

Naturlige variasjoner versus menneskeskapt miljøendringer – hva viser lange tidsserier fra referansevannet Øvre Heimdalsvatn?

Av John E. Brittain og Reidar Borgstrøm

John E. Brittain er forsker ved Naturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo og seniorrådgiver ved Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). *Reidar Borgstrøm* er professor emeritus i fiskebiologi og forvaltning ved Institutt for naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Etter innledning holdt på fagtreff i Norsk vannforening 15. april 2015.

Sammendrag

Høyfjellsøkosystemet, Øvre Heimdalsvatn, har vært studert i nesten 60 år. Det hele startet med forvaltningsstudier av ørretbestanden i 1957.

Senere, og spesielt under det Internasjonale Biologiske Program, er studiene utvidet til hele økosystemet, slik at det foreligger flere lange tidsserier, både fysisk-kjemiske og biologiske parametere. Til å begynne med var ørret den eneste fiskearten, men seint på 1960-tallet kom ørekyt inn i vannet. Dette har resultert i end-



Figur 1. Høst ved Øvre Heimdalsvatn. Foto: Reidar Borgstrøm.

ringer, ikke bare i diett og rekruttering til ørret, men også i bunndyrsamfunnet. I 1986 fikk vannet og nedslagsfeltet et stort nedfall av radionuklider fra Tsjernobylulykken, og den etterfølgende transport, spredning og opptak av radiocesium har vært nøye dokumentert. De siste 40 år har også sett endringer i klima, og perioden innsjøen er islagt er nå gjennomsnittlig fem dager seinere. Den omfattende kunnskapen om Øvre Heimdalsvatn og de unike tidsseriene gjør vannet meget godt egnet for langtidsovervåking.

Innledning

Kjell W. Jensen startet sine ørretstudier i Øvre Heimdalsvatn i 1957, og dette la grunnlaget for at Internasjonalt Biologisk Program (IBP) valgte å legge sitt norske hovedprosjekt innen ferskvannsekologi til Heimdalen (Vik 1978). Det ble da bygget en feltstasjon, og den har siden vært en base for både ferskvann- og terrestrisk forskning i Heimdalen helt fram til i dag. Langtidsstudiene på aurebestanden i Øvre Heimdalsvatn har nå pågått i snart seksti år, men også flere andre studier kan vise til lange observasjonsserier. Disse langtidsseriene har gjort det mulig å følge endringene i innsjøøkosystemet i Øvre Heimdalsvatn etter bl.a. etablering av karpefiskens ørekyt på slutten av sekstitallet, og langtransporterte radioaktivt materiale etter Tsjernobylulykken i april 1986. I 1978 kom en samlet oppsummering av økosystemstudiene i Øvre Heimdalsvatn (Vik 1978), og i 2010 kom en ny syntetisering av resultater knyttet til innsjøen og nedbørfeltet (Brittain og Borgstrøm 2010). Slike langtidsserier vil stå sentralt når effekter av både lokale og globale miljøpåvirkninger på ferskvannssystemer skal dokumenteres. Øvre Heimdalsvatn og nedbørfeltet som er relativt lite påvirket av menneskelig aktivitet, kan i en slik sammenheng ha ekstra stor verdi som referanseområde. Det er et stort antall personer som har bidratt til forskningen i Heimdalen, men det var i første rekke avdøde professor Rolf Vik, som var primus motor for IBP i Norge, som kan takkes for at langtidsstudiene av økosystemet i Heimdalen kom i gang.

Heimdalen

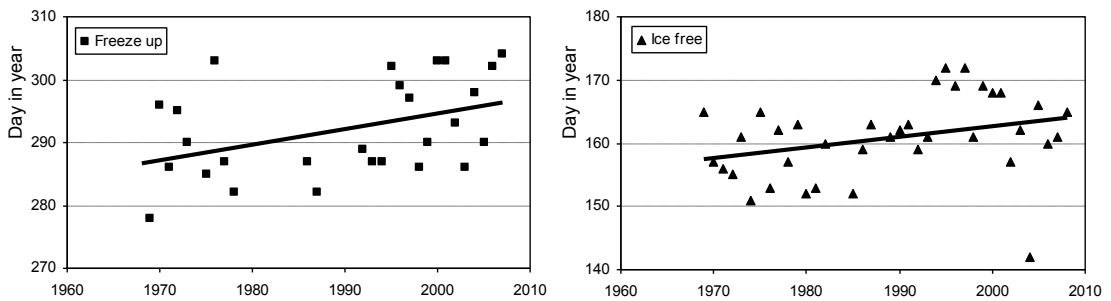
Øvre Heimdalsvatn ligger på 1088 m o.h. rett nordaust for Valdresflya, i Øystre Slidre kommune, figur 1. Nedbørfeltet på 23,6 km² strekker seg opp til Heimdalslø, 1843 moh. Landskapet rundt vannet er preget av at det var dekket av is under den siste istida, med mange eskere, ablasjonsmorener og dødisgroper (Skjeseth og Kloster 1978). I dag er det bjørkeskog som strekker seg opp i rundt 1200 moh. på nordsiden av vannet, men for om lag 7000 år siden, da juli-temperaturen var rundt en grad høyere enn i dag, gikk tregrensa trolig mellom hundre og to hundre meter høyere (Velle et al. 2010).

Øvre Heimdalsvatn er en grunn, næringsfattig innsjø, med gjennomsnittsdyp på 4,7 m, et maksimumdyp på 13 m, og med et areal på 0,78 km². Innsjøen har et betydelig grunnvannstilsig, særlig om vinteren (Grøterud og Kloster 1978).

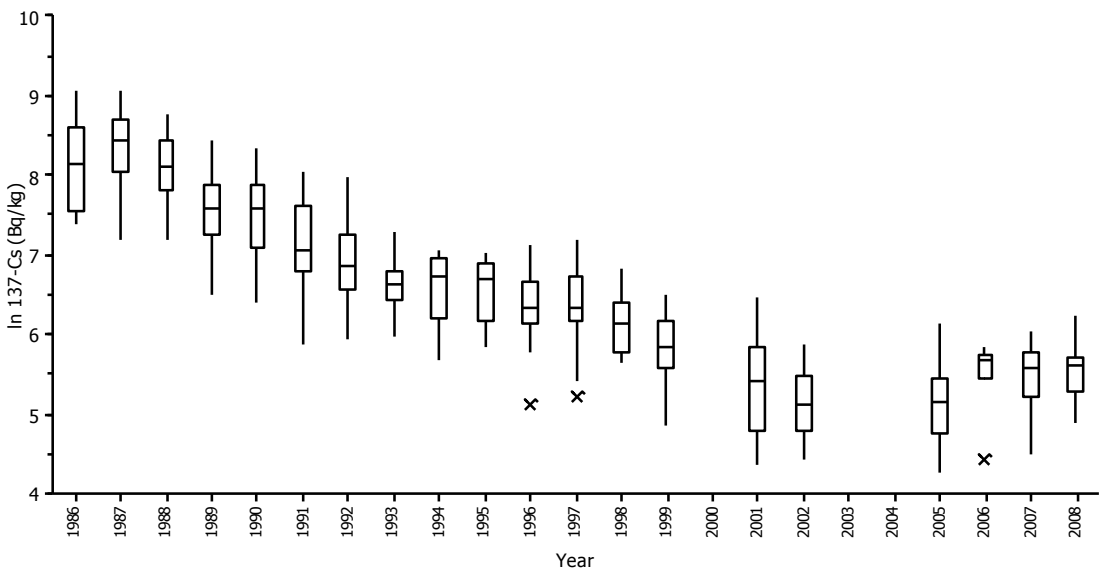
Alloktont plantemateriale fra nedbørfeltet har utgjort minst femti prosent av det primærproduserte materialet som har inngått i næringskjeden i vannet, både fordi planteproduksjonen i vannet er lav som følge av lang islagt periode, lave vanntemperaturer og fordi det er lite næringsalter (Larsson og Tangen 1975; Larsson et al. 1978). Aure var opprinnelig den eneste fiskearten, men på slutten av sekstitallet etablerte ørekyt en bestand, trolig etter nedvandring fra det ovenforliggende vannet, Brurskardstjern, der den var utsatt.

Vanntemperatur og isdekke

Både vanntemperatur og islagt periode har endret seg i Øvre Heimdalsvatn i de siste førti årene. Det er i første rekke blitt en høyere vanntemperatur på høsten. Isleggingen har kommet om lag to dager seinere per tiår, men også isløsningen har kommet om lag to dager seinere per tiår i den samme førtiårsperioden, figur 2 (Kvambekk og Melvold 2010), trolig fordi det i enkelte år har vært mer snø enn tidligere, men resultatet er at lengden på islagt periode er omtrent som før, selv om det er blitt en forskyvning i tid på rundt fem dager.



Figur 2. Datoene for islegging og isgang i Øvre Heimdalsvatn fra 1969 til 2007.



Figur 3. Utvikling av ¹³⁷Cs i ørret fra Øvre Heimdalsvatn fra 1986 til 2008.

Effekter av Tsjernobylulykken

Store deler av Europa fikk nedfall av radioaktive stoff etter eksplosjonen i kjernekraftverket i Tsjernobyl den 26. april 1986. I Norden ble særlig sørlige deler av Finland, midtre del av Sverige, og en god del av sørlige Norge rammet. Deler av Jotunheimen fikk det aller største nedfallet av ¹³⁷Cs, og dette gav seg raskt utslag i høye ¹³⁷Cs-konsentrasjoner i blant annet alloktont plantemateriale tilført Øvre Heimdalsvatn (Brittain og Bjørnstad 2010). Siden dette plantematerialet går inn i næringskjeden i vannet, fikk også auren høye verdier, målt som bequerel per kilo fisk (Brittain og Gjersteth 2010). Da nedfallet kom i 1986, var Øvre Heimdalsvatn fremdeles islagt,

men fra juni og utover sommeren steg radioaktiviteten sterkt i auren og holdt seg høgt de første årene. Den høyeste målte verdien av ¹³⁷Cs var 8400 Bq/kg i en aure fra september 1987, men konsentrasjonene sank gradvis utover på nittitallet, figur 3. I de første årene etter nedfallet tok det 3-4 år å redusere nivåene i aure med 50 %. I senere år har ¹³⁷Cs-innholdet stabilisert seg, riktignok på et lavt nivå, men med svært liten årlig reduksjon, og det vil nå ta nesten tretti år for å få en halvering (Gjelsvik et al. 2014).

Et fiskesamfunn i endring

Da Jensen begynte sine studier av aure i Øvre Heimdalsvatn i 1957-58, hadde individene vekst-

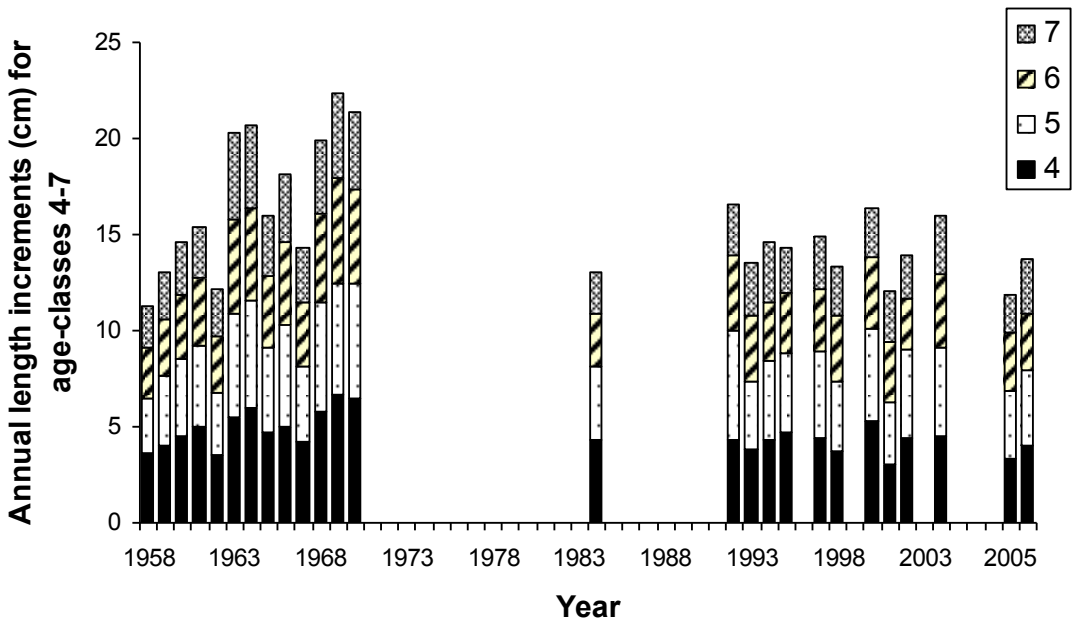
stagnasjon før de var nådd en lengde på 30 cm. Biomassen av ørret tilsvarte da om lag 20 kg/ha, men ved hard beskatning ble bestanden redusert til 8-11 kg/ha i perioden 1962-69 (Jensen 1977). Gjennom den bestandsmanipuleringen fikk Jensen (1977) vist at det var to hovedkomponenter som hadde stor innflytelse på årlig tilvekst hos auren i et slikt fjellvann – det var bestandstetthet og temperatur.

Etter få år med bestandsreduksjon dukket det opp aure på rundt 50 cm med vekter på rundt 1,5 kg. I årene som fulgte var marflo og skjoldkrepss to hovedkomponenter i dietten til aure (Lien 1978). Skjoldkrepss utgjorde for eksempel over 75 % av aurens augustdiett i årene rundt 1970 (Lien 1978). Skjoldkrepss er et krepssdyr som lett beites ned når fiskebestanden er stor. Etter etableringen av ørekyt og en sterk vekst i ørekytbestanden fra syttitallet til årene rundt 2000, gikk individuell vekst hos både aure og ørekyt ned (Borgstrøm et al. 2010; Museth et al. 2010). I tillegg ble skjoldkrepss nærmest helt borte.

Rekrutteringen til aurebestanden ble om lag halvert etter at ørekyt etablerte seg, kanskje som en følge av økt kannibalisme på aureunger, kan-

skje fordi aureungene ble mer presset ut fra den beskytta strandsonen der ørekyt holdt til (Borgstrøm og Brabrand 1996). På tross av lavere rekruttering og en aurebiomasse om lag som på midten av sekstitallet, ble individuell vekst hos aure lavere i perioden 1993-2006 enn på midten av sekstitallet, figur 4 (Borgstrøm et al. 2010). I de siste årene har det likevel dukket opp store eksemplarer av aure, og skjoldkrepss har også dukket opp i dietten. Dette kan være en antydning om at ørekytbestanden er blitt mindre.

Et annet fenomen som har dukket opp er økt infeksjon hos aure med to parasittarter som begge har fugl som endelig vert, den digene ikta *Diplostomum spathaceum*, og bendelmakken *Diphyllbothrium ditremum*, eller fiskandmakken på norsk (Hatleli 2012; Trømborg 2014). Dette kan skyldes at det er blitt mer fiskeetende fugl som bruker vannet, i første rekke fiskender og lom, fordi ørekyten trolig har gitt et langt bedre førtilbud for disse artene sammenliknet med da aure var eneste fiskeart i vannet. Derimot har den digene ikta *Crepidostomum* sp., en parasitt som har ørret som endelig vert, gått tilbake (Hatleli 2012), mest sannsynlig som følge



Figur 4. Gjennomsnittlig årlig vekst hos ørret i alderen 4-7 år i Øvre Heimdalsvatn i perioden 1958-2006.

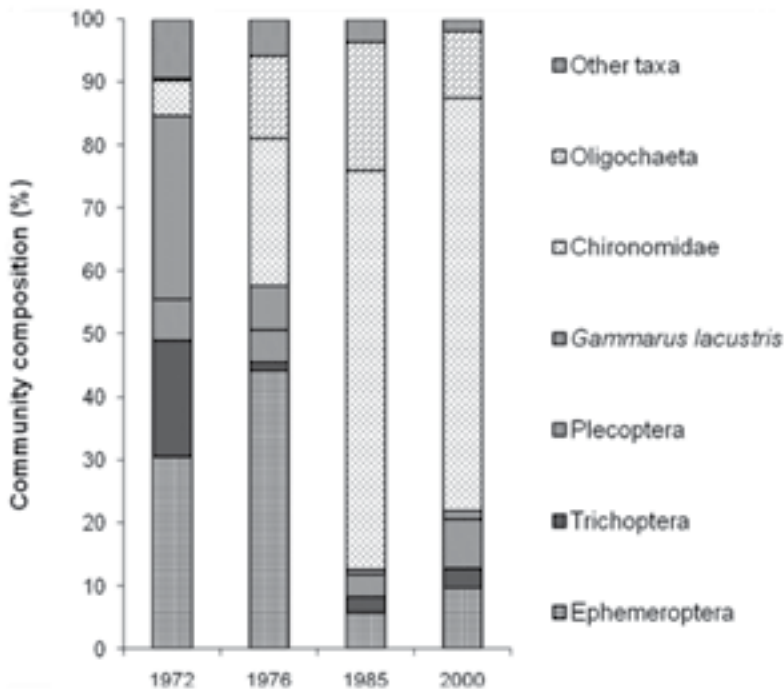
av at en eller flere av bestandene av mellomverte, som bl.a. kan være døgnfluer (Vik 1968), har gått ned.

Store endringer i bunndyrsamfunnet

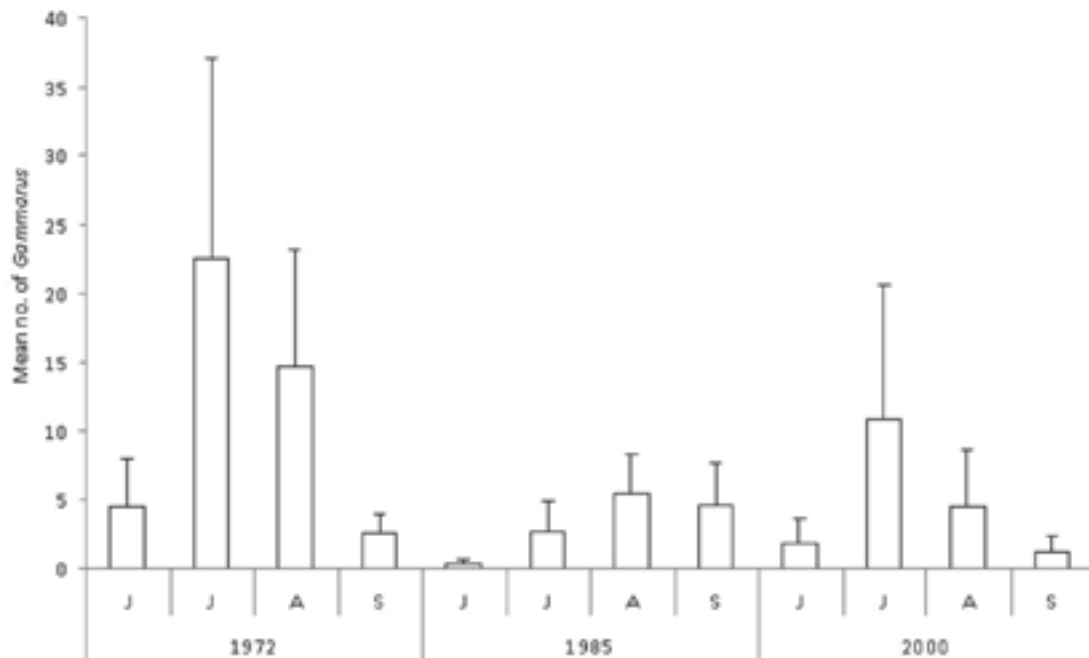
Også bunndyrsamfunnet i strandsonen av Øvre Heimdalsvatn har gjennomgått store endringer, figur 5 (Næstad og Brittain 2010), og vi kan karakterisere dette som kaskadeendringer som følge av endringer i fiskesamfunnet og dermed endret beitepress på de deler av dette samfunnet som er mest følsomme for beiting. I 1972 dominerte marflo, vårfluer og døgnfluer dette bunndyrsamfunnet, men alt i 1976 var det gått sterkt tilbake med andelen av vårfluer og marflo, og innslaget av fåbørstemakk og fjærmygg var økt mye. Fra 1985 var fjærmygg blitt helt dominerende, og også døgnfluer utgjorde nå en langt mindre andel av bunndyrsamfunnet. Tettheten av marflo gikk betydelig ned fra 1972 til 1985, men har likevel økt noe igjen fram til 2000, figur 6 (Næstad og Brittain 2010).

Oppsummering

Både globale klimaendringer og langtransportert forurensning i form av radionuklider har satt sitt preg på ferskvannøkosystemet Øvre Heimdalsvatn, og utviklingen her også stå som en indikasjon på tilstanden i innsjøer i store deler av den sørnorske fjellheimen. Det er en klar trend i retning av varmere vann på ettersommeren og høsten, og dermed er det også blitt en trend med seinere islegging av innsjøen. Likevel har den islagte perioden ikke blitt kortere, fordi isen har ligget lenger om våren, sannsynligvis som et resultat av endringer i både lufttemperatur og snømengde. Kontamineringen med radioaktivt cesium var betydelig i Heimdalen i 1986, og det har satt sitt preg på ¹³⁷Cs-innholdet i både vegetasjon og fisk. I de første årene var ¹³⁷Cs-innholdet i auren så høgt at det var nødvendig å innføre kostholdsråd ved konsum av fisken. Siden har det vært viktig å følge utviklingen for å kunne vise når det igjen ikke var forbundet med noen risiko å ete fisk fra innsjøen og for å dokumentere langtid utviklingens prosesser og mønster.



Figur 5. Sammensetning (%) av bunndyrsamfunn på grunt vann i Øvre Heimdalsvatn i 1972, 1976, 1985 og 2000.



Figur 6. Gjennomsnittsansattall (\pm standard feil) av *Gammarus lacustris* (marflo) per 1 minuttssparkeprøve i Øvre Heimdalsvatn i 1972, 1985 og 2000.

Øvre Heimdalsvatn er også en godt eksempel på hvordan aurebestander i fjellet kan endres både gjennom beskatning og etablering av fremmede fiskearter som ørekyt. Siden ørekyt er blitt spredd til et stort antall vassdrag og innsjøer i fjellheimen, vil effektene både på aure og bunndyrsamfunnet i Øvre Heimdalsvatn også gi indikasjoner på hva som vil skje i andre innsjøer i fjellet når ørekyt etableres. De lange tidsseriene på flere viktige økosystemparametere, både fysisk-kjemiske og biologiske betyr at Øvre Heimdalsvatn er meget godt egnet for langtidsovervåking av tilstanden for våre innsjøer i høgfjellet, ikke minst i en tid preget av klimaendringer.

Litteratur

Brittain, J. E. & Bjørnstad, H. E. 2010. A long-term study of catchment inputs of ^{137}Cs to a subalpine lake in the form of allochthonous terrestrial plant material. *Hydrobiologia* 642: 101-106.

Brittain, J.E. & Borgstrøm, R. (red.) 2010. The subalpine lake ecosystem, Øvre Heimdalsvatn, and its catchment:

local and global changes over the last 50 years. Springer, Dordrecht Heidelberg London New York. ISBN 978-90-481-9387-5.

Brittain, J. E. & Gjerset, J. E. 2010. Long-term trends and variation in ^{137}Cs activity concentrations in brown trout (*Salmo trutta*) from Øvre Heimdalsvatn, a Norwegian subalpine lake. *Hydrobiologia* 642: 107-113.

Borgstrøm, R. & Brabrand, Å. 1996. Spredning av fiskearter; mindre geografisk variasjon og endret artsdominans. *Fagnytt naturforvaltning* 3(5): 1-4.

Borgstrøm, R., Museth, J. & Brittain, J. E. 2010. The brown trout (*Salmo trutta*) in the lake Øvre Heimdalsvatn: longterm changes in population dynamics due to exploitation and the invasive species, European minnow (*Phoxinus phoxinus*). *Hydrobiologia* 642: 81-91.

Gjelsvik, R., Komperød, M., Brittain, J., Eikermann, I. M., Gaare, E., Gwynn, J., Holmstrøm, F., Kiel Jensen, L., Kålås, J. A., Møller, B., Nybø, S., Steinnes, E., Solberg, E. J., Stokke, S., Ugedal, O., & Veiberg, V. 2014. Radioaktivt cesium i norske landområder og ferskvannssystemer. Resultater fra overvåking i perioden 1986–2013. *Strålevern Rapport 2014* (9). Statens strålevern, Østerås.

- Grøterud, O. og Kloster, A. E. 1978. Hypsography, meteorology and hydrology of the Øvre Heimdalen catchment. *Holarctic Ecology* 1: 111-116.
- Hatleli, Ø. 2012. The helminth fauna of brown trout (*Salmo trutta*) in the lake, Øvre Heimdalsvatn, before and after the establishment of a large population of the invasive species, European minnow (*Phoxinus phoxinus*). Masteroppgave Institutt for naturforvaltning, NMBU, Ås.
- Jensen, K. W. 1977. On the dynamics and exploitation of the population of brown trout, *Salmo trutta* L., in Lake Øvre Heimdalsvatn, southern Norway. Report Institute of Freshwater Research Drottningholm 56: 18-69.
- Kvambekk, Å. S. & Melvold, K. 2010. Long-term trends in water temperature and ice cover in the subalpine lake, Øvre Heimdalsvatn, and nearby lakes and rivers. *Hydrobiologia* 642: 47-60.
- Larsson, P. & Tangen, K. A. 1975. The input and significance of particulate terrestrial organic carbon in a subalpine freshwater ecosystem. Vol. 16 *Fennoscandian Tundra Ecosystems, Part 1*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- Larsson, P., Brittain, J. E., Lien, L., Lillehammer, A. & Tangen, K. 1978. The lake ecosystem of Øvre Heimdalsvatn. *Holarctic Ecol.* 1: 304-320.
- Lien, L. 1978. The energy budget of the brown trout population of Øvre Heimdalsvatn. *Holarctic Ecology* 1: 279-300.
- Museth, J., Borgstrøm, R. & Brittain, J. E. 2010. Diet overlap between introduced European minnow (*Phoxinus phoxinus*) and young brown trout (*Salmo trutta*) in the lake, Øvre Heimdalsvatn: a result of abundant resources or forced niche overlap? *Hydrobiologia* 642: 93-100.
- Næstad, F. & Brittain, J. E. 2010. Long-term changes in the littoral benthos of a Norwegian subalpine lake following the introduction of the European minnow (*Phoxinus phoxinus*). *Hydrobiologia* 642: 71-79.
- Skjeseth, S. & Kloster, A. E. 1978. The geology of the Øvre Heimdalen valley. *Holarctic Ecology* 1: 89-92.
- Trømborg, J. 2014. Infection of *Diphyllobothrium ditremum* in brown trout, *Salmo trutta*, in Lake Øvre Heimdalsvatn, analysed in relation to diet, trophic status and mercury concentration. Masteroppgave Institutt for naturforvaltning, NMBU, Ås.
- Velle, G., Bjune, A. E., Larsen, J. & Birks, J. B. H. 2010. Holocene climate and environmental history of Bruskardstjørne, a lake in the catchment of Øvre Heimdalsvatn, south-central Norway. *Hydrobiologia* 642: 13-34.
- Vik, R. 1968. Parasittiske dyr hos våre ferskvannsfisker. Sp. 1034-1083 i: Jensen, K. W. (red.). *Sportsfiskerens leksikon* 1. Gyldendal Norsk Forlag, Oslo.
- Vik, R. (red.) 1978. The lake Øvre Heimdalsvatn a subalpine freshwater ecosystem. The Norwegian contribution to the freshwater section of the International Biological Programme. *Holarctic Ecology* 1: 81-320.