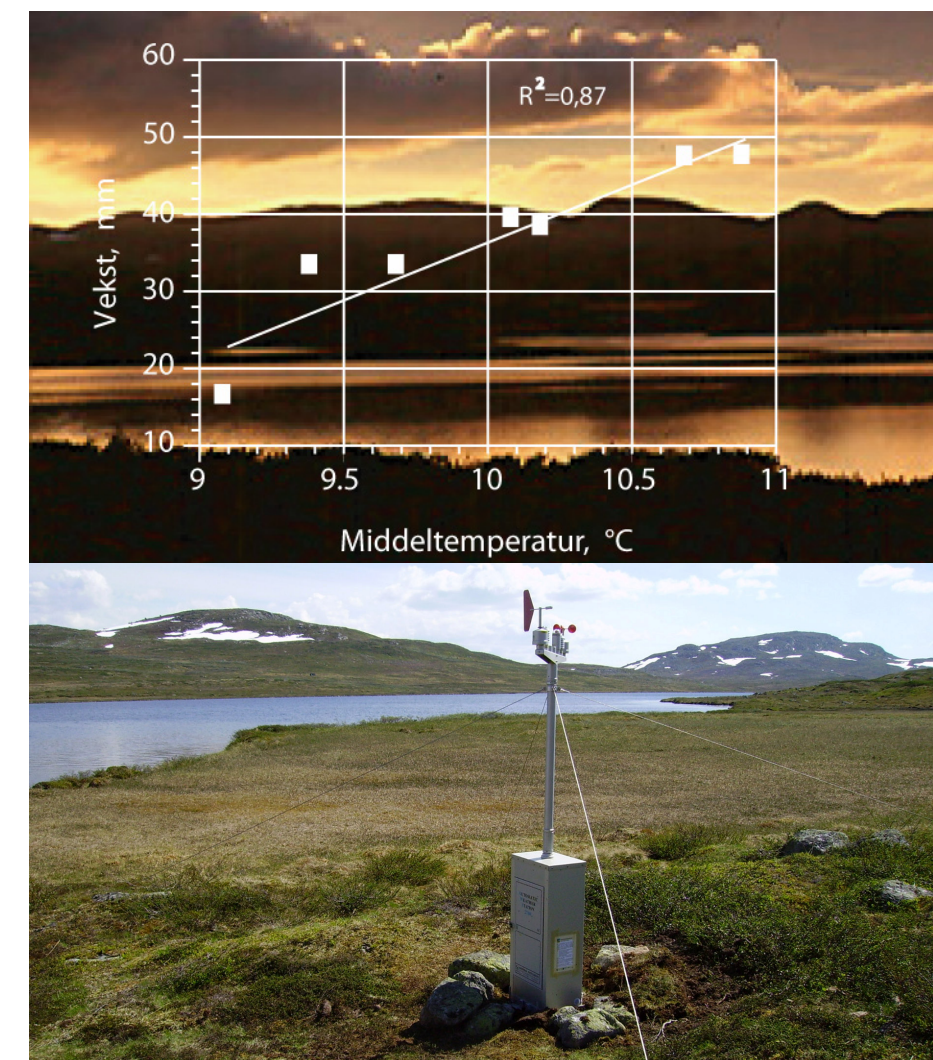




RAPPORT LNR 5181-2006

Hardangervidda- prosjektet

Resultater fra undersøkelsen i
2005



Det var en god sammenheng mellom fiskens årsvekst og vanntemperaturen i Sandvatn, 1999-2005. Foto:Tore Qyenild

Værstasjonen på Dargesjø. Foto:Menno Rakhorst

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 54 63 85 / 86
Telefax (47) 54 63 87

Tittel Hardangervidda-prosjektet Resultater fra undersøkelsene i 2005	Løpenr. (for bestilling) 5181-2006	Dato 20 april 2006
	Prosjektnr. Undernr. 21960	Sider Pris 35
Forfatter(e) Sigurd Rognerud, NIVA Tore Qvenild, FM-Hedmark Menno Rakhorst, Universitetet i Wageningen, Nederland Atle Rustadbakken, Naturkompetanse AS	Fagområde limnologi	Distribusjon åpen
	Geografisk område Vinje kommune	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for Naturforvaltning (DN), EBL-kompetanse	Oppdragsreferanse Steinar Sandøy (DN) Arne Erlandsen (EBL-kompetanse)
--	--

Sammendrag Dette er en årsrapport for Hardangervidda-prosjektet som startet i 2000. Det omhandler konsekvenser for fiske og forvaltning av ørret som følge av variasjoner i været og fremtidige klimaendringer. Værdata fra en automatisk målestasjon på Dargesjøen viste at lufttemperaturene (LT) samvarierte synkront med vanntemperaturene i innsjøenes overflate (VTO). Unntak fra dette skjedde i 2005 da smeltevann reduserte VTO i Sandvatn sommerstid med 1,3 °C fra estimert VTO på grunn av uvanlig mye snø i sydvestre deler av Kvennas nedbørfeltet. Innsjøene er vindeksponerte og lyset trenger langt ned i vannmassene. Dette gjør at varmt overflatevann blir effektivt blandet ned i vannmassene, og bunnområdene blir svært produktive. Ørretens årlige tilvekst i Sandvatn de siste 6 årene er svært godt korrelert til (VTO), og dette kan ha sammenheng med temperaturbettinget vekst av viktige næringsdyr som marflo, skjoldkreps og linsekrep. Effekten av smelte-vannet gjorde at årstilveksten av ørret ble svært lav til tross for at sommeren var varmere enn normalt. Klimascenarier beskriver økte snømengder i de samme områdene i framtiden, og da særlig i Kvennas sydvestlige fjellområder. Våre prognoser indikerer betydelig reduksjon i produksjonen av ørret i Kvennavassdragets øvre deler, men år til år variasjonene vil være store. Innsjøene på Hardangervidda nord for Kvenna vil i langt mindre grad være preget av denne avkjølingseffekten, da isgang og snøsmelting vil skje mer synkront i et område med langt mindre snømengder og et flattere landskap. I denne delen kan fremtidige varmere somre bety økt produksjon av fisk.

Fire norske emneord 1. Lokal klima 2. Temperatur i innsjøer 3. Fiskestatistikk 4. Årsklassestyrker	Fire engelske emneord 1. Local climate 2. Temperature in lakes 3. Fish statistics 4. Year class strength in fish populations
--	--



Sigurd Rognerud
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag og markedsdirektør

Hardangervidda-prosjektet

Resultater for undersøkelsene i 2005

Forord

Denne rapporten er en årsrapport for undersøkelsene av ørreten på Hardangerviddas sentrale område i 2005. Prosjektet startet i 2000, og omhandler konsekvenser for fiske og forvaltning av ørret som følge av variasjoner i været. Resultatene skal danne bakgrunn for å forutsi konsekvensene ved fremtidige klimascenarier som beskrevet i RegClim-prosjektet (Iversen et al. 2005). Det er utarbeidet to tidligere rapporter som omhandler klimavariasjoners betydning for ørreten, næringsnettets struktur og fiskens innhold av miljøgifter. I 2005 har vi videreført prosjektet med vekt på å følge variasjonene i ørretens årsklassestyrker, årstilvekst og ernæring i Sandvatn. Vi har også satt opp en automatisk klimastasjon ved Dargesjøen. Dette ble gjort for å klarlegge hvor representative værddata fra Geilostølen meteorologiske stasjon er for værforholdene inne på sentralvidda, og hvordan været lokalt påvirket temperatur og sirkulasjonsforhold i nærliggende innsjøer.

NIVA intierte dette forskningsprosjektet i 2000 og i den første fasen var det 10 finansielle bidragsytere der Direktoratet for Naturforvaltning (DN), EBL-kompetanse, Statskog SF og NIVA var de største. I 2004 og 2005 har prosjektet vært finansiert av DN, EBL-kompetanse og NIVA.

Data om nedbørfeltareal og avrenning er hentet fra NVEs Reginebase. I 2005 samarbeidet vi med Lena Tallaksen og Nils Roar Sælthun ved Universitetet i Oslo, Hydrologisk avdeling ved Geologisk Institutt, om etablering av den lokale meteorologiske stasjonen. Denne ble betjent av Menno Rakhorst som var tilknyttet Universitet i Oslo, på et 4 måneders stipend, sommeren 2005. Resultatene fra registreringene har han publisert i en egen rapport utgitt ved Wageningen Universitet i Nederland, med tittelen: "Lake evaporation in Norway estimated by the Penman approach". Primærdata fra målestasjonen har vi behandlet videre her blant annet for å kalibrere værddata på sentralvidda med data fra meteorologiske stasjoner i utkanten av Hardangervidda. Rapporten er skrevet av Sigurd Rognerud og Tore Qvenild.

Ottestad, 20. april 2006



Sigurd Rognerud

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Metoder	8
2.1 Værdata	8
2.2 Temperaturloggere	8
2.3 Dybdekart	8
2.4 Fiskeundersøkelsene	8
3. Resultater	10
3.1 Fysiske målinger	10
3.1.1 Morfometri	10
3.1.2 Værdata fra Geilostølen meteorologiske stasjon	11
3.1.3 Snøforholdene somrene 2001-2005	13
3.1.4 Vind og lufttemperatur ved Dargesjøen	15
3.1.5 Temperaturen i innsjøene	17
3.2 Fiskeundersøkelser i Sandvatn	19
3.2.1 Garnselektivitet	19
3.2.2 Lengde- og aldersfordeling	20
3.2.3 Kondisjon og kjøttfarge	22
3.2.4 Ernæringsforhold i 2005 sammenliknet med tidligere år	23
3.2.5 Temperatur og vekst	25
4. Diskusjon	26
4.1 Fysiske forhold	26
4.2 Fiskeribiologiske forhold	28
5. Referanser	32

Sammendrag

Resultatene fra første del av forskningsprosjektet over ørretens livsvilkår på Hardangervidda har vist at de årlige svingninger i værforholdene har stor betydning for ørretens rekruttering og årsklassestyrke, tilvekst og avkastning. Særlig har ekstremsituasjoner i været i viktige perioder av året avgjørende betydning for disse forholdene. Klimaprognosene viser at ekstremvær kommer til å opptre mer hyppig i årene som kommer og det er rimelig å anta at dette får spesielt stor betydning for økosystemet i høyfjellsjøer. Studiene om værforholdenes betydning for fiskens tilvekst og produksjon gjennomføres i innsjøer som ligger i Kvennas nedbørfelt på Hardangerviddas sentrale område. Sandvatn, som ligger i Kvennas hovedløp, har vært undersøkt systematisk i 4 år, mens Dargesjøen, Kringlesjøen og Blånuttjønn ble først undersøkt i 2003. I 2005 ble også temperatur og sirkulasjonsforhold i den mellomstore Fjellsjøen undersøkt.

Hardangerviddas treløse høyfjellsplatå har lave konturer og innsjøene er i liten grad skjermet for vind. I slike situasjoner er tykkelsen på det varmere sirkulerende overflatelaget (epilimnion) i all hovedsak bestemt av innsjøens overflateareal og lyssvekningen i vannmassene. De lave konsentrasjoner av humustoffer i undersøkte innsjøer på Hardangervidda gjør at sollyset trenger langt ned i innsjøene. Dette er en viktig årsak til høy produksjons-kapasitet i disse fjellsjøene fordi påvekstkalger, som er den viktigste primærproduzenten, får gode vekstvilkår også i dypere deler av innsjøen. I tillegg til dette vil epilimnions tykkelse bli stor fordi klart vann gir effektiv omdanning av strålingsenergi til varme også i dypere vannlag. Denne varmen fordeles effektivt av vinden nedover i vannmassen slik det er vist for Fjellsjøen i 2005. I slike "energiske" omgivelser der landskapet er relativt flatt, og innsjøene grunne til middels dype, er den effektive fordelingen av varme nedover i innsjøene svært positivt for akvatiske organismers vekst. I dette prosjektet har vi undersøkt dybdeforhold i 5 innsjøer. Resultatene viser at 68 til 98 % av bunnarealet var grunnere enn 10 m. Epilimnion streker seg ofte relativt tidlig ned til 10 m (jmf Fjellsjøen i 2005) og bunndyr (inkl. de viktige krepsdyrene) og påvekstkalger har stor fordel av at varmere vann fordeles så vidt langt ned i innsjøen tidlig i sesongen. Det at største delen av bunnarealet i innsjøen er produktive områder er antagelig avgjørende for den høye produksjonen av fisk i disse fjellsjøene

Ørretens årlige tilvekst i Sandvatn de siste 6 årene var godt korrelert til vanntemperaturen i overflatelagene (VTO) sommerstid. Mageanalyser av fisken og litteraturstudier indikerer at dette kan ha sammenheng med temperaturbettinget vekst av viktige næringsdyr som marflo, skjoldkreps og linsekreps. Dette er nødvendig da respirasjonen øker med temperaturen og økt vekst i fisk ved økt temperatur må kompenseres med økt mattilgang. VTO samvarierte synkront med variasjonene i lufttemperaturene (LT) i innsjøene som er undersøkt på sentralvidda. Unntak fra dette skjedde i Sandvatn i 2005 da smeltevann reduserte VTO med 1,4 °C fra estimert VTO (fra LT) på grunn av uvanlig mye snø i sydvestre deler av nedbørfeltet. Dette førte til den laveste årstilveksten av ørret som vi har målt siden 1999. Klimasenarioer beskriver økte snømengder i de samme områdene i framtiden, og da særlig i Kvenna sydvestlige fjellområder. Våre prognoser er at dette generelt vil føre til en betydelig reduksjon i produksjonen av ørret i Kvennavassdraget's øvre deler, men år til år variasjonene vil være store. Innsjøene på Hardangervidda nord for Kvenna vil i langt mindre grad være preget av denne avkjølingseffekten da isgang og snøsmelting vil skje mer synkront i et område med langt mindre snømengder og et flattere landskap. I denne delen kan fremtidige varmere somre bety økt produksjon av fisk.

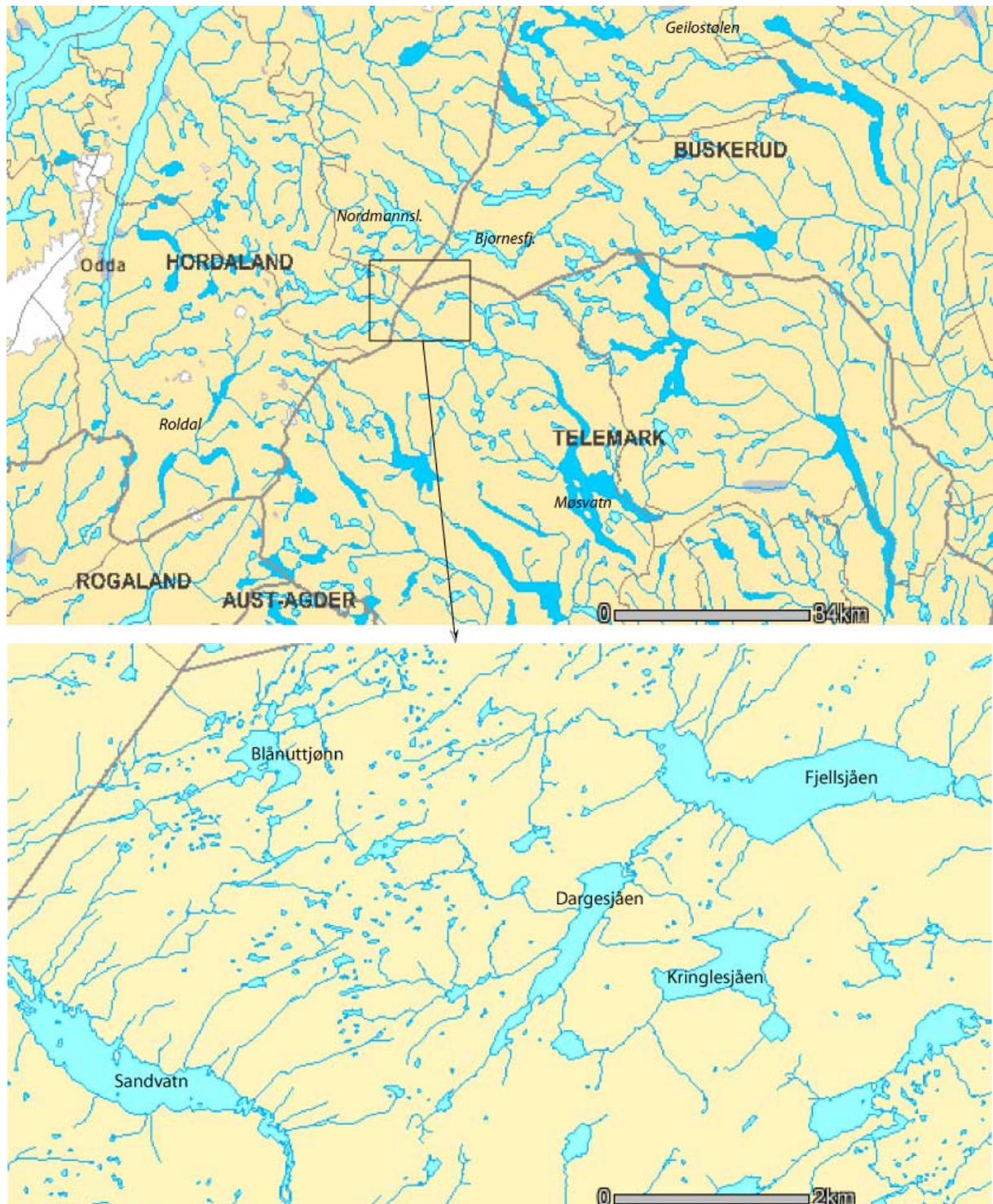
1. Innledning

Hardangervidda er Norges største nasjonalpark, Europas største høyfjellsplatå og verdens største sammenhengende fjellområde hvor ørret er eneste fiskeart. Selv om hoveddelen av Hardangervidda er nasjonalpark er det adgang til å drive kommersielt fiske i mange av innsjøene. I bygdene som grenser inn til Hardangervidda er det knyttet betydelige økonomiske interesser til høstingen av disse ørretbestandene. Det bør være et nasjonalt ansvar og skape kunnskap om riktig forvaltning av fiskeressursene i et slikt unikt fjellområde.

Resultatene fra første del av forskningsprosjektet over ørretens livsvilkår på Hardangervidda har vist at de årlige svingninger i værforholdene har stor betydning for ørretens rekruttering og årsklassestyrke, tilvekst og avkastning (Rognerud et al. 2003, 2005). Særlig har ekstremsituasjoner i været i viktige perioder av året avgjørende betydning for disse forholdene. Klimaprognosene viser at ekstremvær kommer til å opptre mer hyppig i årene som kommer (Iversen et al. 2005), og det er rimelig å anta at dette får spesielt stor betydning for økosystemet i høyfjellsjøer. Fiskens livsvilkår kan endres betydelig da klimatiske forhold setter klare grenser for produksjonskapasiteten i fjellsjøer. Det har også vist seg at bunnfrysing av gytebekker i snøfattige år og sein isgang i snørike år kan ha dramatiske konsekvenser for ørretyngelens overlevelse og derved årsklassestyrke. Dersom yngelen overlever plommesekk-stadiet vil tilveksten den kommende produksjonssesong være avgjørende for graden av overlevelse den første vinteren. Etter at 1996 årgangen i praksis forsvant over store deler av Hardangervidda på grunn av bunnfrysing av gytebekkene denne snøfattige vinteren kom 1997-årgangen til dekket bord. Denne årsklassen har da også blitt svært dominerende i mange bestander (Rognerud et al 2003, 2005, Borgstrøm 2005). I de kommende årene har vi en unik sjanse til å studere hvordan den meget sterke 1997-årsklassen (og de nye 2001/2002-årsklassene) vil påvirke fiskeribiologiske forhold på Hardangervidda. Vi har indikasjoner på at 1997-årsklassen er den sterkeste siden den meget sterke 1926-årsklassen som preget fisket langt inn på 1930-tallet (Rognerud et al 2003).

Vanntemperaturen har avgjørende betydning for vitale prosesser i akvatiske organismer. Hastigheten på prosesser som vekst og utvikling øker med en faktor på ca 2 ved en økning i temperaturen på ca 10 grader. Ved hjelp av stabile isotoper har vi vist at økosystemet i mange fjellsjøer i all hovedsak har sin energi fra sollys fiksert av bunnlevende påvekstalg (Rognerud et al. 2003). Derfor er temperaturforholdene i innsjøene sommerstid, produksjonssesongens lengde og lyssvekningen i vannmassene viktig variable for økosystemets produktivitet. Innsjøenes dybdeforhold er viktig for å vurdere omfanget av produktive bunnområder, forklare innsjøens temperatur og beregne vannutskiftning. I denne rapporten har vi lagt vekt på å klarlegge de fysiske egenskapene knyttet til vanntemperatur, sirkulasjonforhold og andelen produktive bunnområder i typiske innsjøer på Hardangervidda.

Studiene om værforholdenes betydning for fiskens tilvekst og produksjon gjennomføres i innsjøer som ligger i Kvennas nedbørfelt på Hardangerviddas sentrale område (Fig. 1). Sandvatn, som ligger i Kvennas hovedløp, har vært undersøkt systematisk i 4 år, mens Dargesjøen, Kringlesjøen og Blånutjønn først ble undersøkt i 2003. I 2005 ble også temperatur og sirkulasjonsforhold i den mellomstor Fjellsjøen undersøkt. Målsetningen for undersøkelsene i 2005 har vært å: i) følge utviklingen av den sterke 1997 årsklassen i Sandvatn, ii) kartlegge fiskens diett når en slik sterk årsklasse opptrer i bestanden i mange år. iii) undersøke hvordan de nye 2001 og 2002 årsklassene klarer konkurransen med 1997-årsklassen, iv) undersøke temperaturforholdene i ulike innsjøer ved hjelp av temperaturloggere og sammenholde dette med værdato og innsjøenes morfometri, v) kalibrere værdato fra den meteorologiske stasjonen på Geilostølen med data fra en automatisk værstation som ble etablert på Dargesjøen i 2005 og vi) koble værdato med fysiske forhold i innsjøene og til årlig tilvekst i fiskebestanden i Sandvatn.



Figur 1. Kartet viser Hardangerviddas sentrale område og beliggenheten av de undersøkte innsjøene Sandvatn (1112 moh.), Dargesjøen (1209 moh.) og Fjellsjøen (1197 moh.). Kringlesjøen (1258 moh) og Blånuttjønn (1313 moh.) ble undersøkt i 2003 (Rognerud et al. 2005). Innsjøer merket mørkeblått er regulerte.

2. Metoder

2.1 Værdata

Den automatiske meteorologiske stasjonen ble satt opp på den vestre bredden av Dargesjø 8. juli 2005 og tatt ned 4. oktober samme år. (se bildet på omslagsiden). Stasjonens registreringsenhet var lokalisert ca. 2,5 m over innsjøens overflate og den har 5 sensorer som måler følgende (snitt for hver time): Vindhastighet (nøyaktighet ± 2 m/s), maksimum vindhastighet (høyeste hastighet med en varighet på over 2 sekund), vindretning (måles hvert sekund på vind over 0,3 m/s), luft-temperatur (± 1 %) og solinnstråling (bølgelengder mellom 0,2 og 2,5 μm) nøyaktighet ± 20 W/m². Meteorologiske data fra den automatiske stasjonene ble sammenlignet med manuelle data fra de to nærmeste meteorologiske stasjonene Geilostølen (met.no/observasjoner/buskerud/Geilostolen). Geilostølen er den meteorologiske stasjonen som ligger nærmest Dargesjøen. Døgnmiddeltemperaturer (td) er beregnet etter følgende formel $td = N \cdot k(N - \min)$ der $N = 1/3 (t_{06} + t_{12} + t_{18})$ dvs temperatur kl 06, 12 og 18. k er en faktor som varierer med sted og måned, mens min er temperaturdøgnets minimumstemperatur (met.no). Det brukes også en forenklet model $td = 1/4(t_{kl.06} + t_{kl.18} + t_{\min} + t_{\max})$. Vindretning og hastighet måles manuelt kl. 06 og 18. For øvrig henvis til nettsidene på met.no

2.2 Temperaturloggere

Temperaturloggere registrerte vanntemperaturene hver tredje time. De ble knyttet fast på en line på ulike dyp og lina var forankret på innsjøenes dypeste punkt med en bøye på overflaten. Det ble satt ut temperaturloggere i Fjellsjøen, Dargesjøen og Sandvatn den 2. juli og de ble tatt opp 4. oktober. På Sandvatn ble loggeren forankret i en flytebrygge ca. 50 m fra land.

2.3 Dybdekart

Dybdekartet for Fjellsjøen ble konstruert på bakgrunn av ekkoloddregistreringer. Dybden på 30 steder i innsjøen som ble kartfestet med GPS. Avrenningsdata for å beregne teoretisk oppholdstid er hentet fra NVEs avrenningskart og areal fra NVEs Regime database.

2.4 Fiskeundersøkelsene

Prøvefisket i Sandvatn foregikk i perioden 14.08.05 til 20.08.05. Antall garn og maskevidder som ble brukt i de ulike nettene er vist i tabell 1. I 2005 ble det i tillegg satt ett nordisk flytegarn (30*4 m) som sto på samme sted hele tiden.

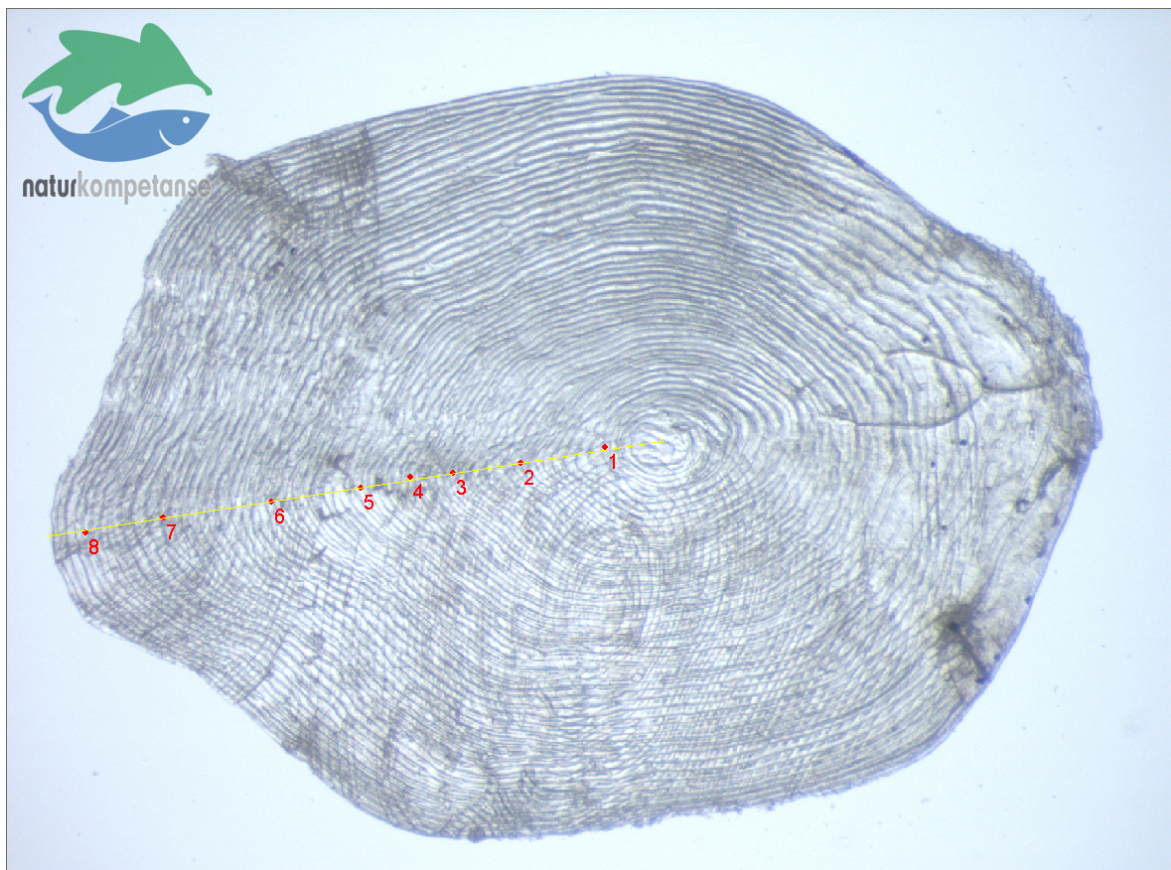
Tabell 1. Oversikt over garnsettingen i perioden 14. – 20. august 2005.

	21 mm	26 mm	29 mm	35 mm	39 mm	Nordisk garn	
14.-15. aug	2	1	1	1	1	2	
15.-16. aug			2	2	2	2	Nordisk på dypet (10 m)
16.-17. aug			2	2	2	2	Nordisk på dypet (6 m)
17.-18. aug			2	2	2	2	Nordisk på grunna, øvrige på dypet
18.-19. aug	3		2	2	2	2	Nordisk på grunna
19.-20. aug		1	2	6	2		
Totalt	5	2	11	15	11	10	

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 utpilt mage. Fiskens kondisjons-

faktor, 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. I alle år Sandvatn har vært undersøkt har vi fisket med prøvegarnserier på grunna (0-7m) og på dypet (7-13m). I 2001, 2004 og 2005 ble det satt garn av ulike maskevidder på dypet, men i 2005 ble de mest finmaskete garna ikke benyttet slik at innslaget av småfisk var lite i fangsten. I 2002 ble det ikke fisket på dypet.

Tilveksten for 1997 årsklassen i 2004 og 2005 ble tilbakeberegnet fra skjell på fisk som to personer hadde bestemt til henholdsvis 7 og 8-åringer. Veksten ble tilbakeberegnet ved hjelp av metode beskrevet av Dahl (1910). Metoden forutsetter en direkte liniær proporsjonalitet mellom skjellradier og fiskens lengde (Fig. 2). Den årlige tilveksten for 1997-årsklassen (1997-2005) i Sandvatn er beregnet som middel for 28 individer både i 2004 og 2005. Som hovedregel er to skjell fra hver fisk undersøkt og middelveiden av de ulike soner benyttet ved vekstberegningen. Fangstdato var 17-18. august både i 2004 og 2005. Tilveksten i 2005 er justert opp med 31 % da dette var tilveksten fra fangstdato og ut året i 2004. Undersøkelsene i 2006 vil avdekke om dette er et godt estimat for veksten i 2005. Tilveksten for 1997 og 1998 er ikke tatt med da ungfisk ikke har direkte proporsjonalitet mellom skjellvekst og lengdevekst på samme måte som eldre fisk.



Figur 2. Vekstsoner på skjell fra en 8-åring (1997-årsklassen) på 31 cm fanget 17. august 2005 i Sandvatn (foto Atle Rustadbakken, Naturkompetanse). Vekstsonenes størrelse (som er markert) er proporsjonal med fiskens lengdevekst de ulike årene. Når fiskens lengde ved fangstdato er kjent kan tilveksten de ulike årene beregnes. Skjellveksten de første to leveårene gjenspeiler ikke lengdeveksten på samme måte som hos eldre fisk og er utelatt i diskusjonen. Siste års tilvekst (2005) vil også underrepresentere årstilveksten dette året da fisken også har en tilvekst fra 17. august og ut året.

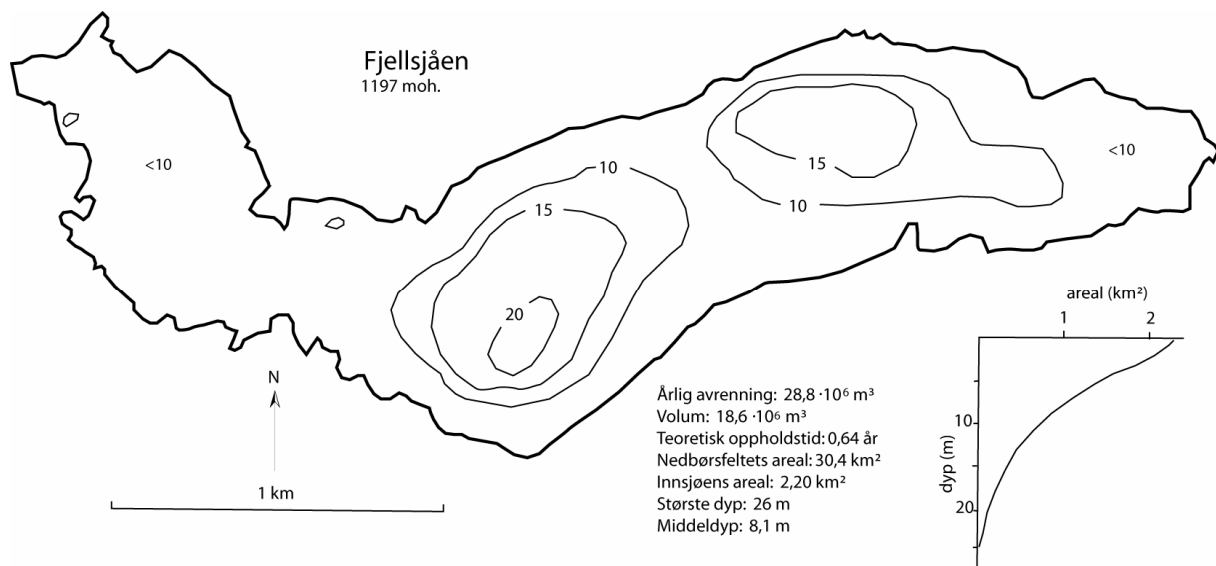
3. Resultater

3.1 Fysiske målinger

3.1.1 Morfometri

Dybdekart, hypsografisk kurve, innsjøspesifikke data og vanntemperaturer for 4 mindre innsjøer i forsøksområdet på sentralvidda er publisert tidligere (Rognerud et al. 2005). I 2005 var en automatisk meteorologiske stasjonen i drift på Dargesjøen. Vi ønsket å se værdata fra denne stasjonen i sammenheng med temperaturgang og sirkulasjonsforhold i en vindeksponert mellomstor og dypere innsjø i nærheten av stasjonen (se Fig.1). Dette for å skaffe kalibreringsdata for en senere modellering av temperaturforhold i innsjøer av ulik størrelse på Hardangervidda. Fjellsjøen ble valgt da denne ligger ca. 3 km fra den meteorologiske stasjonen ved Dargesjøen. Dargesjøen, som er undersøkt siden 2003, ligger i Fjellsjøens nedbørfelt. Fjellsjøens dybdekart ble tegnet opp på bakgrunn av målinger med ekkolodd og kartfestingst med GPS navigasjon (Fig. 3). Største dyp er 26 m, men store deler av innsjøens bunnareal er grunnere enn 10 m (Tab.2).

Fjellsjøen er en typisk mellomstor innsjø på Hardangervidda. De 5 innsjøene vi har undersøkt tidligere må beskrives som grunne med middeldyp varierende fra 2,5 til 8,1 m og største dyp fra 14 til 31m (Tab.2). Mellom 68 og 97 % av bunnarealene er grunnere enn 10 m (Tab 2). De store gruntområdene er et resultat av et relativt flatt landskap med store løsmasser som er tilført innsjøene og som i hovedsak er sedimentert i innløpsenden. De store gruntområdene er en viktig årsak til høy produksjon av insekter og krepsdyr som er en forutsetningen for en høy produksjon av fisk.



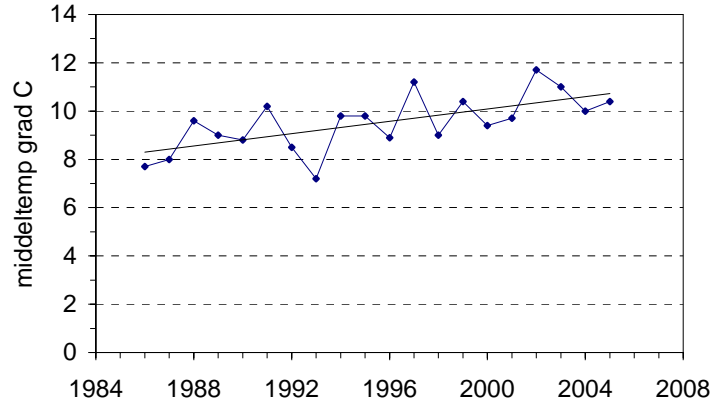
Figur 3. Dybdekart, hypsografisk kurve og innsjøspesifikke data for Fjellsjøen.

Tabell 2. Morfometriske data for de 5 forsøkssjøene på Hardangerviddas sentrale område. NVEs unike nummer i Reginebasen (NVE-LNR), høyde over havet (hoh.), overflateareal (Ao), største dyp (Z-max), middeldyp (Z-midd.), teoretisk oppholdstid (Tw) samt andel bunnareal grunnere enn 5 m (A: 0-5m) og grunnere enn 10 m (A: 0-10 m).

Lokalitet	NVE-LNR	hoh. m	Ao km ²	Z-max m	Z-midd. m	Tw år	A: 0-5m %	A: 0-10m %
Fjellsjøen	17	1197	2,31	26	8,1	0,64	39	68
Sandvatn	39	1112	1,56	13	2,5	0,01	87	98
Blånuttjønn	18770	1313	0,31	31	6,1	0,50	52	84
Dargesjøen	18827	1209	0,64	15	4,7	0,27	61	92
Kringlesjøen	18854	1258	0,72	14	4,5	1,30	61	97

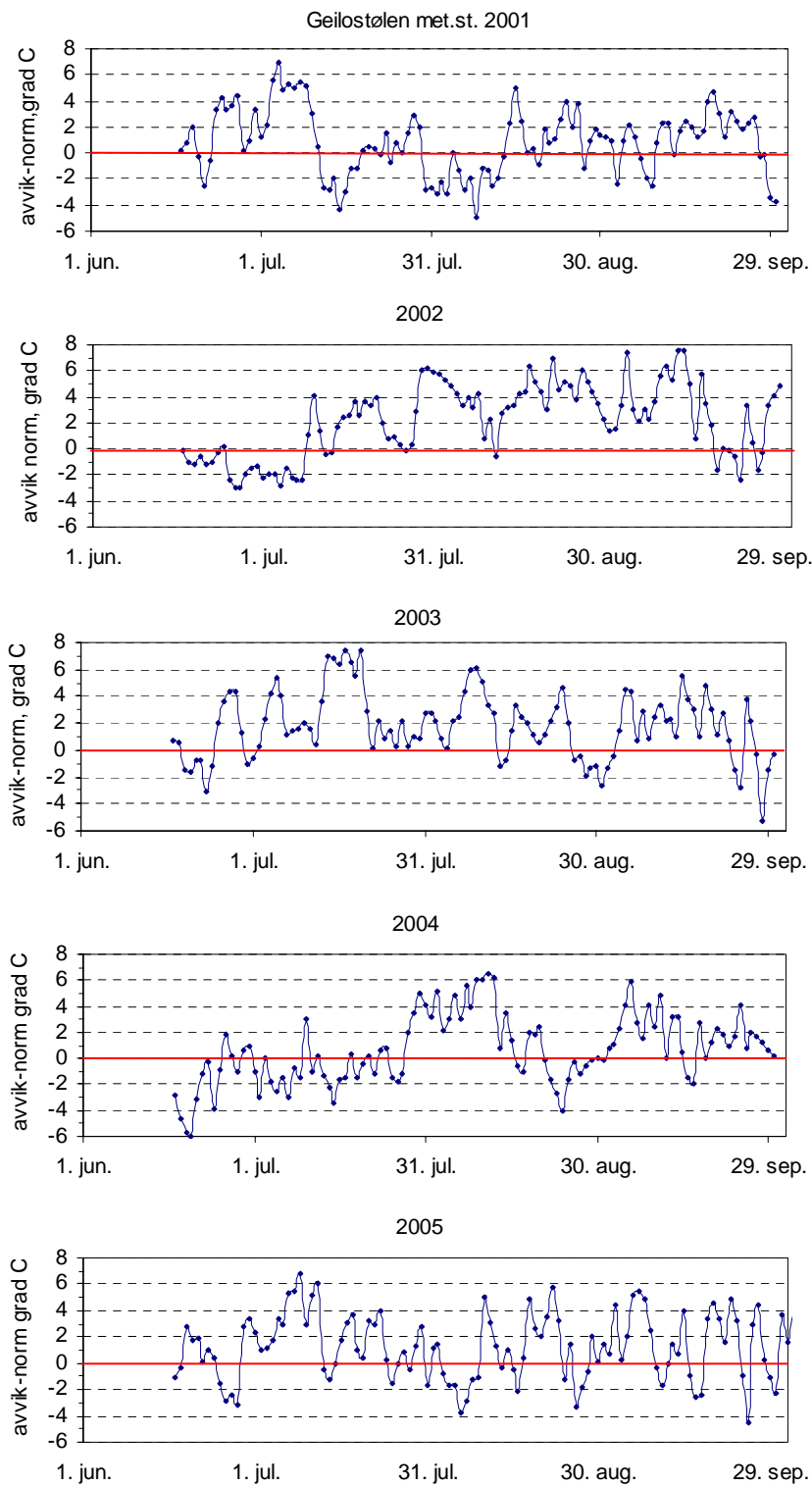
3.1.2 Værdata fra Geilostølen meteorologiske stasjon

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 første halvdel av oktober. Vi har tidligere vist at temperaturen sommerstid ved Geilostølen er godt korrelert til vanntemperaturene i overflatesjiktet av innsjøene inne 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). Siden midten av 1980-tallet har gjennomsnittstemperaturen i perioden juli/august/september økt gradvis fra ca 8 grader i 1986 til ca 10 grader i 2005. De 7 siste årene har temperaturen vært godt over normalen (9,06 °C) for perioden 1961-1990 (Fig.4).



Figur 4. Middelttemperaturen ved Geilostølen meteorologiske stasjon for månedene juli, august og september i perioden 1986 til 2005. Normalen for perioden 1961-1995 er 9,06 °C.

Værsituasjonen i sommerperioden de siste 5 årene har vist store variasjoner fra normalen (Fig.5). I Norge var 2005, 2004 og 2003 henholdsvis det 6-, 7ende og 8ende varmeste året siden Meteorologisk Institutt startet sine målinger i 1867 (met.no). På Hardangervidda var 2002 og 2003 svært gode produksjonsår med temperaturer over normalen i praktisk talt hele den isfrie perioden. I 2003 og 2004 gikk isen i forsøksområdet henholdsvis 17. mai og i slutten av mai (se også Tab.3). Dette var en svært unormal situasjon og ca. 3-4 uker tidligere enn det som er vanlig tid for isgang (midten av juni) i forsøksområdet. 2003 ble derfor et langt og godt produksjonsår for fisk og dens næringsdyr.



Figur 5. Temperaturavvik fra normalen (1961-1995) for Geilostølen meteorologiske stasjon i nesten hele den isfrie delen av året (kilde: met.no).

I 2004 var forsommeren (juni og juli) kaldere enn normalt og temperaturene var nær 10 grader i nesten hele juni. Det var først i august at det ble varmt med temperaturer godt over normalen i en 3 ukers periode. September var også varmere enn normalt. I 2005 gikk isen i slutten av juni. Hele denne måneden var kaldere enn normalt i Sør-Norge (met.no), men etter første av juli var temperaturene stort sett over normalen i hele perioden.

3.1.3 Snøforholdene somrene 2001-2005

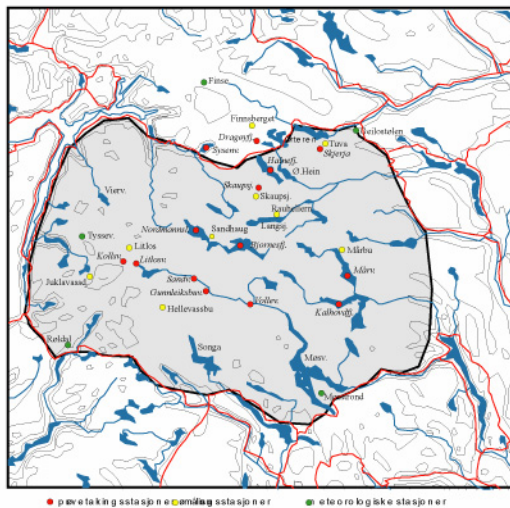
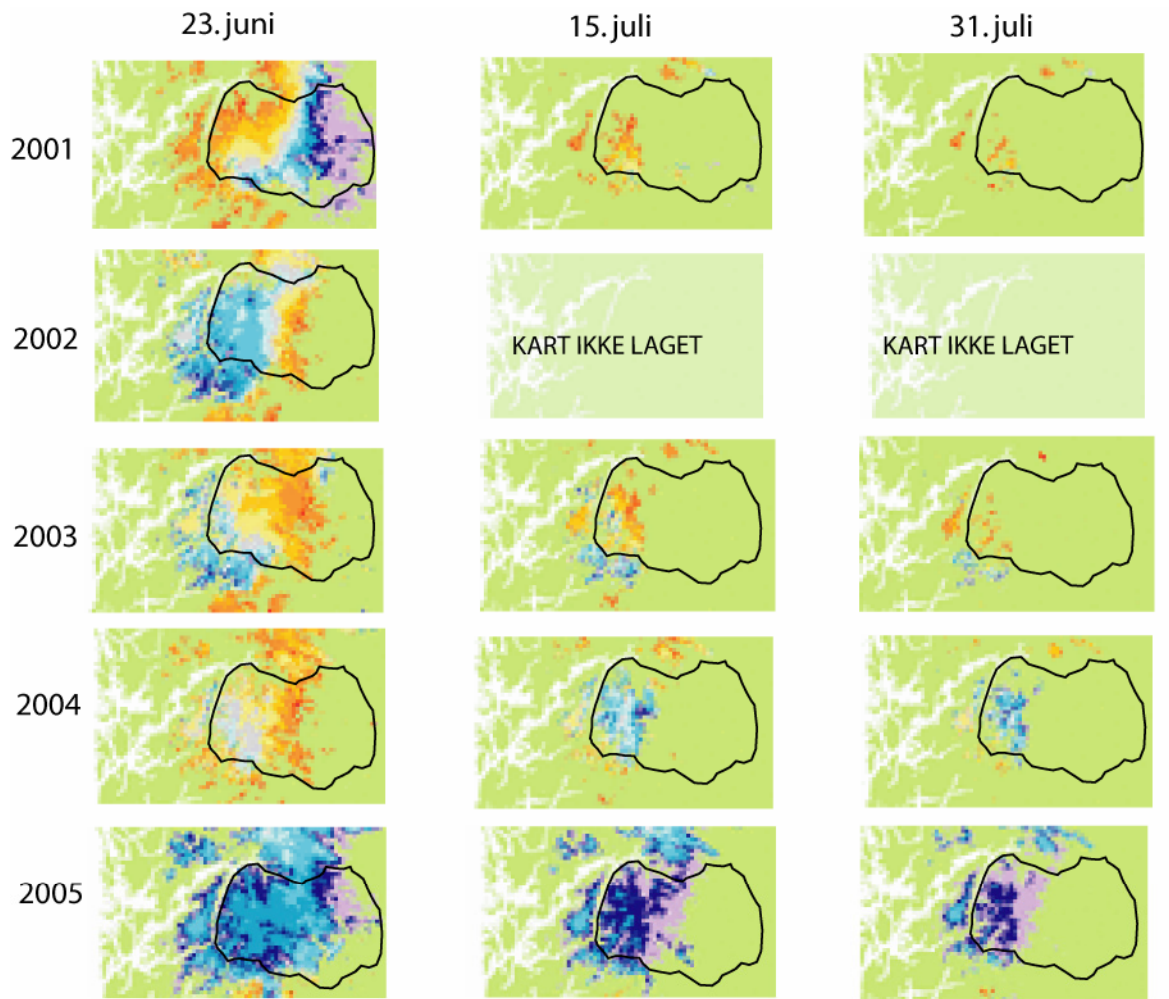
Ved hjelp av en modell simuleres snømengde hver dag for hver kvadratkilometer i Norge (nve.no, met.no). Modellen beregner snøens vannekvivalenter, fritt vann i snøen og avrenning fra snøen. Disse instituttene produserer kart på nettet som viser snøens vannekvivalenter i prosent av normalen (1971-2000). Her viser vi slike kart for Hardangervidda ved tre ulike tidspunkt i den isfrie perioden fra de siste 5 årene (Fig. 6). Det går klart fram at snøforholdene har vært svært forskjellig i den perioden undersøkelsene våre har pågått.

I 2001 var det mer snø enn normalt på østlige deler, mens i vestlige deler forsvant nesten all snø i løpet av første del av juni.

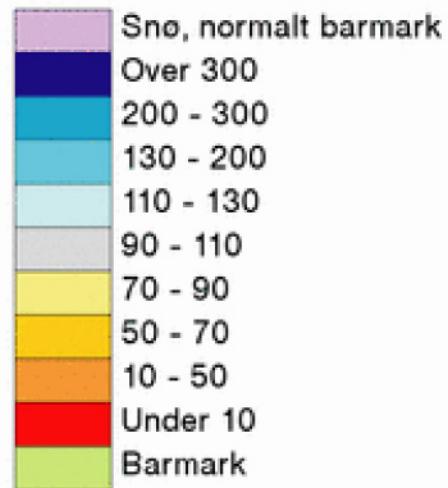
I slutten av juni i 2002 var det mer snø enn normalt i vest og mindre enn normalt (eller barmark) i øst. Vi har ingen senere kart, men smeltevann fra vest/sydvestlige fjellområder må forventes å prege Kvennavassdraget i første av juli dette året.

I slutten av juni 2003 og 2004 var det mye barmark i øst, mindre enn normalt i sentrale deler og nær normale snømengder i vest. Avsmeltingen gikk noe senere enn normalt i 2004 på grunn av unormal kald forsommer (Fig. 4).

Det var uvanlig mye snø over hele Hardangervidda i 2005, med unntak av områdene helt i øst hvor det var barmark i slutten av juni. Selv i midten av juli var det snø godt over normalen fra sentrale deler til helt i vest og i månedskiftet juli/ august var det snø godt over normalen i vest og mange av de største snøleiene smeltet ikke dette året.



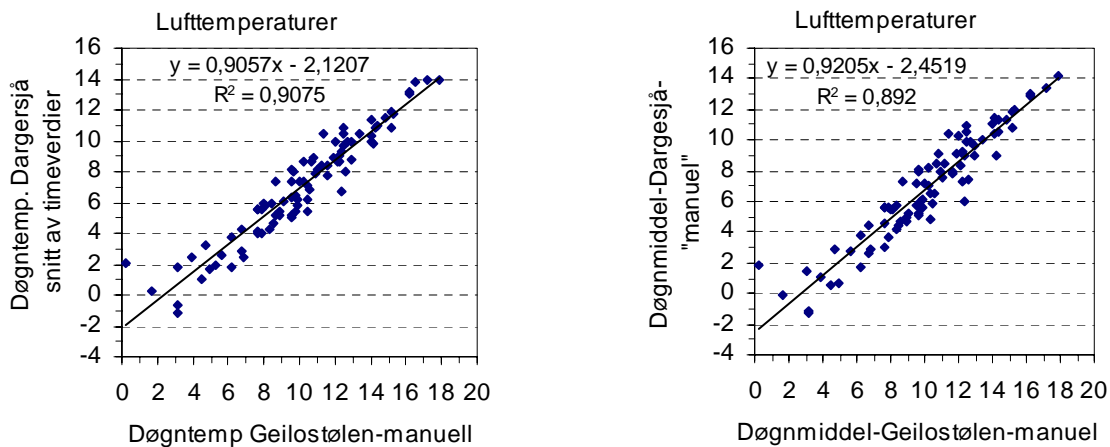
% av normalen (1971-2000)



Figur 6. Sn kart publisert av NVE for utvalgte tidspunkt sommerene 2001 til 2005 (kilde nve.no)

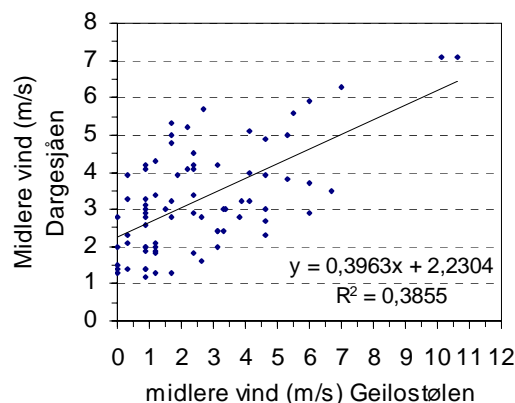
3.1.4 Vind og lufttemperatur ved Dargesjøen

Vind og lufttemperatur ble målt ved den automatiske meteorologiske stasjonen ved Dargesjøen (se omslagsbildet). Dette er sentrale variable for temperaturgang og sirkulasjonsforholdene i innsjøene. Hensikten med disse målingene var å undersøke hvor representative vind og temperaturdata på Geilostølen meteorologiske stasjon var for værforholdene inne på sentralvidda (Dargesjøen). Dermed å beregne fordampningen på Dargesjøen ut fra vindhastighet, lufttemperatur, vanntemperatur, relativ fuktighet og kortbølget innstråling (Rakhorst 2005). Temperturmålingene viste at det var en relativt god sammenheng som var uavhengig av om beregningen på Dargesjøen var basert på døgnmidler (basert på målinger hver time) eller døgnmidler målt på samme tid, og beregnet på samme måte, som de manuelle målingene på Geilostølen (Fig.7). Dargesjøen ligger 400 m høyere enn Geilostølen og temperaturen var generelt lavere ved Dargesjøen. I snitt var den 3,2 °C lavere tilsvarende 0,8 °C pr. 100 m. Forskjellene var imidlertid noe mindre enn snittet ved lavere temperaturer (2,1 °C ved 0 °C) enn ved høye (4,0 °C ved 20 °C).



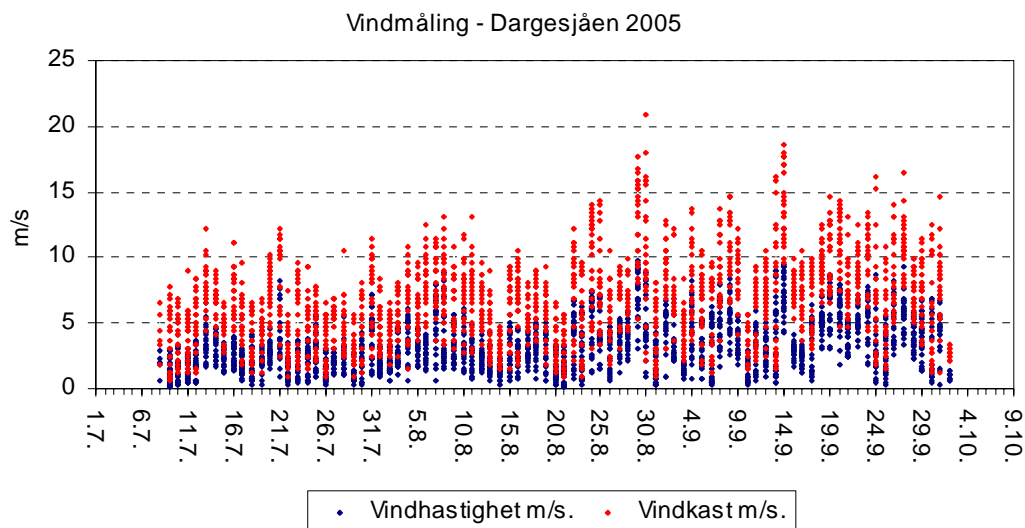
Figur 7. Sammenhengen mellom lufttemperaturer målt på Dargesjøen og Geilostølen meteorologiske stasjon i perioden 8.juli til 4. oktober 2005. I panelet til venstre er de manuelle målingene (se metode kap.) på Geilostølen sammenliknet med døgnmiddel basert på timeverdier på Dargesjøen. I høyre panel er beregningen gjort på samme måte ved begge stasjonene.

Sammenhengen mellom vindforholdene på Geilostølen og Dargesjøen var derimot dårlig (Fig. 8).

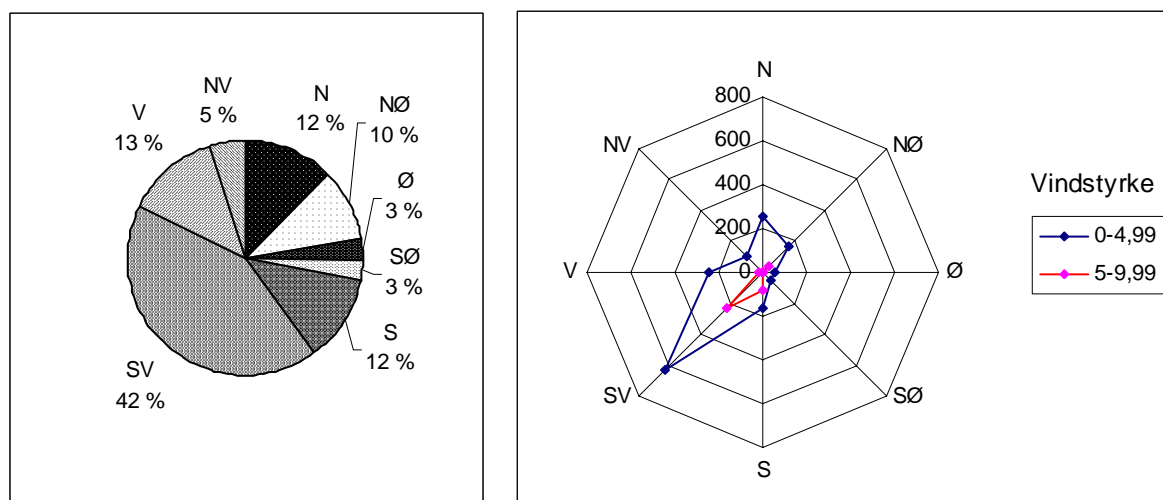


Figur 8. Midlere vind (døgnverdier) ved Geilostølen (beregnet på bakgrunn av manuelle målinger) og ved Dargesjøen (automatiske målinger basert på snitt av 24 timeverdier).

Det er tydelig at de manuelle målingene ved Geilostølen ikke gir noen god beskrivelse av vindforholdene inne på sentrale deler av Vidda. Vindaktiviteten på Dargesjøen kan deles i to perioder. Den første perioden fra oppstart til 21. august var generelt preget av enn lavere vindaktivitet enn den siste perioden fra 22. august til 2. oktober (Fig. 9). Den første perioden var generelt preget av vinder fra nordøst, mens den siste perioden var totalt dominert av sydvestlige vinder (Fig.12). Det var noen dager som hadde særlig stor betydning for sirkulasjonsforholdene i innsjøene. Det var vestavinden 13. juli, vind fra nordøst 21. juli, 31. juli og 7-8. august, samt sydvestlige vinder 22. august, 24. august og 29. august. I perioden sett under ett var sydvestlige vinder dominerende (42 %) og denne vindretningen hadde også størst frekvens av høye vindstyrker (Fig. 10).



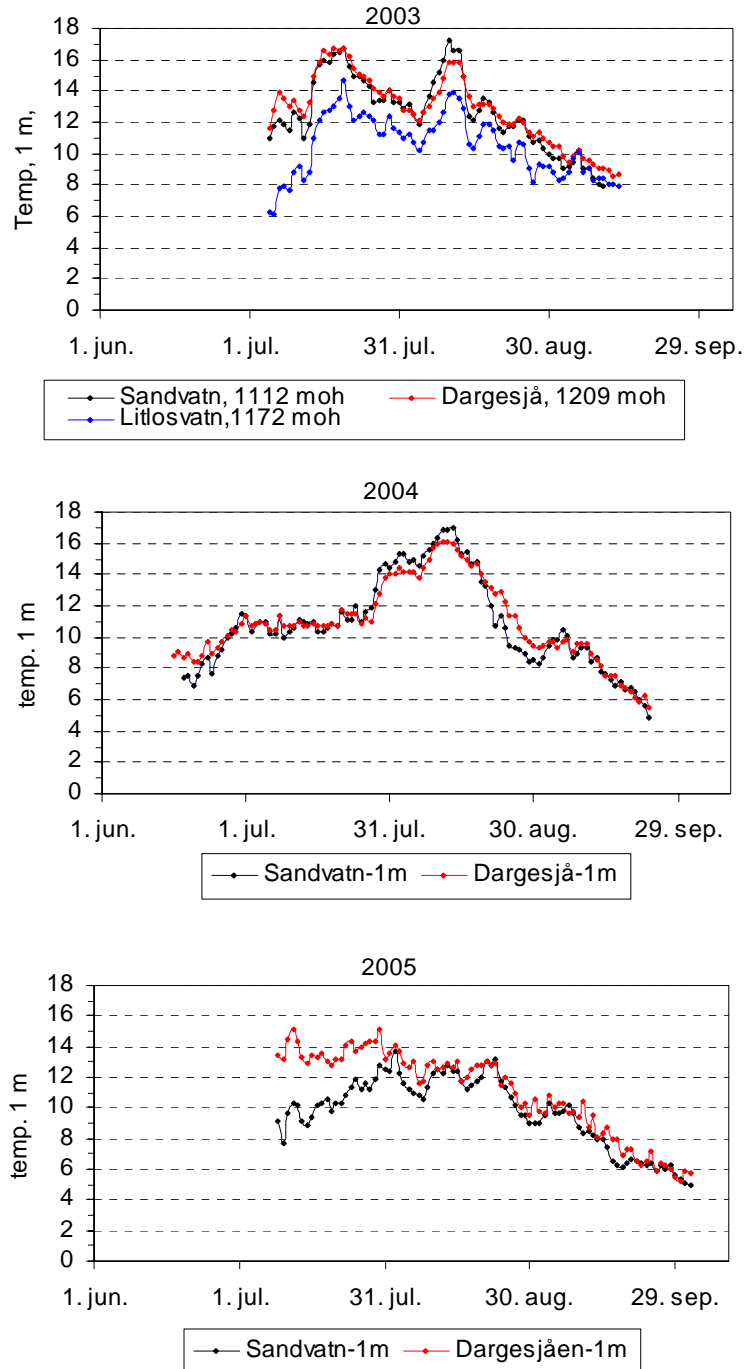
Figur 9. Vindhastighet (timeverdier) og største vindkast i tilsvarende timeintervall for perioden 8. juli til 4. oktober 2005.



Figur 10. Frekvens av ulike vindretninger (timeverdier) i perioden 8. juli til 4. oktober 2005 ved Dargesjøen (venstre panel), og antall observasjoner fordelt på 8 vindretninger og 2 vindstyrkegrupper (høyre panel). Frekvensdiagrammene er basert på antall observasjoner som ligger i sektoren $\pm 22,5^\circ$ fra angitte vindretning. Vindsstyrke er målt i m/s.

3.1.5 Temperaturen i innsjøene

Temperaturene i Dargesjøen og Sandvatn har vært undersøkt de siste 3 årene (Fig.11). Begge innsjøene er grunne og sirkulerer store deler av sommeren (Rognerud et al. 2003). Derfor er temperaturene på 1 m's dyp (VTO) et godt estimat på middeltemperaturen i vannmassene. Sandvatn ligger i Kvennavassdraget og er sterkt påvirket av vannføring og temperaturforholdene i Kvenna.



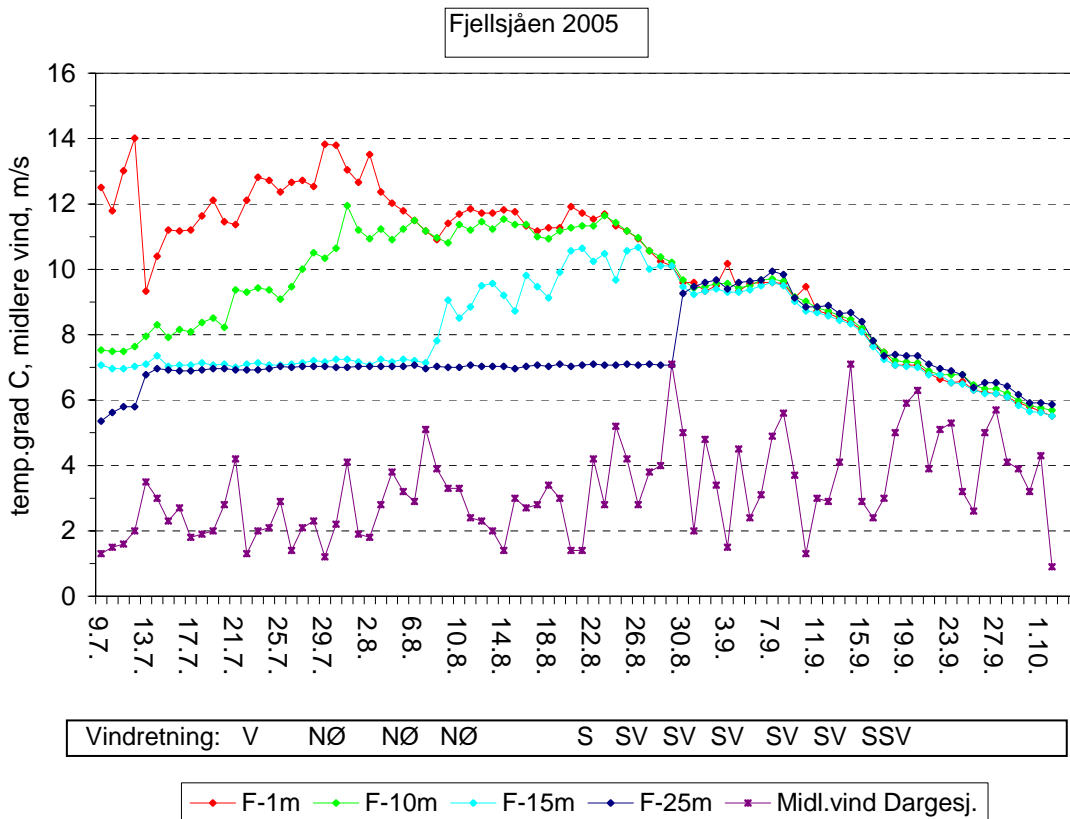
Figur 11. Temperaturløpet på 1 m's dyp i Dargesjøen og Sandvatn i størstedelen av den isfrie perioden 2003 til 2005. Temperaturen i Litlosvatnet i 2003 er også vist (fra Rognerud et al. 2003). Litlosvatnet, som ligger oppstrøms og vest for Sandvatn (60 m høyere), var preget av smeltevann fram til slutten av juli i 2003

Temperaturløpet i Dargesjøen og Sandvatn var svært lik i 2003 og 2004. Disse årene var Kvenna lite påvirket av kaldt smeltevann fra fjellene i sydvest utover i sommerperioden (Fig. 6). Dette betyr at avvik i temperaturløpet mellom Dargesjøen og Sandvatn kan brukes som en indikasjon på kjøleeffekten av smeltevann om sommeren fra høyereliggende områder i Kvennas sydvest nedbørfelt. I 2005 var denne effekten spesielt stor fordi det var mye snø helt fram til slutten av juli (Fig. 6). Smeltevannet nedsatte temperaturen fra det en normalt skulle forvente (slik som på Dargesjøen) helt fram til første av august. I tabell 3 er en del data omkring temperatur i luft og vann, samt isforhold på Sandvatn sammenstilt. I 2005 kan vi estimere at smeltevannet reduserte middeltemperaturen i Sandvatn med over 1,3 °C. i snitt for perioden 1. juli til 31. september (Tab.3).

Tabell 3. Middeltemperaturen i luft og i Sandvatn for perioden juli, august og september (JAS) (Rognerud et al. 2003, 2005 og denne rapport). Lufttemperaturer er målt på Geilostølen met. stasjon (kilde met.no). Opplysninger om tider for islegging og isgang er basert på lokale observatører (Stein Lier Hansen, Thoralf Myran, Nina Fossen og Halvor Nordjordet)

år	temp-luft	temp-vann	isgang	islegging
	JAS	JAS		
1997	11,2			
1998	9,0			
1999	10,4	10,4		
2000	9,4	9,4		
2001	9,7	9,7		
2002	11,7	11,6		
2003	11,0	10,9	17-23/5	15-20/10
2004	10,1	10,1	25/5-1/6	16-20/10
2005	10,4	9,1	20-25/6	10-20/10

I 2005 undersøkte vi temperaturløpet og sirkulasjonsforhold i Fjellsjøen (Fig.12). Fjellsjøen er en middelstor innsjø som ligger 2-5 km øst for Dargesjøen. Temperaturene på 1m's dyp var ca 1 °C lavere enn på tilsvarende dyp i Dargesjøen i hele måleperioden (ikke vist i figur). Måleperioden startet med rask oppvarming av overflatesjiktet som følge av lite vind og lufttemperaturer over normalen (jmf Fig.5). Dette ble blandet effektivt ned til bunns med vestlig vind den 13. juli. Selv på 25 m's dyp steg temperaturen fra ca. 5 til 7 °C på 5 dager. Etter dette var det en klar sjiktning i vannmassene (termoklin mellom 10 og 15m) fram til 7. august. Dette vises ved at det ikke var noen oppvarming på 15 og 25m's dyp (nær 7 °C) i hele denne perioden. I denne perioden ser vi også at vindfulle dager blander vann fra øvre sjikt (1m) ned til 10m's dyp. Den 6. august blander en frisk nordøstlig vind vannmassene ned til 10m og dagen etter øker vinden (vindkast opp mot 13 m/s) og innblandingen av varmere vann fra øvre vannlag når ned til 15m. Først 18 dager seinere blandes hele vannmassen ned til 15m som følge av en gradvis oppvarming og en økende syd-sydvestlig vindaktivitet. Den 29. og 30. august satte det inn med en kraftig vind fra sydvest (vindkast opp mot 20 m/s), og hele innsjøen sirkulerte ned til innsjøens største dyp (25m). Denne isotermien varte ut til islegging i midten av oktober.

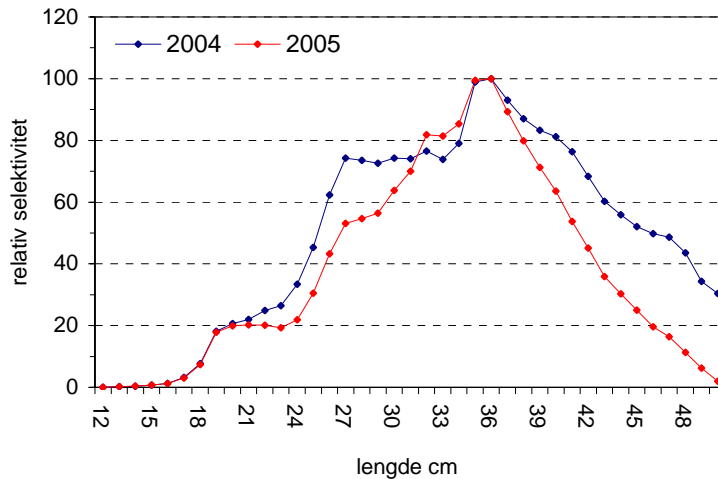


Figur 12. Temperaturgangen på 4 ulike dyp i Fjellsjøen fra ca. 2 uker etter isgang til ca. 3 uker før islegging i 2005. Midlere vindstyrke (døgnmiddel) og fremherskende vindretning ved noen av de mest vindfulle dagene er også vist (data fra den automatiske værstasjonen på Dargesjøen).

3.2 Fiskeundersøkelser i Sandvatn

3.2.1 Garnselektivitet

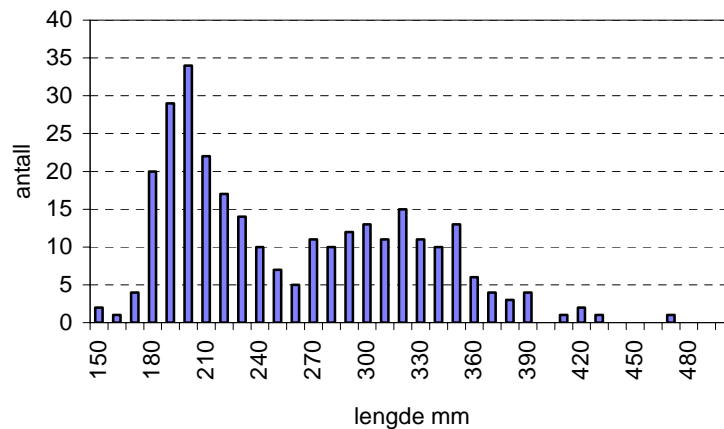
I 2005 ønsket vi å få et så godt materiale av 1997-årgangen som mulig. Derfor var innslaget av småmaskete garn lite. Dette betyr at lengdefordelingen i fangsten underestimerer fisk som er mindre enn 25 – 30 cm. Garna som ble benyttet ga en total selektivitet som vist i figur 13. Beregningene baserer seg på metode beskrevet i Jensen (1977). I begge årene ble det fisket hardest på lengdegruppe 36-37 cm, mens både mindre og større fisk er underrepresentert i det innsamlede materialet.



Figur 13. Beregnet selektivitet (%) til garna som er benyttet ved prøvefisket i 2004 og 2005. Metode for beregningen er gitt i Jensen (1977).

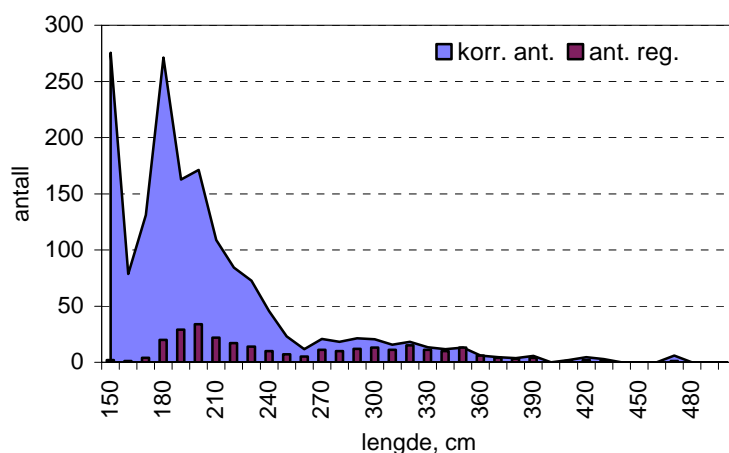
3.2.2 Lengde- og aldersfordeling

I 2005 materialet er både liten og stor fisk underrepresentert i forhold til 2004 (Fig.13). Dette slår særlig sterkt ut i småfiskgruppene. Frekvensdiagram for lengdefordelingen i 2005 viser en topp for småfisk ved 200 mm og en for større fisk ved 320 mm (Fig. 14).



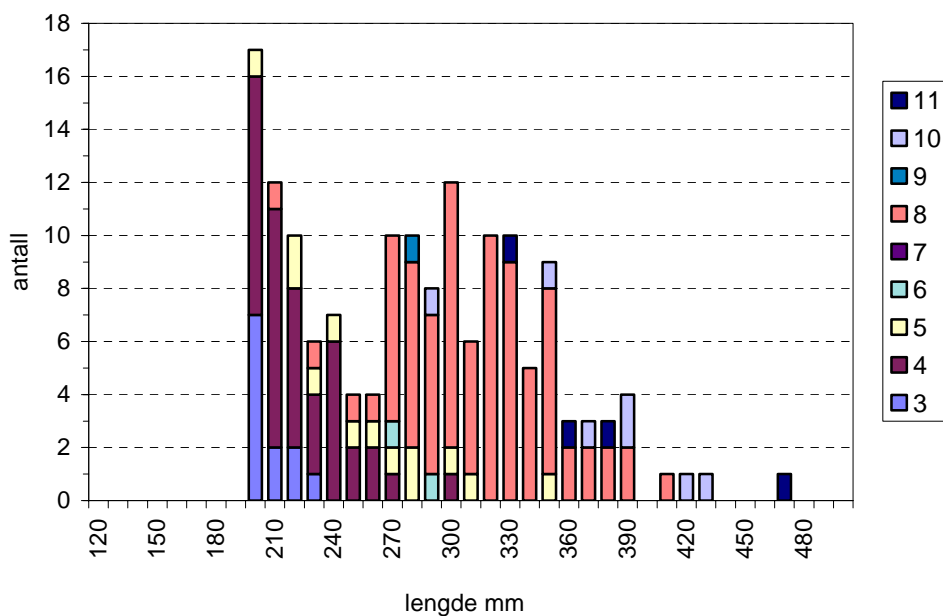
Figur 14. Lengdefordeling til all fisk på garnserien som er brukt i 2005 ($n = 295$).

Fra selektivitetsverdiene kan vi beregne en korrigert lengdefordeling. Den lengdegruppen (36 cm) som garnserien fanger mest effektivt på settes til 100 %. Korreksjonsfaktoren (K_f) for de andre lengdeintervallene blir derfor $K_f = 100/\text{selektivitet}$. Ved å multiplisere antallet registrert med denne faktoren får man en korrigert lengdefordeling (Fig. 15).



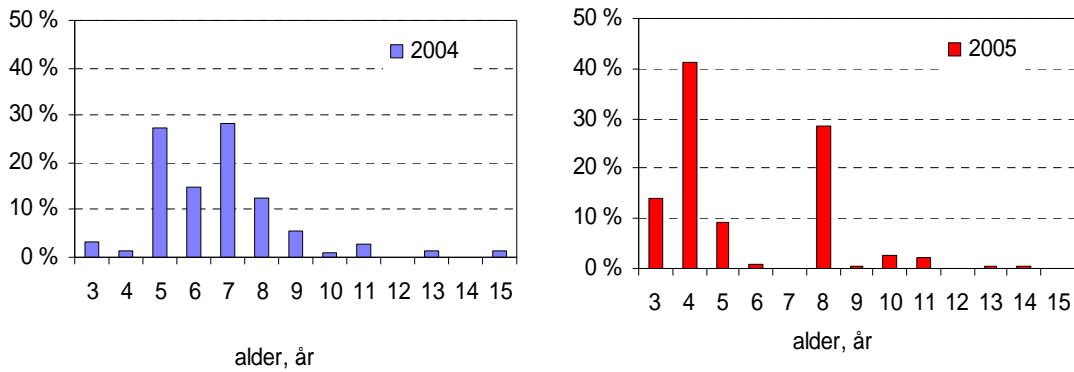
Figur 15. Korrigert lengdefordeling (blått areal) basert på garnselektivitet og antall fisk i ulike lengdegrupper (stolpediagram)

Aldersfordelingen ved de ulike lengdeintervaller viser stor hyppighet av 8-åringer i de største lengdeklassene og 3-4 åringer i de minste lengdeklasser (Fig. 16).



Figur 16. Fordeling av aldersbestemt fisk (3 - 11 år) i ulike lengdeintervaller i 2005 ($n = 184$).

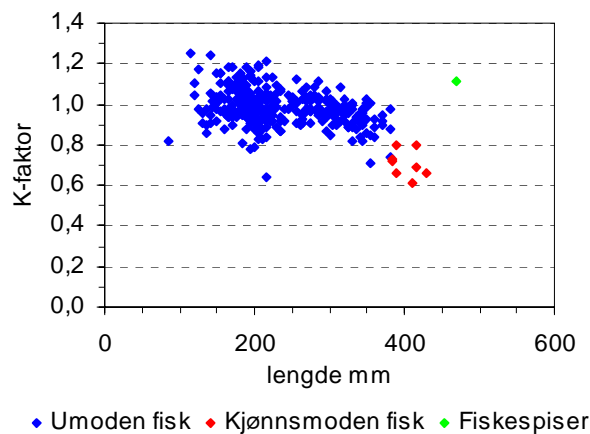
Småfiskgruppene (< 26 cm) besto derfor av 2002- og 2001-årgangene (3-4 åringer), mens fisk større eller lik 27 cm var dominert av 1997-årgangen (8-åringer). De øvrige årgangene var sparsomt representert eller ikke tilstede. Aldersfordeling, korrigert for selektivitet for fisk > 20 cm, viser at 1997-årgangen er sterk i dette lengdeintervallet både i 2004 (7-åringer) og 2005 (8-åringer), og videre at 2001- og 2002-årgangene også er i ferd med å vokse seg inn i denne lengdegruppen (Fig. 17). Vi ser også at 1998- og 1999-årgangen (6- og 7-åringer) som det var en del av i 2004 var nesten borte i fangstene året etter (da som 6 og 7 åringer).



Figur 17. Alderssammensetningen (korrigert for garnselektivitet) av fisk >20 cm i 2004 og 2005.

3.2.3 Kondisjon og kjøttfarge

Det ble målt lengde og vekt på 354 fisk. K-faktoren viser en avtagende tendens med størrelsen på fisken (Fig.18). Den tendensen som ble registrert i 2004 ved at større fisk var svært mager (Rognerud et al. 2005) fortsatte også i 2005 (Fig. 18). I alt 8 utgytte hunner i lengdeintervallet 385 – 430 mm hadde k-faktorer fra 0,62 – 0,80. Unntaket var en hannfisk på 47 cm som var fiskespiser (k-faktor 1,12). Gjennomsnittet på all fisken var 0,98 (SD = 0,09). 74 fisk som var større enn 30 cm hadde en gjennomsnittlig k-faktor på 0,91 (SD = 0,10). Den fiskespisende hannfisken er ikke inkludert. Laveste k-faktor var 0,62. I 2004 hadde vi 35 fisk større enn 30 cm med en gjennomsnittlig k-faktor på 0,93 (SD 0,11). Laveste k-faktor var da 0,65. All fisk over 30 cm hadde lys rød eller rød kjøttfarge. Det samme var tilfellet i 2004.



Figur 18. Beregnet K-faktor for ulike lengdegrupper i prøvefisket, inklusive fisk tatt på stang i 2005 (n = 354)

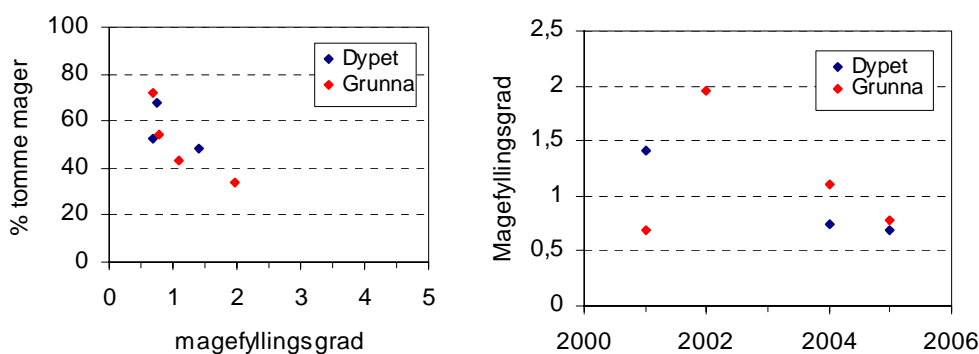
3.2.4 Ernæringsforhold i 2005 sammenliknet med tidligere år

Magefyllingsgraden og innslaget av tomme mager har variert betydelig i de årene vi har undersøkt fisken i Sandvatn (Tab.4). Disse målevariablene viser nødvendigvis en samvariasjon der andel fisk med tomme mager synker når fyllingsgraden øker (Fig.19). Sammen gir de et integrert bilde av næringstilbudet. Ut fra dette ser vi at næringstilbudet var best i 2002, mens i 2004 og 2005 var det helt klart lite mat tilgjengelig med lave fyllingsgrader og mange tomme mager (Fig.19, Tab.4).

Dersom vi deler fangsten fra garn satt på grunna (ikke nok småfisk fra dypet) i stor og liten fisk fremkommer et mer nyansert bilde (Tab.4). Store fisk hadde større magefylling enn små fisk i 2001 og 2002, mens dette var omvendt i 2004 og 2005. All fisk fanget på dypet hadde større magefylling enn all fisk fanget på grunna i 2001, mens dette var omvendt i 2004 og 2005

Tabell 4. Magefyllingsgrad (MF) og % tomme mager (TM) i fisk tatt under prøvefisket i Sandvatn august 2001 – 2005. Ingen prøver ble innsamlet i 2003. Verdiene er gjennomsnitt av 100 -200 fisk. Små fisker er < 25 cm og stor fisk >25 cm.

	2001		2002		2004		2005	
	MF	%TM	MF	%TM	MF	%TM	MF	%TM
Grunna, 0-7 m								
Små fisk	0,62	77	1,30	50	1,19	33	0,79	52
Stor fisk	0,79	66	2,20	29	1,04	50	0,74	57
All fisk	0,68	72	1,92	34	1,10	43	0,77	54
Dypet, 7-13 m								
All fisk	1,42	58			0,74	68	0,69	53

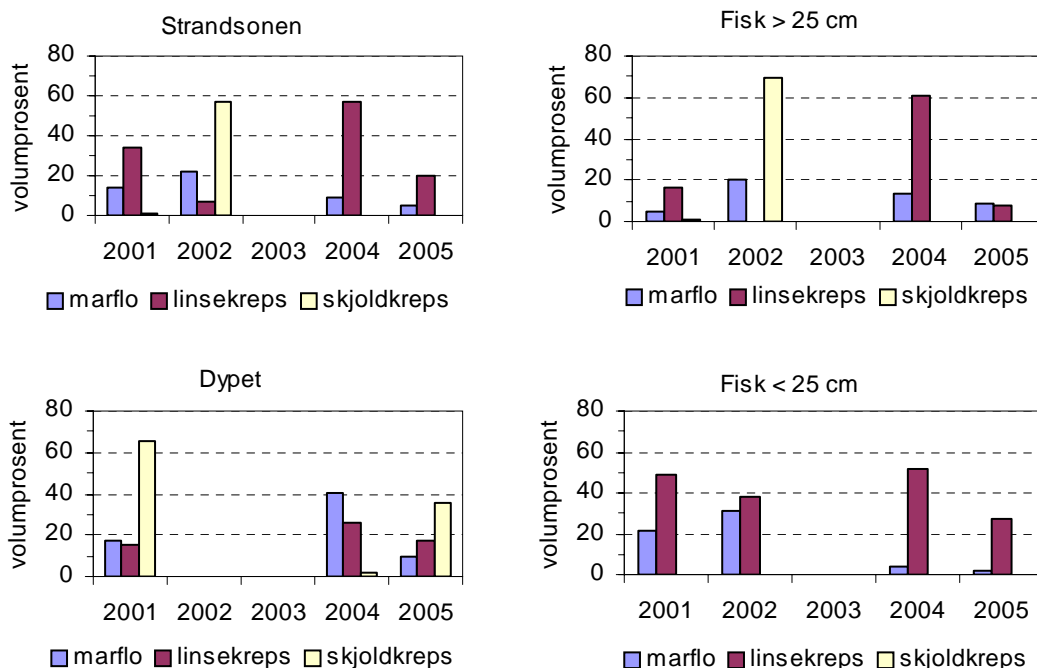


Figur 19. Næringstilbudet uttrykt ved magefyllingsgraden og innslaget av tomme mager

Vi kan se nærmere på hva mageinnholdet besto av disse årene. Vi har vist at den relative andel av disse krepsdyrene av totalt innhold i fiskens mage varierer de ulike årene (Fig.20) Vi har ikke vist hva det resterende innholdet besto av, men det vil bli kommentert der den er av betydning. Generelt besto denne delen av insekter i vann, luftinsekter og snegl (primærdata). En mer detaljert inndeling av krepsdyrenes andel i mageinnholdet for stor og liten fisk, fanget på grunna og i dypet, er vist i tabell.5. På bakgrunn av tabell 5 og figur 20 har vi følgende hovedpunkter:

Tabell 5. Prosentvis fordeling (volumprosent) av krepsdyrene i mageprøver fra prøvefisket i Sandvatn i perioden 2001 – 2005 (ingen observasjoner i 2003), splittet i liten fisk og stor fisk fra grunna (strandsonen) og dypet

	2001	2002	2004	2005
All fisk, grunna, 0 - 7 m				
Linsekreps	34,3	6,7	56,7	20,2
Marflo	14,2	21,9	9,3	4,8
Skjoldkreps	0,6	57,0	0	0
Sum	49,1	85,6	65,0	25,0
Småfisk < 25 cm, grunna, 0 - 7 m				
Linsekreps	48,3	38,5	52	27,5
Marflo	21,4	30,8	4	2,4
Skjoldkreps	0	0	0	0
Sum	69,7	69,3	56	29,9
Storfisk > 25 cm, grunna, 0 - 7 m				
Linsekreps	16,7	0	60,7	7,9
Marflo	5	20	13,8	8,9
Skjoldkreps	1,3	69,1	0	0
Sum	23,0	89,1	74,5	16,8
All fisk, dypet, 7 - 13 m				
Linsekreps	15,1		26,5	17,6
Marflo	16,9		40,2	9,4
Skjoldkreps	65,3		2	35,8
Sum	97,3		68,7	62,8

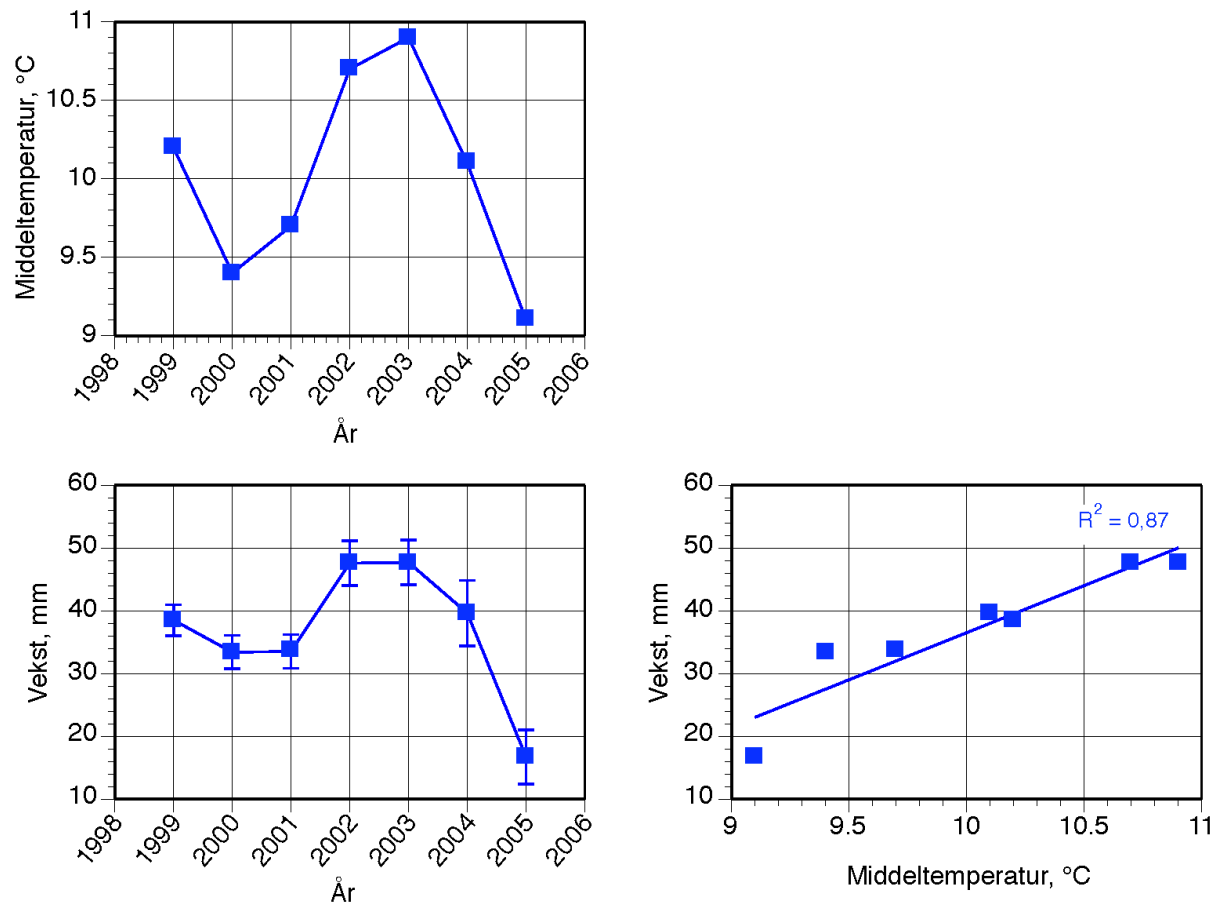


Figur 20. Innslaget av marflo, skjoldkreps og linsekreps i fiskens mageinnhold (volumprosent) i strandsonen og på dypet i Sandvatn (venstre panel) og for stor og små fisk på grunna (høyre panel).

Den laveste andelen av krepsdyr i mageinnholdet for fisk fanget på grunna ble registrert i 2005. Dette året var det overflateinsekter, insekter i vann og snegl som dominerte næringsbildet. Blant krepsdyrene var det linsekrepsen som utgjorde største andelen slik den har gjort i alle år untatt i 2002 da skjoldkreps dominerte. Marflo var alltid til stede som næringsobjekt, men utgjorde aldri mer enn 22 % av mageinnholdet. Det er også påfallende at skjoldkrepsen utgjorde en så stor andel i magene for fisk fanget i dypområdene i 2001 og 2005. Linsekrepsen var et viktig næringsdyr for småfisk alle årene og for stor fisk i 2004. Vi har ikke i noen av årene påvist skjoldkreps i fisk mindre enn 23 cm.

3.2.5 Temperatur og vekst

Årstilveksten av 1997-årsklassen fra 1999 til 2005 var svært godt korrelert til middeltemperaturen i Sandvatn for perioden juli, august og september (Fig. 21). Temperaturen i Sandvatn er som nevnt nært korrelert til lufttemperaturen (LT). Tilveksten i 2002 og 2003 var spesielt god da middeltemperaturen (JAS) i innsjøen disse årene var spesielt høy og vekstsesongen svært lang (isgang i mai). Selv om 2005 var en god sommer med middeltemperatur i luft på 10,4 °C (JAS) så var temperaturene i innsjøen 1,3 °C lavere i snitt på grunn av smeltevann fra de store snøleiene i sydvest. På bakgrunn av regresjonen mellom tilvekst og temperatur er det rimelig å anta at denne "kjølningseffekten" reduserte tilveksten til ca halvparten av det den kunne ha vært uten innflytelse av smeltevannet.



Figur 21. Årlig tilvekst av 1997-årsklassen i perioden 1999-2005 i Sandvatn basert på skjellanalyser av 28 individer. Vanntemperatur (middel for perioden juli, august og september, JAS) og sammenhengen mellom tilvekst og vanntemperatur er også vist. Tilsvarende analyser av tilvekst for 1997-årsklassen i 2004 ($n = 27$) ga ingen signifikante avvik fra analysene i 2005. Veksten i 2005 er justert fra 10 til 18 mm da beregninger fra 2004 og 2005 viste at fra midten av august (fangstid begge år) og ut året økte tilveksten i 2004 med 31 %. I panelet for tilvekst er også standardavvikene angitt.

4. Diskusjon

Vi har vist at ørretens årlige tilvekst i Sandvatn de siste 6 årene var svært godt korrelert til middeltemperaturen i vannmassene for perioden juli-september (JAS). Mageanalyser av fisken indikerer at dette kan ha sammenheng med temperaturbettinget vekst (døgngrader) av viktige næringsdyr som marflo, skjoldkreps og linsekrep. Dette er nødvendig da økt vekst i fisk ved økt temperatur betinger større mattilgang fordi respirasjonen øker med temperaturen. Vi har også vist i denne rapporten, og i de tidligere årsrapportene, at vanntemperaturen i overflatelagene (VTO) i innsjøer på sentralvidda samvarierte og var nært korrelerte til variasjonene i lufttemperaturene (LT). Unntak fra dette skjer i Kvennavassdraget i snørike år slik som i 2005. Da reduserte smeltevann fra de høyreliggende sydvestre deler av Kvenna's nedbørfelt VTO (JAS) i Sandvatn med 1,4 °C fra estimert VTO (fra LT). Dette førte til den laveste årstilveksten av ørret i Sandvatn som vi har målt, og den var under halvparten av den vi skulle forvente uten innvirkning av smeltevannet. Klimascenarier beskriver økte snømengder i de samme områdene i framtiden og da særlig i Kvennas sydvestlige nedbørfelt (Iversen et al. 2005). Våre prognoser er at dette generelt vil føre til en reduksjon i produksjonen av ørret i Kvennavassdragets øvre deler, mens effekten blir noe lavere i de nedre deler da innsjøene øker vannets oppholdstid og reduserer forskjellen mellom VTO og LT. Det vil likevel være store år til år variasjoner, og i år med lite snø vil produksjonsperioden bli lengre og litt varmere. Slik sett har vår korte tidserie eksempler på to gode år (2002, 2003) og et svært dårlig år (2005). Innsjøene på Hardangervidda nord for Kvenna vil i langt mindre grad være preget av denne avkjølingseffekten da isgang og snøsmelting vil skje mer synkront i et område med langt mindre snømengder og et flattere landskap (Rognerud et al. 2003).

4.1 Fysiske forhold

Lys- og temperaturforholdene i innsjøer er svært viktige for akvatiske økosystem, og kunnskapen om årssyklus og år- til år- variasjoner i disse klimarelaterte parametrene er avgjørende for tolkning av variasjoner i biologiske forhold (Schindler 1971). Vanntemperaturen er spesielt viktig da den påvirker termisk lagdeling, løseligheten av oksygen samt metabolske prosesser i planter og dyr (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). VTO er et godt mål på temperaturen i epilimnion over sesongen (Livingstone et al. 1999), og følgelig er VTO svært sentral når variasjoner i biologiske forhold skal tolkes.

Vi har tidligere vist at det sommerstid var synkron samvariasjon mellom: LT ved ulike meteorologiske stasjoner rundt Hardangervidda, VTO i innsjøer på sentralvidda, VTO i innsjøene og LT ved Geilostølen meteorologiske stasjon (Rognerud et al. 2005). Videre har vi vist at i 2005 var LT sentralt i studieområdet (Dargesjøen) nært korrelert til LT ved Geilostølen. 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).

I 1987/88 skjedde en endring i LT sommerstid til varmere vær enn i dekadene før (met.no). Det samme skjedde også i Sveits hvor elver og innsjøer generelt ble 1-2 °C varmere i perioden etter 1987/88 som følge av en tilsvarende økning i LT (Hari et al. 2005). På Geilostølen har LT for JAS økt med 0,22 °C pr.år i snitt fra 1987 og fram til 2005, og de tre siste årene har vært henholdsvis de 6., 7. og 8. varmeste årene i Norge siden 1867 (met.no). På bakgrunn av den gode korrelasjonen mellom LT og VTO er det rimelig å anta at tilsvarende utvikling har skjedd i innsjøenes VTO på Hardangervidda.

VTO varierte i takt i innsjøene, men de absolutte verdiene var forskjellig hovedsakelig på grunn av følgende forhold:

i) I like store innsjøer sank VTO med 0,6-0,8 °C pr. 100 m økning i høyde over havet (Rognerud et al. 2003, 2005 og data fra denne rapporten). Dette er nær tilsvarende reduksjon i LT pr. 100 m (0,5-0,9 °C pr. 100 m avhengig av temperaturen) som vi har målt mellom Geilostølen og Dargesjøen (400 m høydeforskjell). Tilsvarende verdier er også observert i alpine (Livingstone et al. 2005), og verdiene er nær den generelle globale verdien (altitudinal lapse rate) som er beregnet til 0,65 °C pr. 100 m (Kettle et al. 2004).

ii) VTO var gjennomgående noe lavere (ca 1 °C) i Fjellsjøen enn den mindre Dargesjøen sommerstid, selv om de ligger nær like høyt over havet. Dette skyldes at den større innsjøen er utsatt for langt større vindeksponering, som induserer mer energirike overflatebølger, turbulens og interne bølger (Fee et al. 1996). Dette fører til at epilimnion ble tykkere i store enn i den mindre innsjøer. Generelt kan vi si at en større grad av innblanding fra dypere kaldere vannlag gjør epilimnion noe kaldere sommerstid i større sjøer, mens forskjellene blir mindre utover høsten. På senhøsten er VTO ofte lavere i små sjøer pga mindre varmekapasitet og raskere avkjøling, og de islegges derfor også tidligere.

iii) VTO påvirkes av smeltevann fra høyereliggende snørike områder. I 2005 førte smeltevannet i Kvennas øvre nedbørfelt til en betydelig kjølningseffekt i Sandvatn helt fram til første av august. De andre innsjøene i forsøksområdet var ikke påvirket av sen snøsmelting slik som Sandvatn. Effekten for biota i Sandvatn var den samme som at LT (JAS) ble redusert med 1,4 °C.

Blandt klimaparametrene var LT ved Dargesjøen nært korrelert til LT på Geilostølen, men korrelasjonen var dårlig når det gjaldt vindstyrken. Vi antar at dette i vesentlig grad skyldes ulike målemetoder (manuell kontra automatisk ved Dargesjøen). Vindstyrken sommeren 2005 var delt i en periode med relativt lav vindaktivitet frem til midten av august, og en sterkere sydvestlig vindaktivitet som varte fra dette tidspunkt utover høsten (met.no). De automatiske vindmålingene ved Dargesjøen viste klart hvor stor betydning vindfulle perioder hadde for sirkulasjonsforholdene i Fjellsjøen og derved fordelingen av varme nedover i innsjøen. Innsjøen fullsirkulerte allerede 29.-30. august som følge av en vedvarende kraftig sydvestlig vind med vindhastigheter opp mot 20 m/s.

Den middelstore og relativt dype Fjellsjøen ble termisk sjiktet i løpet av sommerperioden i 2005 Tidligere har vi vist at den mindre og grunnere Dargesjøen bare unntaksvis er termisk sjiktet og da som regel bare over kortere perioder med stille og varmt vær (Rognerud et al. 2005). Hardangerviddas treløse høyfjellsplatå har lave konturer og innsjøene er i liten grad skjermet for de fleste vindretninger. I slike situasjoner er tykkelsen på det varmere sirkulerende overflatelaget (epilimnion) i all hovedsak bestemt av innsjøens overflateareal og lyssvekningen i vannmassene (Fee et al. 1996). I innsjøer som ikke er eutrofiert er lyssvekningen positivt korrelert til konsentrasjonen av fargede humusstoffer som tilføres fra nedbørfeltet (Schindler 1971). De lave konsentrasjoner av humusstoffer i undersøkte innsjøer på Hardangervidda (Rognerud et al. 2003, Skjelkvåle og Henriksen 1998), gjør at sollyset trenger langt ned i innsjøene (Rognerud et al. 2003). Dette er en viktig årsak til høy produksjonskapasitet i disse fjellsjøene fordi påvekstalg, som er den viktigste primærprodusenten, får gode vekstvilkår også i dypere deler av innsjøen (Rognerud et al. 2003). I tillegg til dette vil epilimnions tykkelse bli stor fordi klart vann gir effektiv omdanning av strålingsenergi til varme også i dypere vannlag (Fee et al. 1996), og at denne varmen fordeles effektivt av vinden nedover i vannmassen slik som nevnt for Fjellsjøen. I slike situasjoner vil tykkelsen på epilimnion i all hovedsak være positivt korrelert til innsjøenes overflateareal, men år til år variasjonene vil i hovedsak være styrt av vindstyrken og retningen (Fee et al. 1996). I slike "energiske" omgivelser der landskapet er relativt flatt, og innsjøene grunne til middels dype, er den effektive fordelingen av varme nedover i innsjøene svært positivt for akvatiske organismers vekst. I dette prosjektet har vi undersøkt dybdeforhold i 5 innsjøer og 68 til 98 % av bunntarealet i disse var grunnere enn 10 m. Da epilimnion streker seg raskt ned til 10 m (Jmf Fjellsjøen i 2005) er det klart at bunndyrene (inkl. de viktige krepsdyrene) og påvekstalgene har stor fordel av at varmere vann fordeles så vidt langt ned i innsjøen tidlig i sesongen.

Det at største delen av bunnarealet i innsjøen er produktive områder er antagelig avgjørende for den høye produksjonen av fisk i disse fjellsjøene.

4.2 Fiskeribiologiske forhold

Vanntemperaturen virker direkte inn på fiskens fysiologi og adferd (Magnuson et al. 2000a). Når temperaturene stiger øker også hastigheten på metabolske prosesser og respirasjon. Derfor må fisk øke matinntaket for å kompensere for temperaturøkninger selv om endringene er små (Brett and Groves 1979). Den positive korrelasjon mellom fiskens årstilvekst og VTO (og LT) de siste 6 årene indikerer derfor at veksten av næringsdyrene også stimuleres av økt temperatur. Vi kan imidlertid ikke utelukke at produksjonssesongens lengde også er en positiv faktor i denne sammenheng. Isgangen var 4-5 uker tidligere enn normalt i den varmeste sommeren 2003. Det er med andre ord en samvariasjon mellom VTO og lengden på isfri periode som gjør at vi ikke kan estimere den unike betydningen av en lengre produksjonsperiode. Den generelle økningen i LT som har skjedd på Hardangervidda sommerstid, siden midten av 1980-tallet, er også observert i et forsøksområde i sentrale deler av Canada (Schindler et al. 2005). I dette tilfelle ble det vist at økt LT også førte til økt lengde på isfri periode, og følgelig også produksjonssesongens lengde (Schindler et al. 2005). Økt isfri periode skyldes i hovedsak en tidligere isgang på våren og ikke en senere islegging (Schindler et al. 1990, Livingstone 1997), slik også våre spredte observasjoner indikerer. Dette kan bety at på Hardangervidda har også antall døgngrader økt som følge av en økning både i VTO og isfri periode. Dette er positivt for veksten av fiskens næringsdyr (Schindler et al. 2005) og særlig krepsdyrene slik som vist for Sandvatn i 2002. Andre studier har vist at en gunstig forsommer har stor betydning for fiskens vekst (Jensen 1977), kanskje spesielt på grunn av raskere respons i veksten av næringsdyr. En undersøkelse fra Finse viste at veksten hos røye den kalde sommeren 1979 var betydelig dårligere enn den langt varmere i 1980, og at dette trolig skyldtes de begrensninger dette satte for produksjon av byttedyr og fiskens metabolske rater (Fjeld 1985). I denne undersøkelsen ble det også vist at frekvensen av rødfarget kjøtt var lavest den kalde sommeren, og at dette skyldtes mindre forekomst av littorale krepsdyr. En diskusjon om fiskens næringsdyr er derfor en viktig brikke i dette puslespillet om fiskens vekst.

Ernæringsbildet til ørreten på Hardangervidda varierer sterkt (Sømme 1954). Ulike insektgrupper som fjærmygg, knott, vårfluer, døgnfluer og til tider overflateinsekter vil nesten alltid være å finne i ørretens mageinnhold. Også permanente vannboere som ulike snegle- og muslingarter er vanlig forekommende, men de ulike krepsdyrarter regnes som de viktigste av alle dyregrupper (diskutert i Rognerud et al. 2003 med litteraturgjennomgang). Det er totalt registrert 22 ulike krepsdyrarter på Hardangervidda (Walseng et al. 1996), men bare noen få av dem er viktige som føde for ørret. Skjoldkreps, marflo og linsekreps er alle meget viktige næringsobjekter i de fleste innsjøene (Rognerud et al. 2003, Qvenild 2004). Selv om fødeinntaket av de ulike næringsdyrgruppene kan være nokså ulike i våt- eller tørrvekt, viser det seg likevel at fødeopptaket målt på energibasis er nokså likt uavhengig hva den spiser (Elliott & Hurley 2000). Det er først når ørreten begynner å spise fisk at energiopptaket øker drastisk (Elliott & Hurley 2000).

Selv om alle dyr og planter inneholder ulike karotenoider er krepsdyrene spesielt rike på ett av dem, astaxantin, som gir ørreten den karakteristiske røde kjøttfargen (Christiansen et al. 1994). Et høyt innhold av karotenoider har mange positive sider. Det er bl.a. vist at et høyt astaxanthininnhold i føret fremmer veksten og øker overlevelsen (Christiansen et al. 1994). Spesielt viktig er det at kjøttfargen gir ørreten på Hardangervidda en kvalitet som overstiger de fleste andre områder. Den røde kjøttfargen tyder på at krepsdyr er dominerende næringsobjekter. Forekomsten varierer imidlertid mye mellom de ulike lokaliteter, over sesongen og mellom år. I Sandvatn har innslaget av disse tre nøkkelartene utgjort 49 til 86 vol % av mageinnholdet for fisk i strandsonen i årene 2001, 2002 og 2004. I 2005 var forholdene annerledes ved at insekter var dominerende og krepsdyrene utgjorde bare 25 % i vårt materiale fra august. Også i 2004 var det et stort innslag av overflateinsekter. Under perioder hvor det er rikelig tilgang på overflateinsekter gir ikke mageinnholdet noe godt bilde av tilgjengeligheten av krepsdyr i fødetilbudet, noe som også er velkjent fra andre høyfjellslokalteter (Aass 1969).

Predasjon fra fisk vil ha stor betydning for tettheten og dermed tilgjengeligheten av krepsdyr. I vårt materiale fra Sandvatn kommer dette tydelig fram de ulike årene. Spesielt i det gode produksjonsåret 2002 var det rikelig tilgang på både skjoldkreps, marflo og linsekreps i strandsonen. Næringstilbudet var godt denne sommeren med høy fyllingsgrad og et lavt antall tomme mager. Etter at predasjonsstrykket økte som følge av at den sterke 1997-årgangen vokste til, ble både marflo og skjoldkreps langt mer sjeldne å finne i ørretmagene i strandsonen, og det var bare det yngste stadiet av marflo som ble påvist i 2004. Magefyllingsgraden var da liten og det var et stort innslag av fisk med tomme mager. Undersøkelser i Kringlesjø, Dargesjø og Blånuttjern denne sommeren viste normal utvikling av disse krepsdyrene i disse lokalitetene som hadde langt tynnere fiskebestander enn Sandvatn (Rognerud et al. 2005). At skjoldkreps og marflo er følsomme for predasjon er velkjent, men det finnes likevel lite dokumentasjon (Dahl 1915, Aass 1969). Linsekrepser synes å bli relativt sett viktigere i slike situasjoner og utgjør da en større del av mageinnholdet, men da linsekrepser er liten vil dette forrykke den intraspesifikke konkurransen til fordel for småfisken. At energigevinsten avtar med økende størrelse på predatorfisk 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 2004 og 2005 (Rognerud et al 2005 og denne rapporten). Dette står i kontrast til forholdene i 2002 da næringstilbudet var godt og k-faktoren høy i alle lengdegruppene.

I 2004 og 2005 ga næringsbrist spesielt sterke utslag for fisk som hadde gytt høsten før. Gyttefisk hadde k-faktorer i intervallet 0,6 til 0,8 og de var alle svært slanke. Dette er velkjent også fra andre lokaliteter på Hardangervidda (Borgstrøm og Dokk 2004a, Borgstrøm og Dokk 2004b, Borgstrøm 2005). Dette ble ikke observert verken i 2001 eller 2002 hvor forholdene var bedre. Sommeren 2005 ble det tatt flere store ørreter som var i god kondisjon og flere hadde fisk i magen. Et eksempel på dette var en fisk på 47 cm og 1,16 kg som hadde 2 mindre fisk i magen. Den var i meget god kondisjon (k-faktor 1,12). Det er høye tettheter av småørret og det kan synes underlig at den utmagrete gytefisk ikke går over på fiskediett. Vi har tidligere vist at ørretbestandene i Kvennavassdraget kan ha et lite innslag av kannibaler (Rognerud et al. 2003). Vekstmønsteret tydet på at denne fisken hadde vært fiskespiser lenge og altså ikke en gytefisk som hadde slått over på fiskediett. Fiskediett gir en langt høyere energigevinst enn om fisken spiser evertebrater selv om det også krever mer energi å være fiskespiser (Elliott & Hurley 2000). Når det nødvendige energioverskuddet som trengs for å gå over til å bli fiskespiser ikke er tilstede, vil antagelig ikke fisken klare dette spranget, noe som er vist for bl.a. røye (Finstad et al. 2006). Dette kan være forklaringen på at den utmagrete gytefisk ikke klarer å spise seg opp igjen i normal kondisjon selv om det er rikelig med småfisk tilstede.

Marflo er en nordlig kaldtvannsart som har en vid utbredelse i Norge. Den har signifikant høyeste frekvens i innsjøer med temperaturer om sommeren i intervallet 10 – 14 °C (Økland og Økland 1999). Den har en annen livshistoriesyklus i høyfjellet sammenlignet med lavlandet (Bjerknes 1974, Mehli 1973/74). I høyfjellet har den en overveiende toårig livshistoriesyklus (Bjerknes, 1973, 1974), mens den i lavlandet kan være ett-årig (Mehli 1973/74). Marflo tåler ganske høye temperaturer, og den trekker gjerne inn i lune, varme viker (Dahl 1915, Økland 1980). Noen studier som viser temperaturens direkte påvirkning på vekst og produksjon hos marflo er ikke kjent for oss, men vekststudier på asellus, som er en nærstående art, viste en nær positiv korrelasjon mellom vekst og temperatur (Andersson 1969). Hvis vi sammenligner 2001 og 2002 i Sandvatn, to år hvor det ikke var store forskjeller i bestandsstrukturen til ørreten, fant vi et større innslag av marflo og skjoldkreps i mageinnholdet til ørreten i strandsonen sommeren 2002 som var en varmere og lengre produksjonsesong. Veksten til både skjoldkreps, marflo og linsekreps er i stor grad avhengig av produksjonen av påvekstalter (Rognerud et al. 2003) som også er positivt korrelert til temperatur (Schindler et al. 1990), selv om responsen er forskjellig for ulike arter (Baulch et al. 2005). Det synes derfor rimelig å anta at tilveksten av marflo er avhengig av temperaturen og at lav temperatur og kort vekstsesong kan være kritisk for populasjonen av marflo i innsjøer med høy fisketetthet slik som i Sandvatn.

Skjoldkrepsen er også en nordlig kaldtvannsart, men mye tyder på at den først og fremst er avhengig av kulde i hvileeggstadiet (Aass 1969). Når den er klekket ser det ut som om den begunstiges av økt temperatur (Aass 1969). Den var sterkt dominerende i mageinnholdet i strandsonen i Sandvatn den varmere sommeren i 2002 sammenlignet med 2001. Borgstrøm (1997) nevner flere eksempler på at temperaturen har mye å si for utviklingen av skjoldkrepsen. At skjoldkrepslarvene trenger varme for å utvikle seg ble tydelig demonstrert i Kollsvatn ved Litlos der skjoldkrepsen var vanlig forekommende i 1988 i slutten av juli, mens den ikke ble påvist på samme tid i 1989 da isen lå til midten av juli (Pedersen og Scobie 1990). I ugunstige år med sen isløsning er det i Litlosvatn funnet skjoldkreps på planktonstadiet så sent som i slutten av juli, mens den i andre vann hvor isen går tidlig og temperaturforholdene er bedre kan skjoldkrepsen være utvokst og kjønnsmoden på denne tiden (Simonsen og Valderhaug 1994, Borgstrøm 1997). Forholdene i Sandvatn er vanligvis gunstigere enn i Litlosvatn og Kollsvatn lenger opp i vassdraget. I 2005 hvor forholdene var særdeles ugunstige ble det ikke påvist skjoldkreps i strandsonen i Sandvatn. På dypet ble det funnet voksne skjoldkreps, men magefyllingsgraden til ørreten var liten og selv om skjoldkrepsen var dominerende i mageinnholdet betydde den lite som mat. I den gunstige sommeren 2002 var tilgangen på skjoldkreps stor og den var viktig som mat. At skjoldkrepsen er vanligere å finne på dypet kan ha sin forklaring i et sterkere beitepress i strandsonen.

En vekstmodell utviklet av Elliott et al. (1995) har vist seg svært anvendelig også for norske bestander (Jensen et al. 2000). Modellen er videreutviklet av Elliott og Hurley (2001). Modellen viser at ørreten har et vekstoptimum ved 13,1 °C, og at veksten opphører ved temperaturer under 3,6 og over 19,5 °C.. For fiskespisere vil optimaltemperaturen øke til 17 °C (Elliott og Hurley 2000), noe som betyr en sterkt økende energigevinst for fiskespisere i temperaturintervallet fra 13 – 17 °C sammenlignet med fisk som bare spiser evertebrater. Basert på denne analysen er det klart at VTO i Sandvatn ligger i snitt under temperaturen for fisken vekstoptimum, og det er bare i kortere perioder at VTO overskrider 13,1 °C (Rognerud et al 2005 og denne rapport). Respirasjonen øker med temperaturen slik at en positiv korrelasjon med VTO og årsvekst må bety at næringsdyrenes produksjon også er positivt korrelert til VTO. Etter gjennomgangen av næringsdyrenes respons på økt temperatur er det rimelig å anta at dette også har skjedd i Sandvatn. Dette indikerer at næringstilbudet har variert betydelig og at dette variasjonsmønsteret er svært likt variasjonen i middeltemperaturene i Sandvatn for perioden juli-september

Temperaturen vil påvirke produksjonen av påvekstalter direkte, mens fisk og næringsdyr i tillegg vil påvirkes gjennom predasjon og intraspesifikk konkurranse. Den totale effekten av temperaturen kan måles på ørretens årstilvekst. Dette ga en svært god sammenheng for tilbakeberegnet vekst på et skjellmateriale av 1997-årgangen innsamlet i 2004 og 2005. Den lave temperaturen i 2005 ga svært liten tilvekst i 2005, mens tilveksten var god de varme somrene 2002 og 2003. Store forskjeller i vekst som følge av varierende sommertemperaturer er vist i andre undersøkelser (Huitfeldt-Kaas 1927, Jensen 1977, Borgstrøm og Museth 2005, Jensen et al. 2000).

Produksjonen i fiskebestanden i Sandvatn er derfor sterkt påvirket av klimatologiske forhold som gir seg utslag i varierende rekruttering og sterkt varierende tilvekst av fisk og næringsdyr som følge av temperaturforholdene og intraspesifikk konkurranse. Slik vi nå kjenner forholdene i Sandvatn vil vi vente en særdeles svak 2005-årsklasse og med muligheter til en svært sterk 2006-årsklasse. Lite snø på vestvidda i vinter vil kunne gi en lang vekstsesong i 2006.

Rekrutteringsforholdene har vært varierende i Sandvatn. Bestanden er for tiden tett. Slik har det sannsynligvis også ofte vært i tidligere tider (Krogh 1955, Qvenild 2004). Rekrutteringsforholdene er gode sammenlignet med innsjøene lenger vest (Sunde 1937). Det er derfor sjelden at årsklassene mangler helt, selv om det også i Sandvatn er betydelig forskjeller i årsklassestyrke. Hovedårsaken til varierende rekruttering er årlige klimavariasjoner (Rognerud et al. 2003). I undersøkelsene i 2001 viste vi at årsklassen 1997 var spesielt sterk og vi anbefalte å følge opp med undersøkelser. Vinteren 1995/96 var spesiell på Hardangervidda med lite snø og sterk kulde, og 1996-årsklassen ble særdeles svak

over store deler av Vidda. 1997-årsklassen fikk lite konkurranse samtidig som sommeren 1997 ga svært gunstige produksjonsforhold, og 1997-årsklassen ble sterk i svært mange innsjøer på Hardangervidda. I Sandvatn var dette 8-år gammel fisk i 2005 og årsklassen var fortsatt tallrik.

Materialet er i det vesentlige samlet inn ved hjelp av garn med ulike maskevidder. Garn er svært selektive redskaper som fanger fisk effektivt innenfor snevre lengdeintervaller, mindre jo mindre maskevidder en bruker. Småmaskete garn fanger også mindre effektivt enn grovmaskete garn (Borgstrøm 1992). Tar vi hensyn til dette er andelen av fisk i lengdeintervallet 15 – 25 cm høyere enn det lengdefordelingen i fangstene viste. Det synes derfor klart at vi i 2005 har tre særdeles sterke årsklasser; 1997, 2001 og 2002. Lite fisk i lengdeintervallet 23 – 26 cm har rimeligvis sin forklaring i svake eller manglende årsklasser.

Årstilveksten til 1997-årsklassen var svak i 2005, og også i 2000 og 2001 var den forholdsvis dårlig. Gjennomsnittslengden på denne årsklassen var derfor ikke større enn 31 cm i 2005. Fiskeuttaket har også vært så vidt lavt før 2005 at 1997-årsklassen fremdeles er nokså dominerende i bestanden. Uttaket økte imidlertid sterkt i 2005, og hvis dette høye uttaket holder seg også i 2006 kombinert med tidlig vår og gunstige produksjonsforhold kan fisket i de nærmeste årene bli betydelig bedre. Effekten av de nye sterke årsklassene er det for tidlig å si noe om. Forholdene slik de var vinteren 2004/ 2005 skulle tyde på at 2005-årsklassen vil bli svak, mens 2006 ligger an til å bli sterk.

5. Referanser

Andersson, E. 1969. Life-cycle and growth of *Asellus aquaticus* (L.). With special reference to the effects of temperature. Inst. freshw. res., Drottningholm. Report No 49, 1969: 5-26.

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.

Baulch, H. M., Schindler, D. W., Turner, M. A., Findlay, D. L., Paterson, M. J., og Vinebrooke, R. D. 2005. Effects of warming on benthic communities in boreal lake: Implications of climatic change. Limnol. Oceanogr. 50: 1377 – 1392.

Benson, B.J., Lenters, J.D., and Mangnuson, 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.

Bjerknes, V. 1973. Gammarus lacustris G. O. Sars, livssyklus, reproduksjon og vekst i Tinnhølen, Hardangervidda, Hordaland fylke. Hovedoppgave i spesiell zoologi, Universitetet i Bergen.

Bjerknes, V. 1974. Life cycle and reproduction of Gammarus lacustris G.O.Sars (Amphipoda) in a lake at Hardangervidda, western Norway. Norw. J. Zool.:22, 39 – 43.

Borgstrøm, R. 1992. Effect of population and gillnet catchability in four allopatric populations of brown trout (*Salmo trutta*). Can. J. Fish. Aq. Sci. Vol. 49, 1539-1545.

Borgstrøm, R. 1997. Skjoldkreps – et arktisk dyr i norske innsjøer. NLH, Fagnytt nr. 9-1997, 1-4.

Borgstrøm, R. 2001. Relationship, between spring snow depth and growth of brown trout, *Salmo trutta*, in an alpin lake: predicting consequences of climate change. Arctic, Antarctic, and Alpin Research. 33: 476-480.

Borgstrøm, R. og Dokk, J.G. 2004a. Aurebestandene i kvennsjøen, Litlosvatn og Kollsvatn. Faktaark nr. 2-2004. Inst. For naturforvaltning. NLH. 6s

Borgstrøm, R. og Dokk, J.G. 2004b. Auren i Krokavatn, Skavatn, Ambjørgsvatn og Grøndalsvatna. Faktaark nr. 3-2004. Inst. For naturforvaltning. NLH. 6s

Borgstrøm, R. 2005. Tette aurebestander i Nedre-, Midtra- og Øvre Krokavatn i Kvennavassdraget. Faktaark nr.1-2005. Inst. For naturforvaltning. NLH. 6s

Borgstrøm, R. and Museth, J. 2005. Accumulated snow and summer temperature – critical factors for recruitment to high mountain populations of brown trout (*Salmo trutta* L.). Ecol. Freshw. Fish 14: 375 – 384.

Brett, J. R., and Groves, T. D. D. 1979. Physiological energetics, p. 599-667. In Hoar, W.S. (ed), Fish physiology, V.8. Academic Press.

- 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.
- Dahl, K. 1910. Alder og vekst hos laks og ørret belyst ved studiet av deres skjæl- Centraltrykkeriet, Kristiania.
- Dahl, K. 1915. En studie over grundaatens eller matfloens (*Gammarus pulex*) biologi og utbredelse i Norge. Særtrykk av NJFF's tidskrift 1915, 32 s.
- Dahl, K. 1917. Studier og forsøk over ørret og ørretvand. Centraltrykkeriet, Kristiania.
- 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.
- Elliott, J.M. & Hurley, M.A. 2000. Daily energy intake and growth of piscivorous brown trout, *Salmo trutta*. *Freshwater Biology* (2000) 44, 237-245.
- Elliott, J.M. & Hurley, M.A. 2001. Modelling growth of brown trout, *Salmo trutta*, in terms of weight and energy units. *Freshwater Biology* (2001) 46, 679-692.
- Fee, E. J., Hecky, R. E., Kasian, S. E. M., and D. Cruikshank, D. R. 1996. Effects of lake size, water clarity, and climatic variability on mixing depths in Canadian Shield lakes. *Limnol. Oceanogr.* 41: 912-920.
- 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.
- Fjeld, E. 1985. Livshistorie og ernæring til røye (*Salvelinus alpinus*) i Finsefjellene og Sauabotn, Finse. Hovedoppgave i spesiell zoologi. *Mat. Nat. UiO.*
- Hari, R., Livingstone, D. M., Siber, R., Burkhardt-Holm, P. and Güttinger, H. 2005. Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biol.* 16: 10 – 26.
- Huitfeldt-Kaas, H. 1927. Studier over aldersforholde og veksttyper hos norske ferskvannsfisker. Nationaltrykkeriet, Oslo. 357 s.
- Iversen, T. et al. 2005. RegClim. Norges klima om 100 år. Usikkerheter og risiko. <http://regclim.met.no>
- Jensen, K.W. 1977. On the dynamics and exploitation of the population of brown trout, *Salmo trutta* L., in Lake Øvre Heimdalsvatn, southern Norway. *Inst. freshw. res., Drottningholm. Report No 56*, 1977: 18-69.
- Jensen, A.J., Forseth, T. & Johnsen, B.O. 2000. Latitudinal variation in growth of young brown trout *Salmo trutta*. *Journal of Animal Ecology* 69: 1010-1020.
- 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.
- Krogh, R. 1955. Litt om fiske i Kvinnadalen i tidligere dager. *Norges Jæger- og Fiskerforenings tidsskrift*: 494-496.

- Livingstone 1997. Break-up dates of alpine lakes as proxy data for local and regional mean surface temperatures. *Climate Change* 37: 407-439.
- 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.
- Magnuson, J.J, Benson, B.J, and Kratz, T.K. 1990b. Temporal coherence in limnology of a suite of lakes in Wisconsin, USA. *Freshwater Biology.* 23: 145-159.
- Mehli, S.Å. 1973/74. Litt om marfloas biologi, og dens betydning som næring for fisk. Trondheim og omland fiskeadministrasjon, Årbok 1973/74. 52-60.
- Pedersen, K. og Scobie, L. 1990. Dynamikk, habitatbruk og redskapsseleksjon for ørretbestanden i Kollsvatn, en innsjø på Hardangervidda. Hovedoppgave ved Inst. for biologi og naturforvaltning, NLH.
- Qvenild, T. 2004. Hardangervidda, fiske og fjelliv. Naturforlaget.
- Rakhorst, M. 2005. Lake evaporation in Norway estimated by the Penman approach. Wageningen University, Holland.
- 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.
- 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.
- Schindler D. E., Rogers, D. E., Scheuerell, M. D., and Abrey, C. A. 2005. Effects of changing climate on zooplankton and juvenile sockeye salmon growth in southwestern Alaska. *Ecology*, 86: 198 – 209.
- Simonsen, T.A. og Valderhaug, N.A. 1994. Bestandsdynamikk, habitatbruk og ernæring for aure i Litlosvatn – en innsjø på Hardangervidda. NLH, inst. for biol. og naturforv. Hovedoppgave.
- 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.
- Sunde, S.E. 1937. Hardangervidda i vest. Stangfiskeren (Oslo sportsfiskeres årbok 1937): 31-35.
- Sømme, I. D. 1954. Ørretboka. Jacob Dybwads forlag, Oslo.

Walseng 1996. Ferskvannsbiologiske undersøkinger i Kvenna 1995, med fokus på indikatorarter som redskap i forsuringsovervåking. NINA Oppdragsmelding 433: 1-36.

Økland, K. K., 1980. Økologi og utbredelse til *gammarus lacustris* G. O. Sars i Norge, med vekt på forsuringsproblemer. Sur nedbørs virkning på skog og fisk. Intern rapport IR 67/80.

Økland, J. og Økland, K.A. 1999. Dyr og planter: Innvandring og geografisk fordeling. Vann og vassdrag 4. Vett & Viten. 200 s.

Økland, K.A. og Økland, J. 2003. Skjoldkrepsen *Lepidurus arcticus* i Norge – historikk og utbredelse. Fauna, nr. 1-2003, 2-12.

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.