

Undersøkelser av fisk og næringsdyr i Mår og Ringedalsvatnet 2011-2013



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Region Midt-Norge

Høgskoleringen 9
7034 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

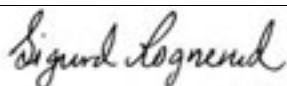
Tittel Undersøkelser av fisk og næringsdyr i Mår og Ringedalsvatnet 2011-2013	Løpenr. (for bestilling) 6682-2014	Dato 10 mai 2014
	Prosjektnr. 11304	Sider Pris 52
Forfatter(e) Sigurd Rognerud og Eirik Fjeld	Fagområde Limnologi	Distribusjon
	Geografisk område Telemark/Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statkraft Energi AS	Oppdragsreferanse Statkraft 4500094495
---	--

Sammendrag.

Dette er sluttrapporten for fiskeundersøkelsene i reguleringsmagasinene Mår og Ringedalsvatnet i 2011-2013. Vi har undersøkt standard fiskebiologiske forhold som alder, vekst, kondisjon, kjøttfarge og mageinnhold, men har i tillegg kartlagt endringene i basale produksjonsforhold ved hjelp av stabile isotoper. Kraftig nedtapping i forbindelse med anleggsvirksomhet førte til en betydelig tilslamming av vannmassene i Mår, mens i Ringedalsvatnet skyltes nedtappingen stort behov for EL-kraft og lite tilsig. Dette hadde størst konsekvenser for fisken i Ringedalsvatnet fordi zooplankton forsvant fra næringskjeden, og fisken utviklet dårlig kondisjon (særlig blant de mellomstore som hadde størst dødelighet) og økt grad av kannibalisme. I Mår var konsekvensene langt mindre dramatisk, spesielt fordi linsekreps ikke forsvant, og fordi store grunne områder også ga effektive klekkingsforhold for andre krepsdyrs hvileegg i oppfyllingsfasen. Nedtappingen og tilslammingen av magasinene hadde en kortvarighet negativ effekt på veksten og kvaliteten i fiskebestandene, men situasjonen normaliserte seg relativt raskt med oppfyllingen av magasinene.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Fiskeundersøkelser	1. Fish research
2. Kraftverkmagasin	2. Water power reservoir
3. Tilslamming	3. Turbid water
4. Næringsdyr	4. Food items



Sigurd Rognerud
Prosjektleder



Elisabeth Lie
Forskningsleder

KaldFisk-prosjektet

Undersøkelser av fisk og næringsdyr i Mår og Ringedalsvatnet i forbindelse med en nedtapping og tilslamming i 2010-2013

Forord

På oppdrag fra Statkraft har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) undersøkt fiskebestandene i kraftverksmagasinene Mår og Ringedalsvatnet i perioden 2011-2013. Mår ligger på østre delen av Hardangervidda, mens Ringedalsvatn ligger på vestsiden nær Tyssedal. Begge magasinene har vært nyttet til energiproduksjon i mange år. Mår ble første gang regulert i 1917, og kraftverket som utnytter fallet fra Ringedalsvatnet til Sørfjorden sto ferdig utbygd i 1918.

I 2010 var det spesielt lav vannstand i Mår i forbindelse med anleggsarbeider. Dette førte til blottlegging av finkorna masser som forårsaket økt tilslamming av vannmassene. Dette kunne ha negative effekter på fisk og dens næringsdyr. I tillegg til dette var det også muligheter for svikt i rekrutteringen på grunn av lite snø i nedbørfeltet vinteren 2010/2011 og derved muligheter for bunnfrysing av gytebekker. Det oppsto derfor flere forhold som i betydelig grad kan bidra til å belyse viktige faktorene for å oppnå bedre kvalitet av fisk generelt i kraftverksmagasin (blant annet kontroll med rekrutteringen). Det var en unik situasjon som oppsto, og det var på denne bakgrunn at dette forskningsprosjekt ble satt i gang. En tilsvarende hendelse med tilslamming av vannmassene fant sted i Ringedalsvatnet. Her var det lite tilsig og stort behov for EI-kraft som var årsaken til nedtapping til LRV og den påfølgende tilslammingen av vannmassene. Magasinene har forskjellig bassengform, dybdeforhold og reguleringshøyder. Den samtidige hendelsen med tilslamming av vannmassene ga muligheter til å undersøke betydningen av disse faktorene i to magasin med svært ulik bassengform.

Like nedenfor dammen på Mår ligger Kalhovdfjorden. Der det har vært en trend mot mindre andeler av marflo og skjoldkreps i fiskens mageinnhold i perioden 2006-2010. Ved inspeksjon av mageinnholdet til fisk tatt av lokale garnfiskere, og egne undersøkelser, viste at denne trenden fortsatte i 2010-2013. Vi hadde en hypotese om skjoldkreps kunne ha et refugie på dypere vann der predasjonen fra småfisk var mindre. Dette kunne vi ikke bekrefte ved prøvegarnsfiske. I samråd med Statkraft ble det derfor besluttet at vi ikke skulle bruke mer av midlene i prosjektet på dette, men i stedet utvide undersøkelsene i Mår og Ringedalsvatnet.

Feltarbeid, prøvetakning og rapportering har vært gjort av Sigurd Rognerud og Eirik Fjeld ved NIVA. Eirik Fjeld har stått for aldersanalysene av fisk og Institutt for energiteknikk (IFE) har utført analysene av stabile isotoper. Kontaktpersoner i Statkraft har vært Arne Erlandsen (Oslo) som har kommet med faglige innspill og informasjon knyttet til manøvreringen av magasinene. Hans Henrik Haukås har vært lokal kontaktperson for Statkraft i Tyssedal, og sørget for tilgang på båt og ordnet en del praktiske ting. I forbindelse med feltarbeidet i Mår har vi hatt god hjelp av Maarfeld sameige sin stedlige representant Tore Fehn. Alle takkes for et godt samarbeid.

Ottestad, 10. mai 2014



Sigurd Rognerud

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	7
2. Områdebeskrivelse	9
2.1 Beliggenhet av undersøkte magasin	9
2.1.1 Mår	10
2.1.2 Ringedalsvatnet	13
2.2 Vannstandsvariasjoner og siktedyp i Ringedalsvatn	16
3. Metoder	18
3.1 Garnfiske	18
3.2 Fiskemålinger	18
3.3 Stabile isotop-analyser (SIA)	19
3.4 Kvikksølvanalyser	19
4. Resultater fra Mår	20
4.1 Feltrapport fra el-fiske i bekkene	20
4.1.1 Fiskeanalyser fra Synken og Grytkil	23
4.2 Mageanalyser og næringsdyr	25
4.3 Stabile isotop-analyser (SIA)	29
4.4 Statistikk over fiske på Maarfjell sameige av rettighetshavere og sportsfiskere	31
5. Resultater fra Ringedalsvatnet	33
5.1 Alder, lengde og vekst	33
5.2 Kondisjon	37
5.3 Ernæring	39
5.3.1 Kjøttfarge	40
5.3.2 Stabile isotop-analyser	41
5.3.3 Kvikksølv	43
6. Diskusjon	45
6.1 Nedtapping og konsekvenser på vannkvalitet	45
6.2 Endringer i fiskens næringsgrunnlag og diett	45
6.3 Stabile isotoper	46
6.4 Alder, vekst og kondisjon	48
6.4.1 Alder	48
6.4.2 Vekst	48
6.4.3 Kondisjon og kjøttfarge	49
6.4.4 Rekruttering i Mår	49
6.5 Kvikksølv i Ringedalsvatn	50
7. Referanser	51

Sammendrag

Denne rapporten omhandler resultatene fra fiskebiologiske undersøkelser i kraftverkmagasinerne Mår (Tinn og «Nore og Uvdal» kommuner) og Ringedalsvatnet (Odda kommune), og de effektene en betydelig nedtapping og tilslamming hadde på ørretpopulasjonene og deres næringsdyr. Det er kjent at nedtapping i reguleringsmagasiner kan føre til utvasking og suspensjon av silt- og leirpartikler med påfølgende sterk blakking av vannmassene. Dette er en aktuell problemstilling når økt behov for EI-kraft sammenfaller med lite tilsig, samt nødvendig nedtapping i forbindelse med rehabilitering av luker og damanlegg.

Vi har undersøkt standard fiskebiologiske forhold som alder, vekst, kondisjon, kjøttfarge og mageinnhold, men har i tillegg kartlagt endringene i basale produksjonsforhold ved hjelp av stabile isotoper (SI-analyser). Analyser av stabile N- og C-isotoper viser fiskens trofiske posisjoner og i hvilken grad det er bentiske (strandnære), planktoniske eller terrestriske karbonkilder som danner energi-grunnlaget. I motsetning til mageanalyser som gir øyeblikksbilder av fiskens næring, er SI-analyser velegnet til å klarlegge om det er vesentlige endringer i fiskens næringsnett over hele produksjonssesongen.

Innsjøene er forskjellige med hensyn til reguleringshøyde, bassengform og dyp. Mår (1121 moh) ligger på Hardangervidda, har store grunne områder, maksimalt dyp på 60 m, og en reguleringshøyde på 21 m. Ringedalsvatnet (465 moh) er dypt (134 m) og ligger i en U-formet dal med steile strandprofiler. Maksimal reguleringshøyde er 92 m. Disse magasinene ble kraftig nedtappet i 2010/2011 og vannmassene ble sterkt blakket og tilslammet på grunn av erosjon og suspensjon av finkornede leirsedimenter. Siktedypene ble redusert til 0,5 m i Mår i juni 2010 og til 0,2 m i Ringedalsvatnet i juni 2011.

Forskjellene i bassengform hadde stor betydning for effekten av tilslammingen på fiskepopulasjonene. Den synkende trenden i vannstanden i Mår fra 2008 og til 2010, var svært negativt for vannloppene (*Cladocera*) som ikke ble registrert i fiskens mageinnhold på høsten disse årene. Dette skyldes at vannloppene, som filtrerer næringspartikler fra vannet, ikke tålte tilslammingen av uorganiske partikler. Etter 2010 økte vannstanden både vår og høst, og arealer med hvileegg ble satt under vann tidsnok til at de klekte vannloppene kunne utvikles og inngå i fiskens næring på høsten. Dette viser at vannloppene kommer raskt tilbake, i stort antall, selv etter en slik katastrofal hendelse som tilslamming er for disse organismene.

Skjoldkrepsen ble et viktig næringsdyr i Mår, særlig for større fisk, i oppfyllingsfasen (2012-2013), etter å ha vært fraværende siden 2008. Dette kan skyldes at de første stadiene som utvikles etter klekking er planktoniske og at tilslammingen har samme negative effekt for disse som for vannloppene. Det er sannsynlig at den rekrutteres fra vannforekomster i nedbørfelt. Linsekrepsen er et viktig næringsdyr for fisken i Mår. Den var til stede i hele perioden som er undersøkt, og dominerte i fiske-magene i den perioden Mår var utsatt for sterkest tilslamming (2009-2010). Dette viser hvor robust linsekrepsbestanden er ovenfor reguleringer og episoder med betydelig tilslamming. Bassengformen i Mår med store grunnere områder gjør at sentrale næringsdyr som skjoldkreps, linsekreps og zooplankton har store arealer der hvileegg kan klekkes når de settes under vann på forsommene. Dette er en viktig faktor som gjør at de negative effektene av tilslammingen på krepsdyrene blir kortvarig.

I Ringedalsvatn er forholdene annerledes med steile strandsoner, og relativt sett mindre arealer der krepsdyrenes hvileegg kan klekke når vannstanden øker utover sommeren. Tidligere, når vannet ikke var tilslammet, var vannloppene en svært viktigste næringsressurs for fisken, men tilslamming i 2011 og forsten av 2012 var negativt for disse. Dette svekket bestandene betydelig slik at overflateinsekter ble eneste alternativet i 2011 og forsten av 2012. Ved oppfyllingen utover høsten 2012 ble deler av strandsonen, med innslag av vegetasjon og annet organisk materiale, satt under vann. Dette var et godt habitat for littorale organismer og meitemark ble et foretrukket næringsdyr denne høsten. I 2013, når magasinet var oppfylt, var det også et vesentlig innslag av linsekreps i dietten på høsten. Dette viser også her hvor robust denne arten er ovenfor reguleringer og tilslamming av vannmassene. Bortfallet av zooplankton og en sterkt

redusert populasjon av linsekrepss gjorde at fiskens kondisjon sank betydelig i 2011. Zooplankton manglet fullstendig i mageinnholdet i 2011, noe som for øvrig er uvanlig for fisk fra dype reguleringsmagasiner. Vi mener dette var en effekt av tilslammingen.

I Mår viste analysen av stabile N-isotoper ($\delta^{15}\text{N}$ forholdet) ingen indikasjoner på kannibalisme hos ørreten. Karbonkildene, indikert ved $\delta^{13}\text{C}$ forholdet, varierte betydelig i 2011. Dette viser at fisken, da Mår var tilslammet, søkte næring over hele innsjøen, både i strandsonen og i dypere områder (antagelig linsekrepss). I 2012 og 2013 ble variasjonen i $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ forholdet gradvis mindre og zooplankton og skjoldkrepss ble i økende grad ble viktigere for veksten. I 2013 var variasjonen minst og isotopsignaturene indikerer at bidraget fra skjoldkrepss og vannloppen, *Bythotrepea longimanus*, som er en rovform, var viktig for veksten dette året. Dette er i god overenstemmelse med de øyeblikksbildene vi fikk ved fiskeundersøkelsene disse tre årene.

I Ringedalsvatnet viste $\delta^{15}\text{N}$ forholdet at de store individene var fiskespisere, og at fisken kunne få en kannibalistisk atferd ved lengder helt ned til 22–23 cm. I 2011, under perioden med ekstrem sult, steg $\delta^{15}\text{N}$ forholdet i fisk med svært lav kondisjonsfaktor. Dette er en effekt av katabolisme, det vil si at fisken måtte forbrenne muskelmasse og proteiner for å opprettholde livsfunksjonene. $\delta^{13}\text{C}$ forholdet steg fra 2011 og til 2013, noe som er i overenstemmelse med at zooplanktonet ikke rakk å reetablere seg etter tilslammingen, og at littorale næringsdyr og overflateinsekter ble viktigste byttedyr.

De to undersøkte bestandene hadde svært ulike vekstmønstre. Ørreten i Mår vokste generelt bedre enn i Ringedalsvatnet, og for de eldre aldersgruppene (≥ 10 år) stagnerte veksten og de oppnådde en midlere lengde på omlag 30 cm eller en gjennomsnittsvekt på omlag 250–300 g. Det var ingen vekstomslag som tydet på at noen individer i Mår gikk over til et fiskespisende levesett. Ørreten i Ringedalsvatnet var i hovedsak en småfallen bestand, men en liten andel av populasjonen hadde blitt spesialiserte fiskespisere og oppnådde god vekst og stor størrelse. De eldste aldersgruppene (7–9 år) nådde en midlere størrelse på omlag 22–23 cm eller en gjennomsnittsvekt på omlag 120–140 g. Av de store kannibalistiske individene fanget vi individer med en lengde på opptil 52 cm og en vekt på 2,1 kg.

Den årlige lengdetilveksten (sesongtilveksten) til ørret fra Mår var svak i 2011, men bedret seg markant fram til 2013. Eksempelvis økte tilveksten for 4-åringene fra omlag 18 mm i 2011 og til 24 mm i 2013, men tilveksten avtok med økende alder.

I Ringedalsvatnet varierte lengdetilveksten betydelig i de tre årene. Den midlere tilveksten i 2011 var ekstremt liten (0,3–0,4 cm) for de dominerende aldersgruppene 3–6 år, men økte betydelig i 2012 og 2013 (1,4–2,2 cm og 2,0–3,3 cm). Dette avspeiler fiskens næringstilgang disse årene, og at tilslammingen av vannmassene i 2011 fullstendig slo ut zooplanktonet, som har vært den viktigste næringsressursen. Den raske bedringen i 2012 skyldes trolig en kombinasjon av bedret næringstilgang på grunn av redusert tilslamming, og den stigende vannstanden som la strandområder med organisk materiale og vegetasjon under vann og skapte et godt habitat for littorale organismer. Trolig desimerte også tilslammingen i 2011 bestanden kraftig, slik at det ble vesentlig mindre næringskonkurranse. Nedtappingen av magasinet syntes å ha en kortvarig effekt på veksten i bestanden og situasjonen normaliserte seg relativt raskt.

Det ble analysert kvikksølv i ørret fra Ringedalsvatn i 2011 og 2012. Konsentrasjonene i den ikke-fiskespisende delen av populasjonen, størrelsesintervallet 15–25 cm, var innenfor det vanlig forekommende konsentrasjonsområdet på 0,05–0,20 mg/kg (våtvekt) som vi finner i Sør-Norge. I større kannibalistisk fisk kunne konsentrasjonene overstige 0,5 mg/kg, noe som ikke er uvanlig å finne blant den fiskespisende delen av bestandene i norske innsjøer. Et spesielt fenomen i 2011 var at kvikksølvkonsentrasjonen begynte å stige ved særlig lave kondisjonsfaktorer (k-faktor $< 0,8$). Dette er trolig en avmagringseffekt som skyldes at muskelvevet forbrennes under perioder med ekstrem sult (katabolisme) og det da skjer en oppkonsentrering i fisken.

1. Innledning

Denne rapporten omhandler fiskebiologiske undersøkelser i kraftverkmagasinene Mår (Tinn og «Nore og Uvdal» kommuner) og Ringedalsvatnet (Odda kommune) og de effektene en betydelig nedtapping og tilslamming av vannet hadde på ørretpopulasjonene og deres næringsdyr. Det er kjent at nedtapping i reguleringsmagasiner kan føre til utvasking og suspensjon av silt- og leirpartikler med påfølgende sterk blakking av vannmassene (Bogen og Bønsnes 2001). Dette er en aktuell problemstilling når det er økt behov for El-kraft i perioder med lite tilsig, og nødvendig nedtapping i forbindelse med rehabilitering av luker og damanlegg.

Mår ble tappet betydelig ned i forbindelse med nødvendige anleggsarbeider, mens Ringedalsvatnet hadde spesielt lav vannstand våren 2011 grunnet stort behov for El-kraft, kombinert med svært lite tilsig, den kalde vinteren 2010/2011. Vannstanden i Mår ble holdt nede mot laveste reguleringsvannstand (LRV) i 2009–2011 på grunn av bygging av nytt moloanlegg ved Synken, og arbeider ved Mårbu i nordvestre del av magasinet. For begge innsjøene førte dette til at finkorna sedimenter fra områder nær LRV ble virvlet opp, som følge av bølgeaktivitet og vindinduserte strømmer, og vannmassene ble tilslammet.

Erosjon og oppvirvling av finkorna sedimenter kan inntreffe ved sterk nedtapping, som følge av lite tilsig og stort behov for kraft, vedlikeholdsarbeider, eller ved endringer i konsesjonsvilkårene med lavere tillatt LRV. Finkorna partiklene blir i første rekke suspendert i de epilimniske (øvre) vannmassene sommer og høst, og tilslammingen vil redusere sikten og kunne påvirke fiskens adferd og næringstilgang. Dersom de finkorna sedimentene allerede er vasket ut av reguleringssonen vil produksjonen av zooplankton ofte være viktig for fiskens mattilgang i sterkt regulerte innsjøer (Brabrand 2007).

En kraftig nedtapping kan ha negative effekter på fiskeproduksjonen, da tilslamming av vannmasser virker forstyrrende på næringskjedene og spesielt de pelagiske. Vi kjenner ikke til at det er gjort noen systematisk sammenstilling hvorledes ulike grader av tilslamming påvirker viktige populasjonskarakteristikker og produksjonsforhold. Det er derfor viktig at disse konsekvensene for det akvatiske økosystemet dokumenteres slik at regulantene, miljøforvaltningen og rettighetshavere til fiske kjenner til effektene, og hvor lang tid det tar før en normalisering finner sted, og om eventuelle avbøtende tiltak kan gjennomføres.

Mår ble sterkt nedtappet i 1970–1971, og dette førte til betydelige negative konsekvenser for fiskebestanden med økt dødelighet og dårligere næringsgrunnlag (Borgstrøm 1973). I Ringedalsvatnet inntraff en liknende situasjon i 1985. Den gangen ble fiskens ressursgrunnlag sterkt redusert med følgende lavere kondisjon, redusert vekst, mindre andel gytefisk og økt dødelighet blant voksen fisk (Borgstrøm et al. 1992). En normalisering fant sted i 1986. En tilsvarende hendelse skjedde i 2003, men litt mindre dramatisk (Brabrand 2007).

De nye periodene med ekstrem nedtapping i 2009–2011 for Mår og i 2010–2011 for Ringedalsvatnet ga anledning til å studere nærmere effektene av tilslamming – og med andre metoder enn tidligere. I tillegg til standard fiskeribiologiske metoder som fokuserer på vekst, kondisjon og reproduktive forhold kan vi nå kartlegge endringene i basale produksjonsforhold ved hjelp av stabile isotoper (SI-analyser). Disse analysene er sentrale for å klarlegge fiskens trofiske posisjoner, og i hvilken grad det er bentiske (strandnære), planktoniske eller terrestriske karbonkilder som danner energi-grunnlaget for fisken. Mageanalyser gir øyeblikksbilder av fiskens næring, men SI-analyser er velegnet til å klarlegge om det er vesentlige endringer i fiskens næringsnett over produksjonssesongen.

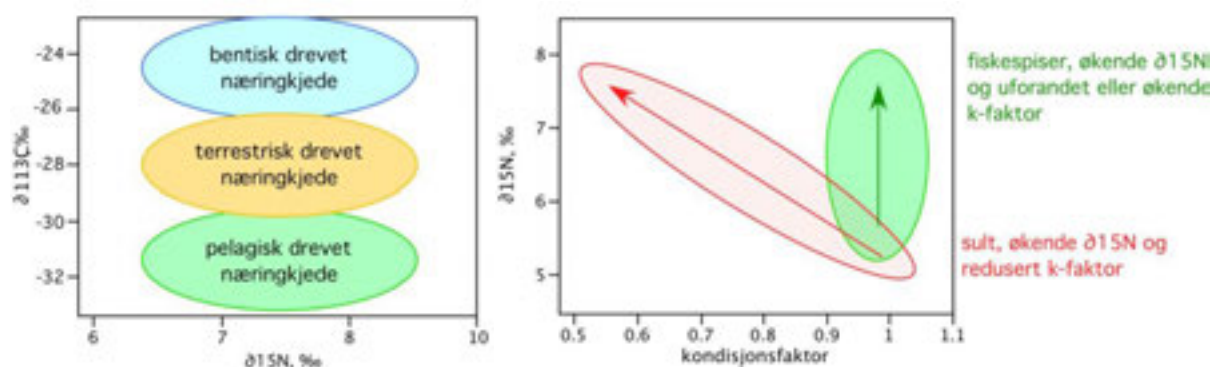
I Mår ville vi spesielt undersøke i hvilken grad tilslammingen forårsaket av vannstands-senkningen, ville påvirke fiskens vekstrater, kvalitet og næringstilgang. Gjennom analyser av stabile C og N-isotoper i fisk og næringsdyr forventet vi å kunne vise den relative betydningen av de ulike næringsdyrene for produksjon av fisk. Det var særlig fiskens tilgang på de viktige krepsdyrene marflo, skjoldkreps, linsekrepss og zooplankton ved denne hendelsen vi skulle dokumentere gjennom mageanalyser av fisk i den grunnere

nord-vestre delen og nær anleggsområdet ved Synken (Figur 3). Skjoldkreps, som ellers ofte er et viktig næringsdyr for alpine ørretbestander, er vanligvis et mer sjeldent innslag i dietten til fisk fra Mår, da bestanden i perioden før 2011 var sterkt utsatt for nedbeiting fra den tette ørretbestanden. Videre ønsket vi å undersøke hvorvidt spesielle klimatiske forhold vinteren 2010/2011 hadde påvirket rekrutteringen av ørret på de viktigste gytebekkene. Første del av denne vinteren var snøfattig og svært kald og lokale rettighetshaver rapporterte om mye iskjøving i bekkene dette året. En lignende situasjon oppsto vinteren 1995/1996. Da bunnfrøs svært mange gytebekker over store deler av Sør-Sørøst-Norge og 1996-årsklassen ble nesten utradert på Hardangervidda (Rognerud et al. 2003). De viktigste bekkene ble derfor elektro-fisket i 2011. Statkraft ga derfor NIVA i oppdrag å undersøke rekrutteringspotensialet for 2011-årsklassen i Mårs tilløpsbekker, og i hvilken grad nedtappingen og tilslammingen påvirket fiskens næringskilder og fiskens kvalitet.

I Ringedalsvatnet gjør bassengets utforming med bratte skrenter og den større regulerings høyden at bunndyrproduksjonen i littoralsonen er betydelig redusert, med den følge at den pelagiske næringskjeden er derfor viktig for fiskeproduksjonen (Borgstrøm et al. 1986). Ørretbestanden her er i hovedsak småfalten, men det er kjent at en mindre andel er storvokst og har et kannibalistisk levevis. Den kraftige nedtappingen og tilslammingen i 2010–2011 kunne forventes å føre til en kollaps i produksjonen av zooplankton og dramatiske endringer i næringstilbudet. Ut fra dette formulerte vi to hypoteser om effektene av nedtappingen:

i) Kollapsen i det pelagiske næringsnett vil føre til en dreining i forholdet mellom karbonisotopene ^{12}C og ^{13}C i fisken, målt som $\delta^{13}\text{C}$. Vi forventer en endring fra et svært negativ nivå – som er typisk for en pelagisk næringskjede, til et mindre negativt nivå – som indikerer et skifte til en mer terrestrisk (overflateinsekter), eventuelt bentisk (bunndyr) drevet næringskjede (Figur 1).

ii) Sult hos fisk vil føre til en endring i nitrogenisotopene, hvor andelen av den tyngre isotopen ^{15}N vil øke i forhold til den lettere ^{14}N , målt som $\delta^{15}\text{N}$. Vi forventer at sult utover sommersesongen vil føre til at fisken forbruker de lett tilgjengelige fettressursene. Dernest må de bryte ned proteiner for å opprettholde livsfunksjonene. Vi antok at dette vil føre til en masseavhengig fraksjonering av N-isotoper og en økning i fiskens $\delta^{15}\text{N}$ -forhold. En slik anrikning vil vanligvis være assosiert med en endring i fisken trofiske nivå (høyere plass i næringskjeden). Ved å koble disse målingene med fiskens kondisjonsfaktor antok vi at det var mulig å skille denne effekten fra den fiskespisende delen av populasjonen. Det er ofte slik at fiskespisere har en høyere kondisjonsfaktor enn de andre i populasjonen, da god kondisjon kreves for jakte effektivt etter fisk, og fordi de derav får en bedret næringstilgang (Borgstrøm et al. 1995). Dette er skjematisk vist i figur 1.



Figur 1. Forventet respons på stabile isotopforhold i fiskepopulasjoner ved endringer i næringsforhold og ved sult.

2. Områdebeskrivelse

2.1 Beliggenhet av undersøkte magasin

Mår ligger på Hardangerviddas østligste del, 1100 moh. på grensen mellom fylkene Telemark og Buskerud, mens Ringedalsvatnet ligger nær 85 km lenger vest i Hordaland fylke, Odda kommune. Dette magasinet ligger ikke oppå selve Hardangervidda-platået, men nede i en U-formet dal ca. 465 moh. like øst for Tyssedal (Figur 2)



Figur 2. Beliggenhet til de undersøkte innsjøene Mår og Ringedalsvatnet.

2.1.1 Mår

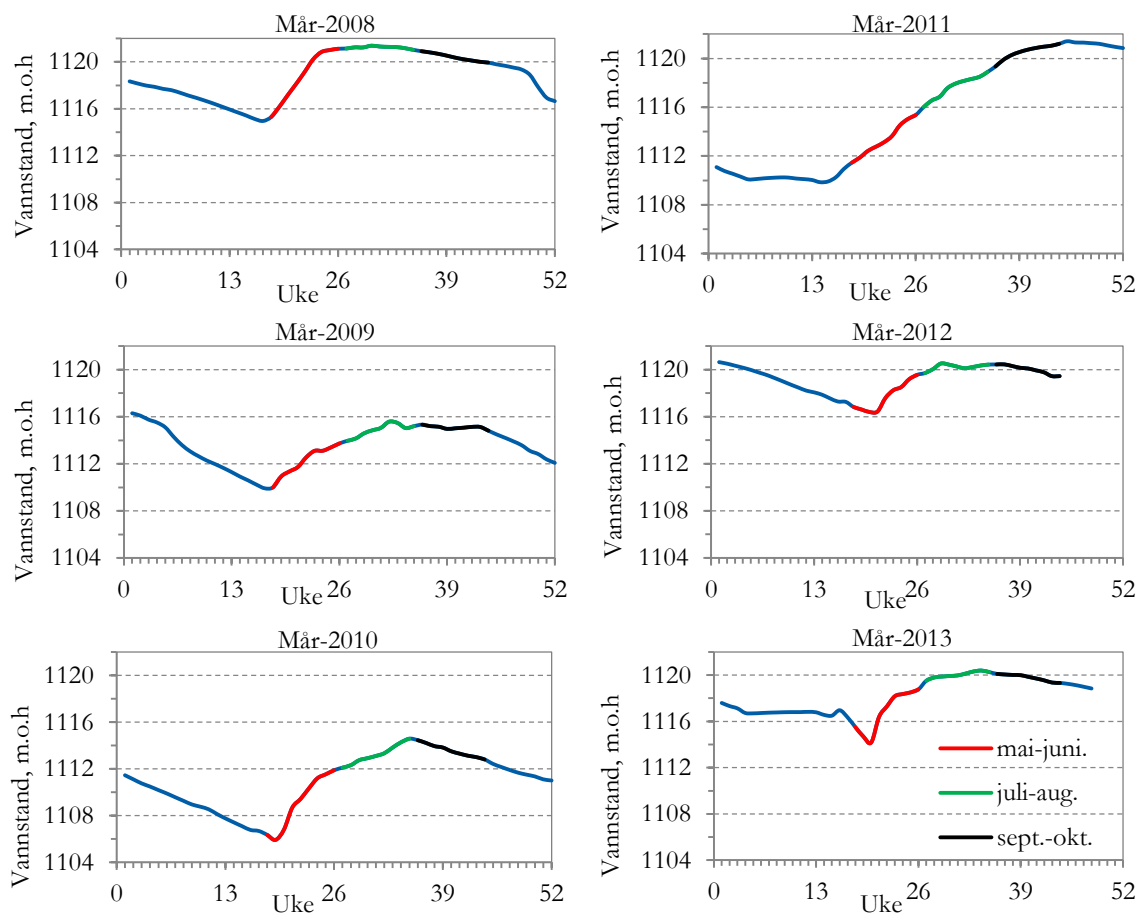
Mår har en reguleringshøyde på nær 21 m (1100 – 1121) og et areal på 20,5 km². Statkraft har laget et detaljert dybdekart over Mår som her er vist i forenklet utgave (Figur 3). Mår tappes via Stegaros kraftverk ned i Kalhovdfjorden, som er en del av Gøyst-magasinet, og nyttes til El-produksjon i Mår kraftverk i Rjukandalen.

Innsjøen er i hovedsak relativt grunn og det dypeste området (ca. 60 m) ligger i den syd-østre delen. Områdene der vi har prøvafisket, Grytkil og Synken, har dybder mellom 0-20 m ved fullt magasin. Undersøkelsene i Mår omfatter prøvafiske ved to lokaliteter Synken og Grytkil, samt elektro-fiske i Hetteåi, Uppnesåi, Grytkilbekken og Storvikkbekken (Figur 3).



Figur 3. Mår ligger i kommunene Tinn og «Nore og Uvdal». Fiskeplassene Grytkil og Synken er vist samt de største bekkene og de viktigste gyteelvene Hetteåi og Uppnesåi.

Det var stor variasjon i vannstanden i denne perioden med laveste måling (1105,9) i uke 19 i 2010 (Figur 4). På grunn av anleggsarbeidene i 2009 og 2010 ble ikke magasinet fylt opp mot HRV gjennom sommer og høst disse årene. En indikasjon på situasjonen i juni 2009 er vist på i Figur 5. I 2011 startet oppfyllingen tidlig på forsommeren og i 2012 og 2013 var vannstanden relativt høy hele året. Disse to siste årene hadde vannstanden et mer normalt forløp for magasinet, med en mer moderat nedtapping på vår/sommer og oppfylling mot HRV (1121) på høsten.



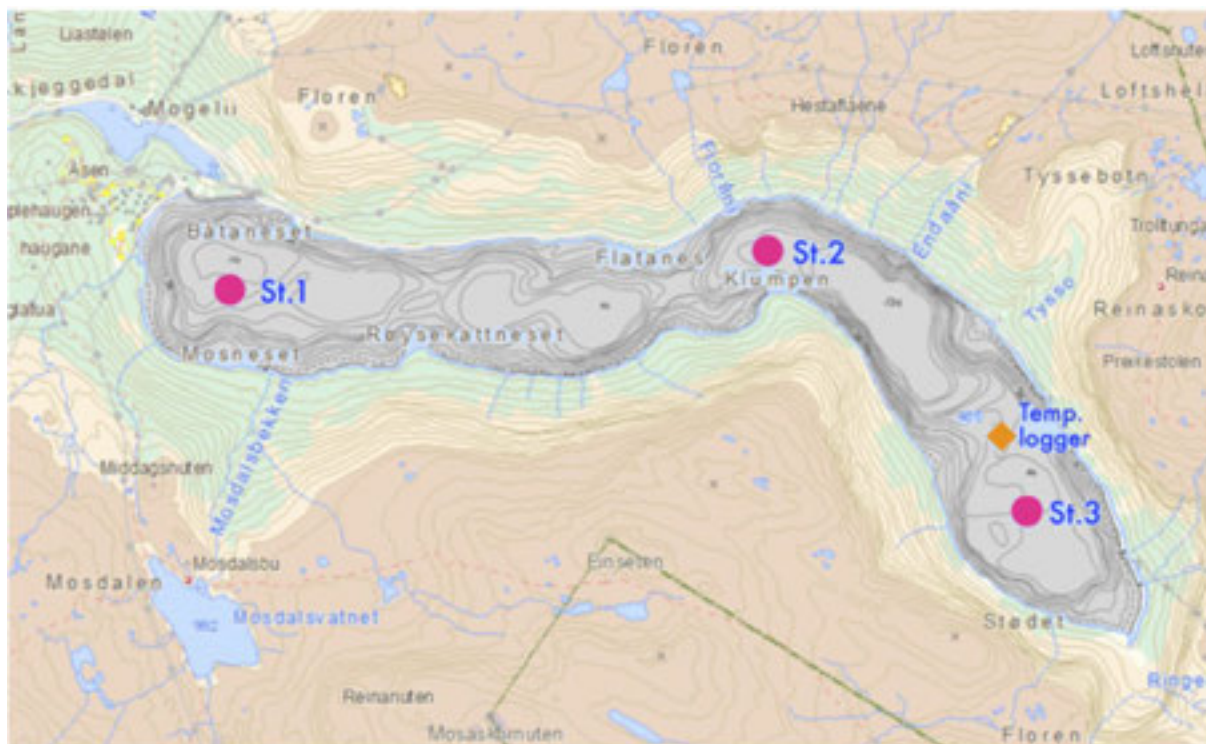
Figur 4. *Variasjoner i vannstand i Mår for perioden 2008-2013 basert på middelerdier for hver uke (Statkraft). Periodene mai-juni, juli-august og september-oktober er merket med hhv. rødt, grønt og svart.*



Figur 5. Anleggsarbeider ved Synken i juni 2009 gjorde at vannstanden ble holdt lavt på forsommeren. Dette førte til utvasking av finkorna sedimenter som ga Mår et grønnaktig skjær og førte til betydelig reduksjon i siktedypet.

2.1.2 Ringedalsvatnet

Ringedalsvatnet ligger 465 moh øst for Tyssedal i Hardanger (Figur 2). Utbyggingen av Tysso-vassdraget i startet 1906, som i dag omfattes av mange regulerte innsjøer i Tyssedals-fjellene på den vestre delen av Hardangervidda. Ringedalsvatnet er det lavest beliggende av disse. Magasinet ligger i en U-formet dal med bratte åssider. Det har en badekar-fasong, med bratt kanter, et relativt flatt område i de dypeste delene, med største dyp på 134 m (Figur 6). Fiske-undersøkelsene ble utført ved utløpet av Mosdalsbekken og innerst ved Ringedalsfossen (Figur 6 og 7).



Figur 6. Dybdekart og stasjonsplasseringer for Ringedalsvatnet (Kilde: NVE, Statkart). Stasjonsangivelsene angir posisjonen for måling av siktedyp.

Reguleringssonen har steile sider der en stor del av de finkorna massene er vasket ut og transportert mot dypere vann. Dette har ført til at reguleringssonen i dag for en stor del består av stein, som i tidligere tider har rast ned fra fjellsidene (Figur 8). I enkelte områder er det også betydelige mengder av fluviale sand- og grusavsetninger (NGI 2011) (Figur 9). Ved lav vannstand finnes det stedvis finkorna sedimenter som kan virvles opp i vannmassene på grunn av bølgeaktivitet (Figur 10). Dette sammen med skred i strandsonen, har bidratt til økt turbiditet i vannmassene i enkelte perioder (Fjellheim et al. 2011).

I en undersøkelse fra 1985, da siktedypet var på det laveste (0,3 m), det vil si om lag samme nivå som i juni 2011, ble fisken kun fanget i dybdeintervallet 0–2 m (Borgstrøm et al. 1992). Innledende undersøkelser vi gjorde under prøvafisken i juni 2011 viste at fisken også da sto grunt, og vi erfarte at fisken særlig samlet seg i strandsonen nær de store innløpsbekkene, hvor sikten i vannmassene var best. Vi valgte derfor i 2011 og 2012 å konsentrere fiskeinnsatsen nær utstrømningsområdene fra Mosdalsbekken (nær stasjon 1) og ved Ringedalsfossen innerst i vannet (nær st. 3). I 2013 ble det kun fisket innerst ved Ringedalsfossen.

I forståelse med FM-Hordaland ble Ringedalsvatnet gjødslet forsiktig juni 2013 ved å tilsette fosfat i de epilimniske vannmassene i den østre del av bassenget. Dette var et tiltak for å stimulere primærproduksjonen og produksjonen av fiskens næringsdyr i magasinet. Fosfatkonsentrasjonen i sjiktet 0-10 m økte da fra omlag 1 µg/l i juni til 4 µg/l i august. Dette tiltaket blir beskrevet i en egen rapport (Fjeld og Rognerud, 2014).



Figur 7. I Ringedalen renner elva fra Ringedalsfossen ut i magasinet (venstre foto). Mosdalsbekken renner ut i Ringedalsvatnet sørøst for dammen (høyre foto). I områdene ved utløpet av fossen og bekken var vannet noe klarere enn ellers i magasinet, og i disse områdene ble det prøvefisket. Bildene er tatt 6. sept. 2011.



Figur 8. De bratte sidene i reguleringssonen er stedvis dominert av stein som er rast ned fra fjellsidene. Bildet er tatt 25. juni 2011



Figur 9. På de slakere områdene i reguleringssonen i Ringedalvatn finnes til dels mektige fluviale sand- og grusavsetninger. Bildet er tatt 25. juni 2011

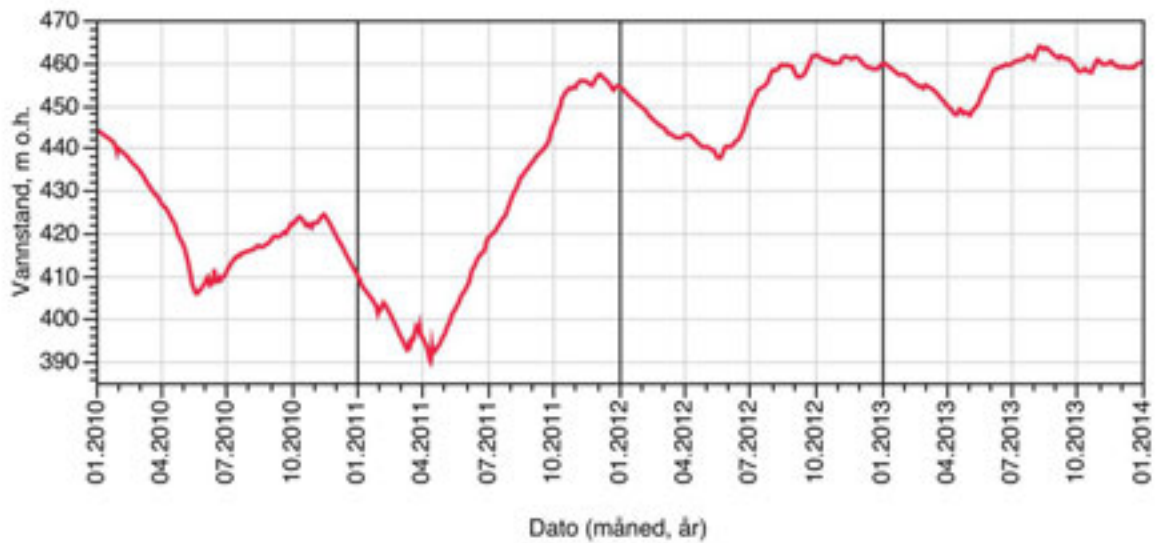


Figur 10. Den kraftige nedtappingen av Ringedalsvatnet i 2011 førte til sterk erosjon av silt- og leirpartikler som tidligere har ligget under laveste vannstand. Bildet er tatt 25. juni 2011

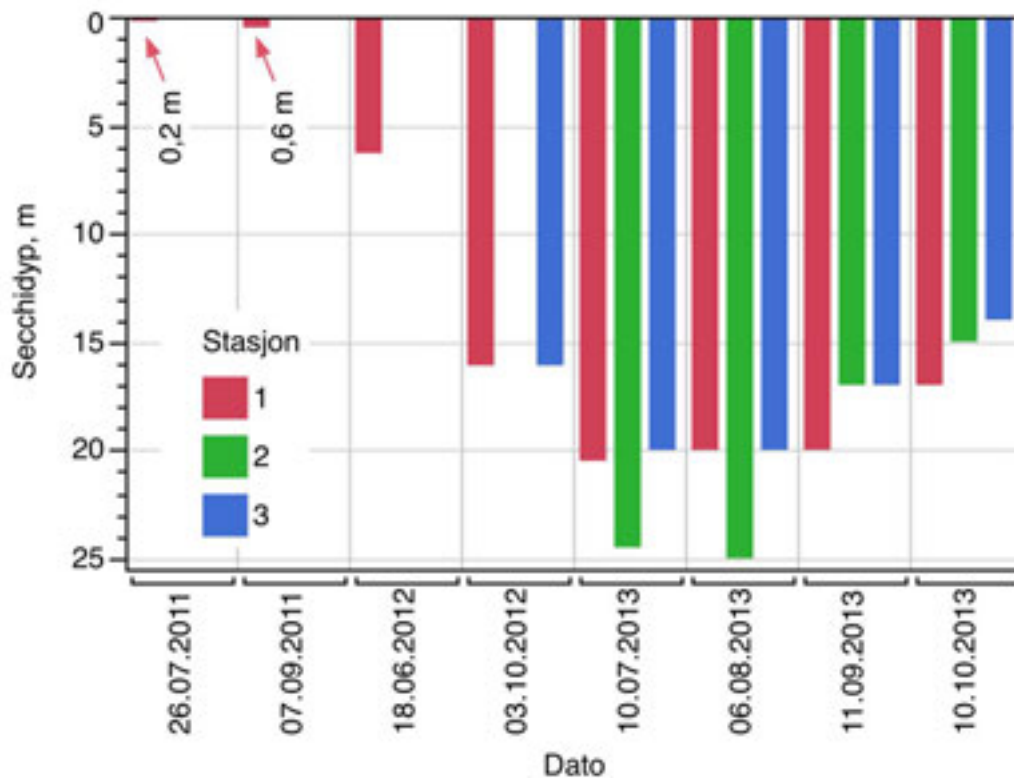
2.2 Vannstandsvariasjoner og siktedyp i Ringedalsvatn

Statkraft har konsesjon på reguleringen av Ringedalsvatnet mellom høyeste og laveste reguleringsvannstand (HRV og LRV) på 464 og 372 moh., dvs. en reguleringshøyde på 92 m. Fram til 2010 har vannstanden ikke vært tappet lavere enn 409 moh. De siste 10 årene har nedtappingen av magasinet variert betydelig. Særlig lav var sommervannstanden i 2003 (410 moh.), 2007 (413 moh.), 2010 (406 moh.). I 2003 ble siktedypet målt til 5 m, mens det året etter hadde det økt til 15 m (Fjellheim et al. 2011).

På grunn av stort behov for EL-kraft og lite tilsig i vinteren 2010/2011 ble vannstanden betydelig senket, med minste vannstand i sommerhalvåret på henholdsvis 406 og 390 moh. (Figur 11). Denne reguleringen var betydelig lavere enn tidligere minstevannstand, og den 26. juni målte vi et siktedyp på 0,2 m (Figur 12). Dette er så vidt vi vet det laveste siktedypet som er målt i dette magasinet, som normalt er en klarvannsjø med typiske siktedyp i området 15–25 m. Nedtappingen eksponerte områder med finkorna sedimenter for erosjon og en gradvis oppfylling økte utvaskingen av leirebankene (Figur 10). Følgene var at mange områder med finkorna sedimenter ble vasket ut i magasinet som følge av bølgeaktivitet med påfølgende blakking av vannmassene allerede i juni (Figur 10). Først ved årsskiftet 2011/2012 ble vannstanden hevet til et mer vanlig forekommende nivå og har siden variert mellom omlag 440 og 460 moh. Siktedypet fra høsten 2012 av har variert mellom 15 og 25 m (Figur 12).



Figur 11. Vannstandsvariasjoner i Ringedalsvannet i perioden 2010–2013



Figur 12. Siktedyp (målt med Secchi-skive) ved tre stasjoner i Ringedalsvatn i 2011–2013.

Det er tidligere vært utført en rekke undersøkelser i Ringedalsmagasinet. En oversikt over hovedresultatene fra disse undersøkelsene er nylig sammenstilt (Fjellheim et. al 2011). Fra denne rapporten gjengis her noen av de viktigste resultatene som har betydning for vår undersøkelse.

Vi regner med at den første utvaskingen av reguleringssonen førte til en viss tilslamming, men i tiden før 1985 var siktedypet stabilt over 15 m, som ofte er typisk i fjellsjøer med liten humuspåvirkning. Vinteren 1985 ble magasinet tappet uvanlig mye ned til 414 moh. Dette førte til erosjon av finkorna uorganiske partikler og en drastisk reduksjon i siktedyp til 0,5 m. På grunn av sedimentasjon økte dette til 2 m på høsten. Denne betydelige nedtappingen førte til store endringer i innsjøens produksjonsforhold (Borgstrøm et al. 1992). Det reduserte siktedypet og høyt partikkelinnhold skadet den pelagiske næringskjeden, og vannloppene (cladocera) forsvant. En normalisering fant sted i 1986. En tilsvarende hendelse skjedde i 2003, men litt mindre dramatisk. Siktedypet ble redusert til 5 m, men flere av de samme observasjonene ble gjort denne gangen (Brabrand 2007).

Det ble gjort grundige fiskeundersøkelser i forbindelse med nedtappingen i 1985 (Solheim 1984 og 1985, Borgstrøm og Solheim 1984, Borgstrøm et al. 1986). Hendelsen hadde store konsekvenser for fiskens kvalitet og produksjonen. I så sterkt regulerte innsjøer som Ringedalsmagasinet opprettholdes fiskeproduksjonen i stor grad av zooplanktonsamfunnet. Bunndyrproduksjonen i littoralsonen er som regel sterkt redusert på grunn av den store regulerings høyden. Når zooplanktonproduksjonen opphørte ble ørret-bestanden tvunget til å ernære seg av overflateinsekter. Det begrensede ressursgrunnlaget førte til lavere kondisjon, redusert vekst, mindre andel gytefisk og økt dødelighet hos voksen fisk.

Erosjon og oppvirvling av finkorna sedimenter på grunn av sterk nedtapping av magasiner kan forventes å inntreffe som følge av rehabilitering av eldre reguleringsanlegg, og i forbindelse med stort behov for EL-kraft kombinert med lite tilsig, slik som kan inntreffe vinterstid. Dette vil ha negative effekter på fiskeproduksjonen, da tilslamming av vannmasser virker forstyrrende på de pelagiske næringskjedene. Det er derfor viktig at disse konsekvensene for det akvatiske økosystemet dokumenteres slik at regulantene, miljøforvaltningen og rettighetshavere til fiske kjenner til effektene og at eventuelle om avbøtende tiltak kan gjennomføres.

3. Metoder

3.1 Garnfiske

Da denne undersøkelsen ikke hadde som formål å kartlegge fiskebestandens alders- og størrelses-sammensetning ut fra et ordinært prøvofiske, fisket vi ikke med helt standardiserte garnserier eller i følge dybdeintervallene gitt i Norsk standard NS-EN 14757.

I Mår ble fisken innsamlet ved hjelp av Jensens garnserier (bunngarn) som standard. Hver serie har følgende antall garn og maskevidder: 2 x 21 mm, samt 1 garn av hhv. 26 mm, 29 mm, 35 mm, 39 mm, 45 mm og 52 mm. I tillegg har vi supplert med noen «Nordiske oversiktsgarn» (Appelberg et al. 1995), dette mest for å sikre fangst av mindre individer.

I Ringedalsvatnet ble det fisket med 7 x Nordiske oversiktsgarn, 1 x 13,5 mm, 1 x 16 mm, 1 x 19,5 mm, 4 x 21mm, 4 x 26 mm og 2 x 29 mm, 2 x 35 mm (samtlige bunngarn). Det ble også fisket med flytegarn i 2012 og 2013, men fangstene var neglisjerbare.

3.2 Fiskemålinger

Fiskens lengde er målt fra snute til halespiss i naturlig utstrakt stilling. Vekt er angitt til nærmeste gram på elektronisk vekt. Kjønn og stadium ble bestemt etter Dahl (1917), og fiskens kjøttfarge ble registrert etter en kvalitativ skala med angivelsen hvit, lys rød eller rød kjøttfarge. Mageinnhold ble bestemt i felt.

Dominerende grupper i mageinnholdet ble anslått til volumprosent av det totale. Fyllingsgraden ble angitt på en skala fra 0-5 hvor 0 er tom og 5 er utspilt mage. Fiskens kondisjonsfaktor, k-faktor, er beregnet fra formelen: $k = 100 \cdot \text{vekt(g)} / \text{lengde}^3 \text{ (cm)}$. Fisk som har k-faktor $< 0,95$ betegnes som slank, $0,95 < k < 1,05$ som normalt god kondisjon og k-faktor $> 1,05$ som feit. Alderen på fisken ble bestemt ved hjelp av otolitter. Disse ble lest hele under stereomikroskop med lys ovenfra mot mørk bakgrunn. Otolitter fra større fisk ble også lest etter at de først ble knekt gjennom sentrum ved bruk av skalpellblad, og deretter brent før avlesing under stereomikroskop.

Tilveksten ble tilbake-beregnet fra otolittene ved hjelp av metode beskrevet av Dahl (1910). Metoden forutsetter en direkte lineær proporsjonalitet mellom otolitt-radius og fiskens lengde.

3.3 Stabile isotop-analyser (SIA)

Analysene ble utført av Institutt for energiforskning (IFE). Muskelprøver ble tatt ut dorsalt bak ryggfinnen. Prøvene ble tørket ved $60 \text{ }^\circ\text{C}$ i 2 døgn og homogenisert. For bestemmelse av $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ er 1 mg prøvemateriale veid inn og overført til en $5 \times 9 \text{ mm}$ 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 $650 \text{ }^\circ\text{C}$. 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. Forholdet mellom stabile isotoper av karbon og nitrogen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) rapporteres i promille, og det benyttes betegnelsen δ i henhold til følgende likning: $\delta^{13}\text{C}$ eller $\delta^{15}\text{N}$ (‰) = $[(R_{\text{prøve}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000$, der R representerer forholdet mellom tung og lett isotop ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ eller $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$). 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. IFE benytter også en egen husstandard bestående av ørretfilet.

3.4 Kvikksølvanalyser

Fiskeprøver fra Ringedalsvatn 2011 og 2012 ble analysert for kvikksølv ved NIVA med en Lumex Mercury Analyser RA 915. Kvikksølv ble ikke analysert i fisk fra Mår. Metoden innebærer atomisering ved pyrolyse og direkte bestemmelse ved atomabsorpsjon-spektrometri med Zeeman bakgrunnskorreksjon. Metoden har en deteksjonsgrense på $0,5 \text{ } \mu\text{g}/\text{kg}$. Sertifiserte standarder av fisk (DOLT 3) ble kjørt for hver tiende prøve. Samtlige av analyseresultater av standarden var innenfor det oppgitte 95 % konfidensintervallet. Alle konsentrasjonene er oppgitt på våtvektsbasis.

4. Resultater fra Mår

4.1 Feltrapport fra el-fiske i bekkene

Feltarbeidet ble utført i 2 perioder (uke 25 og uke 37) i 2011. Lokale fiskere mente at Hetteåi og Uppnesåi var de viktigste gytebekkene. Det ble derfor besluttet å undersøke disse grundig, men Stovikbekken og Grytkilbekken ble også undersøkt (Fig. 3). Undersøkelsene i juni viste da også at Hetteåi og Uppnesåi er de viktigste gytebekkene til Mår. Vi antok at fangstene av års-yngel (0+) ville bli enklere på høsten, og valgte derfor å gjøre et grundig elektro-fiske i Hetteåi og Uppnesåi i uke 37. Otolitter og skjellprøver av 55 fisk fra Uppnesåi, og 47 fisk fra Hetteåi fra fisket i juni ble innsamlet.

Hetteåi, 22. juni 2011

Vi fisket Hetteåi fra høyeste regulerte vannstand (HRV) i-Mår (Figur 13) til fossen oppstrøms Havfosstjønnnet (Figur 14). En del større fisk, men overraskende lite 0+. De øvre deler fra tjønnet og opp til fossen var elvebunnen flat, grunn og besto av grus med lite skjulmuligheter. Ingen fisk registrert på denne strekningen, bortsett fra noen få i en sidebekk fra syd. Kosadalsbekken som renner inn i Mår ved HRV like øst for Hetteåi sitt innløp, ble fisket fra HRV i Mår og 200 m oppover. Ingen observasjoner av fisk ble gjort. Bekkefaret besto av mye stor stein overdekt av begroing og nedslammet av organisk materiale. Even Prestegården, som sommerstid bor ved Mårbu, sa at denne bekken aldri hadde vært noen gytebekk. Han mente at det samme gjaldt for Skjorteåi. Vi besluttet derfor å undersøke Hetteåi grundig fra HRV i Mår til Havfosstjønnnet i september.

Hetteåi, 16. september 2011

El-fisket fra utløp opp til første store lona på nordre elvebredd. Lite yngel nederst, noen få 2+, ellers noen gytehanner. På brekket ut fra de øvre kulpene sto det 0+ og 1+. Utover dette var det sparsomt med yngel i disse årsklassene. Det var spredt med fisk (5-10 cm) oppover hele strekket, 2 mørke stasjonære fisk og et par gytehunner. Det ble observert 47 fisk fordelt på 0+(8), 1+(8), større fisk 7-8 cm (11), 8-11 cm (8), 11-20 cm (7) og >20 cm (5).



Figur 13. El-fiske i Hetteåis nedre del.



Figur 14. Hetteåi ved utløpet av Havfosstjønni.

Uppnesåi, 21-22. juni 2011

Vi fisket først fra LRV til HRV, men fant svært lite fisk der. Det var først ved hyttene og oppstrøms at tettheten av fisk økte betydelig (Figur 15). Det var avtagende tetthet av småfisk/yngel når bekken gikk over i striere partier på svabergene oppover østenfor hyttene (Figur 16). Det var den nordlige siden av bekken som ble fisket opp til den øvre hytta, derfra var det i hovedsak i kulpene at det ble fanget fisk. Det ble besluttet å gjøre en grundig undersøkelse i september når 0+ lot seg lettere fange på strekkningen fra HRV i Mår til den høyde-kote 1150 m. Det ble registrert totalt 30 fisk: 0+ (14), 1+ (7) og 2+ (8).

Uppnesåi, 16. september 2011

Vi el-fisket fra oset og oppover elva. Stor tetthet av yngel (0+ og 1+) på substrat av mindre stein og grus (5-20 cm) i nedre del av elva fram til innløp av bekken fra Uppnestjønni ved nordøstre bredd. Stedvis var det 2-5 yngel pr m². Vi fisket 300 m oppover bekken fra Uppnestjønni. Lite yngel her, og en del gytefisk ble fanget. I nedre parti delte Uppnesåi seg i to (lav vannstand i Mår). Den søndre greina hadde lavere tetthet av yngel enn den nordre. Vi fulgte bekken opp forbi hyttene og opp til svabergene. Gytefisk og yngel hele veien, men mindre yngel etter hvert. Gytefisken hadde forsert flere små stryk og fosser, og vi fant stor fisk (ca. 30 cm) i kulpene (Figur 16). Lite yngel i den strie øvre delen. Vi stanset fisket litt nedenfor det bratte svaberget ved høydekote 1160 m. Det var fortsatt gytefisk her, men verken yngel eller småfisk ble observert. Totalt 57 fisk fordelt på hhv; 0+ (16), 1+(14), 2+ (11), og 3+ og eldre (16) i nedre deler ovenfor fossen 15 større fisk hvorav 2 var stasjonære.



Figur 15. Uppnesåi's nedre del ved hyttene 16.09.11. Mye småfisk og yngel på denne strekningen.



Figur 16. Uppnesåi sett fra svabergene og nordover mot Mår ett stykke ovenfor hyttene, 16.09.11. Det var svært lite yngel og småfisk her, men en del stor fisk i noen av kulpene.

Storvikbekken, 21.juni 2011

Vi undersøkte bekken fra LRV til kote 1160. Totalt 7 fisk observert. 5 av disse var eldre (større) fisk som stakk unna, mens 2 mindre fisk (10,2 cm og 17,2 cm) ble undersøkt. Ingen fisk ble observert i reguleringssonen hvor steinen og bunnsstrat var sterk preget av jernutfellinger. Mår ble holdt ved LRV. Like ovenfor HRV er bekken svært stri helt opp til den svinger 90 grader østover. Her ble det ikke observert fisk.

Grytkilbekken, 21.juni 2011

Bekken ble fisket fra LRV opp strykpartiene til lonene inn mot Nedre Grytkiltjønni. I disse lonene er det nok fisk fra Grytkiltjønni som dominerer. Det er et par fosser før lonene som er ganske høye og strie. Det ble ikke observert fisk fra HRV og opp til lonene. Vi mener at det er lite sannsynlig at gytefisk klarer å forsere fossene. I regulering-sonen ble 7 fisk observert, hvorav 2 fisk ble prøvetatt (10,4 og 14,8 cm) og 5 større fisk stakk unna.

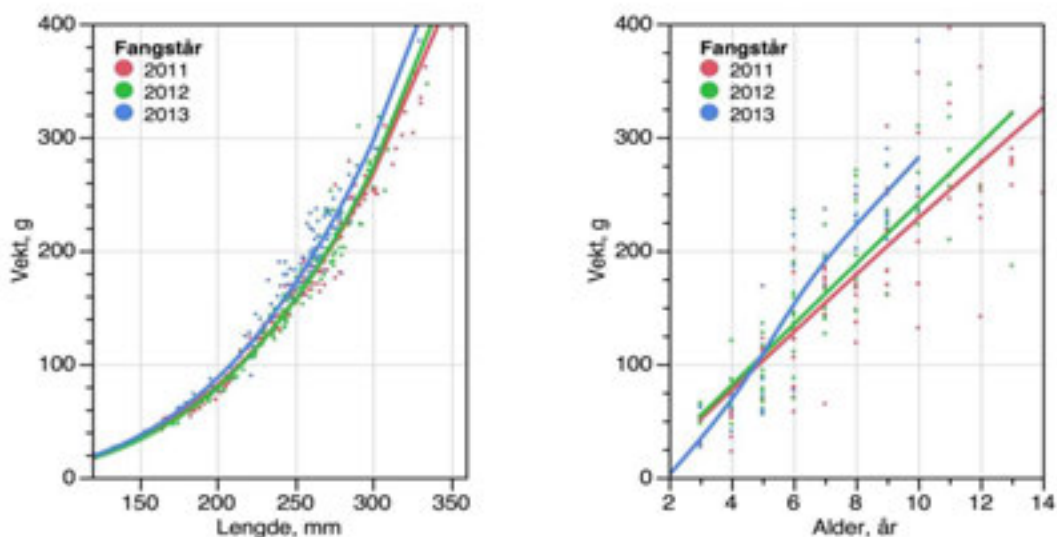
På bakgrunn av dette elektrofisket er det klart at Hetteåi og Uppnesåi er de viktigste gyteelver/bekker til Mår. Fisketettheten i disse (Tabell 1) tilsvarer klassegrense «Moderat» i henhold til Miljødirektoratets klassifiseringssystem for Vannforskriften (Sandlund 2013). Vi presiserer at estimatene våre er et minimums estimat da det ikke er fisket gjentatte ganger over områdene.

Tabell 1. Fisketetthet på to innløpselver til Mår, bestemt ved elektro-fiske 16. sept. 2011. Klassegrensene er etter Sandlund et al. 2013.

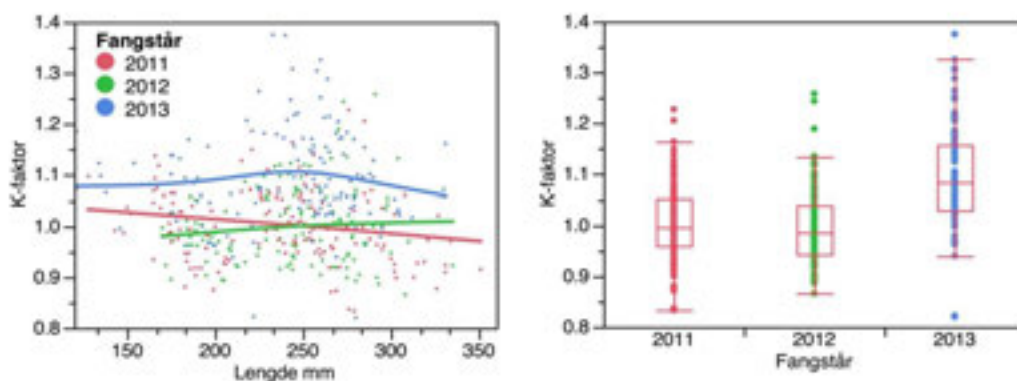
elvstrekning	antall ungfisk per 100 m ²	Klassegrense: habitatklasse 2, stasjonær allopatrisk
Uppnesåi	38	Moderat: 40-28
Hetteåi	28	Moderat: 40-28

4.1.1 Fiskeanalyser fra Synken og Grytkil

Hoveddelen av materialet vårt er fra 2011-2013. Da prøvofisket vi både ved Synken og Grytkil (Figur 3). Vi har også data fra Synken i september for perioden 2007-2010, men dette prøvofiske er mindre omfattende. Dette materialet har vi i hovedsak brukt til analyser av mageinnholdet. Det var ingen store forskjeller mellom lengde og vekt for fisk fanget i perioden 2011-2013, men fisk i alderen 7-10 år var noe tynge i 2013 enn i de 2 foregående årene (Figur 17). Kondisjonsfaktoren var også bedre i 2013 enn de to foregående årene (Figur 18).

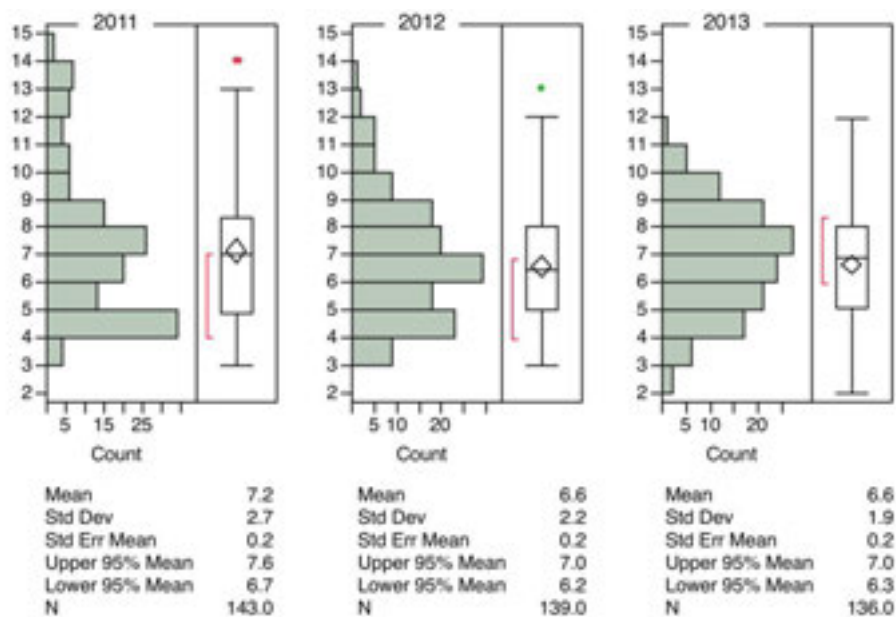


Figur 17. Forholdet mellom lengde, og henholdsvis vekt og alder i Mår for perioden 2011-2013.



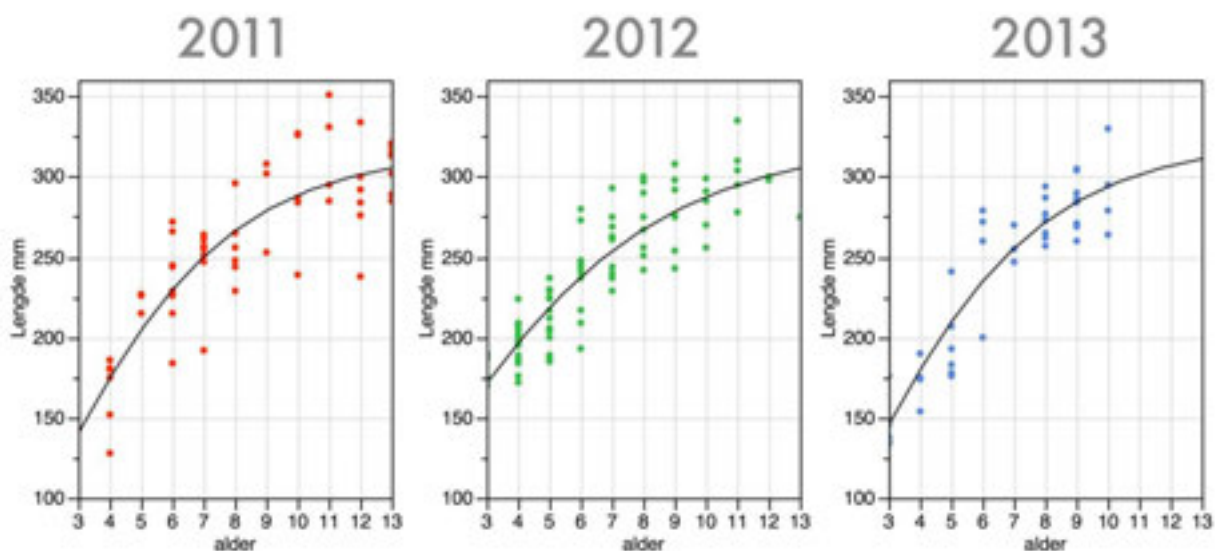
Figur 18. Forholdet mellom fiskens lengde og kondisjonsfaktor (venstre panel), og et boks-plot over kondisjonsfaktor i årene 2011-2013 (høyre panel). Boksen inneholder 50 % av observasjonene og medianverdien er markert med en horisontal strek i boksen som spenner fra 25 til 75 prosentilene. De horisontale linjene utenfor boksen angir 10 og 90 % prosentilene.

Aldersfordelingen i fangstene viste at vi hadde en akkumulert bestand i 2011, men at den eldre fisken forsvant gradvis de neste to årene (Figur 19). I 2013 fanget vi ingen fisk som var eldre enn 11 år. Dette kan skyldes økt dødelighet, men et intensivt garnfiske fra rettighetshavere kan også ha bidratt.



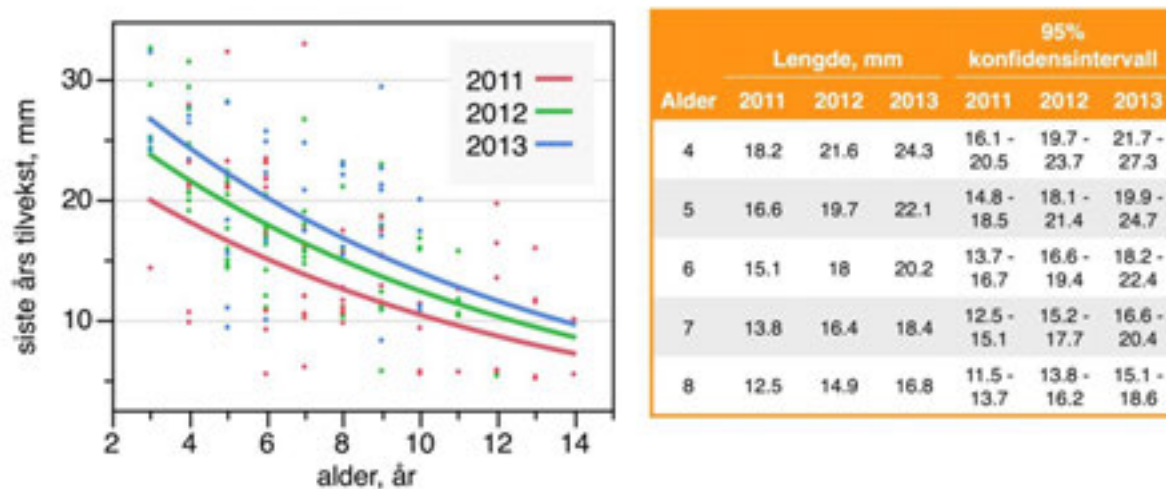
Figur 19. Aldersfordelingen i fangstene i Mår for perioden 2011-2013.

Vekstkurvene var forholdsvis like for de 3 årene, men i 2012 var yngre fisk (4-6 år) noe lengre enn i de andre årene (Figur 20). Det var også en større spredning i lengden av fisk eldre enn 9 år i 2011 enn i 2012 og 2013. Tilveksten avtok med økende alder og det var ingen tegn til et brått omslag i vekstrate ved stor alder eller lengde, noe som i så tilfelle kunne indikere overgang til fisk som næring. Vi ser også at vi ikke har fått fisk som har vært lengre enn 35 cm i disse tre årene.



Figur 20. Gompertz' vekstkurver for fisk fanget i Mår 2011-2013.

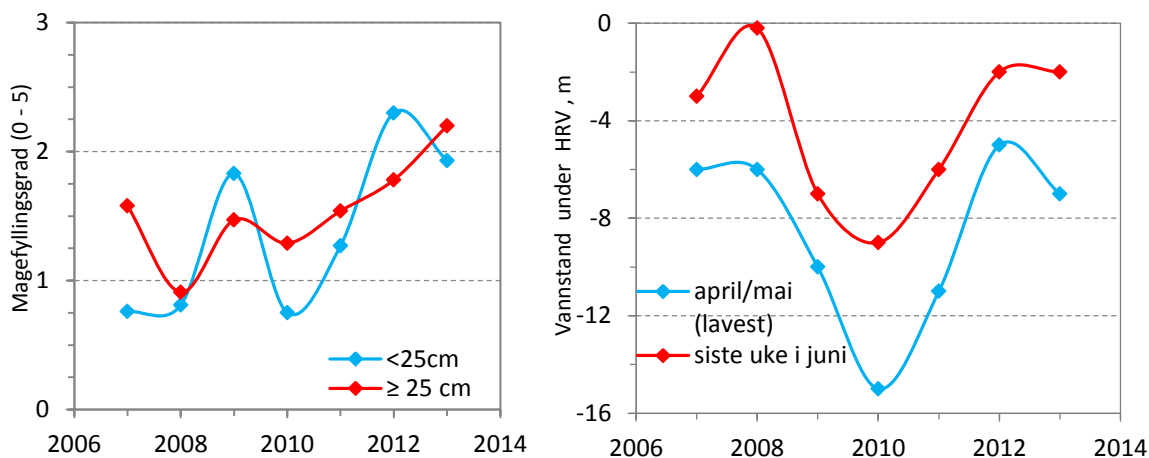
Analyser av siste års tilvekst for fisk ved ulike aldre i perioden 2011 til 2013 viser at årstilveksten var dårligst i 2011 og best i 2013 for alle aldersgrupper (Figur 21). Lavest tilvekst hadde de eldste fiskene. For eksempel var en 4 år gammel fisk i snitt nær 6 mm lengre i 2013 enn i 2011, mens tilsvarende for en 8 åring var 4,3 mm.



Figur 21. Siste års tilvekst (mm) for fisk i aldersgruppen 2 til 14 år i Mår for perioden 2011-2013. I panelet til høyre er middelverdiene og konfidensintervallet gitt for årsklassene 4 til 8 år (flestep observasjoner).

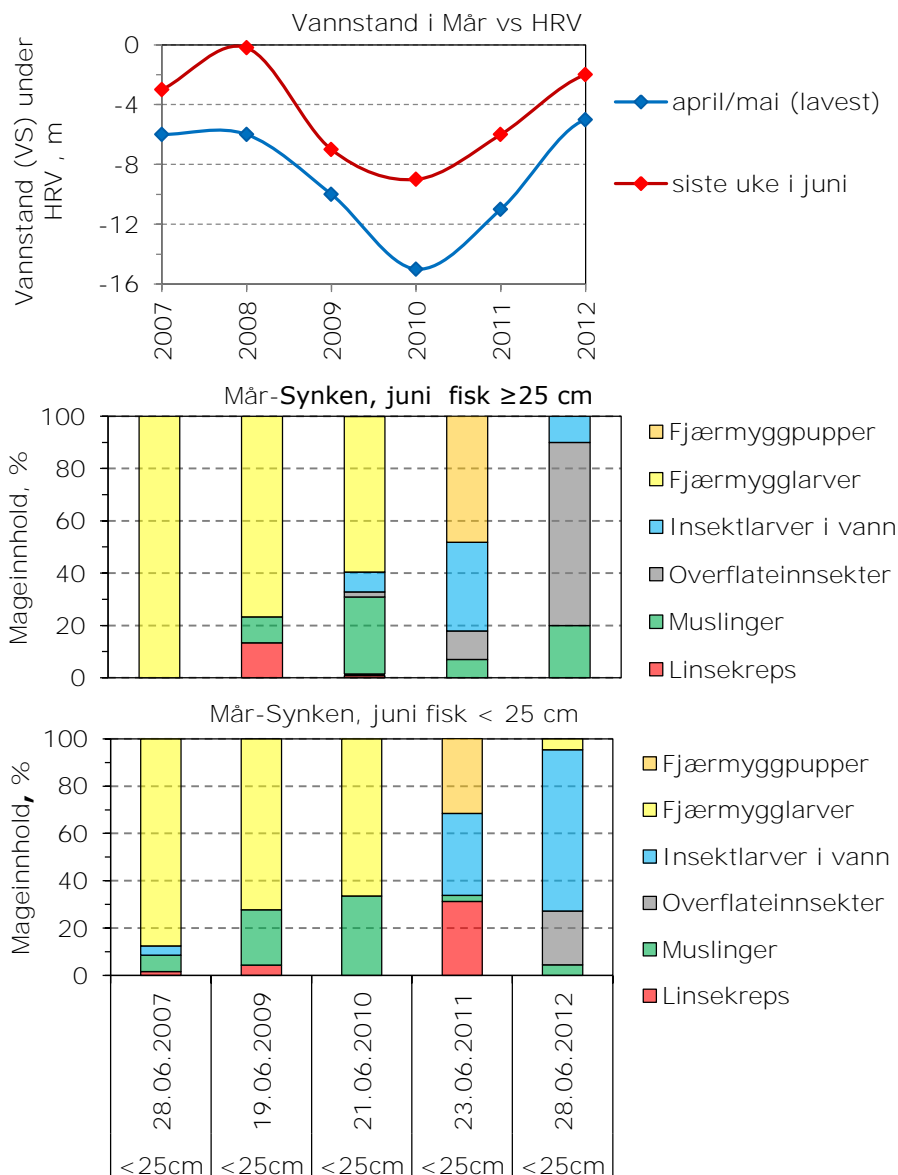
4.2 Mageanalyser og næringsdyr

Selv om mageanalyser gir øyeblikksbilder så viser de hvilke næringsdyr som prefereres av fisk til ulike tider. Dette er en viktig informasjon når vi skal tolke diagrammene over stabile isotop-analyser (SIA) i fisk og næringsdyr. Slike diagram gir grunnlag for å vurdere den relative betydning av fiskens viktigste næringskilder som over tid er benyttet til vekst (oppbygging av muskelmasser). Magefyllingsgraden i september varierte betydelig i perioden 2007 til 2013 (Figur 22). Nedtapping startet i 2009 og nådde sitt laveste nivå i 2010. Selv om vannet da var turbid var magefyllingsgraden i første fasen (2009) relativt god, men den ble dårligere særlig for små fisk i 2010, da vannet var som mest tilslammet. Siden ble magasinet fylt opp igjen og magefyllingsgraden økte til nær det dobbelte i 2012 og 2013. Den relativ forekomsten av ulike næringsdyr i fiskens mage er undersøkt på forsommeren og høsten.



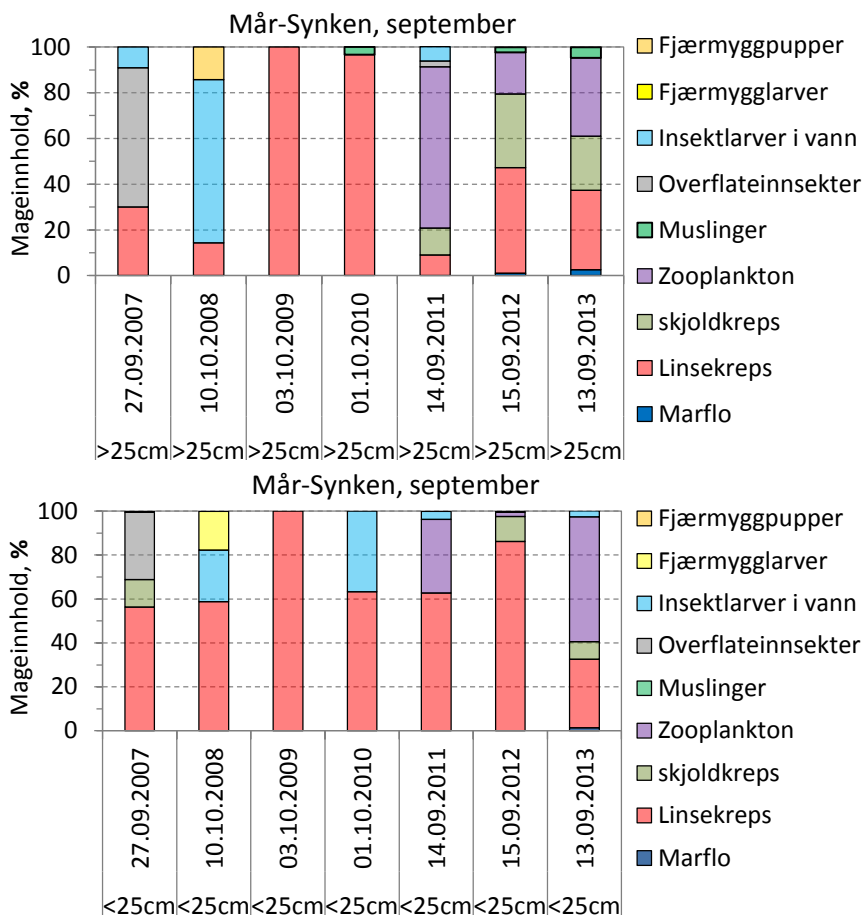
Figur 22. Magefyllingsgraden i september for fisk mindre enn 25 cm og større eller lik 25 cm (venstre panel), og vannstand lavere enn HRV ved laveste nivå i april/mai og ved prøvfisken i juni (høyre panel).

Vi har tidligere data over fiskens mageinnhold i juni fra Mår ved stasjon Synken i perioden 2007-2010 (Rognerud og Brabrand 2010). Disse er her satt sammen med nye supplerende undersøkelser gjennomført i juni 2011 og 2012. Vi har skilt mellom fisk større eller lik 25 cm og fisk mindre enn 25 cm, og resultatene er sammenstilt med laveste vannstand (månedsskiftet april/mai), og vannstanden da fisket ble gjennomført de respektive årene (Figur 23). Vi ser at i mageinnholdet i slutten av juni var dominert av insekter (pupper og larver), og muslinger i perioden 2007-2012. Den første del av perioden utgjorde fjærmygg-larver 100 %, men andelen avtok gradvis, og i 2011 og 2012 var det fjærmyggpupper, insekter i vann, muslinger og overflateinsekter som hadde overtatt. Med andre ord de to siste årene, etter at tilslamming var over, var mageinnholdet mer variert og andre insekter i vann slik som overflateinsekter og fjærmyggpupper dominerte. Linsekreps hadde klekt og inngikk i dietten allerede i juni i 2009 og 2011.



Figur 23. Prosentvis andel av fiskens mageinnhold ved fisket i Mår ved Synken i slutten av juni for perioden 2007 til 2012 i liten (<25cm) og stor fisk (≥ 25 cm). Laveste vannstand det aktuelle året (som var i månedsskiftet april/mai) og vannstand under fisket i slutten av juni de ulike år er også vist.

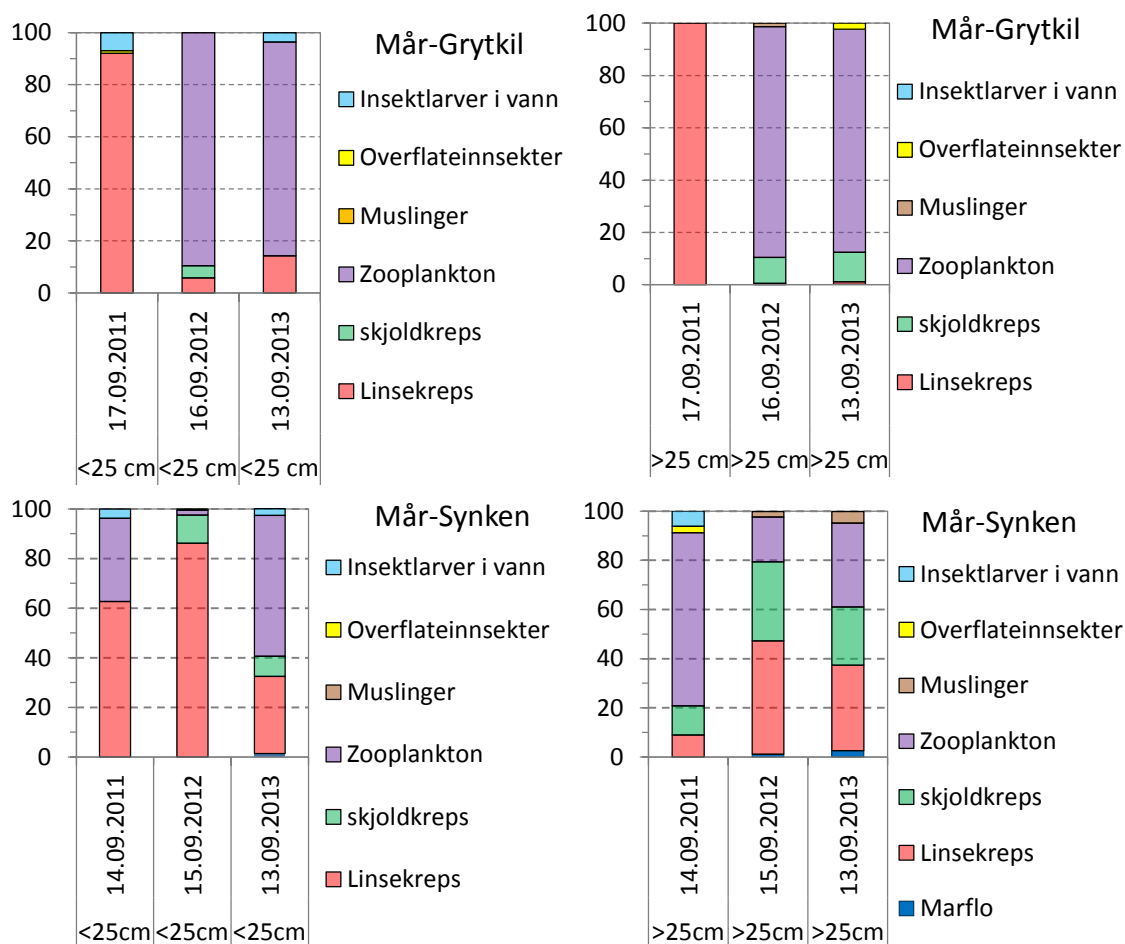
Mageinnholdet i fisk innsamlet ved prøvafisket i slutten av september viste et helt annet bilde (Figur 24). Da var det krepsdyrene som dominerte og vanligst var linsekrepsen. Den dominerte i liten fisk (unntatt i 2013), og i stor fisk i 2009 og 2010 når tilslammingen var som størst. I perioden etter dette (2011-2013) dukket andre krepsdyr opp i betydelig omfang både i stor og liten fisk. Det gjaldt særlig skjoldkreps og zooplankton (*Daphnia longispina* og *Bythotrepes longimanus*) som til sammen utgjorde hoveddelen av mageinnholdet i den store fisken, men de var også viktig for mindre fisk selv om linsekreps dominerte i 2011 og 2012.



Figur 24. Prosentvis andel av fiskens mageinnhold i Mår ved Synken i slutten av september for perioden 2007 til 2013 for liten fisk (<25cm) og stor fisk (>25cm). Vi har også vist laveste vannstand de ulike årene (månedsskjiftet april/mai) og vannstand ved fisket i slutten av juni.

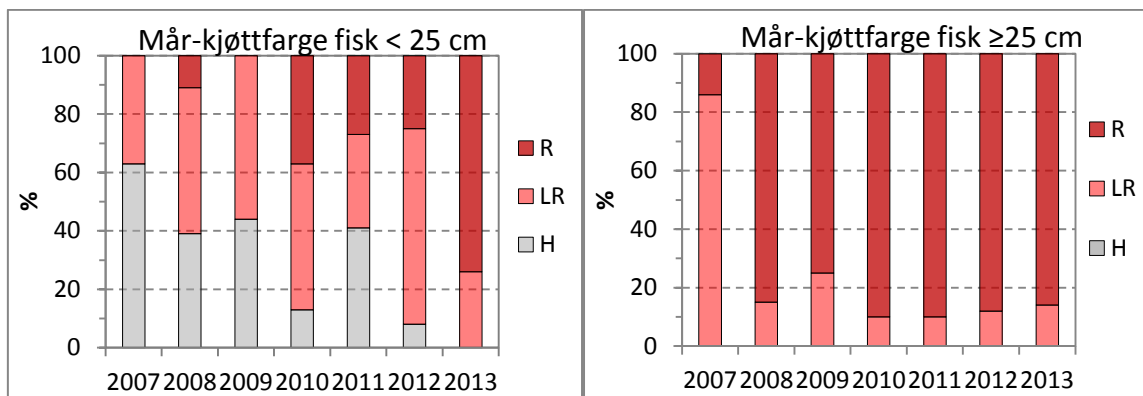
I et så vidt stort magasin som Mår er det mulighet for regionale forskjeller i fiskens næringstilbud. For å få en indikasjon på dette fisket vi ved Grytkil nord i magasinet, og ved Synken nær moloanlegget i perioden 2011-2013 (Figur 25). For små fisk (<25cm) var det linsekreps som dominerte i 2011 på begge stasjoner. Slik var det også i 2012 ved Synken, mens ved Grytkil var dominansen overtatt av zooplankton (venstre paneler). Skjoldkrepsen dukket opp ved begge stasjoner, men i beskjedne andeler. I 2013 dominerte zooplankton som føde ved begge stasjoner sjøl om andelen var størst ved Grytkil. I stor fisk (>25cm) var

mageinnholdet svært likt det vi fant i liten fisk ved Grytkil, mens ved Synken var andelen skjoldkrepss og zooplankton betydelig større. Vi kan derfor konkludere med at selv om det er de samme krepsdyrene som inngår i dietten ved Grytkil og Synken så kan det være betydelige forskjeller i den relative sammensetning av artene.



Figur 25. Prosentvis sammensetning av fiskens mageinnhold i liten fisk (<25 cm) og stor fisk (≥ 25 cm) i Mår ved stasjon Synken og Grytkil, henholdsvis i sydlige og nordlige deler av magasinet. (Fig.1)

Andelen små fisk (<25 cm) med hvit kjøttfarge dominerte i 2007, men andel viste en synkende trend fram til 2013, da ingen småfisk hadde hvit kjøttfarge (Figur 26). Samtidig med dette økte andel småfisk med rød kjøttfarge fra 0 % i 2007 til 74 % i 2013. Dette er en klar indikasjon på at krepsdyrenes andel i småfisken næring har vært økende gjennom denne perioden og at krepsdyrene er viktig næring. Stor fisk hadde ikke hvit kjøttfarge, og med unntak av 2007, var over 75 % av stor fisk rød i kjøttet. Dette viser at stor fisk generelt har stor preferanse for krepsdyrene, også under perioden med tilslammings. Høsten 2013 besto all næring i liten fisk av krepsdyr, ingen var hvit i kjøttet, men hele 74 % var rød. Med andre ord så var det en klar kvalitetsheving av liten fisk i denne 7 års perioden.

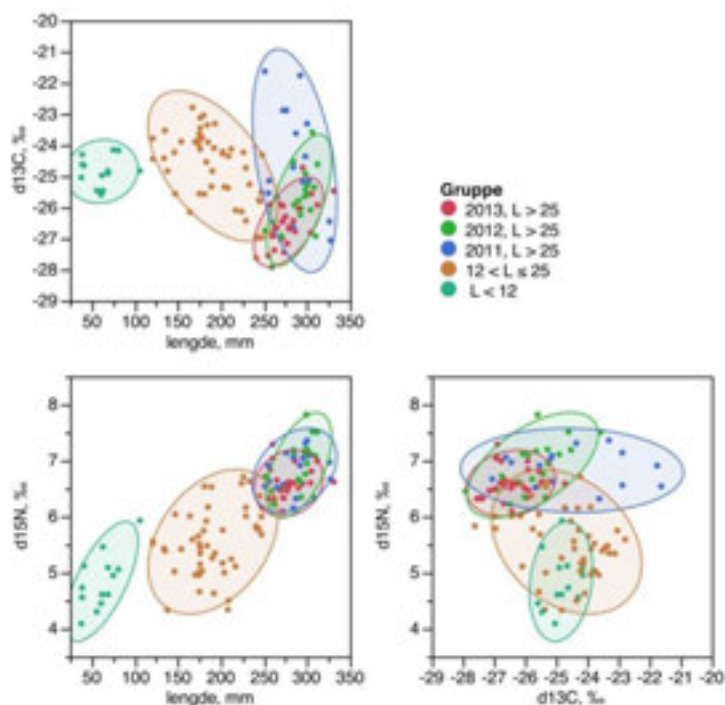


Figur 26. Fordelingen av kjøttfarge (R; Rød, LR; Lysrød og H; Hvit) for liten fisk (<25 cm) og stor fisk (≥25 cm) ved høstfiskeet i Mår for perioden 2007-2013.

4.3 Stabile isotop-analyser (SIA)

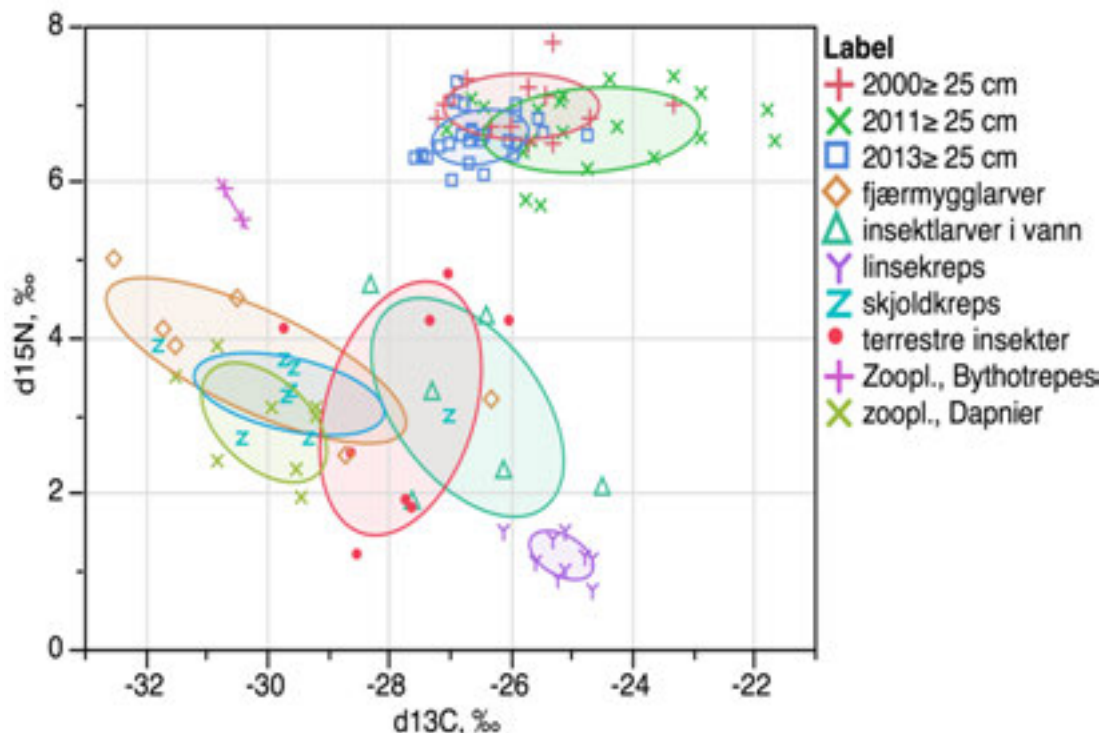
Resultatene av stabile isotop-analysene (SIA) omfatter fisk fra begge stasjonene i Mår, og er gruppert i ulike lengdegrupper (Figur 27). $\delta^{15}\text{N}$ -signaturen gir en indikasjon på organismenes trofiske posisjon i næringskjeden, der et trofisk nivå tilsvarer en endring på ca. 3,5 ‰. Generelt varierte $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene fra 4 til 7,5 ‰. Dette tilsvarer ett trofisk nivå. Videre så var det en generell trend mot økende trofisk posisjon med økende fiskelengde (nedre venstre panel). Lavest trofisk posisjon hadde småfisken i Uppnesåi. Dette indikerer at de spiser insektslarver som lever av påvekst-alger i bekken. Dette bekreftes ved at $\delta^{13}\text{C}$ signaturen var nær -25 ‰ som ofte er typisk $\delta^{13}\text{C}$ -signatur for påvekst-alger i fjellbekker (Rognerud et al. 2003). Dersom insekter fra landområdene hadde vært viktig føde hadde $\delta^{13}\text{C}$ -signaturen vært mer negativ (-27 ‰). Mellomgruppen (12-25 cm) som er fanget i Mår hadde stor variasjon i $\delta^{15}\text{N}$ som indikerer overgang til større næringsdyr, ofte rovformer av insektslarver og plankton, mens den største fisken hadde de høyeste verdiene i populasjonen, men liten variasjon i $\delta^{15}\text{N}$. Dette indikerer at de foretrekker større næringsdyr som ofte er rovformer, men det var ingen indikasjon på at kannibalisme da $\delta^{15}\text{N}$ -signaturen over 7,5 ‰ ikke ble registrert.

$\delta^{13}\text{C}$ -signaturene indikerer at det var stor variasjon i hvor fisken finner næringsdyrene. Særlig stor var variasjonen for stor fisk under den kraftigste tilslammingen i 2011. Verdier for $\delta^{13}\text{C}$ mellom -24 og -18 er representative for næringsdyr i bekker og grunne loner, mens -24 til -25 er oftest signaturen for næringsdyr som spiser påvekst-alger i strandsonen (Rognerud et al. 2003). Med økende dyp i sjøen får næringsdyrene en $\delta^{13}\text{C}$ -signaturen som er mer preget av at næringen er hentet fra blanding av planktonalger og påvekst-alger i dypere vannlag (-29 til -33). Det vil si at i 2011 kom fiskens næringsdyr fra alle nevnte områdene og at redusert siktbarhet framtvang en endret adferd og større individuelle forskjeller. I 2013 var vannet klart og spredning i $\delta^{13}\text{C}$ -signaturen var langt mindre noe som kan indikere en mer lik opptreden i næringsøket.



Figur 27. Stabile isotop analyser (SLA) for fisk fanget i juni og september 2011-13. Det er skilt mellom tre lengdegrupper; $L < 12$ cm er småfisk fra Uppnesåi, mens de andre lengdegruppene $12 < L < 25$ cm og $L \geq 25$ cm er fanget i Mår. Det er benyttet farger for å skille ulike lengdegrupper og fangst-år for stor fisk (≥ 25 cm).

Dersom vi setter sammen isotop-analysene fra fisk som vanligvis utgjør den høstbare delen av bestanden (≥ 25 cm) med tilsvarende analyser av næringsdyr kan vi få en indikasjon på hvor viktig de ulike grupper av næringsdyr var for denne størrelsesgruppen (Figur 28). Vi ser at $\delta^{13}\text{C}$ -signaturen i fisken i hovedsak varierer mellom -22 og -27 ‰, og at det var største variasjonen i 2011 da Mår var relativt turbid. Det var tydelig at dette året søkte fisken næring fra grunne områder og bekker eller nær bekkeløp som hadde klarere vann. Det skjer bare en liten grad av fraksjonering i mellom C^{12} og C^{13} med en økning på ett trofisk nivå. Derfor indikerer SI analysene at insekter i vann og linsekreps er viktige for fiskens vekst i 2011 slik vi fant indikasjoner på i magene på hhv forsommeren og senhøsten. I 2012 og særlig 2013 var zooplankton viktig næring noe som også gjenspeiles ved at fiskens C-signaturene trekkes mot mer negative verdier slik vi finner i zooplankton. Fisken har $\delta^{15}\text{N}$ verdier nær 7. Med en økning på $3,5$ ‰ pr. trofisk nivå indikerer dette at bidrag fra zooplankton må være viktig for fiskens vekst. Uten dette bidraget ville ikke $\delta^{15}\text{N}$ verdiene være så vidt høye (nær 7). Likevel er det interessant at linsekrepsens $\delta^{13}\text{C}$ -signatur ligger nær de vi finner i fisk, og at dette kan skyldes at den er tilstede helt fra juni til slutten av sesongen og at den ut fra mageanalysene er et svært ettertraktet bytte.



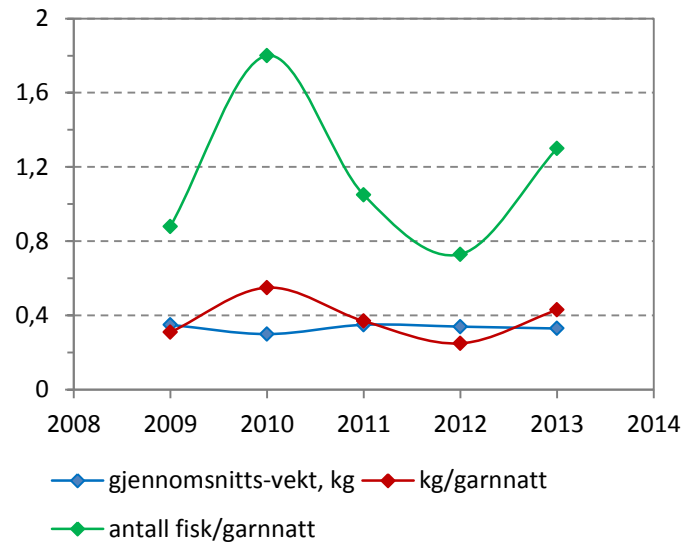
Figur 28. Diagram over stabile C og N-isotoper for fiske som var større enn 25 cm og for de viktigste næringsdyrene for denne størrelsesgruppen av fiske.

4.4 Statistikk over fiske på Maarfjell sameige av rettighetshavere og sportsfiskere

Rettighetshavere og sportsfiskere utøver et aktivt fiske i Mår. Stein Haakanes utarbeider statistikk over fangstene på området til Maarfjell sameige, som er en betydelig grunneier i Mår. Vi har fått tillatelse til å gjengi disse fangstene i rapporten (Tabell 2, Figur 29). Dersom 2012 og 2013 er representativt for fangstene i de tre foregående årene tas det opp 300-400 kg årlig på denne eiendommen, og gjennomsnittsvakta var nær 350 g. I 2010 var vannet preget av tilslamming og sikten var dårlig. Dette året erfarte vi at mye av fisken gikk nær land på mat-søk og den var derfor letter å fange på garn. Dette kan være årsaken til at statistikken for Mår også viste en topp på antall fisk fanget pr. garn (35 mm) dette året.

Tabell 2. Fangststatistikk for Maarfjell sameige sin rett i Mår. Garnfangster tas hovedsakelig på 35 mm.

Garnfangst	2009	2010	2011	2012	2013
Antall garnnetter	264	144	333	498	426
Antall fisk	233	260	351	368	557
Antall kilo	81	79	123	125	184
Gjennomsnittsvekt, kg	0,35	0,3	0,35	0,34	0,33
Kg/garnnatt	0,31	0,55	0,37	0,25	0,43
Antall fisk/garn-natt	0,88	1,8	1,05	0,73	1,3
Redskap, sluk og oter					
Antall				523	675
Vekt, kg				180	231
Gjennomsnittsvekt, kg				0,34	0,34



Figur 29. Gjennomsnittsvekt, antall kg pr. garnnatt (35 mm) og antall fisk pr. garn for fisket i Mår på Maarfjell sameige sin eiendom i perioden 2009-2013.

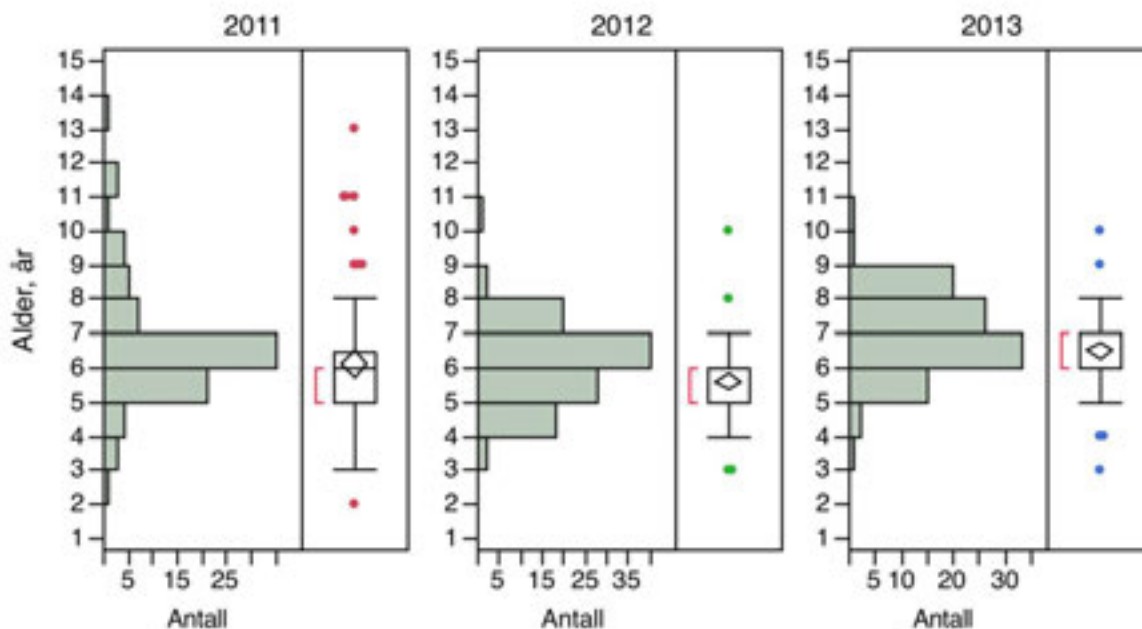
5. Resultater fra Ringedalsvatnet

5.1 Alder, lengde og vekst

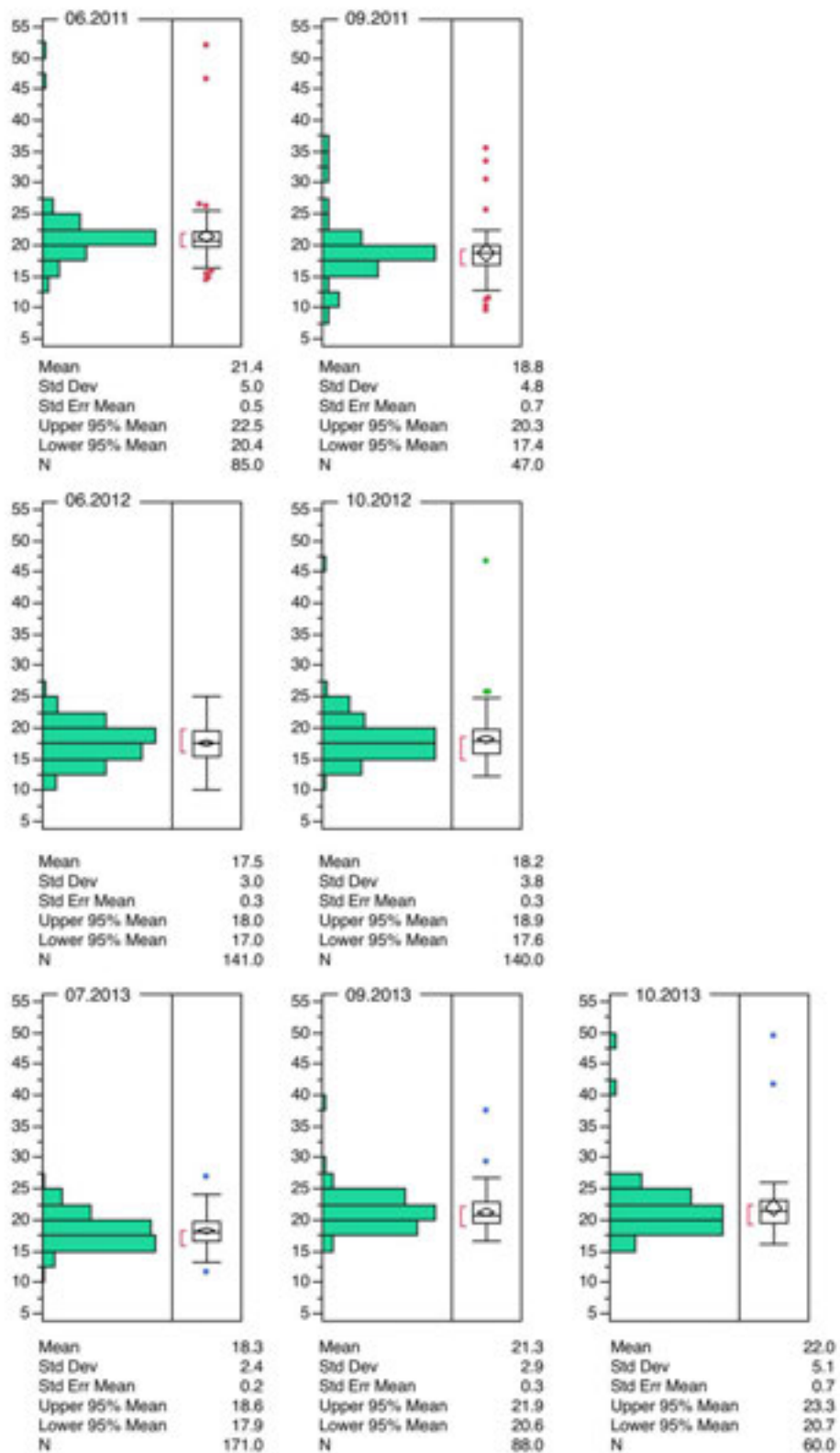
Alderssammensetningen de tre fangstårene varierte lite (Figur 30), og 6-åringene utgjorde den modale aldersgruppen alle tre fangstårene. Midlere alder i 2012 var imidlertid noe lavere enn i de to andre fangst-årene. Gjennomsnittlig alder i 2011, 2012 og 2013 var henholdsvis 6,2 ($\pm 1,8$), 5,6 ($\pm 1,2$) og 6,5 ($\pm 1,2$) år, og forskjellene var statistisk signifikante (ANOVA, ($p < 0,0001$)). Det var òg en tendens til at det ble fanget flere eldre, og større kannibalistiske individer i 2011 enn i de to seinere fangstårene.

Ørreten i Ringedalsvatnet var generelt småfalle, og majoriteten av fangstene fra de ulike prøvofiskene i 2011–2013 var konsentrert innenfor et relativt snevert lengdeintervall fra omlag 10 til 25 cm (10- og 90-prosentilene) (Figur 31) og med middellengder i området 17,7–22 cm. Et fåtalls individer var betydelig større og oppnådde en lengde på opptil 52 cm. Dette var typiske fiskespisere, og de kunne bli fanget når de angrep småfisk som hadde satt seg fast i garnet (Figur 32 og 33).

Fangstene ble dominert av 5- og 6-åringene, og middellengdene ved de ulike fangstdatoene var for disse i området 16–20,8 cm (Tabell 3). For 6-åringene kunne en variansanalyse (ANOVA m. interaksjoner) ikke påvise noen effekter på lengde av verken sesong (sommer vs. høst, $p = 0,77$), år ($p = 0,30$) eller interaksjoner mellom sesong og år ($p = 0,33$). Det vil si at det ikke kunne påvises noen signifikante forskjeller mellom middellengdene fra de ulike fangstperiodene. For 5-åringene kunne det derimot påvises en ulik utvikling i midlere lengde fra sommer og til høst for de enkelte årene: en reduksjon for årene 2011 og 2012, men en økning i 2013 ($p = 0,006$). Dette tyder på effekter av en størrelsesavhengig dødelighet som har selektert bort de største 5-åringene i løpet av sommersesongene i 2011 og 2012, og som derved har forårsaket en reduksjon i midlere lengde fra sommer og til høst.



Figur 30. Alderssammensetningen av fangstene av ørret i Ringedalsvatn, 2011-2013.



Figur 31. Lengdefordelingen (cm) av fangstene fra Ringedalsvatn i perioden 2011–2013.



Figur 32. Storvokst kannibalistisk ørret (52 cm, 2145 g) og utmagret ørret av mellomgruppen (22 cm, 55 g) fanget i juni 2011.

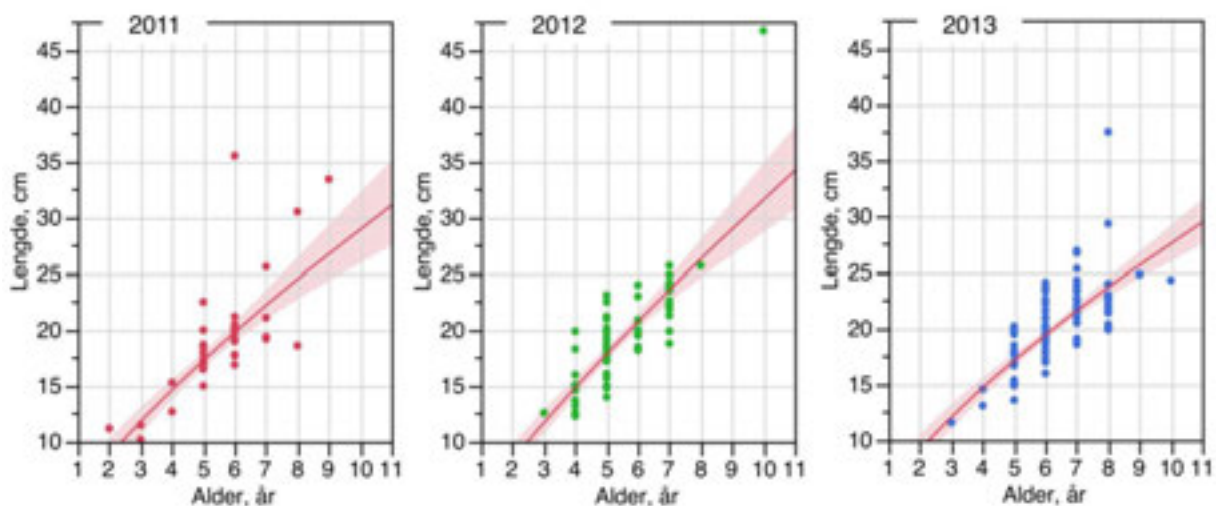


Figur 33. Kannibalistisk ørret med byttfisk stikkende ut av kjeften, fanget i juni 2011

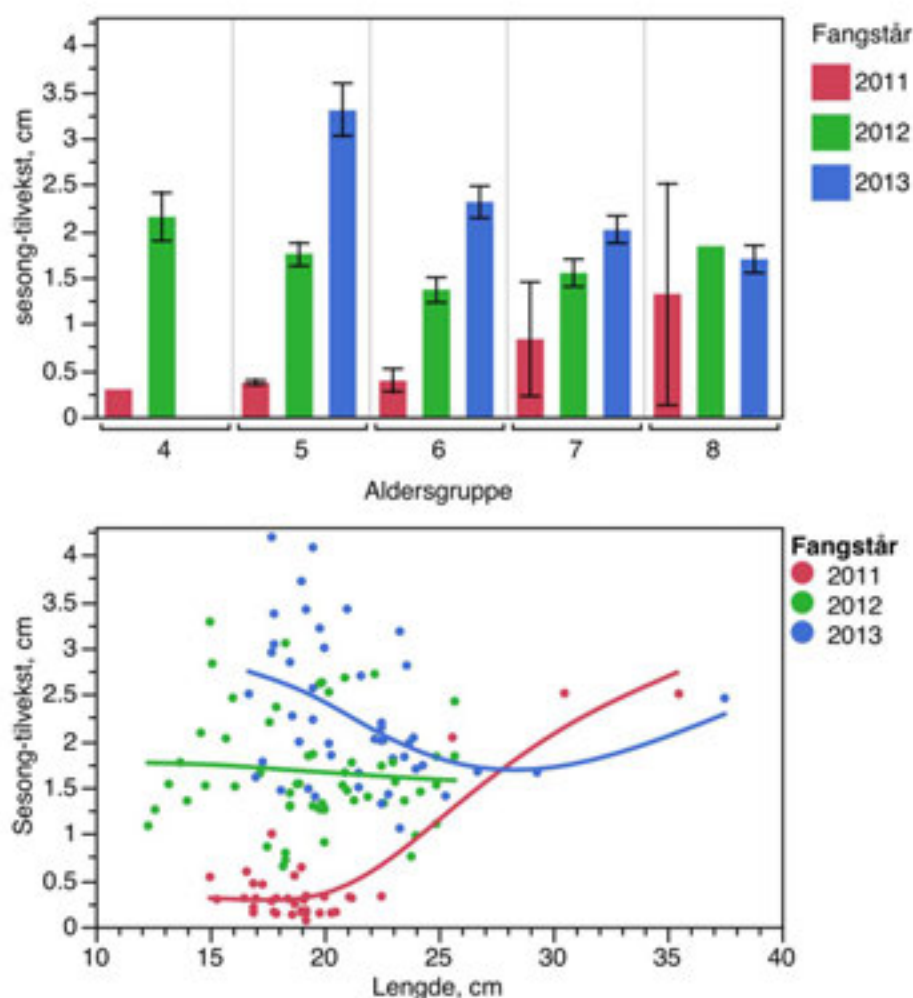
Vekstkurvene beregnet for fangstene fra hver høst var imidlertid svært like og med overlappende konfidensintervaller (Figur 34). En kovariansanalyse kunne da heller ikke påvise noen statistiske forskjeller mellom årene ($p = 0,26$). Dersom produksjon- og vekstforholdene skulle ha blitt bedret fra 2012 av, kan effekten av dette ha blitt maskert av en størrelsesavhengig dødelighet, som har selektert bort de største individene innenfor de dominerende aldersgruppene, slik at vekstkurvene fra de ulike årene ikke atskilte seg fra hverandre. Tilbake-beregning av tilveksten i de respektive sommersesongene, basert på fisk fanget på høsten, viste imidlertid at sesongveksten i 2011 var svært lav, med unntak for den store kannibalistiske ørreten (Figur 35). For aldersgruppene 3–6 år eller lengdegruppen 15–22 cm var sesongveksten omlag 0,3–0,4 cm i 2011. For de samme alders- og størrelsesgruppene var den tilbakeberegnete sesongtilveksten i 2012 og 2013 betydelig bedre, med henholdsvis 1,4–2,2 cm og 2,0–3,3 cm.

Tabell 3. Lengde, vekt og kondisjonsfaktor (*k*-faktor) innen aldersgruppene 4–9 år til ørret fanget i Ringedalsvatn. *N*: antall, *x*: middelerverdi, standard avvik: *SD*.

Dato (mnd, år):	06.2011			09.2011			06.2012			10.2012			07.2013			09.2013				
	Alder	N	x	SD	N	x	SD	N	x	SD	N	x	SD	N	x	SD	N	x	SD	
Lengde, cm	4	2	16,6	3,0	2	14,0	1,8	8	13,1	0,9	10	15,1	2,4	2	13,9	1,1				
	5	7	20,8	2,9	14	17,9	1,8	8	19,8	2,6	20	18,4	2,5	9	16,0	2,0	6	18,3	1,2	
	6	15	20,1	2,5	20	19,9	3,9	25	19,3	2,3	15	20,1	1,7	11	19,0	2,3	22	20,1	2,0	
	7	3	20,4	4,2	4	21,3	3,0	7	21,9	2,3	13	23,0	2,1	15	21,9	1,9	11	23,1	2,1	
	8	3	22,8	3,7	2	24,6	8,4	1	24,1		1	25,7		12	21,6	1,3	8	25,4	5,4	
	9	3	23,3	1,9	1	33,4											1	24,8		
Vekt, g	4	2	40	24	2	26	10	8	20	3	10	46	26	2	30	9				
	5	7	65	24	14	43	13	8	66	26	20	72	33	9	51	21	6	69	8	
	6	15	61	21	20	75	116	25	61	22	15	91	32	11	81	31	22	92	29	
	7	3	75	49	4	83	68	7	101	39	13	139	35	15	124	33	11	140	32	
	8	3	63	22	2	226	255	1	117		1	215		12	113	19	8	222	212	
	9	3	62	23	1	478											1	171		
k-faktor	4	2	0,82	0,07	2	0,92	0,00	8	0,87	0,09	10	1,21	0,14	2	1,09	0,09	0			
	5	7	0,67	0,11	14	0,74	0,10	8	0,79	0,09	20	1,08	0,16	9	1,18	0,07	6	1,12	0,09	
	6	15	0,72	0,09	20	0,74	0,15	25	0,82	0,14	15	1,08	0,16	11	1,14	0,08	22	1,10	0,10	
	7	3	0,81	0,13	4	0,74	0,25	7	0,93	0,07	13	1,13	0,13	15	1,16	0,17	11	1,12	0,07	
	8	3	0,53	0,11	2	1,07	0,52	1	0,84		1	1,27		12	1,12	0,09	8	1,14	0,13	
	9	3	0,48	0,08	1	1,28											1	1,12		



Figur 34. Vekstkurver for ørret fanget i Ringedalsmagasinet i september/oktober i perioden 2011–2013. Kurvene (m. 95 % konfidensintervaller) er basert på log-transformerte data.



Figur 35. Tilvekst for vekstsesongene 2011–2013 basert på fiskemateriale fanget inn i september/oktober de respektive årene. Kurvene er laget med kurveglattingsfunksjoner (smoothing splines).

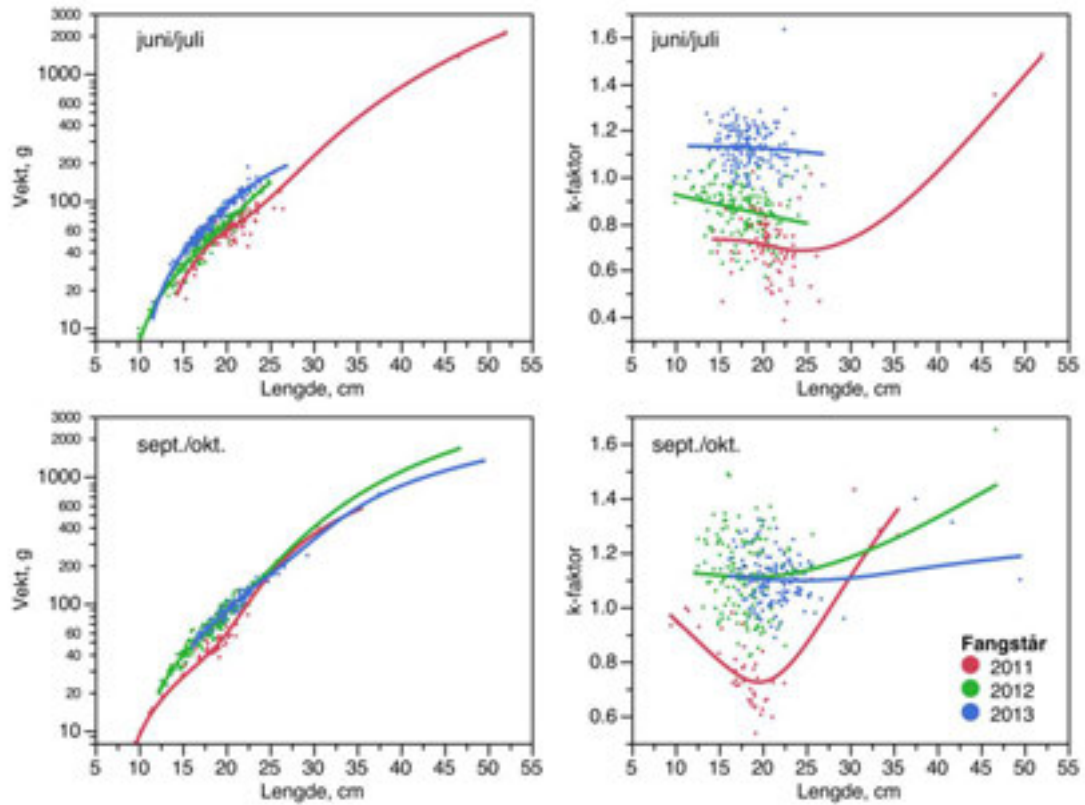
5.2 Kondisjon

Lengde-vekt forholdene eller kondisjonsfaktoren (k-faktor) viste at fisken generelt var i svært dårlig ernæringsmessig status i 2011, men bedret seg markert fra høsten 2012 og utover. I 2011 varierte gjennomsnittlige k-faktor hos aldersgruppene 5 og 6 år, som utgjorde majoriteten i materialet, mellom 0,67–0,74 for de enkelte fangstperiodene (Tabell 3), og om lag 10–20 % av fisken innenfor hver enkelt av de to aldersgruppene hadde k-faktor lavere enn 0,6. Dette er ekstremt mager og utsultet fisk.

Kondisjonen hos de storvokste kannibalistiske individene var imidlertid svært god i samtlige fangstår (k-faktor: 1,2–1,6). I 2012 inntraff det generelt en betydelig bedring i kondisjonen, og i oktober dette året hadde 5- og 6-åringene en k-faktor på 1,08. Fisken hadde fortsatt en god kondisjonsfaktor i hele 2013 og midlere k-faktor for 5- og 6-åringene var da henholdsvis 1,10 og 1,12.

En nærmere inspeksjon av kurveforløpet til k-faktor mot fiskelengde viste et spesielt forhold i 2011. Hos småfisk på 10–13 cm var k-faktor da i området 0,9–1, for deretter å synke til et minimum på omlag 0,7 hos fisk i størrelsesgruppen 18–22 cm (Figur 36). Hos større fisk steg så kondisjonsfaktoren igjen betydelig og var mellom 1,2–1,5 hos fisk større enn 30 cm. Et tilsvarende U-formet kurveforløp kunne ikke observeres i 2012 og 2013. Utover sesongen i 2012 bedret kondisjonen seg, og fra høsten 2012 var

den forholdsvis stabil hos fisk i størrelsesgruppen 10–25 cm (k-faktor: omlag 1,1) for så å stige hos de mer storvokste individene.



Figur 36. Vekt og kondisjonsfaktor (*k*-faktor) som funksjon av fiskelengde for ørret fra Ringedalsvatn i 2011–2013. Kurvene er laget med kurveglattingsfunksjoner (smoothing splines).

5.3 Ernæring

I juni 2011 hadde fisken generelt svært dårlige ernæringsforhold. Dette vises ved en midlere magefyllingsgrad på 0,7 (Tabell 4) (skala fra 0 til 5). De best representerte aldersgruppene 5 og 6 hadde en magefyllingsgrad på henholdsvis 0,7 og 1,1, hvor overflateinsekter dominerte i fangstene med en midlere volumprosent på 75–100 % (Figur 37). Noen individer, særlig blant de større eldre, hadde spist fisk.

I september 2011 var fyllingsgraden noe større enn i juni, med en midlere fyllingsgrad på 1,9. Overflateinsekter dominerte dietten til nær alle aldersgrupper med unntak av noen større eldre individer som var fiskespisere.

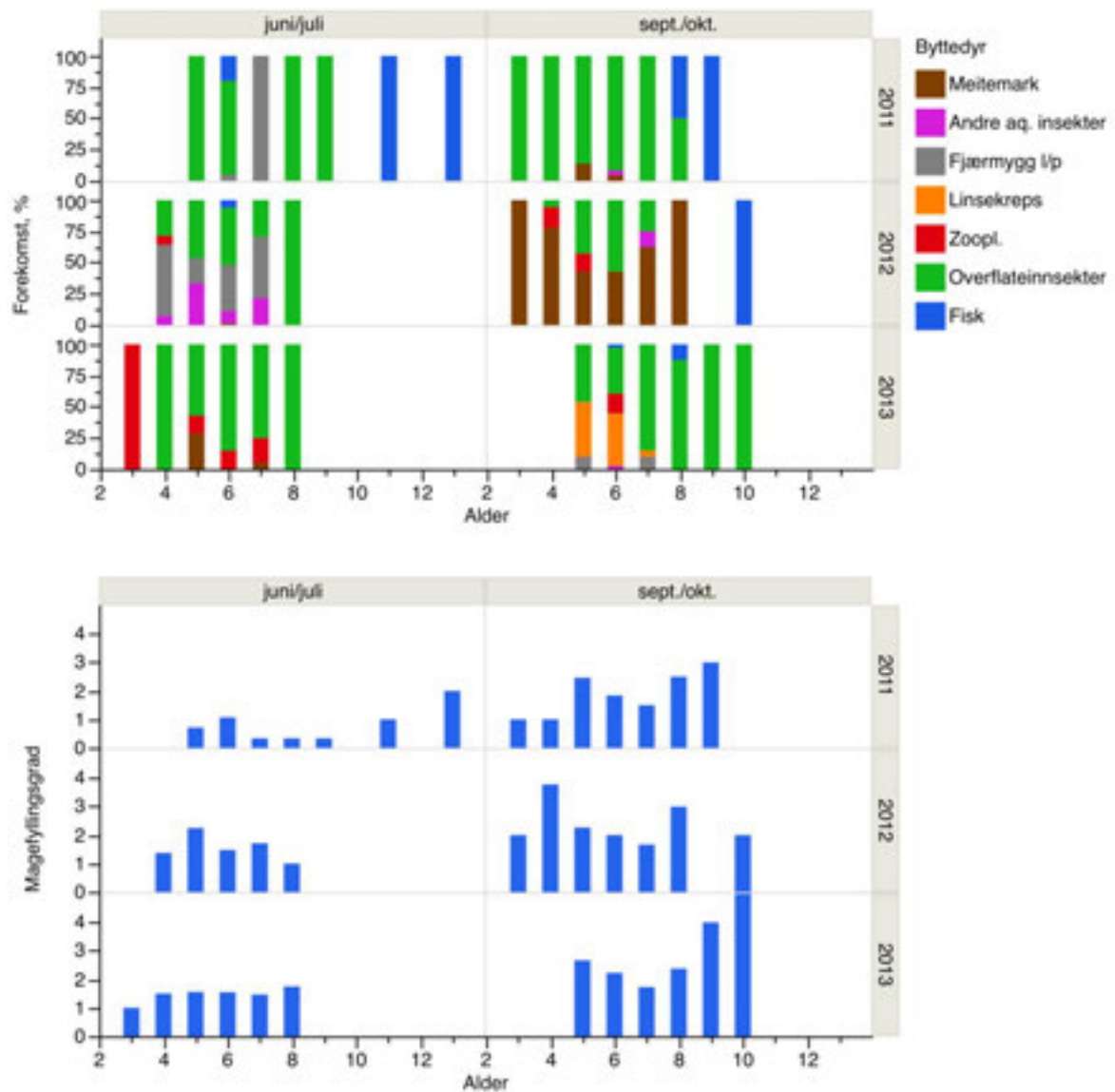
I 2012 bedret ernæringsforholdne seg, og midlere fyllingsgrad i magene i juni og oktober var henholdsvis 1,6 og 2,4 (Tabell 4). Dietten var mer variert enn i 2011, og for aldersgruppene 5 og 6 besto nær 50 % av mageinnholdet av overflateinsekter, mens resten fordelte seg på fjærmygg og andre akvatiske insekter (Figur 37). På høsten ble meitemark det dominerende næringsemnet, og i aldersgruppene 3–8 var den midlere volumprosenten i 43–100 %. For øvrig var det et moderat innslag av overflateinsekter i dietten til disse aldersgruppene (volumprosent: 6–57 %), men også zooplankton ble registrert hos noen (opp til 17 %). Også nå ble det fanget store spesialiserte fiskespisere.

I 2013 var midlere fyllingsgrad omlag som i 2012, men dietten sammensetning hadde endret seg markert. I juli dominerte overflateinsekter med 57–100 % i de enkelte aldersgruppene, med unntak hos den yngste fisken (3-åringer) hvor zooplankton var eneste byttedyr. Zooplankton og meitemark ble ellers registrert i mindre grad. På høsten (september/oktober) dukket linsekreps (*Eurycerus lammelatus*) opp i dietten til aldersgruppene 5–7 med en midlere volumprosent på 5–44 %. Overflateinsekter var ellers et viktig næringsemne, med en midlere volumprosent på 37–100 %. Annet zooplankton, fjærmygg og fisk ble også registrert i mageinnholdet hos noen aldersgrupper.

Zooplankton manglet fullstendig i mageinnholdet i 2011, noe som for øvrig er uvanlig for fisk fra dype reguleringsmagasiner.

Tabell 4. Midlere magefyllingsgrad (skala fra 0 til 5) for ørret fanget i Ringedalsvatn i perioden 2011–2013. N: antall fisk undersøkt. SD: standard avvik.

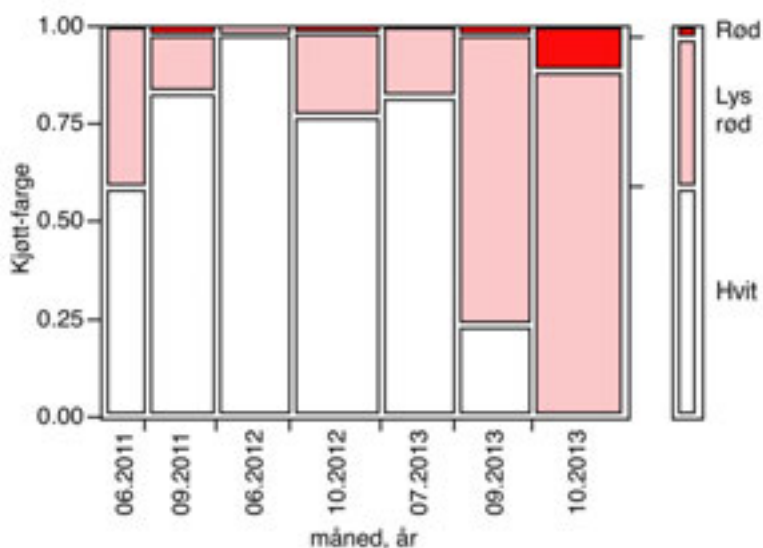
Fangstår	juni/juli			september/oktober		
	N	middel	SD	N	middel	SD
2011	38	0,7	0,9	45	1,9	1,1
2012	50	1,6	1,5	55	2,4	1,7
2013	50	1,6	1,1	51	2,3	1,3



Figur 37. Relativ forekomst av ulike byttedyr (øvre panel) og midlere magefyllingsgrad (skala fra 0 til 5, nedre panel) i de enkelte årsklassene av orret fanget i Ringedalsvatnet i perioden 2011–2013.

5.3.1 Kjøttfarge

Forekomsten av lys rød og rød kjøttfarge økte markert fra 2011 og til 2013 (Figur 38). I 2011 dominerte hvit kjøttfarge med en frekvens på 60–98 %. Rød kjøttfarge ble da kun funnet i noen få store fiskepisende individer. I 2013 sank frekvensen av fisk med hvit kjøttfarge fra juli og til oktober, fra 82 % og til 0 %, og i oktober hadde 12 % av individene rød kjøttfarge.



Figur 38. Frekvens (%) av kjøttfarge i ørret fanget i Ringedalsvatnet i perioden 2011–2013.

5.3.2 Stabile isotop-analyser

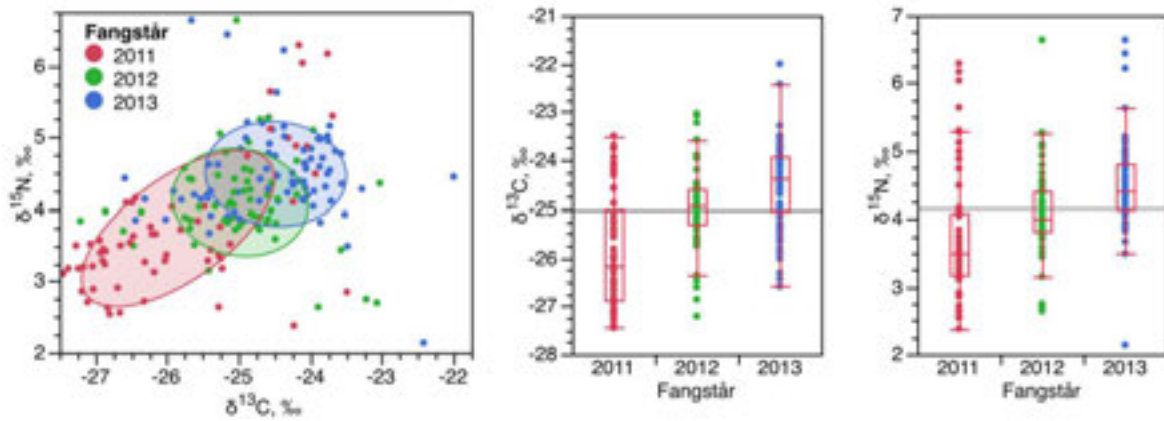
Forholdet mellom stabile C- og N-isotopene viste en tendens til at $\delta^{15}\text{N}$ økte med økende $\delta^{13}\text{C}$ (Figur 39). Dette gjaldt særlig i 2011. Det var statistisk signifikant økende $\delta^{15}\text{N}$ - og $\delta^{13}\text{C}$ -forhold fra 2011 og til 2013 (variansanalyser, $p < 0,0001$) (Tabell 5). Variasjonsbredden i både $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ de enkelte fangstårene var på omlag 4 ‰ (poeng).

Isotopforholdene viste et ikke-lineært forløp med kondisjonsfaktor i 2011 (Figur 40). Med økende k-faktor, fra om lag 0,4 og til 0,8, sank de til et lokalt minimum, for deretter å stige. Dette var særlig uttalt for $\delta^{13}\text{C}$. Et liknende forhold har vi ikke sett beskrevet tidligere. For 2012 og 2013, hvor vi ikke hadde så lave kondisjonsfaktorer som i 2011, var det en svak stigning i isotopforholdene med k-faktor.

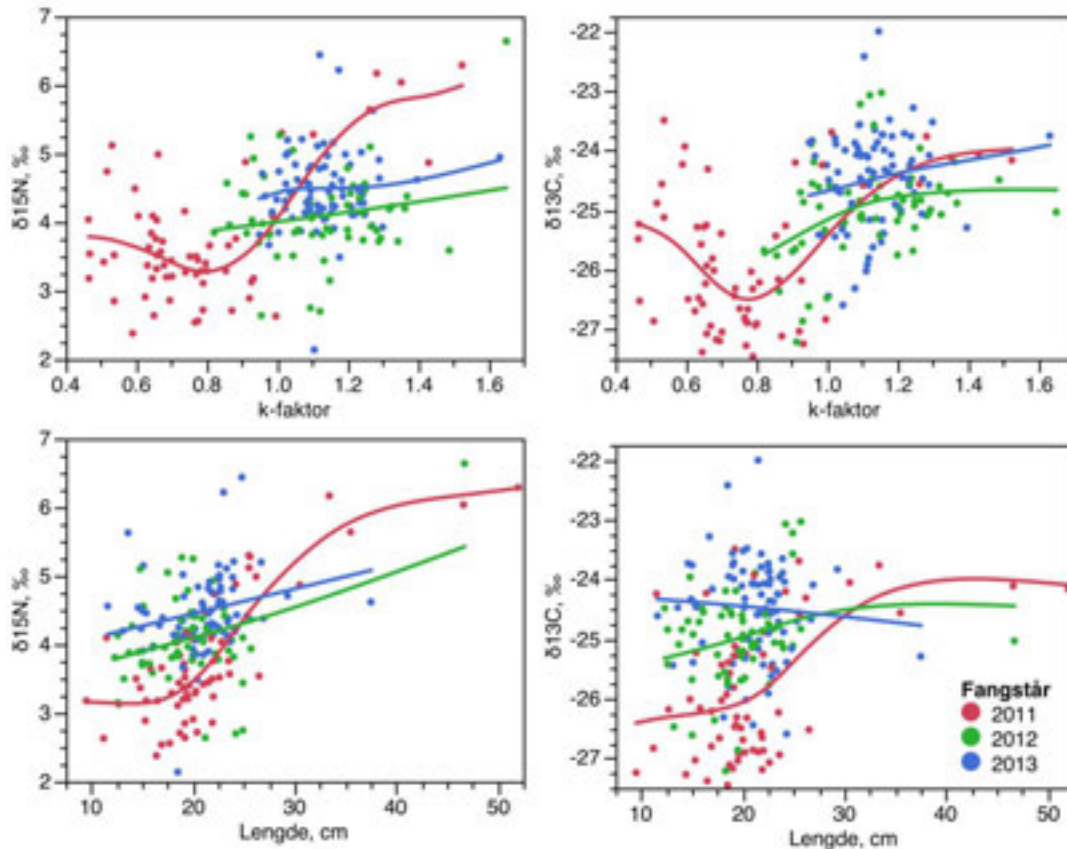
Isotopforholdene viste et sigmoid kurvelineært forløp med fiskelengde i 2011 (Figur 40). Fram til en fiskestørrelse på omlag 20 cm var $\delta^{15}\text{N}$ - og $\delta^{13}\text{C}$ -forholdene relativt stabile for deretter å stige brått. I 2012 og 2013 var det et mer jevnt stigende $\delta^{15}\text{N}$ -forhold med fiskelengde, mens $\delta^{13}\text{C}$ -forholdet var mer stabilt.

Tabell 5. Midlere $\delta^{15}\text{N}$ - og $\delta^{13}\text{C}$ -forhold i ørret fra Ringedalsvatn fanget i 2011– 2013. Antall (N) og standard avvik (SD) er også gitt.

Fangstår	N	$\delta^{15}\text{N}$, ‰		N	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	
		middel	SD		middel	SD
2011	61	3,73	0,92	61	-25,85	1,14
2012	60	4,09	0,63	60	-24,98	0,80
2013	80	4,49	0,62	80	-24,48	0,84



Figur 39. Spredningsdiagram og box-plot over stabile N- og C-isotoper i ørret fra Ringedalsvatnet fanget i 2011–2013.



Figur 40. Stabile N- og C-isotoper som funksjon av kondisjonsfaktor (*k*-faktor) og lengde hos ørret fra Ringedalsvatnet. Røde punkter er fra juni og blå punkter er data fra september (2011). Kurvene er laget med kurveglattingsfunksjoner (smoothing splines).

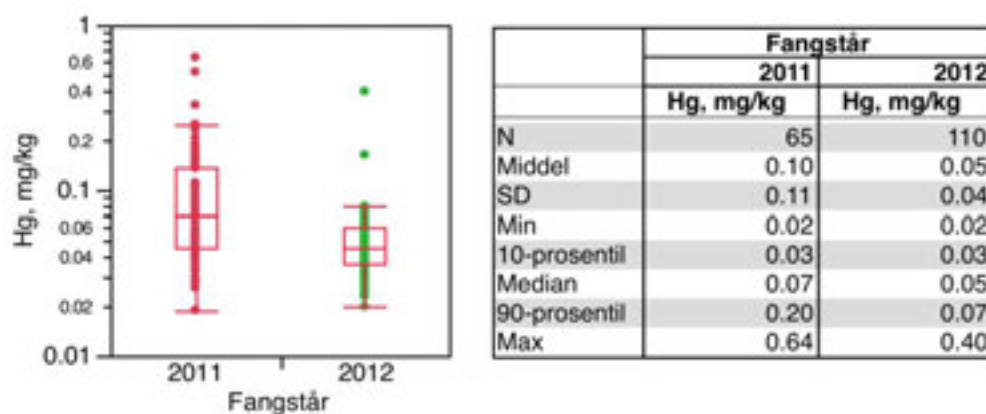
5.3.3 Kvikksølv

Kvikksølv ble analysert i fisk fanget i 2011 og 2012. Midlere konsentrasjon de to årene var henholdsvis 0,10 og 0,05 mg/kg, og høyeste og laveste konsentrasjoner var 0,02 og 0,64 mg/kg (Figur 41).

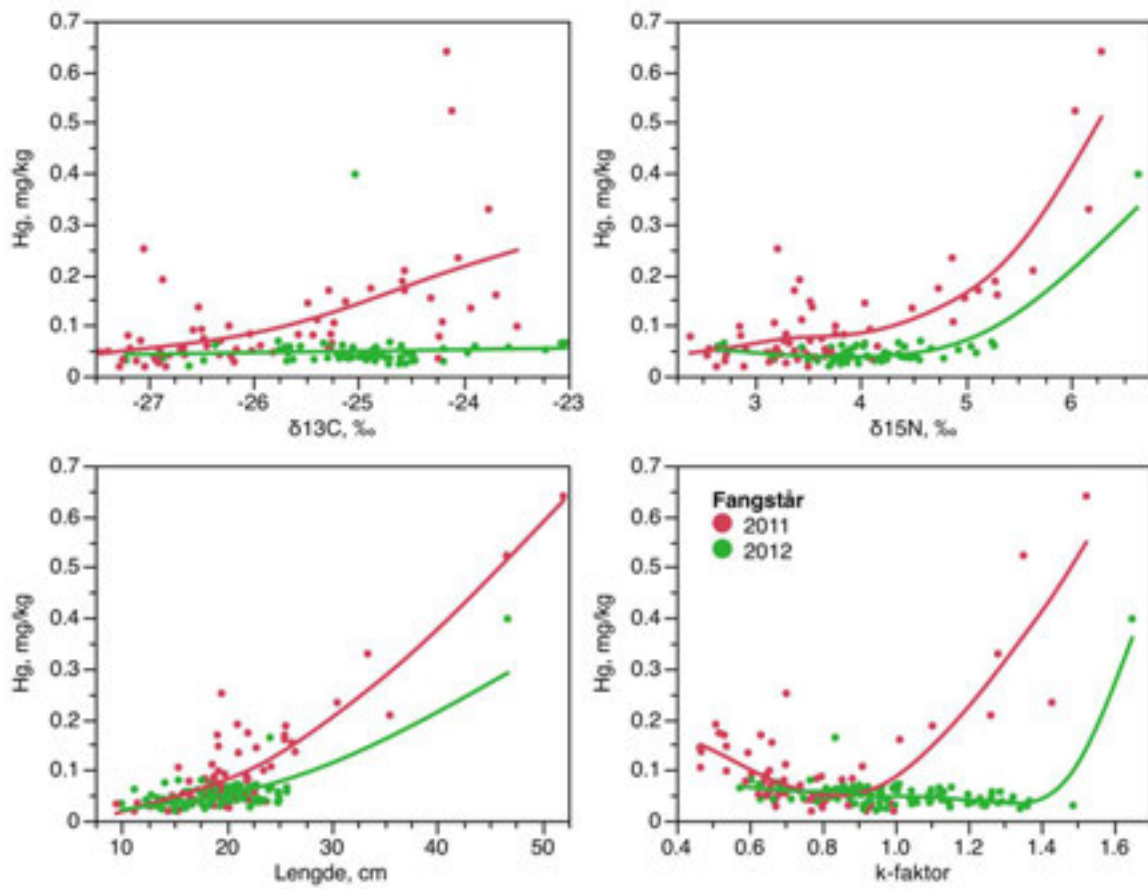
Kvikksølvkonsentrasjonen steg markant med fiskens lengde og dens trofiske nivå (plass i næringskjeden) målt som $\delta^{15}\text{N}$ (Figur 42). Vanlig forekommende konsentrasjoner hos fisk i størrelsesgruppen 15–25 cm var 0,05–0,20 mg/kg (våtvekt). Hos de største individene som var fiskespisere (> 45 cm) ble det funnet konsentrasjoner opp til 0,64 mg/kg. Dette er nivåer som overskrider Mattilsynets omsetningsgrense for ørret til konsum (0,5 mg/kg).

I 2011 fant vi et spesielt U-formet kurveforløp mellom kvikksølvkonsentrasjon og k-faktor: konsentrasjonen hadde et lokalt minimum ved en k-faktor på om lag 0,8 – for så å øke ved lavere og høyere verdier enn dette. Det vil si at kvikksølvkonsentrasjonen var størst i de mest avmagrede og utsultede individene og i de i best ernæringsmessig hold. Et tilsvarende fenomen kunne ikke påvises for 2012, hvor konsentrasjonen varierte lite med k-faktor, med unntak for en stor og fiskespisende ørret med høy k-faktor og høyt kvikksølvinnhold.

Kvikksølvkonsentrasjonen i 2011 steg også med $\delta^{13}\text{C}$ -forholdet, noe som trolig kan relateres til at $\delta^{13}\text{C}$ økte med avtagende k-faktor for de mest utmagrede individene (kap. 5.3.2).



Figur 41. Kvikksølvkonsentrasjon i ørret fra Ringedalsvatn, fanget i 2011 og 2012.



Figur 42. Kvikksølvkonsentrasjon (våtvekt) som funksjon av kondisjonsfaktor (*k*-faktor), lengde og stabile N- og C-isotoper hos ørret fra Ringedalsvatnet fanget i 2011 og 2012. Kurvene er laget med kurveglattingsfunksjoner (smoothing splines).

6. Diskusjon

6.1 Nedtapping og konsekvenser på vannkvalitet

Det er kjent at nedtapping i reguleringsmagasiner kan føre til utvasking og suspensjon av silt- og leirpartikler med påfølgende sterk blakking av vannmassene (Bogen og Bønsnes 2001). Dette er en aktuell problemstilling særlig når det gjelder rehabilitering av eldre reguleringsanlegg. Mår var i en slik situasjon i 2010-2011, mens i Ringedalsvatnet var det et resultat av stort behov for El-kraft kombinert med uvanlig lite tilsig.

De to magasinene er svært ulike med hensyn til bassengform og reguleringshøyde. I forhold til Ringedalsvatnet har Mår relativt store grunt-områder og har mer slake strandprofiler. Ringedalsvatnet, som ligger i en U-dal, har store dypområder og steile strandprofiler. Ringedalsvatnet har et vesentlig større dyp (134 m) og reguleringshøyde (92 m) enn Mår (maks. dyp 60 m, reguleringshøyde 21 m). Felles for de begge er at når vannet tappes ned mot laveste reguleringsvannstand (LRV) så eksponeres finkorna sedimentene i strandsonen for erosjon på grunn av bølger og vindinduserte strømmer. Dette førte til en utvasking av silt- og leirpartikler og ekstremt blakke og turbide vannmassene. Minste registrerte siktedyp i Mår i en periode i 2010 var nede i 0,5 m, og 0,2 m i Ringedalsvatn i 2011. Ved oppfylling av magasinene det påfølgende år ble vannkvaliteten bedret og siktedypet normaliserte seg. En slik transient endringen i vannkvaliteten kan imidlertid tenkes å ha mer langvarige konsekvenser for økosystemet i innsjøene, og ikke minst negativt påvirke produksjonsforholdene for fisk. Vi vil i det følgende diskutere effektene nedtappingen og tilslamming av vannmassene hadde på fisk og deres næringsdyr i disse to reguleringsmagasinene. Vi antar at disse episodene kan ha en viss generalitet for framtidige situasjoner i andre liknende reguleringsmagasiner.

6.2 Endringer i fiskens næringsgrunnlag og diett

Utvasking av silt- og leirpartikler til vannmassene har særlig negative konsekvenser for zooplankton-samfunnet. Som Borgstrøm et al. (1986) påpeker er det særlig vannlopper (*Cladocera*) som er utsatt for effekter av tilslamming. Vannloppene filtrerer ut næringspartikler, er lite selektive på kvaliteten, og kan derfor få tilstoppet filterapparatet med uorganiske partikler. Følgene kan være fatale med et for lavt netto energiinntak, og problemer med oppdriften på grunn av opptak av mineralpartikler. Hoppekreps (*Copepoda*) er mer selektive i valg av næringspartikler, de omtales som «gripere» som i større grad velger ut egnede for-partikler, og derved lettere overlever en tilslamming. Der begge gruppene er til stede foretrekker fisken oftest vannloppene under næringsøk.

Den synkende trenden i vannstanden i Mår vår og høst fra 2008 og til 2010, var sammenfallende med et redusert antall av vannlopper, og de forekom da heller ikke i fiskens mageinnhold på høsten i noen av disse årene. Det er derfor rimelig å anta at det var tilslamming av vannmassene som var årsaken til dette. Etter 2010 økte vannstanden både vår og høst og arealer med hvileegg ble satt under vann tidnok til at de klekte vannloppene kunne utvikles og inngå i fiskens næring på høsten. Dette viser at vannloppene kommer raskt tilbake i stort antall selv etter en slik katastrofal hendelse som tilslamming er for disse organismene.

Vel så interessant er det at også skjoldkrepsen dukket opp som et viktig næringsdyr, særlig for større fisk, i den samme oppfyllingsfasen, etter å ha vært fraværende siden 2008. En forklaring på dette er at skjoldkrepsens første stadier er planktoniske og at tilslammingen har samme negative effekt for disse som for vannloppene.

Linsekrepser er viktig næring for fisken i Mår. Den var til stede i hele perioden som er undersøkt, og dominerte totalt i perioden som Mår var utsatt for sterkest tilslamming (2009-2010). Dette viser hvor robust linsekrebsbestanden er ovenfor reguleringer og episoder med betydelig tilslamming.

På forsommeren var fiskens ernæring dominert av fjærmygg i perioden med størst tilslamming, mens den senere var langt mer variert. Dette viser også hvor robust fjærmygg er ovenfor reguleringer slik som tidligere er beskrevet (Rognerud og Brabrand 2010). Bassengformen i Mår med store grunnere områder gjør at sentrale næringsdyr som skjoldkrepser, linsekrepser og zooplankton har store arealer der hvileegg kan klekkes når de settes under vann på forsommere. I Ringedalsvatn er forholdene annerledes med steile strandsoner og relativt sett mindre arealer der hvileegg kan klekke når vannstanden øker utover sommeren. Over tid kan dette, samt at tilslamming er negativt for vannloppene, ha svekket bestandene av krepsdyrene betydelig slik at overflateinsekter ble det eneste aktuelle alternativet i 2011.

Ved oppfyllingen av Ringedalsvatnet utover høsten 2012 ble noen mudderbanker, og deler av strandsonen med innslag av vegetasjon og annet organisk materiale, satt under vann. Dette skapte et godt habitat for meitemark og andre littorale organismer, og meitemark ble et foretrukket næringsdyr høsten 2012. Høsten 2013, når magasinet var oppfylt, var det også et innslag av linsekrepser i dietten som viser hvor robust denne arten er ovenfor reguleringer og tilslamming av vannmassene. Tilslammingen og bortfall av zooplankton og en sterkt redusert populasjon av linsekrepser gjorde at fiskens kondisjon sank betydelig i 2011. Zooplankton manglet fullstendig i mageinnholdet til ørreten fra Ringedalsvatnet i 2011, noe som for øvrig er uvanlig for fisk fra dype reguleringsmagasiner. Vi tilskriver dette å være en effekt av tilslammingen. Eksempelvis dominerte vannloppen *Holopedium gibbrium* (gelekrepser) ernæringen til ørret fra Ringedalsvatnet under klarvannsforhold (siktedyp 18 m) i juli 1984 (Borgstrøm et al. 1992). At zooplanktonet forsvant som næringsressurs i Ringedalsvatnet i 2011 førte til at fisken ble svekket og derfor ble et lett bytte for de få som hadde gått over til kannibalistisk atferd. Dette skjedde ikke i Mår fordi krepsdyrene alltid var til stede, selv om dette i perioden med størst tilslamming bare var linsekrepser, og at ungfiskens kondisjon var mye bedre og at de derved hadde større sjanser til å unngå å bli spist.

Et forhold som her ikke har vært diskutert er at sommeren 2013 ble Ringedalsvatnet gjødslet med fosfat som et forsøk på å stimulere primærproduksjonen i magasinet og bedre zooplanktonproduksjonen. Dette bidro trolig til en økt produksjon av både zooplankton og linsekrepser, og tiltaket vi bli rapportert i en egen rapport (Fjeld og Rognerud, 2014).

6.3 Stabile isotoper

Bruken av stabile isotop analyser (SIA) er blitt en mye brukt metode for å kvantifisere energistrømmen i økosystemer. I vårt tilfelle er det forholdet mellom karbonisotopene, ^{12}C og ^{13}C , og nitrogenisotopene ^{14}N og ^{15}N som benyttes. Isotopene har de samme kjemiske egenskapene, men ulik vekt gjør at det skjer en fraksjonering i biokjemiske prosesser som favoriserer den letteste isotopen. For dyr betyr dette at produktet, f.eks. respirert CO_2 , har en lettere karbonsignatur enn organismen. Denne fraksjoneringen av isotopene gjør at endringer i forholdet mellom nitrogen-isotopene vanligvis brukes til å vise organismens trofisk posisjon i økosystemet, mens tilsvarende endringer for karbon-isotopene benyttes til å indikere matkildene. I spesielle situasjoner som under perioder med sult vil imidlertid nedbrytning av proteiner føre til anrikning av den tyngste isotopen i organismen.

I Ringedalsvatnet ville vi derfor undersøke hypotesene om at *i*) $\delta^{13}\text{C}$ -forholdet ville øke som følge av at fisken i økende grad ville ernære seg på overflateinsekter (terrestriske eller imago av bentiske), og *ii*) $\delta^{15}\text{N}$ -forholdet i fisk ville kunne øke som en respons på sult – i tillegg til det mer vanlige forholdet at det øker som følge av en endring i trofisk posisjon (økt innslag av fisk i dietten).

Med bakgrunn i ernæringsanalysene, samt ut fra vekst- og kondisjonsforholdene, tror vi ikke at overflateinsekter har vært en viktig nok næringsressurs til å kunne forårsake et skifte i $\delta^{13}\text{C}$ -forholdet, slik

som vi antok i vår første hypotese. Vi kunne ikke observere noen generell endring i $\delta^{13}\text{C}$ -forholdet i ørret fra juni og til september i 2011, selv om mengden overflateinsekter i dietten var noe større i september sammenliknet med juni. Fyllingsgraden i magene var generelt lav, og den svakt økte forekomsten av overflateinsekter i dietten var tydeligvis ikke tilstrekkelig til å bidra til at fiskens kondisjon bedret seg utover sesongen. Fisken, med unntak av kannibalistiske individer og noen få svært unge fisk, bar preg av å være svært utsultet både i juli og september. Tilgangen på overflateinsekter var tydeligvis alt for lav til at dette i noen betydningsfull grad kunne kompensere for av bortfallet av zooplankton som matkilde.

Vi mener imidlertid å se effekter av sult på $\delta^{15}\text{N}$ -forholdet. Vi ser at det er et minimum ved en k-faktor på om lag 0,8 – for så å øke ved lavere og høyere kondisjonsfaktorer enn dette. $\delta^{15}\text{N}$ -forholdet øket også markant med fiskestørrelsen. Økningen i $\delta^{15}\text{N}$ ved lavere kondisjonsfaktorer er i samsvar med hypotesen om at ved sult må fisken nedbryte proteiner i muskelmassen (katabolisme) for å overleve, noe som fører til en masseavhengig fraksjonering av de stabile nitrogenisotopene (den tunge ^{15}N -isotopen anrikes i muskelvevet framfor den lette ^{14}N -isotopen) (Hobson et al., 1993; Gannes et al. 1999). Hos fisk er liknende forhold er funnet i eksperimentelle studier av karpe (Gaye-Sissegger et al. 2004).

Økningen i $\delta^{15}\text{N}$ -forholdet ved økende k-faktor og lengde er et tydelig tegn på at kannibalisme var eneste strategi for å kunne opprettholde et næringsinntak som kunne sikre fisken en god ernæringsmessig status og tilvekst. Kurvforløpet mellom $\delta^{15}\text{N}$ og fiskelengde indikerer at fisken kunne få en kannibalistisk atferd ved lengder helt ned til 22–23 cm.

Mer overraskende var imidlertid at $\delta^{13}\text{C}$ -forholdet viste samme ikke-lineære forløp som $\delta^{15}\text{N}$ -forholdet. Et minimum ved en k-faktor på 0,8, en enda mer markert økning ved synkende kondisjon og en økning med økende kondisjon. Differansen mellom minimum og maksimum på kurveforløpet utgjorde omlag 1 ‰ ved avtakende k-faktor og 3 ‰ ved økende. Et tilsvarende forløp har vi ikke tidligere sett beskrevet i litteraturen. Det er kjent at ved forbrenning av fett synker $\delta^{13}\text{C}$ -forholdet (Gaye-Sissegger et al. 2004, Post et al. 2007), men forholdet er ikke kjent for å øke spesielt mye med trofisk nivå. Vanligvis ser man en økning på om lag <1 ‰ per trofisk nivå (Petersen and Fry, 1987; Vander Zanden and Rasmussen, 2001). Vi antar at den markante økningen i $\delta^{13}\text{C}$ -forholdet fra minimum nivå ved k-faktor på om lag 0,8 og med økende kondisjon kan skyldes to forhold: *i)* at kannibalene i hovedsak spiser utmagret fisk som har et forhøyet $\delta^{13}\text{C}$ -forhold på grunn av ekstremt lavt fettinnhold, og *ii)* i tillegg til dette kommer den trofiske fraksjonering av C-isotoper. Disse to faktorene kombinert kan tenkes å gi en markert økning i $\delta^{13}\text{C}$ -forholdet.

Diagrammet over stabile isotoper i Mår viser ingen indikasjoner på sult og kannibalisme. Diagrammene indikerer også hvilke næringsdyr som er viktigst for veksten. Fisk mindre enn 12 cm levde av små insektslarver i bekkene og utløpsområdet til Mår, mens de med økende lengde (opp til 25 cm) går ut i Mår og lever av en blanding av større insektslarver, linsekrepss og zooplankton, og via dette får de også en høyere trofisk posisjon. Den største fisken (>25 cm) hadde i hovedsak samme trofiske nivå i perioden 2011-2013, som tilsvarer et nivå over næringsdyrene. Matkildene, indikert ved $\delta^{13}\text{C}$ signaturen, varierte betydelig i 2011. Dette viser at fisken dette året, da Mår var tilslammet, søkte næring over hele innsjøen både i strandsonen og i dypere områder (antagelig linsekrepss). I 2012 og 2013 ble variasjonen gradvis betydelig mindre. Dette indikerer en at zooplankton i økende grad betydde mer for veksten enn de andre krepssdyrene og insektslarver. Dette er i god overenstemmelse med de øyeblikksbildene vi fikk ved fiskeundersøkelsene i juni og september disse tre årene.

6.4 Alder, vekst og kondisjon

6.4.1 Alder

Da denne undersøkelsen ikke hadde som formål å kartlegge fiskebestandens alders- og størrelses-sammensetning ut fra et ordinært prøvofiske, fisket vi ikke med helt standardiserte garnserier eller i følge dybdeintervallene gitt i Norsk standard NS-EN 14757. Samme utvalg av garn og maskevidder ble imidlertid brukt ved hvert prøvofiske innen hver av lokalitetene, og endringer av alderssammensetningen i fangstene reflekterer endringer i bestandene.

I Mår bar fangstene i 2011 preg av at det ble fisket på en akkumulert bestand, med mange eldre individer i aldersgruppe 9–15 år. I 2012 var det tydelig skjedd en desimering blant disse, noe som også forsterket seg i 2013 da den relative forekomsten av dette alderssegmentet var enda lavere. Dette kan tyde på at de eldre aldersgruppene har blitt utsatt for en større mortalitet enn de yngre under nedtappingen og tilslammingen av magasinet i 2011. Disse eldre aldersgruppene er imidlertid også innenfor en lengdegruppe som det drives et utstrakt næringsfiske etter. Da fiskeinnsatsen på Maarfjell sameige, som er et av flere vald der det drives et aktivt garnfiske, økte betydelig fra 2011 og til 2012 så kan dette også ha påvirket alderssammensetningen.

I Ringedalsvatn var det ingen like tydelig tendens til en forskyvning i aldersstrukturen. Midlere alder i 2012 var riktignok noe lavere enn i de to andre fangstårene (0,5–1 år) og det ble fanget noen flere eldre og større kannibalistiske individer under tilslammingen i 2011, men en like tydelig endring i aldersstrukturen som i Mår kunne vi ikke spore.

6.4.2 Vekst

De to undersøkte bestandene hadde svært ulike vekstmønstre. Ørreten i Mår vokste generelt bedre enn i Ringedalsvatnet, og for de eldre aldersgruppene (≥ 10 år) stagnerte veksten og de oppnådde en midlere lengde på omlag 30 cm eller en gjennomsnittsvekt på omlag 250–300 g. Det var ingen vekstomslag som tydet på at noen individer i Mår gikk over til et fiskespisende levesett.

Hos ørreten fra Mår var vekstkurvene for de enkelte årene i perioden 2011–2013 svært like, og en visuell sammenlikning viste at yngre fisk (4–6 år) var noe lengre i 2012 enn i de andre årene. Tilbakeberegning av sesongtilveksten, basert på sonebreddene i otolittene, viste imidlertid at lengdetilveksten i sommer-sesongen 2011 var svak, men at den bedret seg i 2012 og enda mer i 2013. Eksempelvis økte tilveksten for aldersgruppe 4 år fra 18,2 mm til 24,3 mm fra 2011 og til 2013. Sesongtilveksten avtok med alderen, og for aldersgruppe 8 år var den 12,5 mm i 2011 og 16,8 mm i 2013.

Den reduserte tilveksten i 2011 for ørreten fra Mår skyldes mest sannsynlig nedtappingen og tilslammingen som preget vannmassene inn i 2011, og de konsekvenser dette hadde for fiskens byttedyr og næringsgrunnlag. De bedre økologiske forholdene i 2012 og 2013 ga en umiddelbar respons i økt tilvekst, og viser at nedtappingen hadde kortvarige effekter på fiskens vekt.

Ørreten i Ringedalsvatnet var i hovedsak en småfallen bestand, men en liten andel av populasjonen hadde blitt spesialiserte fiskespisere og oppnådde god vekst og stor størrelse. De eldste aldersgruppene (7–9 år) nådde en midlere størrelse på omlag 22–23 cm eller en gjennomsnittsvekt på omlag 120–140 g. Av de store kannibalistiske individene fanget vi individer med en lengde på opptil 52 cm og en vekt på 2,1 kg.

Som for Mår kunne vi ikke observere noen stor forskjell på vekstkurvene for 2011–2013, men en reduksjon i midlere lengde fra juni til september 2011 for aldersgruppe 5, som var den dominerende aldersgruppen, tyder på at størrelsesavhengig dødelighet har selektert bort de største individene i denne aldersgruppen. Slik størrelsesavhengig dødelighet kan også ha virket på de ikke-fiskespisende individene i de øvrige aldersgruppene, men i mindre grad, slik at effekten av den ikke manifesterte seg som en negativ vekst.

Ørretens lengdetilvekst i de tre undersøkte sesongene varierte betydelig i Ringedalsvatnet. Den midlere tilveksten i 2011 var ekstremt liten, ikke mer enn 0,3-0,4 cm for de dominerende aldersgruppene 3-6 år. Til sammenlikning var sesongtilveksten i 2012 og 2013 betydelig bedre, med henholdsvis 1,4-2,2 cm og 2,0-3,3 cm. Dette avspeiler fiskens næringstilgang disse årene, og at tilslammingen av vannmassene i 2011 fullstendig slo ut zooplanktonet som tidligere har vært er den viktigste næringsressursen til ørreten (Borgstrøm et al. 1986). Den raske bedringen i 2012 skyldes trolig en kombinasjon av bedret næringstilgang på grunn av redusert tilslamming og den stigende vannstanden som la strandområder med organisk materiale og vegetasjon under vann og skapte et godt habitat for meitemark og andre littorale organismer. Det er også rimelig å anta at tilslammingen i 2011 også desimerte bestanden kraftig slik at det ble vesentlig mindre næringskonkurranse. Igjen er det påfallende hvor kortvarig effekten nedtappingen av magasinet hadde på veksten i bestanden og hvor raskt situasjonen normaliserte seg.

6.4.3 Kondisjon og kjøttfarge

Nedtappingen av magasinene førte til at fiskens kondisjonsfaktor sank, men i en ekstremt større grad i Ringedalsvatnet enn i Mår. I Mår var midlere kondisjonsfaktor (K-faktor) i 2011 omlag 1,0, men variasjonsbredden var stor og en stor andel av fisken var i relativt dårlig ernæringsmessig hold med en kondisjonsfaktor mellom 0,85 og 1. Dette forholdet holdt seg også igjennom 2012, og fiskens kondisjon ble ikke signifikant bedret før i 2013 da midlere K-faktor økte til omlag 1,1. Dette sammenfaller med bedringen i ernæringsforholdene etter at magasinet ble fylt opp.

I Ringedalsvatnet var store deler av ørretpopulasjonen utsultet i 2011, og midlere kondisjonsfaktor var 0,67-0,74 i de dominerende aldersgruppene og mer enn 10 % av disse hadde en K-faktor mindre enn 0,6. Dette kan være kritisk lave verdier, og for regnbueørret er det vist at det er overveiende sannsynlig at fisken sulter i hjel når kondisjonsfaktoren faller til 0,55-0,60 (Reimers, 1957). Tidlig på sommeren 2012 var kondisjonen til fisken fortsatt dårlig, og først på høsten ble det tegn til vesentlig bedring. Vi må derfor regne med at ørretbestanden ble betydelig desimert på grunn av nedtappingen. Det var særlig de mellomstore individene i størrelsesgruppen 18-22 cm som hadde lavest kondisjon, for de mindre individene økte K-faktor med minskende lengde, mens for de større økte K-faktor med lengde på grunn av et økende innslag fisk i dietten for disse. Fisk i svært dårlig kondisjonen var trolig et lett bytte for større fisk, og nedtappingen av magasinet ført trolig til at en større andel av populasjonen fikk et innslag av fisk i dietten.

Det var en klar trend med at fisken fikk mer rødfarge i kjøttet etter at magasinene ble fylt opp og andelen krepsdyr i ernæringen økte. I Mår i 2013 ble kjøttfargen i hele 70-80 % av fisken klassifisert som rød, og ingen med hvit kjøttfarge ble funnet. I Ringedalsvatnet under nedtappings-perioden i 2011 hadde nær 75 % av fisken hvit kjøttfarge, men høsten 2013 hadde denne andelen sunket til omlag 10 % og hele 80 % av fisken ble klassifisert som lys rød.

Både kondisjonsmessig og med hensyn til kjøttfarge må det derfor konkluderes med at den ekstreme nedtappingen i magasinene hadde en kortvarig effekt på fisken og at den restituerte seg relativt hurtig etter at vannstanden ble hevet og vannmassene klarnet opp.

6.5 Rekruttering i Mår

Den snøfattige vinteren 2010/2011 kunne ført til en bunnfrysing av gytebekker i nedbørfeltet til Mår. En slik hendelse skjedde i vinteren 1995/1996 over store deler av Sørøst-landet (Rognerud et al. 2003). EL-fiske undersøkelser i september 2011 i Hetteåi og Uppnesåi, som er klart de viktigste gytebekkene til Mår, viste imidlertid at dette ikke var tilfelle. Tettheten av yngel og ungfisk var innenfor det som kan forventes i alpine områder i henhold til Miljødirektoratets klassifiseringssystem for Vannforskriften (Sandlund, 2013)

6.6 Kvikksølv i Ringedalsvatn

Forekomsten av kvikksølv i ørret fra Ringedalsvatnet ble undersøkt i både 2011 og 2012, for å kartlegge eventuelle effekter nedtappingen og de svært turbide vannmassene kunne ha på biomagnifisering av kvikksølv i fisk.

Konsentrasjonen av kvikksølv økte som forventet med fiskens lengde og trofiske nivå målt som $\delta^{15}\text{N}$. Konsentrasjonene i den ikke-fiskespisende fisken i størrelsesintervallet 15–25 cm var innenfor det vanlig forekommende konsentrasjonsområdet på 0,05–0,20 mg/kg (våtvekt) som vi finner i Sør-Norge (Fjeld og Rognerud 2004). I større fiskespisende fisk (> 35 cm eller 1,3 kg) oversteg konsentrasjonene Mattilsynets og EUs grenser for omsetning til konsum på 0,5 mg/kg (EU 2006), men dette er ikke uvanlig å finne blant den fiskespisende delen av bestandene i norske innsjøer (Fjeld og Rognerud 2002, 2004)

Et spesielt fenomen i 2011, som vi ikke tidligere har observert, var at kvikksølvkonsentrasjonen begynte å stige ved særlig lave kondisjonsfaktorer (k -faktor < 0,8). Vi ser det ikke som usannsynlig at dette er en avmagringseffekt. Kvikksølv i fisk er bundet opp som metyl-Hg i proteiner, og det skilles langsomt ut av organismene. Når muskelvevet forbrennes under perioder med ekstrem sult (katabolisme) ser vi det som sannsynlig at vektendringene er større enn utskillingsratene av kvikksølv. Konsekvensen vil da bli en oppkonsentrering av kvikksølv i fisk. Et tankekors vil da være at det trolig er de samme utsultede individene som er lett tilgjengelig byttefisk for den større kannibalistiske ørreten – noe som gjør de særlig utsatt for biomagnifisering av kvikksølv. Denne store kannibalistiske ørreten hadde høy kondisjonsfaktor, og sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjonen og K -faktor hadde derfor et U-formet forløp. For 2012, hvor bestandens ernæringsmessige status hadde bedret seg betydelig, var det ingen tegn til at kvikksølvkonsentrasjonen begynte å stige hos fisk med de laveste k -faktorene. Disse forholdene har trolig bidratt til at midlere kvikksølvkonsentrasjon i 2011 var større enn i 2012.

Kildene til kvikksølv i Ringedalsvatnet kan være både lokale og langtransporterte, men vi antar at de langtransporterte kildene dominerer. Det er ingen direkte lokale utslipp av kvikksølvforurensinger til Ringedalsvatn, og hovedkilden til kvikksølvforurensinger må derfor å være atmosfæriske avsetninger. Tidligere var det store utslipp til både luft og sjø fra den nærliggende smelteverksindustrien ved Odda, men disse har blitt betydelig redusert i perioden 1980 og fram til begynnelsen av 2000-tallet da Odda smelteverk ble nedlagt (Ruus et al. 2012). Totale utslipp til luft i Norge i 2012 er beregnet til drøyt 400 kg, hvorav ulik smelteverkindustri i Odda kommune bidro med ca. 9 kg (Miljødirektoratet 2014). Nedfall av lokale utslipp i Odda kan spores i terrestriske moseprøver (Berg et al. 2003, Steinnes et al. 2011), men de lokale utslippene føres i alt vesentlig i nordlig retning langs fjorden og i sørlig retning oppover dalen fra fjordbunnen. Vi antar derfor at tilførselen av kvikksølv til Ringedalens nedbørfelt, som ligger høyt (465 moh) i Hardangerviddas vestlige randområder, i stor grad skyldes langtransporterte atmosfæriske avsetninger – slik som det ellers er vanlig i Skandinavia (Munthe et al. 2005).

7. Referanser

- Appelberg, M., Berger, H. M., Hesthagen, T., Kleiven, E., Kurkilahti, M., Raitaniemi, J. and Rask, M. 1995. Development and intercalibration of methods in Nordic freshwater fish monitoring. *Water, Air, & Soil Pollution*, 85: 401-406.
- Berg, T., Fjeld, E., Skjelkvåle, B.L. og Steinnes, E. 2003. Relativ betydning av nasjonale metallutslipp i forhold til avsetning fra atmosfærisk langtransport og naturlige kilder. SFT, rapport TA-1950/2003. 80 s.
- Bogen, J., Bønsnes, T.E., 2001. Virkninger av effektregulering på erosjon og sedimentasjon i vannkraftmagasiner. Effektregulering – miljøvirkninger og konfliktreducerende tiltak. Statkraft Grøner, 64 s.
- Borgstrøm, R. 1973. The effect of increased water level fluctuation upon the brown trout population of Marvann, a norwegian reservoir. *Norw. J. Zool.* 21: 101-112
- Borgstrøm, R. og Solheim J.T. 1984. Bestandskarakterer og næringsopptak for auren i Ringedalsmagasinet. En forundersøkelse sommeren 1984. Institutt for naturforvaltning, NLH.
- Borgstrøm, R., Brabrand, Å. og Solheim, J.T. 1986. Tilslamming og redusert siktedyp i Ringedalsmagasinet: Virkning på habitatbruk, næringsopptak og kondisjon hos pelagisk aure. LFI-Oslo. Rapport nr. 90. 36 s.
- Borgstrøm, R., Brabrand, Å., and Solheim, J.T. 1992. Effects of siltation on resource utilization and dynamics of allopatric brown trout, *Salmo trutta*, in a reservoir. *Environ. Biol. Fish.* 34:247-255.
- Borgstrøm, R., Jonsson, B. og L'Abée-Lund (red). 1995. Ferskvannsfisk. Økologi, kultivering og utnytting. Norges forskningsråd. 268 s.
- Brabrand, Å. 2007. Virkninger av lav sommervannstand på fisk i reguleringsmagasiner. Rapport 249-2007, LFI Oslo.
- Craig, H. 1953. The geochemistry of stable carbon isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 3: 53-93.
- Dahl, K. 1910. Alder og vekst hos laks og ørret belyst ved studier av deres skjæl. Centraltrykkeriet, Kristiania: 115 s.
- Fjeld, E. og Rognerud, S., 2002. Kvikksølv i storørret og -røye i norske innsjøer, 2000-2001. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport 1.nr OR-4502. 42 s.
- Fjeld, E., Rognerud, S., 2004. Kvikksølv i ferskvannsfisk fra Sør-Norge i 1998-2002, nivåer og tidsmessig utvikling. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport l.nr. OR-4813. 57 s.
- Fjeld, E. og Rognerud, S. 2014. Forsøk med fosfatgjødsling av reguleringsmagasinet Ringedalsvatnet, 2013. NIVA, rapport (in prep.)
- Fjellheim, A., Halvorsen, G. A og Hobæk, A. 2011. Biologiske konsekvenser av Langavatn pumpekraftverk. LFI-Uni Miljø rapport nr. 183. 37s.
- Gannes, L. Z., O'Brien, D. M. & Martínez del Rio, C. 1997. Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more laboratory experiments. *Ecology* 78: 1271–1276.
- Gaye-Siessegger, U., Focken, U., Muetzel, S. Abel, H., Becker, K. 2004. Feeding level and individual metabolic rate affect $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values in carp: implications for food web studies. *Oecologia* 138: 175-183.
- Hecky, R. E. and Hesslein, R. H. 1995. Contributions of benthic algae to lake food webs as revealed by stable isotope analysis. *J. North American Biological Society* 14: 631-653.
- Hobson, K. A., Alisauskas, R. T., and Clark, R. G. 1993. Stable-nitrogen isotope enrichment in avian tissues due to fasting and nutritional stress: implications for isotopic analysis of diet. *Condor* 95:388-394.

Mariotti, A. 1983. Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural abundance ^{15}N measurements. *Nature*, 303: 685 – 687.

Miljødirektoratet 2014.

<http://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Kvikksolv/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=74&SectorID=90>

Minagawa, M. and Wada, E. 1984. Stepwise enrichment of d^{15}N along food chains: further evidence and the relation between d^{15}N animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48.

Munthe, J., I. Wangberg, S. Rognerud, E. Fjeld, M. Verta, P. Porvari, and M. Meili. 2007. Hg in Nordic ecosystems, Nordic council of ministers, IVL Report B1761, Stockholm, Sweden. 42 p.

Peterson, B. J., and B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 18: 293–320.

Reimers, N. 1957. Some aspects of the relation between stream foods and trout survival. *Calif. Fish and Game* 43: 43-69.

Post, D.M., Layman, D.A., Arrington, G. Takimoto, J., J. Quattrochi, Montana C.G. 2007. Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia* 152: 179-189.

Rognerud, S., Borgstrøm, R., Qvenild, T., Tysse, Å. 2003. Ørreten på Hardangervidda. Næringsnett, Kvikksølvinnhold og klimavariasjoner – følger for fiske og forvaltning. NIVA-rapport 4712-2003. 68s.

Rognerud, S og Brabrand, Å. 2010. HydroFish-prosjektet: Sluttrapport for undersøkelsene 2007-2010, 74s. Sandlund, O.T. (red) 2013. Vannforskriften og fisk – forslag til klassifiseringssystem. Miljødirektoratet. Rapport M22-2013. 60 s.

Ruus, A., Kvassnes, A., Skei, J., Green, N., Schøyen, M., 2012. Overvåking av miljøforholdene i Sørfjorden 2011. Metaller i vannmassene, Miljøgifter i organismer. Klif, rapport TA 2947/2012. 95 s.

Sandlund, O.T (red). 2013. Vannforskriften og fisk – forslag til klassifiseringssystem. Miljødirektoratet, rapport M 22-2013, 59s.

Solheim, J.T. 1984. Fiskekultiveringsarbeide og fiskeribiologiske undersøkelser i AS Tyssefaldenes reguleringsområde. 1981/1982/1983. Rapport 1/84. 60s.

Solheim, J.T. 1985. Auren i Ringedalsmagasinet. Hovedoppgave i Naturforvaltning. Norges Landbrukshøgskole, Ås, 46s.

Steinnes, E., Uggerud, H.T., og Aspmo Pfaffhuber, K. 2011. Nedfall av tungmetaller rundt norske industrier studert ved analyse av mose: Undersøkelse i 2010. Klif, rapport TA- 2860/2011. 69 s.

Vander Zanden M.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.

Vander Zanden, J. M. and Vadeboncoer, Y. 2002. Fishes as integrators of benthic and pelagic food webs in lakes. *Ecology*, 83: 2152 – 2161.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no