

Fosfatgjødsling av Ringedalsvatnet – et oligotroft reguleringsmagasin



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

Sandvikveien 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 Fosfatgjødning av Ringedalsvatnet – et oligotroft reguleringsmagasin	Løpenr. (for bestilling) 6690-2014	Dato 10.05.2014
	Prosjektnr. Undernr. 13254	Sider Pris 37
Forfatter(e) Eirik Fjeld og Sigurd Rognerud	Fagområde vannkraft, limnologi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Rogaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statkraft Energi AS	Oppdragsreferanse Arne Erlandsen
---	-------------------------------------

Sammendrag

Det oligotrofe reguleringsmagasinet Ringedalsvatn (Odda kommune) ble i juni 2013 gjødslet med fosfat som et eksperimentelt tiltak for å stimulere primærproduksjonen og kvaliteten av ørret. Gjødslingen hevet den epilimniske konsentrasjonen av fosfat fra omlag 1 til 4 $\mu\text{g P/l}$. Utviklingen i plante- og zooplanktonets biomasse og sammensetning ble fulgt gjennom vekstsesongen. Ernæring, tilvekst, kondisjon, kjøttfarge og stabile isotoper ($\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$) hos fisken ble øg registrert. Fytoplanktonets biomasse (0-10 m) ble omlag fordoblet fra juli og til september, men maksimalt nivå var forholdsvis lavt (0,18 mm^3/l). I littoralsonen ble det registrert en betydelig vekst av påvekstlger. Zooplankton-biomassen (0-10 m) økte fra 17 mg/m^3 i juli til et maksimalt, men moderat, nivå på 90 mg/m^3 i august. Fiskens sesongtilvekst (tilbakeberegnet) var vesentlig bedre enn tidligere år. For 5- og 6-åringene (middellengder 18,3 og 20,1 cm), som var de dominerende aldersgrupper i fangstene, var midlere tilvekst 3,3 og 1,5 cm, dvs. 90 og 50 % større enn i 2012. Ernæringen ble først dominert av overflateinsekter, men den littorale vannloppen linsekreps ble viktigste byttedyr for 5- og 6-åringene på høsten. Fiskens kondisjon i 2013 var god (k-faktor: 1,1). Andelen fisk med lys rød og rød kjøttfarge økte markant utover sesongen, noe som trolig skyldes økt innslag av linsekreps i dietten. Gjødslingen førte til en moderat økning i produksjonen av planteplankton, men en mer markant økning i mengden littorale påvekstlger som igjen skapte et gunstig habitat for linsekreps.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Fisk	1. Fish
2. Zooplankton	2. Zooplankton
3. Gjødsling	3. Fertilization
4. Fosfat	4. Phosphate

Eirik Fjeld
Prosjektleder

Elisabeth Lie
Forskningsleder

Fosfatgjødning av Ringedalsvatnet – et oligotroft reguleringsmagasin

Forord

På oppdrag fra Statkraft har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) gjennomført et pilotprosjekt på gjødsling av det sterkt regulerede magasinet Ringedalsvann i Odda kommune. Prosjektets hensikt var å øke den biologiske produksjonen og kvaliteten på ørretbestanden ved en moderat gjødsling med fosfat. Slik gjødsling kan vurderes som et avbøtende tiltak i sterkt modifiserte vannforekomster, og resultatene forventes å ha relevans og overføringsverdi for andre reguleringsmagasiner.

Regulering av innsjøer fører ofte til en reduksjon i fiskeproduksjonen, ikke bare på grunn av forringelse av rekrutteringen, men også fordi viktige næringsdyr i reguleringssonen forsvinner fordi høyere vegetasjon og påvekstalger ikke lenger kan etablere seg her. Dette fører til en oligotrofiering av innsjøen, da den pelagiske primærproduksjonen ikke kan kompensere for dette tapet. En oppdemming vil også kunne øke tilbakeholdelsen av næringsalter i innsjøen ved at en større andel sedimenteres på grunn av økt oppholdstid, og derved ikke er tilgjengelig for primærprodusentene

Et kompensierende tiltak kan være å kunstig stimulere primærproduksjonen ved å tilsette nødvendige næringsalter. En slik gjødsling vil igjen føre til en økt produksjon av primærkonsumenter som vannlopper og hoppekreps, som er viktige byttedyr for fisk i regulerede sjøer.

Feltarbeid, prøvetakning og rapportering har vært gjort av Sigurd Rognerud og Eirik Fjeld ved NIVA. Eirik Fjeld har stått for aldersanalysene av fisk, Jarl Eivind Løvik (NIVA) har gjort zooplanktonanalysene og Birger Skjelbred (NIVA) har gjort analysene av fyttoplankton. Institutt for energiteknikk (IFE) har utført analysene av stabile isotoper. Kontaktpersoner i Statkraft har vært Arne Erlandsen sentralt, og Hans Henrik Haukås i Tyssedal.

Vi takker alle involverte for et godt samarbeid.

Oslo, 10. april 2014

Eirik Fjeld

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	8
1.1 Prosjektets formål	8
1.2 Reguleringer og fiskeproduksjon	8
1.2.1 Tilsetning av næringssalter	8
2. Materiale og metoder	11
2.1 Beskrivelse av Ringedalsvatnet	11
2.2 Beskrivelse av fiskesamfunnet	13
2.3 Gjennomføring av gjødsling	13
2.4 Kartlegging av biologisk respons	14
2.4.1 Prøvefiske	14
2.4.2 Vannkvalitet	15
2.4.3 Alger og zooplankton	15
2.4.4 Stabile isotop-analyser (SIA)	15
3. Resultater	16
3.1 Temperatur og siktedyp	16
3.2 Vannkjemi	17
3.3 Fytoplankton og påvekstalger	19
3.4 Zooplankton	20
3.5 Fisk	21
3.5.1 Alder, lengde og vekst	21
3.5.2 Kondisjon	25
3.5.3 Ernæring	26
3.5.4 Kjøttfarge	27
3.5.5 Stabile isotop-analyser	28
4. Diskusjon	30
4.1 Vannkjemi	30
4.2 Fytoplankton og påvekstalger	31
4.3 Zooplanktonsamfunnet	31
4.4 Ernæring	32
4.5 Vekst og kvalitet hos fisk	33
5. Referanser	35

Sammendrag

Formål

NIVA har i 2013, på oppdrag fra Statkraft, gjennomført et gjødslingsprosjekt i det sterkt regulerte og næringsfattige (oligotrofe) magasinet Ringedalsvatn i Odda kommune. Prosjektets hensikt var å kompensere for tap i produksjonen av kvaliteten på ørretbestanden forårsaket av reguleringen. Slik gjødsling kan vurderes som et avbøtende tiltak i sterkt modifiserte vannforekomster, og resultatene forventes å ha relevans og overføringsverdi for andre reguleringsmagasiner. Prosjektet er gjennomført i forståelse med fylkesmannen i Hordaland som har gitt NIVA tillatelse til fosfortilsetningen

Dette har vært et pilotprosjekt hvor hovedmålet var å høste erfaringene med gjødsling av næringsalter i regulerte innsjøer. Spesifikt ville vi prøve ut hvorvidt en enkelt, moderat dosering av fosfat fra båt ville være tilstrekkelig til å gjødsle opp epilimnion i et middelsstort reguleringsmagasin, undersøke varigheten av denne doseringen, og kartlegge den biologiske responsen med hensyn til biomasse og arts sammensetning av fytoplankton og zooplankton, samt ernæring, tilvekst og kondisjon hos fisk.

Resultatene på fisk fra 2013 har blitt sammenliknet med resultater fra 2011 og 2012. I 2011 var magasinet sterkt nedtappet og vannmassene var tilslammet på grunn av erosjon av finkornige sedimenter i strandsonen. Fisken dette året var sterkt utsultet på grunn av næringsmangel etter at zooplanktonproduksjonen kollapset. I 2012 var magasinet fylt opp, vannkvaliteten normaliserte seg og fisken fikk en god kondisjon på høsten.

Vannkjemi

Gjødslingen ble gjennomført 11. juni 2013 ved å tilsette 240 kg P som løst fosfat i østre del av Ringedalsvatnet. En måned seinere hadde doseringen spredt seg over hele innsjøens overflatelag og konsentrasjonen av totalt fosfor i sjiktet 0-10 m var blitt hevet fra omlag 1 til 4 $\mu\text{g P/l}$. Tre måneder etter gjødslingen, da sjiktningen i sjøen begynte å bryte sammen, var midlere konsentrasjon i sjiktet 0-40 m ved tre stasjoner 1,3–2,3 mg P/l. Konsentrasjonen av totalt nitrogen varierte lite gjennom sesongen og konsentrasjonene (0-40 m) var i området 100–120 $\mu\text{g N/l}$.

Fytoplankton og påvekstlger

Fytoplanktonets biomasse (0-10 m) ble omlag fordoblet fra juli og til september, for deretter å avta noe i oktober, men maksimalt nivå (0,18 mm^3/l) var forholdsvis lavt. Fytoplankton-samfunnet besto i hovedsak av gullalger, grønnalger, fureflagellater og kiselalger. Den relative forekomsten av grønnalger og kiselalger økte utover sesongen. Indeksene for planteplanktonet indikerer tilstand svært god, basert på klassegrensene for innsjøtype L-N5 (store, kalkfattige, klare innsjøer i henhold til innsjøklassifiseringen i Vanddirektivet). Den moderate responsen til fytoplanktonet på gjødslingen kan ha sammenheng med at det øvre sirkulerende vannsjikt (epilimnion) var forholdsvis dypt gjennom hele sommersesongen og at kritisk dyp (hvor sum primærproduksjon = sum respirasjon) derfor har ligget nær sprangsjiktet (termoklinen).

I september og oktober kunne vi stedvis observere betydelige mengder trådformede påvekstlger (perifyton) på neddemmede trær, busker og stein i littoralsonen. Vi hadde ingen muligheter til å kvantifisere disse forekomstene, men ut fra fisketettheten her, indikert ved garnfiske, var dette et viktig habitat for fisken. Tettheten av påvekstlger syntes å være størst i østre del av Ringedalsvatnet.

Zooplankton

Zooplanktonets biomasse var svært lav på tidspunktet før gjødsling i juli (4-25 mg/m^3), men utviklet seg raskt utover sommeren både med hensyn til artsdiversitet og tetthet. I august var biomassen i sjiktet 0-10 m i området 80–130 mg/m^3 for så å bli vesentlig redusert til 20-50 mg/m^3 i begynnelsen av oktober da termoklinen brøt sammen. De dominerende gruppene i zooplanktonet var i hovedsak rotatorier og calanoide copepoder (diaptomider, *Arctodiaptomus laticeps*) tidlig i juli, mens calanoide copepoder og

vannlopper (*Bosmina longispina*) dominerte i august og calanoide copepoder i oktober. I motsetning til tidligere undersøkelser på 1980-tallet ble det ikke påvist den cyclopoide copepoden *Cyclops scutifer* eller vannloppen gelekreps (*Holopedium gibberum*).

Fisk

Mageundersøkelsene på fisk viser at zooplankton ikke utviklet seg til å bli noen betydelig næringsressurs etter gjødslingen. Overflateinsekter var viktigste byttedyrgruppe på våren, med unntak hos den yngste fisken hvor zooplankton dominerte. På høsten ble den littorale vannloppen linsekreps (*Eurycerus lammelatus*) et viktig næringsemne hos 5- og 6-åringene, mens overflateinsekter dominerte hos de eldre aldersgruppene. Trolig har etableringen av perifytiske påvekstlanger i littoralsonen skapt et gunstig habitat for linsekrepsen.

Noen storvokste individer ble spesialiserte kannibaler, og analyser av stabile N-isotoper ($\delta^{15}\text{N}$ -forholdet) indikerte at når fisken ble større enn 22–24 cm ble fikk den et økende innslag i av fisk i dietten. Økende $\delta^{13}\text{C}$ -verdier fra 2011 og til 2013 kan tyde på at det pelagiske næringsnett hadde vært viktige før nedslammingen startet i 2011, men at det deretter skjedde en dreining mot littorale bunndyr (meitemark i 2012, linsekreps i 2013) og overflateinsekter som hovednæringsemner.

Andelen fisk med lys rød og rød kjøttfarge økte markant utover sesongen i 2013, noe som trolig skyldes økt innslag av linsekreps i dietten.

Tilveksten og kondisjonen til ørreten i de tre undersøkte årene (2011–2013) varierte betydelig, fra meget lav i 2011 til god i 2013. For 5- og 6-åringene, som var de dominerende aldersgrupper i fangstene, var midlere lengdetilvekst henholdsvis 90 og 50 % større enn i 2012. Ulikhetene avspeiler de store forskjellene i produksjonen av byttedyr og fiskens næringsgrunnlag disse tre årene, og resultatene indikerer at gjødslingen har hatt positive effekter på fiskens vekst og kvalitet.

Konklusjoner

- En enkel gjødsling med løst fosfat (240 kg P) fra båt i innsjøens østre basseng var tilstrekkelig til å heve konsentrasjonene i epilimnion i hele bassenget fra 1 til 4 $\mu\text{g}/\text{l}$ i øvre 0-10 m vannsjikt. Hovedparten av doseringen holdt seg i epilimnion fram til innsjøens sjiktning brøt sammen i oktober.
- Gjødslingen førte trolig til en moderat økning i produksjonen av planteplankton, men en mer markant økning i mengden littorale påvekstlanger som igjen skapte et gunstig habitat for linsekreps.
- Zooplanktonsamfunnet utviklet seg raskt fra juli og til august, men de totale biomassene var lave. Rotatorier og calanoide copepoder var generelt de viktigste hovedgruppene, mens i august ble vannloppen *Bosmina longispina* en dominerende art øst i bassenget.
- Fiskens sesongtilvekst var vesentlig bedre i 2013 enn tidligere år, og dens kondisjon var svært god. Zooplankton ble ikke noe betydelig næringsemne. Overflateinsekter dominerte tidlig på sesongen, men den littorale vannloppen linsekreps ble et viktig byttedyr på høsten. Andelen fisk med lys rød og rød kjøttfarge økte markant utover sesongen, noe som trolig skyldes økt innslag av linsekreps i dietten.

Summary

Title: Phosphate fertilization of Lake Ringedalsvatnet – an oligotrophic hydroelectric reservoir

Year: 2014

Author: Eirik Fjeld and Sigurd Rognerud

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6425-8

The oligotrophic hydroelectric reservoir Lake Ringedalsvatnet (Odda municipality, S.W. Norway) was in June 2013 fertilized with phosphate as an experimental measure to stimulate primary production and the quality of Brown trout. The fertilization raised the epilimnic concentration of phosphate from about 1 to 4 mg P/L.

Developments in phytoplankton and zooplankton biomass and composition were followed throughout the growth season. Diet, length, weight, condition, flesh color and stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in fish were also recorded.

Phytoplankton biomass (0–10 m) was approximately doubled from July to September, but the maximum level was relatively low (0.18 mm³ /L). In the littoral zone, there was a significant growth of periphytic algae. Zooplankton-biomass (0–10 m) increased from 17 mg/m³ in July to a maximum but moderate level of 90 mg/m³ in August.

Seasonal fish growth (back calculated) was significantly better than previous years. For age groups 5 and 6 years (average length 18.3 and 20.1 cm), which were the dominant age groups in the catches, the average growth of 3.3 and 1.5 cm, i.e. 90% and 50% greater than in 2012.

Fish diet was first dominated by surface insects, but the littoral water flea *Eurycerus lamellatus* became an important prey item for age groups 5 and 6 years in the fall.

The fish's condition factor in 2013 was good with an average k-factor of 1.1. The proportion of fish with bright red and red flesh color rose markedly throughout the season, probably due to the increased importance of *E. lamellatus* in the diet.

To conclude, the lake fertilization led to a moderate increase in the production of phytoplankton, but a more marked increase in the amount of littoral periphytic algae, which created a favorable habitat for *E. lamellatus*. The Brown trout population experienced a significantly improved seasonal length growth and condition factor due to the measure.

1. Innledning

1.1 Prosjektets formål

NIVA har på oppdrag fra Statkraft gjennomført et prosjekt på gjødsling av det sterkt regulerede magasinet Ringedalsvatn i Odda kommune. Prosjektets hensikt var å øke den biologiske produksjonen og kvaliteten på ørretbestanden ved en moderat gjødsling med fosfat. Slik gjødsling kan vurderes som et avbøtende tiltak i sterkt modifiserte vannforekomster, og resultatene forventes å ha relevans og overføringsverdi for andre reguleringsmagasiner. Prosjektet er gjennomført i forståelse med fylkesmannen i Hordaland som har gitt NIVA tillatelse til fosfortilsetningen

I prosjektet skulle det undersøkes effekter av kunstige tilførsler av næringssalter, med formål å kompensere for tap i fiskeproduksjonen forårsaket av regulering. Det var et pilotprosjekt, gjennomført i 2013, hvor hovedmålet var å høste erfaringene med gjødsling av næringssalter i regulerede innsjøer.

Spesifikt ville vi prøve ut hvorvidt en enkelt, moderat dosering av fosfat fra båt ville være tilstrekkelig til å gjødsle opp epilimnion i et middelsstort reguleringsmagasin, undersøke varigheten av denne doseringen, og kartlegge den biologiske responsen med hensyn til biomasse og artsammensetning av fytoplankton og zooplankton, samt ernæring, tilvekst og kondisjon hos fisk.

1.2 Reguleringer og fiskeproduksjon

Regulering av innsjøer fører ofte til en reduksjon i fiskeproduksjonen fordi bestandene av viktige næringsdyr i reguleringssonen blir redusert eller forsvinner. En oppdemming vil også kunne øke tilbakeholdelsen av næringssalter i innsjøen ved at en større andel sedimenteres på grunn av økt oppholdstid, og derved ikke er tilgjengelig for primærprodusentene

I en naturlig innsjø er det den grunne delen av littoralsonen, ofte ned til 5–6 meters dyp, som er det viktigste habitatet for bunndyrproduksjonen. En regulering fører til erosjon og utvasking av finstoff fra reguleringssonen, med en påfølgende sedimentering under laveste regulerede vannstand. Produksjonsgrunnlaget for viktige næringsdyr forsvinner fordi høyere vegetasjon og påvekststalger ikke lenger kan etablere seg i reguleringssonen. Dette fører til en oligotrofiering av innsjøen, da den pelagiske primærproduksjonen ikke kan kompensere for dette tapet.

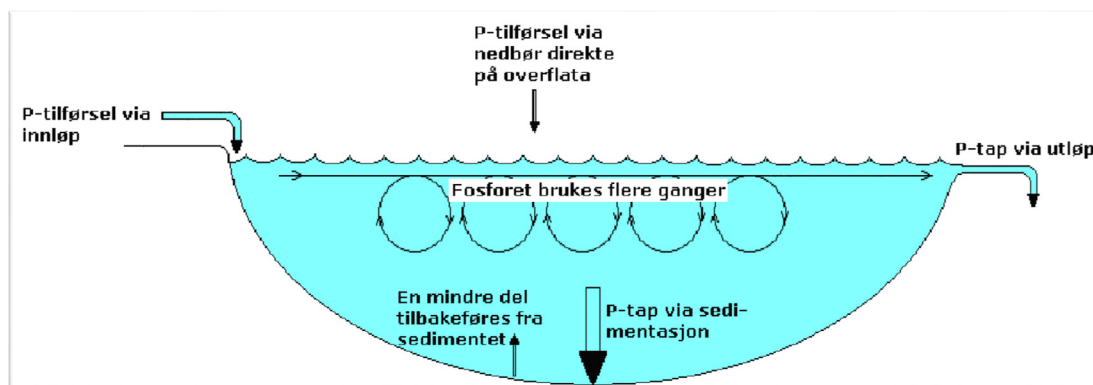
I regulerede innsjøer blir derfor krepsdyrplankton og terrestriske insekter de viktigste næringsdyrene, sammen med eventuelle bunndyr fra de dypere profundale områdene.

1.2.1 Tilsetning av næringssalter

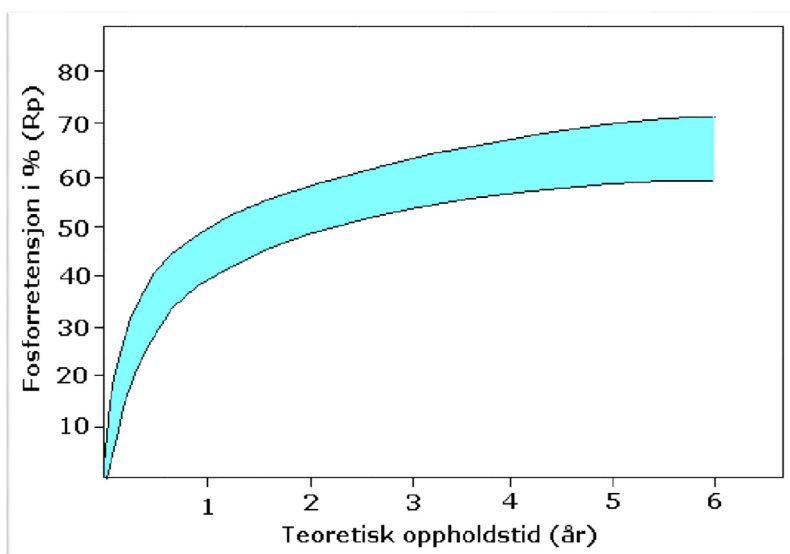
Et kompensierende tiltak kan være å kunstig stimulere den pelagiske primærproduksjonen ved å tilsette nødvendige næringssalter. En slik gjødsling vil igjen føre til en økt produksjon av planktoniske krepsdyr, som er viktige byttedyr for fisk i regulerede sjøer.

Fosfor er oftest det begrensende næringsselement i ferskvann. Det må imidlertid stå i et balansert forhold til algetilgjengelig nitrogen, som oftest i form av nitrat – eventuelt ammonium. Jern kan også være et begrensende element i mer spesielle tilfeller, samt silisium for gruppen kiselalger. På massebasis vil det optimale N:P-forholdet for algeproduksjon være omlag 7:1 (Redfield-forholdet). Fosfat tas raskt opp det pelagiske algesamfunnet som sirkulerer i de epilimnioniske vannmassene. Synkehastigheten til slike alger er lav, og fosfat vil derfor hurtig regenereres og inngå i det biologiske kretsløpet (Figur 1) (Wetzel 2001).

Retensjonen av fosfor i innsjøer er en funksjon av vannets oppholdstid i innsjøen, og Vollenweider (1975) fant forholdsvis enkle empiriske sammenhenger mellom disse. Når man regulerer et vassdrag demmer man opp vassdragets innsjøer for å få magasinert vann til perioder med liten avrenning, samt for å øke trykket mot turbinene. Man øker vassdragets volum (V), mens nedbørfeltets avrenning (Q) er den samme. Vannets oppholdstid (T_w) i vassdraget blir lenger da $T_w = V/Q$. Av Figur 2 ser man at dette medfører økt tilbakeholdelse av fosfor. Dvs. en større andel av fosforet frarøves de frie vannmasser og havner i sedimentet. Innsjøens biologiske primærproduktivitet avtar som følge av økt fosforretensjon. Når primærproduksjonen avtar, avtar også produktiviteten på de etterfølgende ledd i næringskjeden.



Figur 1. Fosforomsætning i innsjøer. Fosforet brukes flere ganger. Noe tapes via utløp og noe tapes til sedimentet. En mindre del kan frigjøres fra sedimentet igjen under spesielle forhold. Fra Berge, 2010.



Figur 2. Sammenheng mellom fosforretensjon og oppholdstid i innsjøer (etter Holtan et al. 1990). Fra Berge 2010.

I Skandinavia har man i det alt vesentlig bare drevet gjødsling av fiskevatn på forsøksbasis med varighet av prosjektene 3–6 år (Milbrink 1998). Alle disse prosjektene har gitt betydelig økning av fiskebestanden. I Norge er Limnocult prosjektet til Akvaplan NIVA og NIVA (Dahl-Hansen et al. 1998) kanskje det mest kjente. Her ble to vann i Skittenfjordvassdraget på Norkynhalvøya i Finnmark, som hadde bestander av dvergryoe, gjødslet opp fra ultra-oligotroft nivå til oligotroft nivå. Man fikk økt biomasse på alle trofiske nivåer, og fisken ble større og av vesentlig bedre kvalitet enn før tiltaket.

Forsøk med gjødsling av regulerte innsjøer har gitt betydelig bedret fiskeavkastning, og i USA og Canada brukes gjødsling på regulær basis for å øke fiskeproduksjonen av laksefisk i mange innsjøer og elver hvor naturlig produktivitet er nedsatt av forskjellige grunner som overfiske og regulering (Ashley 1998, Hyatt *et al.* 2004, Lienesch 2005, Stokner and MacIsaac 1998). Dette gjøres nå i stor stil, både for å øke verdien av fisket og som kompensasjonstiltak der menneskelig inngrep har gitt nedsatt fiskeproduksjon. Mange av disse prosjektene har vært svært lønnsomme økonomisk. Etter tiltaket har innsjøene har da fortsatt karakter av klarvannsjøer, og en ser vanligvis ikke forskjell på tilstanden før og etter gjødsling.

2. Materiale og metoder

2.1 Beskrivelse av Ringedalsvatnet

Ringedalsvannet er den lavest beliggende innsjøen i det regulerte Tysso-vassdraget, og ligger i en U-format dal med bratte åssider rett øst for Tyssedal i Odda kommune i Hordaland (Figur 3, Figur 4). Høgeste regulerte vannstand er 465 moh., laveste er 372 moh., det vil si en reguleringshøyde på 92 m. Fram til 2011 har magasinet imidlertid ikke vært tappet lavere enn til 409 moh. Innsjøarealet ved maksimal fylling er 7,3 km² og største dyp er 134 m. Reguleringssonen i dag for en stor del består av stein, som i tidligere tider har rast ned fra fjellsidene. I enkelte områder er det også betydelige mengder av fluviale sand- og grusavsetninger (NGI 2011). Ved lav vannstand vil finkorna sedimenter kunne virvles opp i vannmassene på grunn av bølgeaktivitet og vinddrevne strømmer. Dette sammen med skred i strandsonen, har bidratt til økt turbiditet i vannmassene i enkelte perioder (Fjellheim et al. 2011).



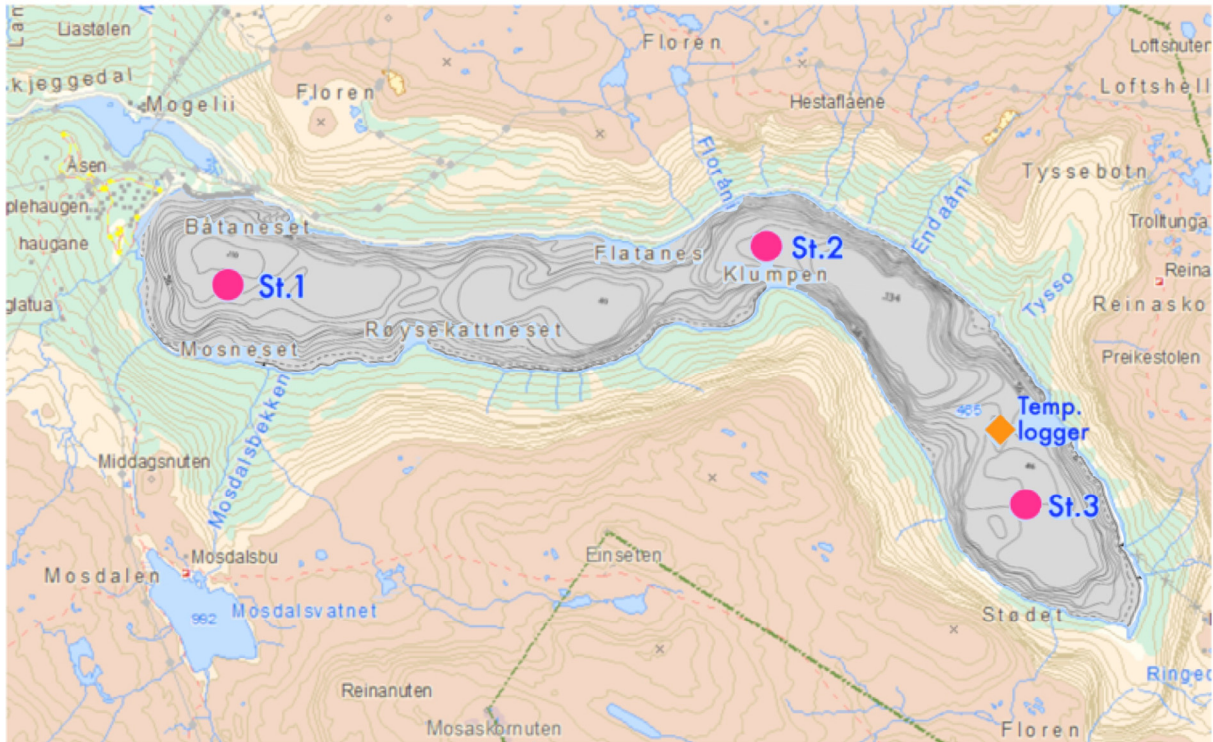
På grunn av stort kraftforbruk og lite tilsig den kalde vinteren 2010/2011 ble vannstanden betydelig senket, med minste vannstand i sommerhalvåret på henholdsvis 406 og 390 moh. (Figur 5). Denne reguleringen var lavere enn tidligere minstevannstand, og den 26. juni målte vi et siktedyp på 0,2 m (Fjeld og Rognerud 2014). 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 som følge av bølgeaktivitet og en gradvis oppfylling av magasinet. Følgene var at store områder med finkorna sedimenter ble vasket ut i magasinet med påfølgende blakking av vannmassene allerede i juni. 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 3. Ringedalsvatnet ligger i Hordaland fylke, og er på kartet merket med hvitt kors på blå sirkel (kilde: Statkart).

I følge vannforskriftens §5 kan Ringedalsvann klassifiseres som en sterkt modifisert vannforekomst (SMVF). Det heter her at «Tilstanden i kunstige og sterkt modifiserte vannforekomster skal beskyttes mot forringelse og forbedres med sikte på at vannforekomstene skal ha minst godt økologisk potensial og god kjemisk tilstand, i samsvar med klassifiseringen i vedlegg V og miljøkvalitetsstandardene i vedlegg VIII» (Vannforskriften 2006). Tiltaket med gjødsling vil således kunne sees på som et avbøtende tiltak med formål å bedre lokalitetens økologiske potensial som ikke påvirker kjemisk tilstand nevneverdig.

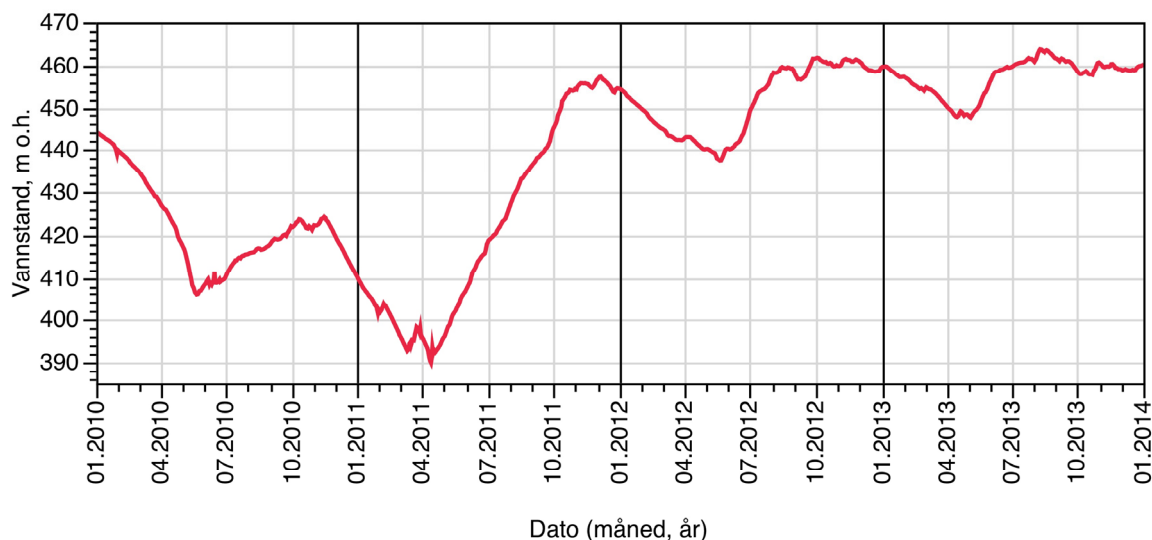
Ringedalsvannet er av flere grunner velegnet for denne type gjødslingsforsøk. Det er en svært næringsfattig (oligotrof) og fosforbegrenset innsjøtype. Basert på sammenliknbare data fra nasjonale innsjøundersøkelser forventet vi en konsentrasjon av totalt fosfor (tot-P) i underkant av 1 µg/l og totalt nitrogen (tot-N) på omlag 100 µg/l. Fosfor i form av fosfat (PO₃²⁺) vil derfor sannsynligvis være eneste næringsstoff som trengs tilsettes.



Figur 4. Dybdekart og stasjonsplasseringer for Ringedalsvatnet (Kilde NVE, Statkart). Stasjonsangivelsene angir posisjonen for måling av siktedyp.

Uttappingen av vann fra Ringedalsvannet skjer gjennom en tunnel med en dyptliggende åpning (i området ved Stasjon 1, Figur 4). Uttapping fra overflatesjiktet skjer ikke under normale driftsbetingelser. Dette er et gunstig forhold med tanke på effekten av gjødslingen, da næringssaltene ikke forsvinner med avrenningen fra overflatesjiktet (epilimnion). Fordi uttappingen skjer fra dypere vannmasser (hypolimnion), forventer vi at retensjonen (tilbakeholdelsen) av fosfat i Ringedalsvann vil være vesentlig større enn i et tilsvarende uregulert magasin.

Resipienten er Sørfjorden (gren av Hardangerfjorden), og en økt avrenning av næringsalter vil raskt fortynnes i de store vannvolumene her. I forbindelse oppdrettsvirksomheten i Hardangerfjorden og næringssaltbelastningen fra denne har eutrofieringssituasjonen i fjorden vært nøye overvåket. Havforskningsinstituttet (Skaala et al. 2013) konkluderte med at det ikke er noen tegn til at Hardangerfjorden er overgjødslet, og vannutskiftningen er god nok til å opprettholde en av de tettteste konsentrasjonene av oppdrettsanlegg i Norge. I 2012 ble det produsert 80.000 tonn laks her. For lakseoppdrett har Bergheim og Braaten (2007) beregnet at et tonn produsert laks gir et utslipp på omlag 2 kg oppløst fosfor (forspill inkludert) og 6 kg partikulært som sedimenterer.



Figur 5. Vannstandsvariasjoner i Ringedalsvannet i perioden 2010–2013 (Kilde: Statkraft).

2.2 Beskrivelse av fiskesamfunnet

Fiskesamfunnet består av en småvokst ørretbestand, men med et innslag av store kannibalistiske individer. For småørreten er planktoniske krepsdyr og overflateinnsjekter viktigste næringsemner (Borgstrøm et al. 1992, Rognerud og Fjeld 2012).

Ved tre anledninger (1985, 2003 og 2010–2011) har sterk nedtapping av magasinet ført til kraftig tilslamming av vannmassene, med påfølgende bortfall av zooplanktonproduksjon og redusert vekst og overlevelse hos fisken (Borgstrøm et al. 1992, Brabrand 2007, Rognerud og Fjeld 2014). Etter den sterke nedtappingen i 2011 viste fisken en rask bedring i vekst og kondisjon, trolig på grunn av en desimering av en overtallig bestand.

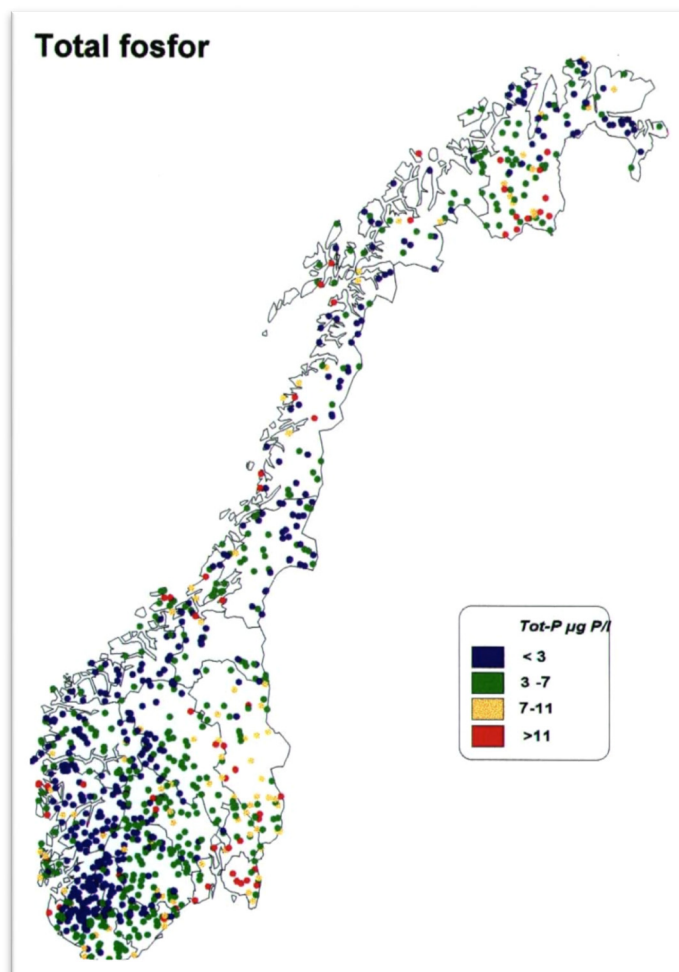
2.3 Gjennomføring av gjødsling

Fosfat er et sterkt partikkel-reaktivt anion som i stor grad adsorberes på uorganiske partikler, og det er allment akseptert at fosfat i hovedsak er knyttet til jern-syklus i innsjøer (Wetzel 2001). Fosfat som sedimenterer med partikler vil i et så oligotroft system som Ringedalsvann i stor grad bindes til leire- og mineralpartikler i sedimentet, og i godt oksygenert innsjøer som Ringedalsvann vil det ikke skje noen redoksprosesser i overflatesedimentene som i vesentlig grad kan frigjøre jern og fosfat.

I dette pilotprosjektet ønsket vi å tilføre fosfat ved én anledning i løpet av vegetasjonsperioden 2013. Vi ønsket å øke konsentrasjon av totalt fosfat (tot-P) i epilimnion til omlag 3 µg P/l. Dette er et vanlig forekommende nivå i norske innsjøer, og i den nasjonale innsjøundersøkelsen fra 1995 (1000-sjøer undersøkelsen) var dette medianverdien for tot-P (Skjelkvåle et al. 1996) (Figur 6). Under forutsetning av at epilimnion er omlag 15 m dypt ved gjødslingen innebar dette en tilførsel av fosfor på 240 kg (3 µg/l i et vannvolum på 80 mill. m³).

Vi valgte å gjødsle med oppløst fosfat (70 % løsning av H₃PO₄) og doserte med transportkannene fra båt i løpet av 11. juli. Doseringen ble gjort i propellvannet fra båten for å sikre en god første innblanding i vannmassenes overflatelag.

Temperaturloggere ble satt ut i innsjøen på henholdsvis 1, 5 og 15 m dyp for å kartlegge utviklingen av epilimnion (se kart på Figur 4 for plassering).



Figur 6. Fosforkonsentrasjonen i 1000 norske innsjøer, prøvetatt i 1995. Skjelkvåle et al. 1996.

2.4 Kartlegging av biologisk respons

2.4.1 Prøvefiske

For å kartlegge den biologiske responsen ble det prøvefisket med garn før gjødslingen i juli, i august og på slutten av vekstsesongen i september/oktober. Vekst, kondisjon, kjønnsmodning, kjøttfarge, ernæring og stabile N- og C-isotoper ble undersøkt og sammenliknet med tidligere data.

Da denne undersøkelsen ikke hadde som formål å kartlegge fiskebestandens alders- og størrelses-sammensetning og bestandstetthet ut fra et ordinært prøvefiske, fisket vi ikke med helt standardiserte garnserier eller i følge dybdeintervallene og fangsttinningsraten gitt i Norsk standard NS-EN 14757. Vi 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 (samtlige bunngarn). Det ble forsøksvis fisket med flytegarn i 2012 og 2013, men fangstene var neglisjerbare.

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 i påfallende lys 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 otolitradius og fiskens lengde.

2.4.2 Vannkvalitet

Vannkvaliteten (næringsalter, hovedioner og klorofyll a) i epilimnion og hypolimnion ble undersøkt før gjødsling i juli, i august og i september/oktober. Prøvene ble tatt med en Schindler vannhenter, og det ble tatt prøver i følgende sjikt/dyp: 0-10 m (blandprøve), 15 m og 40 m. Prøvene er analysert ved NIVA.

2.4.3 Alger og zooplankton

Prøver av alger og zooplankton tatt før gjødsling i juli, i august og i september/oktober. Prøvene ble sendt til taksonomisk analyse ved NIVA.

2.4.4 Stabile isotop-analyser (SIA)

Analysene ble utført av Institutt for energiteknikk (IFE) på muskelprøver som ble tatt ut dorsalt bak ryggfinnen. Prøvene ble tørket ved 60 °C i 2 døgn og homogenisert. For bestemmelse av $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ er 1 mg prøvemateriale veid inn og overført til en 5 x 9 mm tinnkapsel. Kapselen lukkes og plasseres i en Carlo Erba NCS 2500 elementanalysator. Prøvene forbrennes med O_2 og Cr_2O_3 ved 1700 grader og NO_x reduseres til N_2 med Cu ved 650 °C. Forbrenningsproduktene separeres i en poraplot Q kolonne og overføres direkte til et Micromass Optima isotop massespektrometer for bestemmelse av $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$. Duplikater analyseres rutinemessig for hver tiende prøve. 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 grafit standard. IFEs verdier kontrolleres også mot en «hus-standard» av ørretfilet.

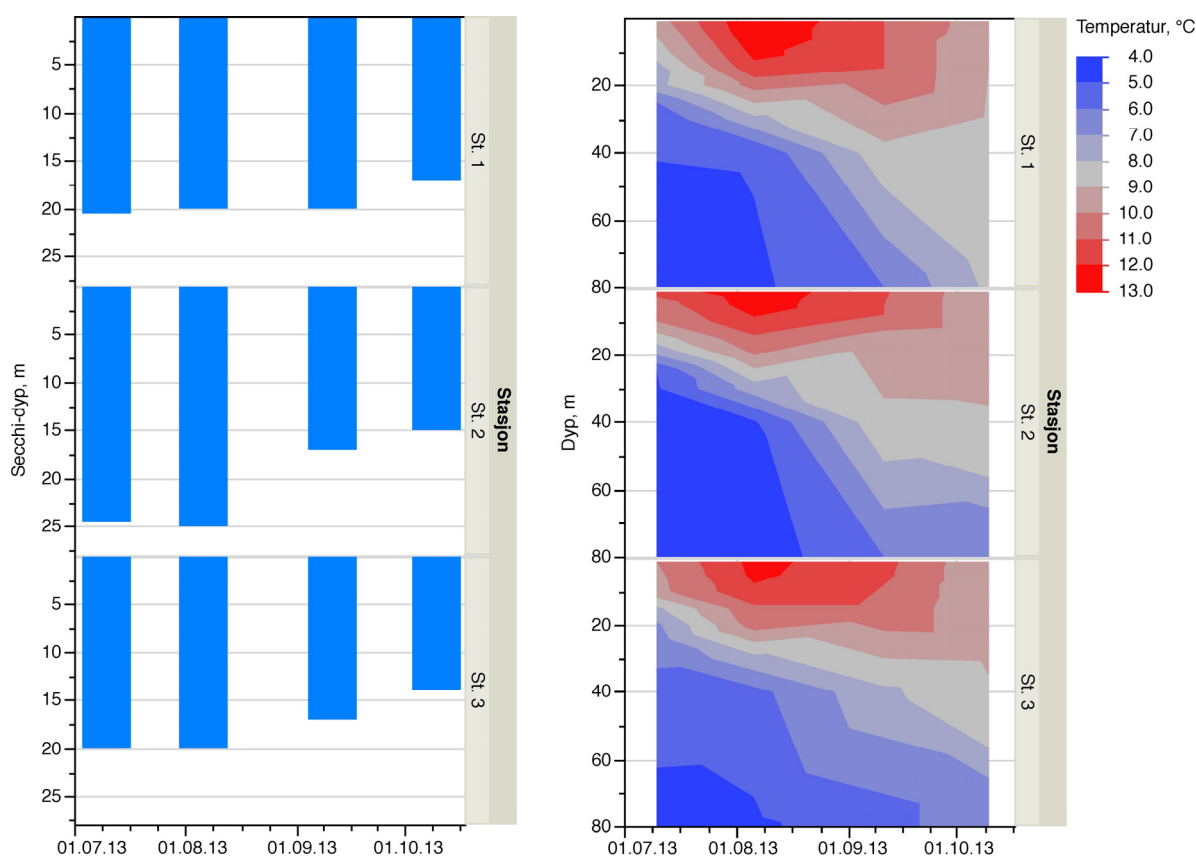
3. Resultater

3.1 Temperatur og siktedyp

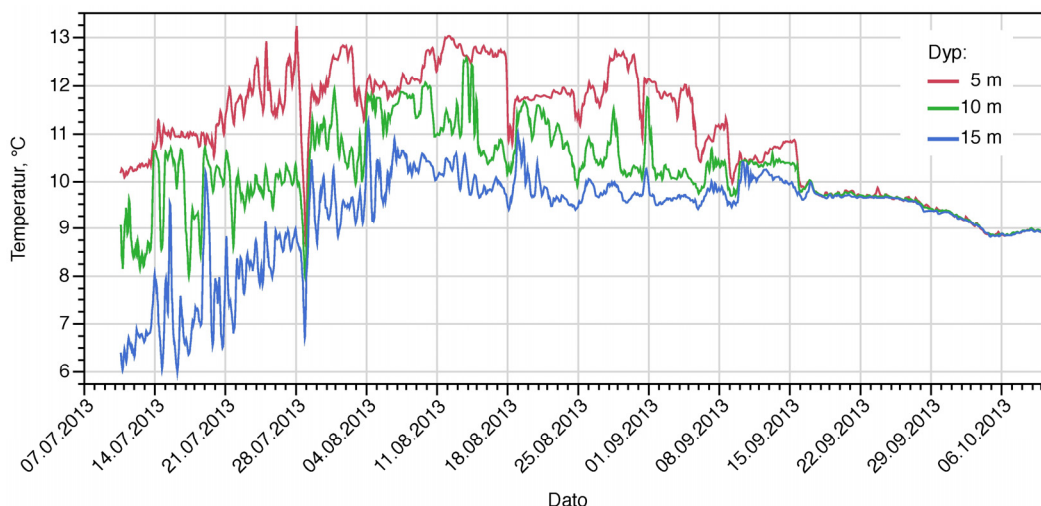
Den 10. juni, dagen før gjødsling, var innsjøen begynt å bli stratifisert med en svak termoklin ved omlag 20–30 m (Figur 7). Vannmassene var da svært klare med et siktedyp på 20–24 m ved de tre stasjonene.

Utover sommersesongen ble sjiktningen mer markert og fra midten av juli og til midten av august etablerte termoklinen seg ved omlag 15–20 m og maksimale overflatetemperaturer i denne perioden var omkring omkring 13 °C (Figur 8). Temperaturloggerene (5, 10 og 15 meters dyp) viste at det kunne være til dels kraftige indre bølger eller seiches ved målestasjonen som brakte kalde og dypereliggende vannmasser opp til overflaten.

Siktedypet ble redusert utover vegetasjonsperioden og ved siste måletidspunkt 10. september var det mellom 14 m og 17 m ved de tre målestasjonene.



Figur 7. Siktedyp (Secchi-dyp, venstre figur) og temperatur-isotermene (høyre figur) ved tre stasjoner i Ringedalsvatn for perioden 10. juni – 10. oktober, 2013.



Figur 8. Temperatur målt i tre ulike dyp (5–15 m) i Ringedalsvatn for perioden 10.juni – 10. oktober, 2013. Glidende 4-timers gjennomsnitt, 30 min. måleintervall.

3.2 Vannkjemi

Den 10. juni, før fosfertilsetningene, ble det tatt epilimniske blandprøver ved de tre stasjonene for å fastslå innsjøens generelle vannkvalitet (Tabell 1, Figur 9). Midlere konsentrasjon av totalt fosfat (tot-P) var lavt med 1,2 µg/l og konsentrasjonen av nitrat var moderat med 65 µg/l. Midlere konsentrasjonen av jern var øg lav med 1,3 µg/l, likeledes var konsentrasjonen av TOC lav med 0,21 mg/l. Selv om prøvene ble målt i epilimnion, er dette etter all sannsynlighet representative verdier for hele vannsøylen da innsjøen nylig hadde blitt stratifisert.

Gjødslingen skjedde 11. juni og fosfatet ble tilført overflatelaget i innsjøens østre basseng mellom stasjon 1 og 2. I august, omlag en måned etter gjødsling, ble nye vannprøver tatt og midlere konsentrasjoner av tot-P i sjiktet 1-10 m var 4,0 µg/l. Ved 15 m og ved 40 m var midlere konsentrasjonene av tot-P henholdsvis 2,3 og 1,7 µg/l.

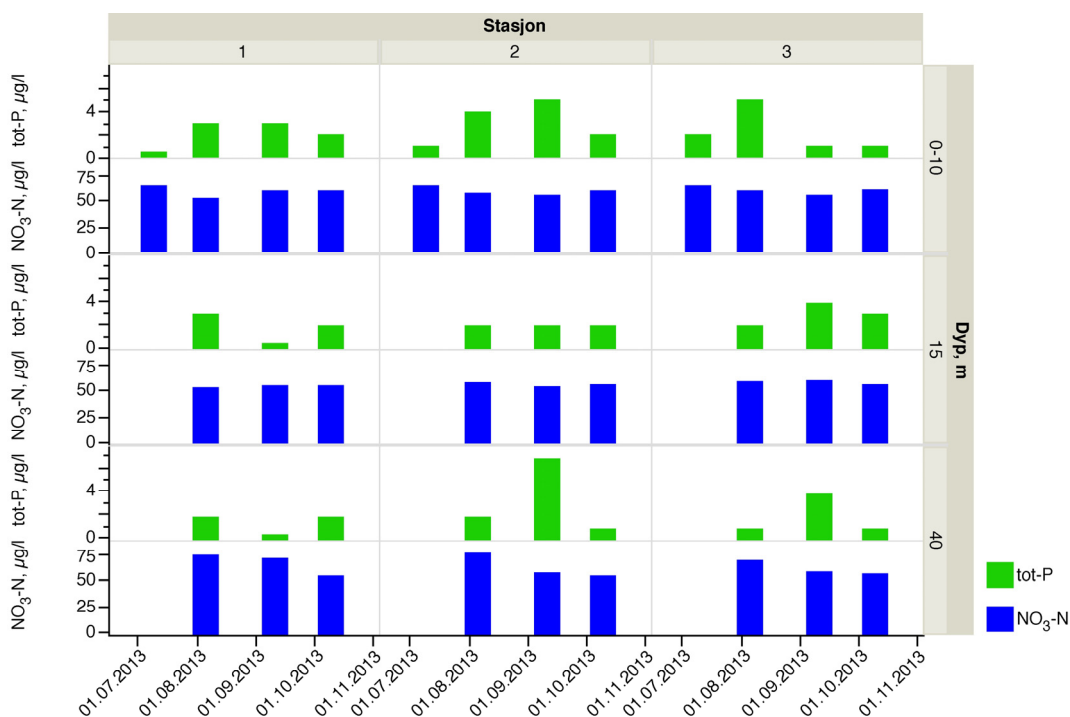
En måned seinere igjen, i september, var konsentrasjonene av tpt-P i epilimnion omlag 2-3 µg/l, mens det i hypolimnion på 40 m ble funnet en middelkonsentrasjon på 3,8 µg/l. Den noe høye midlere hypolimniske konsentrasjonen skyldes i første rekke en enkelt høy verdi på 7 µg/l ved stasjon 2. Denne verdien er mistenkelig høy, og vi ser ikke bort fra at det kan dreie seg om en kontaminering av prøven eller at vi har truffet på inhomogene vannmasser og dårlig innblanding av fosfatet. Ekskluderes denne ene analyseverdien blir middelverdien 2,3 µg/l.

På høsten tre måneder etter gjødslingen, 10. oktober, var midlere konsentrasjoner ved de tre vandypene (0-40 m) området 1,3–2,3 µg/l.

Konsentrasjonen av nitrat varierte lite gjennom sesongen og ved de enkelte dyp var midlere konsentrasjoner i området 57–76 µg/l. For jern var midlere konsentrasjonene i området 1–6 µg/l

Tabell 1. Konsentrasjoner av næringsalter og totalt organisk karbon i Ringedalsvatn i perioden 10. juni – 10. oktober, 2013. Konsentrasjonene er oppgitt som middelverdier basert på målinger fra tre stasjoner. N: antall, SD: standard avvik. tot-P: totalt fosfor, tot-N: totalt nitrogen, NO₃-N: nitrat-nitrogen, Fe: jern, TOC: totalt organisk karbon. Alle konsentrasjoner er i µg/l med unntak av TOC som er gitt i mg/l.

dato	variabel	0-10 m			Dyp 15 m			40 m		
		N	middel	SD	N	middel	SD	N	middel	SD
10.07.2013	tot-P'	3	1,2	0,8	0			0		
	tot-N	3	118	12	0			0		
	NO ₃ -N	3	65	0	0			0		
	Fe	3	1,3	0,6	0			0		
	TOC	3	0,21	0,03	0			0		
06.08.2013	tot-P'	3	4,0	1,0	3	2,3	0,6	3	1,7	0,6
	tot-N	3	108	4	3	100	10	3	114	2
	NO ₃ -N	3	56	4	3	58	3	3	76	4
	Fe	3	5,2	1,1	3	2,7	0,6	3	1,7	0,6
	TOC	1	0,25		0			0		
11.09.2013	tot-P'	3	3,0	2,0	3	2,2	1,8	3	3,8	3,3
	tot-N	3	100	11	3	99	5	3	112	19
	NO ₃ -N	3	57	3	3	57	3	3	65	8
	Fe	3	4,6	1,3	3	4,1	1,0	3	5,8	1,9
	TOC	3	0,32	0,09	3	0,31	0,04	3	0,31	0,05
10.10.2013	tot-P'	3	1,7	0,6	3	2,3	0,6	3	1,3	0,6
	tot-N	3	104	19	3	94	13	3	90	2
	NO ₃ -N	3	60	1	3	57	1	3	58	1
	Fe	3	1,3	0,6	3	1,7	1,2	3	1,0	0,0
	TOC	3	0,30	0,06	3	0,28	0,04	3	0,25	0,01



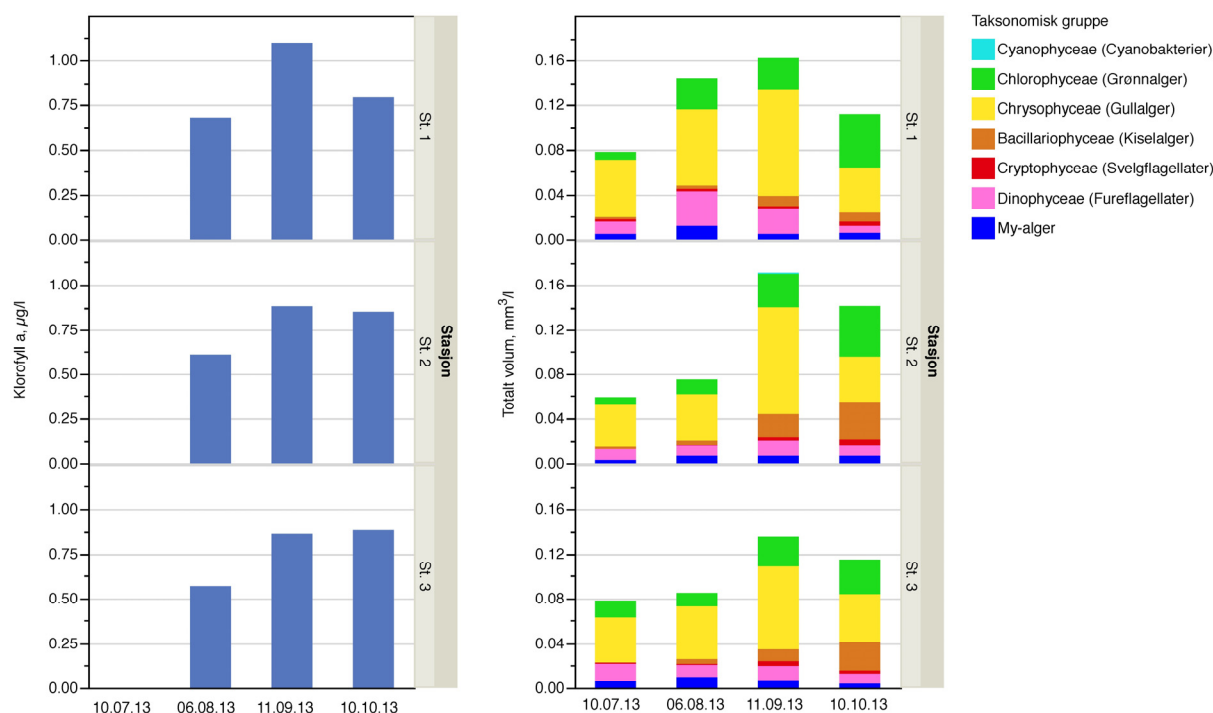
Figur 9. Konsentrasjoner av totalt fosfor (tot-P) og nitrat (NO₃-N) i Ringedalsvatn i perioden 10. juni – 10. oktober, 2013.

3.3 Fytoplankton og påvekstlger

Det var lave verdier for total biomasse og klorofyll a i prøvene fra de tre stasjonene. Planteplankton-samfunnet på alle stasjonene besto i hovedsak av gullalger, grønnalger, fureflagellater og kiselalger (Figur 10). Algebiomassen økte fra juli og til september for deretter å avta noe i oktober. Den relative forekomsten av grønnalger og kiselalger økte utover sesongen.

De vanligst gullalgene var slektene *Chromulina*, *Dinobryon*, *Kephyrion*, *Mallomonas*, *Ochromonas*, *Spiniferomonas*, i tillegg til ubestemte gullalger. I september var det også observert en del celler av *Uroglenopsis americana*, en art som kan danne oppblomstringer i forholdsvis næringsfattige innsjøer. Grønnalgene var representert ved slekten *Oocystis*, flagellater fra slekten *Chlamydomonas*, nåleformede celler fra slektene *Elakatothrix*, *Koliella*, *Monoraphidium*, og ubestemte kuleformede celler. Fureflagellatene besto av *Peridinium umbonatum* og slekten *Gymnodinium*. I oktober var det også en del sentriske kiselalger, *Cyclotella kützingiana*, i prøvene.

Indeksene for planteplanktonet indikerer tilstand svært god, basert på klassegrensene for innsjøtype L-N5 (store, kalkfattige, klare innsjøer i henhold til innsjøklassifiseringen i Vanddirektivet, Tabell 2). Det var ingen vesentlig forskjell på tilstanden, basert på totalvurderingen av planteplanktonet, for de 3 stasjonene.



Figur 10. Utviklingen i klorofyll a (venstre panel) og algebiomasse (høyre panel) ved tre stasjoner i Ringedalsvann i perioden juli–oktober 2013.

Tabell 2. Indeksverdier for stasjonene i Ringedalsvatnet. Totalvurderingen viser at tilstanden for de 3 stasjonene var svært god. Vurderingen er gjort i henhold til Miljødirektoratets (2013) klassifiseringsveileder for ferskvann.

	Klorofyll a	Tot.algevolum	Artssammensetning	Cyanobakterier maks. volum	Totalvurdering planteplankton normalisert økologisk kvalitetsratio, nEQR
	µg l ⁻¹	mm ³ l ⁻²	PTI	mm ³ l ⁻²	
Stasjon 1	0,14	0,12	1,92	0,00	0,926
Stasjon 2	0,13	0,11	1,93	0,00	0,934
Stasjon 3	0,13	0,10	1,91	0,00	0,948



Ved prøvefiskene i september og oktober kunne vi stedvis observere betydelige mengder trådformede påvekstalger (perifyton), særlig på neddemmede trær og busker – men også på stein.

Vi hadde ingen muligheter til å kvantifisere disse epifyttiske og epilittiske algene, men ut fra fisketettheten her, indikert ved garnfiske, var dette er viktig habitat for fisken. Tettheten av påvekstalger syntes å være størst i østre del av Ringedalsvatnet ved stasjon 1.

Figur 11. Påvekstalger på et fiskegarn som ved en feil var blitt stående fra september og til oktober.

3.4 Zooplankton

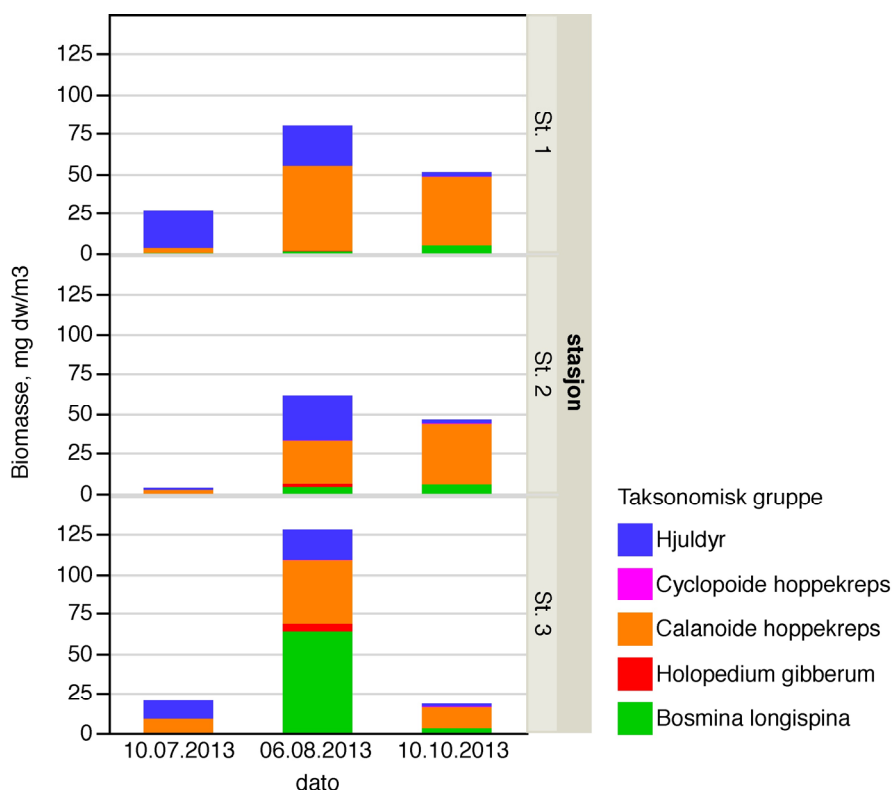
Utviklingen i det zooplanktonsamfunnet (0-10 m) ble kartlagt før gjødslingen i juni og ved to anledninger seinere i august og oktober (Figur 12).

Det var svært lite zooplankton i prøvene 10. juni. Biomasse-tettheten ved de tre stasjonene var 4–25 mg/m³ og hjuldyr (*Asplanchna tridonata*) dominerte i prøvene.

Etter gjødslingen, en måned seinere i august, var forekomsten mangedoblet og biomassen ved de tre stasjonene var 80–130 mg/m³. Den største biomassen ble påvist ved stasjon 3 innerst i magasinet. Her var vannloppen *Bosmina longispina* dominerende sammen med calanoide hoppekreps. Av hoppekrepsene dominerte copepoditt-stadier av slekten *Diaptomidae* (ikke bestemt til art) og adulte individer av *Arctodiaptomus laticeps*. Ved de to andre stasjonene var det kun et beskjedent innslag av *B. longispina*, og prøvene ble dominert av calanoide hoppekreps og hjuldyr. Et mindre innslag av vannloppen *Holopedium gibbrium*, gelekreps, ble funnet ved alle stasjonene.

I begynnelsen av okttober, da termoklinen hadde begynt å bryte sammen, ble biomasse-tettheten av zooplankton redusert til 20–50 mg/m³ og calanoide hoppekreps (copepoditter av diaptomider, adulte *Arctodiaptomus laticeps*) dominerte i prøvene.

Midler vi biomasse-estimaterne for alle stasjoner og prøvetakingstidspunkt får vi en gjennomsnittlig biomasse på omlag 50 mg/m³ igjennom perioden juni–oktober.



Figur 12. Utviklingen i zooplanktonsamfunnets ulike hovedgruppers biomasse (mg/m^3 , tørrvekt) i sjiktet 0-10 m ved tre stasjoner i Ringedalsvann i perioden juli–oktober 2013.

3.5 Fisk

Vi har her presentert resultater fra årene 2011 og til 2013, slik at vi kan sammenlikne resultatene fra forsøksåret 2013 med tidligere data. Den videre framstillingen baserer seg mye på rapporten til Fjeld og Rognerud (2014), men hvor fokuset var på effektene som nedtappingen av magasinet og den tilhørende tilslammingen av vannmassene i 2011 hadde på fiskesamfunnet. I denne rapporten vektlegger vi forholdene i 2013 og mulige effekter av gjødslingen.

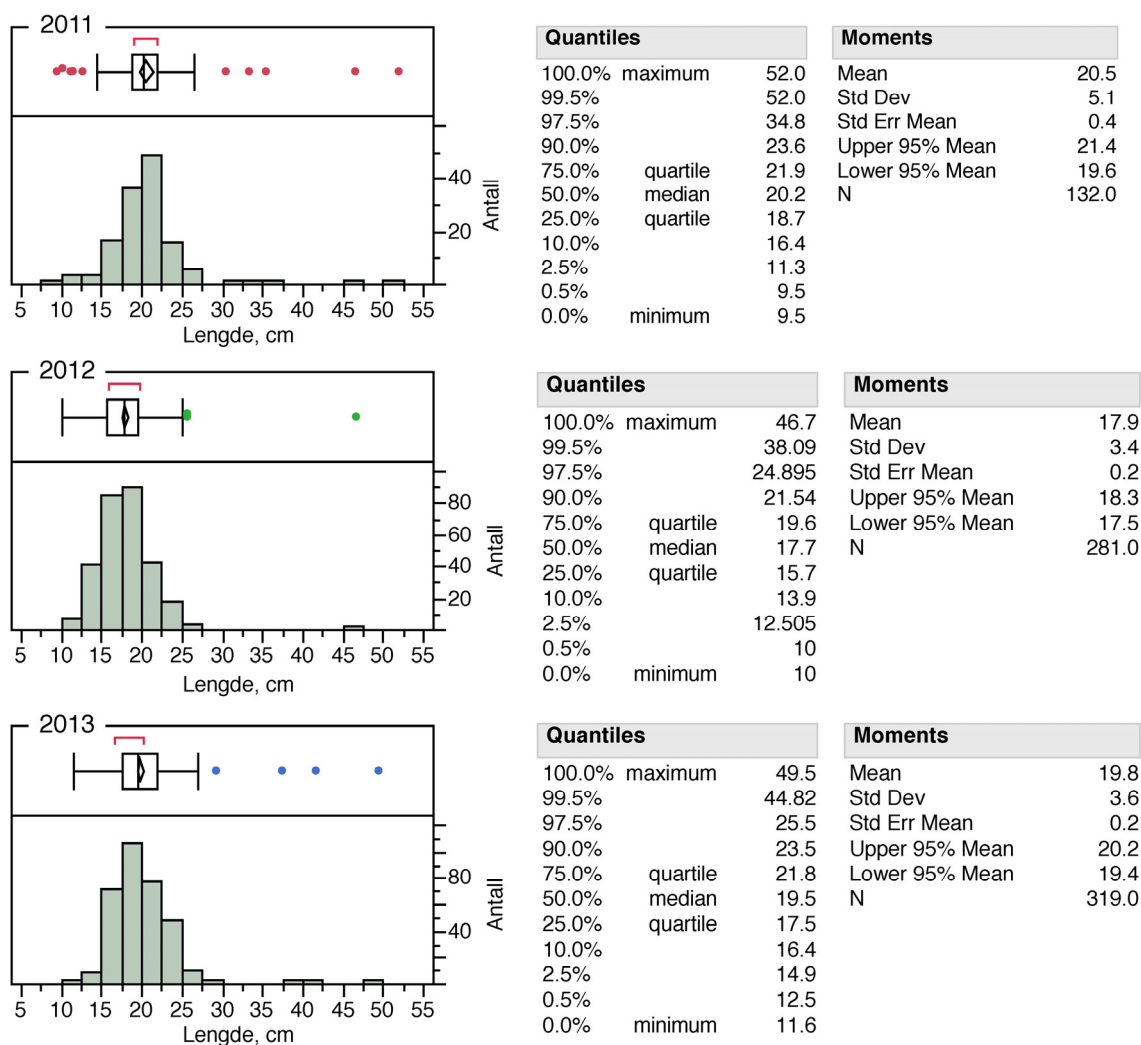
3.5.1 Alder, lengde og vekst

Ørreten i Ringedalsvatnet er generelt småfalle, og majoriteten av fangstene fra de ulike prøvefiskene i 2011–2013 var konsentrert innenfor et relativt snevert lengdeintervall fra omlag 10 til 25 cm (10- og 90-prosentilene) (Tabell 3) og med middellengder i området 17,9–20,5 cm. Et fåtalls individer var betydelig større og oppnådde en lengde på opptil 52 cm. Dette var typiske kannibalistiske fiskespisere, og de kunne bli fanget når de angrep småfisk som hadde satt seg fast i garnet (Figur 14, Figur 15).

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.

Vekstkurvene beregnet for fangstene fra hver høst var imidlertid svært like og med overlappende konfidensintervaller (Figur 16). En kovariansanalyse kunne da heller ikke påvise noen statistiske forskjeller mellom årene ($p = 0,26$). Dersom produksjon- og vekstforholdene skulle ha blitt bedret i 2012 og 2013, 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.

Tilbakeberegning av tilveksten i de respektive sommersesongene, basert på fisken fanget på høsten, viste imidlertid at sesongveksten i 2011 var svært lav, med unntak for den store kannibalistiske ørreten (Figur 17). For aldersgruppene 5–8 år var midlere sesongveksten omlag 0,4–0,7 cm i 2011. For de samme aldersgruppene var den tilbakeberegnete sesongtilveksten betydelig bedre i 2012 og 2013, med henholdsvis 1,5–1,8 cm og 2,0–3,3 cm. Det er her verd å merke seg at tilveksten i 2013 var vesentlig høyere enn i 2012. Eksempelvis var tilveksten for 5-åringene i 2012 (middellengde 18,4 cm) omlag 1,75 cm mens den i 2013 (middellengde 18,3 cm) var omlag 3,3 cm, det vil si omlag 90 % bedre tilvekst. Tilveksten for 6-åringene (middellengde ca. 20 cm) i 2012 og 2013 var henholdsvis 1,4 og 2,3 cm, det vil si omlag 50 % bedre tilvekst i 2013.



Figur 13. Lengdefordelingen av fangstene fra Ringedalsvatn i perioden 2011–2013.



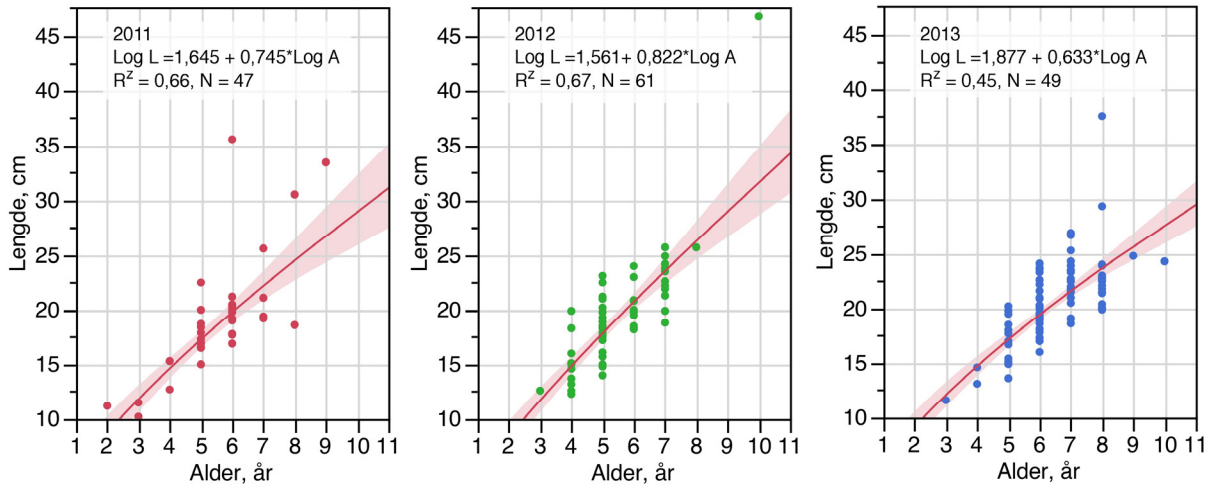
Figur 14. Størvest kannibalistisk ørret (52 cm, 2145 g) og utmagret ørret av mellomgruppen (22 cm, 55 g) fanget i juni 2011.



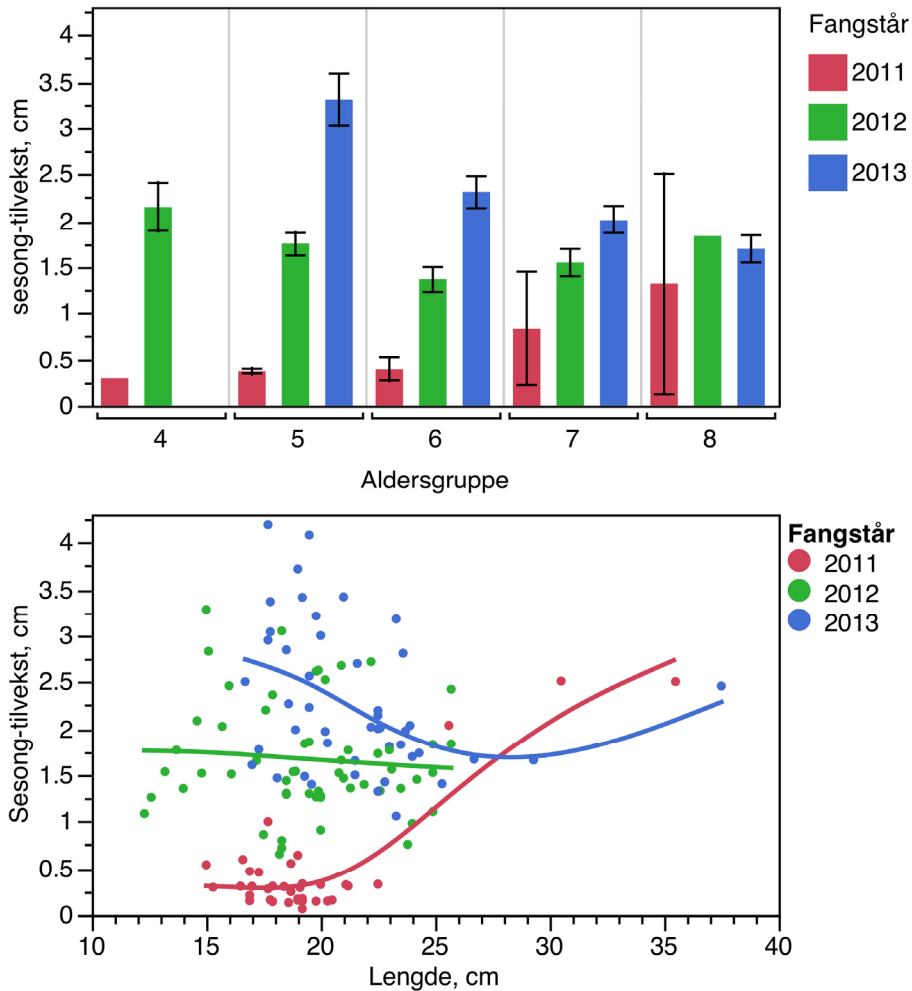
Figur 15. Kannibalistisk ørret med byttefisk stikkende ut av kjeften, fanget i juni 2011.

Tabell 3. Lengde, vekt og kondisjonsfaktor (*k*-faktor) innen aldersgruppene 4–9 år til ørret fanget i Ringedalsvatn. N: antall, *x*: middelerdi, 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 16. *Vekstkurver for ørret fanget i Ringedalsmagasinet i september/ oktober i perioden 2011–2013. Kurvene (m. 95 % konfidensintervaller) er basert på log-transformerte data.*



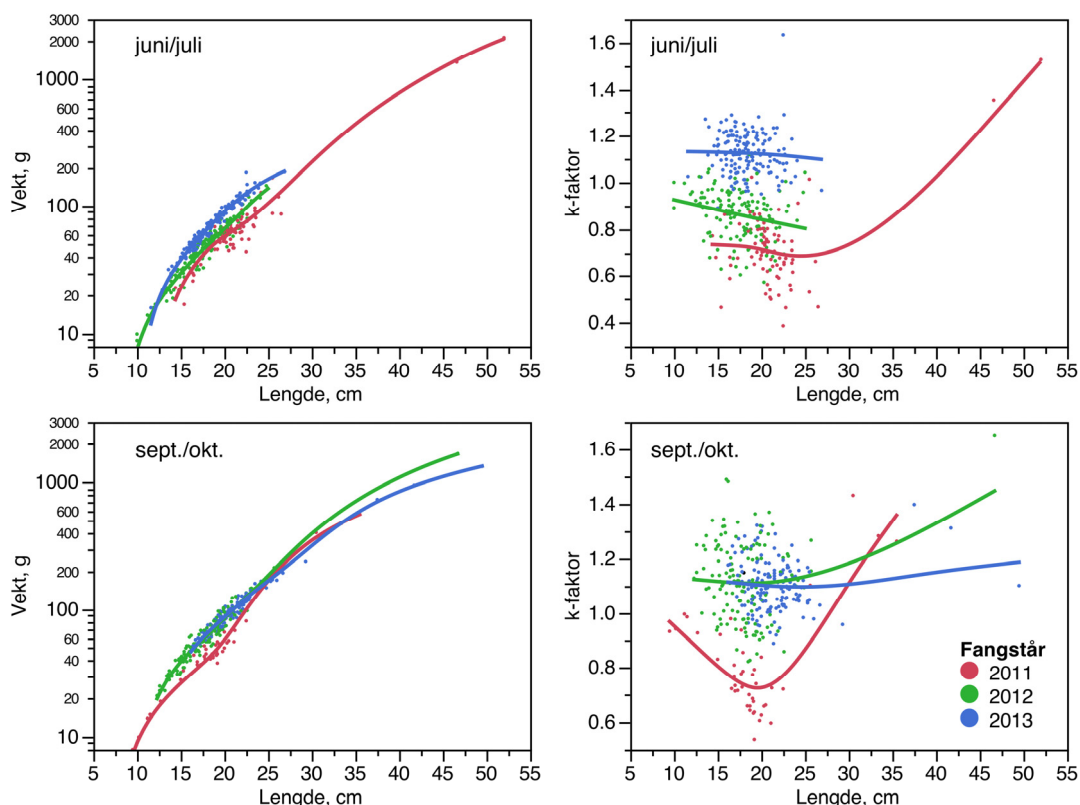
Figur 17. *Tilvekst for vekstsesongene 2011–2013 basert på fiskemateriale fanget inn i september/ oktober de respektive årene. Kurvene er laget med kurveglattingsfunksjoner (smoothing splines).*

3.5.2 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 var nær identisk høsten 2012 og 2013 (Figur 18). 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. Midlere kondisjonsfaktor høsten 2012 og 2013 var omlag 1,1 for fisk i lengdegruppen 15–22 cm. Dette er fisk i ernæringsmessig godt hold.

Kondisjonen hos de storvokste kannibalistiske individene var imidlertid svært god i samtlige fangstår (k-faktor: 1,2–1,6). I løpet av 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 18). Hos større fisk steg så kondisjonsfaktoren igjen betydelig og var mellom 1,2–1,5 hos fisk større enn 30 cm. Et tilsvarende U-format 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 18. Vekt og kondisjonsfaktor (k-faktor) som funksjon av fiskelengde for ørret fra Ringedalsvatn i 2011–2013. Kurvene er laget med kurveglattingsfunksjoner (smoothing splines).

3.5.3 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 19). 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.

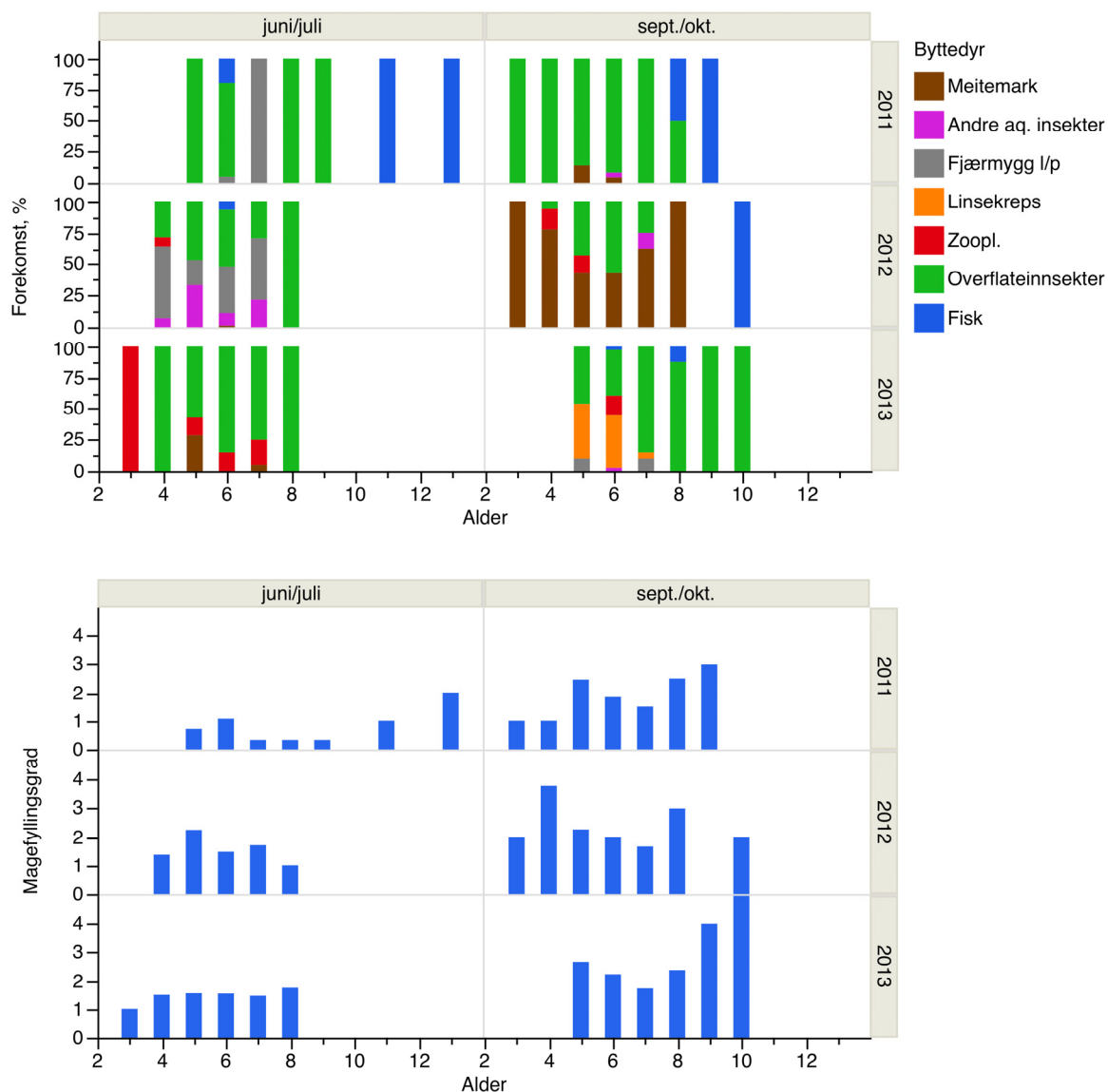
I 2012 bedret ernæringsforholdne seg, og midlere fyllingsgrad i magene i juni og oktober var henholdsvis 1,6 og 2,4. Dietten var mer variert enn i 2011, og for aldersgruppene 5 og 6 besto nær 50 % av mageinnholdet av overflateinsekter, mens resten fordelte seg på fjærmygg og andre akvatiske insekter. 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 fra de to foregående år. 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 den littorale vannloppen linsekreps (*Eurycerus lammelatus*) i dietten, og i de dominerende aldersgruppene 5 og 6 var den det viktigste næringsemnet med en midlere volumprosent på 44 % og 42 %, mens overflateinsekter hadde en volumprosent på 46 % og 36 %. Overflateinsekter var ellers et viktig næringsemne i de eldre aldersgruppene, men annet zooplankton, fjærmygg og fisk ble også registret i mageinnholdet.

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.

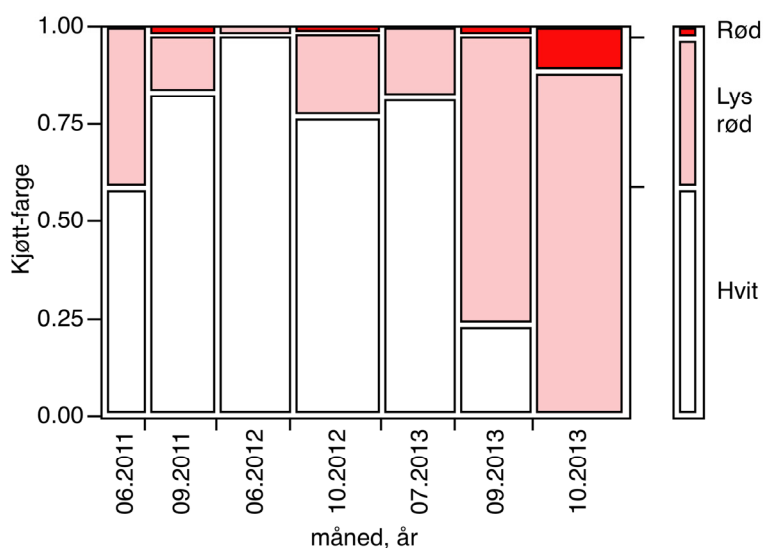
Fangstår	juni/juli			sept./okt.		
	N	middel	SD	N	middel	SD
2011	38	0,7	0,9	45	1,9	1,1
2012	50	1,6	1,5	55	2,4	1,7
2013	50	1,6	1,1	51	2,3	1,3



Figur 19. Relativ forekomst av ulike byttedyr (øvre panel) og midlere magefyllingsgrad (skala fra 0 til 5, nedre panel) i de enkelte årsklassene av ørret fanget i Ringedalsvatnet i perioden 2011–2013.

3.5.4 Kjøttfarge

Forekomsten av lys rød og rød kjøttfarge økte markert fra 2011 og til 2013 (Figur 20). 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 steg frekvensen av fisk med lys rød kjøttfarge fra juli og til oktober, fra 18 % og til 88 %, og i oktober hadde 12 % av individene rød kjøttfarge.



Figur 20. Frekvens (%) av kjøttfarge i ørret fanget i Ringedalsvatnet i perioden 2011–2013.

3.5.5 Stabile isotop-analyser

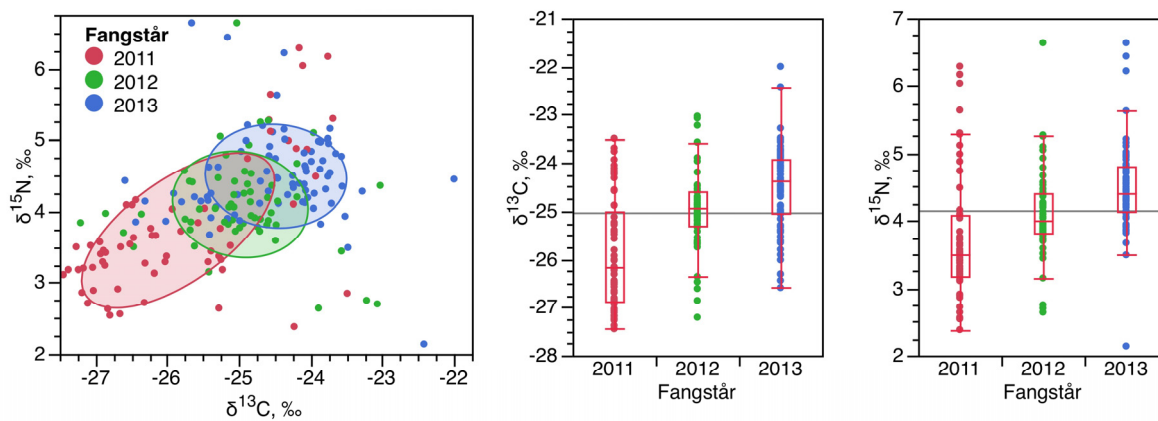
Forholdet mellom de stabile C- og N-isotopene viste en tendens til at $\delta^{15}\text{N}$ økte med økende $\delta^{13}\text{C}$ (Figur 21). Dette gjaldt særlig i 2011. Det var statistisk signifikant økende $\delta^{15}\text{N}$ - og $\delta^{13}\text{C}$ -forhold fra 2011 og til 2013 (Tabell 5) (variasjonsanalyse, $p < 0,0001$). 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 22). 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.

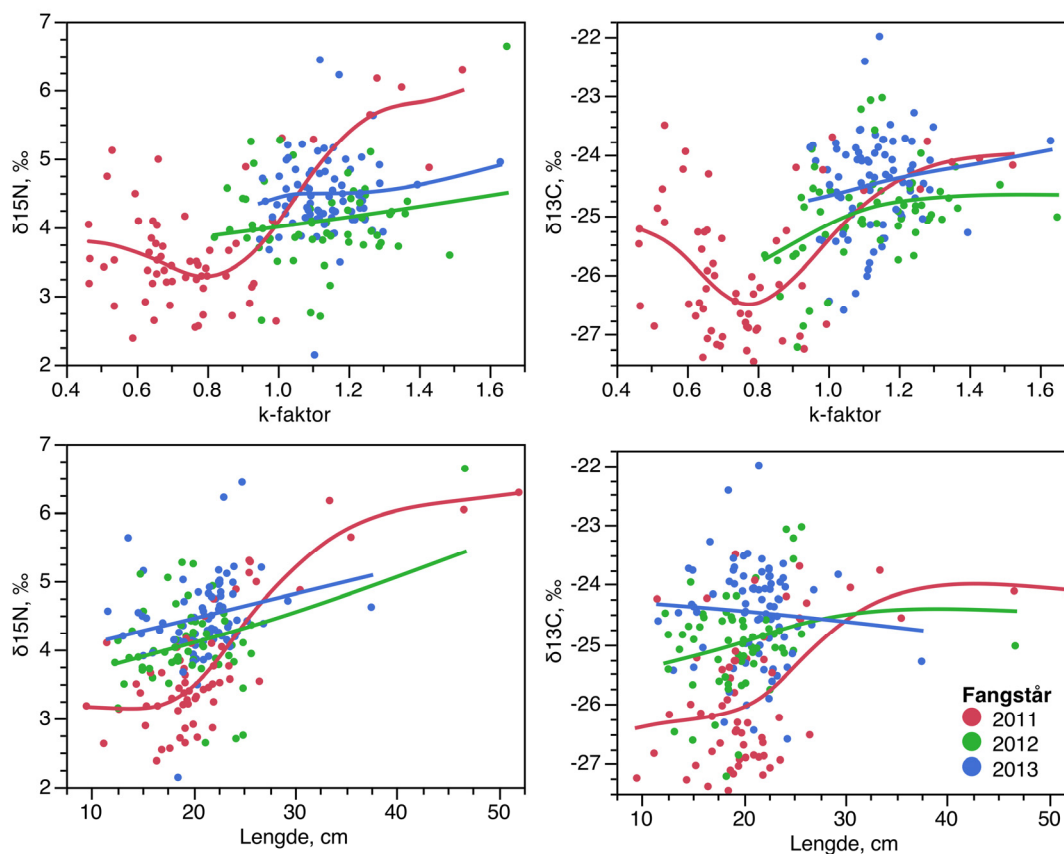
Isotopforholdene viste et sigmoid kurvelineært forløp med fiskelengde i 2011 (Figur 22). Fram til en fiskestørrelse på omlag 20 cm var $\delta^{15}\text{N}$ - og $\delta^{13}\text{C}$ -forholdene relativt stabile for deretter å stige brått. I 2012 og 2013 var det et mer jevnt stigende $\delta^{15}\text{N}$ -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 21. Spredningsdiagram og box-plot over stabile N- og C-isotoper i ørret fra Ringedalsvatnet fanget i 2011–2013.



Figur 22. 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).

4. Diskusjon

4.1 Vannkjemi

De vannkemiske målingene viser at fosfertilsetningen ble spredt som forventet. Konsentrasjonene i epilimnion ble som planlagt, de var forholdsvis homogene og doseringen holdt seg i epilimnion gjennom sommersesongen fram til sjiktningen brøt sammen på høsten.

De vannkemiske analysene fra før doseringen av fosfat bekreftet at Ringedalsvannet i utgangspunktet var næringsfattig (oligotrof) med verdier av total fosfat (tot-P) og nitrogen (tot-N) på henholdsvis 1 og 120 µg/l, og som i følge Vannforskriften faller inn under kategorien stor, kalsiumfattig og klar innsjø (L-N5).

En forsiktig gjødsling av innsjøen skjedde ved en engangs-tilsetning av fosfat (240 kg P) den 11. juli 2013 i det østlige bassenget av innsjøen. Fosfertilsetningene spredte seg til hele innsjøens overflatelag og en måned etter gjødslingen var de epilimniske konsentrasjonene av totalt fosfor opp til omlag 4 µg/l i sjiktet 1-10 m og til 2,7 µg/l ved 15 m. I hypolimnion på 40 m kunne bare en beskjeden økning på opp til 1,7 µg/l registreres. Den enkle doseringsmetoden fra båt syntes å være tilstrekkelig for å sikre en god og homogen fordeling av fosfat i de epilimniske vannmassene.

Mengden totalt nitrogen eller nitrat i epilimnion endret seg ikke nevneverdig etter gjødslingen (tot-N: 90–118 µg/l, NO₃-N: 56–65 µg/l), og N:P-forholdet ble aldri lavere enn 27:1. Dette er godt over Redfield-forholdet på 7:1 som på vektbasis er forholdet som angir når nitrogen blir begrensende for algeproduksjonen.

Mengden jern i epilimnion var lavt og midlere verdier varierte mellom 1,3 og 2,3 µg/l. I den nasjonale undersøkelsen fra 1995 (Skjelkvåle et al. 1996) er dette representative verdier for denne type innsjøer på Vestlandet. Jern er et essensielt sporelement for alger, men det er vanligvis ikke et begrensende element for algevekst i ferskvann. Sterner et al. (2004) viser til at jern kan bidra til vektbegrensning i Lake Superior når løst Fe-konsentrasjonen var <0,1 µg/l og løst P-konsentrasjon var omlag 1 µg/l. Vi har ikke målt løst fraksjon av jern i Ringedalsvatnet, og heller ikke brukt de samme ultra-rene prøvetakings- og analyseteknikker, men vi mener disse resultatene indikerer at det er lite trolig vi har nådd noen jernbegrensning her.

Temperaturmålinger gjennom sommersesongen viste at innsjøen ble tydeligere stratifisert i løpet av juli, men termoklinen var slak uten kraftige gradienter, og epilimnion (øvre sirkulerende vannlag) strakte seg ned til drøye 20 m. Temperaturloggerene viste at indre bølger (seiches) periodevis brakte kalde dypereleggende vannmasser til overflaten. Dette er et fenomen som skyldes at kraftige vinder tilfører kinetisk energi til innsjøen. De setter opp overflatestrømmer som fører til en oppstuvning av vannmassene og motgående kompensasjonsstrømmer i dypere vannlag. Dette kan føre til en betydelig større helning av sprangsjiktet, og når vinden avtar kan det føre til indre svingninger i sprangsjiktet eller seiches som kan bli så kraftige at dypereleggende vannmasser bringes til overflaten. Slike kraftige strømmer kan bidra til å erodere sprangsjiktet og holde det nede.

På slutten av vegetasjonssesongen, den 10. oktober 2013, var epilimnion begynt å brytes ned, og temperaturen ned til omlag 30 m var forholdsvis homogen. Midlere konsentrasjon av totalt fosfat ved 0-19 m og ved 15 m var da henholdsvis 1,7 og 2,3 µg/l. Den hypolimniske konsentrasjonen på 40 m dyp var da 1,3 µg/l, noe som er samme nivå som var i vannmassene før gjødslingen startet. Dette indikerer at forsøket fram til da ikke førte til noen økt P-belastning på resipienten (Sørfjorden). Ved fullsirkulasjonen seinere på høsten vil de gjenværende mengdene av fosfor i vannmassene bli blandet i hele vannsøylen, og konsentrasjonene i avløpet vil kunne øke svakt. Fortynningen i magasinet vil imidlertid være stor og effektene på resipienten kan forventes å være ubetydelige.

4.2 Fytoplankton og påvekstalger

Fytoplanktonsamfunnet, målt som både klorofyll *a* og algebiomasse, viste en moderat vekst igjennom sommersesongen med et maksimum i begynnelsen av september og et mindre avtak fram til siste måletidspunkt 10. oktober.

Biomassen i sjiktet 0-10 m viste en nær fordobling fra juni (0,08 mm³/l) og til september (0,16 mm³/l), men nivåene må likevel karakteriseres som lave. At innsjøen ble seint stratifisert og at epilimnion (øvre sirkulerende vannlag) igjennom produksjonssesongen strakte seg ned til drøye 20 m kan ha bidratt til at netto primærproduksjon har blitt lav. Siden fotosyntesen avtar eksponentielt med dypet, men respirasjonen er uavhengig av dypet, er det viktig at epilimnion etableres over et kritisk dyp (hvor sum primærproduksjon = sum respirasjon) for at en fytoplanktonoppblomstring skal oppstå. Er kritisk dyp like over stratifiseringsdypet vil netto primærproduksjon være begrenset.

Fytoplanktonet ble dominert av gruppen gullalger (*Chrysophyceae*) som er typiske for næringsfattige og kalde innsjøer (Aagård et al. 2001). Andelen grønnalger økte imidlertid markert igjennom sesongen og i snitt utgjorde de en tredjedel av biomassen i oktober. Arten *Monoraphidium griffithii* dominerte blant grønnalgene. Også denne slekten er indikator for oligotrofe vann (Aagård et al. 2001), men vi ser ikke bort fra at den markante økningen i dens biomasse (mengdemessig og relativt) er en respons på gjødslingen. Likevel var biomassen av planteplankton i utgangspunktet lav, slik at en rask respons var lite sannsynlig. Det tar tid å etablere arter som er mer tilpasset næringsrikere forhold.

Den stående biomassen av alger trenger imidlertid ikke gjenspeile produksjonsraten i fytoplanktonsamfunnet, da økt nedbeiting fra zooplanktonsamfunnet kan bidra til å holde biomassen nede selv om produksjonsraten har økt signifikant. Egne primærproduksjons-studier ville ha gitt et bedre svar på endringene i produksjonsratene igjennom sesongen, men dette var det ikke økonomi til innenfor prosjektets budsjettammer.

Ut fra visuelle observasjoner var det tydelig at skjedde en markant økning i mengden av trådformede påvekstalger (perifyton) utover i sesongen, og en tett begroing av perifytiske alger kunne stedvis sees på neddemmede trær, busker og steiner. Mengden av begroingsalger hadde vi ikke muligheter til å kvantifisere, men vi har ikke tidligere sett en slik utvikling i et næringsfattig reguleringsmagasin eller i en kald høyre-liggende næringsfattig innsjø. Det er tydelig at mye av fosfortilsetningen har blitt akkumulert i litoralsonen.

I følge Vandeboncoeur og Lodge (2000) kan produksjonen av perifyton øke betydelig ved fosfatgjødsling av innsjøer, men effekten vil avta markant dersom fytoplanktonbiomassen blir så stor at den i betydelig grad svekker lysgjennomgangen ned til substratet for påvekstalgene (Björk-Ramberg and Ånell 1985; Vandeboncoeur et al. 2001). I Ringedalsvatnet var siktedypet og lysgjennomgangen så vidt god at påvekstalgene kunne ha gode vekstbetingelser forholdsvis dypt, og de kan derfor ha gitt et ikke ubetydelig bidrag til primærproduksjonen etter gjødslingen. Vandeboncoeur og Steinman (2002) gir også flere eksempler på tilfeller hvor perifytonproduksjonen gir et betydelig bidrag til den samlede primærproduksjon i dype innsjøer, og anfører at disse studiene utfordrer den vanlige generaliseringen om at perifyton kun er en viktig komponent i næringsnettene i små, relativt grunne innsjøer.

4.3 Zooplanktonsamfunnet

Zooplanktonets biomasse var svært lav på tidspunktet før gjødsling i juli (4-25 mg/m³), men utviklet seg raskt utover sommeren både med hensyn til artsdiversitet og tetthet. I august var biomassen i sjiktet 0-10 m i området 80-130 mg/m³ for så å bli vesentlig redusert til 20-50 mg/m³ i begynnelsen av oktober da termoklinen brøt sammen.

Dette gir en midlere biomasse på omlag 50 mg/m³ for perioden juli–oktober, og antar vi at zooplanktonet i all vesentlig grad sto konsentrert i sjiktet 0-10 m tilsvarer dette en flate-tetthet på omlag 0,5 g/m². Utvider vi produksjonssesongen til mai–oktober, og antar tettheten i mai og juni var halvparten av den i juni, blir estimert biomasse på omlag 30 mg/m³ eller en flate-tetthet på 0,30 g/m². Dette er å regne som relativt lave biomassetettheter. Til sammenlikning kan det nevnes at i Mjøsa – som er en mer næringsrik, men oligotrof innsjø (tot-P: 5-7 µg/l), med et betydelig beitetrykk fra et planktonspisende fiskesamfunn – er midlere biomasse igjennom hele produksjonssesongen omlag 1 g/m² (Løvik et al. 2014).

De dominerende gruppene i zooplanktonet var i hovedsak rotatorier og calanoide copepoder (diatomider, *Arctodiaptomus laticeps*) tidlig i juli, mens calanoide copepoder og vannlopper (*Bosmina longispina*) dominerte i august og calanoide copepoder i oktober. Dette bildet er ikke ulikt det Borgstrøm et al. (1992) fant at i 1986, etter at situasjonen hadde stabilisert seg etter en neddemningsperiode året før. I likhet med vår undersøkelse var copepoden *A. laticeps* en dominerende art i zooplanktonet, og vannloppen *B. longispina* økte sin forekomst utover sommeren. I motsetning til våre resultater fant de imidlertid at cyclopoide copepoder (*Cyclops scutifer*) var vanlig forekommende, samt at vannloppen *Holopedium gibberum* økte sin forekomst vesentlig utover mot høsten - og at den var også et viktig byttedyr for ørreten.

I motsetning til copepodene i Ringedalsvatn, som har en ett-årig livssyklus (andre arter kan ha flerårig), har vannloppene flere partenogenetiske generasjoner gjennom sommersesongen, og de kan oppnå store bestandstettheter utover sesongen dersom temperatur og primærproduksjonen er gunstige. De vil derfor raskt kunne respondere på bedre produksjonsforhold etter gjødslingen. Vannloppene er oftest den prefererte gruppen av krepser-zooplankton hos ørret, men *B. longispina* er ofte mindre predaert på grunn av sin lille størrelse. Copepoder, som er raske svømmere, er vanligvis en lite preferert gruppe byttedyr for ørret, med unntak av store former eller voksne hunner med velutviklede eggsekker.

4.4 Ernæring

Ernæringsdataene for fisk viser at zooplankton ikke utviklet seg til å bli noen betydelig næringsressurs etter gjødslingen, men at den littorale vannloppen linsekrep (Eurycerus lammelatus) ble et viktig byttedyr sammen med terrestre insekter.

Vi har ernæringsdata for årene 2011 til 2013, som alle representerer ulike miljø- og produksjonsforhold. 2011 var et år med ekstrem nedtapping og tilslamming av vannmassene, men med oppfylling til nær høyeste reguleringsvannstand på høsten. 2012 er et år hvor magasinet var blitt fylt opp og representerer et mer normalår med hensyn til vannstandsvariasjoner. 2013 var også et slikt år med hensyn til vannstandsvariasjoner, men her har vi situasjonen med gjødsling som påvirker produksjonen av fiskens næringsdyr. Den spesielle situasjonen med kraftig nedtapping og tilslamminga av vannmassene og effektene av dette på fiskepopulasjonen er belyst i en egen rapport (Rognerud og Fjeld, 2014).

I 2011 var fyllingsgraden av fiskemagene lav og overflateinsekter var viktigste næringsemne med unntak for kannibalistisk ørret. Ut fra analyser av stabile N-isotoper ($\delta^{15}\text{N}$ -forholdet) syntes fisk å bli et innslag i dietten når det ble større enn 22-24 cm. Zooplankton manglet i mageinnholdet, noe som skyldes at de er følsomme for tilslamming av vannmassene (Borgstrøm et al. 1992, Rognerud og Fjeld 2014).

I 2012, da vannkvaliteten og siktedypet hadde bedret seg betraktelig var fjærmygglarver og -pupper sammen med overflateinsekter viktige næringsemner på sommeren, mens meitemark og overflateinsekter dominerte på høsten. Zooplankton, som i følge Borgstrøm et al. (1992) reetablerte seg som viktig gruppe byttedyr i Ringedalsvatnet året etter tilslammings-episoden i 1985, var kun beskjedent representert i mageinnholdet. Det var tydelig at zooplanktonsamfunnet i 2012 ikke hadde rukket å normalisere seg etter den dramatiske tilslammingsperioden i 2010 og 2011.

I 2013 var overflateinsekter viktigste byttedyrgruppe på våren, med unntak hos den yngste fisken hvor zooplankton dominerte. På høsten ble linsekrep (Eurycerus lammelatus) et viktig næringsemne hos 5- og 6-

åringene, mens overflateinsekter dominerte hos de eldre aldersgruppene. Det var ellers lite zooplankton i mageinnholdet, noe som jo reflekterer at zooplanktonbiomassen var relativt lav. Linsekreps et en littoral vannloppe som særlig finnes i vegetasjonen, den kan bli stor (1-2 mm er vanlig) og er kjent for å være et viktig næringsemne for fisk (NINA 2007). I undersøkelsene til Borgstrøm et al. (1992) var linsekreps ikke tilstede i fiskens mageinnhold.

Trolig har etableringen av perifysiske påvekststalger i littoralsonen skapt et nytt og gunstig habitat for linsekrepsen, som i løpet av sommersesongen utviklet seg til en viktig næringsressurs på grunn av sin korte generasjonstid og høye reproduktive potensiale.

Analysene av stabile C-isotoper ($\delta^{13}\text{C}$ -forholdet) støtter oppfatningen om at den pelagiske næringskjeden var av mindre betydning for fisken i 2013. $\delta^{13}\text{C}$ -verdiene endres lite fra næringsemne/byttedyr og til konsument eller predator, og kan derfor brukes til å trekke slutninger om energiresursene eller karbonkildene (France 1995, Vander Zanden and Rasmussen 1999). Planteplankton er general utarmet på den stabile karbonisotopen ^{13}C i forhold til bentiske alger på grunn av forskjeller i isotop-diskriminering av oppløst uorganisk karbon (DIC) (Hecky og Hesslein 1995). En pelagisk drevet næringskjede har derfor et mer negativt $\delta^{13}\text{C}$ -forhold enn en bentisk, og det samme gjelder også i forhold til en terrestrisk næringskjede (del Giorgio and France 1996, Jones et al. 1998). De markert økende $\delta^{13}\text{C}$ -verdiene fra 2011 og til 2013 kan tyde på at det pelagiske næringsnettlet hadde vært viktige før nedslammingen startet i 2011 (slik som også påpekt av Borgstrøm et al. 1992), men at det deretter skjedde en dreining i hovednæringsemnene mot littorale bunndyr (meitemark i 2012, linsekreps i 2013) og overflateinsekter som hovednæringsemnene.

4.5 Vekst og kvalitet hos fisk

Tilveksten og kondisjonen til ørreten i de tre undersøkte årene (2011-2013) varierte betydelig, fra meget lav i 2011 til svært god i 2013. Ulikhetene avspeiler de store forskjellene i produksjonen av byttedyr og fiskens næringsgrunnlag disse årene, og resultatene viser at gjødslingen har hatt positive effekter på fiskens vekst og kvalitet.

I 2011, under tilslammingen, var sesongtilveksten svært lav og for ikke-kannibalistisk fisk var den i hovedsak under 0,5 cm (tilbakeberegnet vekst basert på målinger av sonebredder i otolitter). Midlere lengde av de enkelte aldersgruppene i juni og på høsten dette året tyder på at det var en betydelig størrelsesavhengig dødelighet i løpet av sesongen som selekterte ut de største individene innenfor gitte aldersgrupper. Dette syntes særlig å være tilfelle for 5-åringer og til dels 6-åringene. Det var da også disse alders- og lengdegruppene (≈ 20 cm) som hadde lavest kondisjon dette året. Kondisjonen hos disse gruppene var svært lav (kondisjonsfaktor $\approx 0,7$), og for mange individer lå den på grensen av hva som regnes som terskelen for overlevelse (0,55–0,60; Reimers, 1957). Kannibalistisk fisk hadde imidlertid gode forhold i 2011, trolig på grunn av kombinasjonen av byttefisk i dårlig kondisjon og begrenset sikt i vannmassen. Dette kan ha bedret skjulmulighetene for rovfisken og redusert predatorunnavikelsen hos byttefisken.

I 2012, da magasinet ble fylt opp og vannkvaliteten bedret seg, var sesongtilveksten hos aldersgruppene 4-6 år god med omlag 1,4–2,2 cm. Kondisjonen bedret seg også vesentlig i løpet av denne sesongen og i oktober var kondisjonsfaktoren omlag 1,1-1,2 hos de samme aldersgruppene.

Sesongtilveksten i 2013 var imidlertid vesentlig høyere enn i 2012, og for aldersgruppene 4–6 år var den omlag 2–3,3 cm, det vil si omlag 50 % bedre enn i 2012. Kondisjonen til fisken denne sesongen var omlag som på høsten 2012, så de ekstra energiresursene dette året har i første rekke blitt tatt ut til økt lengdevekst.

Forekomsten av fisk med rød kjøttfarge økte betydelig fra 2011 og til 2013. I 2011 og 2012 dominerte hvit kjøttfarge (omlag 80 % av individene), og kun en mindre andel av fisken ble klassifisert med lys rød farge. Utover sesongen i 2013 økte graden av rødfargingen i kjøttet, og i oktober ble hele 80 % av fisken klassifisert med lys rød kjøttfarge og resten med rød.

Graden av rødfarge i musklene er brukt som et kvalitetstegn hos mange arter laksefisk, og ørret er intet unntak. Fargen skyldes karotenoide pigmenter, i først rekke av typen astaxanthin. Fisken er ikke i stand til å syntetisere disse selv, men må tilføres dem gjennom dietten og krepsdyr er viktigste kilde. De har flere biologisk funksjoner i fisken relatert til vekst og overlevelse, og astaxanthin betraktes nå som et viktig vitamin for laksefisk (Christiansen og Thorrisen 1996, Christiansen et al. 2008, Garner et al. 2010). Det økende innslaget av rødfarge utover i 2013 viser at fisken har hatt et økende innslag på krepsdyr i sin diett, og mageanalysene indikerer at den littorale linsekrepseren har vært den viktigste kilden for disse pigmentene.

5. Referanser

- Ashley, K.I. 1998. Review of provincial lake fertilization experiments in British Columbia, Canada. Restoration of fisheries by enrichment of aquatic ecosystems. International workshop at Uppsala University, March 30-April 1, 1998. Uppsala Universitet, Repro Ekonomikum, Uppsala 1999, 220 pp.
- Aagaard, K., Bækken, T. Jonsson, B. (red). 2002. Biologisk mangfold i ferskvann. Regional vurdering av sjeldne dyr og planter. - NINA Temahefte 21. NIVA lnr 4590-2002. 48 pp.
- Berge, D. 2010. Vassdragsreguleringer og biologisk produksjon i innsjøer – Kan bærekraftig fiskeoppdrett være et avbøtende tiltak? NIVA Rapport 6066. 17.s.
- Bergheim, A. og Braaten, B. 2007. Modell for utslipp fra norske matfiskanlegg til sjø. Rapport IRIS - 2007/180. 35 s.
- Borgström, 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. *Environmental biology of fishes* 34: 247–255.
- Brabrand, Å. 2007. Virkninger av lav sommervannstand på fisk i reguleringsmagasiner. LFI-rapport 249-2007.
- Björk-Ramberg, S. and Ånell, C. 1985. Production and chlorophyll concentration of epipelagic and epilithic algae in fertilized and nonfertilized subarctic lakes. *Hydrobiologia* 126: 213-219.
- Christiansen R., and Torrissen, O.J. 1996. Growth and survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. fed different dietary levels of astaxanthin. Juveniles. *Aquaculture Nutrition*. 2:55- 62.
- Christiansen, R., Lie, Ø. and Torrissen, O.J. 2008. Effect of astaxanthin and vitamin A on growth and survival during first feeding of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture research* 25: 903–914.
- 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.
- Dahl-Hansen, G.A. et al. 1998. LIMNOCULT 1998 Fase-II: Effekter etter to år med næringsaltanrikning av et næringsfattig røyevassdrag, Akvaplan-niva rapport 5341401.
- del Giorgio, P.A., and France, R.L. 1996. Ecosystem-specific patterns in the relationship between zooplankton and POM or microplankton $\delta^{13}C$. *Limnol Oceanogr.* 4: 365-369
- France, R. L. 1995. Differentiation between littoral and pelagic foodwebs in lakes using stable carbon isotopes. *Limnology and Oceanography* 40:1310–1313.
- Garner, S.R., Neff, B.D., and Bernards, M.A. 2010. Dietary carotenoid levels affect carotenoid and retinoid allocation in female Chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha*. *J Fish Biol* 76: 1474–1490.
- Hecky, R. E., and R. H. Hesslein. 1995. Contributions of benthic algae to lake food webs as revealed by stable isotope analysis. *Journal of the North American Benthological Society* 14:631–653.
- Hyatt, K.D., McQueen, D.J., Shortreed, K.S., and Rankin, D.P. 2004. Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) nursery lake fertilization: Review and summary of results. *Environ. Rev.* 12: 133–162.

- Jones, R.I., Grey, J., Sleep, D., and Quarmby, C. 1998. An assessment, using stable isotopes, of the importance of allochthonous organic carbon sources to the pelagic food web in Loch Ness. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* **265**: 105–110.
- Lienesch, P.W., McDonald, M.E., Hershey, A.E., O'Brien, W.J., and Bettez, N.D. 2005. Effects of a Whole-lake, Experimental Fertilization on Lake Trout in a Small Oligotrophic Arctic Lake. *Hydrobiologia* **548**: 51–66.
- Løvik, J.E., Brettum, P., Bækken, T., Kile, M.R. og Skjelbred, B. 2014. Tiltaksorientert overvåking i vannområde Mjøsa. Årsrapport/datarapport for 2013. NIVA rapport LNR 6666-2014. 84 s.
- Mariotti, A. 1983. Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural abundance ^{15}N measurements. *Nature*, **303**: 685 – 687.
- Milbrink, G. 1998. The Scandinavian experience of nutrient enrichment of aquatic environments. International workshop at Uppsala University, March 30-April 1, 1998. Uppsala Universitet, Repro Ekonomikum, Uppsala 1999, 220 pp.
- Miljødirektoratet 2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Vann fra fjell til fjord, veileder 02:2013. http://www.vannportalen.no/Revidert_klassifiseringsveileder140123_VZIS-.pdf
- NINA 2007. Krepsdyr faktaark. *Eurycercus lammellatus*. http://www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/NINA-Infomateriell/2007/krepsdyrfaktaark/walseng_Eurycercus%20lamellatus.pdf
- Reimers, N. 1957. Some aspects of the relation between stream foods and trout survival. *Calif. Fish and Game* **43**: 43-69.
- Rognerud, S. og Fjeld, E. 2014. Undersøkelser av fisk og næringsdyr i Mår og Ringedalsmagasinet 2011-2013. NIVA rapport LNR 6682-2014. 54 s.
- Skaala, Ø., Asplin, L. Husa, V., Buhl-Mortensen, P. Dahl, E. 2013. EPIGRAPH – Hardangerfjorden: Frå forskning og kartlegging til heilskapleg forvaltingsplan. I: Bakketeig I.E., Gjøsæter H., Hauge M., Loeng H., Sunnset B.H. og Toft K.Ø. (red.). Havforskningsrapporten 2013. Fisken og havet, særnr. 1–2013: 87-91.
- Skjelkvåle, B.L., Henriksen, A., Faafeng, B., Fjeld, E., Traaen, T., Lien, L., Lydersen, E. og Buan, A.K. 1996. Regional innsjøundersøkelse 1995. En vannkjemisk undersøkelse av 1500 norske innsjøer. Statlig program for forurensningsovervåking. SFT. Rapport 677/96.
- Sterner, R.W., Smutka, T.M., McKay, R., Qin, X.M., Brown, E.T., and Sherrell, R.M. 2004. Phosphorus and trace metal limitation of algae and bacteria in Lake Superior. *Limnol Oceanogr* **49**: 495–507.
- Stokner, J.G. and MacIsaac, E. A. 1998. Lake fertilization for sockeye salmon enhancement in British Columbia, Canada. International workshop at Uppsala University, March 30-April 1, 1998. Uppsala Universitet, Repro Ekonomikum, Uppsala 1999, 220 pp.
- Vandeboncoeur, Y. and Lodge, D.M. 2000. Periphyton production on wood and sediment: substratum-specific response to laboratory and whole-lake nutrient manipulations. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **19**(1): 68–81.
- Vandeboncoeur, Y. and Steinman, A.D. 2002. Periphyton function in lake ecosystems. *The Scientific World Journal* **2**: 1449–1468.
- Vandeboncoeur, Y., Lodge, D.M., and Carpenter, S.R. 2001. Whole-lake fertilization effects on distribution of primary production between benthic and pelagic habitats. *Ecology* **82**(4): 1065–1077.

Vannforskriften 2006. FOR 2006-12-15 nr 1446: Forskrift om rammer for vannforvaltningen. URL: <http://www.lovddata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20061215-1446.html#map0>

Vander Zanden, M. J., and J. B. Rasmussen. 1999. Primary consumer $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology* **80**:1395–1404.

Vollenweider, R. A. 1975 Input – output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. *Schweiz. Z. Hydrol.* 27, 53 – 84.

Wetzel, R.G. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd ed. Academic Press. San Diego 1006 p.

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