

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

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

| | | |
|---|---|---------------------|
| Tittel Kvikksølv i fisk og næringskjedens struktur i fjellsjøer i Nord - Østerdalen. | Løpenr. (for bestilling) 4540 - 2002 | Dato mai 2002 |
| | Prosjektnr. Udemnr. O - 21147 | Sider Pris 25 |
| Forfatter(e) Sigurd Rognerud (NIVA) og Tore Qvenild (FM-Hedmark) | Fagområde miljøgifter | Distribusjon fri |
| | Geografisk område Hedmark | Trykket NIVA |

| | |
|---|--|
| Oppdragsgiver(e) Hedmark Fylkeskommune (HFK), Glommen og Laagens Brukseierforening (GLB), og kommunene Os, Tolga og Folldal. | Oppdragsreferanse Hanne Thingstadberget (HFK), Jon Arne Eie (GLB), Astri Haug (Os), Hans Petter Borgos (Tolga), Stein A. Brendryen (Folldal). |
|---|--|

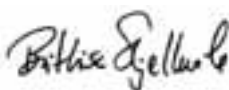
| |
|--|
| <p>Sammendrag</p> <p>Vi har undersøkt kvikksølv i fisk fra Fundin, Elgsjøen, Gjersjøen, Fjellsjøen og Forelsjøen. Konsentrasjonene av kvikksølv i ørret fra alle innsjøene var lave (< 0,12 mg/kg v.v). De var klart lavere enn den grensen som EU og Statens Næringsmiddeltilsyn har satt for fisk som skal omsettes (0,5 mg/kg v.v), og de er så lave at det heller ikke er nødvendig med kostholdsråd for de som spiser mye fisk. Hovedårsaken til de lave kvikksølvnivåene i fisk er at netto-produksjonen av metylkvikksølv er lav i de klare og kalde fjellsjøene i Nord-Østerdalen. Variasjonen i konsentrasjonene i bestandene var i all hovedsak bestemt av fiskens alder i Fundin, Fjellsjøen og Elgsjøen, mens trofisk posisjon var viktigst i Gjersjøen og Forelsjøen. Dette viser at ørret i Gjersjøen og Forelsjøen er delvis fiskepisere. Konsentrasjonene av kvikksølv i ørekyt økte med størrelsen (lengden), og de største individene hadde verdier på nivå med de eldste ørretene. Klimaendringene har ikke endret produksjonssesongens lengde i innsjøene de siste 30 årene og de har derfor sannsynligvis heller ikke bidratt til endrede vekstvilkår for næringsdyr og fisk i denne perioden. Analysene av stabile isotoper indikerte at i den betydelig regulerte Fundin var næringskjedens karbonkilder i hovedsak planktonalger og detritus tilført fra nedbørfeltet, mens i den mindre regulerte Elgsjøen hadde også strandnære primærprodusenter en betydning. I de andre innsjøene var karbonkildene dominert av fastsittende alger fra grunne deler av sjøene. Marflo var et viktig næringsdyr for produksjon av fiskekjøtt.</p> |
|--|

| | |
|--|---|
| <p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kvikksølv i fisk 2. Kostholdsråd 3. Stabile isotoper 4. Næringskjeder | <p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mercury in fish 2. Consum guidelines 3. Stable isotopes 4. Food webs |
|--|---|



Sigurd Rognerud

Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle

Forskningsleder

ISBN 82-577-4193-0



Nils Roar Sælthun

Forskningsjef

**Kvikksølv i fisk og næringskjedens struktur i
fjellsjøer i Nord - Østerdalen.**

Forord

Denne rapporten omhandler resultatene av en undersøkelse av kvikksølvnivået i fisk, næringskjedens struktur og fiskens vekstbetingelser i 6 fjellvann i Nord-Østerdalen. Prosjektet er finansiert av Hedmark Fylkeskommune, Glommen og Laagens Brukseierforening (GLB) gjennom Glommaprosjektet og kommunene Os, Tolga og Folldal.

Ole Nashoug og Tore Qvenild samlet inn fisk fra Fjellsjøen, Forelsjøen og Fundin, mens Tore Qvenild og Jarl Eivind Løvik samlet inn fisk fra Gjersjøen. I tillegg bidro Nils Østgård med fisk fra Fjellsjøen og Ragnar Vingelen med fisk fra Gjersjøen. Større fisk fra Fundin ble også kjøpt inn av lokale fiskere. Elgsjøen ble fisket av Sivert Drivstuen i Oppdal. Næringsdyr og ørekyt ble samlet inn av Jarl Eivind Løvik, Gøsta Kjellberg, Ole Nashoug og Tore Qvenild.

Analysene av kvikksølv ble utført ved NIVAs laboratorium i Oslo og analysene av stabile isotoper ble utført ved Institutt for Energiteknikk (IFE) på Kjeller. Fiskens alder er bestemt av Liv E. R. Svergja (FiskVita), men Tore Qvenild og Gøsta Kjellberg har også deltatt. Glommen og Laagens Brukseierforening (GLB) har bidratt med opplysninger om islegging og isgang i tre av innsjøene over de siste 30 år. Sigurd Rognerud og Tore Qvenild har bearbeidet fiskematerialet og næringsdyrene for analyse samt skrevet rapporten. Alle takkes for et godt samarbeide.

Ottestad, mai 2002



Sigurd Rognerud

Innhold

| | |
|---|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| 1. Innledning | 6 |
| 2. Materiale og metoder | 7 |
| 3. Innsjøene og fiskeribiologiske forhold | 9 |
| 4. Resultater | 14 |
| 4.1 Klimadata | 14 |
| 4.2 Sammenhengene mellom kvikksølvkonsentrasjon, fiskens alder og stabile isotoper i fisk | 15 |
| 4.3 Stabile isotoper i fisk og næringsdyr | 17 |
| 5. Diskusjon | 18 |
| 6. Referanser | 20 |
| Vedlegg A. | 23 |
| Vedlegg B. | 25 |

Sammendrag

Vi har undersøkt kvikksølv i fisk fra Fundin, Elgsjøen, Gjersjøen, Fjellsjøen og Forelsjøen. Alle er fjellsjøer som ligger i nordlige deler av Hedmark, untatt Elgsjøen (nær Fundin) som ligger helt syd i Sør-Trøndelag. Ørret er eneste fiskeart i Elgsjøen, Fjellsjøen og Forelsjøen. I Fundin finnes ørret, ørekyt og en liten bestand av harr, mens ørret og ørekyt er eneste fiskearter i Gjersjøen. Ved hjelp av stabile isotoper har vi klarlagt fiskens trofiske posisjon og diskutert betydningen av ulike næringsdyr for oppbyggingen av ørretens muskelmasse. Vi har også undersøkt om klimaendringene de siste 30 årene har ført til senere isløsning og kortere vekstsesong i innsjøer i denne perioden.

Konsentrasjonene av kvikksølv i ørret fra alle innsjøene var lave ($< 0,12$ mg/kg v.v). De var klart lavere enn den grensen som EU og Statens Næringsmiddeltilsyn har satt for fisk som skal omsettes (0,5 mg/kg v.v), og de var såvidt lave at det heller ikke er nødvendig med kostholdsråd for de som spiser mye fisk. Hovedårsaken til de lave kvikksølvnivåene i fisk er at nettoproduksjonen av metylkvikksølv er svært beskjeden i de klare og kalde fjellsjøene i Nord-Hedmark. Variasjonen i konsentrasjonene i bestandene var i all hovedsak bestemt av fiskens alder i Fundin, Fjellsjøen og Elgsjøen. Dette indikerer at kannibalisme ikke var vanlig og at heller ikke ørekyt var noen viktig byttefisk for ørret i Fundin. I Forelsjøen og Gjersjøen forklarte fiskens plass i næringskjeden, indikert ved trofisk posisjon ($\delta^{15}\text{N}$), mer av variasjonen i kvikksølvkonsentrasjonene enn alder. Dette skyldes at ørret i Gjersjøen spiste ørekyt alt fra ung alder, mens en økt vekst i eldre fisk i Forelsjøen indikerte kannibalisme blandt storvokst fisk. Vi kan imidlertid ikke gi en god forklaring på hvorfor Fjellsjøen hadde de høyeste konsentrasjonene av kvikksølv i fisk. De var klart høyere enn i den nærliggende Forelsjøen, der eldre fisk i tillegg ble kannibaler. Det var ikke forskjeller i vannkvalitet eller atmosfæriske avsetninger som kan forklare dette, men Fjellsjøen er svært grunn og det er mulig at en høyere temperatur i sedimentene kan gi en mer effektiv metylering av kvikksølv.

Konsentrasjonene av kvikksølv i ørekyt økte med størrelsen (lengden), og de største individene hadde verdier på nivå med de eldste ørretene. Ørekyt blir relativt gammel i fjellvann og våre resultater indikerer at anrikningen av kvikksølv med alder i ørekyt kan være nær den samme som for ørret. Ørreten spiser alle lengdegrupper av ørekyt, men når den opptrer som kannibal er det i hovedsak yngre og mindre fisk som blir spist. En diett bestående av eldre ørekyt kan derfor gi et høyere kvikksølvnivå i fiskespisende ørret, enn om den spiser mindre individer av sin egen art.

Den økte vinternedbøren de siste 20 årene kan ha ført til økt utvasking av uorganisk kvikksølv fra atmosfæren. Dersom dette har skjedd har det likevel ikke ført til høye kvikksølvnivå i fisk. Det er prognosert en videre økning i temperaturen i alle årstider de nærmeste 50 årene. Dette kan på sikt føre til økt nedbrytning av humus, brunere vann, økt metylering i innsjøene og økte konsentrasjoner av kvikksølv i fisk. Klimaendringene har ikke redusert produksjonsesongens lengde i innsjøene de siste 30 årene, og derfor heller ikke ført til dårligere vekstvilkår for næringsdyr og fisk i denne perioden.

Analysene av stabile isotoper indikerte at i den betydelig regulerte Fundin var næringskjedens karbonkilder i hovedsak detritus tilført fra nedbørfeltet og planktonalger, mens i den mindre regulerte Elgsjøen var det også bidrag av strandnære primærprodusenter. I de andre innsjøene var karbonkildene dominert av påvekstlger fra grunne deler av sjøene. Forholdet mellom stabile nitrogenisotoper ($\delta^{15}\text{N}$) gir en indikasjon på trofisk posisjon i økosystemet. Marflo ga en god indikasjon på relative forskjeller i $\delta^{15}\text{N}$ verdiene i basis av næringskjeden i de ulike innsjøene. De høyere $\delta^{15}\text{N}$ verdiene i ørret fra Fundin, enn i de andre bestandene, skyldes høyere $\delta^{15}\text{N}$ i basis av næringskjeden og ikke en høyere trofisk posisjon. Marflo er et hyppig byttedyr og isotopanalysene indikerte at marflo hadde stor betydning for ørretens vekst i disse sjøene. I Gjersjøen og Forelsjøen bidro også fisk til oppbyggingen av fiskens proteiner (muskelmasse).

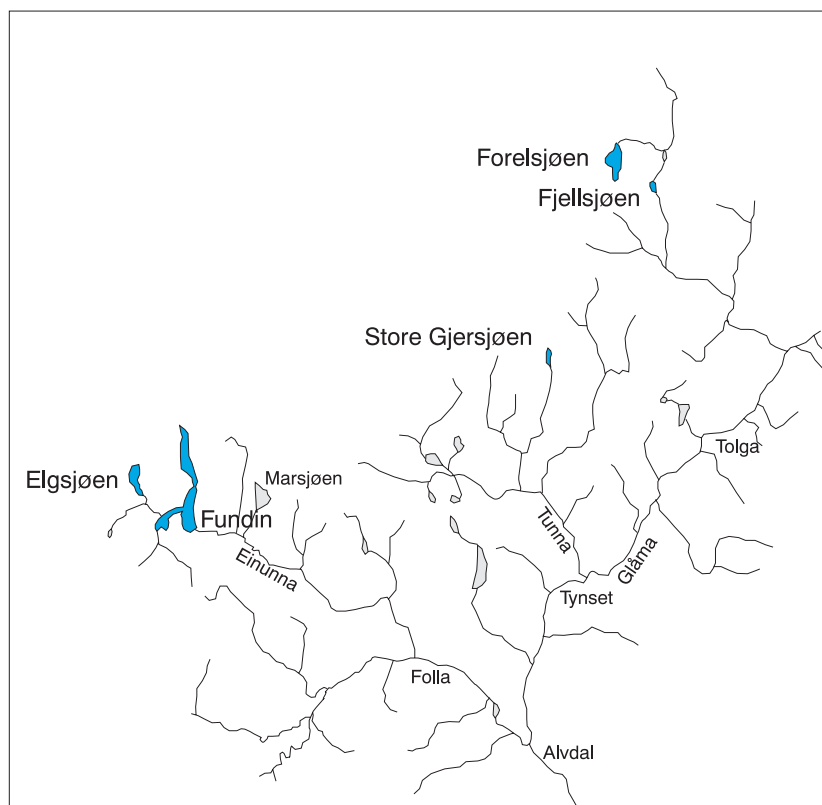
1. Innledning

De nordlige fjellområdene Nord-Østerdalen har flere innsjøer med høy produksjon av ørret med god kvalitet. Bestandene i disse områdene utsettes for flere trussler som kan påvirke produksjon, avkastning og egnethet som matressurs. Overbeskatning, forringelse av levevilkårene og introduksjon av nye arter er alle forhold som vil kunne redusere verdien av fisket. Overbeskatning er et midlertidig problem som lar seg rette på i løpet av noen år, men forringelse av levevilkårene som følge av klimaendringer og spredning av nye arter kan påvirke bestandene i lang tid, i verste fall permanent.

De siste 20 årene har det skjedd betydelige endringer i nedbørsforholdene i Norge (Førland et al. 2000), og det er prognosert store endringer i klima i Nord-Europa i årene fremover (Palmer og Räisänen 2002). De siste 20 årene har vintrene blitt mildere og mer nedbørrike enn det som har vært normalt de siste 40 årene (Førland et al. 2000). For størstedelen av Sør-Norge viser prognoser at sannsynligheten for vintre med ekstremt store nedbørmengder kan øke med 2 til 3 ganger i dette århundre i forhold til det som hittil har vært vanlig (Palmer og Räisänen 2002). I fjellet kommer nedbøren som snø, og i vestlige deler av Hardangervidda har økte snømengder de siste årene ført til senere isløsning, kortere produksjonssesong og lavere tilvekt i ørretbestandene (Borgstrøm 2001). I enkelte år med svært lite snø har det også vært problemer med rekrutteringen på grunn av bunnfrysing av gytebekkene (Borgstrøm 2001).

Økte nedbørmengder kan føre til økte atmosfæriske avsetninger av miljøgifter som akkumuleres i fisk og biomagnifiseres i næringskjedene. Blant disse er kvikksølv den miljøgiften som har størst konsekvenser når det gjelder bruk av ferskvannfisk som matressurs (Rognerud et al. 1996). Økte atmosfæriske avsetninger kan gi økte konsentrasjoner av kvikksølv i fisk, men trofisk nivå (plass i næringskjeden) har også stor betydning (Rognerud og Fjeld 2002). Dersom ørretens trofiske posisjon øker, ved at den blir kannibal eller får tilgang på en nyintroduserte fiskeart, kan konsentrasjonene av kvikksølv stige betydelig (Rognerud og Fjeld 2002). Ørekyt kan både være en næringskonkurrent til ørret (Borgstrøm et al. 1985), og en viktig del av dietten (Museth et al. 2002). Den kan derfor ha avgjørende betydning for bestandens tilstand og innhold av miljøgifter som kvikksølv. For å kunne gi gode forklaringer på kvikksølvinnholdet i ørret må trofisk posisjon kartlegges. Til dette har vi benyttet analyser av forholdet mellom stabile nitrogen isotoper i fisk og næringsdyr (Gannes et al. 1998). Forholdet mellom stabile karbon isotoper i fiskekjøtt og næringsdyr indikerer mulige karbonkilder for fisk og næringsdyr (Hecky and Hesslein 1995).

Vi kjenner lite til nivåene av kvikksølv i fisk fra fjellområdene i Nord-Østerdalen. Vi vet også lite om de ulike næringsdyrene betydning (inkl. ørekyt) for produksjon av ørret, og om klimaendringene de siste 20 åra har ført til kortere vekstsesong i innsjøer fra denne regionen. Med bakgrunn i denne problemstillingen har vi undersøkt innsjøene Fundin, Elgsjøen, Gjersjøen, Fjellsjøen og Forelsjøen. Alle ligger i Hedmark, untatt Elgsjøen (nær Fundin) som ligger helt syd i Sør-Trøndelag (Fig.1). Ørret er eneste fiskeart i Elgsjøen, Fjellsjøen og Forelsjøen. I Fundin finnes ørret, ørekyt og harr, mens ørret og ørekyt er eneste fiskearter i Gjersjøen. Hensikten med undersøkelsen er å: i) kartlegge kvikksølvkonsentrasjonen i ørret fra fjellområdene i Nord-Østerdalen, ii) identifisere de viktigste faktorene som påvirker kvikksølvnivået i fisk fra denne regionen, iii) bruke stabile isotoper til å få indikasjoner på ørretens plass i næringskjeden og kilder til assimilert energi, iv) undersøke om klimaendringene har påvirket produksjonssesongens lengde, v) samle tidligere informasjon om fiskeribiologiske forhold til bruk i tolkningen av dagens situasjon, vi) fremstille dybdekart for de uregulerte innsjøene for å få en indikasjon på gruntområdenes utstrekning.



Figur 1. Oversikt over de undersøkte innsjøene.

2. Materiale og metoder

Innsamling

Næringsdyr ble samlet inn ved hjelp av bunnskraper og strandhov. Fisken ble tatt på garn og frosset så snart som mulig. Den ble oppbevart i dybfryser inn til prøvene ble tatt. På laboratoriet ble det dissekert ut skinn- og beinfrie prøver av muskulaturen (øvre delen bak ryggfinner) fra hver fisk. Prøvene ble delt i to og begge ble pakket i ren aluminiumsfolie og lagt i hver sin tette plastpose. Den ene prøven gikk til isotopanalyser, den andre til kvikksølvanalyser. For å unngå individuell variasjon så besto blandprøvene av ørekyt av 5 like lange individer, mens for næringsdyrene besto blandprøvene av 10 individer, untatt dyreplankton der ca. 300 individer ble plukket ut.

Analyse av stabile isotoper

Prøvene ble tørket ved 60 °C i 2 døgn og homogenisert. For bestemmelse av $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ er 1 mg prøve-materiale veid inn og overført til en 5 x 9 mm tinnkapsel. Kapselen lukkes og plasseres i en Carlo Erba NCS 2500 elementanalysator. Prøvene forbrennes med O_2 og Cr_2O_3 ved 1700 grader og NO_x reduseres til N_2 med Cu ved 650 °C. Forbrenningsproduktene separeres i en poraplot Q kolonne og overføres direkte til et Micromass Optima isotop massespektrometer for bestemmelse av $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$. Duplikater analyseres rutinemessig for hver tiende prøve. Isotopsammensetningen av karbon og nitrogen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) oppgis som "deltaverdier": δ (‰) = $[(R_{\text{prøve}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000$, der R representerer forholdet mellom tung og lett isotop. Alle isotopverdiene refereres til primære standarder. For karbon er dette et marint karbonat, Pee Dee Belemitt (Craig 1953), og for nitrogen

atmosfærisk luft (Mariotti 1983). Internasjonale standarder analyseres samtidig med prøvene for hver tiende prøve. $\delta^{15}\text{N}$ resultatene kontrolleres med analyser av IAEA-N-1 og IAEA-N-2 standarder. $\delta^{13}\text{C}$ resultatene kontrolleres med analyser av USGS-24 grafitt standard. IFEs verdier kontrolleres også mot en husstandard av ørretfilet.

Hva kan stabile isotoper vise?

Tidligere var mageanalyser den eneste metoden en hadde for å få en indikasjon på fiskens plass i næringskjeden. Mageanalyser gir imidlertid kun øyeblikksbilder, og de sier lite om hvilke næringsdyr som bidrar mest til oppbyggingen av muskelmassen. Dessuten førte de ofte til generaliseringer der alle individer innen bestanden (eller på et alderstrinn) ble definert som primære eller sekundære konsumenter. Bruk av stabile nitrogen- og karbonisotoper gjør det mulig å få en langt bedre oversikt over fiskens næringsnett. Denne teknikken har vært mye brukt i utlandet ved studier av næringsnett i akvatisk miljø, men den har vært lite benyttet i Norge. Vi redgjør derfor litt om metoden.

Det er en liten forskjell mellom massene til henholdsvis karbonets isotoper (C) og nitrogenets isotoper (N). Den er imidlertid stor nok til at de i miljøet oppfører seg forskjellig i både fysiske og kjemiske reaksjoner. Generelt danner de lettere isotopene (^{12}C , ^{14}N) svakere bindinger og reagerer raskere enn de tyngre isotopene (^{13}C , ^{15}N). Som en følge av dette vil forholdet mellom isotoper variere i ulike kjemiske forbindelser. Den endringen som forårsakes av kjemiske prosesser kalles kinetisk fraksjonering. Det er generelt sett langt større andeler av de letteste isotopene. Av praktiske hensyn har en derfor valgt å angi forholdene mellom tung og lett isotop i ‰ (x1000). For å kunne sammenlikne isotop-forholdet i ulike prøver må prøvens isotopforhold deles på isotopforholdet i en standard. For nitrogen og karbon benyttes henholdsvis isotopforholdet i luft og i et spesielt marint karbonat. Når det gjelder karbon- og nitrogen-isotopene, som vi benytter, benevnes resultatene av utregningen altså som $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$. Positive verdier viser at prøven har mer av den tyngre isotopen enn standarden. Dette er oftest tilfelle for $\delta^{15}\text{N}$ i biologisk materiale, mens negative verdier er vanligst for $\delta^{13}\text{C}$.

Det skjer en karbon-fraksjonering ved fotosyntesen. Når CO_2 fra lufta omdannes til sukker i plantene skjer dette ved hjelp av et enzym som har mye større affinitet for $^{12}\text{CO}_2$ enn $^{13}\text{CO}_2$ (Gannes et al 1998). I små planktonalger diffunderer ubrukt $^{13}\text{CO}_2$ ut i vannet og siden til atmosfæren. Resultatet er at algene blir anriktet på den lette isotopen og får langt lavere $\delta^{13}\text{C}$ verdier (-36 til -30 ‰) enn $\delta^{13}\text{C}$ i luftens CO_2 (-8 ‰). Terrestriske planter i våre strøk har også en relativt åpent system (dvs CO_2 kan slippe ut igjen). Denne prosessen er imidlertid generelt sett ikke like effektiv som i planktonalger. Dette gjør at $\delta^{13}\text{C}$ verdiene oftest blir noe høyere enn i planktonalger (-29 til -26 ‰). Begroingsalger og moser, som er viktige primærprodusenter i grunne områder av innsjøen, har mer lukkede systemer der gjennbruk av fraksjonert $\delta^{13}\text{C}$ er nødvendig. De får derfor høyere $\delta^{13}\text{C}$ verdier (-22 til -18 ‰) enn de åpne systemene, men likevel lavere enn $\delta^{13}\text{C}$ i luftens CO_2 . Det har vist seg at den videre fraksjonering i konsumentleddene i næringskjeden er relativt liten (0,5 ‰ for hvert trofnivå). $\delta^{13}\text{C}$ verdier (eller signaturer) i fisk blir derfor brukt som indikasjon på karbonkildene dvs type vegetasjon som er viktigst i fiskens næringsnett (France 1997).

Planter fraksjonerer ikke nitrogen ved opptak av næringssaltet nitrat. Dette gjør at isotopsignaturen i tilgjengelig nitrat overføres til plantene. Ulike kilder har imidlertid oftest ulik signatur. F.eks er $\delta^{15}\text{N}$ i nitrat fra jord og menneskeskapt kilder høyere enn i nitrat skapt direkte av luftas nitrogen. Det har vist seg at i konsumenter er nitrogenet i proteinene anriktet på ^{15}N i forhold til i dietten. Dette skyldes oftest en fraksjonering ved prosesser som deaminering og transaminering (aktive enzymer som lettere fjerner aminogrupper med ^{14}N), men i enkelte tilfelle vil en sulstusituasjon også kunne føre til nedbryting av proteiner og anrikning av den tyngste isotopen (fører til at forholdet $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ i urinen synker, Gannes et al. 1998). Det har vist seg at i akvatiske næringskjeder øker $\delta^{15}\text{N}$ i gjennomsnitt med 3,4 ‰ for hvert trinn (trofisk nivå) en går opp, f.eks. fra primærprodusent til primær konsument (Vander Zanden og Rasmussen 2001). $\delta^{15}\text{N}$ verdiene benyttes derfor som et kontinuerlig mål på

organismenes trofiske posisjon i en innsjø. Ved sammenlikning av innsjøer må en være klar over at $\delta^{15}\text{N}$ signalet i bunnen av næringskjeden kan være forskjellig, alt avhengig av nitratkildenes signatur.

Det er sjelden at alle fisk i en bestand har samme diett. Svært ofte spiser de litt av hvert, og dietten endrer seg ofte med alder og størrelse. Enkelte blir til og med rene spesialister på en type næringsdyr. Mange fisk får derfor en mellomstilling i næringskjeden (omnivori). En av fordelene med isotop-teknikken er at $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene indikerer hver enkelte fisk sin trofiske posisjon i forhold til andre fisk og næringsdyr i innsjøen. Dette er viktig da kunnskap om trofisk posisjon er nødvendig for å gi en god forklaring på kvikksølvnivået i fisk

Kvikksølvanalyser

Kvikksølv ble analysert etter NIVA metode nr. E-3. Denne metoden baserer seg på kalddamp atomabsorpsjonspektrometri. Benyttede instrumenter er en Perkin-Elmer FIMS med P-E AS-90 autosampler og P-E amalgeringssystem. De biologiske prøvene frysetørres forut for autoklaving med salpetersyre, der det organisk bundne kvikksølv oksideres til metallisk kvikksølv med SnCl_2 , og en inert bæregass (argon) transporterer kvikksølv til spektrofotometeret. Kvikksølv oppkonsentreres i et amalgeringssystem. Nedre grense for faste prøver er 0,005 $\mu\text{g/g}$.

Aldersbestemmelser og fiskemål

Alder ble bestemt ved hjelp av avlesninger av skjell og øresteiner (otolitter). Alder bestemt på øresteiner ble benyttet da disse er mest pålitelig. 10 fisk fra Fundin måtte aldersbestemmes kun ved hjelp av skjell da øresteiner ikke var tatt. Fiskens lengde er målt fra snute til halespiss og vekt er angitt til nærmeste gram for mindre fisk (< 500g) og nærmeste 5 gram for større fisk (> 500g).

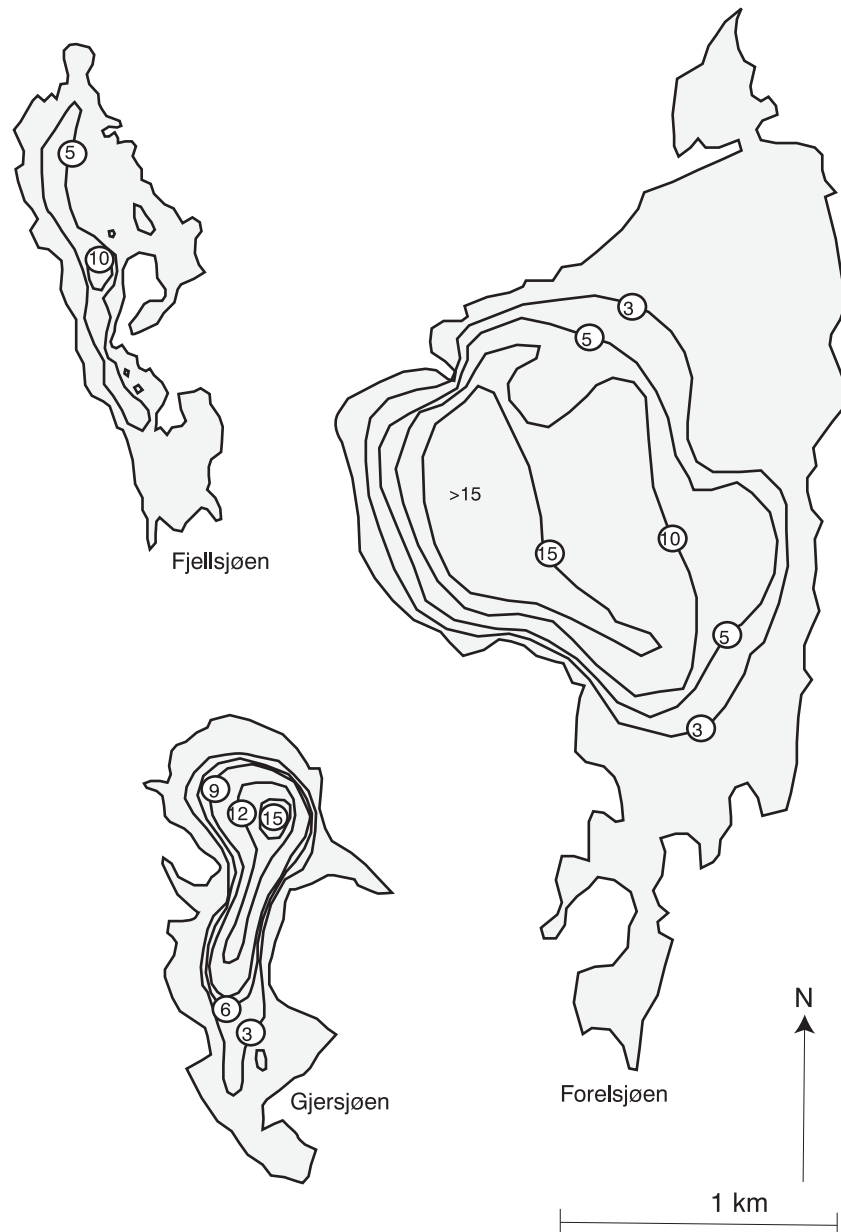
3. Innsjøene og fiskeribiologiske forhold

Morfometri og reguleringer

Elgsjøen og Fundin er regulert henholdsvis 5,3 og 11 m, og det foreligger ikke dybdekart over annet enn reguleringsonen. For disse sjøene har vi estimert maksimal dyp ved å forlenge bathygrafisk kurve i reguleringsonene. Ved høyeste regulerte vannstand (HRV) er Fundin's overflateareale 10 km^2 , mens det opprinnelig var kun 0,5 km^2 . Magasinet er gjennomgående grunt, spesielt i nordenden. Det dypeste partiet ligger i området ved dammen. Når magasinet er fullt ligger 54 % av arealet i Oppdal, resten i Folldal kommune. Om vinteren og før magasinet igjen er fylt er bassenget helt nedtappet på Oppdalssiden. Konesjon er gitt Glommens og Laagens Brukseierforening 26. august 1966. Forenklete dybdekart over Fjellsjøen, Forelsjøen og Gjersjøen er gitt i Fig.2. Innsjøene kan karakteriseres som relativt grunne fjellsjøer, med overflateareal fra 0,5 km^2 til 10 km^2 og største dyp fra 11 til ca. 20 m (Tab.1). Over halvparten av innsjøearealet er grunnere enn 5 m i alle innsjøene.

Fiskerettigheter

I Forelsjøen tilhører fiskeretten private eiere i Os kommune organisert i Forelsjøen fiskeforening, mens resten ligger i Sør-Trøndelag og fordeles på statsallmenningene i Holtålen og Midtre Gauldal. Fiskeretten i Gjersjøen er knyttet til to gardar. Det selges fiskekort gjennom Utmarkslaget. Det vesentligste fisket er grunneienes garnfiske. Fisket i Fundin deles mellom Folldal statsallmenning og Oppdal bygdeallmenning. Det foreligger god dokumentasjon på fiskeforholdene i Fundin. I regi av Glommaprosjektet prøvofiskes innsjøen hvert år i tillegg til at det innhentes fangstdata (Qvenild 2002).



Figur 2. Dybdekart over Fjellsjøen, Gjersjøen og Forelsjøen.

Tabell 1. Innsjøenes overflateareal (A_o), nedbørfeltets areal (A_n), høyde over havet (h.o.h), maksimal dyp (Z_m), og andel areal fra 0 til 5 m ($A_o - A_5$) i forhold til A_o . Elgsjøen og Fundin er regulert. ¹ viser areal HRV og LRV. ² viser antatt maksimal dyp ved å forlenge bathygrafisk kurve i regulert sone.

| Benevning | A_o km ² | A_n km ² | h.o.h m | Z_m m | $(A_o - A_5)/A_o$ % |
|------------|--------------------------|--------------------------|------------|-----------------|------------------------|
| Fjellsjøen | 0,5 | 6 | 947 | 11 | 85 |
| Gjersjøen | 0,7 | 19 | 975 | 16 | 60 |
| Forelsjøen | 3,7 | 15 | 993 | 18 | 50 |
| Elgsjøen | 2,3 - 1,5 ¹ | 33 | 1133 | 10 ² | 65 |
| Fundin | 10 - 2,3 ¹ | 252 | 1021 | 23 ² | 60 |

Geologi og vannkvalitet

Berggrunnen i Forelsjøens nedbørfelt domineres av kalkholdig glimmerskifer. Sør i Foras nedbørfelt er det en del kalkholdig sandstein. De geologiske forholdene i området gir en svært god vannkvalitet med pH >7, alkalitet mellom 272-341 $\mu\text{ekv/l}$ og et kalsiuminnhold på 5,37 - 6,89 mg/l (Qvenild og Nashoug 2000, Koksvik og Nøst 1981).

Fjellsjøens nedbørfelt er dominert av basisk og lett forvitrelig fyllit (omvandlet svartskifer). Innsjøen er en klarvannsjø (fargetall ca. 15 mgPt/l), har god vannkvalitet med pH 7,2 og kalsiuminnhold på 2,3 mg/l (målt 27.07.95).

Gjersjøens nedbørfelt er dominert av basisk og lett forvitrelig fyllit (omvandlet svartskifer). Innsjøen er en klarvannsjø (fargetall ca. 10 mgPt/l) og har en tilfredstillende vannkvalitet (målt 8.7.94) med alkalitet på 195 $\mu\text{ekv/l}$ og kalsiuminnhold på 3,55 mg/l.

Fundins nedbørfelt domineres av kambrosiluriske sedimentbergarter og feltet har store glacifluviale avsetninger.

Næringsdyr

I Forelsjøen er det registrerte store tettheter av de viktige fiskenæringsdyrene marflo og skjoldkrepshelt ned til 15 meters dyp (Koksvik og Nøst 1981). Det er også registrert en rekke andre arter av småkrepser. Totalt er det funnet 35 ulike arter av krepsdyr (Koksvik og Nøst 1981). I elver og bekker dominerte døgnfluelarvene både i mengde og antall, men steinfluelarver var også svært vanlige. (Koksvik og Nøst 1981). Tidligere undersøkelser har vist at ørretens diett varierer en del over sommeren. Løkensgard (1963) angir ikke når han fisket på sommeren, men registrerte en stor andel av marflo, skjoldkrepser, insektlarver, muslinger og snegler i mageprøvene. Han vurderte vannet som meget produktivt. Olsen (1969) fant at marflo og snegl (*Lymnea peregra*) utgjorde mer enn 90 % av mageinnholdet i slutten av juli. På dette tidspunktet ble det ikke observert skjoldkrepser. Skjoldkrepser og marflo dominerte i ørretens mageinnhold i de senere undersøkelsene i 1987, 1992 og 1998, som alle ble foretatt i første halvdel av september. I 1987 og 1992 dominerte skjoldkrepseren, mens marflo var mest fremtredende i 1998 (Qvenild og Nashoug 2000). I mageprøvene av fisken som vi har analysert (innsamlet 23.08.01) dominerte marflo, men med et lite innslag av skjoldkrepser.

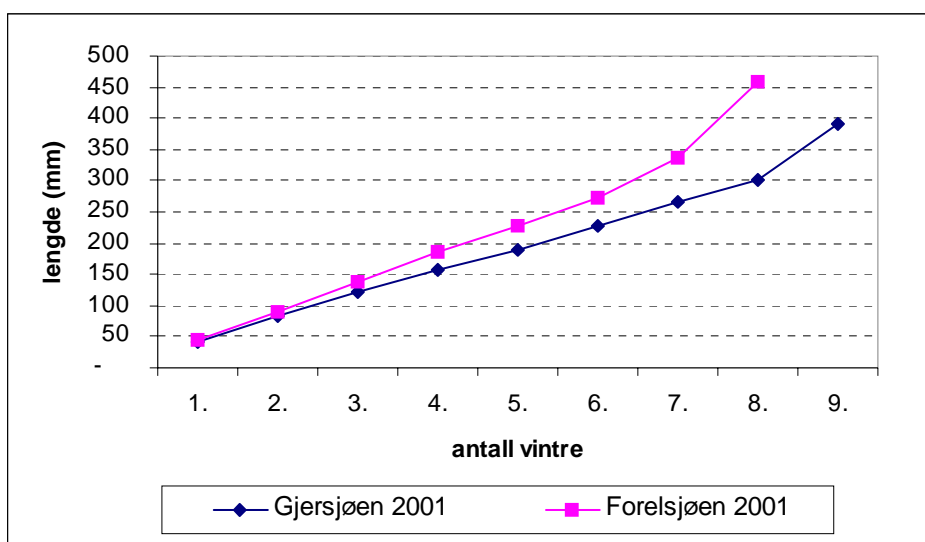
I Fjellsjøen var mageprøvene av fisken som vi analyserte (innsamlet 19.06.01) dominert av marflo, men med lite innslag av insektlarver, dyreplankton, snegl og muslinger. En tidligere undersøkelse viste også stor dominans av marflo i mageprøvene (Qvenild 1996).

Ørreten i Store Gjersjøen har en varierende diett. Den første fiskeundersøkelsen i innsjøen viste at marflo var ørretens viktigste næringsdyr (Nysæther 1968). Senere undersøkelser har vist at mageinnholdet i noen fisk var totalt dominert av marflo, mens andre var dominert av stankelbeinlarver og overflateinsekter (Museth og Qvenild 1996). I tillegg var det spredte forekomster av vårfluer, alminnelig damsnegl (*Lymnea peregra*) og fjærmygglarver (Museth og Qvenild 1996). Vår undersøkelse (05.10.01) viste at marflo fortsatt er vanlig forekommende i fiskemagene, selv om 5 av 18 fisk (fra 100 til 800 g) hadde spist ørekyt. Forøvrig besto mageinnholdet i 3 fisk i hovedsak av klekte insekter og fjærmygglarver, mens i en fisk var linsekrepser totalt dominerende.

I Fundin er næringsforholdene gode med store forekomster av linsekrepser, skjoldkrepser og marflo (Enerud 1980). Vår undersøkelse viste at marflo fremdeles er av betydning selv etter mange år med regulering på 11 m. Vanligvis forsvinner marflo ved en regulering på over 6 m (Økland og Økland 1995). Ellers er det registrert snegl og muslinger og ulike arter insekter (Enerud 1980). Fisken i vårt materiale (08.09.01) hadde total dominans av skjoldkrepser i magene. Ørekyt ble ikke observert i noen av ørretmagene i vårt materiale, men har tidligere blitt observert (Qvenild 1988).

Fiskeribiologiske forhold

Forelsjøen er et rent ørretvann som fra gammelt av er regnet som et svært godt fiskevann med fisk av ypperlig kvalitet og størrelse. Ørretens vekst er god med tegn til økt vekst med økende størrelse uten tegn på vekststagnasjon (Fig.3). Dette indikerer at en del eldre større fisk blir kannibaliser. Blant innkomne fangstrapper i 1996 ble det rapportert om fisk på 3,5 kg. Til tross for at gyte- og oppvekst-muligheter i tilløpsbekkene og utløpsbekken er svært begrensede synes bestanden av småfisk å være tilfredsstillende. Garnfisket er nesten enerådende i vannet og det fiskes aktivt fra både Hedmarks- og Trøndelagssiden. En omlegging til grovere maskevidder etter 1987 viste gode resultater. Etter en periode med nedgang i fangstene økte utbyttet fra 1991 og utover etter hvert som fisken vokste seg inn i de grovere maskeviddene. Dette ga seg også utslag i gjennomsnittsvekten som økte fra 315 g i 1987 til 480 g i 1994. Situasjonen etter 1997 synes å være ustabil og noe uoversiktlig fordi statistikken lider av dårligere innrapportering. Ørekyte finnes i Fora straks nedstrøms fossene i utløpet av innsjøen og bestanden er tett i Dalbusjøen (Hansen 1991). Marflo og skjoldkreps kan bli sterkt nedbeitet hvis ørekyte kommer inn og etablerer med en stor bestand i Forelsjøen.



Figur 3. Tilbakeregnet lengdevekst for ørret i Forelsjøen og Gjersjøen i 2001.

Fjellsjøen er kjent for å være et godt fiskevann med stor fisk av god kvalitet (snitt k-faktor 1,04 og rød kjøttfarge for fisk over 25 cm, Qvenild 1996). Dette vannet er det nærmeste en kommer et ideelt ørretvann i Hedmark. Et prøvefiske som ble gjennomført den 26.-27. juli 1995 resulterte i 7,3 kg/serie (Jensen-serien) med en høy andel stor fisk som veide opptil 1,3 kg (Qvenild 1996). Veksten var jevnt god med en tilvekst på ca. 5 cm/år og et utholdende vekstforløp uten tegn til vekststagnasjon. Den store fisken hadde tendenser til raskere vekst. Dette kan tyde på kannibalisme. Hunnfisken blir gytemoden når den er ca. 35 cm og hannfisken når den er 15-20 cm. Det settes ikke ut fisk i sjøen. Det er et aktivt fiske i innsjøen med 35 og 39 mm garn uten at beskatningen blir altfor hard. Ørekyt finnes i Dalbusjøen og oppstrøms i Fora helt til oppunder fossene nedstrøms utløpet av Fjellsjøen (Hansen 1991). Det er en viss risiko for at ørekyt kan spres til Fjellsjøen.

Tidligere var Gjersjøen et rent ørretvann. Ørekyte ble først observert i Lille Gjersjøen, og man antar at den har spredd seg herfra og ned i Gjersjøen. I Gjersjøen ble ørekyta observert første gang i 1990. Den har nå etablert seg med store tettheter i beskyttede vikene og i bekkene. Fiskebestanden ble undersøkt 5.-7. juli 1994 (Museth og Qvenild 1996). Tettheten av småfisk var høy og rekrutteringen synes å være god. På garn med grovere maskevidder var fangstene lave, men i ordinære garn (35 mm) som ble brukt parallelt med prøvefiske var fangstene gode. Også i en undersøkelse fra 1968 var det et høyt innslag av stor fisk (Nysæther 1968). Dette gir et bilde av et godt fiskevann. Største fisk i materialet

var 41,5 cm lang og veide 785 gram. Veksten var noe lavere enn i Forelsjøen, men den var utholdende og viste tegn til økt vekst i de eldste fiskene (Fig.3). Gjennomsnittlig k-faktor var 1.00, og for den del av fangsten som var større enn 25 cm hadde så godt som all fisk rød eller lys rød kjøttfarge.

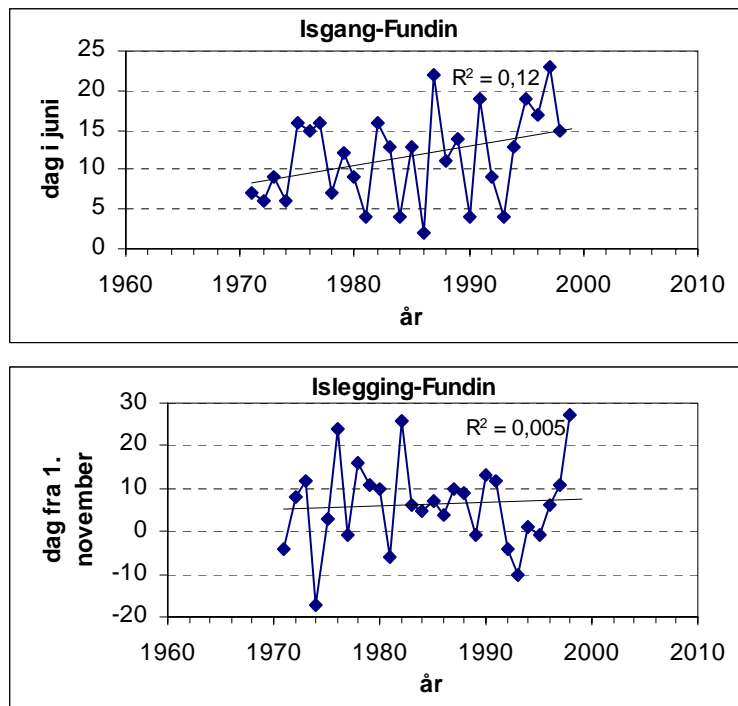
Ørret dominerer i Fundin, men det finnes også ørekyt og en liten bestand av harr. Ørekyte ble første gang observert i 1986 og finnes i en liten bestand i strandnære områder. Ørretens kvalitet er førsteklasses (k-faktor i snitt 0,95-1,05) og all fisk over 25 cm er rød eller lys rød. Veksten er fremdeles god og utholdende, men er noe dårligere enn den var i de første årene etter oppdemmingen. Utsetningspålegg på grunn av reguleringen er 20.000 ensomrige settefisk av stedege ørret. Det samles inn stamfisk i Elgsjøelva som kommer fra Elgsjøen. Det er et hardt fiske i Fundin, spesielt med garn, men også med sluk og oter fra båt. Antall garnnetter den enkelte fisker bruker har økt noe, i tillegg til at det nå fiskes utelukkende med 35 mm, mens det tidligere også var vanlig med 39 mm. Fisket er hardere i Folldals- enn i Oppdalsdelen av innsjøen. Garnutbyttet er 0,5 - 0,6 fisk pr. garnnatt. Som en følge av et lettere fiske i Oppdal ligger garnutbyttet 60 % høyere enn i Folldal. Gjennomsnittsvekten ligger på 455 - 475 g på garn. Dette er nokså likt både i garnfisket og oter-/slukfiske. Utbyttet på oter/stang ligger på 0,6 til 1,0 fisk/ time. I årene 1999, 2000 og 2001 fikk henholdsvis 73 %, 60 % og 88 % av de spurte fisk som var 1 kg eller større, mens for fisk over 2 kg var andelen henholdsvis 18 %, 28 % og 31 %. Det synes derfor som om innslaget av stor fisk har økt noe i perioden 1999 - 2001. I 1999 ble det tatt fisk på 3,1 kg. Merka fisk utgjør nå en betydelig del av fangsten. Innslag av utsatt fisk i fiskernes fangster var i 1999, 2000 og 2001 henholdsvis 18,0 %, 25,2 % og 27,6 %.

Det er ikke laget noen rapport over fiskeribiologiske undersøkelser i Elgsjøen, men resultatene av et prøvefiske 13. - 14. august 1988 er omtalt i et brev fra Fylkesmannen i Sør-Trøndelag til Oppdal JFL. Her sies det at ørretbestanden er relativt stor og at den har en god rekruttering. Fiskens kvalitet var god (k-faktor 0.9 - 1)

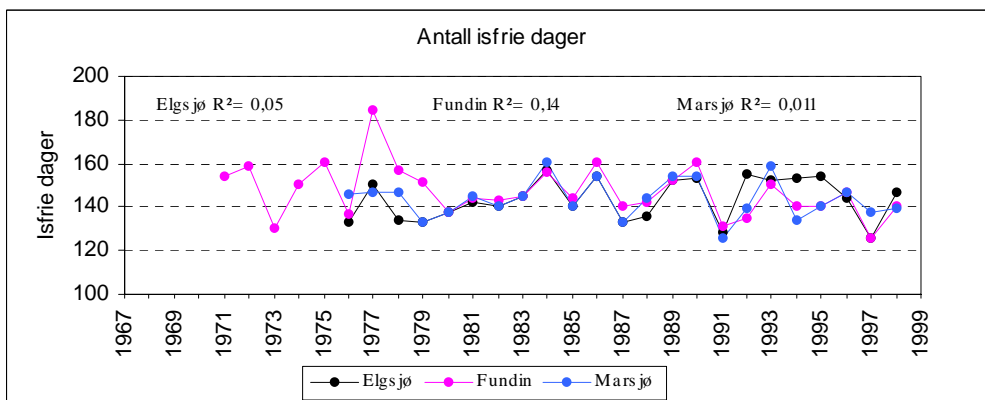
4. Resultater

4.1 Klimadata

Gjennom Glommen og Laagens Brukseierforening (GLB) har vi fått tilgang på data om isforhold på Fundin, Elgsjøen og Marsjøen. Marsjøen (1064 m.o.h) ligger ca. 7 km øst for Fundin. Tidspunktet for islegging og isgang har ikke endret seg signifikant på Fundin fra 1971 og frem til i dag (Fig 4). Det har heller ikke vært noen signifikant endring i produksjonssesongens lengde (antall isfrie dager) fra 1976 og frem til 1998 (Fig.5). Likevel kan det være år til år variasjoner på opptil 4 uker. I snitt legger isen seg ca. 5. november og går opp i midten av juni.



Figur 4. Tidspunkt for isgang og islegging i Fundin i perioden 1971 til 1998.

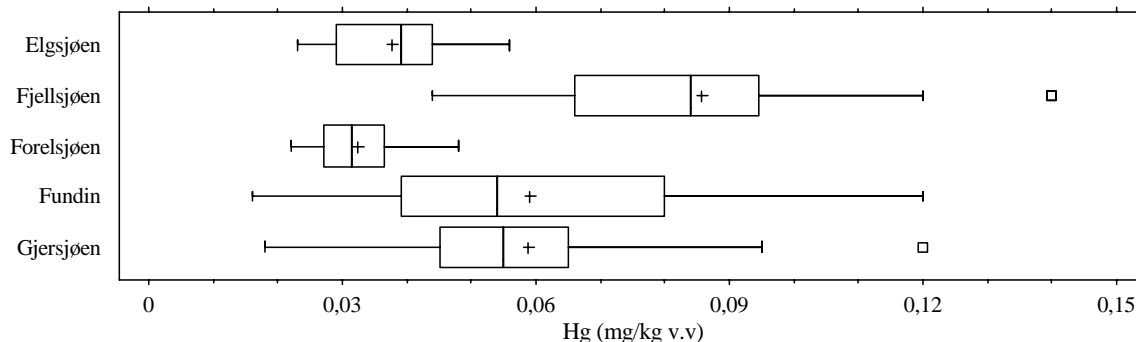


Figur 5. Antall isfrie dager i Fundin, Elgsjøen og Marsjøen i årene 1971 til 1998.

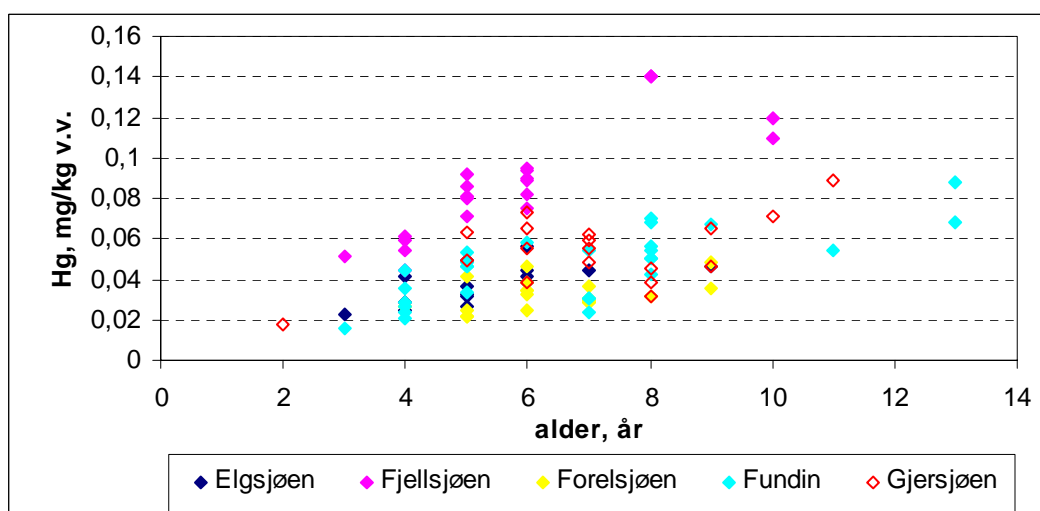
4.2 Sammenhengene mellom kvikksølvkonsentrasjon, fiskens alder og stabile isotoper i fisk

Det er analysert 102 ørret, 15 blandprøver av ørekyt og 21 blandprøver av de viktigste næringsdyrene. Resultatet av alle analysene er gitt i Vedlegg A og B. Konsentrasjonene av kvikksølv i ørret var høyest i Fjellsjøen, noe mindre i Fundin og Gjersjøen og lavest i Elgsjøen og Forelsjøen (Fig.6).

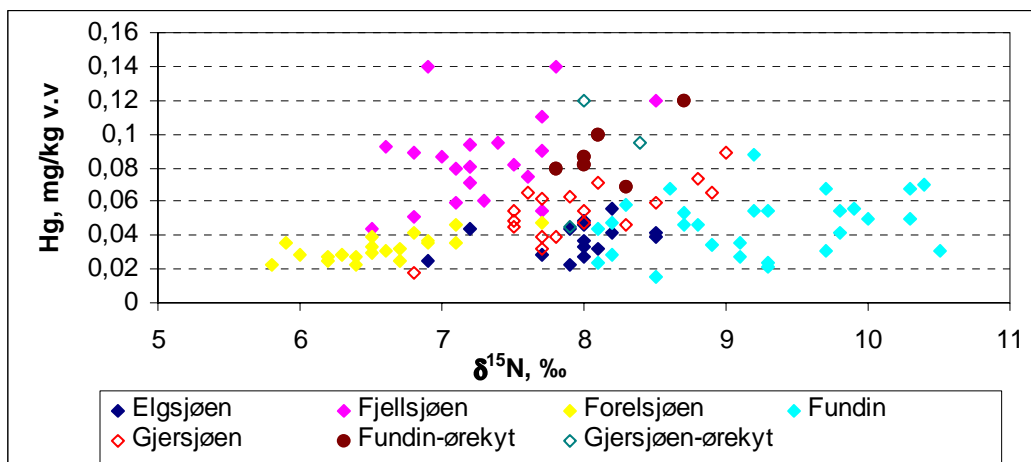
Konsentrasjonene av kvikksølv økte med alderen i alle innsjøene (Fig.7). Konsentrasjonene var høyest i Fjellsjøen og verdiene var nær dobbelt så høye for like gammel fisk som i de andre innsjøene. Konsentrasjonene av kvikksølv økte også med økende $\delta^{15}\text{N}$ -verdier i Forelsjøen og Gjersjøen, mens det ikke var noen klar sammenheng i de andre innsjøene (Fig.8). Statistiske beregninger viste at kvikksølvkonsentrasjonene i ørret kunne best forklares ut fra alder og $\delta^{15}\text{N}$. Ved hjelp av likningen: $\log \text{Hg} = \log \text{alder} + \delta^{15}\text{N}$ kan vi forklare fra 37 til 80% av variasjonen i datasettet (Tab.2). De semipartsielle korrelasjonskoeffisientene (effekten av en variabel når den andre holdes konstant) indikerer at alder var den viktigste forklaringsvariablen i Elgsjøen, Fjellsjøen og Fundin, mens $\delta^{15}\text{N}$ var viktigst i Gjersjøen og Forelsjøen (Tab.2).



Figur 6. "Box- and whisker plot" av kvikksølvkonsentrasjonen i ørret i de ulike innsjøene. Boksen omfatter de midtre 50% av dataene, medianen vises ved den vertikale linjen inni boksen og middelveidien med +. De horisontale linjene trekkes fra den 25 og 75 prosentilen til 1,5 ganger disses rekkevidde. De små boksene er verdier som ligger utenfor 1,5 men innen 3 ganger prosentilenes rekkevidde.



Figur 7. Sammenhengen mellom alder og konsentrasjon av kvikksølv i ørret fra innsjøene.

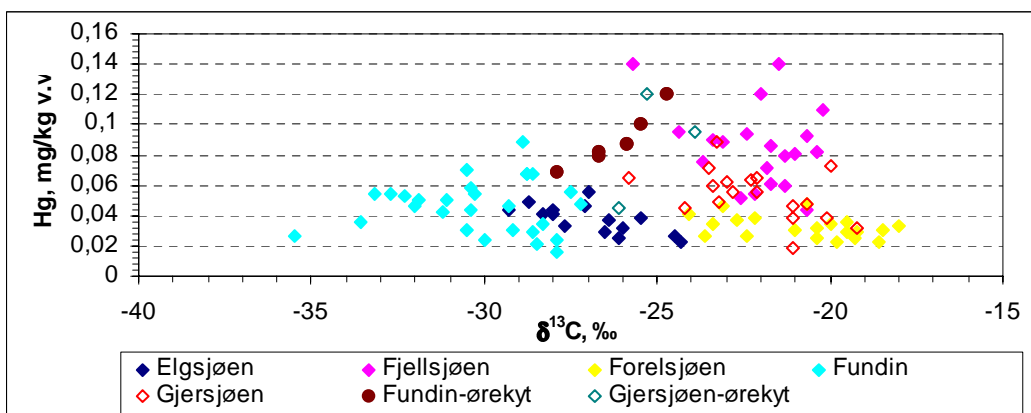


Figur 8. Sammenhengen mellom $\delta^{15}\text{N}$ verdier og konsentrasjon av kvikksølv i ørret fra innsjøene.

Tabell 2. Korrelasjonskoeffisienter for følgende likninger. I: $\log \text{Hg} = \log \text{alder} + \delta^{15}\text{N}$, II: $\log \text{Hg} = \delta^{15}\text{N}$, III: $\log \text{Hg} = \log \text{alder}$. De semi-partielle korrelasjonskoeffisientene (sr) viser korrelasjonen mellom $\log \text{Hg}$ og $\log \text{alder}$ når $\delta^{15}\text{N}$ holdes konstant lik gjennomsnittet (sr, alder) og mellom $\log \text{Hg}$ og $\delta^{15}\text{N}$ når $\log \text{alder}$ holdes konstant lik gjennomsnittet ($sr, \delta^{15}\text{N}$). n = antall observasjoner (fisk).

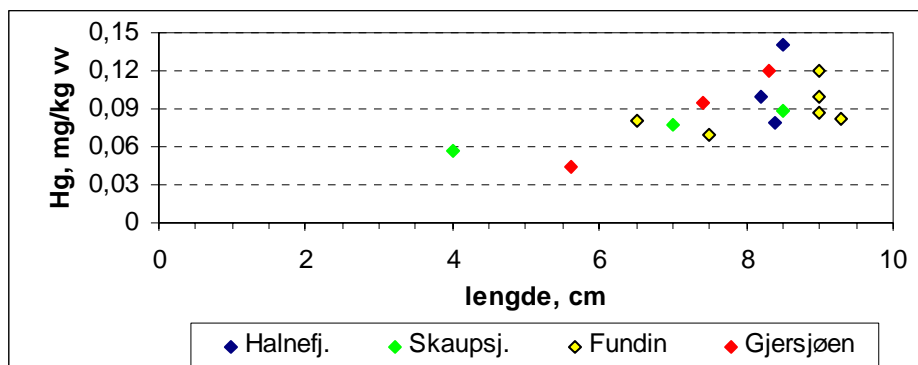
| Innsjø | R^2 (I) | R^2 (II) | R^2 (III) | sr^2, alder | $sr^2, \delta^{15}\text{N}$ | Antall (n) |
|------------|-----------|------------|-------------|----------------------|-----------------------------|------------|
| Elgsjøen | 0,54 | 0,13 | 0,50 | 0,41 | 0,04 | 15 |
| Fjellsjøen | 0,80 | 0,17 | 0,78 | 0,63 | 0,02 | 19 |
| Forelsjøen | 0,53 | 0,50 | 0,23 | 0,03 | 0,30 | 20 |
| Fundin | 0,58 | 0,07 | 0,54 | 0,51 | 0,04 | 29 |
| Gjersjøen | 0,37 | 0,35 | 0,02 | 0,02 | 0,35 | 18 |

Det var ingen signifikant korrelasjon mellom alder og $\delta^{13}\text{C}$ (R^2 fra 0.069 til 0.12) i noen av innsjøene, men kvikksølvkonsentrasjonen var negativt korrelert til $\delta^{13}\text{C}$ i Elgsjøen og Gjersjøen (Fig. 9). I Gjersjøen har ørektyt et lavere $\delta^{13}\text{C}$ -signal enn ørret (Fig.9), og det er derfor sannsynlig at den negative korrelasjonen mellom $\delta^{13}\text{C}$ og kvikksølvkonsentrasjon skyldes at ørektyt inngår i ørretens diett helt fra de er ca.100 g slik vi observerte i mageprøvene.



Figur 9. Sammenhengen mellom $\delta^{13}\text{C}$ og konsentrasjon av kvikksølv i ørret og ørektyt.

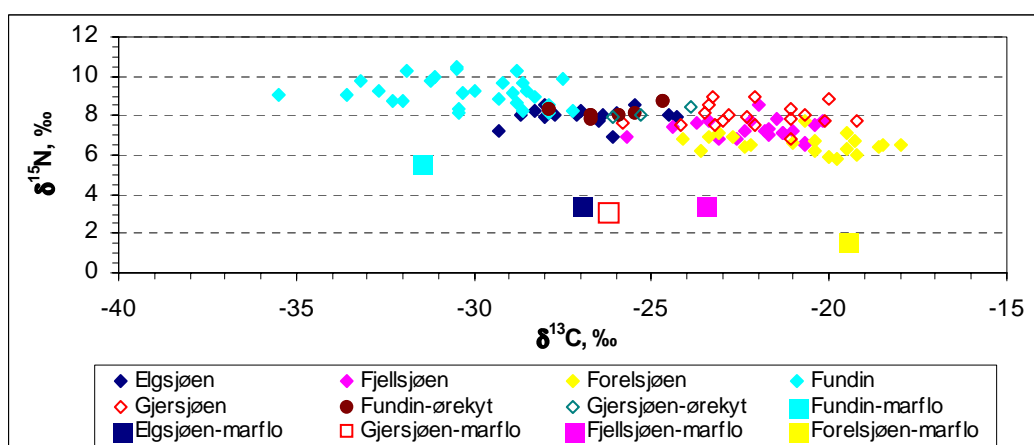
Kvikksølvkonsentrasjonene i ørekyt økte med lengden på fisken (Fig.10). Sammenhengen var nær den samme for ørekyt i Fundin og Gjersjøen som i to innsjøer på Hardangervidda (Skaupsjøen og Halnefjorden). Konsentrasjonene i de største ørekytene var på nivå med konsentrasjonene i de eldste ørretene i Fundin og Gjersjøen.



Figur 10. Sammenhengen mellom ørekytas lengde og konsentrasjon av kvikksølv i Fundin, Gjersjøen, Halnefjorden og Skaupsjøen. De to sistnevnte innsjøene ligger på Hardangervidda.

4.3 Stabile isotoper i fisk og næringsdyr

I hele materialet sett under ett var det en negativ sammenheng mellom $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ i fisk (Fig.11). Den samme trenden i isotopanalysene ble observert for marflo (Fig.11). Differansen mellom de høyeste $\delta^{15}\text{N}$ -signalene i ørret fra hver innsjø og $\delta^{15}\text{N}$ -signalet i marflo var ca.5 ‰ i Fjellsjøen, Forelsjøen, Elgsjøen, og ca. 6.2 ‰ i Gjersjøen og Fundin (Fig. 11). Isotopsignalet i snegl var nær isotopsignalet i mosene, mens $\delta^{15}\text{N}$ verdier var noe lavere enn i marflo (Vedlegg B). Skjoldkrepss og marflo i Forelsjøen hadde nær det samme isotopsignalet, mens vannloppen *Daphnia longispina*, i Gjersjøen hadde nær den samme $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene som marflo, men et langt lavere $\delta^{13}\text{C}$ -signal (Vedlegg B).



Figur 11. Sammenhengen mellom $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ i ørret, ørekyt og marflo i de undersøkte innsjøene.

5. Diskusjon

I denne undersøkelsen har vi vist at konsentrasjonene av kvikksølv i ørret fra fjellsjøer i Nord-Hedmark var lave ($< 0,12$ mg/kg v.v). De var klart lavere enn den grensen som EU og Statens Næringsmiddeltilsyn har satt for fisk som skal omsettes (0,5 mg/kg v.v), og de var så lave at det heller ikke er nødvendig med kostholdsråd for de som spiser mye fisk.

De fiskeribiologiske undersøkelsene har vist at marflo og skjoldkreps ofte er dominerende i ørretens diett fra sommeren og utover høsten (se kap.2). $\delta^{15}\text{N}$ verdiene i ørret var i snitt nær 3,5 ‰ høyere (tilsvarende et trofisk nivå) enn i marflo i Fundin, Fjellsjøen og Elgsjøen, mens $\delta^{13}\text{C}$ verdiene var nær de samme. Dette indikerer at tilstedeværelsen av marflo i magen ikke bare betyr at den blir spist, men at den har stor betydning for ørretens vekst i disse sjøene. I Gjersjøen og Forelsjøen bidrar også fisk til oppbyggingen av ørretens muskelmasse.

Kvikksølvforurensninger av vann og vassdrag utenfor urbane områder skyldes i all hovedsak atmosfæriske avsetninger av uorganisk kvikksølv (Rognerud og Fjeld 2001). Det er imidlertid ikke uorganisk kvikksølv, men den meget giftige organiske forbindelsen metylkvikksølv som anrikes i næringskjedene (Bowles et al. 2001). Nesten all kvikksølv i fisk er metylkvikksølv og omdannelsen av uorganisk kvikksølv til metylkvikksølv skjer ved hjelp av bakterier i innsjøenes sedimenter og i nedbørfeltene våtmarker (St. Louis et al. 1996). Bakterielle prosesser av denne typen er temperaturbettinget og krever tilgang på organisk materiale. I fjellsjøer er ofte innholdet av organisk materiale lavt og temperaturen lav i store deler av året (Rognerud og Fjeld 2001). Dette betinger en relativt lav produksjon av metylkvikksølv. I tillegg brytes produsert metylkvikksølv lett ned av sollys i klare innsjøer (Sellers et al. 1996). Det er derfor rimelig å anta at nettoproduksjonen av metylkvikksølv er lav i de klare og relativt kalde fjellsjøene i Nord-Østerdalen og at dette er hovedårsaken til de lave kvikksølvnivåene i fisk.

Den økte vinternedbøren i Sør-Norge de siste 20 årene (Førland et al. 2000) kan ha ført til økt utvasking av uorganisk kvikksølv fra atmosfæren. De atmosfæriske avsetningene økte også frem til ca. 1990, men har siden gått noe ned på grunn av reduserte utslipp (Steinnes et al. 1997). Det er imidlertid bare en svært liten del av dette som omdannes til metylkvikksølv i klare innsjøer (Bowles et al. 2001). Det er derfor rimelig å anta at det først og fremst er endringer i naturlige fysiske og kjemiske forhold (påvirker metyleringsprosessen) som kan føre til høyere kvikksølvinnhold i fisk i disse fjellvannene. I den isfrie delen av året er det særlig vår og høst som har blitt varmere de siste 20 årene, og det er prognosert en videre økning i temperaturen i alle årstider de nærmeste 50 årene (Førland et al. 2000). Dette kan på sikt føre til økt nedbrytning av humus, brunere vann i innsjøene, økt nettoproduksjon av metylkvikksølv i innsjøene og økte konsentrasjoner i fisk. Den økte vinternedbøren de siste 20 år har ikke ført til noen systematisk senere isgang eller kortere isfri periode i to av våre sjøer, slik det har gjort på vestre deler av Hardangervidda (Borgstrøm 2001). De siste 30 år har likevel alle år med isgangen senere enn 16 mai skjedd i løpet av de siste 15 årene. Vi må likevel konkludere med at klimaendringene ikke har redusert produksjonssesongens lengde i innsjøene, og at de sannsynligvis ikke har bidratt til dårligere vekstvilkår for næringsdyr og fisk i Nord-Østerdalens fjellområder.

Konsentrasjonene av kvikksølv i fisk var i all hovedsak bestemt av fiskens alder og ikke trofisk posisjon i Fundin, Fjellsjøen og Elgsjøen. Dette indikerer at kannibalisme ikke er vanlig i disse innsjøene og at heller ikke ørekyt er noen viktig byttefisk for ørreten i Fundin. De noe høyere $\delta^{13}\text{C}$ -verdiene i ørekyt enn i ørret indikerer at ørekyt oppholder seg i strandnære områder (Vander Zanden and Rasmussen 1999). I disse tre innsjøene økte konsentrasjonene med en faktor på ca.3,5 med en

økning i alderen på 10 år. Dette er i god overenstemmelse med resultatene fra andre fiskebestander der trofisk posisjon ikke endrer seg nevneverdig med alderen (Rognerud og Fjeld 2002).

I Forelsjøen og Gjersjøen forklarte fiskens plass i næringskjeden, dvs. trofisk posisjon ($\delta^{15}\text{N}$) mer av variasjonen i kvikksølvkonsentrasjonene enn alder. Oppkonsentreringen i næringskjeden er svært viktig for konsentrasjoner av kvikksølv i fisk (Bowles et al. 2001). Når fisk går over til å bli ren fiskepiser øker kvikksølvkonsentrasjonene i løpet av relativt kort tid (avhengig av veksten) med en faktor på 3,5 (Rognerud og Fjeld 2002). Mageanalysene viste at i Gjersjøen kan ørekyt inngår i ørretens diett allerede fra de er relativt små (100 g), mens en økt vekst i eldre fisk i Forelsjøen indikerer kannibalisme. Det er derfor rimelig at effekten av trofisk posisjon er viktigere enn alder for kvikksølv i fisk fra disse sjøene.

Konsentrasjonene av kvikksølv i ørekyt økte med lengden, og de største individene hadde verdier på nivå med de eldste ørretene. Ørekyt blir betydelig eldre i fjellet enn i lavlandet (Mills 1988). I Øvre Heimdalsvatn (1088 m.o.h) kan ørekyt på 8-9 cm være mellom 9 og 12 år gamle (Museth et al. 2002). Dersom forholdet mellom lengde og alder for ørekyt i Gjersjøen og Fundin er nær den samme som i Øvre Heimdalsvatn, så var anrikningen av kvikksølv med alder i ørekyt nær den samme som for ørret. Ørreten spiser alle lengdegrupper av ørekyt, men når den opptrer som kannibal er det i hovedsak yngre mindre fisk som blir spist. Diett bestående av ørekyt kan derfor gi et høyere kvikksølvnivå i fiskespisende ørret, enn om den spiser mindre individer av sin egen art.

Vi kan imidlertid ikke gi en god forklaring på hvorfor Fjellsjøen hadde de høyeste konsentrasjonene av kvikksølv i fisk. De var klart høyere enn i den nærliggende Forelsjøen, der eldre fisk i tillegg ble kannibaler. Det var ikke forskjeller i vannkvalitet eller atmosfæriske avsetninger som kan forklare dette, men Fjellsjøen er svært grunn og det er mulig at en høyere temperatur i sedimentene kan gi en mer effektiv metylering av kvikksølv.

I Gjersjøen var $\delta^{13}\text{C}$ -verdier lavere i ørekyt enn ørret. Dette kan bety at ørekyt hadde dyreplankton ($\delta^{13}\text{C}$ -30 ‰) som en viktig del av dietten, mens ørret var mer preget av isotopsignalet i marflo ($\delta^{13}\text{C}$ -25 ‰). Dette stemmer godt overens med de fiskeribiologiske undersøkelsen (Kap.2). Det er mulig at årsaken til at ørekyt blir spist av ørret i Gjersjøen, men nesten ikke i Fundin, skyldes at bestanden er større og at mer av innsjøen benyttes som leveområde (indikert ved at de er dyreplanktonspisere). Reguleringsonen i Fundin gir ørekyt dårlig skjulmuligheter og derfor små muligheter til å etablere større bestander.

Den negativ sammenheng mellom $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ i fisk fra innsjøene samlet skyldes antagelig i hovedsak at Fundin og Elgsjøen er regulert. I regulerte innsjøer er det svært sparsomt med littorale primærprodusenter i reguleringsonen og næringskjedens karbonkilder er oftest planktonalger og detritus tilført fra nedbørfeltet. De sistnevnte har mer negative $\delta^{13}\text{C}$ verdier enn littorale planter (France 1997). $\delta^{13}\text{C}$ i ørret fra Forelsjøen, Fjellsjøen og Gjersjøen var i snitt ca. 7 ‰ høyere enn i Fundin. Dette er nær de forskjeller som observeres mellom $\delta^{13}\text{C}$ i littorale- og plankton dominerte næringskjeder (Post 2002). Det må imidlertid også nevnes at hoveddelen av vannmengden i Fundin ved HRV er tilført fra nedbørfeltet i løpet av en kort tid om våren. Dette vannet kan inneholde en høy andel resipierte CO_2 som har et lavt isotopsignal (Gannes et al. 1998). Elgsjøens reguleringshøyde (5,3 m) er bare halvparten av reguleringshøyden i Fundin og strandnær vegetasjon har en større sjanse til å overleve. Det er mulig at dette er årsaken til at $\delta^{13}\text{C}$ i fisk og næringsdyr indikerer både planktoniske og littorale karbonkilder i Elgsjøen. $\delta^{13}\text{C}$ verdiene i fisk og næringsdyr fra Forelsjøen, Fjellsjøen og Gjersjøen (-25 til -18 ‰) er verdier som observeres i innsjøer der strandnære påvekstalger og fastsittende alger er karbonkildene (France 1997).

Når $\delta^{15}\text{N}$ benyttes som indikasjon på organismenes trofiske posisjon i ulike innsjøer må $\delta^{15}\text{N}$ verdiene i basis av næringskjedene være klarlagt. De kan variere betydelig avhengig av forhold som innsjøens morfometri, vannkvalitet og antropogen påvirkning (Post 2002). Primærprodusenter som påvekstalger

og planktonalger kan imidlertid ha store temporale variasjoner i isotopsignalet over året (Post 2002). Dersom en har få målinger over tid kan derfor estimater på isotopsignalet i basis av næringskjeden bli svært feilaktig. Derfor benyttes oftest isotopsignalet i primær konsumenter (f.eks snegl og muslinger), som har betydelig mindre temporal variasjon, som indikasjoner på variasjonen i $\delta^{15}\text{N}$ verdien i basis av næringskjeden (Vander Zanden og Rasmussen 1999, Post 2002). Vi har analyser av marflo i alle innsjøene og har benyttet $\delta^{15}\text{N}$ verdiene i marflo som indikasjoner på forskjeller i $\delta^{15}\text{N}$ i basis av næringskjeden. Marflo lever i hovedsak av påvekstalg, men kan også inkludere mindre dyreplankton i dietten (Wilhelm and Schindler 1999). Marflo er derfor ikke en like "ren" primær konsument som snegler eller muslinger. Dette stemmer godt overens med data fra innsjøer på Hardangervidda (upublisert), Elgsjøen, Fjellsjøen og Forelsjøen som viser at $\delta^{15}\text{N}$ verdiene i marflo er $1 \pm 0,5$ ‰ høyere enn i damsnegl (*Lymnea peregra*). Dette er likevel kun 30% av et helt trofisk nivå og det er rimelig å anta at isotopsignalet i marflo vil gi en god indikasjon på relative forskjeller i $\delta^{15}\text{N}$ verdiene i basis av næringskjeden i de ulike innsjøene. Da $\delta^{15}\text{N}$ verdiene økte i marflo med synkende $\delta^{13}\text{C}$ verdier slik de gjorde i fisk, indikerer dette at de høye $\delta^{15}\text{N}$ verdiene i fisk fra Fundin skyldes høyere $\delta^{15}\text{N}$ i basis av næringskjeden og ikke en høyere trofisk posisjon. En høyere basis $\delta^{15}\text{N}$ i Fundin kan skyldes oppfyllingen av vann fra nedbørfeltet i løpet av en kort tid på våren. Det er kjent at nitrat (NO_3) fra jordvann er anrikt på ^{15}N i forhold til ^{15}N i atmosfærisk nitrat (Gannes et al. 1998).

6. Referanser

- Borgstrøm, R. 2001. Relationship between spring snow depth and growth of brown trout, *Salmo trutta*, in an Alpin lake: Predicting consequences of climate change. Arctic, Antarctic, and Alpin Research 33: 476-480.
- Borgstrøm, R., Garnås, E., and Saltveit, S.J. 1985. Interactions between brown trout, *Salmo trutta* L., and minnow, *Phoxinus phoxinus* (L) for their common prey, *Lepidurus arcticus* (Pallas). Verh. Internat. Verein. Limnol. 22. 2548 – 2552.
- Bowles, K.C., Apte, S.C., Maher, W.A., Kawei, M. and Smith, R. 2001. Bioaccumulation and biomagnification of mercury in lake Murray, Papua New Guinea. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58: 888 - 897.
- Craig, H. 1953. The geochemistry of stable carbon isotopes. Geochim. Cosmochim. Acta, 3: 53 - 93.
- Enerud, J. 1980. Fiskeribiologiske undersøkelser i Fundin og Einunna, Folldal og Oppdal kommuner, Hedmark og Sør-Trøndelag fylker, 1980. Fiskerikonsulenten i Øst-Norge, Rapport 36s.
- France, R.L. 1997. Stable carbon and nitrogen isotopic evidence for ecotonal coupling between boreal forests and fishes. Ecology of Freshwater Fish. 6 :78-83.
- Førland, E. J., Roald, L.A., Tveito, O.E., and Hanssen-Bauer, I. 2000. Past and future variations in climate and runoff in Norway. DNMI-report 19/00. 77 p.
- Gannes, L.Z., Martinez Del Rio, C. and Kock, P. 1998. Natural abundance variations in stable isotopes and their potential uses in animal physiological ecology. Comp. Biochem. Physiol. 119A: 725-737.

- Hansen, J-H. 1991. Fiskebiologisk rapport Dalbusjøen 1991. Privat rapport til grunneiere, 17 s.
- Hecky, R.E., and Hesslein, R.H. 1995. Contributions of benthic algae to lake food webs as revealed by stable isotope analysis. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 14: 631-653.
- Koksvik, J.I. og Nøst T. 1981. Gaulavassdraget i Sør-Trøndelag og Hedmark fylker. Ferskvannsbiologiske undersøkelser i forbindelse med vern. *K. Norske Vidensk. Selsk. Mus., Rapport Zool. Ser.* 1981-24, 96 s.
- Løkensgard, T. 1963. Forelsjøen. Notat fra fiskerikonsulenten i Øst-Norge. 4 s.
- Mariotti, A. 1983. Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural abundance ^{15}N measurements. *Nature*, 303: 685 - 687.
- Mills, C.A. 1988. The effect of extreme northerly climatic conditions on the life history of the minnow, *Phoxinus phoxinus* (L.). *J. Fish. Biol.* 33: 545 – 561.
- Museth, J., Borgstrøm, R., Brittain, J.E., Herberg, T., and Naalsund, C. 2002. Introduction of the European minnow into a subalpine lake; habitat use and long term changes in population dynamics. *J. Fish Biol.* Accepted.
- Museth, J. og Qvenild, T. 1996. Fiskeribiologiske undersøkelser i Store Gjersjøen, Tolga kommune. Fylkesmannen i Hedmark, miljøvernnavdelingen. Rapport nr. 3/96, 10 s.
- Nysæter, B.K. 1968. Notat vedrørende fiskeundersøkelser i store Gjersjøen. Hedmark Skogselskap. 3s.
- Olsen, V. 1969. Fisket i Forelsjøen- Sør-Trøndelag og Hedmark fylke. Notat fra fiskerikonsulenten i Midt.Norge. 7 s.
- Palmer, T.N. and Räisänen J. 2002. Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, 415: 512-514.
- Post, D.M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology* 83: 703 – 718.
- Qvenild, T. 1988. Årsmelding fra Glommaprosjektet 1998. Fylkesmannen i Hedmark. Rapport 28s.
- Qvenild, T. 1996. Fiskeribiologiske undersøkelser i Fjellsjøen, Os kommune. Fylkesmannen i Hedmark, miljøvernnavdelingen. Rapport nr. 4/1996, 8 s.
- Qvenild, T. 2002. Glommaprosjektet: Årsmelding 2001. Fylkesmannen i Hedmark, miljøvernnavdelingen. Rapport nr. 1/2002, 27 s.
- Qvenild, T. og Nashoug, O. 2000. Fiskeundersøkelser i Forelsjøen 1987-1998. Fylkesmannen i Hedmark, miljøvernnavdelingen. Rapport nr. 2/2000, 15 s.
- Rognerud, S. og Fjeld, E. 2002. Kvikksølv i fisk fra innsjøer i Hedmark, med hovedvekt på grenseområdene mot Sverige. NIVA-rapport Lnr 4487-2002.
- Rognerud, S., Fjeld E. og Eriksen G.S. 1996. Landsomfattende undersøkelse av kvikksølv i ferskvannsfisk og vurdering av helsemessige effekter ved konsum. Statlig program for forurensningsovervåking. SFT-rapport TA 1380. 21 s. + vedlegg.

- Sellers, P., Kelly, C. A., Rudd, J.W.M., and MacHutchon, A.R. 1996. Photodegradation of methyl mercury in lakes. *Nature* 380: 694-697.
- St.Louis, V.L., Rudd, J.W.M., Kelly, C.A., Beaty, K.G., Flett, R.J. and Roule, N. T. 1996. Production and loss of methyl mercury from boreal forest catchments containing different types of wetlands. *Environ. Sci. Technol.* 30. 2719 - 2729.
- Steinnes, E., Berg.T, Vadset, M. og Røyset, O. 1997. Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 1995. Statlig program for forurensningsovervåkning. Rapport 619/97.
- Vander Zanden, J., and Rasmussen, J. B. 1999. Primary consumer $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ and trophic position of aquatic consumers. *Ecology* 80: 1395 – 1404.
- Vander Zanden, J., and Rasmussen, J. B. 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnol. Oceanogr.* 46: 2061-2066.
- Wilhelm, F.M., and Schindler, D.W. 1999. Effects of *Gammarus lacustris* (Crustacea: Amphipoda) on plankton community structure in an alpine lake. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 1401 – 1408.
- Økland, J. og Økland, K.A. 1995. Vann og vassdrag 1. Ressurser og problemer. Forlag Vett og Viten AS.

Vedlegg A.

Primærdata fra ørret og ørekyt i de undersøkte innsjøene

| Lokalitet | Dato | Art/nr | Nr | Lengde, cm | Vekt, g | Tørrv, % | Alder år | $\delta^{13}\text{C}$, ‰ | $\delta^{15}\text{N}$, ‰ | Hg, mg/kg v.v |
|------------|----------|--------|----|---------------|------------|-------------|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------|
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 1 | 16 | 58 | 23 | 3 | -24,3 | 7,9 | 0,023 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 2 | 16,5 | 51 | 21,8 | 4 | -26,1 | 6,9 | 0,025 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 3 | 21 | 104 | 23,1 | 4 | -26,5 | 7,7 | 0,029 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 4 | 21,5 | 107 | 21,8 | 5 | -26 | 8,1 | 0,032 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 5 | 22,5 | 128 | 23,1 | 5 | -27,7 | 8 | 0,033 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 6 | 23,5 | 143 | 24,3 | 6 | -27 | 8,2 | 0,056 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 7 | 25 | 160 | 23,6 | 4 | -28,3 | 8,2 | 0,041 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 8 | 24,5 | 167 | 23 | 5 | -24,5 | 8 | 0,027 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 9 | 23 | 127 | 23,2 | 5 | -26,4 | 8 | 0,037 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 10 | 28 | 251 | 23,9 | 5 | -28,7 | 8 | 0,049 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 11 | 29,5 | 294 | 23,7 | 7 | -28 | 7,9 | 0,044 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 12 | 28,5 | 275 | 23,1 | 6 | -29,3 | 7,2 | 0,044 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 13 | 32 | 348 | 25,6 | 6 | -25,5 | 8,5 | 0,039 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 14 | 32 | 390 | 24,7 | 6 | -28 | 8,5 | 0,041 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Ørret | 15 | 38 | 728 | | 9 | -27,1 | 8 | 0,046 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 1 | 32,5 | 350 | 26 | 8 | -25,7 | 6,9 | 0,14 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 2 | 38 | 535 | 27 | 6 | -23,4 | 7,7 | 0,09 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 3 | 42,5 | 760 | 23,2 | 8 | -21,5 | 7,8 | 0,14 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 4 | 30 | 295 | 23,6 | 6 | -20,4 | 7,5 | 0,082 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 5 | 28 | 220 | 26,5 | 6 | -23,1 | 6,8 | 0,089 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 6 | 28,5 | 250 | 26 | 5 | -21,3 | 7,1 | 0,08 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 10 | 28 | 220 | 25,6 | 6 | -23,7 | 7,6 | 0,075 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 11 | 29 | 240 | 25,7 | 5 | -21,7 | 7 | 0,086 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 12 | 25,5 | 185 | 23,5 | 5 | -21,8 | 7,2 | 0,071 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 13 | 30 | 300 | 26,7 | 6 | -24,4 | 7,4 | 0,095 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 14 | 30 | 267 | 26,1 | 5 | -20,7 | 6,6 | 0,092 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 15 | 28 | 215 | 26,6 | 6 | -22,4 | 7,2 | 0,094 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 16 | 28,5 | 230 | 26,9 | 5 | -21 | 7,2 | 0,081 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 17 | 23,5 | 133 | 25,4 | 4 | -21,3 | 7,1 | 0,059 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 18 | 21 | 98 | 25,7 | 4 | -22,2 | 7,7 | 0,054 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 19 | 22 | 115 | 23,8 | 4 | -20,7 | 6,5 | 0,044 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 20 | 20,5 | 98 | 24,1 | 3 | -22,6 | 6,8 | 0,051 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Ørret | 21 | 21 | 105 | 25 | 4 | -21,7 | 7,3 | 0,061 |
| Fjellsjøen | 15.08.01 | Ørret | 22 | 46 | 1200 | 25 | 10 | -20,2 | 7,7 | 0,11 |
| Fjellsjøen | 15.08.01 | Ørret | 23 | 49 | 1600 | 26 | 10 | -22 | 8,5 | 0,12 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 1 | 49 | 1300 | 26,1 | 9 | -19,5 | 7,1 | 0,036 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 2 | 49 | 1350 | 27,1 | 8 | -20,4 | 6,7 | 0,032 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 3 | 38 | 705 | 24,1 | 7 | -22,7 | 6,9 | 0,037 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 4 | 38,5 | 680 | 26,7 | 7 | -19,5 | 6,3 | 0,029 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 5 | 36,5 | 603 | 25,9 | 7 | -18,5 | 6,5 | 0,03 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 6 | 34,5 | 455 | 25,2 | 6 | -22,2 | 6,5 | 0,039 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 9 | 34 | 435 | 25,2 | 7 | -19,2 | 6 | 0,029 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 11 | 29,5 | 320 | 24 | 6 | -23,1 | 7,1 | 0,046 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 12 | 31 | 358 | 24,5 | 7 | -21 | 6,6 | 0,031 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 14 | 28,5 | 270 | 24,9 | 6 | -20,4 | 6,2 | 0,025 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 16 | 30 | 315 | 25,9 | 6 | -20 | 5,9 | 0,035 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 19 | 29 | 285 | 25,1 | 6 | -23,4 | 6,9 | 0,035 |

| | | | | | | | | | | |
|------------|----------|--------|------|------|------|------|----|-------|------|-------|
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 21 | 26,5 | 200 | 24 | 5 | -19,8 | 5,8 | 0,022 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 22 | 47 | 1150 | 26 | 9 | -20,7 | 7,7 | 0,048 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 23 | 31 | 350 | 25,3 | 6 | -18 | 6,5 | 0,033 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 24 | 18,2 | 65 | 21,9 | 4 | -22,4 | 6,4 | 0,027 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 25 | 20,2 | 80 | 23,4 | 4 | -23,6 | 6,2 | 0,027 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 26 | 23,2 | 125 | 24 | 5 | -24,1 | 6,8 | 0,041 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 27 | 23,5 | 138 | 22,3 | 5 | -19,3 | 6,7 | 0,025 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Ørret | 28 | 24,3 | 175 | 24,1 | 5 | -18,6 | 6,4 | 0,022 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 1 | 9,3 | 6 | | | -26,7 | 8 | 0,082 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 1 | 9 | 6 | | | -24,7 | 8,7 | 0,12 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 2 | 7,5 | 3 | | | -27,9 | 8,3 | 0,069 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 2 | 9 | 6 | | | -25,9 | 8 | 0,087 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 3 | 6,5 | 2 | | | -26,7 | 7,8 | 0,08 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 3 | 9 | 6 | | | -25,5 | 8,1 | 0,1 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 11 | 9,3 | 6 | | | -26,7 | 8 | 0,082 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 11 | 9 | 6 | | | -24,7 | 8,7 | 0,12 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 12 | 7,5 | 3 | | | -27,9 | 8,3 | 0,069 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 12 | 9 | 6 | | | -25,9 | 8 | 0,087 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 13 | 6,5 | 2 | | | -26,7 | 7,8 | 0,08 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørekyt | 13 | 9 | 6 | | | -25,5 | 8,1 | 0,1 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 3 | 37 | 500 | | 7 | -32,7 | 9,3 | 0,054 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 5 | 31 | 330 | 26,2 | 5 | -29,3 | 8,8 | 0,046 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 6 | 27 | 203 | 28,2 | 4 | -35,5 | 9,1 | 0,027 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 7 | 35 | 434 | 27,9 | 5 | -27,2 | 8,2 | 0,048 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 8 | 32 | 364 | 27,6 | 5 | -28,3 | 8,9 | 0,034 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 11 | 29 | 264 | 25,9 | 4 | -28,6 | 8,2 | 0,029 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 12 | 23 | 130 | 27,6 | 5 | -32,3 | 8,7 | 0,053 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 13 | 26 | 185 | 27,2 | 6 | -30,4 | 8,3 | 0,058 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 14 | 17 | 56 | 24,5 | 3 | -27,9 | 8,5 | 0,016 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 15 | 27 | 210 | 26,3 | 5 | -32 | 8,7 | 0,046 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 17 | 21 | 110 | 25,6 | 4 | -28,5 | 9,3 | 0,021 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 18 | 23 | 127 | 27,7 | 4 | -30,4 | 8,1 | 0,044 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 19 | 22 | 106 | 25,8 | 4 | -33,6 | 9,1 | 0,036 |
| Fundin | 08.09.01 | Ørret | 20 | 24 | 156 | 27,4 | 4 | -27,9 | 8,1 | 0,024 |
| Fundin | 10.10.01 | Ørret | 101 | 59 | 2568 | | 13 | -28,9 | 9,2 | 0,088 |
| Fundin | 10.10.01 | Ørret | 102 | 52 | 1956 | | 9 | -28,8 | 8,6 | 0,067 |
| Fundin | 10.10.01 | Ørret | 103 | 58 | 2312 | | 13 | -28,6 | 9,7 | 0,068 |
| Fundin | 10.10.01 | Ørret | 104 | 53 | 2050 | | 11 | -30,3 | 9,2 | 0,054 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørret | 1001 | 46 | 1156 | | 7 | -30,5 | 10,5 | 0,031 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørret | 1002 | 42 | 830 | | 8 | -33,2 | 9,8 | 0,054 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørret | 1003 | 47 | 1251 | | 7 | -30 | 9,3 | 0,024 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørret | 1004 | 49 | 1436 | | 8 | -31,9 | 10,3 | 0,05 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørret | 1005 | 50 | 1535 | | 8 | -28,8 | 10,3 | 0,068 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørret | 1006 | 51 | 1610 | | 8 | -27,5 | 9,9 | 0,056 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørret | 1007 | 43 | 937 | | 7 | -29,2 | 9,7 | 0,031 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørret | 1008 | 45 | 1000 | | 8 | -31,2 | 9,8 | 0,042 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørret | 1009 | 42 | 820 | | 8 | -31,1 | 10 | 0,05 |
| Fundin | 15.08.00 | Ørret | 1010 | 44,6 | 980 | | 8 | -30,5 | 10,4 | 0,07 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørekyt | 1 | 5,6 | 1,5 | 21,2 | | -26,1 | 7,9 | 0,045 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørekyt | 2 | 7,4 | 4,2 | 21,2 | | -25,3 | 8 | 0,12 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørekyt | 3 | 8,3 | 6,4 | 21,2 | | -23,9 | 8,4 | 0,095 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 1 | 50 | 1530 | 22,7 | 9 | -22,1 | 8,9 | 0,065 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 2 | 49 | 1430 | 24,2 | 11 | -23,3 | 9 | 0,089 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 3 | 37 | 700 | 25,4 | 9 | -21,1 | 8,3 | 0,046 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 4 | 37 | 700 | 24,3 | 7 | -23,4 | 8,5 | 0,059 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 5 | 11 | 13 | 20,6 | 2 | -21,1 | 6,8 | 0,018 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 6 | 18 | 70 | 22 | 5 | -23,2 | 7,5 | 0,049 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|-------|----|------|-----|------|----|-------|-----|-------|
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 7 | 20 | 80 | 23,4 | 5 | -22,3 | 7,9 | 0,063 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 8 | 20 | 97 | 22,8 | 6 | -25,8 | 7,6 | 0,065 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 9 | 21 | 114 | 21,6 | 6 | -20 | 8,8 | 0,073 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 10 | 24,5 | 182 | 23,6 | 7 | -20,7 | 8 | 0,048 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 11 | 25,5 | 202 | 23,4 | 6 | -22,1 | 7,5 | 0,055 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 12 | 27 | 220 | 23,8 | 8 | -19,2 | 7,7 | 0,032 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 13 | 29 | 277 | 24,8 | 6 | -21,1 | 7,8 | 0,039 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 14 | 30 | 302 | 23,3 | 7 | -23 | 7,7 | 0,062 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 15 | 29 | 280 | 23,3 | 7 | -22,8 | 8 | 0,055 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 16 | 31 | 311 | 24,5 | 8 | -20,1 | 7,7 | 0,039 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 17 | 31 | 349 | 25,3 | 8 | -24,2 | 7,5 | 0,045 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Ørret | 18 | 38 | 799 | 24,2 | 10 | -23,5 | 8,1 | 0,071 |
| | | | | | | | | | | |

Vedlegg B.

Isotopsignalet i næringsdyr fra de undersøkte innsjøene

| Lokalitet | Dato | Art/nr | $\delta^{13}\text{C}$, ‰ | $\delta^{15}\text{N}$, ‰ |
|------------|----------|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| Gjersjøen | 05.10.01 | Bythotrepes | -30,7 | 5,9 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Marflo fra mage | -26,2 | 3,1 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Dipt. Bitumenia | -27 | 4,8 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Marflo plukket | -22 | 3 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Mose | -29,2 | 1,4 |
| Gjersjøen | 05.10.01 | Zoopl. Bulk | -29,5 | 3 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Marflo | -27 | 3,5 |
| Elgsjøen | 05.09.01 | Lymnea | -20,2 | 1,8 |
| Fundin | 15.08.01 | Linsekreps | -29,3 | 4 |
| Fundin | 15.08.01 | Chironomider | -29,8 | 7,6 |
| Fundin | 15.08.01 | Moser | -27,1 | 3 |
| Fundin | 15.08.01 | Marflo | -31,5 | 5,6 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Mose | -29,1 | 0,4 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Marflo | -19,3 | 1,6 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Skjoldkreps | -21 | 1,3 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Zooplankton | -29,5 | 2,3 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Lymnea | -19,3 | 0,9 |
| Forelsjøen | 30.08.01 | Chirono. Larver | -24,3 | 1,2 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Marflo | -23,5 | 3,5 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Lymnea | -19,2 | 2,4 |
| Fjellsjøen | 19.06.01 | Insektlarver | -19,7 | 3,6 |