolyseindustrien (eks. Norzink og Borregaard). Mindre lokale forurensninger har vært knyttet til bruken av kvikksølvbeiset såkorn. Det er ikke kjent betydelige lokale kilder til kvikksølvforurensning til Randsfjorden, slik som det tidligere har vært tilfelle for andre store østnorske innsjøer som Mjøsa og Tyrifjorden.

I og med at de store innenlandske kildene til kvikksølvforurensning i dag er fjernet står de atmosfæriske langtransporterte forurensningene tilbake som et viktig kilde. De menneskeskapte utslippene til luft stammer særlig fra kullfyrte kraftverk, smelteverk-industri og søppelforbrenning. Atmosfærisk langtransport av kvikksølv og andre mikroforurensninger har forårsaket betydelig kontaminering av jordsmonn og innsjøer i regioner fjernt fra kildeområdene (Lindqvist et al. 1991; Jackson 1997; Downs et al. 1998; Rognerud et al. 1998). Atmosfærisk kvikksølv foreligger i hovedsak som elementært Hg^0 som etterhvert blir oksydert til toverdige kvikksølv (Hg^{2+}). Det toverdige kvikksølvet forbinder seg til aerosoler som vaskes ut med nedbør eller tørr-deponeres. Kvikksølv har derfor en forholdsvis lang gjennomsnittlig oppholdstid i atmosfæren, trolig så mye som ett år, og de globale sirkulasjonssystemene kan derfor spre kvikksølv til områder fjernt fra kilderegionene.

En landsomfattende undersøkelse av sedimenter fra 220 norske innsjøer, innsamlet i 1996–1997, viste en markert økning i konsentrasjonene av kvikksølv i overflatesedimentene sammenliknet med dypere sedimenter deponert i førindustriell tid (Rognerud et al. 1999). Konsentrasjonene av kvikksølv har i gjennomsnitt økt med en faktor på 3, mens økningen var størst i de forsurede kystnære områdene på i Sør- og Øst-Norge, her var det ikke uvanlig med en økning på 5–7 ganger bakgrunnskonsentrasjonen.

Et resultat av det langtransporterte spredningsmønsteret av kvikksølv er at fisk i en rekke innsjøer i Nord-Amerika og Skandinavia har tildels betydelig forhøyede nivåer av kvikksølv (Håkanson et al. 1988; Wiener og Stokes 1990; Fjeld og Rognerud 1993; Andersson og Lundberg 1995; Rognerud et al.

1996). I Norge synes problemet generelt å være størst for abbor og gjedde fra humusrike skogssjøer i Øst-Norge. For Randsfjorden kjenner man ikke til tidligere betydelige lokale forurensninger av kvikksølv — og en må derfor anta at forhøyede konsentrasjoner i fisk herfra er et resultat av langtransporterte atmosfæriske forurensninger og oppkonsentrering (biomagnifisering) i de pelagiske næringskjedene.

2.3.2 Klororganiske miljøgifter

Disse miljøgiftene er en stor gruppe forbindelser som generelt består av et organisk grunnkjelett (kjedede eller ringformede hydrokarboner) med en ulik grad av klorering (kjemisk substitusjon av hydrogen med klor). Svært mange av disse forbindelsene er naturfremmede eller forekommer naturlig i svært små konsentrasjoner. De kan være tungt nedbrytbare (persistente), ofte fettløselige (lipofile), og noen er kreftremkallende, har hormonforstyrrende effekter eller har andre toksiske egenskaper. Mange plantevernmidler som tidligere var i bruk i Norge, så som DDT og Lindan, er klororganiske forbindelser. Andre klororganiske forbindelser har vært anvendt eller anvendes i industri, i mekanisk eller elektronisk utstyr, som tilsetningsstoffer i industriprodukter, eller dannet/dannes som biprodukter i industrielle prosesser. PCB, hexaklorbensen, oktaklorstyren og hexacyclohexaner er eksempler på slike klororganiske miljøgifter.

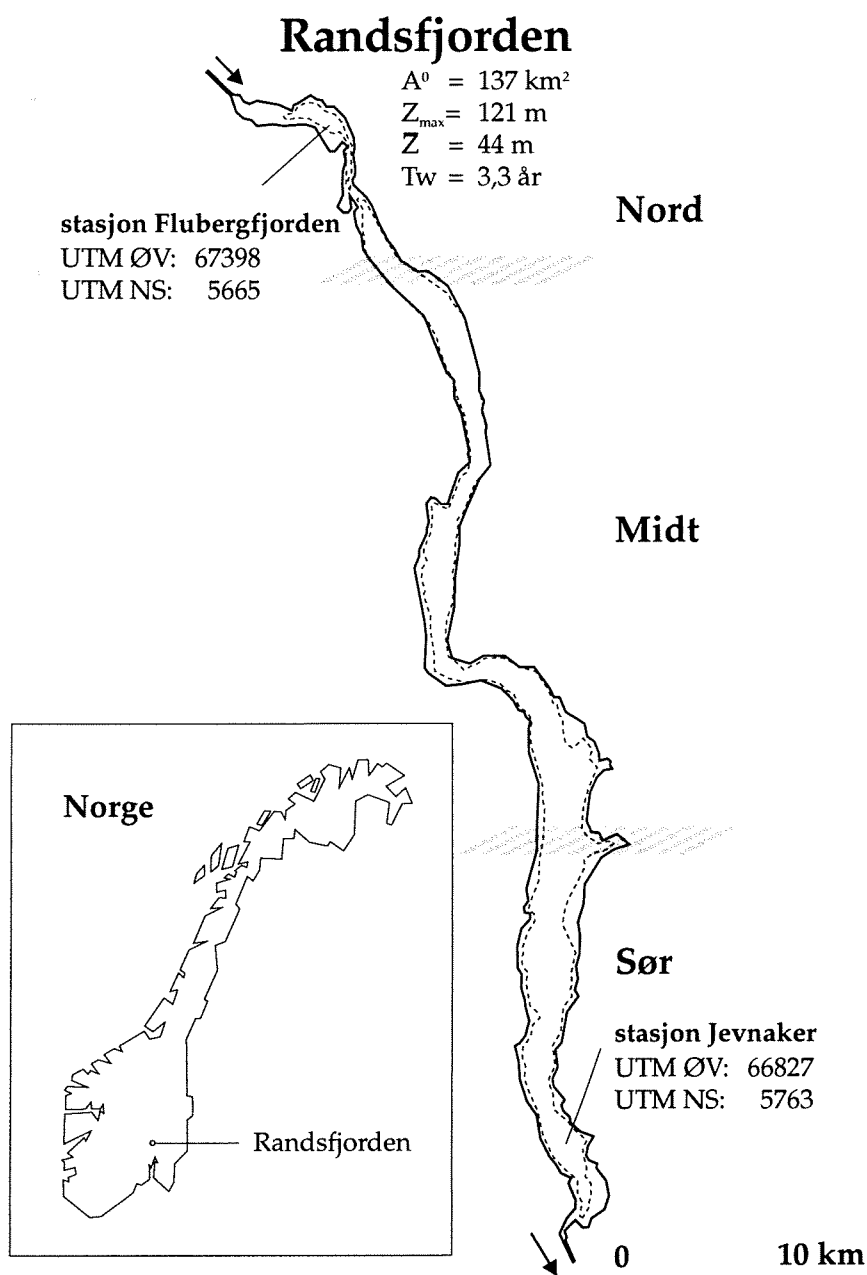
PCB (polyklorerte bifenyl) har av statens forurensningstilsyn (SFT) blitt karakterisert som et stoff som representerer et betydelig miljøproblem i Norge (Dons og Beck 1993), og er en nasjonalt prioritert miljøgift (St. melding 58, 1996-97). PCB er en gruppe klorerte hydrokarboner som er giftige, tungt nedbrytbare, opphopes i organismer og oppkonsentreres (biomagnifiseres) i næringskjeden. De er bygget opp over et grunnkjelett av bifenyl med en ulik grad av klorering. Teoretisk finnes det i alt 209 forskjellige PCB-forbindelser (kongenerer), som har svært ulike gifteffekter. Det er et miljøfremmed stoff som har lang oppholdstid i miljøet og har kroniske giftvirkninger i selv små konsentrasjoner. For en oversikt, se Knutzen (1995).

PCB har blitt satt i forbindelse med reproduksjonsforstyrrelser, atferdsforstyrrelser og nedsettelse av immunforsvaret. PCB-holdige oljer har særlig blitt benyttet som isolasjonsmiddel og kjølemiddel i elektriske utstyr som transformatorer og kondensatorer. Videre har det vært brukt i hydraulikk- og skjæreoljer, som mykgjørere i visse plast- og malingstyper, i fugemasser, i betongbelegg (bl. a. landbrukssiloer) mm. All bruk av PCB i Norge skulle i følge Nordsjødeklarasjonen ha opphørt i 1994.

Da mange av de klororganiske forbindelsene er relativt flyktige, kan de i likhet med kvikksølv spres med luftstømmer fra kildeområdene og til mer nordlige strøk hvor de avsettes (Wannia og Mackay, 1993). Slike langtransporterte atmosfæriske avsetninger kan gjenfinnes i sedimentene i norske innsjøer som er fri for lokale punktkilder av klororganiske miljøgifter (Rognerud et al. 1997a)

3. Områdebeskrivelse

Randsfjorden er Norges fjerde største innsjø, ligger nord for Ringerike i Jevnaker, i kommunene Gran, Søndre Land og Nordre Land, Oppland fylke. Den er en typisk fjordsjø; lang og smal med hovedretning nord-sør. Den er 75 km lang med en største bredde på 4,5 km og ligger 134 m o.h. Den har et innsjøareal på 137 km², maksimaldypet er 121 m, middeldypet er 44 m og dens teoretiske oppholdstid er 3,3 år. I nordenden mottar den tilløp fra Etna og Dokka, i midt-/sør-enden mottar den tilløp fra Vigga (Hadeland-regionen), mens den helt i i sør har avløp til Tyrifjorden gjennom Randselva.



Figur 1. Kart over Randsfjorden med inndeling av fjorden i ulike hovedområder. Stasjonsangivelsene refererer til stasjoner hvor sedimenter har blitt analysert for miljøgifter (Rognerud et al. 1997a og b).

Randsfjorden var med i en undersøkelse som kartla nivåene av utvalgte miljøgifter i sedimenter fra innsjøer med ulike potensielle kilder i nedbørfeltet (Rognerud et al. 1997a og b), men det ble her ikke gjort noen funn som skulle indikere at Randsfjorden var spesielt påvirket av lokale utslipp av kvikksølv eller organiske miljøgifter. I tabell 2 har vi gitt resultatene for kvikksølv, PCB og p,p-DDE (et forholdsvis persistent nedbrytningsprodukt av DDT). Kvikksølvnivåene i overflatesedimentene (sedimentdyp: 0-1 cm) var ikke særskilt høye, og sammenlikner en de med nivåene i dypere sedimenter som stammer fra førindustriell tid (sedimentdyp: 30-40 cm) viser det seg at de er forhøyet med en faktor på omlag 1,5-2.

Nivåene av de klororganiske miljøgiftene i overflatesedimenter (sedimentdyp: 0-2 cm) var også relativt lave, og ut fra et marint klassifiseringssystem (SFT 1997) ligger konsentrasjonene av PCB (målt som summen av syv ulike PCB-forbindelser; sum PCB7) i tilstandsklasse I, ubetydelig-lite forurenset (< 5 µg/kg). Av DDT-forbindelser ble det analysert for nedbrytningsproduktene p,p-DDE og p,p-DDD — som vanligvis utgjør 80–90% av summen av DDT med nedbrytningsprodukter i sedimenter fra innsjøer uten nylige DDT-utslipp. Nivåene av disse DDT-forbindelsene var lave og skiller seg ikke ut fra de vi finner i innsjøer uten betydelige lokale utslipp.

Tabell 2. Konsentrasjoner av kvikksølv, PCB og nedbrytningsprodukter av DDT i sedimenter fra Randsfjorden. Prøvene er tatt i 1994 og rapportert i Rognerud et al. (1997a og b).

variabel	sedimentdyp	stasjon Flubergfjorden	stasjon Jevnaker
kvikksølv (Hg), µg/kg	0–1 cm	149	182
kvikksølv (Hg), µg/kg	<30 cm	78	117
sum PCB7 ^a , µg/kg	0–2 cm	2.11	1.73
p,p-DDE, µg/kg	0–2 cm	0.58	2.23
p,p-DDD, µg/kg	0–2 cm	0.57	0.34

a. sum PCB7: IUPAC nr. 28 + 52 + 101 + 118 + 138 + 153 + 180

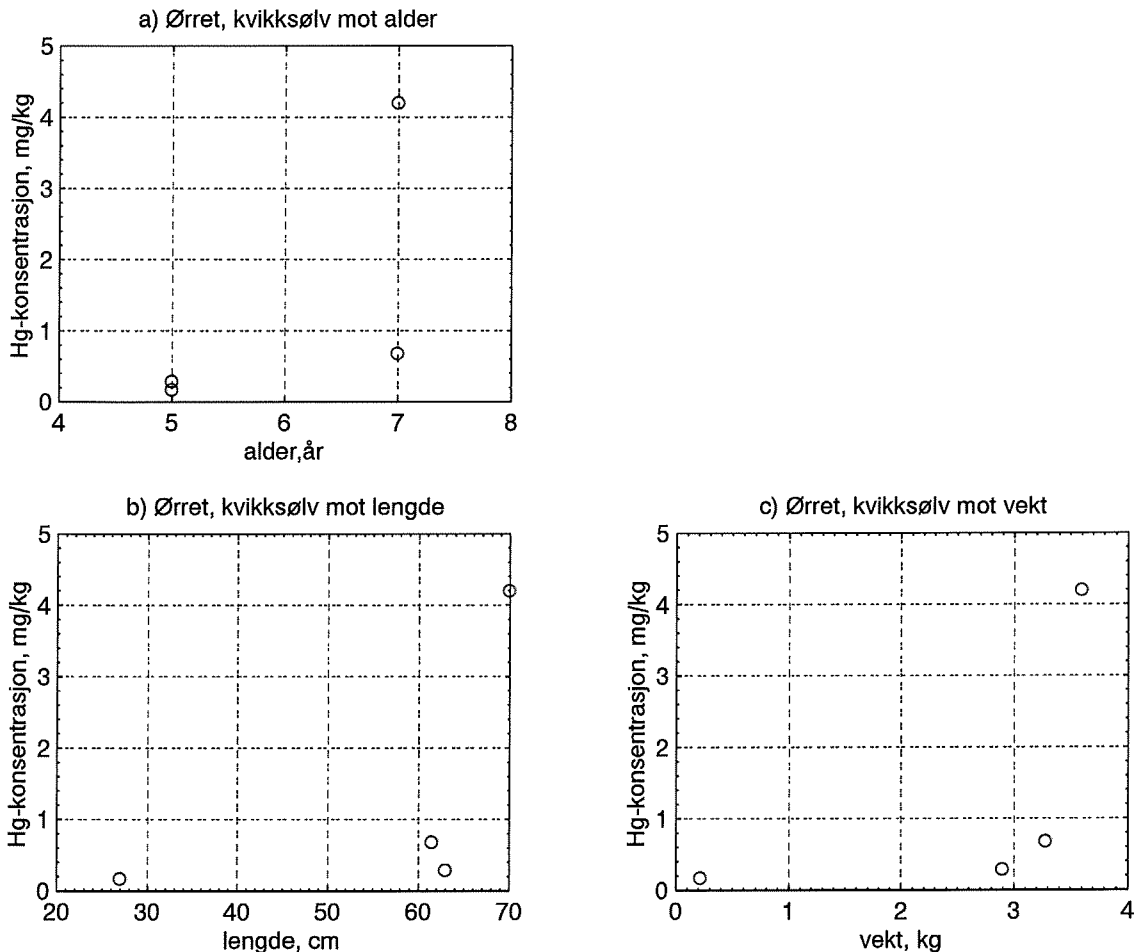
4. Kvikksølv i Randsfjordfisk

4.1 Ørret

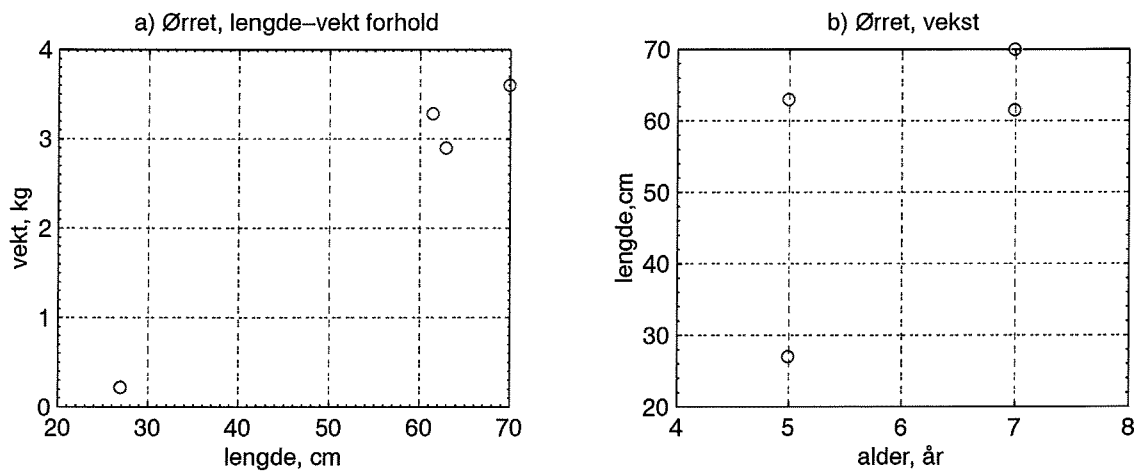
Det ble kun innlevert 4 individer til analyse. Disse varierte en del i størrelse, vekta var 0,22–3,60 kg (gjennomsnitt: $2,50 \pm 1,54$ kg) mens lengda var 27–70 cm (gjennomsnitt: 55 ± 19 cm). Alderen varierte fra 4–7 år.

Som følge av den store spredningen i størrelse fant vi også en stor spredning i kvikksølvkonsentrasjonene som varierte mellom 0,17–4,20 mg Hg/kg våtvekt (gjennomsnitt: $1,34 \pm 1,92$ mg/kg). Den største verdien vil vi imidlertid karakterisere som overraskende høy, tatt i betraktning at Randsfjorden har vært ansett som forholdsvis upåvirket av lokale kvikksølvutslipp. Prøven med det høye nivået ble re-analysert, og det ble bekreftet at det ikke var analysefeil. Randsfjordørreten er en fiskespisende rovfisk og krøkle er en viktig byttefisk for den. Krøkle kan selv akkumulere relativt høye nivåer av kvikksølv, og dette vil kunne føre til at kvikksølvkonsentrasjonen i stor og gammel ørret kan nå betydelige nivåer. Vi anser det derfor som viktig å få kartlagt nivåene i større individer av ørret.

I figur 2 har vi plottet kvikksølvkonsentrasjonene mot fiskens størrelse og alder til det analyserte materialet, mens lengde-vekt forholdene og fiskens vekst har vi vist i figur 3.



Figur 2. Kvikksølvkonsentrasjonen i ørret fra Randsfjorden plottet mot fiskens lengde, vekt og alder.



Figur 3. *Lengde-vekt forhold og vekst til det analyserte ørret-materialet fra Randsfjorden.*

4.2 Røye

Kvikksølvnivåene i det analyserte materialet av røye varierte mellom 0,12–0,64 mg Hg/kg våtvekt (gjennomsnitt: 0,30 mg/kg). To av i alt 25 fisk overskred grensen på 0,5 mg Hg/kg som er satt for salg av slik fisk til konsum. Materialet ble dominert av fisk i størrelsesgruppen 350–550 g (30–40 cm) med en alder på 6–8 år. Det var en betydelig spredning i konsentrasjonene innenfor de enkelte lengdegruppene. Eksempelvis kunne en for fisk på omlag 40 cm eller 750 g finne kvikksølvkonsentrasjoner i området 0,20–0,64 mg/kg (Figur 4).

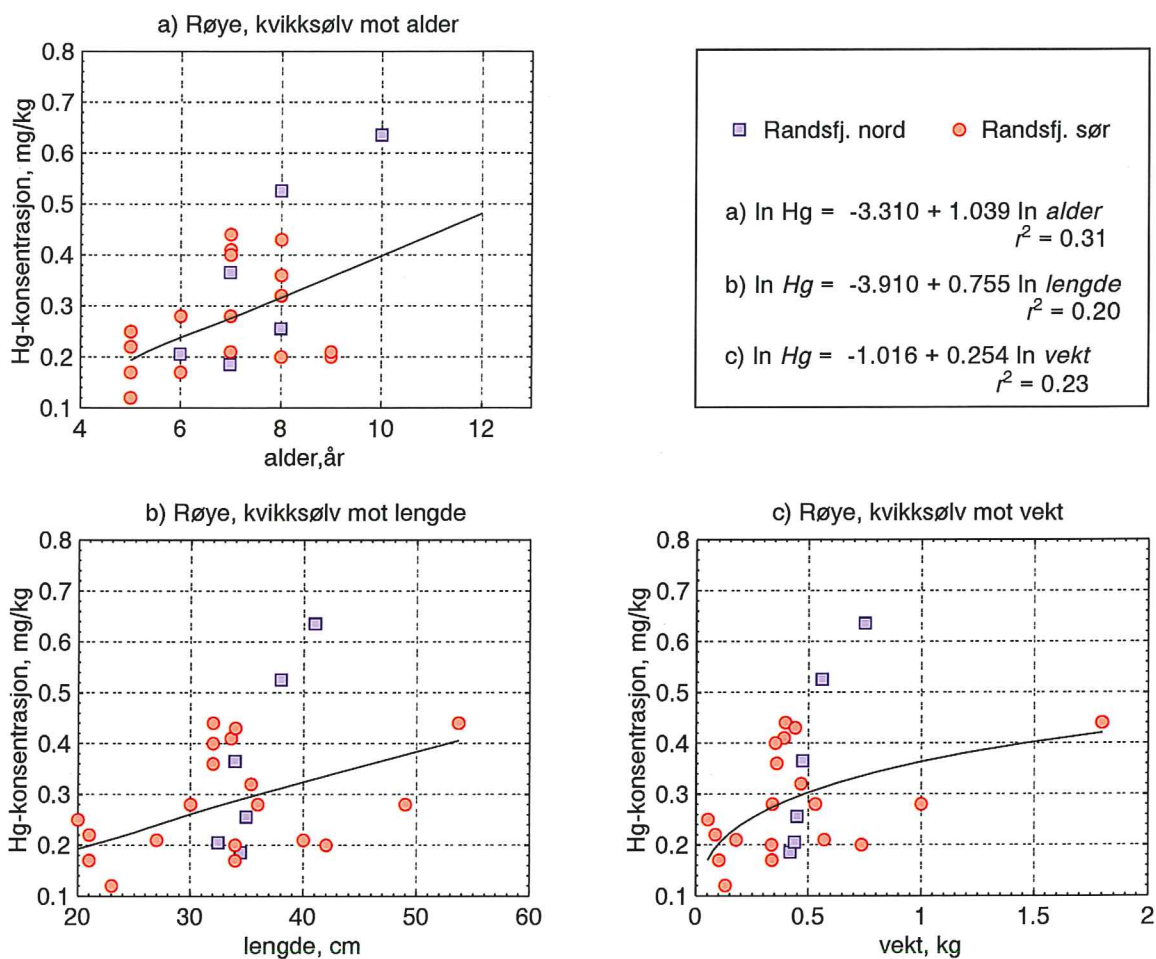
I tabell 3 har vi oppgitt gjennomsnittlige verdier av kvikksølvkonsentrasjonene, samt størrelse og alder på fisken. I figur 4 sees det en tydelig tendens til at kvikksølvnivåene steg med fiskens størrelse og alder, og vi har her også vist kurver som beskriver kvikksølvinnholdet som funksjon av fiskens lengde, vekt og alder.

Av de ialt 25 analyserte røyene stammet 6 fra Randsfjordens nordlige område, mens de resterende 19 var fra sør-området. Antallet fisk fra nordområdet er for lavt til at en kan si noe om generelle forskjeller mellom kvikksølvnivået i røya fra de to områdene, men en kan merke seg at de to individene med høyest kvikksølvinnhold (både absolutte nivåer og også sett i relasjon til fiskens størrelse) stammet fra nordområdet. Det var ingen tegn til at det skulle være forskjeller mellom veksten eller lengde-vekt forholdene til røya fra de to områdene (Figur 5), men igjen er antallet fisk fra Randsfjorden nord for lavt til at en kan å gi noen generelle vurderinger.

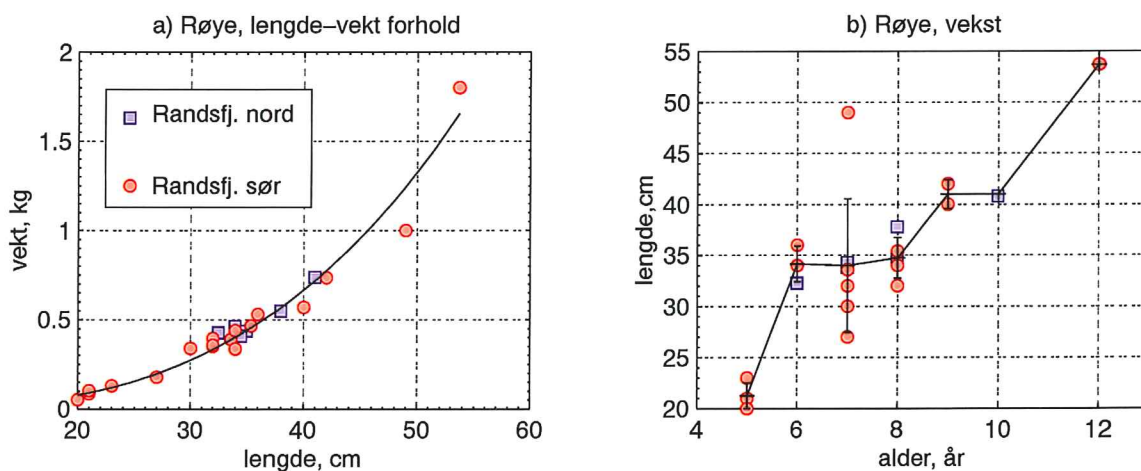
Randsfjord-røya, i likhet med ørret-stammen, går over til å bli fiskespiser etter ungfisk-stadiet og den er kjent for å kunne bli svært stor (opp mot 8-9 kg). Stor røye, fra 2 kg og oppover, mangler i undersøkelsen, og det ville også være av interesse å se om kvikksølvakkumuleringen i slik fisk i vesentlig grad øker med størrelsen. Dersom fisken endrer sine næringsvaner og spiser mer krøkle vil et slikt omslag i akkumuleringsraten av kvikksølv muligens kunne inntreffe. Det ville derfor også være av interesse å få kartlagt nivåene av kvikksølv i store individer av røye.

Tabell 3. Gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon (mg Hg/kg våtvekt), lengde, vekt og alder i det analyserte materialet av røye fra Randsfjorden ($n = 25$). Maksimum- og minimumsverdier er også oppgitt.

	mg Hg/kg	lengde, cm	vekt, g	alder, år
gjennomsnitt	0.30	33.8	468	7.3
standard avvik	± 0.13	± 8.0	± 352	± 1.6
maksimum	0.64	53.7	1800	12
minimum	0.12	20.0	52	5



Figur 4. Kvikksølvkonsentrasjonen i røye fra Randsfjorden, plottet mot alder (a), lengde (b) og vekt (c). Kurvene er basert på lineære regresjoner av logarimisk transformerte data, og funksjonene er oppgitt i panelet øverst til høyre. Kvikksølvkonsentrasjonen i røye beregnet for salg skal ikke overstige 0,5 mg Hg/kg.



Figur 5. Lengde-vekt forhold og vekst til det analyserte røye-materialet fra Randsfjorden. Gjennomsnittlig lengde (med standard avvik) er inntegnet for hver aldersgruppe.

4.3 Sik

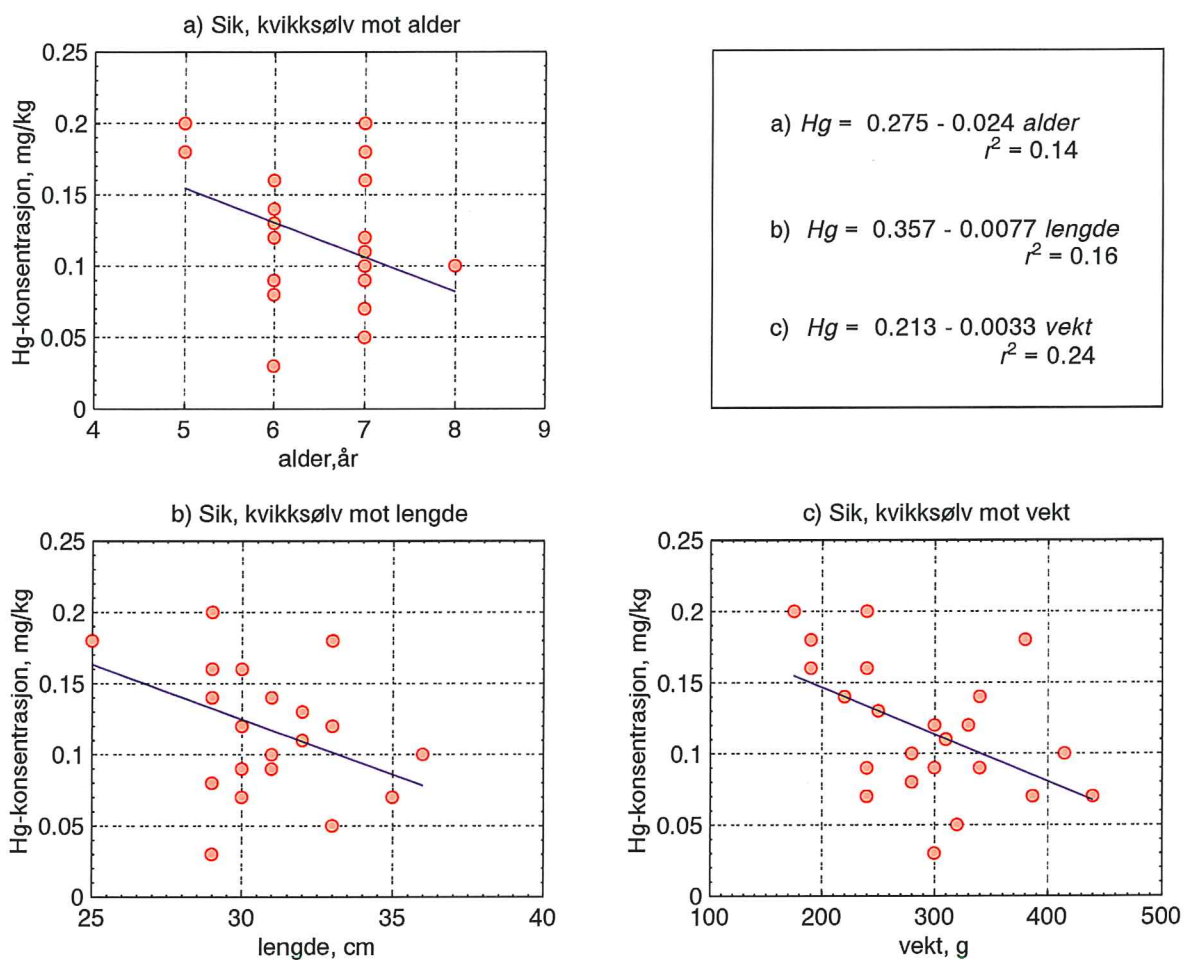
Konsentrasjonene av kvikksølv i sik var lavt og ingen fisk overskred grensen på 0,5 mg Hg/kg som er satt for salg av slik fisk til konsum. Nivåene varierte mellom 0,03–0,20 mg Hg/kg. Materialet ble dominert av fisk i størrelsesgruppen 240–350 g (28–33 cm) med en alder på 6–7 år. Det var en betydelig spredning i konsentrasjonene innenfor de enkelte lengdegruppene. Eksempelvis kunne en for fisk på omlag 30 cm eller 260 g finne kvikksølv-konsentrasjoner i området 0,05–0,20 mg/kg (Figur 6).

I tabell 4 har vi oppgitt gjennomsnittlige verdier av kvikksølvkonsentrasjonene, samt størrelse og alder på fisken. I motsetning til hva en vanligvis finner så var det en tendens til at kvikksølvnivåene sank med fiskens størrelse og alder. Dette har vi vist i figur 6 sammen med kurver som beskriver kvikksølvinnholdet som funksjon av fiskens lengde, vekt og alder. Reduksjonen med størrelse og alder kan tyde på at siken endrer sitt kosthold etterhvert som den vokser. I figur 7 har vi vist lengde-vekt forholdene og veksten til sik.

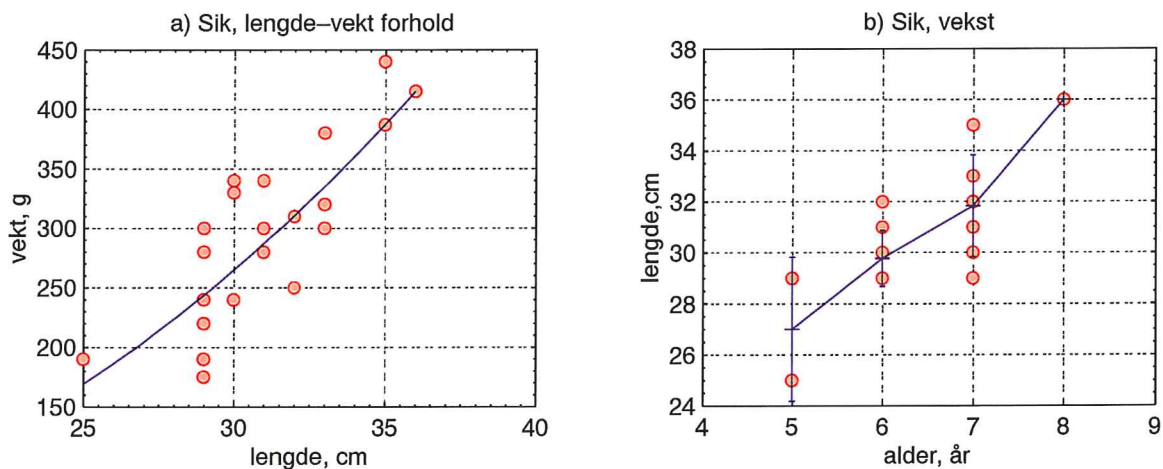
Vi har ikke skilt mellom sik fra ulike deler av Randsfjorden, Sik er en art som vandrer vidt omkring i de frie vannmassene (den har et pelagisk levesett) og vi forventer derfor ikke å finne geografiske forskjeller i kvikksølvnivåene.

Tabell 4. Gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon (mg Hg/kg våtvekt), lengde, vekt og alder i det analyserte materialet av sik fra Randsfjorden ($n = 24$). Maksimum- og minimumsverdier er også oppgitt.

	mg Hg/kg	lengde, cm	vekt, g	alder, år
gjennomsnitt	0.19	30.9	286	6.5
standard avvik	0.05	2.5	57	0.7
maksimum	0.20	36.0	415	8
minimum	0.03	25.0	168	5



Figur 6. Kvikksølvkonsentrasjonen i sik fra Randsfjorden, plottet mot alder (a), lengde (b) og vekt (c). Kurvene er basert på lineære regresjoner og funksjonene er oppgitt i panelet øverst til høyre. Kvikksølvkonsentrasjonen i sik beregnet for salg skal ikke overstige 0,5 mg Hg/kg.



Figur 7. Lengde-vekt forhold og vekst til det analyserte sik-materialet fra Randsfjorden. Gjennomsnittlig lengde (med standard avvik) er inntegnet for hver aldersgruppe.

4.4 Abbor

Kvikksølvnivåene i det analyserte materialet av abbor varierte mellom 0,03–0,66 mg Hg/kg våtvekt (gjennomsnitt: 0,23 mg/kg). Seks av i alt 60 fisk overskred grensen på 0,5 mg Hg/kg som er satt for salg av slik fisk til konsum. Materialet ble dominert av fisk i størrelsesgruppen 130–580 g (23–35 cm) med en alder på 3–4 år. Det var en betydelig spredning i konsentrasjonene innenfor de enkelte lengdegruppene. Eksempelvis kunne en for fisk på omlag 25 cm eller 200 g finne kvikksølvkonsentrasjoner i området 0,05–0,33 mg/kg (figur 8).

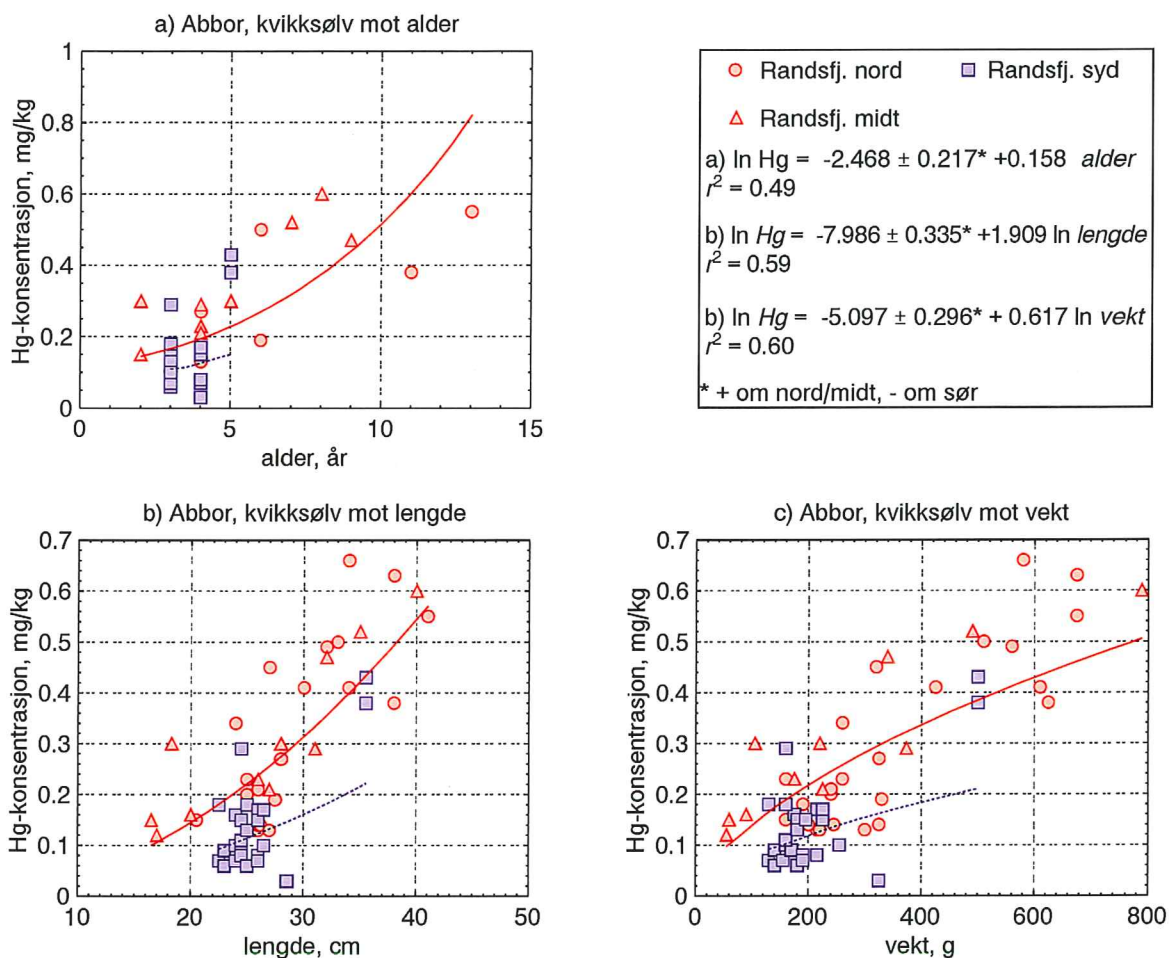
I tabell 5 har vi oppgitt gjennomsnittlige verdier av kvikksølvkonsentrasjonene, samt størrelse og alder på fisken. Vi har også splittet opp materialet etter hvilke områder i Randsfjorden det er fisket fra. Som det framgår av tabellen fant vi de laveste nivåene generelt i «sør», mens nivåene var omlag like for områdene «nord» og «midt». Fisken fra «sør» var også generelt noe mindre enn den fra de andre områdene.

Statistiske analyser (kovarians-analyser) viste at dersom vi justerte for forskjellene i størrelse eller alder kunne vi ikke påvise signifikante forskjeller i gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon fra områdene «nord» og «midt» ($p = 0,14$). Gjennomsnittlig konsentrasjon fra «sør» var derimot signifikant lavere enn for «nord» og «midt» ($p < 0,001$). Lengdejustert gjennomsnitt for en abbor på 26,5 cm eller 230 g (geometrisk gjennomsnitt for utvalget) fra områdene «nord» og «midt» var 0,25 mg Hg/kg, mens tilsvarende konsentrasjon for fisk fra område «sør» var 0,13 mg Hg/kg.

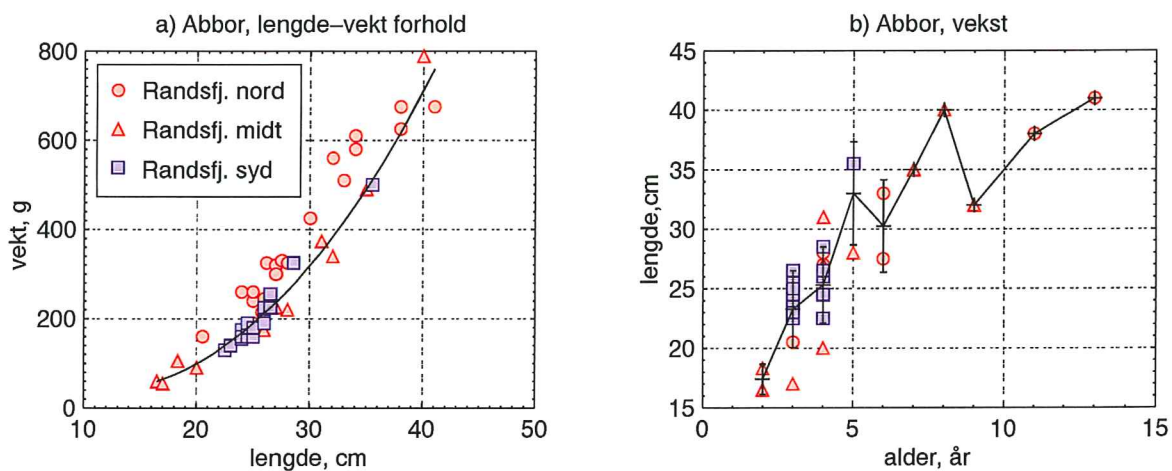
I figur 8 sees det en tydelig tendens til at kvikksølvnivåene steg med fiskens størrelse og alder, og vi har her også vist kurver som beskriver kvikksølvinnholdet som funksjon av fiskens lengde, vekt og alder. Det var ingen tegn til at det skulle være forskjeller mellom lengde–vekt forholdene (kondisjonen) til abbor fra de ulike områdene (Figur 9). Vekst-analyser av de innsamlede materialet viste at fisken i aldersgruppe 3 fra områdene «nord» og «midt» ($20,2 \pm 4,7$ cm, $n = 6$) var statistisk signifikant mindre ($p = 0,003$) enn like gammel fisk fra område sør ($24,5 \pm 1,1$ cm, $n = 15$), men en slik forskjell lot seg ikke spore innenfor noen andre aldersgrupper. Vi har derfor tillagt funnet om ulik vekst liten vekt, og har beregnet vekstforløpet til abboren uavhengig av fangstområde (Figur 9).

Tabell 5. Gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon (mg Hg/kg våtvekt), lengde, vekt og alder i det analyserte materialet av abbor fra Randsfjorden. Maksimum- og minimumsverdier er også oppgitt. Data er gitt for det totale materialet ($N = 60$), samt oppdelt etter hvilke områder av Randsfjorden det er fisket fra.

område	parameter	mg Hg/kg	lengde, cm	vekt, g	alder, år
totalt ($N = 60$)	gjennomsnitt	0.23	27.1	280	4.2
	standard avvik	± 0.16	± 5.2	± 169	± 2.2
	maksimum	0.66	41.0	788	13
	minimum	0.03	16.5	55	3
nord ($n = 24$)	gjennomsnitt	0.30	28.5	360	5.3
	standard avvik	± 0.17	± 5.1	± 173	± 3.4
	maksimum	0.66	41.0	375	13
	minimum	0.13	20.5	160	2
midt ($n = 11$)	gjennomsnitt	0.30	26.4	266	4.7
	standard avvik	± 0.16	± 7.8	± 223	± 2.3
	maksimum	0.60	40.0	788	9
	minimum	0.12	16.5	55	2
sør ($n = 25$)	gjennomsnitt	0.14	25.7	210	3.5
	standard avvik	± 0.10	± 3.3	± 97	± 0.7
	maksimum	0.43	35.5	500	5
	minimum	0.03	22.5	130	3



Figur 8. Kvikksølvkonsentrasjonen i abbor fra Randsfjorden, plottet mot alder (a), lengde (b) og vekt (c). Kurvene er basert på lineære regresjoner og funksjonene er oppgitt i panelet øverst til høyre. Kvikksølvkonsentrasjonen i abbor beregnet for salg skal ikke overstige 0,5 mg Hg/kg



Figur 9. Lengde-vekt forhold og vekst til det analyserte abbor-materialet fra Randsfjorden. Gjennomsnittlig lengde (med standard avvik) er inntegnet for hver aldersgruppe

4.5 Gjedde

Kvikksølvnivåene i det analyserte materialet av abbor varierte mellom 0,13–2,80 mg Hg/kg våtvekt (gjennomsnitt: 0,56 mg/kg). Fire av i alt 60 fisk overskred grensen på 1,0 mg Hg/kg som er satt for salg av gjedde til konsum. Dette var fisk som var større enn 63 cm eller 1,6 kg. Materialet ble dominert av fisk i størrelsesgruppen 0,5–4 kg (40–80 cm) med en alder på 3–6 år.

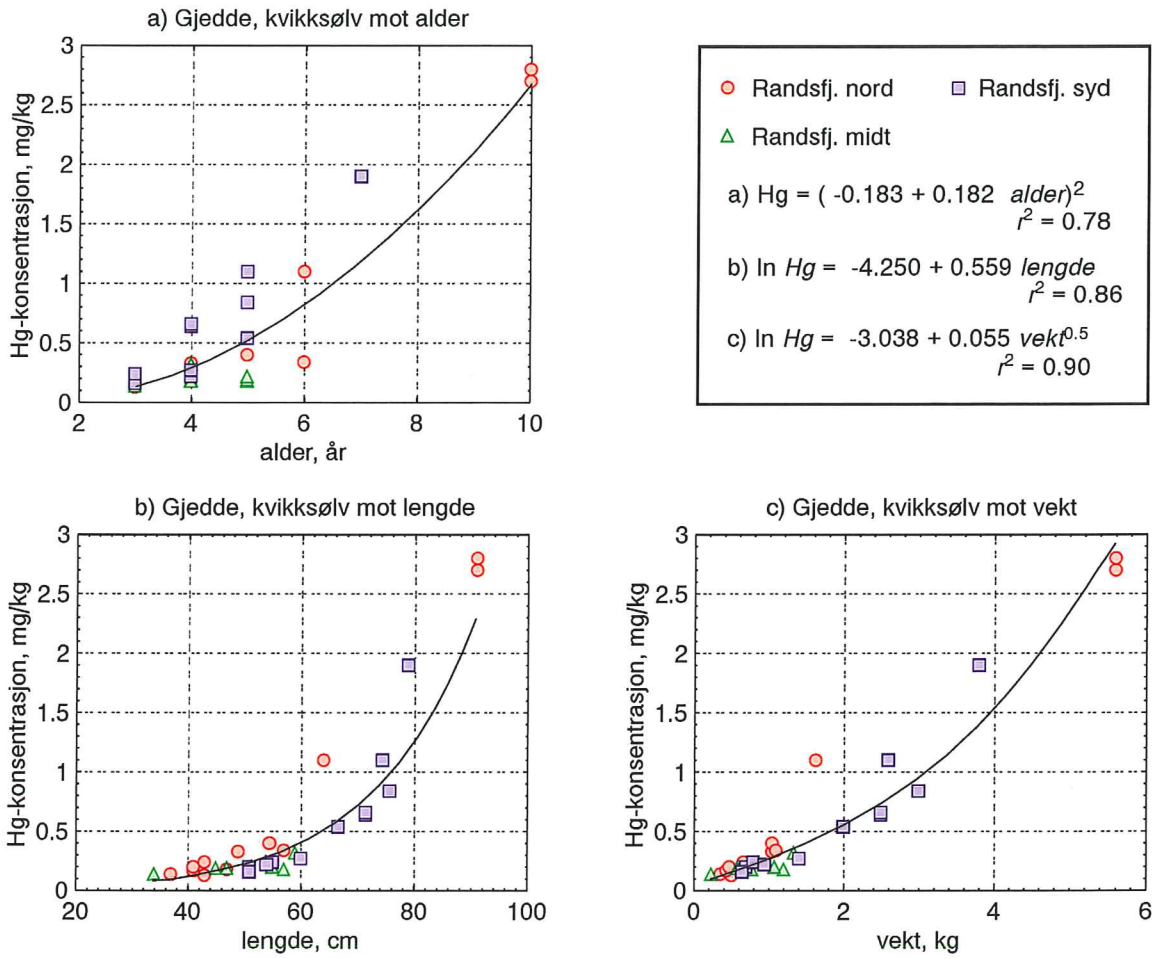
I tabell 6 har vi oppgitt gjennomsnittlige verdier av kvikksølvkonsentrasjonene, samt størrelse og alder på fisken. Det var en svak, men statistisk signifikant tendens til at kvikksølvkonsentrasjonen i de mindre størrelsesgruppene (< 60 cm) var høyest i området «nord» og lavest i område «sør» (kovariansanalyse, $p = 0,04$). Forskjellene var imidlertid såvidt marginale (0,07 mg Hg/kg) for fisk på 43 cm) at vi har behandlet alt materiale samlet.

I figur 10 sees det en tydelig tendens til at kvikksølvnivåene steg med fiskens størrelse og alder, og vi har her også vist kurver som beskriver kvikksølvinnholdet som funksjon av fiskens lengde, vekt og alder. Kurven som beskriver forholdet mellom vekt og kvikksølvkonsentrasjon viser at gjennomsnittlig konsentrasjon overstiger 1,0 mg Hg/kg når gjedda blir større enn 3 kg og at konsentrasjonen ligger omkring 3 mg Hg/kg for fisk for fisk på rundt 6 kg.

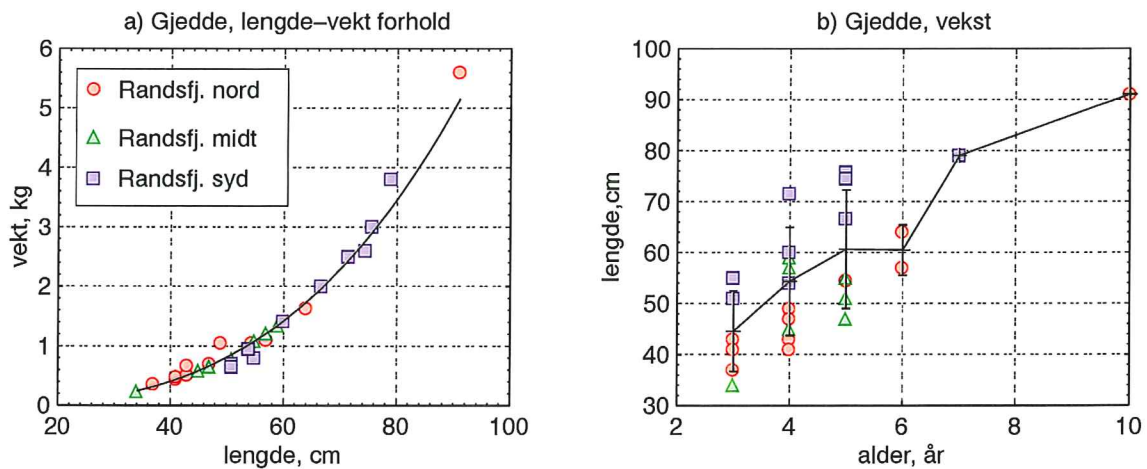
Det var ingen tegn til at det skulle være forskjeller mellom lengde–vekt forholdene (kondisjonen) til abbor fra de ulike områdene (Figur 9). I likhet med abbor var det også for gjedda en tendens til at den vokste raskere i område «sør» enn lenger nord. Eksempelvis var midlere lengde (\pm standardavvik) for aldersgruppe 4 år i områdene nord, midt og sør henholdsvis 45,0 cm \pm 3,7 cm ($n = 4$); 53,7 cm \pm 7,6 cm ($n = 3$) og 64,3 cm \pm 8,7 cm ($n = 4$). Dette er statistisk signifikante forskjeller (variansanalyse, $p = 0,01$). Vi har imidlertid såvidt lite fisk fra de enkelte områdene og aldersgruppene at vi har beregnet vekstforløpet til abbor uavhengig av fangstområde (Figur 11).

Tabell 6. Gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon (mg Hg/kg våtvekt), lengde, vekt og alder i det analyserte materialet av gjedde fra Randsfjorden ($n = 30$). Maksimum- og minimumsverdier er også oppgitt.

parameter	mg Hg/kg	lengde, cm	vekt, kg	alder, år
gjennomsnitt	0.56	57.2	1.53	4.6
standard avvik	± 0.71	14.9	1.40	1.8
maksimum	2.80	91.0	0.24	10
minimum	0.13	34.0	5.60	3



Figur 10. Kvikksølvkonsentrasjonen i gjedde fra Randsfjorden, plottet mot alder (a), lengde (b) og vekt (c). Kurvene er basert på lineære regresjoner og funksjonene er oppgitt i panelet øverst til høyre. Kvikksølvkonsentrasjonen i gjedde beregnet for salg skal ikke overstige 1,0 mg Hg/kg



Figur 11. Lengde-vekt forhold og vekst til det analyserte gjedde-materialet fra Randsfjorden. Gjennomsnittlig lengde (med standard avvik) er inntegnet for hver aldersgruppe

4.6 Sammenlikning med nasjonale data

Det foreligger et større nasjonalt materiale av kvikksølvnivåer i ferskvannsfisk (Rognerud et al. 1996) som nivåene fra Randsfjorden kan sammenliknes med. I likhet med Randsfjorden stammer det nasjonale materialet fra innsjøer uten kjente betydningsfulle punktutslipp av kvikksølv, men undersøkelsen inkluderer ingen av de store innsjøene i Øst-Norge.

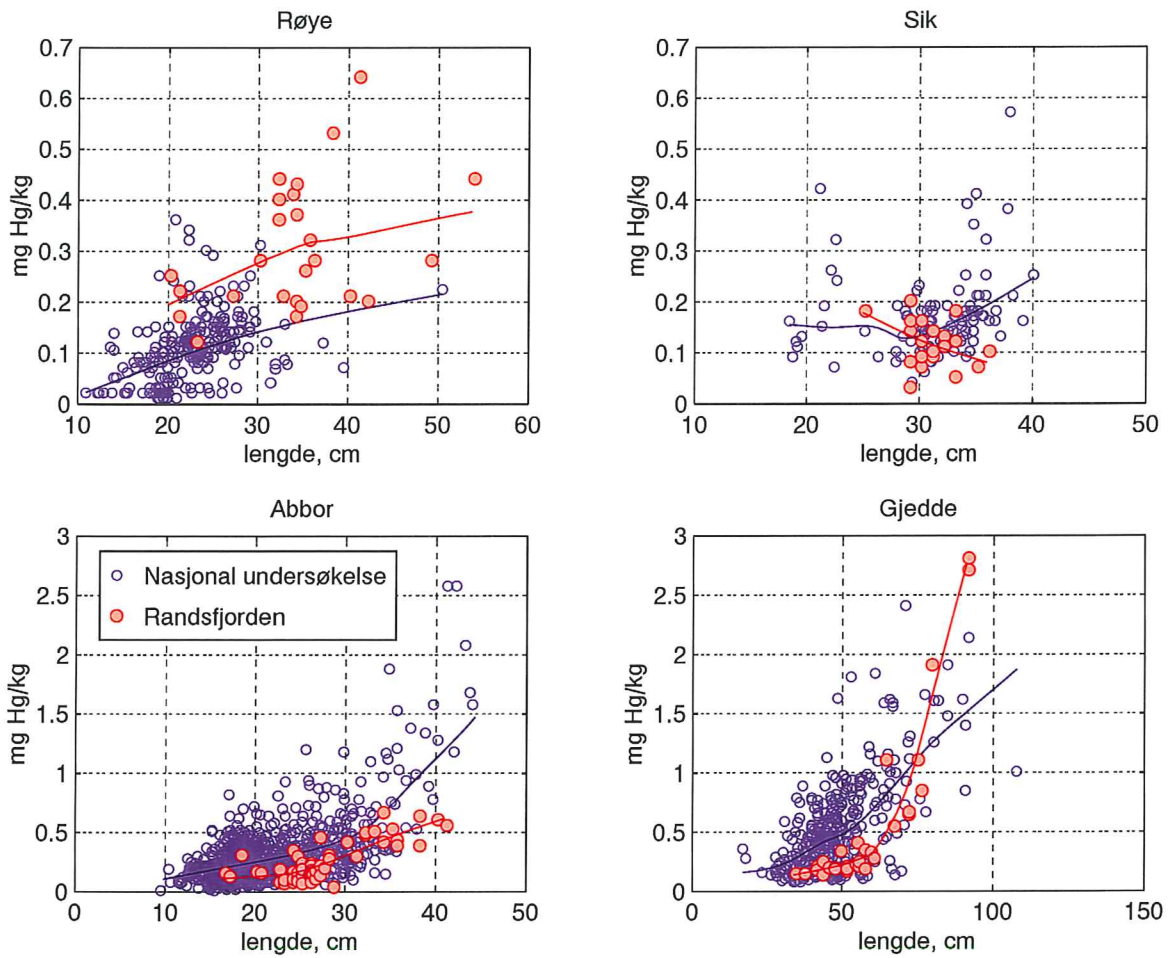
Vi har plottet de enkelte observasjonene av kvikksølvkonsentrasjon mot fiskelengde for røye, sik, abbor og fra Randsfjorden sammen med data fra den nasjonale undersøkelsen i figur 12. Vi har her også tegnet inn kurver som angir konsentrasjonen som funksjon av fiskelengde. Kurvene er beregnet ved hjelp av en ikke-lineær regresjonsteknikk (Lowess) for å gi en best mulig generalitet og tilpassing til ulineariteter i det nasjonale materialet. Antallet fisk og bestander av de forskjellige artene er gitt i teksten til figur 12.

For røye ser en at konsentrasjonene fra Randsfjorden ligger generelt høyere enn de fra det nasjonale materialet: for fisk på omlag 35 cm (nær 0,5 kg) var typiske konsentrasjoner fra Randsfjorden i området 0,2–0,4 mg Hg/kg, mens tilsvarende nivåer fra det nasjonale materialet var 0,1–0,2 mg Hg/kg. Slike forskjeller kan skyldes at Randsfjord-stammen er en mer spesialisert fiskepiser enn de andre bestandene som var med i den nasjonale undersøkelsen.

For sik syntes nivåene fra de to undersøkelsene å være mye like, hvor typiske nivåer for fisk på omlag 30 cm (260 g) lå i intervallet 0,1–0,2 mg Hg/kg. Generelt var det ingen god positiv sammenheng mellom konsentrasjonene og fiskens størrelse i det nasjonale materialet, og for Randsfjorden fant vi en tendens til at kvikksølvnivåene sank med fiskens størrelse. Vi må her anmerke at materialet fra den nasjonale undersøkelsen er sparsomt med 98 individer fra 6 bestander.

For abbor lå nivåene fra Randsfjorden generelt noe lavere enn nivåene i det nasjonale materialet. Typiske konsentrasjoner for fisk på omlag 25 cm (nær 0,5 kg) fra Randsfjorden lå i området 0,1–0,2 mg Hg/kg, mens tilsvarende nivåer fra det nasjonale materialet var 0,1–0,5 mg Hg/kg.

For gjedde var kvikksølvkonsentrasjonene i fisk mindre enn 70–75 cm (2–2,5 kg) generelt lavere i Randsfjorden enn i materialet fra den nasjonale undersøkelsen. Typiske konsentrasjoner for fisk på omlag 53 cm (1 kg) fra Randsfjorden lå i området 0,2–0,3 mg Hg/kg, mens tilsvarende nivåer fra det nasjonale materialet var 0,2–0,9 mg Hg/kg. Kurven som beskriver kvikksølvkonsentrasjonene som funksjon av alder steg imidlertid brattere for gjedda fra Randsfjorden, slik at når fisken herfra hadde blitt omlag 75 cm (3 kg) hadde den generelt høyere kvikksølvnivåer enn sammenliknbar gjedde fra den nasjonale undersøkelsen. En mulig forklaring på dette fenomenet kan være at stor gjedde fra Randsfjorden begynner å spise krøkle, noe ingen av de andre undersøkte bestandene gjorde. Krøkle er en liten laksefisk som kan bli relativt gammel og kan akkumulere forholdsvis høye nivåer av kvikksølv (Eriksen et al. 1991).



Figur 12. Kvikksølvkonsentrasjoner i røye (n=25), sik (n=24), abbor (n=60) og gjedde (n=30) fra Randsfjorden sammenliknet med konsentrasjonene funnet i en nasjonal undersøkelse (Rognerud et al. 1996). Antallet fisk og bestander i det nasjonale materialet var: abbor, 828 ind./36 bestander; gjedde, 305 ind./20 bestander; sik, 98 ind./6 bestander; røye 229 ind./14 bestander. Kurvene er basert på ikke-lineære regresjoner (Lowess).

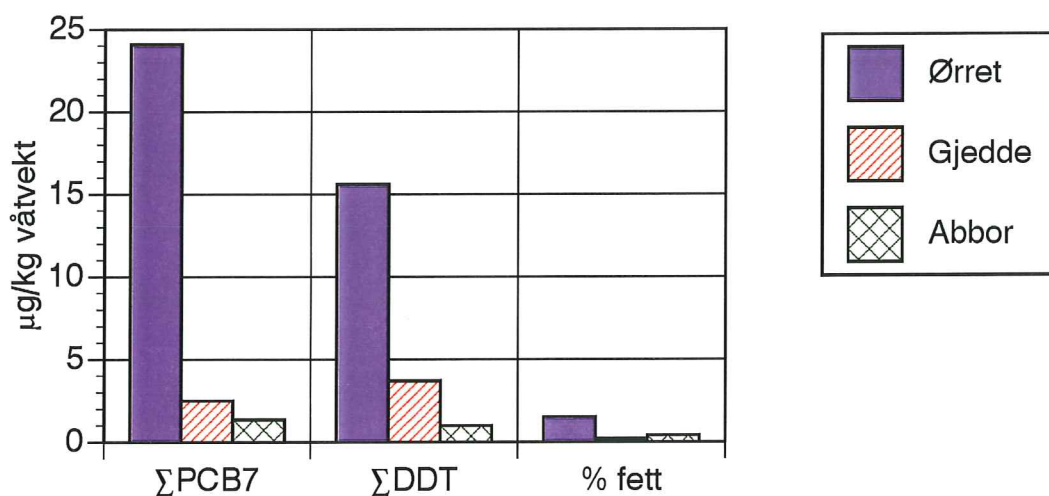
5. Klororganiske miljøgifter i Randsfjord-fisk

Det ble analysert for klororganiske forbindelser i blandprøver av muskelfilet (ryggmuskel) fra ørret, abbor og gjedde. Nivåene var generelt lave/moderate og konsentrasjonene i Randsfjord-fisken skiller seg ikke ut fra de vanlig forekommende bakgrunnsnivå for ferskvannsfisk (konsentrasjonene fra fisk i innsjøer som kun mottar atmosfæriske avsetninger av miljøgifter). Som det framgår av figur 13 var konsentrasjonene av PCB- og DDT-forbindelser i ørret omlag 10 og 20 ganger høyere enn i henholdsvis gjedde og abbor. Forskjellene mellom artene skyldes dels deres forskjellige fettinnhold i muskulaturen og dels deres ulike plass i næringskjedene. De klororganiske miljøgiftene er svært fettløselige og oppkonsentreres derfor i fettrikt vev. I tabell 7 har vi gitt analyseresultatene for hver enkeltforbindelse, samt summen av alle analyserte PCB-kongenerer og de såkalte «Seven Dutch» (sum PCB7).

Undersøkelser fra lokaliteter i Norge som kun mottar atmosfæriske avsetninger av disse miljøgiftene tyder på at bakgrunnsnivået i muskelfilet av abbor for sum-PCB7 ligger i området 0,2–2,5 µg/kg våtvekt, med tilsvarende tall for sum-DDT i området 0,1–1,5 µg/kg våtvekt (Skotvold et al. 1997, NIVA upubliserte data).

Ørret har et vesentlig høyere fettinnhold enn abbor og gjedde (1,5% versus 0,4% og 0,18%), og ved å regne om konsentrasjonene fra våtvekt- til fettvektbasis (dividere på andelen fett) minsker forskjellene betydelig. For sum-PCB7 blir de fettvekt-baserte konsentrasjonene for ørret og gjedde mye like, henholdsvis ca. 1600 og 1500 µg/kg fett, mens konsentrasjonen i abbor sank til 320 µg/kg fett. Tilsvarende konsentrasjoner for p,p-DDE (det vanligste nedbrytningsproduktet av DDT) var 800, 600 og 130 mg/kg fett. De omlag like fettjusterte konsentrasjonene i ørret og gjedde reflekterer trolig at de begge er fiskespisende rovfisk, mens det lavere nivået i abbor nok skyldes at den inntar en mer variert diett bestående av zooplankton, bunndyr, overflateinsekter og fisk.

For de andre klororganiske forbindelsene som gamma-hexaklorcyclohexan (γ-HCH eller Lindan; et skadedyrsmiddel, ikke lenger i bruk i Norge), oktaklorstyren og andre industrielle biprodukter som penta- og heksaklorbenzen var det også generelt lave konsentrasjoner som ikke avvok fra et forventet bakgrunnsnivå.



Figur 13. Klororganiske miljøgifter og fett-prosenten i muskelfilet av ørret, gjedde og abbor fra Randsfjorden. ΣPCB7 er summen av syv PCB-kongenerer mens ΣDDT er summen av DDT m. nedbrytningsprodukter (se Tabell 7).

Tabell 7. Konsentrasjonen av utvalgte klororganiske forbindelser i fisk fra Randsfjorden, fanget i 1998. Analysene er gjort på blandprøver av muskelfilet fra ørret, abbor og gjedde (se fotnoter). Alle konsentrasjoner er oppgitt i $\mu\text{g}/\text{kg}$ våtvekt, unntatt fettinnholdet som er oppgitt i prosent.

analysevariabel (NIVA kode)	analysevariabel (standard betegnelse)	ørret ^a	abbor ^b	gjedde ^c
fett %	fett %	1.5	0.40	0.18
CB28-B	PCB 28	0.08	<0.04	<0.1
CB-52-B	PCB 52	mangler	mangler	<0.1
CB-101-B	PCB 101	1.5	0.13	0.2
CB-118-B	PCB 118	1.9	0.14	0.3
CB-105-B	PCB 105	0.76	0.07	mangler
CB153-B	PCB 153	8.7	0.44	0.8
CB138-B	PCB 138	7.5	0.39	0.9
CB156-B	PCB 156	0.75	0.04	0.1
CB180-B	PCB 180	4.4	0.15	0.4
CB209-B	PCB 209	0.09	<0.04	<0.1
sum PCB	sum PCB	25.68	1.36	2.7
sum PCB7	sum PCB7 (seven Dutch) ^d	24.08	1.25	2.6
QCB-B	penta-klorbenzen	0.04	<0.02	0.7
HCHA-B	alfa-hexakl.cyclohex.	0.11	<0.06	<0.1
HCB-B	hexa-klorbenzen	0.4	0.07	<0.1
HCHG-B	gamma-hexakl.cyclohex. (Lindan)	0.32	0.08	<0.1
OCS-B	oktaklorstyren	<0.02	<0.02	0.1
DDEPP-B	4,4-DDE	12.0	0.6	1.1
TDEPP-B	4,4-DDD	1.1	0.13	0.2
DDT-PP-B	4,4-DDT	2.5	0.25	0.7
sum DDT-B	sum DDT	15.6	0.98	2.0

a. n = 4, vekt gjennomsnitt: 2.50 ± 1.55 kg, spredning: 0.22–3.60 kg

b. n = 30, vekt gjennomsnitt: 306 ± 164 g, spredning: 90–625 g

c. n = 12, vekt gjennomsnitt: 1.62 ± 1.52 kg, spredning: 0.24–5.60 kg

d. sum PCB7: IUPAC nr. 28 + 52 + 101 + 118 + 138 + 153 + 180

6. Konklusjoner

- Den analyserte fisken fra Randsfjorden hadde generelt et lavt til moderat kvikksølvnivå. Konsentrasjonene i abbor under 0,5 kg, røye under 2 kg (med få unntak) og sik var under 0,5 mg Hg/kg, som er grensa næringsmiddelmyndighetene har satt for salg av slik fisk til konsum.
- Det ble funnet betenkelig høye nivåer i store individer av fiskespisende rovfisk som gjedde og storørret. Høyeste konsentrasjon som ble målt var 4,2 mg Hg/kg i en ørret på 3,6 kg, noe som er bemerkelsesverdig høyt tatt i betraktning at Randsfjorden ikke har vært utsatt for større lokale tilførsler av kvikksølvforurensninger. Gjedde over 3 kg syntes generelt å ha konsentrasjoner større enn 1 mg Hg/kg, mens individer nær 6 kg syntes å ha konsentrasjoner opp mot 3 mg Hg/kg. Grensa som næringsmiddelmyndighetene har satt for salg av fisk til konsum er 0,5 mg Hg/kg for ørret og 1,0 mg Hg/kg for gjedde.
- Materialet av ørret er svært lite; kun fire individer ble analysert for kvikksølv. Materialet av storørret er derfor for spinkelt til å si noe generelt om kvikksølvnivåene. Det anbefales at nivåene i ørreten kartlegges bedre. Stor røye (fra 2 kg og oppover) mangler også i undersøkelsen, og det ville også være av interesse å se om kvikksølvakkumuleringen i slik fisk i vesentlig grad øker med størrelsen.
- Kvikksølvnivåene i sik og abbor fra Randsfjorden lå generelt noe lavere enn gjennomsnittet i like stor fisk fra en større landsomfattende undersøkelse. Det samme var også tilfelle for gjedde mindre enn 3 kg, men kvikksølvakkumuleringen i gjedde fra Randsfjorden tiltok betydelig når fisken ble større enn dette. Nivåene i røye lå generelt høyere enn de i røye av sammenliknbar størrelse fra den landsomfattende undersøkelsen. Dette kan skyldes at røya i Randsfjorden er fiskespisende, mens den i de fleste andre innsjøene fra den nasjonale undersøkelsen spiste zooplankton, bunndyr og overflateinsekter.
- Det var en svak tendens til at kvikksølvnivåene i gjedde og abbor var høyere i nord i Randsfjorden enn i sørenden. Forskjellene imidlertid såvidt små at det ikke bør ha noen praktiske konsekvenser med hensyn til spiseligheten av fisk fra de ulike områdene.
- Konsentrasjonene av de klororganiske miljøgiftene PCB og DDT i ørret, gjedde og abbor var lave og i samme størrelsesorden som de en kan forvente å finne i innsjøer uten betydelige lokale tilførsler.

7. Litteraturliste

- Andersson, T., and Lundberg, P. 1995. Swedish Environmental Protection Agency, Report 4397.
- Downs, S. G., MacLeod, C. L., and Lester, J. N. 1998. Mercury in precipitation and its relation to bioaccumulation in fish: a literature review. *Wat. Air Soil Pollut.*, 108, 149–187.
- Eriksen, H., Qvenild, T., Skurdal, J. og Fjeld, E. 1991. Kvikksølv i aure, lake og krøkle fra Mjøsa 1982–84. Fylkesmannen i Oppland, miljøvernveddelingen. Rapport 16/91. 25 s. + vedlegg
- Fjeld, E., and Rognerud, S. 1993. Use of path analysis to investigate mercury accumulation in brown trout (*Salmo trutta*) in Norway and the influence of environmental factors. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50: 1158–1167.
- Håkanson, L., Nilsson, A., and Andersson, T. 1988. Mercury in fish in Swedish Lakes. *Environ. Pollut.*, 49: 145–162.
- Grandjean, P., Weihe, P., White, R.F., Debes, F., Araki, S., Yokoyama, K., Murata, K., Sorensen, N., Dahl, R., and Jorgensen, P.J. 1997. Cognitive deficit in 7-year-old children with prenatal exposure to methylmercury. *Neurotoxicol. Teratol.* 19: 417-28.
- JECFA, 1989. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants. Methylmercury. s. 295–328. WHTA-1468. 31 s.
- Knutzen, J. 1995. Miljøgifter i økosystemet. *Vann.* 2: 248–285.
- Jackson, T. A. 1997. Long-range atmospheric transport to ecosystems, and the importance of anthropogenic emissions — a critical review and evaluation of the published evidence. *Environ. Rev.*, 5: 99–120.
- Lindqvist, O., Johansson, K., Aastrup, M., Andersson, A., Bringmark, L., Hovsenius, G., Håkanson, L., and Iverfeldt, Å. 1991. Mercury in the Swedish environment — Recent research on causes, consequences and corrective methods. *Wat. Air Soil Pollut.*, 55: 1–55.
- Rognerud, S. og Fjeld, E. 1990. Landsomfattende undersøkelse av tungmetaller i innsjøsedimenter og kvikksølv i fisk. Statlig program for forurensning. SFT rapport TA 714/1990. 76 s.
- Rognerud, S., Fjeld, E., and Eriksen, G.S. 1996. Landsomfattende undersøkelse av kvikksølv i ferskvannsfisk og vurdering av helsemessige effekter ved konsum. Statlig program for forurensningsovervåkning, SFT rapport TA 1380. 21 s. + vedlegg.
- Rognerud, S., Fjeld, E., og Løvik, J.E. 1997a. Regional undersøkelse av miljøgifter i innsjøsedimenter. Delrapport 1. Organiske mikroforurensninger. Statlig program for forurensning. NIVA rapport 3699-97. 37 s. + vedl.
- Rognerud, S., Fjeld, E., Løvik, J.E., og Skotvold, T. 1997b. Regional undersøkelse av miljøgifter i innsjøsedimenter. Delrapport 2. Tungmetaller og andre sporelementer. Statlig program for forurensning. NIVA rapport 3880-97. 44 s. + vedl.
- Rognerud, S., Skotvold, T., Fjeld, E., Norton, S. A., and Hobaek, A. 1998. Concentrations of trace elements in recent and preindustrial sediments from Norwegian and Russian Arctic lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55:, 1512-1523.

Rognerud, S., Fjeld, E. og Løvik, J.E. 1999. Landsomfattende undersøkelse av metaller i innsjøsedimenter. Statlig program for forurensning. NIVA rapport 4024-99. (in prep.)

Dons, C. og Beck, P.Å. 1993. Miljøgifter i Norge. SFT-rapport. TA-nr. 985-1993. 115 s.

SFT. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. SFT veiledning 97:03. 36 s.

Wannia, F. and Mackay, D. 1996. Tracking the distribution of persistent organic pollutants. Environ. Sci. Technol. 30: 390A-396A.

Wiener, J. G., and Stokes, P. M. 1990. Enhanced bioaccumulation of mercury, cadmium and lead in low-alkalinity waters: an emerging environmental problem. Environ. Tox. Chem., 9: 821-823.

Tabell 1. NIVA miljøgiftundersøkelse, Randsfjorden, Primærdata for fisk og kvikksølvanalyser.

art	nr	område	fangstår	lengde, cm	vekt, g	kjønn	stadium	Hg mg/kg	bland- prøve, g
Abbor	1	sør	1998	22.5	130	.	.	0.18	5.6
Abbor	2	sør	1998	24.5	170	.	.	0.09	5
Abbor	3	midt	1998	35	490	2	5	0.52	5
Abbor	3	sør	1998	24	175	.	.	0.16	5.3
Abbor	4	midt	1998	28	220	1	5	0.3	5.2
Abbor	4	sør	1998	24	155	.	.	0.07	5.4
Abbor	5	midt	1998	26	175	1	3	0.23	5.6
Abbor	5	sør	1998	26	215	.	.	0.08	5.5
Abbor	6	sør	1998	26.5	255	.	.	0.1	5
Abbor	7	sør	1998	28.5	325	.	.	0.03	5
Abbor	8	sør	1998	25	180	.	.	0.13	5
Abbor	9	sør	1998	26.5	225	.	.	0.17	.
Abbor	10	sør	1998	22.5	130	.	.	0.07	.
Abbor	11	midt	1998	32	340	2	.	0.47	5
Abbor	11	sør	1998	26	215	.	.	0.17	5.8
Abbor	12	midt	1998	27	225	2	.	0.21	5.2
Abbor	12	sør	1998	26	225	.	.	0.15	.
Abbor	13	midt	1998	20	90	2	.	0.16	5
Abbor	13	sør	1998	24.5	160	.	.	0.29	.
Abbor	14	sør	1998	26	195	.	.	0.15	.
Abbor	15	sør	1998	24.5	160	.	.	0.11	.
Abbor	16	sør	1998	25	160	.	.	0.18	.
Abbor	17	sør	1998	26	190	.	.	0.07	.
Abbor	18	sør	1998	25	180	.	.	0.06	.
Abbor	19	sør	1998	24.5	180	.	.	0.15	.
Abbor	20	sør	1998	24.5	190	.	.	0.08	.
Abbor	21	sør	1998	23	140	.	.	0.06	.
Abbor	22	sør	1998	23	140	.	.	0.09	.
Abbor	23	sør	1998	24	160	.	.	0.1	.
Abbor	53	nord	1998	30	425	2	4	0.41	5.3
Abbor	54	nord	1998	34	580	2	4	0.66	5.6
Abbor	55	nord	1998	32	560	2	4	0.49	5

Tabell 1. NIVA miljøgiftundersøkelse, Randsfjorden, Primærdata for fisk og kvikksølvanalyser.

art	nr	område	fangstår	lengde, cm	vekt, g	kjønn	stadium	Hg mg/kg	bland- prøve, g
Røye	124	sør	1998	32	396	2	5	0.44	.
Røye	125	sør	1998	32	352	2	5	0.4	.
Røye	126	sør	1998	34	338	1	5	0.17	.
Røye	127	sør	1998	34	440	1	5	0.43	.
Røye	128	sør	1998	30	340	.	.	0.28	.
Røye	129	sør	1998	23	130	.	.	0.12	.
Røye	130	sør	1998	20	52	.	.	0.25	.
Røye	131	sør	1998	32	358	2	5	0.36	.
Røye	133	sør	1998	40	570	2	5	0.21	.
Røye	135	sør	1998	49	1000	2	7.2	0.28	.
Røye	136	sør	1998	.	1800	.	.	0.44	.
Røye	158	nord	1998	34	475	2	5	0.37	.
Røye	162	nord	1998	34.5	420	1	7.2	0.19	.
Røye	163	nord	1998	32.5	440	2	7.2	0.21	.
Røye	212	sør	1998	36	530	2	5	0.28	.
Sik	1	midt	1998	29	175	2	5	0.2	.
Sik	2	midt	1998	32	250	2	5	0.13	.
Sik	4	sør	1998	35	440	.	.	0.07	.
Sik	5	sør	1998	33	320	.	.	0.05	.
Sik	6	sør	1998	31	300	.	.	0.09	.
Sik	7	sør	1998	31	280	.	.	0.1	.
Sik	8	sør	1998	29	220	.	.	0.14	.
Sik	9	midt	1998	29	240	1	5	0.2	.
Sik	9	sør	1998	30	240	.	.	0.07	.
Sik	10	sør	1998	30	240	.	.	0.09	.
Sik	11	sør	1998	29	240	.	.	0.16	.
Sik	12	sør	1998	33	300	.	.	0.12	.
Sik	13	sør	1998	30	240	.	.	0.16	.
Sik	14	sør	1998	29	190	.	.	0.16	.
Sik	63	nord	1998	25	190	.	.	0.18	.
Sik	68	nord	1998	30	330	.	.	0.12	.
Sik	80	nord	1998	33	380	1	5	0.18	.
Sik	81	nord	1998	30	340	1	5	0.09	.
Sik	82	nord	1998	29	280	2	5	0.08	.

Tabell 1. NIVA miljøgiftundersøkelse, Randsfjorden, Primærdata for fisk og kvikksølvanalyser.

art	nr	område	fangstår	lengde, cm	vekt, g	kjønn	stadium	Hg mg/kg	bland- prøve, g
Sik	84	nord	1998	31	340	1	7.2	0.14	.
Sik	85	nord	1998	29	300	2	7.2	0.03	.
Sik	810	midt	1998	36	.	.	.	0.1	.
Sik	811	midt	1998	32	.	2	.	0.11	.
Sik	812	midt	1998	35	.	1	.	0.07	.
Ørret	78	nord	1998	63	2900	2	5	0.29	6.1
Ørret	86	nord	1998	70	3600	2	5	4.2	5.1
Ørret	119	sør	1998	27	220	1	7.2	0.17	6.5
Ørret	900	midt	1997	61.5	3282	2	5	0.68	6.2