

Hydrofish - prosjektet

Resultater fra undersøkelser i 2007

Sandvatn 26. juni 2007 Foto: Sigurd Rognerud

Det var unormalt mye snø i Sandvatn's nedbørsfelt sommeren 2007, og kaldt smeltevann preget vanntemperaturen i Sandvatn helt til midten av august. Det var fortsatt snøleier igjen da vinteren satte inn.

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 871

Tittel HydroFish-prosjektet Resultater fra undersøkelsene i 2007	Løpenr. (for bestilling) 5622-2008	Dato 23. mai 2008
	Prosjektnr. Undernr. 27233	Sider Pris 32
Forfatter(e) Sigurd Rognerud (NIVA) Eirik Fjeld (NIVA) Atle Rustadbakken (NIVA) Tore Qvenild, FM-Hedmark Arne Magnus Hekne, UMB Annlaug Meland, UMB	Fagområde limnologi	Distribusjon
	Geografisk område Vinje og Tinn kommuner	Trykket Copycat

Oppdragsgiver(e) EBL-Kompetanse, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Direktoratet for Naturforvaltning (DN)	Oppdragsreferanse Nils Runar Sporan, Steinar Sandøy, Jon Arne Eie
---	--

HydroFish er et tre-årig FOU-prosjekt som benytter en kombinasjon av nye og vel etablerte metoder for analyser av næringskjeder og fisk i uregulerte referansesjøer og kraftverksmagasiner. Prosjektet har kjernevirksomheten i fjellsjøer i Tinn og Vinje kommuner. Det var en nær sammenheng mellom fiskens årspesifikke vekst og vanntemperatur sommerstid i referansesjøene. Best vekst var det i innsjøen med tynnest bestand og dårligst der bestanden var tettest. I de regulerte innsjøene var det ingen sammenheng mellom vanntemperatur og vekst. Forhold som hvor raskt magasinet fylles og vannstanden sommerstid er antagelig viktigere. I 2006 hadde mange magasin lav vannstand og fisk av dårlig kvalitet. To av disse ble undersøkt i 2007, og i begge hadde kvaliteten bedret seg. Stabile isotopanalyser og mageanalyser av fisk viser at reguleringer endrer næringskjedene og særlig energikildene (plantene) når innsjøene reguleres. God produksjon av ørret er avhengig av gode bestander av skjoldkrepss og marflo om høsten. Tidlig magasinifylling og høy vannstand sommerstid er viktig i denne sammenheng.

Fire norske emneord 1. Fjellsjøer 2. Fiskeundersøkelser 3. Kraftverksmagasin 4. Næringskjeder	Fire engelske emneord 1. Mountain lakes 2. Fish surveys 3. Hydroelectric reservoirs 4. Food webs
---	--



Sigurd Rognerud
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

HydroFish-prosjektet

Resultater for undersøkelsene i 2007

Forord

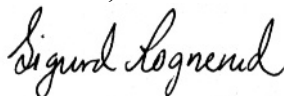
Denne rapporten er den første årsrapporten for HydroFish prosjektet, som er et samarbeid mellom NIVA og laboratorium for ferskvannsökologi og innlandsfiske (LFI). Prosjektet er et treårig FOU-prosjekt som skal benytte en kombinasjon av nye og vel etablerte metoder for analyser av næringskjeder og fisk i regulerte og uregulerte magasiner. Hensikten er å skaffe økt kunnskap om fiskebestander i regulerte innsjøer til bruk i forvaltning av disse ressursene. Viktigst i denne sammenheng er en bedre forståelse av hvordan naturlig rekruttering, tilvekst og tetthet av fisk og produksjon av viktige næringsdyr påvirkes av klimatiske forhold, reguleringshøyder og vannstandsvariasjoner over året. Målet er å identifisere kritiske faktorer for fiskeproduksjon slik at et best mulig fiske kan utøves i magasiner som primært skal benyttes til El-produksjon. Prosjektet er en forsettelse av NIVAs forskningsprosjekt Hardangervidda-prosjektet, hvor klimavariasjoners betydning for fiske og forvaltning av ørretbestandene på Hardangervidda er undersøkt.

I 2007 har NIVA undersøkt 3 uregulerte (referansesjøer) på Hardangervidda, samt Mårvatn og Kalhovdmagasinet, og HydroFish har bidratt med økonomisk støtte til Arne Magnus Hekne og Annlaug Meland som tar sin mastergrads-oppgave ved Universitetet for miljø og biovitenskap (UMB). De har gjort fiskeundersøkelser i Kjølavatn, Bordalsvatn og Ståvatn, og vi får benytte resultater i HydroFish-prosjektet. LFI (Åge Brabrand) har gjennomført et prosjekt om rekruttering av skjoldkreps til regulerte Vinstervatn på Valdresflya sammen med NINA (Trygve Hesthagen) og UMB (Reidar Borgstrøm) samt undersøkt Bitdalsvatn og Songa. Resultatene fra dette rapporteres separat.

Prosjektet er finansiert av EBL-kompetanse, NVE og DN. NIVA bidrar også med egne forskningsmidler. Styringsgruppen i prosjektet består av Nils Runar Sporan (formann), Sjur Gammelsrud (Statkraft), Arne Erlandsen (konsulent), Jon Arne Eie (NVE), Steinar Sandøy (DN), Sigurd Rognerud (NIVA) og Åge Brabrand (LFI).

NIVAs feltarbeidet i 2007 ble gjennomført av Sigurd Rognerud, Eirik Fjeld og Atle Rustadbakken samt Tore Qvenild (FM-Hedmark). Tilsynsutvalet i Telemark for verneområda på Hardangervidda har gitt de nødvendige landingsløyver for sjøfly. Mårfjell sameige og IS Laagefjeld har stilt hytter til disposisjon og gitt fiskeløyver. Stein Lier Hansen har vært behjelpelig med logistikk og lokalkunnskap rundt undersøkelsene på Dargesjøen. Alle takkes for et godt samarbeid og at det har vært mulig å gjennomføre undersøkelsen.

Ottestad, 23. mai 2008



Sigurd Rognerud

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Metoder	8
2.1 Værdata	8
2.2 Temperaturloggere	8
2.3 Fiskeundersøkelsene	8
2.4 Analyser av stabile isotoper	9
3. Resultater	10
3.1 Værdata	10
3.2 Snødata	10
3.3 Temperatur i innsjøene	13
3.3.1 Temperatur i vann og luft samt vindaktivitet i 2007	13
3.3.2 Vanntemperatur i Sandvatn og Dargesjøen 2003-2007.	15
3.4 Fiskens næringsnett undersøkt ved hjelp av stabile isotoper og mageanalyser.	16
3.4.1 Innledning	16
3.4.2 Stabile isotop-analyser av ørret	16
3.5 Fiskeundersøkelsene	19
3.5.1 Ernæring - mageanalyser i 2007	19
3.5.2 Tidstrender i fiskens ernæring i Sandvatn	21
3.5.3 Mårvatn – skjodkreps og magasinifylling	22
3.6 Fiskeribiologiske forhold i alle innsjøene.	24
3.6.1 Kondisjonsfaktor	24
3.6.2 Årsspesifikk vekst	25
4. Diskusjon	27
4.1 Fysiske forhold	28
4.2 Fiskens ernæring	28
4.3 Fiskens vekst	30
5. Referanser	31

Sammendrag

HydroFish er et tre-årig FOU-prosjekt som benytter en kombinasjon av nye og vel etablerte metoder for analyser av næringskjeder og fisk i uregulerte referansesjøer og regulerte magasiner. Hensikten er å skaffe økt kunnskap om fiskebestander i regulerte innsjøer til bruk i forvaltning av disse ressursene. Viktigste i denne sammenheng er en bedre forståelse av hvordan naturlig rekruttering, tilvekst og tetthet av fisk og produksjon av viktige næringsdyr påvirkes av klimatiske forhold, reguleringshøyder og vannstandsvariasjoner over året. Målet er å identifisere kritiske faktorer for fiskeproduksjon slik at et best mulig fiske kan utøves i magasiner som primært skal benyttes til EI-produksjon. Prosjektet har sin kjernevirksomhet i fjellsjøer i Tinn og Vinje kommuner. Betydningen av bestandstetthet og årlige variasjoner i vanntemperaturer for produksjon av næringsdyr, fiskens årsspesifikke vekst og kondisjon er studert i tre uregulerte innsjøer på sentrale deler av Hardangervidda over flere år, mens effekten av dette i tillegg til reguleringer er studert i magasiner i utkanten av Hardangervidda. Resultatene fra referansesjøene er viktig når resultatene av fiskeribiologiske undersøkelser i magasinene diskuteres.

Vi har vist at i referansesjøene Fjellsjøen, Dargesjøen og Sandvatn var det en god sammenheng mellom vanntemperaturene sommerstid og ørretens årlige tilvekst de siste 4-6 årene. Veksten var best i Fjellsjøen, som har tynneste bestand, og dårligst i Sandvatn som har tettest bestand. I de regulerte innsjøene Mårvatn og Kalhovdmagasinet var det ingen sammenheng mellom årspesifikk vekst og middeltemperatur. I disse magasinene har vi indikasjoner på at veksten var mer styrt av forhold knyttet til magasinutfyllingen og vannstandsvariasjoner gjennom den virkning dette har på bestandstetthet, og av viktige næringsdyr som skjoldkrepsspesielt utover høsten.

Sommeren 2006 var vannstanden unormalt lav i flere magasin i øvre Telemark med den følge at fiskens kondisjon (K-faktor) var relativt lav i august og lavest for stor fisk. I Kjelavatn og Bordalsvatn, som er blant disse magasinene, var K-faktor i august 2007 nær den samme som på samme tid året før (0,85). I Kjelavatn økte imidlertid K-faktor i 2007 betydelig fra august til september (0,91) og da særlig for større fisk, mens små endringer skjedde i Bordalsvatn med unntak av en liten bedring for større fisk.

I 2007 var referansesjøen Sandvatn i Kvennavassdraget sterkt preget av kaldt smeltevann helt fram til midten av august. Dette gjorde at bestandene av marflo og linsekrepsspesielt var betydelig lavere enn i tidligere år, mens skjoldkrepsspesielt første gang på 6 år ikke ble observert i fiskemager selv seint på høsten. Disse næringsdyrene er sentrale for fiskens vekst utover høsten når tilgangen på klekete innsekter og insektslarver er betydelig redusert. Følgene av dette, og en tett bestand av fisk, var at fiskens kondisjonsfaktor sank betydelig fra midten av august til slutten av september. Dette viser at fiskens kondisjon kan endre seg raskt ved bortfall av krepsdyr i dietten på høsten. Dette skjedde ikke i de nærliggende innsjøene Dargesjøen og Fjellsjøen som ikke var utsatt for kaldt smeltevann langt utover sommeren. En god bestand av krepsdyr som skjoldkrepsspesielt og marflo utover høsten sørget for god vekst og en økning i kondisjonsfaktor over vekstsesongen.

Fisk i regulerte innsjøer og smeltevannspåvirkede innsjøer med tett fiskebestand er mest utsatt for nedgang i K-faktor utover høsten som følge av svikt i produksjon av næringsmessig viktige krepsdyr. Dette går stort sett mest utover stor fisk. Vi har vist at K-faktor kan endre seg raskt over sesongen, og et prøvofiske gir derfor ikke nødvendigvis et representativt bilde. Dessuten var det stor variasjon i K-faktor i bestandene i magasinene. Dette gjør det nødvendig med et stort materiale for å kunne oppdage signifikante endringer over tid.

1. Innledning

HydroFish er et tre-årig FOU-prosjekt som skal benytte en kombinasjon av nye og vel etablerte metoder for analyser av næringskjeder og fisk i regulerte magasiner. Hensikten er å skaffe økt kunnskap om fiskebestander i regulerte innsjøer til bruk i forvaltning av disse ressursene. Viktigst i denne sammenheng er en bedre forståelse av hvordan naturlig rekruttering, tilvekst og tetthet av fisk og produksjon av viktige næringsdyr påvirkes av klimatiske forhold, reguleringshøyder og vannstandsvariasjoner over året. Målet er å identifisere kritiske faktorer for fiskeproduksjon slik at et best mulig fiske kan utøves i magasiner som primært skal benyttes til EL-produksjon.

Undersøkelser av ørretens livsvilkår på Hardangervidda har vist at årlige svingninger i værforhold, og spesielt ekstremvær, har stor betydning for ørretens rekruttering, årsklassestyrke, tilvekst og avkastning (Rognerud et al. 2003, 2005, 2006, 2007, Borgstrøm 2001). I uregulerte innsjøer på sentrale deler av Hardangervidda har vi vist at årspesifikk lengdevekst i fisk er nær knyttet til bestandstetthet og vanntemperatur i produksjonsperioden (Rognerud et al. 2007). I 2007 var det uvanlig store snømengder på sør-vestre deler av Hardangervidda. Denne rapporten omhandler bl.a. følgene av hva mye kaldt smeltevann har for tilgang på næringsdyr og fiskens vekst i 2007. Klimaprognosene viser at ekstremvær kommer til å opptre mer hyppig i årene som kommer (Iversen et al. 2005). Det er derfor rimelig å anta at klimavariasjonenes betydning for fiskebestandene i fjellet kan bli betydelig større i årene som kommer og at dette kan bli en ekstra ”stressfaktor” for bestandene i regulerte fjellsjøer.

I denne rapporten vises resultatene av fisk- og næringsdyrundersøkelser i 3 uregulerte innsjøer (referansesjøer) sentralt på Hardangervidda (årlig siden 2001), og 7 regulerte innsjøer i øvre Telemark (Fig. 1). I referansesjøene undersøkes betydningen av årlige klimavariasjoner (temperatur, isfri periode, smeltevannseffekt) og fisketetthet for årspesifikk vekst, årsklassestyrker og næringsdyrproduksjon. Dette skal danne bakgrunn for en vurdering av den betydning en fluktuerende vannstand i tillegg har for fisk og næringsdyr i de regulerte innsjøene. I 2006 var vannstanden svært lav i flere av magasinene i øvre Telemark, og fiskens kvalitet var dårlig og preget av mangelfull mattilgang (Brabrand 2007). En viktig del av undersøkelsen er å klarlegge i hvilken grad en ”normalisering” fant sted i 2007. I denne sammenheng har NIVA undersøkt Mårvatn og Kalhovdmagasinet, mastergradstudentene Arne Magnus Hekne (Hekne 2008), og Annlaug Meland (Meland 2008) ved UMB har prøvefisket Ståvatn, Kjølavatn og Bordalsvatn (økonomisk støtte fra HydroFish), og LFI har prøvefisket Bitdalsvatn og Songa. Resultatene fra noen av undersøkelsene i Ståvatn, Kjølavatn og Bordalsvatn er inkludert i denne rapporten, mens resultatene fra Songa og Bitdalsvatn er ennå ikke rapportert, med unntak av resultatene fra stabile isotopanalysene i fisk som er inkludert.

Hensikten med undersøkelsen er å klarlegge hvor raskt fiskepopulasjonene i de regulerte innsjøene ”normaliseres” etter et år med ekstremt lav vannstand. Hvordan endres tilgangen på næringsdyr med økende reguleringshøyde og varierende grad av magasinifilling? Videre hvordan magasinifillingen på våren og vannstandsvariasjoner påvirker bestander av sentrale næringsdyr. I hvilken grad er overordnede miljøfaktorer som klimavariasjoner sentrale for variasjoner i rekruttering, tetthet og vekst av fisk og næringsdyr i regulerte innsjøer? Hvilke følger vil det ha for bestander av fisk og næringsdyr at magasinene utnyttes til EL-produksjon i større utstrekning sommerstid? Kan det skapes refugier i magasinene som hindrer at marflo og skjoldkreps forsvinner i regulerte innsjøer?



Figur 1. *Beliggenheten av de undersøkte innsjøene i Vinje og Tinn kommuner. Innsjøer merket mørkeblått er regulerte innsjøer. Fiskebestander er undersøkt i "referansesjøene" Sandvatn, Dargesjåen og Fjellsjåen i Kvennavassdraget og i de regulerte innsjøene Songavatn, Ståvatnet, Kjelavatnet, Bordalsvatnet, Bitdalsvatnet, Mårvatn og Kalhovdfjorden (Kalhovdmagasinet). Temperaturforhold er undersøkt i referansesjøene. Kartgrunnlag: nve no*

2. Metoder

2.1 Værdata

Temperaturforholdene på sentralvidda ble i 2005 kalibrert ved hjelp av en værstasjon som ble satt opp ved Dargesjøen og sammenlignet med målinger ved Geilostølen og Møsstrand meteorologiske stasjoner. Det var en svært god sammenheng mellom variasjonene av lufttemperaturer (døgnmidler) ved de tre målestasjonene. Forskjellene var i snitt 0,8 °C pr. 100 m høydeforskjell (Rognerud et al. 2006). Geilostølen (810 moh.) har til nå vært benyttet som referanse for temperaturforholdene på sentralvidda over tid, men denne stasjonen ble nedlagt i 2005. Ved beregninger av middeltemperaturen i produksjonsesongen i 2006 og 2007 er data fra Møsstrand (977 moh.) benyttet og justert opp med 0,27 °C for å fortsette tidsrekken ved Geilostølen. Meteorologiske data er hentet fra met.no.

Ved hjelp av en modell simuleres snømengder hver dag for hver kvadratkilometer i Norge (nve.no). Modellene beregner snøens vannekvivalenter, fritt vann i snøen og avrenning fra snøen. Vi har hentet ut slike snøkart fra dette nettstedet for fire tidspunkt hvert år i perioden 2001 til 2007.

2.2 Temperaturloggere

I referansesjøene Sandvatn, Dargesjøen og Fjellsjøen ble det satt ut et sett med temperaturloggere som registrerte vanntemperaturen hver time i perioden 26. juni – 29. september 2007 på 1 m og 15m samt 30 m i Fjellsjøen. I tillegg ble en logger satt ut i hver sjø med registreringer en gang om dagen. Disse hentes inn våren 2008 for avlesning. Hensikten er å tidfeste islegging i 2007, isgang i 2008 og temperaturen i vinterhalvåret.

2.3 Fiskeundersøkelsene

Prøvefisket ble gjennomført ved følgende tidsperioder: Dargesjøen (26.06.07 – 27.06.07 og 28.09.07 – 29.09.07), Sandvatn (26.06.07 - 27.06.07, 12.08.07 - 16.08.07 og 29.09.07 – 30.09.07), Mårvatn og Kalhovdmagasinet (27.09.06 – 28.09.06), og Fjellsjøen (28.06.07 – 29.06.07 og 28.09.07 – 29.09.07). Ståvatn, Kjelavatn og Bordalsvatn ble fisket uke 26, 30 og 36.

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 angivelse av 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 tilbakeberegnet fra skjell ved hjelp av metode beskrevet av Dahl (1910). Metoden forutsetter en direkte lineær proporsjonalitet mellom skjellradier og fiskens lengde. Den årlige tilveksten er som hovedregel beregnet ut fra to skjell fra hver fisk og middelverdien av de ulike soner benyttet ved vekstberegningen. Tilveksten for de to første leveårene er ikke tatt med da ungfisk ikke har direkte proporsjonalitet mellom skjellvekst og lengdevekst på samme måte som eldre fisk. For kjønnsmoden fisk er året ekskludert i beregningen på grunn av stagnasjon i veksten under kjønnsmodningen.

2.4 Analyser av stabile isotoper

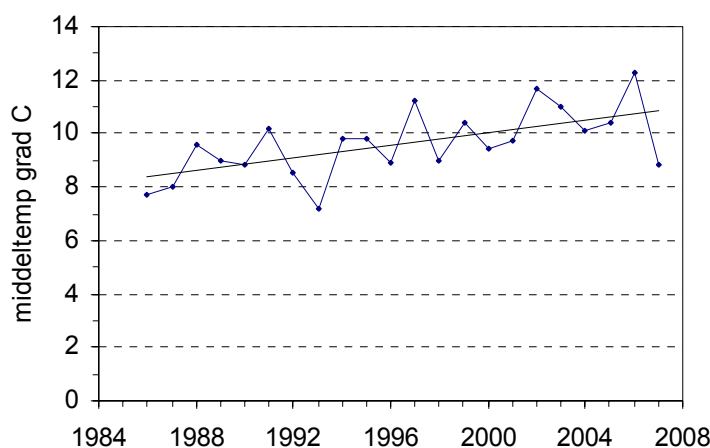
Fra Ståvatn, Kjølavatn, Bordalsvatn, Bitdalsvatn, Songa, Kalhovdmagasinet og Mårvatn ble det analysert henholdsvis 20, 21, 18, 10, 10, 30 og 26 fisk. Utvalget representerer fisk fra hele lengdeintervallet i prøvefangstene. I de tre førstnevnte innsjøene er fisken analysert på Universitet for miljø og Biovidenskap (UMB). Bitdalsvatn og Songa er fisket av LFI, mens Kalhovdmagasinet og Mårvatn er fisket av NIVA. Alle disse prøvene er analysert på Institutt for Energiteknikk (IFE) på Kjeller.

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 husstandard av ørretfilet.

3. Resultater

3.1 Værdata

Temperaturen i månedene juli, august og september er viktige for produksjon av fisk og næringsdyr. Denne perioden er mest aktuell da isen på sentralvidda normalt går i midten av juni og legger seg i midten av oktober. Vi har tidligere vist at temperaturen sommerstid ved Geilostølen er godt korrelert til vanntemperaturene i overflatesjiktet av innsjøene på sentralvidda, selv om det er en liten tidsforsinkelse i oppvarmingsfasen og i avkjølingsfasen på grunn av vannets store varmekapasitet (Rognerud et al. 2003, 2005, 2006). Basert på en regresjon for gjennomsnittlig lufttemperatur i perioden juli – september (JAS) fra 1986 til 2006 har det vært en generell økning på 3 °C på disse 21 årene (Fig. 2). De siste 14 årene har temperaturen (JAS) vært over normalen (9,0 °C, 1961-1990) for denne perioden, med unntak av 2007 som var litt under normalen 8,8 °C (Fig.2).

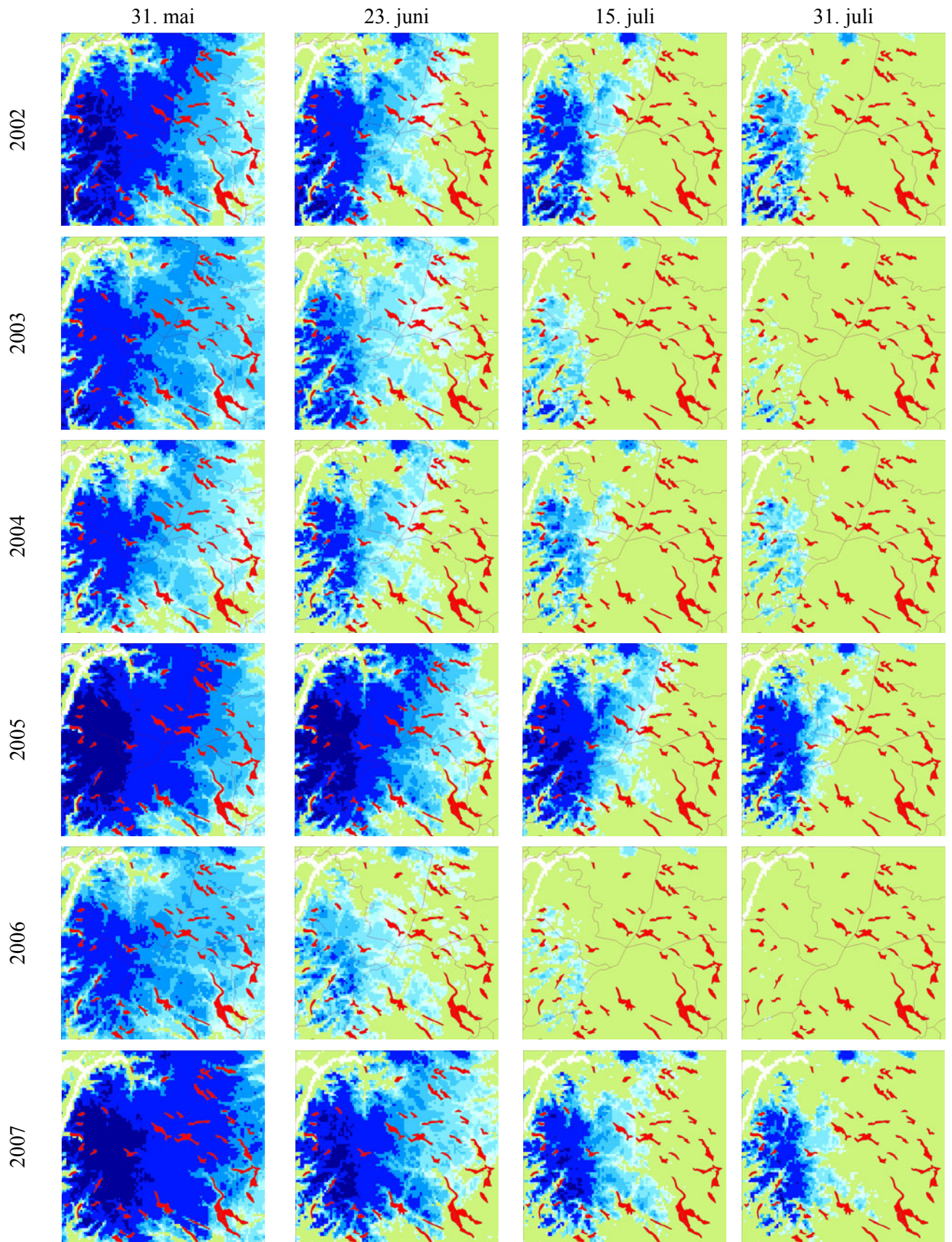


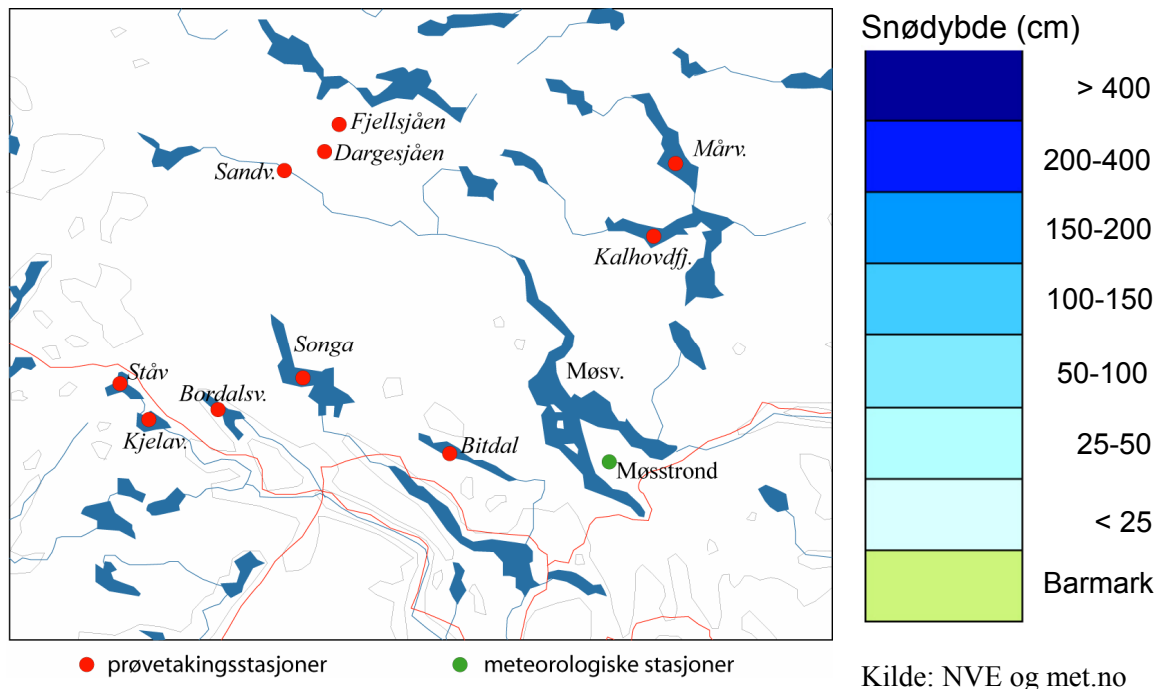
Figur 2. Middelttemperaturen ved Geilostølen meteorologiske stasjon for månedene juli, august og september i perioden 1986 til 2005. I 2006 og 2007 mangler data fra Geilostølen, men da er data hentet fra Møsstrand meteorologiske stasjon og justert opp med 0,27 °C (se metodekapitlet). Normalen for perioden 1961-1995 er 9,06 °C. Kilde met.no

Undersøkelsene av fiskens vekst i Sandvatn har frembrakt data for perioden 1999 til 2007. I denne perioden har vær-situasjonen i sommerperioden vist store variasjoner. I Norge var 2005, 2004 og 2003 henholdsvis det sjettede, 7ende og 8ende varmeste året siden Meteorologisk Institutt startet sine målinger i 1867, og 2006 var det tredje varmeste året som er registrert (met.no). Sommeren 2006 var den fjerde varmeste sommeren som er registrert. Været på Hardangervidda er sterkt preget av været på Vestlandet. For Vestlandet som helhet var 2006 det varmeste som er registrert og temperaturen var 1,8 °C over normalen (met.no). Det skal også nevnes at høsten 2006 (september-november) var den varmeste høsten siden målingene startet i 1867 med temperaturer ca 3 °C over normalen (met.no). Selv om lufttemperaturer og vanntemperaturer i overflatelagene samvarierer etter isgang, så vil innsjøer med nedbørsfelt i høyereliggende områder med mye snø kunne preges av smeltevann utover sommeren. I 2007 var betydningen av smeltevann stor i Sandvatn som ligger i Kvenna og har et nedbørsfelt som inkluderer de snørike områdene i sydvestre deler av Hardangervidda. Derfor er en oversikt over snømengder regionalt på Hardangervidda i undersøkelsesperioden nyttig informasjon.

3.2 Snødata

Snømengden på Hardangervidda i perioden juni-august for undersøkelsesperioden er vist i Figur 3.





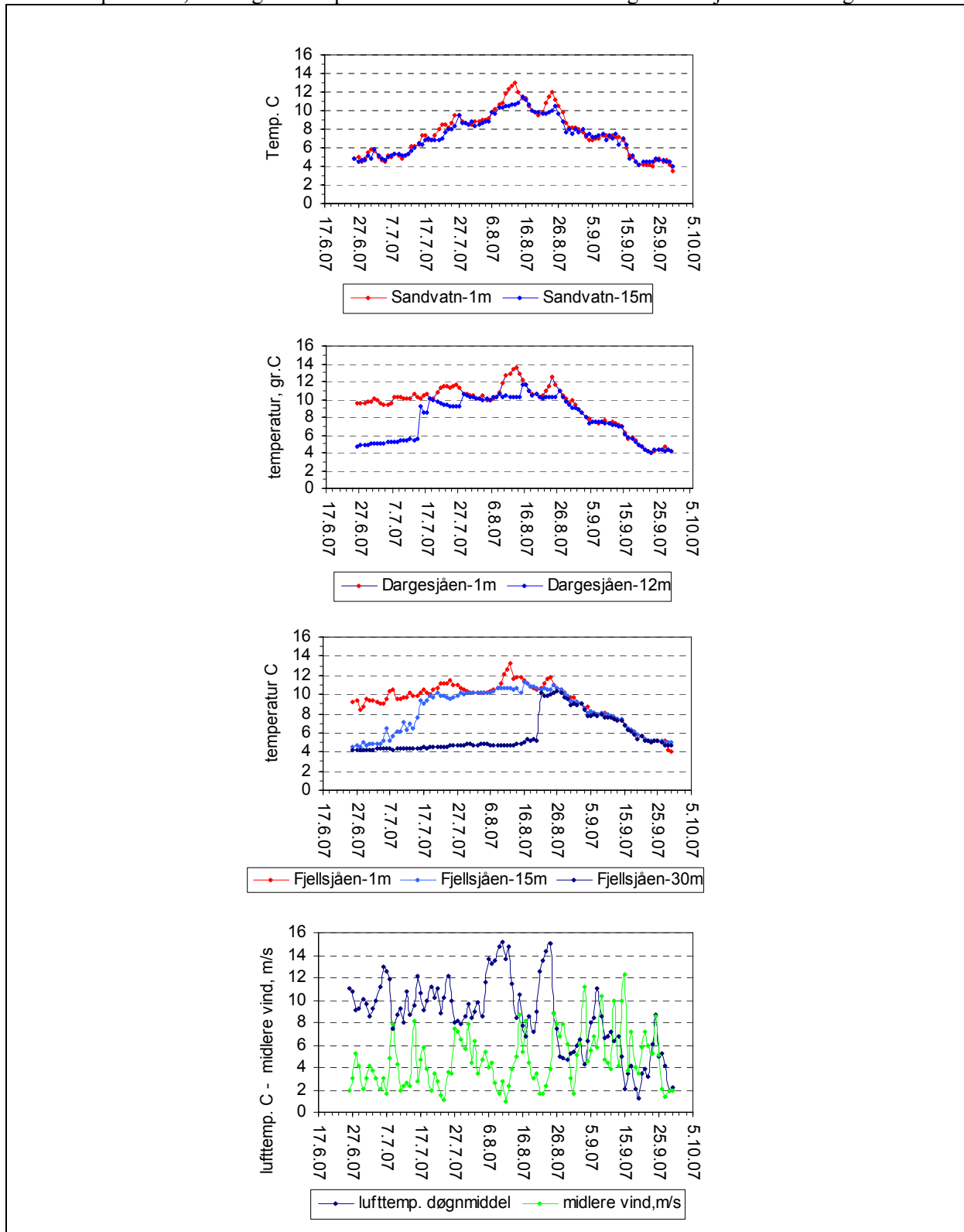
Figur 3. Snøkart for Hardangervidda for 4 tidspunkt hvert år i perioden 2001-2006 (motsatt side). Kartet er fremstilt ved hjelp av en modell som simulerer snømengder for hver kvadratkilometer på bakgrunn av bl.a. interpoleringer mellom målestasjoner (kilde: NVE og met.no). I disse kartrutene er de største innsjøene merket rødt, mens lokaliseringen av undersøkte innsjøer i rutenettet og fargeskala for ulike snødyp også er vist.

Det har vært store regionale forskjeller i snømengder på Hardangervidda de årene undersøkelsene har pågått. Det har vært en betydelig gradient med størst snømengder i vest-sydvest og minst i øst, men dette er normalt (vist i Rognerud et al. 2003). I 2002, 2005 og særlig i 2007 var snømengdene så betydelige at snøen ikke forsvant i løpet av høsten i de vestligste fjellområdene. Disse årene var det fortsatt mye snø i midten av juli i øvre del av nedbørsfeltet til Sandvatn og flekkvis ved Dargesjøen/Fjellsjøen. I 2003, 2004 og 2006 var det snøfritt allerede i månedskiftet juni/juli ved Dargesjøen og Fjellsjøen og flekkvis i Sandvatns nedbørsfelt. Kvennas nedbørsfelt strekker seg langt mot sør-vest på Hardangervidda. I 2002, 2005 og spesielt i 2007 preget kaldt smeltevann temperaturen i Kvenna og høyst sannsynlig i innsjøene fra Kvennsjøen til Møsvatn i store deler av sommerperioden (Rognerud et al 2007, og denne rapporten). Blant de regulerte innsjøene var det tidligst snøfritt ved Mårvatn og Kalhovdfjorden. Det var tidligst snøfritt i første av juni (2002, 2003, 2004) og seinest i slutten av juni (2001, 2005, 2007).

3.3 Temperatur i innsjøene

3.3.1 Temperatur i vann og luft samt vindaktivitet i 2007

Vanntemperaturer, vind og lufttemperatur ved Møstrand meteorologiske stasjon er vist i Fig.4.



Figur 4. Vanntemperaturer i innsjøene, lufttemperaturer og midlere vind ved Møstrand met st. 2007

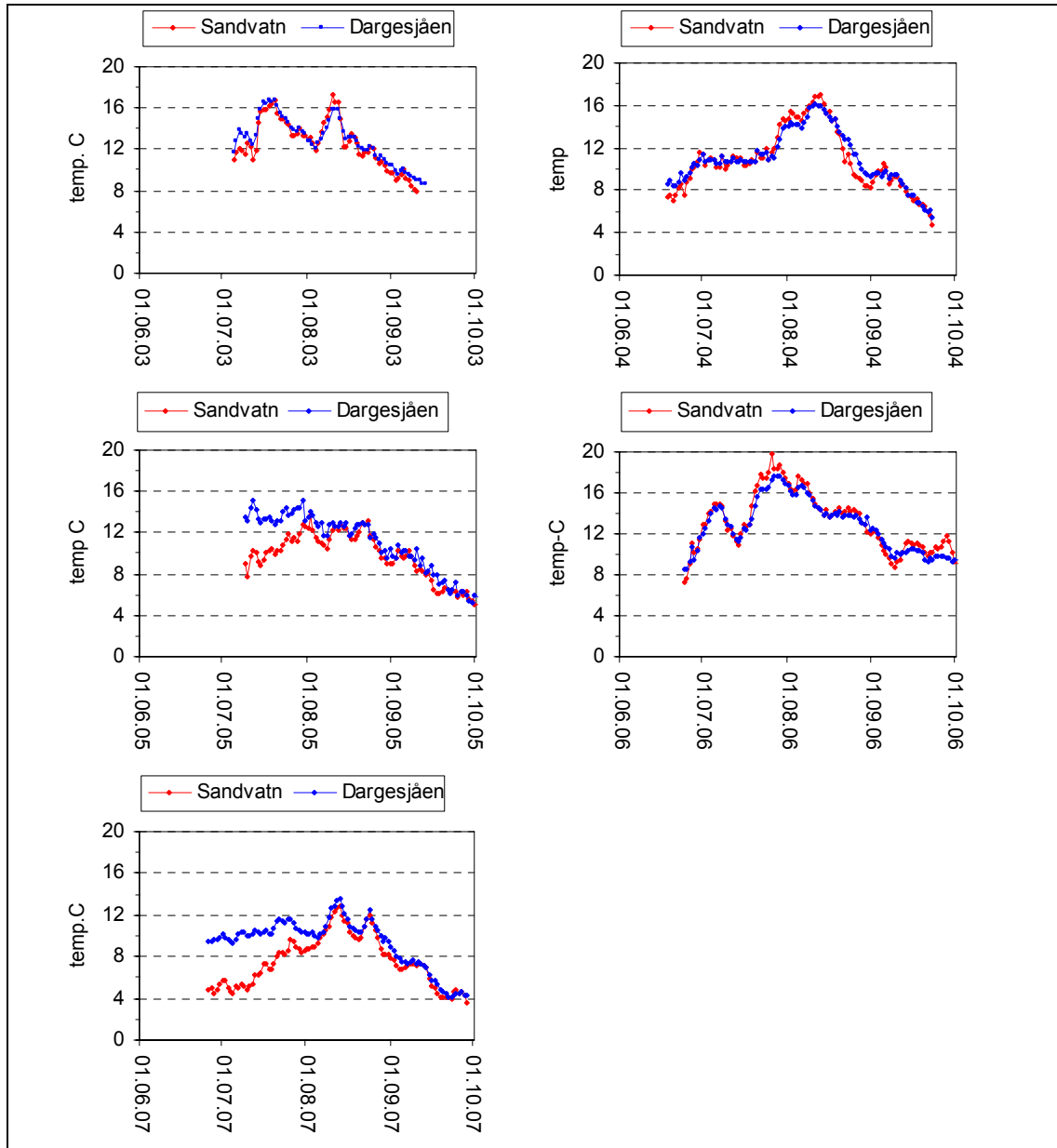
Temperaturloggerne ble satt ut 26. juni 2007 ca. 10 dager etter isgang. Dargesjøen ligger i nedbørfeltet til Fjellsjøen og på nær samme høyde over havet. Temperaturgangen på 1m og 15 m var da også svært lik i disse sjøene. Etter en vindfull periode i midten av juli sirkulerte begge innsjøene ned til 15 m. Etter dette var det fullsirkulasjon i Dargesjøen (15 m dypeste punkt) helt til islegging, mens Fjellsjøen sirkulerte ned til dypeste punkt (30 m) først 20. august etter en vindfull periode i de foregående dagene. I nedbørfeltet til disse sjøene var nesten all snø borte da loggerene ble satt ut. I Sandvatn (15 m dypt) var det fullsirkulasjon fra isgang til islegging, og maksimum temperatur var ikke over 13 grader. Det var store snømengder i sydvestre deler av nedbørfeltet i slutten av juni (Fig. 5). Dette førte til at Kvenna var preget av stor vannføring og kaldt smeltevann hele sommeren 2007. Sandvatn har i slike situasjoner kort oppholdstid (Rognerud et al. 2006), og vanntemperaturene var preget av Kvennas kalde smeltevann helt fram til midten av august (Fig. 6).



Figur 5. Flyfoto av Sandvatns nærrområder (øverst til venstre) og sydvestre del av nedbørfeltet (øverst til høyre) 26. juni 2007. På dette tidspunkt hadde ikke isen gått på Øvre Bjørnavatnet som ligger 45 m høyere enn Sandvatn og 10 km lenger sydvest. Nederst vises Sandvatn 30. september 2007 med snøfonner fortsatt til stede i høyereliggende områder i vest (Foto: Sigurd Rognerud).

3.3.2 Vanntemperatur i Sandvatn og Dargesjåen 2003-2007.

I år med lite snø i nedbørfeltet på våren slik som i 2003, 2004 og 2006 (Fig.3) var det en god overensstemmelse mellom temperaturene i Sandvatn og Dargesjåen (Fig.6). Unntak fra dette skjedde i år med mye snø i Kvennas nedbørfelt (2005, 2007) da smeltevann utover sommeren førte til betydelig lavere temperaturer i Sandvatn enn i Dargesjåen.



Figur 6. Vanntemperaturer på 1m's dyp i Sandvatn og Dargesjåen i perioden 2003 til 2007.

3.4 Fiskens næringsnett undersøkt ved hjelp av stabile isotoper og mageanalyser.

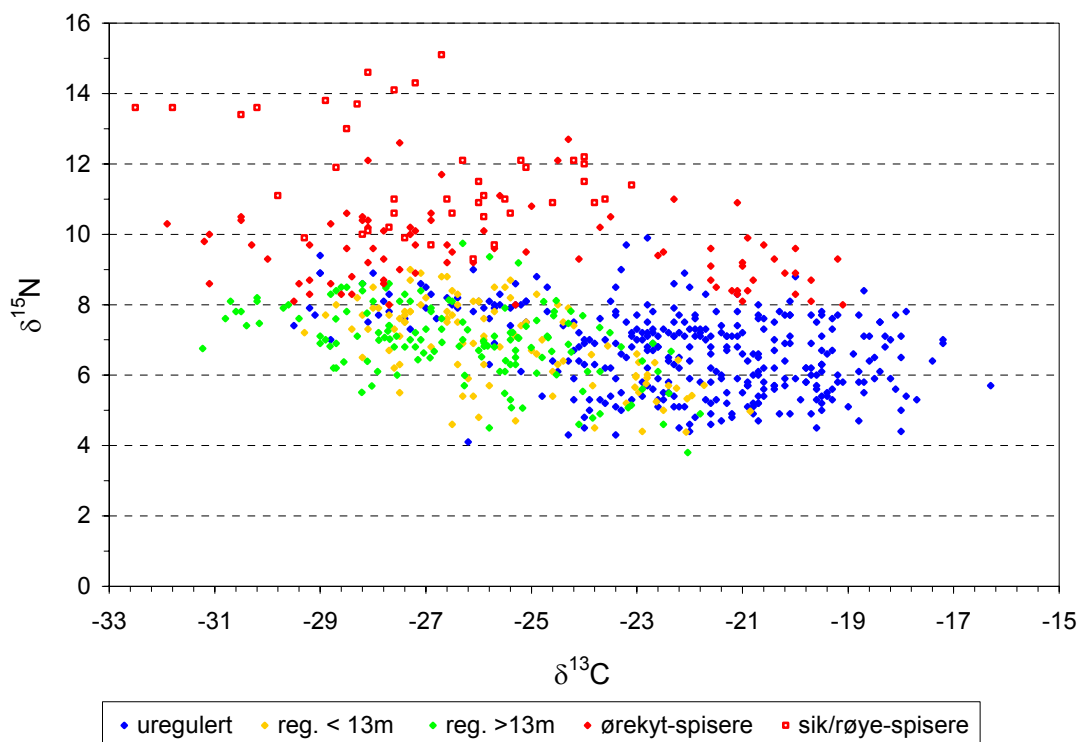
3.4.1 Innledning

Bruk av stabile C- og N-isotopanalyser (SIA) av fisk og næringsdyr gir en god individuell indikasjon på hvilke næringsdyrgrupper som har vært viktigst for henholdsvis fiskens vekst og trofiske posisjon i næringskjeden. Mageanalyser gir bare øyeblikksbilder, men de er viktige for en mer detaljert framstilling av fiskens næringsnett og energistrøm. For eksempel har landinsekter $\delta^{13}\text{C}$ -signaturer som er nær de en ofte observerer hos insektslarver i innsjøens dypområder. Mageanalyser bør derfor helst gjennomføres 2-3 ganger (juni/juli, august og slutten av september) for en optimal tolkning av næringsnettet i de enkelte undersøkte innsjøer og magasin slik det ble gjort i denne undersøkelsen.

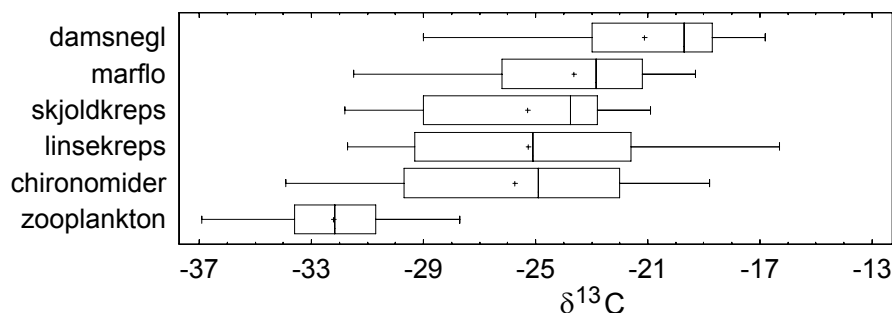
Resultatene av SIA fremstilles i biplott med $\delta^{13}\text{C}$ -signaturen på x-aksen og $\delta^{15}\text{N}$ signaturen langs y-aksen. Når det gjelder $\delta^{13}\text{C}$, er konsumenter i ferskvann (f.eks fisk) bare marginalt anriket (0,2 ‰ pr.trofisk nivå) i forhold til dietten, mens forskjellen i $\delta^{15}\text{N}$ er 3,4 ‰ pr. trofisk nivå. Derfor benyttes $\delta^{13}\text{C}$ som en indikasjon på energikilden (type planter) som er viktigst for fiskeproduksjonen, mens $\delta^{15}\text{N}$ indikerer fiskens trofiske posisjon (kontinuerlig skala), og følgelig er godt egnet til å evaluere graden av fiskespisere i bestandene. Dersom undersøkelser fra flere innsjøer plottes i samme biplott, må alle $\delta^{15}\text{N}$ data justeres til en felles baselinje. Til dette benyttes primærkonsumenter som damsnegl (*Lymnaea peregra*) for littorale karbonkilder og dyreplankton (*Daphnia longispina*) for pelagiske karbonkilder. Årsaken er at plantenes $\delta^{15}\text{N}$ kan variere over sesongen og mellom sjøer på grunn av ulike nitrogenkilder og artsammensetning og følgelig ville ha krevd mange prøvetakninger.

3.4.2 Stabile isotop-analyser av ørret

NIVA har i løpet av de siste 8 årene undersøkt stabile isotoper i ørretpopulasjoner fra 40 innsjøer (Rognerud og Fjeld 2002, Rognerud et al. 2003, 2005, Rognerud og Qvenild 2006.). Innsjøutvalget består av 32 fjellsjøer og 8 skogsjøer hovedsakelig fra Telemark og Hedmark, men noen få ligger i Buskerud og Oppland. Av disse er 16 regulerte, mens 24 er uregulerte. Det er ikke mulig å direkte sammenligne $\delta^{15}\text{N}$ verdiene for fisk i alle innsjøene på grunn av manglende data fra SIA i primærkonsumenter og derved mulighet for en felles $\delta^{15}\text{N}$ -bunnlinjejustering. Likevel viser det ujusterte biplottet et generelt mønster der uregulerte og regulerte innsjøer skiller på $\delta^{13}\text{C}$ signatur, mens fiskespisere skiller seg ut ved en høyere $\delta^{15}\text{N}$ signatur (Fig.7). Det er godt kjent at påvekstalger har en langt tyngre $\delta^{13}\text{C}$ signatur enn planktonalger/bakterioplankton, og at henholdsvis damsnegl og zooplankton gir gode indikasjoner på disse primærproducentenes signaturer. I vårt materiale var $\delta^{13}\text{C}$ signaturene i damsnegl (- 24 til - 17 ‰) og zooplankton (- 34 til - 28 ‰) slik som vist i Fig. 8. I de uregulerte innsjøene er følgelig fiskens muskelmasse dominert av karbon som var fiksert av påvekstalger i gruntområdene og kanalisert til fisk gjennom littorale næringsdyr. Det var bare én innsjø (Fjellsjøen i Syd-Hedmark) der ørreten hadde et betydelig innslag av plankton i dietten. Dette er de blå punktene med lettere $\delta^{13}\text{C}$ signaturer enn - 26 ‰ (Fig.7). I de regulerte innsjøene var $\delta^{13}\text{C}$ signaturen generelt lettere enn i de uregulerte. Dette er et uttrykk for at betydningen av gruntområdenes påvekstalger forsvinner i reguleringssonen, og energikildene erstattes av terrestrisk planter ($\delta^{13}\text{C}$, -26 til -29 ‰), planktonalger/bakterieplankton eventuelt påvekstalger fra bunnområder under laveste regulerte vannstand. I dypere vannlag er det mer respirert CO_2 som gir påvekstalgene en lettere signatur enn i gruntområdene, men mindre lys gir mindre produksjon enn i en uregulert strandsone. Fiskespisernes signaturer spenner fra de som er typisk for ørekyte som byttefisk i strandsonen til planktonspisene fôr-fisk som sik og røye. Generelt blir $\delta^{15}\text{N}$ signaturen tyngre etter som $\delta^{13}\text{C}$ signaturen blir lettere. Dette er et forhold som skyldes endring i N-kilder for produsentene ettersom betydningen av andre karbonkilder f.eks terrestriske øker, dvs. at bunnlinjejusteringen blir større. Dette diskuteres senere.

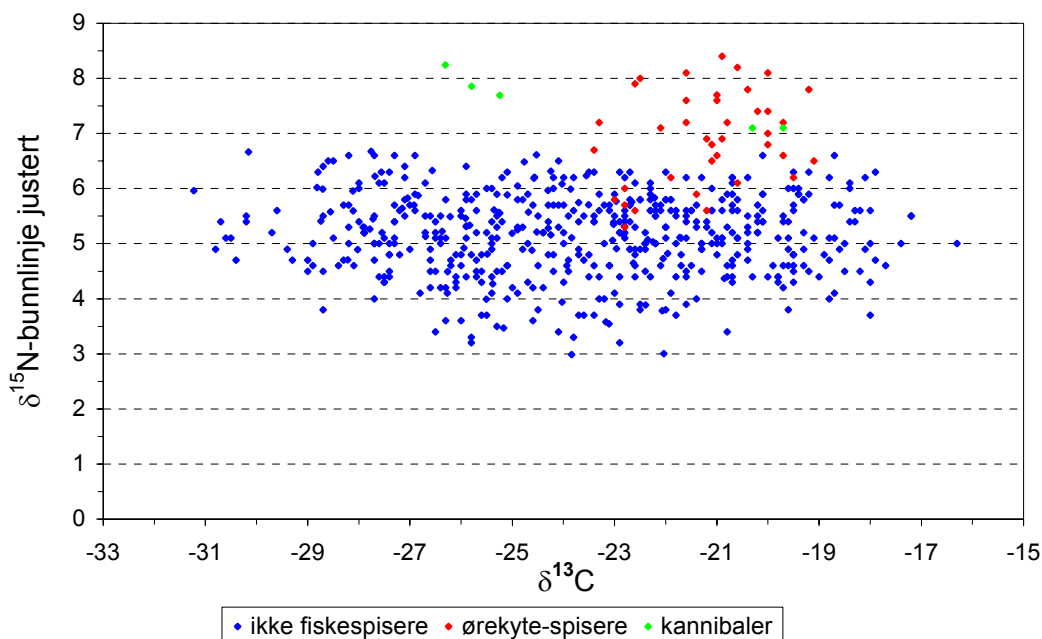


Figur 7. Biplott av stabile C- og N-isotoper for ørretpopulasjoner i 40 innsjøer hovedsakelig fra Hedmark og Telemark. 24 av innsjøene er ikke regulert, 5 er regulert mindre enn 13 m, 11 er regulert mer enn 13 m. De som er merket som fiskespisere, er de som hadde fisk i magen ved prøvetakingene.

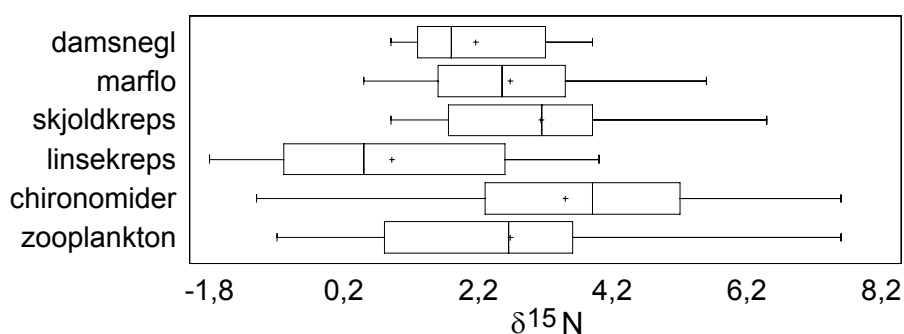


Figur 8. Boksplokk for $\delta^{13}\text{C}$ signaturer i ørretens næringsdyr fra 32 av de 40 innsjøene som er undersøkt. Boksene inkluderer 50 % av observasjonene, medianen er markert med strek, middelveiden med +. Linjene fra boksene er trukket til laveste og høyeste kvartil.

Dersom vi begrenser innsjøutvalget til fjellsjøer, der det er analysert næringsdyr og som vi derved har muligheter for $\delta^{15}\text{N}$ bunnlinjustering, står vi igjen med ørretbestander fra 32 innsjøer (Fig. 9 og 10). Bunnlinjusteringen betyr at i disse biplottene er primærkonsumentenens $\delta^{15}\text{N}$ verdi lik 0. Med unntak av 5 kannibaler og 3 bestander med ørekytespisere hadde alle undersøkte fisk en $\delta^{15}\text{N}$ signatur som ligger mellom ett (3,4 ‰) og to trofiske nivå (7,8 ‰) over primærkonsumenter som snegl og herbivore zooplankton ($\delta^{15}\text{N} = 0$ ‰). Ørreten er opportunist dvs. den spiser både primærkonsumenter som snegl, muslinger, herbivore zooplankton og sekundærkonsumenter som rovformer av zooplankton, chironomider, marflo og skjoldkreps som har høyere $\delta^{15}\text{N}$ (Fig.10).

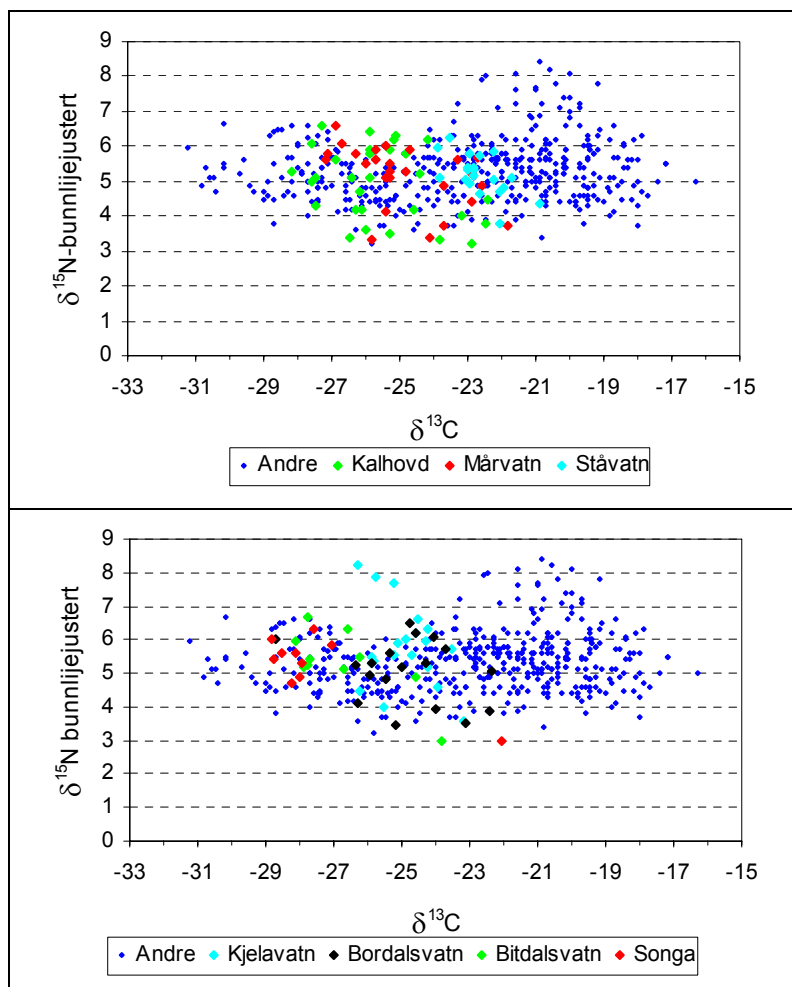


Figur 9. Bunnlinjejustert ($\delta^{15}N$) biplott av stabile C- og N-isotoper for ørretpopulasjoner i 32 fjellsjøer, hvorav 15 er regulert. Alle er lokalisert i Hedmark og Telemark. Primærkonsumentene damsnegl og *Daphnia longispina* benyttes ved justeringene i hhv. litoralt og planktonisk miljø. $\delta^{15}N_{fisk\ justert} = \delta^{15}N_{analysert} - \delta^{15}N_{primærkonsument}$. De som er merket fiskespisere, hadde fisk i magen ved prøvetakningene.



Figur 10. Boksplott for $\delta^{15}N$ signaturer i ørretens næringsdyr fra 32 fjellsjøer som er undersøkt. I gruppen zooplankton og chironomider er også rovformer inkludert. Boksene inkluderer 50 % av observasjonene, medianen er markert med strek, middelverdien med +. Linjene fra boksene er trukket til laveste og høyeste kvartil.

Undersøkelsene av ørret fra de 7 regulerte innsjøer i 2008 viste at 3 fisk fra Kjelavatn var klare fiskespiser, mens alle de andre var mellom ett og to trofiske nivå over primærproducentene (Fig.11). I Ståvatn som er minst regulert (12m) hadde fisken en $\delta^{13}C$ signatur som var preget av energi fiksert av påvekstalgler i dypere deler av strandsonen. I Songa (35 m regulert) hadde fisken den letteste $\delta^{13}C$ signaturen (-27 til -29 ‰). Denne signaturen er typisk for landinsekter, fjærmygglarver fra innsjøens dypområder og zooplankton. Med andre ord den strandnære næringskjeden er forsvunnet i fiskens diett etter regulering, med unntak av en liten fisk som sannsynlig har stått på bekk og nylig vandret ut. $\delta^{13}C$ signaturene i fisk fra de andre innsjøene som ble undersøkt i 2007, var tyngre enn i Songa, men lettere enn i Ståvatn. Dette kan skyldes at påvekstalgler fra dypere deler av innsjøen har større relativ betydning og terrestriske karbonkilder mindre betydning i disse innsjøene enn i Songa.

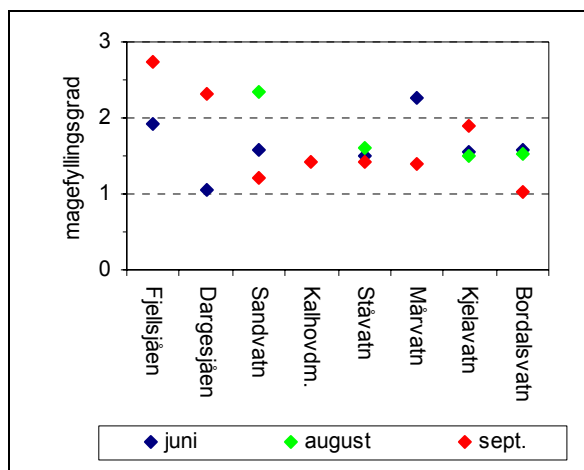


Figur 11. Bunnlinjejustert ($\delta^{15}\text{N}$) biplott av stabile C- og N-isotoper for de undersøkte magasinene sett i sammenheng med tidligere publiserte data fra ørret i 32 fjellsjøer (der 15 er kraftverksmagasin) som et bakteppe (ref. i tekst). Primærkonsumentene damsnegl og *Daphnia longispina* benyttes ved bunnlinjejusteringene i hhv. littoralt og planktonisk miljø. $\delta^{15}\text{N}_{\text{fisk justert}} = \delta^{15}\text{N}_{\text{analysert}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{primærkonsument}}$. De regulerte innsjøene som er undersøkt i 2008, er merket spesielt. I det øverste panelet er de minst regulerte vist (12 - 21 m), i det nederste de mest regulerte (26m-39m)

3.5 Fiskeundersøkelsene

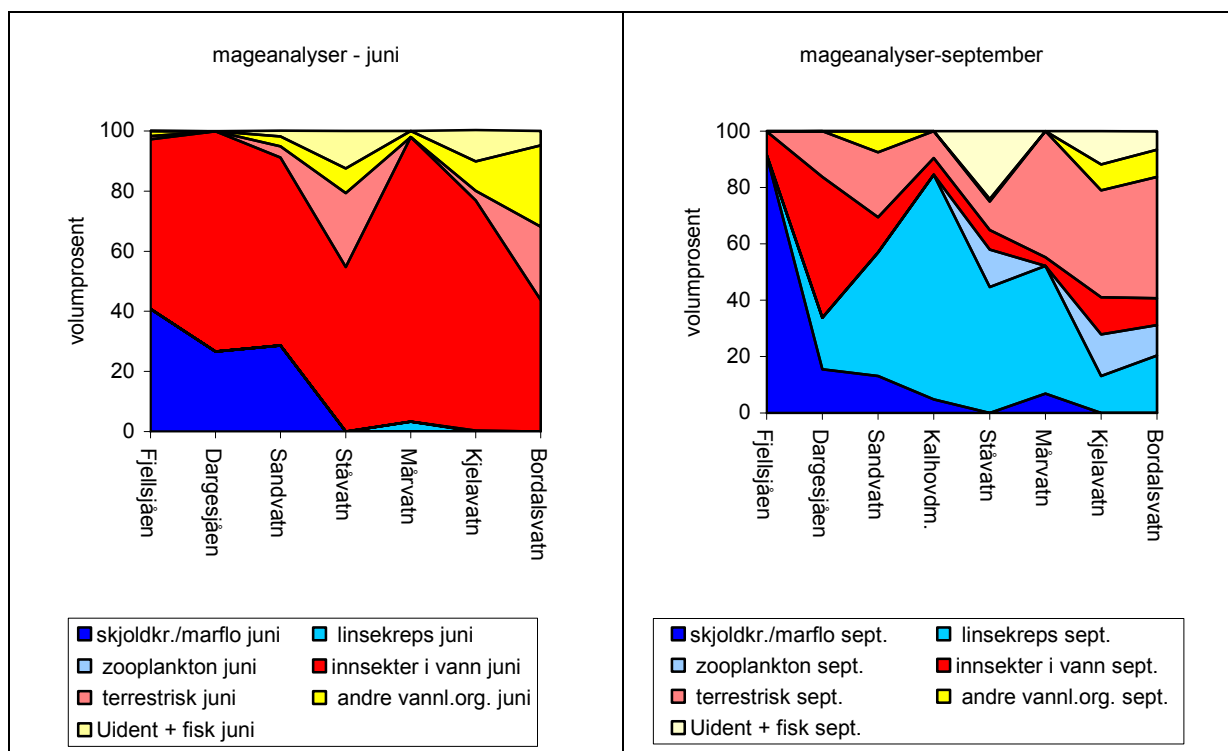
3.5.1 Ernæring - mageanalyser i 2007

Magefyllingsgraden var høyest i referansesjøene (uregulerte) i august (Sandvatn) og september (Fjellsjøen og Dargesjøen), mens i de regulerte innsjøene var den generelt lavere og varierte mellom 1 og 2 (dvs 20 - 40 %) ved alle tidspunktene (Fig. 12). I juni var også magefyllingsgraden i de uregulerte innsjøene like lav som i de regulerte. I Mårvatn i juni var magefyllingen relativt god, men fangsten besto i all hovedsak av små fisk, med insektlarver på dietten.



Figur 12. Magefylingsgraden for all fisk ved prøvefisket. Alle untatt Kalhovdmagasinet er fisket i juni og september, 4 av innsjøene også i august. Innsjøene er rangert fra venstre mot høyre etter økende fisketetthet i de uregulerte (første 3 innsjøene) og økende reguleringshøyde i de øvrige (Kalhovdmagasinet 12 m, Ståvatn 12 m, Mårvatn 21 m, Kjelavatn 26 m og Bordalsvatn 39 m).

Det var en vesentlig forskjell på sammensetningen av næringsdyr både i tid for hver innsjø (juni til september) og mellom innsjøene (Fig. 13). I juni dominerte innsekter i vann, mens krepsdyr og terrestriske insekter var vanligst i september. I juni var det bare marflo som utgjorde krepsdyrdelen av dietten og da kun i de uregulerte innsjøene. I september var det nesten bare skjoldkrepser i Fjellsjøen, mens andelen av linsekrepser var betydelig i Sandvatn (stor tetthet av fisk) og de regulerte innsjøene med reguleringshøyde opp til 21 m (Mårvatn). I Kjelavatn og Bordalsvatn var betydningen av linsekrepser liten, mens terrestriske/overflate-insekter var den største gruppen.



Figur 13. Fordeling av næringsdyr i magen i snitt av all fisk innsamlet ved prøvefisket i 2007. Næringsdyrene er delt i samlegrupper slik at viktige skillelinjer i tilgang på næring skal bli tydeligere. Innsjøene er rangert fra venstre mot høyre etter økende reguleringshøyde. Fjellsjøen, Dargesjøen og Sandvatn er uregulert, Ståvatn og Kalhovd er regulert 12m, Kjelavatn 26m og Bordalsvatn 39m.

3.5.2 Tidstrender i fiskens ernæring i Sandvatn

I august 2007 var gjennomsnittlig magefyllingsgrad 2,34 (Tabell 1), og 24 % av magene var tomme (Tabell 2). Dette er den høyeste magefyllingsgraden som er registrert i august de 6 årene som Sandvatn er undersøkt. Tidsutviklingen i næringstilbudet i perioden 2001 – 2007 viser stor variasjon fra år til år i ulike dyp av innsjøen og mellom størrelsesgruppene (Tabell 1).

Tabell 1. Magefyllingsgraden i fisk tatt under prøvefisket i august 2001 – 2007 (untatt 2003)

Magefyllingsgrad		2001	2002	2004	2005	2006	2007
Grunna, 0 - 7 m							
All fisk		0.68	1.96	1.1	0.77	1.24	2.34
Små fisk < 25 cm		0.62	1.3	1.19	0.79	1.41	2.58
Stor fisk >= 25 cm		0.79	2.2	1.04	0.74	1.09	2.12
Dypet, 7 - 13 m							
All fisk		1.42		0.74	0.69	0.91	3.25

Tabell 2. Prosent tomme mager i fisk tatt under prøvefisket i august 2001 – 2007 (untatt 2003).

% tomme mager		2001	2002	2004	2005	2006	2007
Grunna, 0 - 7 m							
All fisk		72	34	43	54	40	24
Små fisk < 25 cm		77	50	33	52	33	19
Stor fisk > 25 cm		66	29	50	57	46	29
Dypet, 7-13 m							
All fisk		58		68	53	55	4

Vi har tidligere vist at andel fisk med tomme mager avtar når fyllingsgraden øker (Rognerud et al. 2007). Slik sett var næringstilbudet i august 2007 best av de årene vi har undersøkt. I 2004 og 2005 var det helt klart lite mat tilgjengelig med lave fyllingsgrader og mange tomme mager. Krepsdyrene betydde mye som mat for fisken i 2007 (Tabell 3). Linsekrepsen var det klart viktigste krepsdyret i dybdesonen 0 – 7 m (Tabell 4). I denne dybdesonen utgjorde marflo bare 0,7 vol % i 2007 og andelen marflo har vist en synkende trend siden 2001. Skjoldkrepsen ble ikke i påvist i 2007 verken i strandsonen eller dypsonen. Det er første året siden undersøkelsene startet i 2001 at skjoldkreps ikke er observert. Muslinger, snegl og ulike vannlevende insekter utgjorde det meste av det som for øvrig ble registrert i strandsonen i 2007.

I 2007 utgjorde krepsdyrene ca 40 % på grunna uavhengig om det var stor eller liten fisk, men andelen steg til 65 % i dypområdene (Tabell 3). Det var linsekrepsen som var totalt dominerende, men med et lite innslag av marflo (Tabell 4). Det ble satt garn av ulike maskevidder i dypområdet (7 – 13 m) i 2001, 2004, 2005 og 2006. I 2007 var fyllingsgraden i dypet 3,25 og kun 4 % hadde tomme mager (Tabell 1). Dette er det beste ernæringssituasjonen som er observert i august siden undersøkelsene startet. I strandsonen var fyllingsgraden 2,34, mens 24 % av magene var tomme (Tabell 1 og 2). Mattilgangen var følgelig bedre i strandsonen enn på dypet i 2007 slik det også var i 2006.

Tabell 3. Volumprosent krepsdyr (linsekreps, marflo, skjoldkreps) i mageprøver fra prøvefisket på Sandvatn i perioden 2001 – 2007 (ingen observasjoner i 2003).

% krepsdyr						
	2001	2002	2004	2005	2006	2007
Grunna, 0 - 7 m						
All fisk	49	86	71	25	56	40
Små fisk < 25 cm	70	69	68	30	70	38
Stor fisk > 25 cm	23	89	74	17	39	42
Dypet, 7 - 13 m						
All fisk	97		69	63	76	65

Tabell 4. Prosentvis fordeling (volum) av krepsdyrene i mageprøver fra prøvefisket på Sandvatn i perioden 2001 – 2007 (ingen observasjoner i 2003).

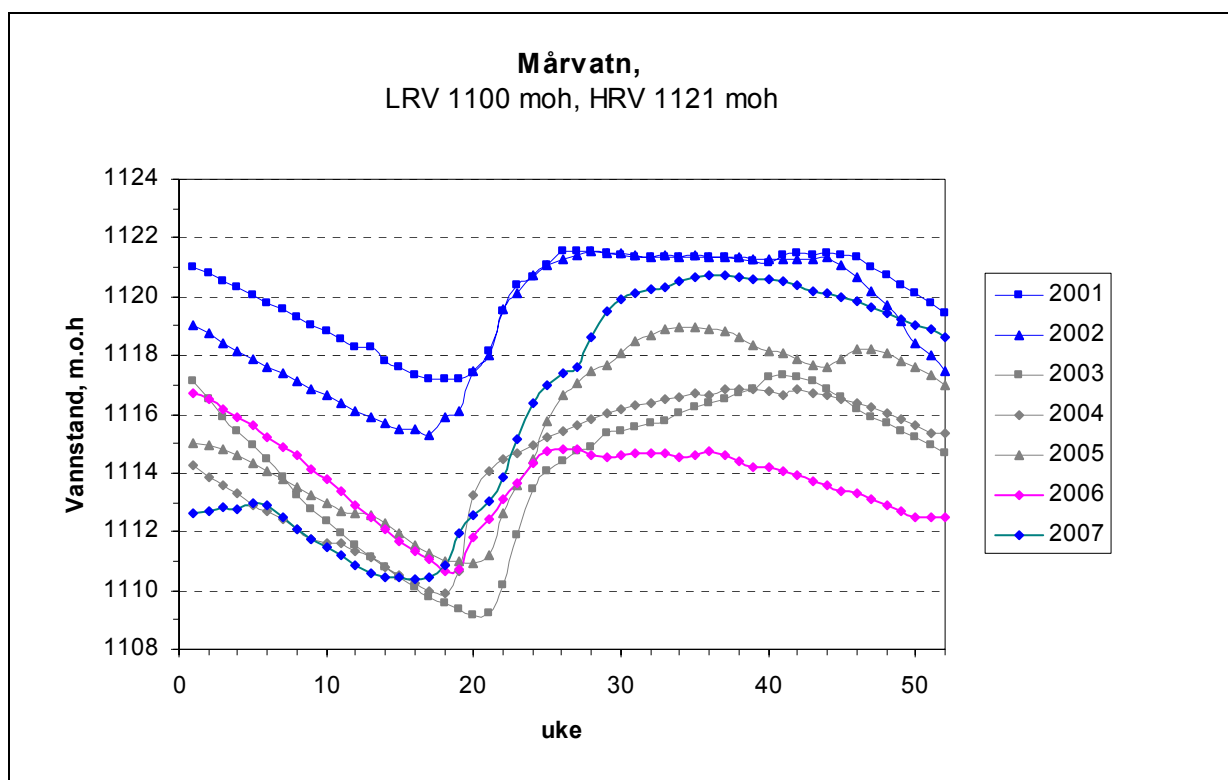
	2001	2002	2004	2005	2006	2007
All fisk, grunna, 0 - 7 m						
Linsekreps	34.3	6.7	56.7	20.2	52.6	39.2
Marflo	14.2	21.9	9.3	4.8	3.6	0.7
Skjoldkreps	0.6	57.0	-	-	-	-
Småfisk < 25 cm, grunna, 0 - 7 m						
Linsekreps	48.3	38.5	52.0	27.5	68.3	36.7
Marflo	21.4	30.8	4.0	2.4	2.1	1.3
Skjoldkreps	-	-	-	-	-	-
Storfisk > 25 cm, grunna, 0 - 7 m						
Linsekreps	16.7	-	60.7	7.9	33.4	42.1
Marflo	5.0	20.0	13.8	8.9	5.3	-
Skjoldkreps	1.3	69.1	-	-	-	-
All fisk, dypet, 7 - 13 m						
Linsekreps	15.1		26.5	17.6	40.0	60.9
Marflo	16.9		40.2	9.4	31.0	4.0
Skjoldkreps	65.3		2.0	35.8	5.0	-

Som en oppsummering kan vi si at i 2007 var ernæringsbildet nokså likt på grunt vann (0-7 m) og på dypet (7-13 m). I denne sammenheng er det verd å merke seg at innsjøen fullsirkulerte hele året og ikke hadde den termiske sjiktningen som var typisk i år med lite smeltevann. Krepsdyr utgjorde 40 % i de grunneste områdene, mens andelen økte til 65 % på dypt vann. Krepsdyr var derfor noe viktigere på dypet enn i strandsonen. Linsekrepsen var totalt dominerende blant krepsdyrene. I 2001 var skjoldkrepsen dominerende krepsdyr i fisk fanget i innsjøens dypere deler i august, men etter dette har bestanden blitt mindre og i 2007 ble ikke skjoldkreps observert i noen av fiskeprøvene.

3.5.3 Mårvatn – skjoldkreps og magasinfylling

Skjoldkreps er ettertraktet byttedyr for fisk. Den er lett å fange og er ofte av stor betydning for ørretens vekst på sensommeren og høsten i fjellsjøer. Tette bestander av skjoldkreps finnes da også oftest kun i fisketomme innsjøer eller innsjøer med tynne fiskebestander. Skjoldkrepsen klekkes fra hvileegg og utvikles til voksne individer på høsten. Dersom de er til stede i innsjøen, vil analyser av fiskemager på høsten gi en god indikasjon på effektiviteten av klekkingen. Spredte observasjoner siden 2001 i regulerte Mårvatn viser at skjoldkreps er til stede på høsten enkelte år. Vi har en hypotese om at dette kan skyldes varierende fyllingsgrad og derved ulik klekkeeffektivitet. Selv om det er få år med data, så

ble skjoldkreps observert på høsten i 2001, 2002 og 2007 som alle var år med god fyllingsgrad i magasinet (Fig. 14). I 2006 var fyllingsgraden svært dårlig og ingen skjoldkreps ble observert i fiskemager. I 2002 fanget vi godt med skjoldkreps ved hjelp av håvtrekk for å gjøre stabile isotop-analyser av næringsdyrene i Mårvatn (Rognerud et al. 2003). Da var også fisketettheten (basert på fangst pr. innsats) høy. Det var den sterke 1997-årsklassen som totalt dominerte fangstene (Rognerud et al. 2003). Det er bemerkelsesverdig at bestanden av skjoldkreps var så god dette året som magasinutfyllingen var rask, og at vannstanden ble holdt oppe på maksimalt nivå hele produksjonsesongen. Mårvatn er regulert 21 m, og disse spredte observasjonene indikerer at skjoldkrepsbestanden er rekruttert fra hvilegg som klekker i magasinets gruntområder. En rask oppfylling til maksimal vannstand er antagelig en forutsetning for effektiv klekking og for bestandstørrelsen på høsten. En kan også stille spørsmålet: Kan skjoldkrepsens hvilegg ligge i reguleringsonen flere år uten å klekke dersom ikke områdene oversvømmes? En økt kunnskap om skjoldkrepsens biologi vil være viktig for å klarlegge om det er mulig å optimalisere den viktige krepsdyrproduksjonen på høsten når alternative matkilder som akvatiske og terrestriske insekter er betydelig redusert.



Figur 14. Vannstandsvariasjoner i Mårvatn 2001 – 2007. Blå kurver representerer år hvor skjoldkreps ble observert i fiskemager under prøvefisket på høsten. I 2002 var det stor forekomst, og skjoldkreps ble også fanget i håvtrekk 1. september. Grå kurver er år hvor vi ikke har gjort undersøkelser. I 2006 (rød kurve) ble ikke skjoldkreps observert verken i fiskemager eller i håvtrekk på høsten.

3.6 Fiskeribiologiske forhold i alle innsjøene.

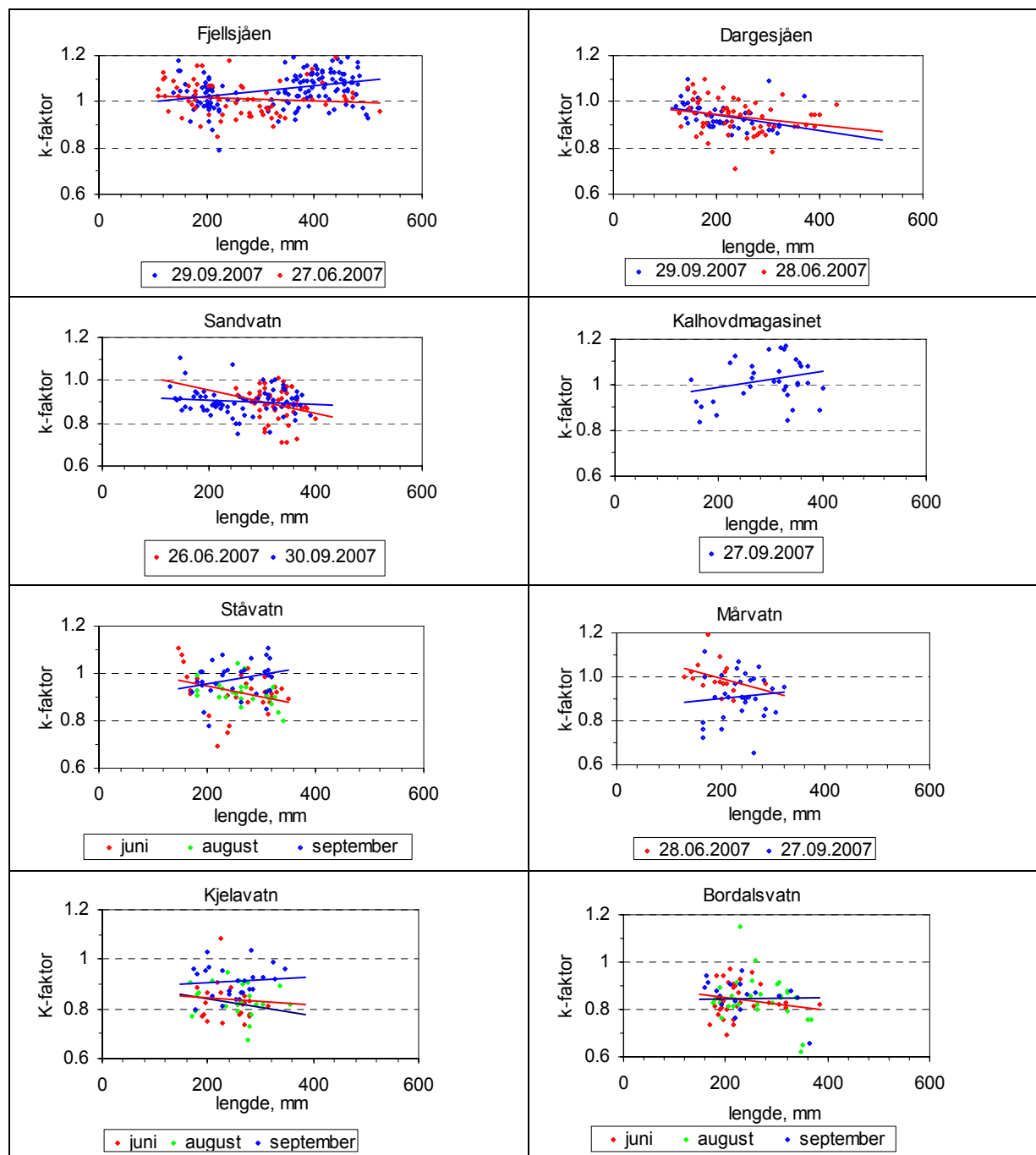
3.6.1 Kondisjonsfaktor

Den gjennomsnittlige K-faktoren for hele prøvefangsten var høyest i uregulerte Fjellsjøen som har en moderat tetthet av fisk. K-faktoren sank noe etter som tettheten økte i de andre uregulerte innsjøene Dargesjøen og Sandvatn. Det er likevel verd og merke seg at K-faktoren i Sandvatn økte betydelig fra 0,90 i juni til 1,01 i august, mens den sank til juni-nivå mot slutten av september. Dette var et forhold som også var iøynefallende under feltarbeidet, og det er ikke urimelig å anta at høy vannstand i hele juli (oversvømmelse av vierkrattene) gjorde mattilbudet ekstra bra fram til midten av august da de store smeltvannsmengdene var på retur og forholdene ble mer normalisert. Med unntak av Mårvatn (hvor høy K-faktor i juni skyldtes overvekt av små fisk i fangsten), så økte K-faktor i de regulerte innsjøene fra juni til september. I Bordalsvatn og Kjelavatn var denne økningen liten, og fisken i disse sjøene må betraktes som slank.

Det var ingen endring eller en svak økning i K-faktor med fiskens størrelse i Fjellsjøen, mens den sank noe med fiskens størrelse i Dargesjøen og Sandvatn som har tettere bestander enn Fjellsjøen. I de regulerte innsjøene sank K-faktor noe med økende størrelse i juni, men dette forholdet var endret til en svak økning i september (Figur 14).

Tabell 5. Gjennomsnittlig k-faktor for hele prøvefisket fra de undersøkte innsjøene i 2007.

Innsjø/magasin	regulering m	K-faktor		
		juni	juli/august	september
Fjellsjøen	0	1.01		1.03
Dargesjøen	0	0.97		0.94
Sandvatn	0	0.90	1.01	0.90
Kalhovdmagasinet	12			1.02
Ståvatn	12	0.92	0.89	0.97
Mårvatn	21	0.99		0.91
Kjelavatn	26	0.85	0.81	0.91
Bordalsvatn	39	0.84	0.82	0.87

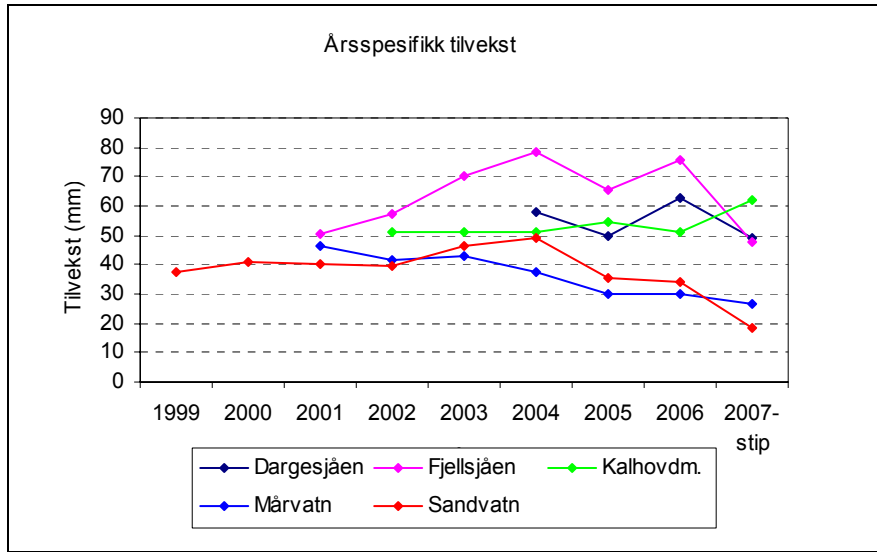


Figur 15. Sammenhengen mellom K-faktor og fiskens lengde i de undersøkte innsjøene i 2007.

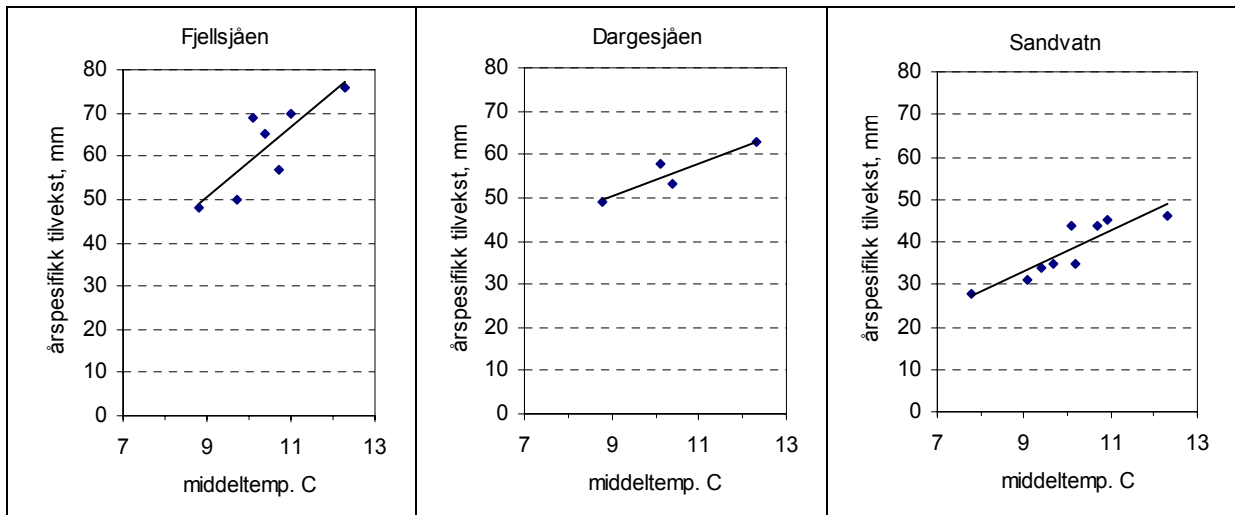
3.6.2 Årsspesifikk vekst

Den årsspesifikke veksten har vært best i Fjellsjøen og dårligst i Mårvatn og Sandvatn (Fig. 15). For eksempel har veksten i regulerte Kalhovdmagasinet vært bedre enn i uregulerte Sandvatn i de siste 6 årene (Fig. 15). Det var en positiv sammenheng mellom midlere årsspesifikk vekst for 3-5 årig fisk og midlere vanntemperatur i perioden juli-september for de uregulerte innsjøene (Fig. 16), mens ingen slik sammenheng ble funnet for de regulerte innsjøene Mårvatn og Kalhovdmagasinet (Fig. 17). Basert på fangst pr. innsats var tettheten av fisk størst i Sandvatn og minst i Fjellsjøen. Ut fra dette er det rimelig å anta at variasjonene i årsspesifikk vekst i hovedsak skyldes temperaturrelaterte prosesser, mens forskjeller mellom innsjøene skyldes tetthet av fisk i uregulerte innsjøer. Fiskens vekst i Mårvatn og

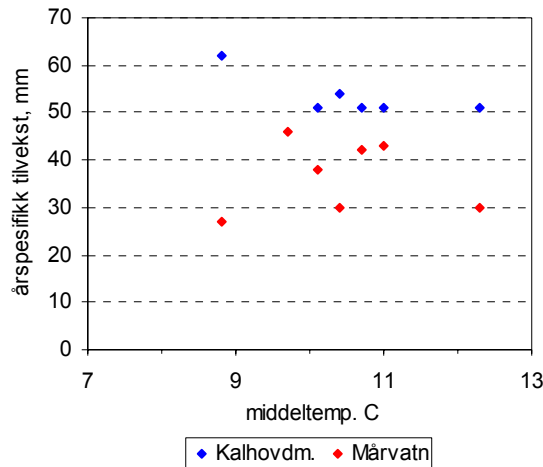
Kalhovdmagasinet synes også å være avhengig av manøvreringsreglementet da årsspesifikk vekst ikke samvarierer med temperatur.



Figur 16. Ørretens årsspesifikke lengdevekst for 3-5 åringer (middelverdier). Årsveksten for 2007 er estimert på bakgrunn av prøvefiskedato og andel gjenværende vekst dette året (se metodekapitlet).



Figur 17. Sammenhengen mellom årsspesifikk lengdevekst av 3-5 årig ørret og middeltemperatur for perioden juli – september i uregulerte Fjellsjøen, Dargesjøen og Sandvatn.



Figur 18. Sammenhengen mellom årsspesifikk lengdevekst av 3-5 årig ørret og middeltemperatur for august – september (2001-2007) i Kalhovdmagasinet og Mårvatn som er regulert henholdsvis 12 m og 21 m

4. Diskusjon

Vi har vist at i referansesjøene Fjellsjøen, Dargesjøen og Sandvatn var det en god sammenheng mellom middeltemperaturen i vannmassene (juli-september) og ørretens årlige tilvekst (3-5 åringer). Veksten var best i Fjellsjøen, som har tynnest bestand, og dårligst i Sandvatn som har tettest bestand. Kaldt smeltevann preget vanntemperaturen i Sandvatn fra slutten av juni til midten av august i 2005 og 2007. I de andre regulerte innsjøene Mårvatn og Kalhovdmagasinet var det ingen sammenheng mellom årsspesifikk vekst og middeltemperatur. I disse tilfellene er det rimelig å tro at veksten var mer styrt av forhold knyttet til magasinutfyllingen og vannstandsvariasjoner. Dette er forhold som påvirker bestandstetthet og tilgang på viktige næringsdyr spesielt utover høsten.

Sommeren 2006 var vannstanden unormalt lav i flere magasin i øvre Telemark med den følge at fiskens K-faktor var relativt lav i august og lavest for stor fisk (Brabrand 2007). I Kjølavatn og Bordalsvatn, som er blant disse magasinene, var K-faktor i august 2007 (snitt 0,85) nær den samme som på samme tid året før (Brabrand 2007). I Kjølavatn økte imidlertid K-faktor i 2007 betydelig fra august til september (Hekne 2008) og da særlig for større fisk, mens det tilsvarende skjedde i Bordalsvatn, men i mer beskjedne grad (Meland 2008).

I 2007 var uregulerte Sandvatn i Kvennavassdraget sterkt preget av kaldt smeltevann helt fram til midten av august. Dette gjorde at bestandene av marflo og linsekrepser ble svake og forekomsten mindre enn i tidligere år, mens skjoldkrepser, som har vært til stede i tidligere år, ikke ble observert i fiskemager. Disse næringsdyrene er sentrale for fiskens vekst utover høsten når tilgangen på klekete insekter og insektslarver er betydelig redusert. Følgene av dette, og en tett bestand av fisk, var at fiskens kondisjonsfaktor sank betydelig fra midten av august til slutten av september. Dette viser at fiskens kondisjon kan endre seg raskt ved bortfall av krepsdyr i dietten på høsten. Dette skjedde ikke i de nærliggende innsjøene Dargesjøen og Fjellsjøen som ikke er utsatt for kaldt smeltevann langt utover sommeren. En god bestand av krepsdyr utover høsten sørget for god vekst og en økning i kondisjonsfaktor over vekstsesongen. Fisk i regulerte innsjøer og smeltevannspåvirkede innsjøer med tett fiskebestand er mest utsatt for nedgang i K-faktor utover høsten som følge av svikt i produksjon av næringsmessig viktige krepsdyr. Dette går stort sett mest utover stor fisk. Vi vil imidlertid gjøre oppmerksom på at fiskens K-faktor i regulerte innsjøer varierer mye, og det skal et stort materiale til for å oppdage signifikante endringer over tid.

4.1 Fysiske forhold

Temperatur

I fjellet har snømengdene på våren stor betydning for når isen går på innsjøene og for vanntemperaturen på forsommeren (Rognerud et al. 2007). Generelt er det en god samvariasjon mellom temperaturen i innsjøenes overflatelag og lufttemperaturen. Likevel kan kaldt smeltevann nedsette temperaturen i innsjøene betydelig i forhold til lufttemperaturene særlig i innsjøer der vannet har kort oppholdstid (Livingstone et al. 1999, Rognerud et al. 2006). Vannet har kort oppholdstid i Sandvatn og spesielt i flomsituasjoner er vanntemperaturen sterkt preget av temperaturen i innløpselva (Rognerud et al. 2007). I 2007 bidro kaldt smeltevann til termisk destabilisering av Sandvatn slik at innsjøen fullsirkulerte hele produksjonsesongen. Smeltevann og fullsirkulasjon bidro til at middeltemperaturen i vekstsesongen ble betydelig lavere i Sandvatn enn i nærliggende Dargesjøen som morfometrisk er svært lik Sandvatn, men ikke er preget av smeltevannseffekten. Dargesjøen har et betydelig mindre nedbørfelt, ligger lengre øst og har langt mindre snømengder. Dargesjøen var termisk sjiktet fra like etter isgang og fram til slutten av juli.

Vanntemperaturen er spesielt viktig da den påvirker metabolske prosesser i planter og dyr (Schindler 1971, Stefan et al. 1998). Det varmere overflatelaget (epilimnion) er den delen av innsjøen som vil gi størst og raskest endringer på lokale variasjoner i vær og klimaendringer forårsaket av ytre pådriv (Kettle et al. 2004). Vanntemperaturen i overflatelaget (1 meters dyp), kalt VTO, er et godt mål på temperaturen i epilimnion over sesongen (Livingstone et al. 1999). Hardangerviddas grunne vindpåvirkede sjøer gjør at VTO er svært sentral når variasjoner i biologiske forhold skal tolkes.

Vi har tidligere vist at det sommerstid er synkron samvariasjon mellom lufttemperatur (LT) ved ulike meteorologiske stasjoner rundt Hardangervidda samt for lufttemperatur (LT) og VTO (vanntemperatur i overflatelaget) i innsjøer på sentralvidda. (Rognerud et al. 2003, 2005). Dette gjelder imidlertid ikke for innsjøer i de sydvestlige deler av Hardangervidda i snørike år. Videre har vi vist at i 2005 var LT sentralt i studieområdet (Dargesjøen) nært korrelert til LT ved meteorologiske stasjonene (Rognerud et al. 2006). Dette er i god overensstemmelse med andre undersøkelser som har vist at lufttemperaturene (LT) varierer synkront over store områder, og at dette fører til en tilsvarende samvariasjon i VTO i innsjøer i områdene (Magnuson et al. 1990b, Baines et al. 2000, Benson et al. 2000, Livingstone et al. 1999, 2005). Klimaet gjennom sommersesongen vil derfor over store områder gi produksjonsforhold i innsjøene mht temperatur som i stor grad samvarierer. Ut fra dette er det rimelig å anta at VTO temperaturene i Fjellsjøen gir en god indikasjon på VTO i Mårvatn og Kalhovdmagasinet etter justering av høyde over havet (se metodekapitlet). Disse data er benyttet i diskusjonen av fiskens årsspesifikke vekst i de respektive innsjøene. Vi har ikke gjort tilsvarende beregninger for Ståvatn, Kjelasvatn og Bordalsvatn da snøkartene indikerer at en smeltevannseffekt kan ha vært tilstede på forsommeren i disse magasinene i 2007.

4.2 Fiskens ernæring

Bruk av stabile N- og C-isotopanalyser (SIA) har fått stor anvendelse i studier av både terrestriske og akvatiske næringskjeder (West et al. 2006). SIA av fiskekjøtt gir et integrert bilde over tid av fiskens energikilder (gjennom næringsdyrenes beiting av planter/bakterier) og dens trofisk posisjon i næringskjeden. $\delta^{13}\text{C}$ benyttes som en indikasjon på energikilden (type planter) som er viktigst for fiskeproduksjonen, mens $\delta^{15}\text{N}$ indikerer fiskens trofiske posisjon (kontinuerlig skala) og følgelig er godt egnet til å identifisere graden av fiskespisere i bestandene (Vander Zanden and Rasmussen 1999). Høye verdier for $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ kalles i SIA-sammenheng for tynge signaturer, mens lave verdier kalles lette signaturer.

SIA av fisk fra Ståvatn, Kjelasvatn og Bordalsvatn viste at av 59 analysert fisk var bare 3 fiskespisere, mens de andre hadde trofiske posisjoner som tilsvarer en plassering mellom andre og tredje trofiske

nivå (primære og sekundære konsumenter). Dette er i god overensstemmelse med resultatene fra undersøkelser av ørretens trofiske posisjon i 40 andre norske fjellsjøer, der både uregulerte og regulerte innsjøer er representert (Rognerud og Fjeld 2002, Rognerud et al. 2003). Dette stemmer godt overens med generell kunnskap om ørretens matvaner der både primærkonsumenter (snegl, muslinger, insektslarver, herbivore zooplankton), omnivore krepsdyr (marflo og skjoldkrepss) og sekundærkonsumenter som rovformer av zooplankton, chironomider og insektslarver er vanlig i dietten (Sømme 1954). Videre er kannibalisme sjelden hos ørret, men det er ikke uvanlig at ørekyte inngår i dietten, spesielt hvis tilgangen på næringsdyr er dårlig (diskutert i Rognerud et al. 2003).

Ståvatn og Kalhovmagasinet er begge regulert 12 m, men $\delta^{13}\text{C}$ signaturene var vesentlig forskjellige. I Ståvatn varierte signaturen lite og var noe lettere enn i fisk fra uregulerte innsjøer hvor næringsdyrene lever av påvekststalger i strandsonens gruntområder (Rognerud et al. 2003). $\delta^{13}\text{C}$ signaturene blir generelt noe lettere i planter med økende vanddyp på grunn av økt andel respirert CO_2 (Rognerud et al. 2003), men i Ståvatn er den likevel langt nærmere signaturen i påvekststalger enn i terrestriske planter og planktonalger. Dette indikerer at påvekststalger i strandsonens dypere deler er viktigste energikilde for fisk i Ståvatn. Dette magasinet fylles raskt opp på våren og holdes oppe nær HRV hele sommeren (Hekne 2008). Dette er gunstig for påvekstalgene som klarer å etablere seg tidlig og vokse opp i mengder som er store nok til å prege næringskjeden. I Kalhovmagasinet varierte $\delta^{13}\text{C}$ signaturene betydelig, men generelt var de langt lettere enn i Ståvatn. Dette indikerer at energi fiksert av påvekststalger i strandsonen har langt mindre betydning enn i Ståvatn. I dette magasinet er det påvekststalger fra dypere deler av sjøen samt plantemateriale tilførte fra nedbørfeltet som har størst betydning. Forskjellen på disse magasinenes produksjonsevne i strandsonen skyldes antagelig hvor raskt magasinene fylles opp på våren, men en relativt konstant vannstand på HRV-nivå over sommeren i Ståvatn er antagelig svært positivt for primærproduksjon i strandsonen. Det er verd å merke seg at $\delta^{13}\text{C}$ signaturene i Mårvatn (21 m regulert) varierte innen samme intervall som i Kalhovmagasinet. Det er rimelig å anta at dette skyldes at i begge magasin er linsekrepss en viktig næringsdyr. Vi har vist at linsekrepssens ^{13}C signaturene kan varierer betydelig i fjellsjøer fordi den finnes både i grunne områder og i dypere deler av innsjøene (særlig i magasinene med mangel på plantenering i strandsonen).

I de betydelig regulerte magasinene Kjelavatn (26 m), Bitdalsvatn (36 m), Songa (35 m) og Bordalsvatn (39 m) var betydningen av den strandnære vegetasjonen som energikilde liten (lette signaturer), med unntak av noen få fisk med tyngre signaturer som er typisk for fisk som har vokst opp på innløpsbekker og nylig har vandret ut i magasinet. Generelt overtar terrestrisk karbon (via insekter) og litt planktonalger (via zooplankton) som energikilder. I Songa hadde fisken den letteste $\delta^{13}\text{C}$ signaturen (-27 til -29 ‰). Denne signaturen er typisk for diett bestående av landinsekter som lever av landplanter, chironomider som lever av terrestrisk organisk materiale tilført i innsjøens dypområder og innslag av zooplankton (Jones et al. 2008).

En god vekst av større fisk er avhengig av en god bestand av de større næringsdyrene som skjoldkrepss og marflo (Aass 1969). I de årene vi har undersøkt Fjellsjøen (2005-2007), har skjoldkrepss vært totalt dominerende næringsdyr utover høsten, noe som har ført til økt k-faktor utover sesongen og svært god årspesifikk vekst. Dersom disse næringsdyrene er sterkt redusert eller fraværende som følge av en tett fiskebestand, regulering, eller uvanlig lave temperaturer, kan produksjons-potensialet for større fisk bli drastisk redusert. Dette skjedde i Sandvatn i 2007 der lave temperaturer i sommerens første del, på grunn av kaldt smeltevann, antagelig førte til alt for dårlig vekst av de store krepsdyrene marflo og skjoldkrepss. I september var de i praksis fraværende i fiskemagene og av krepsdyrene var det bare linsekrepss som var til stede, men også den i mindre omfang enn tidligere år. Dette gjorde at K-faktor avtok drastisk (fra 1,01 til 0,90) fra august til slutten av september. I slike situasjoner hvor den langt mindre linsekrepss "overtar" som næringsdyr for marflo og skjoldkrepss, vil det skje en endring i den intraspesifikke konkurransen til fordel for småfisken. At energigevinsten avtar med økende størrelse på predatorfisken når det er tilgang på bare små byttedyr, er kjent også fra andre undersøkelser (Finstad et al. 2006). Dette gir seg klart uttrykk i en fallende K-faktor med økende fiskestørrelse slik vi observerte i Sandvatn i 2007.

I Mårvatn varierer forekomsten av skjoldkreps betydelig fra år til år. Variasjoner i fisketettheten kan være en forklaring til dette, men i Mårvatn har bestanden vært dominert av 1997-årsklassen fra 2002 og fram til 2006 (Rognerud et al. 2003, 2007). Det derfor rimelig å anta at tettheten har vært høy i hele perioden. Likevel er det påfallende at i år med rask magasinfylling og høy vannstand i produksjonsesongen er frekvensen av skjoldkreps i fiskemager på høsten høyere enn i år med dårlig magasinfylling da den kan mangle helt. Dette indikerer at magasinfyllingen på våren kan være viktig for å oppnå en effektiv klekking av skjoldkrepsens hvileegg. Det er derfor rimelig å anta at magasinfyllingen og vannstand sommerstid er sentrale i forhold til utvikling av skjoldkrepsbestanden utover høsten og derved også for fiskens vekst og kondisjon.

Bestandene av krepsdyr er ikke bare avhengig av fysiske forhold. Predasjon fra fisk vil ha stor betydning for tettheten og dermed tilgjengeligheten av krepsdyr. Ørreten er selektiv i valg av byttedyr og større næringsrike dyr foretrekkes (Fjellheim et al. 2007, med sitert litteratur). Dette betyr at ved tynne bestander av skjoldkreps og marflo vil de kunne observers i fiskemager, mens det sjelden er mulig å påvise disse ved konvensjonelle bunndyrsundersøkelser (Fjellheim et al. 2007). Skjoldkreps, linsekreps og daphnier vil klekke fra hvileegg om vår/forsommer og først utvikle bestander på ettersommer og høsten. Marflo vil antagelig også normalt få en økt bestand utover høsten selv om de er tilstede hele året. Denne sesongmessige svingningen i tilgangen på disse prefererte næringsdyrene tilsier at høsten er en viktig veksttid for fisken. Dette fant vi da også i Sandvatn i 2005 hvor 50 % av årsspesifikk lengdevekst skjedde etter 20. august dette året.

I de regulerte innsjøene avtok betydningen av de store krepsdyrene med økende reguleringshøyde. I de moderat regulerte innsjøene øker betydningen av linsekrepsen når marflo og skjoldkreps-bestandene svekkes som følge av reguleringen. I de betydelig regulerte innsjøene var krepsdyrenes betydning i dietten på høsten redusert ytterligere i forhold til i de moderat regulerte. Blant krepsdyrene var det bare linsekreps og planktonkreps som hadde betydning i fiskens diett, mens terrestriske insekter øker i betydning med økende reguleringshøyde. Dette er i god overensstemmelse med resultatene fra de stabile isotopanalysene.

4.3 Fiskens vekst

Årsspesifikk vekst var nært korrelert til vanntemperaturen i hver av de uregulerte innsjøene, men verdiene var høyest i Fjellsjøen som har tynnest bestand (basert på fangst pr, innsats) og lavest i Sandvatn som har tettest bestand. Endringer i temperaturforholdene vil ha stor betydning for fiskens vekstforhold (Elliott et al. 1995). I tynne bestander som i Fjellsjøen hvor en ofte vil ha næring i overskudd, vil dette kunne gi en optimal utnyttelse av næringsproduksjonen, og veksten vil da i stor grad være temperaturstyrt. I Sandvatn der bestander har vært tett siden 2003 (Rognerud et al. 2007), vil veksten begrenses gjennom intraspesifikk konkurranse og sterkt og selektiv nedbeiting av de viktigste næringsdyrene. I slike tilfeller vil fisken ikke få utnyttet sitt vekstpotensiale (Ugedal et al. 2005), og dette forklarer en lavere vekst enn Fjellsjøen. Likevel er årsspesifikk vekst godt korrelert til vanntemperaturen de siste 5 årene. Dette skyldes antagelig at årlige variasjoner i bestandstettheten har vært underordnet effekten av årlige svingninger i næringsdyrbestandene induert av store årlige variasjoner i vanntemperaturen. I de regulerte innsjøene Mårvatn og Kalhovdmagasinet var det ingen sammenheng mellom vanntemperatur og årsspesifikk vekst. Basert på fangst pr. garnnatt på høsten er bestandstettheten vurdert som tett i Mårvatn og middels tett i Kalhovdmagasinet. Slik synes det også å ha vært de siste 5 årene. Dette kan tyde på at variasjoner i bestanden av særlig krepsdyr på høsten, forårsaket av variasjoner i fyllingsgrad og vannstandsvariasjoner gjennom produksjonsesongen, er viktigere enn temperatureffekten på fiskens vekst i disse magasinene.

5. Referanser

- Baines, S.B. Webster, K.E. and Kratz, T.K. 2000. Synchronous behavior of temperature, calcium, and chlorophyll in lakes of northern Wisconsin. *Ecology*, 81: 815-825.
- Benson, B. J. Lenters, J. D., and Magnuson, J. J. 2000. Regional coherence of climatic and thermal variables of four lake districts in the upper Great Lakes region of North America. *Freshwater Biology*, 43: 517-527.
- Borgström, R. 2001. Relationship, between spring snow depth and growth of brown trout, *Salmo trutta*, in an alpin lake: predicting consequences of climate change. *Arctic, Antarctic, and Alpin Research*. 33: 476-480.
- Brabrand, Å. 2007. Virkninger av lav sommervannstand på fisk i reguleringsmagasiner. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI). Rapport nr. 249 – 2007. 54 s.
- Christiansen, T., Lie, Ø, and Tørrissen, O.J. 1994. Effect of astaxanthin and vitamin A on growth and survival during first feeding of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture and Fisheries Manag.* 25: 903-914.
- Craig, H. 1953. The geochemistry of stable isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 3: 53-93.
- Dahl, K. 1933. Vassdragsregulerings virkninger på fisket i innsjøer. J. W. Cappelens forlag. Oslo
- Elliot, J. M., Hurley, M. A., and Fryer, R. J. 1995. A new, improved growth model for brown trout, *Salmo trutta*. *Functional. Ecol.* 9: 290 – 298.
- Finstad, A.G., Ugedal, O. & Berg, O.K. 2006. Growing large in a low grade environment: size dependent foraging gain and niche shifts to cannibalism in Arctic char. *Oikos* 112: 73-82.
- Fjellheim, A., Tysse, Å. and Bjerknes, V. 2007. Fish stomachs as a biomonitoring tool in studies of invertebrate recovery. *Water Air Soil Pollut. Focus* 7: 293-300.
- Hekne, A.M. 2008. Effekter av lav sommervannstand på ørret (*Salmo trutta*) i reguleringsmagasinet Kjelavatn. Universitetet for miljø- og biovidenskap, Masteroppgave 30 STP. 2008.
- Iversen, T. et al. 2005. RegClim. Norges klima om 100 år. Usikkerheter og risiko. <http://regclim.met.no>
- Jones, R.I., Carter, C.E., Kelly, A., Ward, S., Kelly, D. j., and Grey, J. 2008. Widespread contribution of methane – cycle bacteria to the diets of lake profundal chironomid larvae. *Ecology* 89: 857-864.
- Kettle, H., Thompson, R., Anderson, N. J., and Livingstone, D.M. 2004. Empirical modeling of summer lake surface temperatures in southwest Greenland. *Limnol. Oceanogr.* 49: 271-282.
- Livingstone, D.M., Lotter, A.F., and Walker I. R. 1999. The decrease in summer surface water temperature with altitude in Swiss Alpin lakes: a comparison with air temperature lapse rates. *Arctic, Antarctic and Alpin Research*, 31: 341 – 352.
- Livingstone, D.M., Lotter, A.F., Kettle, H. 2005. Altitude-dependent differences in the primary physical response of mountain lakes to climatic forcing. *Limnol. Oceanogr.* 50: 1313 -1325.

- Magnuson, J. J., Meisner, J. D., and Hill, D. K. 1990a. Potential changes in the thermal habitat of Great Lakes fish following global climate warming. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 254-264.
- Mariotti, A. 1983. Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural abundance ^{15}N measurements. *Nature* 303: 685 – 687.
- Meland, A. 2008. Låg vasstand i Bordalsvatn sommaren 2006; innverknad på vekst og kvalitet hjå aure. Universitetet for miljø- og biovidenskap, Masteroppgave
- NVE : <http://www.nve.no>
- Qvenild, T. 2004. Hardangervidda, fiske og fjelliv. Naturforlaget.
- Rognerud, S. og Fjeld, E. 2002. Kvikksølv i fisk fra innsjøer i Hedmark, med hovedvekt på grenseområdene mot Sverige. NIVA-rapport 4487-2002.46s.
- Rognerud, S., Borgstrøm, R., Qvenild, T. og Tysse, Å. 2003. Ørreten på Hardangervidda. Næringsnett, kvikksølvinnhold, ørekytespredning og klimavariasjoner – følger for fiske og forvaltning. NIVA (Norsk institutt for vannforskning), Rapport LNR 4712-2003. 68 s.
- Rognerud, S., Qvenild, T. og Fjeld, E. 2005. Hardangervidda-prosjektet. Resultater fra undersøkelsene i 2004. NIVA (Norsk institutt for vannforskning), Rapport LNR 5025-2005. 34 s.
- Rognerud, S., Qvenild, T., Rakhorst, M. og Rustadbakken, A. 2006. Hardangervidda-prosjektet. Resultater fra undersøkelsene i 2005. 35 s.
- Rognerud, S. og Qvenild, T. 2006. Fiskeribiologiske undersøkelser av ørretbestander i Øvre Orkla. NIVA-rapport 5271-2006, 32s.
- Rognerud, S., Rustadbakken, A., og Qvenild, T. Hardangervidda-prosjektet. Resultater for undersøkelsene i 2006. NIVA-rapport 5428-2007. 38s.
- Schindler, D. W. 1971. Light, temperature and oxygen regimes of selected lakes in the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 28: 157 – 169.
- Stefan, H. G. Fang, X. and Hondo, M. 1998. Simulated climate change effects on year-round water temperatures in temperate zone lakes. *Clim. Change* 40: 547-576.
- Sømme, I. D. 1954. Ørretboka. Jacob Dybwads forlag, Oslo.
- Ugedal, O., Forseth T. og Hesthagen, T. 2005. Garnfangst og størrelse på gyttefisk som hjelpemiddel i karakterisering av aurebestander. NINA-rapport 73. 52 s.
- Vander Zanden, J. and Rasmussen, J. B. 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food webs. *Limnol. Oceanogr.* 46: 2061 – 2066.
- West, J. B., Bowen, G.J., Cerling, T.E., and Ehleringer, J.R. 2006. Stable isotopes as one of nature's ecological recorders. *Trends in Ecology and Evolution*, 21: 408-414.
- Aass, P. 1969. Crustacea, especially *Lepidurus arcticus* Pallas, as brown trout food in Norwegian mountain reservoirs. *Inst. freshw. Res., Drottningholm. Report No 49, 1969.* 183-201.

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