

Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske (LFI)

Zoologisk Museum

Rapport nr. 226 – 2004

ISSN 0333-161X

Kvikksølv i gjedde, gjørs og abbor i Vansjø, Østfold.

Ivar Lien og Åge Brabrand



Universitetets naturhistoriske museer og botaniske hage i Oslo

Kvikksølv i gjedde, gjørs og abbor i Vansjø, Østfold.

Ivar Lien¹⁾ og Åge Brabrand²⁾

¹⁾ Stiftelsen Norsk Hjortesenter
Kvalstad, 6914 Svanøybukt

²⁾Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske,
Universitetets naturhistoriske muséer og botanisk hage,
Postboks 1172 Blindern,
0318 Oslo

<http://www.nhm.uio.no/zoomus/lfi/index.html>

FORORD

Den foreliggende rapport omhandler kvikksølv i fisk fra Vansjø. I forbindelse med etablering av en driftsplan for rovfiskbestandene i Vansjø, har det vært innsamlet fisk for aldersbestemmelse. For å få et bilde av konsentrasjonene i forhold til fiskens alder, vekst og næringsopptak er det på dette materiale også utført kvikksølvanalyser. Siden kvikksølvinnholdet er avhengig av fiskens størrelse (alder/lengde), vil forvaltningstiltak som for eksempel endring av aldersfordelingen ved målrettet beskatning kunne påvirke kvikksølvkonsentrasjonen i bestandene.

I lavlandsjøer i Sør-Øst Norge er det vanligvis stor produksjon av gjørs, abbor, gjedde, lake og ål. Dette er forårsaket av at innsjøene er produktive og fordi det er mange förfiskarter til stede. I Vansjø er kvikksølvforurensing et aktuelt tema knyttet til høsting av fiskeressursene. Rovfiskartene er potensielt omsettelig matfisk, og alle er topp-predatorer som vil kunne akkumulere miljøgifter, deriblant kvikksølv.

Analysene er utført ved Laboratorium for Analytisk kjemi, Norges Landbrukshøgskole, Ås i forbindelse med hovedfagsoppgaven til Ivar Lien. Analysene er finansiert av Vansjø Grunneierlag og av Morsa-prosjektet (tilskudd til helhetlig vannforvaltning fra SFT).

Oslo 10. juni 2004

Åge Brabrand

Nøkkelord:

Gjedde, gjørs, abbor, lengde, alder, vekt, kvikksølv, Hg, akkumulering, magnifisering.

INNHold

SAMMENDRAG	5
INNLEDNING	6
OMRÅDEBESKRIVELSE	7
METODE	7
INNSAMLING.....	7
ANALYSE AV KVIKKSØLV	8
RESULTATER	8
MAGEINNHold	8
KVIKKSØLVINNHold, LENGDE OG ALDER	10
DISKUSJON	13
LENGDE OG ALDER	13
BYTTEFISK	14
LITTERATUR	15
APPENDIKS	17
A. HÅNDTERING AV KOLINEARITET I DATAMATERIALET	17
B. RÅDATA	18

SAMMENDRAG

Lien, I. og Brabrand, Å. 2004. Kvikksølv i gjedde, gjørs og abbor i Vansjø, Østfold. Rapp. Lab. Ferskv.Økol. Innlandsfiske (ISSN 0333-161X). Universitetets naturhistoriske museer og botaniske hage, Oslo, 226, 20 s.

Avsetningene av langtransportert kvikksølv har ført til en økning i registrerte kvikksølvverdier i ferskvannsfisk i Sør-Norge. Kvikksølv tas opp i fisk gjennom næringen og akkumuleres i næringskjeden. Fiskens størrelse, alder og næringsvalg er derfor viktig for kvikksølvinnholdet i den enkelte fisk, og for variasjonen i kvikksølvinnholdet innen en lokalitet.

I Vansjø i Østfold ble populasjonsstrukturen, næringsopptaket og kvikksølvinnholdet hos rovfiskene abbor, gjedde og gjørs undersøkt i april-august 2002. Fisk ble samlet inn med garn i de to hovedbassengene Storefjorden og Vanemfjorden, som er delvis atskilt av trange og grunne sund. Kvikksølvanalyser ble totalt foretatt på 35 abbor, 45 gjedder og 35 gjørs.

Kvikksølvinnholdet hos alle tre artene var sterkt korrelert med lengde. Det ble målt kvikksølvverdier på 0,36 - 1,2 mg/kg hos abbor og for gjedde 0,28 - 1,6 mg/kg . Det var stor variasjon i kvikksølvinnholdet mellom enkeltindivider hos disse artene. For abbor og gjedde var det små forskjeller i kvikksølvinnholdet mellom de to bassengene. For gjørs ble det registrert mindre variasjon og et lavere *maksimalnivå* (0,64 mg/kg), og det observerte kvikksølvnivået hos gjørs var høyere i Storefjorden (0,46 - 0,64 mg/kg) enn i Vanemfjorden (0,23 - 0,46 mg/kg). Sammenlignet ved samme lengde (50 cm) var gjennomsnittlig beregnet kvikksølvinnhold hos abbor 1,3 mg/kg (begge basseng), gjedde 0,64 mg/kg (begge basseng), gjørs i Storefjorden 0,62 mg/kg , og gjørs i Vanemfjorden 0,37 mg/kg . Resultatene viser at kvikksølvforurensing er et viktig tema knyttet til høsting av fiskeressursene. I Norge og Eu er grenseverdien for innholdet av kvikksølv i fisk ved omsetning til konsum satt til 1 mg/kg for gjedde og 0,5 mg/kg for andre arter. Innenfor de gjeldende grensene er det i tillegg etablert kostholdsråd for ferskvannsfisk.

Undersøkelsen viste at veksten påvirker kvikksølvnivået, fordi lengde og alder til en viss grad gjenspeiler hvor mye føde en fisk har tatt til seg. Det ble også registrert stor variasjon i kvikksølv blant individer av samme art. Det ble benyttet en modell for å sammenlikne flere individer/arters kvikksølvnivå ved samme alder, lengde og vekt. Resultatene viste at mye av variasjonen i kvikksølvinnhold (47-90%) innen en art kan forklares av variasjon i lengde. Det ble også vist at aldersforskjeller ved en gitt lengde var av mindre betydning for kvikksølvvariasjonen, så lenge fisken ikke hadde stagnert *betydelig* i vekst. Det ble synliggjort at vekt er en uegnet forklaringsvariabel i sammenligninger av kvikksølvnivå.

Undersøkelsen belyste vesensforskjeller i nivå og variasjon av kvikksølv mellom abbor, gjedde og gjørs. Gjerdde i Vansjø oppnår høye verdier av kvikksølv fordi den blir stor og gammel, mens små abborhanner kan oppnå høye konsentrasjoner av kvikksølv ved stagnasjon i vekst (dvs. gammel, men liten). At gjørs hadde vesentlig lavere kvikksølvinnhold i Vanemfjorden enn i Storefjorden, og at nivået i gjørs var lavt i forhold til abbor og gjedde, kunne ikke forklares ved forskjeller i lengde eller alder (vekst). Byttefiskens innhold av kvikksølv ble ikke målt i denne studien, men forskjeller i fødeinntak (kvantitet eller kvalitet) kan være årsaken til nivåforskjellene. Resultatene antyder at byttefiskens plass i næringskjeden var mer avgjørende for kvikksølvnivået i predatoren enn byttefiskens størrelse, og at *bytteart* derfor kan være viktigere enn *byttestørrelse* for akkumuleringen av kvikksølv.

INNLEDNING

Undersøkelser av tempererte, alpine og arktiske innsjøer i Nord-Amerika og Skandinavia har vist forhøyede verdier av kvikksølv (Hg) i sedimenter og fisk (Rognerud & Fjeld 1990, Slemr & Langer 1992, Rognerud *et al.* 2001). Selv om bruken av kvikksølv i industri og landbruk er kraftig redusert, viser sedimentundersøkelser at den atmosfæriske konsentrasjonen av tilført kvikksølv likevel har økt i Norge siden 1950-tallet (Rognerud & Fjeld 1993). Den globale økningen av atmosfærisk kvikksølv ble i 1992 beregnet til å være 1,5 % årlig (Slemr & Langer 1992). Utviklingen av forurensningsbildet i akvatiske systemer indikerer at kvikksølvnivået tidligere var knyttet til punktutslipp fra industri, gruvevirksomhet og landbruk (D'Itri 1972, Berge 1986), mens dagens hovedkilde er atmosfærisk langtransportert kvikksølv fra utslipp som avsettes med nedbør.

Avsetningene av kvikksølv er størst i Sør- og Sørvest- og Sørøst-Norge, der det er registrert forhøyede verdier av kvikksølv i sedimenter og fisk i ferskvann (Rognerud *et al.* 1996, Borgstrøm *et al.* 1998, Rognerud *et al.* 1999). Mesteparten av kvikksølvet som transporteres fra nedbørfeltet til elver og innsjøer er bundet til organisk materiale (Lee & Iverfeldt 1991). Nedbørfeltets egenskaper, fysisk-kjemiske parametre i vassdraget og økosystemets struktur påvirker kvikksølvets kretsløp og tilstandsformer (Wren & Stokes 1988, Gilmour & Henry 1991, Fjeld & Rognerud 1993, Driscoll *et al.* 1994, Sellers *et al.* 1996, Watraz *et al.* 1998). Fisk akkumulerer kvikksølv gjennom dietten fordi det uorganiske kvikksølvet bindes til organiske molekyler som tas opp aktivt (Harris & Snodgrass 1993, Wiener & Spry 1996, Mason *et al.* 1996, Watraz *et al.* 1998). Kvikksølvet er da bundet til en metylgruppe, og kalles metylkvikksølv. I fisk forekommer tilnærmet alt kvikksølv som metylkvikksølv (Wiener & Spry 1996), og kvikksølvets tilgjengelighet for fisken er derfor avhengig av prosessene som metylerer kvikksølv (Mason, Reinfelder & Morel 1996). I biometyleringen av kvikksølv i anaerobe sedimentlag har sulfatreduserende bakterier en sentral funksjon (Gilmour & Henry 1991), mens prosessene i aerobe sedimenter og oksygenrike vannmasser er lite studert. Metyleringsraten er også vist å være avhengig av den totale konsentrasjonen av kvikksølv i miljøet (Ikingura & Akagi 1999).

De mange faktorene som påvirker kvikksølvets kretsløp vil forårsake stor variasjon i kvikksølvnivået i sedimenter og fisk, både regionalt og mellom økosystemer innen regionen (Joslin 1994). Siden kvikksølvet tas opp gjennom næring er det rimelig at fiskens størrelse, alder og fødevalg påvirker og fører til variasjon i konsentrasjonen av kvikksølv i fisk innen lokaliteten.

I innsjøer med stor lokal miljøvariasjon vil fisken påvirkes ulikt i atskilte deler, med tanke på blant annet næringstilgang og vekstbetingelser. Vansjø er en variert og delvis oppdelt innsjø, samtidig som kvikksølvforurensning er en viktig problemstilling knyttet til forvaltningen av fiskebestandene. Vansjø er derfor et interessant studieområde for hvordan populasjonsstrukturen (alderssammensetningen) og næringsopptaket påvirker kvikksølv-konsentrasjonen i fiskekjøtt.

Den foreliggende rapporten har hatt følgende målsetninger:

- Angi konsentrasjonen av kvikksølv i abbor, gjørs og gjedde i Vansjø
- Angi evt. forskjeller mellom hovedbassengene Storefjorden og Vanemfjorden.
- Knytte variasjon i kvikksølvinnhold til størrelse, alder og inntak av byttefisk

OMRÅDEBESKRIVELSE

Vansjø (10,8571° Ø, 59,3846° N) ligger 23 meter over havet i Østfold fylke, og har et overflateareal på 35,9 km². Nedbørfeltet på 690 km² dreneres av Hobøelva, Veidalselva, Trollhetta og Sæbyelva, som alle renner inn i et østlig basseng (Storefjorden). Mosseelva renner ut fra et vestlig basseng (Vanemfjorden) som eneste utløpselv (Hauger *et al.* 1992). De to passasjene mellom Vanemfjorden og Storefjorden er begge smale og grunne, og deler innsjøen i et østlig areal på 23,8 km², og et vestlig areal på 12,1 km². Vansjø har et komplekst fiskesamfunn med totalt 17 registrerte arter (Tabell 1). Det er også registrert hybrider mellom arter av karpefisk (Pethon 1981).

Tabell 1. Registrerte fiskearter i Vansjø, Østfold.

Niøyefam:	Elveniøye, <i>Lampetra fluviatilis</i> (L. 1758) ¹
Laksefam:	Ørret, <i>Salmo trutta</i> (L. 1758) ²
Loddefam:	Krøkle, <i>Osmerus eperlanus</i> (L. 1758) ¹
Gjeddefam:	Gjedde, <i>Esox lucius</i> (L. 1758) ¹
Karpefam:	Sørv, <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (L. 1758) ¹
	Mort, <i>Rutilus rutilus</i> (L. 1758) ¹
	Laue, <i>Alburnus alburnus</i> (L. 1758) ¹
	Brasme, <i>Abramis brama</i> (L. 1758) ¹
	Flire, <i>Blicca bjoerkna</i> (L. 1758) ¹
	Suter, <i>Tinca tinca</i> (L. 1758) ³
Ålefam:	Ål, <i>Anguilla anguilla</i> (L. 1758) ¹
Torskefam:	Lake, <i>Lota lota</i> (L. 1758) ¹
Stingsildfam:	Trepigget stingsild, <i>Gasterosteus aculeatus</i> (L. 1758) ^{1,4}
Ulkefam:	Steinsmett, <i>Cottus poecilopus</i> (Haeck. 1836) ²
Abborfam:	Abbor, <i>Perca fluviatilis</i> (L. 1758) ¹
	Gjørs, <i>Stizostedion lucioperca</i> (L. 1758) ¹
	Hork, <i>Acerina cernua</i> (L. 1758) ¹

¹⁾ Huidtfeldt-Kaas 1918 ²⁾ Hauger *et al.* 1992 ³⁾ Lien 2003 ⁴⁾ Ikke observert i nyere tid

Storefjorden består av store mesotrofe bassenger med største dyp 41 m. Strandsona består for det meste av kupert fjell og er stedvis vindeksponert. Vanemfjorden er direkte påvirket av omkringliggende landbruk, og er sterkt eutrofiert. Bassenget er grunt (største dyp 16 m), og littoralsona domineres av belter med sumpvegetasjon. Storefjorden har senere temperaturøkning om våren, lavere sommertemperatur og klarere vann enn Vanemfjorden (Lien 2003).

METODE

Innsamling

Det ble fisket med garn (maskevidde: 39, 45, 52, og 63 mm) i april/mai, juni og juli/august på fire lokaliteter i både Vanemfjorden og Storefjorden. I hvert område ble det fisket littoralt med en serie settegarn (2,5 x 30 m) og pelagisk med en serie flytegarn (3 x 27 m). Alle garn ble satt på dagtid, og trukket 1 døgn senere. Den totale innsatsen (4 garn satt på 2 stasjoner i 4 områder i 3 perioder) var 96 garndøgn. All abbor, gjedde og gjørs ble veid og målt (gaffellengde), kjønnsbestemt og aldersbestemt med otolitter og vingebein. Otolittene ble avlest ved et tverrsnitt eksakt gjennom sentrum. Fiskens tidligere vekst ble beregnet ved å

tilbakeberegne fiskens lengde ved slutten av hver vinter. Dette ble gjort ved å studere vintersonene i otolitter fra abbor og gjørs, samt vingebain hos gjedde

Mageinnholdet til abbor, gjedde og gjørs ble undersøkt i en sesong med høy vanntemperatur, og på grunn av rask fordøyelse ble byttefisker derfor gruppert etter byttefiskens forventede næringsnisje i Vansjø (etter Brabrand, 1983). All byttefisk i svelg og mage ble målt og artsbestemt ved hjelp av ufordøyde beinstrukturer, hovedsakelig svelgbain, otolitter, kjever og finnestråler.

Analyse av kvikksølv

All fanget fisk ble kjølt ned med is i felt, og det ble tatt ut kjøttprøver for analyse av kvikksølv fra samtlige individer av abbor, gjedde og gjørs innen 12 timer etter garntrekk. Senere ble det valgt ut 35 abbor, 45 gjedder og 35 gjørs for analyse av kvikksølv, basert på fangstlokalitet og alder. For analyse av kvikksølv ble det tatt ut prøver på minimum 2 gram beinfritt muskulært vev fra bakre del av venstre dorsale muskel. Prøvene ble lagret på tette syrevaskede sirkulasjonsglass i -18°C . Laboratorium for Analytisk Kjemi, Norges Landbrukshøgskole, analyserte prøvene med kalddamp atomspektroskopi i et Perkin-Elmer modell FIMS 400 Flow Injection Mercury System (Perkin-Elmer 1994) etter mikrobølgeopplutning (Anton Paar 1998). Nøyaktighet og presisjon i metoden er kontrollert mot 16 analyseparalleller av det sertifiserte referansemateriale DORM-2 (National Research Council of Canada 1994). Beskrivelse av metode for behandling av kvikksølvdataene er gjengitt i Appendiks A. I tolkningen av resultatene kan man merke seg at *målte* kvikksølvverdier er angitt i Hg ($^{\text{mg}}/\text{kg}$), mens *beregnete* kvikksølvverdier er angitt som Hg_L og Hg_{LA} .

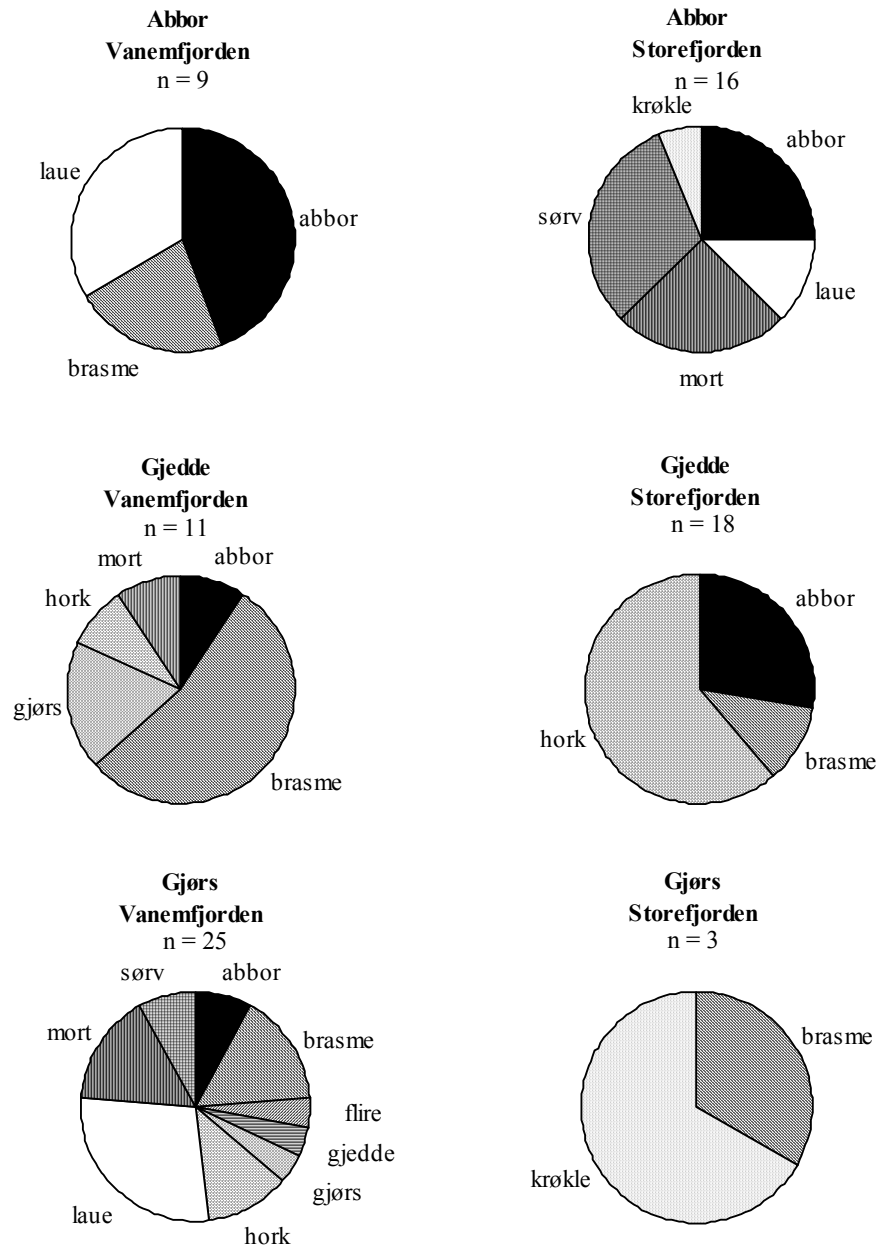
RESULTATER

Mageinnhold

Av 217 undersøkte abbor, gjedder og gjørs hadde 61% ikke tatt til seg føde den siste tiden før fangst (innskrunpet magesekk). 14 % av de undersøkte individene hadde mageinnhold som var totalfordøyd og ubestemmelig, mens det ble bestemt byttefisk hos 25 %. De dominerende byttene for abbor og gjedde og gjørs (Vanemfjorden) var henholdsvis abbor, hork og laue (se Figur 1), mens gjørs fra Storefjorden hadde et stort innslag av krøkle i magesekken, noe som bekrefter et pelagisk levevis for gjørs i denne delen av Vansjø.

Gjedde og abbor hadde fortært færrest arter byttefisk (henholdsvis 5 og 6), mens gjørs hadde fortært 10 ulike arter (Figur 1). Gjørs hadde fortært vesentlig flere byttearter i Vanemfjorden sammenlignet med Storefjorden (henholdsvis 10 mot 2 arter). Variasjonen i registrerte byttearter var mindre hos gjedde (henholdsvis 5 mot 3 arter) og abbor (henholdsvis 3 mot 5 arter).

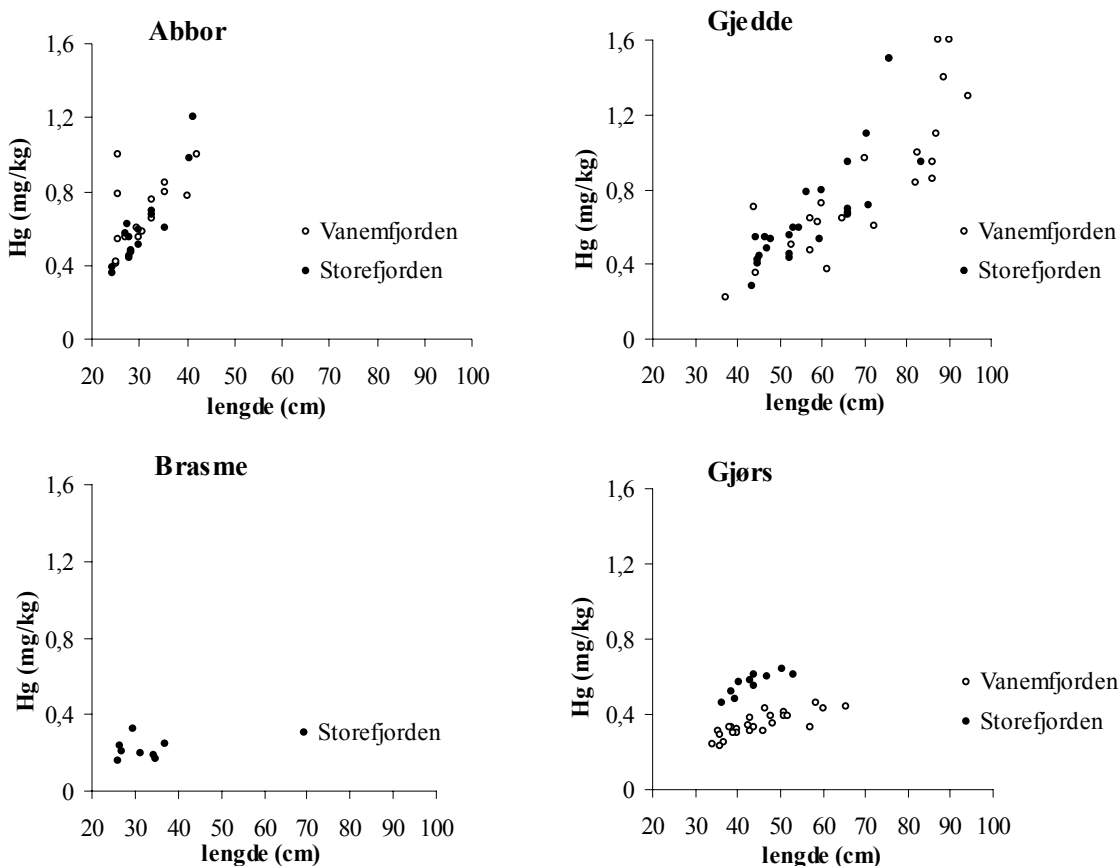
De tre artene hadde fortært byttefisk som hadde ulik plassering i næringskjeden (Lien 2003). Abbor hadde tatt mest byttefisk der byttet selv var fiskespisende, og det ble registrert abbor tatt av abbor som igjen hadde tatt abbor. Gjedde hadde tatt mest bunndyretene og gjørs mest planktonetene. Denne kategoriseringen av bytteartene er gjort med utgangspunkt i byttefiskenes vanligste diett i en tidligere studie fra Vansjø (Brabrand 1983).



Figur 1. Den relative fordelingen til antall registrerte byttefisk av ulike arter registrert hos abbor, gjedde og gjørs i Vanemfjorden og Storefjorden april-august 2002.

Kvikksølvinnhold, lengde og alder

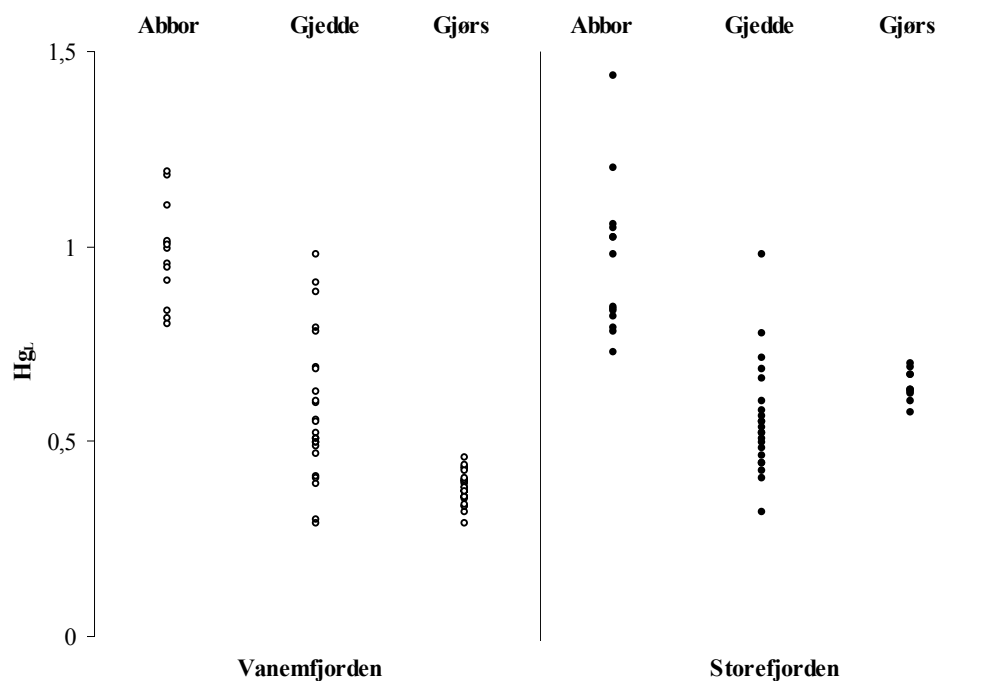
Analysene viste at det ble funnet høyest konsentrasjoner av kvikksølv i gjedde, der den maksimale måleverdien var $1,6 \text{ mg/kg}$, mens maksimalverdien var $1,2 \text{ mg/kg}$ hos abbor og $0,64 \text{ mg/kg}$ hos gjørs. For gjørs var det observerte kvikksølvnivået hos gjørs høyere i Storefjorden ($0,46 - 0,64 \text{ mg/kg}$) enn i Vanemfjorden ($0,23 - 0,46 \text{ mg/kg}$). Kvikksølvinnholdet hos alle tre artene var sterkt korrelert med lengde, men noe mindre korrelert med alder og vekt. I Figur 2 vises målt kvikksølvkonsentrasjon hos abbor, gjedde og gjørs plottet mot fiskens lengde.



Figur 2. Målt kvikksølvkonsentrasjon i individer av abbor, gjedde, gjørs og brasme (fra Lien 2003) i Vansjø 2002 plottet mot individenes lengde.

Artsforskjellene i de målte kvikksølvverdiene ser ut til å øke jo større individene er, og forskjellene i kvikksølvinnhold mellom gjørs og gjedde er små for individer < 40 cm. Kvikksølvnivået ved denne lengden er heller ikke ulikt nivået i undersøkte individer av brasme (Figur 2), mens abbor har markert høyere kvikksølvinnhold. Av praktiske årsaker omfatter denne studien ikke små individer av de undersøkte artene.

Det var signifikante forskjeller i kvikksølvnivå mellom artene innen samme basseng. Ved samme lengde hadde abbor signifikant høyere kvikksølvinnhold enn gjedde. Gjørs hadde signifikant lavere nivå enn de to andre artene, med unntak av forholdet gjørs-gjedde i Storefjorden (Figur 3 og Tabell 2).



Figur 3. Beregnet kvikksølvkonsentrasjon hos individer av abbor, gjedde og gjørs i Vanemfjorden og Storefjorden (2002) ved gjennomsnittlig lengde for samtlige 115 analyserte individer (50 cm).

Variasjon i lengde forklarte 47-90% av variasjonen i kvikksølvinnhold (Tabell 3). Andelen av variasjonen som kunne forklares av fiskens lengde var størst for abbor, og mindre for gjedde og gjørs.

Tabell 2. Artsforskjeller i kvikksølvnivå hos abbor, gjedde og gjørs fra Vanemfjorden og Storefjorden 2002, sammenlignet ved **a)** (Hg_L) gjennomsnittlig lengde (50 cm) for samtlige 115 analyserte individer, samt ved **b)** (Hg_{LA}) 50 cm og ved gjennomsnittet av individenes alder (8 år) beregnet for hvert individ ved denne lengden. (Student-Newman-Keuls test av medianer.)

	A: Hg_L		b: Hg_{LA}	
	Abbor	Gjørs	Abbor	Gjørs
Vanemfjorden				
Gjedde	↑**	←**	↑**	i.s.
Gjørs	↑**	-	↑**	-
Storefjorden				
Gjedde	↑**	i.s.	↑**	↑**
Gjørs	↑**	-	↑**	-

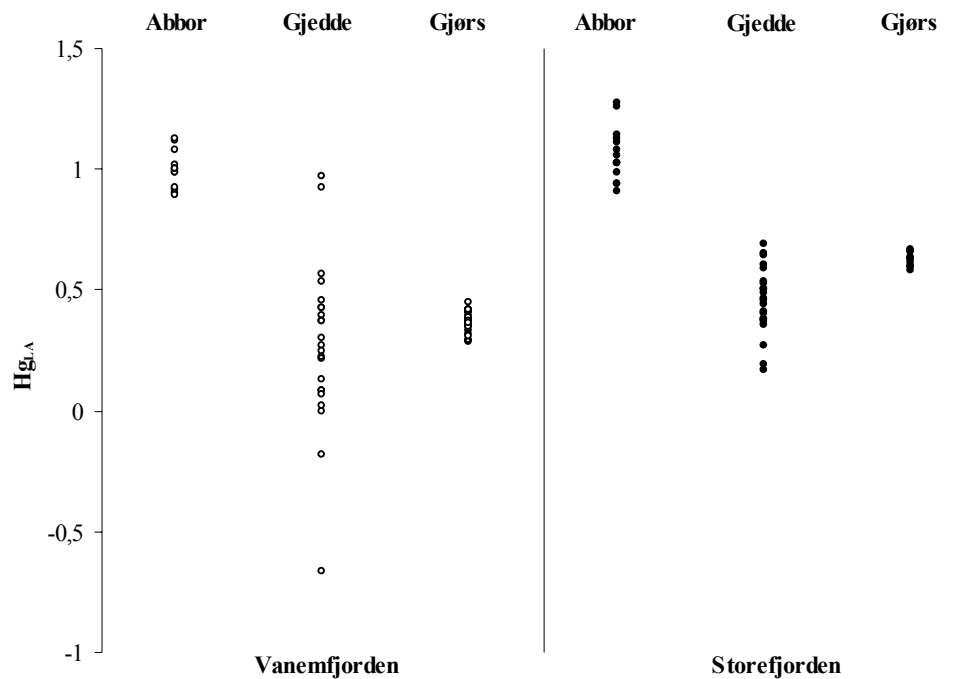
i.s.) ikke signifikant **) $p < 0,05$. ↑) angir art med parvist signifikant høyere kvikksølvnivå

Da alder ble inkludert som forklaringsvariabel økte forklaringsnivået generelt bare noen få prosent (Tabell 3). Ved å sammenligne nivået av kvikksølv ved samme lengde og alder (Hg_{LA}), hadde fortsatt abbor signifikant høyere nivå enn de to andre artene. Gjedde hadde da ikke høyere kvikksølvnivå enn gjørs i Vanemfjorden, og gjørs hadde høyere kvikksølvnivå enn gjedde i Storefjorden. Det var også forskjeller i kvikksølvinnhold (Hg_{LA}) mellom bassengene innen ulike kjønn. Begge kjønn av gjørs og hunner av gjedde hadde signifikant

høyere nivå i Storefjorden, mens det ikke var noen forskjell for hunnabbor og hanngjedde (Figur 4).

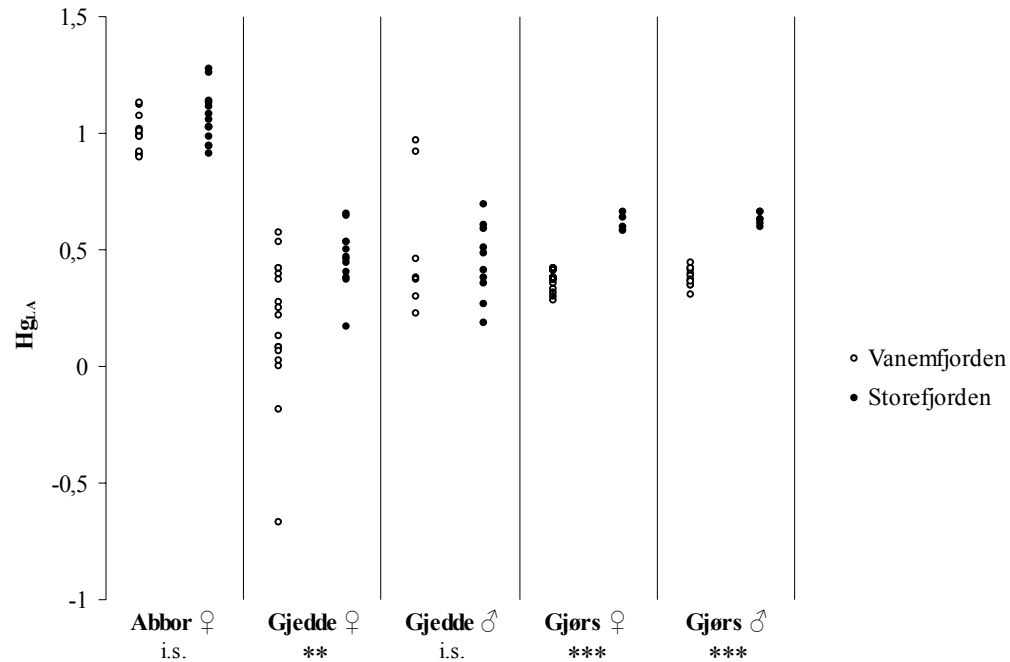
Tabell 3: Regresjonskoeffisienter til den lineære sammenhengen mellom målt kvikksølvkonsentrasjon og fiskelengde (r^2_L), samt lengde og alder (r^2_{L+A}) hos abbor (♀), gjedde (♀ og ♂) og gjørs (♀ og ♂) i Vanemfjorden (V) og Storefjorden (S).

Art	Kjønn	Basseng	r^2_L	r^2_{L+A}
Abbor	♀	V	0,89	0,89
		S	0,87	0,88
	♂	V	-	-
		S	-	-
Gjedde	♀	V	0,74	0,76
		S	0,78	0,82
	♂	V	0,47	0,49
		S	0,90	0,90
Gjørs	♀	V	0,65	0,66
		S	0,61	0,74
	♂	V	0,73	0,73
		S	0,86	0,86



Figur 4. Beregnet kvikksølvkonsentrasjon hos individer av abbor, gjedde og gjørs i Vanemfjorden og Storefjorden (2002) ved gjennomsnittlig lengde (50 cm) og alder (8 år) for samtlige 115 analyserte individer.

For gjørs ble det funnet signifikant lavere verdier av kvikksølv i Vanemfjorden sammenliknet med Storefjorden, mens det for abbor og gjedde ikke ble funnet signifikante forskjeller mellom bassengene.



Figur 5. Beregnet kvikksølvkonsentrasjon hos abbor (♀), gjedde (♀ og ♂) og gjørs (♀ og ♂) fra Vansjø 2002, framstilt som i fig. 4 (Hg_{LA}), men fordelt på kjønn. T-testede forskjeller i Hg_{LA} mellom bassengene innen en art er angitt med signifikansnivåene i.s. = ikke signifikant, ** = $p < 0,05$ og *** = $p < 0,005$.

Ved å innlemme vekt som forklaringsvariabel økte variasjonen i kvikksølvverdiene, og vekt ble derfor utelatt som forklaringsvariabel.

DISKUSJON

Lengde og alder

Innen artene abbor, gjedde og gjørs var kvikksølvinnholdet sterkest korrelert til fiskens lengde og alder. Lengde og alder var sterkt korrelert hos fisk i jevn vekst. Fisk som hadde stagnert i vekst hadde likevel høyt kvikksølvinnhold selv om fisken var liten. Spesielt gjaldt dette hanner av abbor, der 2 små individer (25 cm) oppnådde et høyt kvikksølvinnhold (0,8 og 1,0 mg/kg) fordi de var gamle (10 og 11 år). Vekstforskjellene mellom de tre undersøkte artene kunne riktignok ikke forklare at abbor hadde signifikant høyere kvikksølvnivå enn både gjedde og gjørs sammenliknet ved samme lengde og alder. Dette betyr at abbor, gjedde og gjørs av samme størrelse har akkumulert ulik mengde kvikksølv. De har altså spist enten ulik mengde byttefisk eller ulik bytteart.

Kvikksølvinnholdet i samtlige analyserte prøver av gjørs viste at gjørs ikke hadde vandret tilfeldig mellom bassengene, og har derfor sannsynligvis atskilte populasjoner i Storefjorden

og Vanemfjorden. Dette er utledet av at kvikksølv akkumuleres i fisken over tid, og at kvikksølvinnholdet i gjørs fra de to bassengene var forskjellig for alle årsklasser. Det var derfor sannsynlig at de undersøkte individene hadde oppholdt seg over tid i det bassenget der de ble fanget. Kvikksølv fungerte i dette tilfellet som en "bio-overvåker". Resultatene knyttet til vekst indikerte videre at gjedde kan ha atskilte bestander i Vanemfjorden og Storefjorden, mens undersøkelsen ikke ga svar på om det er atskilte populasjoner av abbor i de to bassengene (Lien 2003). De små forskjellene i kvikksølvinnholdet og veksten hos mindre abbor (som var fanget relativt sparsomt i denne undersøkelsen) kan enten skyldes at arten vandrer betydelig mellom bassengene, eller at individer i de to bassengene har lik akkumulering av kvikksølv (forskjellig byttefisk).

Ved samme lengde og alder hadde hunngjedder i Storefjorden høyere kvikksølvinnhold enn i Vanemfjorden (mens hannene hadde samme nivå i begge bassengene). Dette kunne bare forklares av kjønnsforskjeller. Hunngjeddene er generelt mindre, og kan i større grad være avhengig av skjul i strandsona. Siden det ble fanget sparsomt med store gjedder i Storefjorden er det sannsynlig at hunngjeddene her på et tidligere stadium kan vandre pelagisk uten selv å bli predatert, og at føden dermed blir mer lik det som ble funnet hos gjørs (Lien 2003). De høye verdiene av kvikksølv som ble registrert hos gjedde skyldes i første rekke at gjedda blir stor og gammel. Likevel var det mye variasjon i kvikksølvinnholdet mellom gjedder som ikke kan forklares ut fra variasjon i lengde og alder.

Byttefisk

Resultatene antydte forskjeller i byttearter tatt av abbor, gjedde og gjørs. Forskjellene i kvikksølvinnhold som ikke kunne forklares av lengde og alder, kan være knyttet til ulikt fødeinntak. Eksempelvis kan to individer med lik lengde og alder ha hatt ulik preferanse for byttearter/byttestørrelse arter (byttekvalitet), eller ulikt inntak av mengde føde (byttekvantitet). Forskjeller i mengde inntatt føde kan skyldes at individer har ulikt energiforbruk (knyttet til "hvile-metabolisme", bevegelse, gyteinnsats, habitatvalg eller stress). Fødeinntaket over tid er riktignok vanskelig å kvantifisere, og det kan derfor ikke slås fast om det var mengde inntatt næring eller type byttefisk som var av størst betydning for nivåforskjeller i kvikksølvinnhold mellom gjørs fra de to bassengene og generelt mellom de tre artene rovfisk.

Resultatene støttet at byttekvaliteten var av stor betydning for kvikksølvinnholdet hos gjørs. Årsaken var at variasjonen i lengde og alder ikke kunne forklare at det målte kvikksølvinnholdet hos gjørs var vesentlig høyere i Storefjorden enn i Vanemfjorden. Det er heller ikke rimelig å anta at fisk skulle være eksponert for mer biotilgjengelig kvikksølv i vannmiljøet i Storefjorden enn i Vanemfjorden, fordi det ikke ble observert samme trend for gjedde og abbor. Det ble registrert forskjeller i bytteartene til gjørs i de to bassengene, og dette indikerer at byttekvaliteten kan være avgjørende for kvikksølvnivået. Kvikksølvinnholdet i byttefisken ble ikke studert i denne undersøkelsen, men det ble ikke funnet andre sannsynlige forklaringer på forskjellene i kvikksølvnivået hos gjørs fra de to bassengene.

Dersom byttestørrelsen var en viktig faktor for kvikksølvnivået til rovfisk i denne undersøkelsen, skulle rovfiskens lengde ha en indirekte effekt på kvikksølvkonsentrasjonen. Årsaken til dette er at store individer generelt fortærrer større byttefisk enn små. Byttefiskens innhold av kvikksølv ble ikke undersøkt, men det kan trolig forventes at en stor byttefisk vil inneholde mer kvikksølv enn en liten fisk (av samme art). Dette fordi en stor byttefisk sannsynligvis er eldre, og/eller selv har spist større bytter enn en liten artsfrende. Dersom

byttestørrelsen var viktig for rovfiskens innhold av kvikksølv, skulle sammenhengen mellom lengde og kvikksølvkonsentrasjon i et utvalg av jevngammel fisk skulle være geometrisk - og ikke lineær. Dette var ikke tilfellet verken for abbor eller gjørs. For gjedde kan det i Figur 2 se ut som denne trenden er tilstede, men en regresjonsanalyse av gjeddenes lengde plottet mot Hg_L kunne ikke påvise dette. Antallet bytteobservasjoner var riktignok ikke tilstrekkelig til å avvise en slik sammenheng.

Totalt sett indikerer resultatene at byttets plass i næringskjeden betyr mer for kvikksølvinnholdet i en rovfisk enn byttets størrelse. Dette er logisk fordi kvikksølvet akkumuleres ved inntak av næring (som er grunnlaget for energiomsetningen), og at det skjer et betydelig "energitap" oppover i biomassepyramiden. Dette må regnes som indikasjoner, siden bytteartenes kvikksølvinnhold ikke ble undersøkt.

Ved å bruke modellen for behandling av de koblede parametrene lengde og alder ble det vist at aldersforskjeller ved en gitt lengde var av mindre betydning for kvikksølvvariasjonen enn den variasjonen som antatt skyldes ulikt fødeinntak. Dette skyldes sannsynligvis at de undersøkte fiskene hadde jevn og høy vekstrate, og at det ikke var noen utvalg som hadde stagnert mer enn andre. Unntaket var abbor, der hannene vokser betydelig langsommere og stagnerte ved en mindre størrelse enn hunnene. De største abborhannene var små (25-28 cm), men hadde likevel noen av de høyeste kvikksølvverdiene som ble registrert i undersøkelsen.

LITTERATUR

- Anton Paar. 1998. Multiwave microwave sampel preparation system instruction handbook. Anton Paar GmbH, Graz, Austria.
- Berge, D. 1986. Overvåking av Tyrifjorden og Steinsfjorden 1982-1985. Rapport for Statlig program for forurensningsovervåking 238/86, LNR 1879, Norsk institutt for vannforskning.
- Borgstrøm R, Flygind S & Hoen OH. 1998. En undersøkelse av kvikksølv i gjedde og abbor fra Årungen, NF-fiskerapport, hefte 9-1998, Institutt for biologi og naturforvaltning, Norges Landbrukshøgskole, 10s.
- Brabrand Å. 1983. Fordeling av fisk, samt ernæring hos mort, laue, brasme, og hork i Vansjø, Østfold, Fauna 36 s 57-64 .
- D'Itri FM. 1972. The Environmental Mercury Problem, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Driscoll CT, Scofield CL, Yan C, Munson RK & Holsapple JG. 1994. The mercury cycle and fish in the Adirondak lakes. Environ Sci Technol 28(3):136-143.
- Gilmour CC & Henry EA. 1991. Mercury methylation in aquatic systems affected by acid deposition. Environ Pollut 71 (2-4): 131-169. Harris RC & Snodgrass WJ. 1993. Bioenergetic Simulations of Mercury Uptake and Retention in Walleye (*Stizostedion vitreum*) and Yellow Perch (*Perca flavescens*). Water Poll. Res. J. Can. 28(1): 217-236.
- Hauger T, Bjørndalen K & Warendorph H. 1992. Vansjøboka, Valdisholm forlag
- Huitfeldt-Kaas H. 1918. Ferskvandsfiskenes utbredelse og indvandring i Norge. Centraltrykkeriet, Kristiania. 106 s.
- Ikingura JR & Akagi H. 1999. Methylmercury production and distribution in aquatic systems. Sci. Tot. Environ. 234:109-118.
- Joslin JD. 1994. Regional differences in mercury levels in aquatic ecosystems: A discussion of possible causal factors with implications for the Tennessee River System and the Northern Hemisphere. Environmental Management 18:559-567.

- Lee Y-H & Iverfeldt Å. 1991. Measurement of methylmercury and mercury in runoff, lake and rain waters. *Water Air Soil Pollut.* 56:309-321.
- Lien I. 2003. Effekter av eutrofiering på vekst, habitatbruk, næring og kvikksølv-innhold hos gjedde (*Esox lucius* L.), gjørs (*Stizostedion lucioperca* L.) og abbor (*Perca fluviatilis* L.) i Vansjø i Østfold, en innsjø med stor miljøvariasjon. Hovedoppgave, Norges Landbrukshøgskole, 59 s.
- Mason RP, Reinfelder JR & Morel FMM. 1996. Uptake, Toxicity, and Trophic Transfer of Mercury in a Coastal Diatom. *Environ. Sci. Technol.* 30(6): 1835 – 1845.
- National Research Council of Canada. 1994. DORM-2 DOLT-2 Dogfish Muscle and Liver Certified Reference Materials for Trace Metals. Certified Reference Material, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario, Canada.
- Perkin-Elmer. 1994. Recommended Analytical Condition and General Information for Flow Injection Mercury/ Hydride Analyses using the Perkin-Elmer FIAS-100/400. Perkin-Elmer Corp., Norwalk, Connecticut, U.S.A. (Med modifikasjoner).
- Pethon P 1981. Four natural cyprinid hybrids recorded from Lake Vansjø, SE Norway. *Fauna nor. Ser. A.* 2: 28-33.)
- Rognerud S & Fjeld E. 1990. Landsomfattende undersøkelse av tungmetaller i innsjø-sedimenter og kvikksølv i fisk. Rapport for Statlig program for forurensningsovervåking 426/90, Statens Forurensningstilsyn.
- Rognerud S & Fjeld E. 1993. Regional survey of heavy metals in lake sediments in Norway. *Ambio* 22:206-212.
- Rognerud S, Fjeld E & Eriksen GS. 1996. Landsomfattende undersøkelse av kvikksølv i ferskvannsfisk og vurdering av helsemessige effekter ved konsum. Rapport for Statlig program for forurensningsovervåking 673/96, Statens Forurensningstilsyn.
- Rognerud S, Fjeld E og Løvik JE. 1999. Landsomfattende undersøkelse av metaller i innsjøsedimenter. Rapportnr. 4024-99. 71 s. Norsk institutt for vannforskning.
- Rognerud S, Grimalt JO, Rosseland BO, Fernandez P *et al.* 2001. Mercury and organochloride contamination in brown trout (*Salmo trutta*), and arctic charr (*Salvelinus alpinus*) from high mountain lakes in Europe and the Svalbard archipelago, *Water, Air, and Soil Pollution. Focus* 2: 209-232.
- Sellers P, Kelly CA, Rudd JWM & MacHucton AR. 1996. Photodegradation of methylmercury and mercury in lakes. *Nature* 380:694-697.
- Slemr F & Langer E. 1992. Oncrease in global atmospheric concentrations of mercury inferred from measurements over the Atlantic Ocean, *Nature* 355: 434-437.
- Watraz CJ, Back RC, Halvorsen S, Hudson RJM, Morrison KA & Wente SP. 1998. Bioaccumulation of mercury in pelagic freshwater food webs. *Sci. Tot. Environ.* 219:183-208.
- Wiener, J.G. & Spry, D.J. 1996. Toxicological significance of mercury in freshwater fish. In: *Environmental contaminants in wildlife: interpreting tissue concentrations.* W.N. Beyer GH. Heinz & Redmon-Norwood AW (eds.). Lewis Publ., Boca Raton, Florida. s. 297-339.
- Wren CD & Stokes PM. 1988. Depressed Mercury Levels in Biota from Acid and Metal Stressed Lakes Near Sudbury, Ontario. *Ambio.* 17(1):28-30.

Appendiks

A. Håndtering av kolinearitet i datamaterialet

De tre variablene lengde, vekt og alder påvirker kvikksølvinnholdet, men det er vanskelig å isolere bidraget fra den enkelte variabelen. Årsaken er at disse sterkt koblede variablene forårsaker en variansinflasjon som blir en u håndterlig ”støy” i tradisjonelle multivariate analyser. Dette kan unngås ved å utelukke forklaringsvariabler som forårsaker kolineariteten. Ulempen er da at informasjon går tapt. Gjennom å påvise sammenhengen mellom koblede data i datasettet, er det forsøkt å finne de koblede dataenes enkeltvise innflytelse på den avhengige variabelen som studeres. Dersom dette kan innlemmes i modellen vil forklaringsnivået øke. I denne undersøkelsen gjelder denne problemstillingen for virkningen av lengde, vekt og alder på kvikksølvinnholdet. Årsaken er at disse tre faktorene (som til en viss grad varierer i takt) påvirker fiskens totale inntak av næring, og næringsinntaket påvirker igjen akkumuleringen av kvikksølv. Det ble benyttet en modell for sammenligning av kvikksølvinnholdet i fisk, basert på individenes avvik fra totalutvalgets gjennomsnittlige lengde, vekt og alder hentet fra Lien (2003).

Vekt og lengde er som regel sterkt korrelert innen en og samme art, samtidig som vekten kan variere gjennom året, i et annet mønster enn kvikksølvinnholdet. I utvalg der lengde og vekt er godt korrelert (kondisjonsfaktoren varierer lite) og utvalgene er basert på individer innsamlet i ulike perioder gjennom året, er det derfor trolig hensiktsmessig å utelukke individenes vekt som forklaringsvariabel (Lien 2003). Uten vekt som forklaringsvariabel uttrykkes modellen som individuelt kvikksølvinnhold beregnet ved gjennomsnittlig lengde og alder for samtlige individer (likning 1).

$$(1) Hg_{\bar{L}A} = \frac{\bar{A}_L}{A} \left(Hg - k_1 + \frac{L}{\bar{L}} (k_1 - k_2) \right) + k_2$$

der $Hg_{\bar{L}A}$ er enkeltindividets kvikksølvinnhold ved totalutvalgets gjennomsnittlige lengde (\bar{L}) og alder ved denne lengden beregnet utfra individets vekst (\bar{A}_L). L og A er individets lengde og alder ved fangst, k_1 er konstanten fra den lineære sammenhengen mellom kvikksølvinnhold og lengde innen det tilhørende utvalget (dersom flere utvalg sammenlignes), og k_2 er konstanten fra den lineære sammenhengen mellom alder og kvikksølvinnhold ved gjennomsnittslengden innen det tilhørende utvalget. Dette er en lineær tilpasning av data, basert på observasjoner av kolinearitet mellom lengde og alder.

B. Rådata

Art	Lengde (mm)	Vekt (gr)	alder (år)	Hg (^{mg} / _{kg})	Kjønn	Basseng
abbor	245	245	7	0,36	♀	Storefj.
abbor	245	250	5	0,39	♀	Storefj.
abbor	260	250	9	Usikker verdi	♀	Storefj.
abbor	270	310	8	0,57	♀	Storefj.
abbor	275	340	7	0,62	♂	Storefj.
abbor	280	375	9	0,44	♀	Storefj.
abbor	280	390	7	0,55	♂	Storefj.
abbor	285	365	7	0,48	♀	Storefj.
abbor	285	375	6	0,47	♀	Storefj.
abbor	300	480	7	0,59	♀	Storefj.
abbor	300	440	5	0,51	♀	Storefj.
abbor	325	570	10	0,69	♀	Storefj.
abbor	325	655	8	0,67	♀	Storefj.
abbor	355	720	8	0,6	♀	Storefj.
abbor	405	1270	13	0,98	♀	Storefj.
abbor	415	1245	14	1,2	♀	Storefj.
abbor	250	235	6	0,41	♀	Vanemfj.
abbor	250	260	5	0,42	♀	Vanemfj.
abbor	255	240	11	0,54	♂	Vanemfj.
abbor	255	290	11	0,78	♂	Vanemfj.
abbor	255	250	10	1	♂	Vanemfj.
abbor	270	330	8	0,55	♀	Vanemfj.
abbor	280	340	7	0,45	♀	Vanemfj.
abbor	295	365	6	0,6	♀	Vanemfj.
abbor	300	445	9	0,55	♀	Vanemfj.
abbor	305	430	7	0,58	♀	Vanemfj.
abbor	325	610	8	0,65	♀	Vanemfj.
abbor	325	460	10	0,75	ubest.	Vanemfj.
abbor	355	850	9	0,79	♀	Vanemfj.
abbor	355	765	8	0,85	♀	Vanemfj.
abbor	400	1095	10	0,77	♀	Vanemfj.
abbor	420	1260	14	1	♀	Vanemfj.
brasme	345	750		0,19		Storefj.
brasme	350	800		0,17		Storefj.
brasme	370	945		0,25		Storefj.
brasme	315	555		0,2		Storefj.
brasme	270	360		0,21		Storefj.
brasme	265	320		0,24		Storefj.
brasme	260	290		0,16		Storefj.
brasme	295	550		0,32		Storefj.
gjedde	435	645	3	0,28	♀	Storefj.

Art	Lengde (mm)	Vekt (gr)	alder (år)	Hg (mg/kg)	Kjønn	Basseng
gjedde	445	675	4	0,54	♂	Storefj.
gjedde	450	675	4	0,4	♀	Storefj.
gjedde	450	760	5	0,42	♂	Storefj.
gjedde	455	755	6	0,44	♀	Storefj.
gjedde	465	800	5	0,54	♀	Storefj.
gjedde	470	765	5	0,48	♀	Storefj.
gjedde	480	890	8	0,53	♂	Storefj.
gjedde	525	970	6	0,45	♀	Storefj.
gjedde	525	1220	6	0,43	♂	Storefj.
gjedde	525	1090	5	0,55	♂	Storefj.
gjedde	535	1080	7	0,59	♂	Storefj.
gjedde	545	1185	6	0,59	♀	Storefj.
gjedde	565	1340	7	0,78	♂	Storefj.
gjedde	595	1670	7	0,53	♀	Storefj.
gjedde	600	1585	6	0,8	♂	Storefj.
gjedde	660	2560	9	0,69	♀	Storefj.
gjedde	660	2505	11	0,95	♀	Storefj.
gjedde	660	2305	5	0,66	♀	Storefj.
gjedde	705	2890	8	1,1	♂	Storefj.
gjedde	710	2335	8	0,71	♀	Storefj.
gjedde	760	3250	10	1,5	♂	Storefj.
gjedde	835	3960	10	0,95	♀	Storefj.
gjedde	375	430	3	0,22	♂	Vanemfj.
gjedde	440	580	5	0,7	♂	Vanemfj.
gjedde	445	650	4	0,35	♀	Vanemfj.
gjedde	530	1535	4	0,5	♀	Vanemfj.
gjedde	575	1170	7	0,64	♀	Vanemfj.
gjedde	575	1305	6	0,47	♀	Vanemfj.
gjedde	590	1750	9	0,62	♂	Vanemfj.
gjedde	600	1750	8	0,72	♀	Vanemfj.
gjedde	615	1745	4	0,37	♀	Vanemfj.
gjedde	650	2190	6	0,64	♀	Vanemfj.
gjedde	660	2265	8	0,67	♂	Vanemfj.
gjedde	700	2450	9	0,97	♀	Vanemfj.
gjedde	725	3075	9	0,6	♂	Vanemfj.
gjedde	760	3290	10	1,5	♂	Vanemfj.
gjedde	820	4770	9	0,84	♀	Vanemfj.
gjedde	825	4710	9	1	♀	Vanemfj.
gjedde	855	4270	10	-	♀	Vanemfj.
gjedde	860	5110	8	0,86	♀	Vanemfj.
gjedde	860	6115	10	0,95	♀	Vanemfj.

Art	Lengde (mm)	Vekt (gr)	alder (år)	Hg (^{mg} / _{kg})	Kjønn	Basseng
gjedde	870	5305	11	1,1	♀	Vanemfj.
gjedde	875	5725	11	1,6	♀	Vanemfj.
gjedde	890	5250	11	1,4	♀	Vanemfj.
gjedde	900	5950	12	1,6	♀	Vanemfj.
gjedde	945	6025	12	1,3	♀	Vanemfj.
gjørs	365	495	4	0,46	♀	Storefj.
gjørs	385	595	6	0,52	♂	Storefj.
gjørs	395	630	6	0,48	♂	Storefj.
gjørs	405	705	6	0,57	♀	Storefj.
gjørs	430	795	7	0,58	♂	Storefj.
gjørs	440	850	8	0,55	♀	Storefj.
gjørs	440	905	8	0,61	♀	Storefj.
gjørs	470	1070	8	0,6	♂	Storefj.
gjørs	505	1345	8	0,64	♂	Storefj.
gjørs	530	1580	8	0,61	♀	Storefj.
gjørs	340	345	4	0,24	♀	Vanemfj.
gjørs	355	400	5	0,31	♀	Vanemfj.
gjørs	360	420	5	0,23	♀	Vanemfj.
gjørs	360	440	6	0,29	♂	Vanemfj.
gjørs	370	495	5	0,25	♂	Vanemfj.
gjørs	380	540	6	0,33	♀	Vanemfj.
gjørs	385	530	6	0,33	♂	Vanemfj.
gjørs	390	580	6	0,3	♂	Vanemfj.
gjørs	400	615	6	0,3	♀	Vanemfj.
gjørs	400	575	6	0,32	♂	Vanemfj.
gjørs	425	780	5	0,34	♀	Vanemfj.
gjørs	430	775	8	0,38	♂	Vanemfj.
gjørs	430	840	7	0,31	♂	Vanemfj.
gjørs	440	790	7	0,33	♂	Vanemfj.
gjørs	460	925	7	0,31	♀	Vanemfj.
gjørs	465	1040	8	0,43	♂	Vanemfj.
gjørs	480	1125	6	0,39	♂	Vanemfj.
gjørs	485	1035	6	0,35	♀	Vanemfj.
gjørs	510	1260	7	0,41	♀	Vanemfj.
gjørs	510	1450	9	0,39	♀	Vanemfj.
gjørs	520	1395	9	0,39	♀	Vanemfj.
gjørs	570	1770	8	0,33	♀	Vanemfj.
gjørs	585	2275	11	0,46	♂	Vanemfj.
gjørs	600	2295	8	0,43	♀	Vanemfj.
gjørs	655	4450	14	0,44	♂	Vanemfj.