

534

OPPDRAKSMELDING

Effekter av vannkvalitet og habitat
på tettheten av aureunger i
tilløpsbekker til innsjøer i tre
forsuringsområder

Trygve Hesthagen
Bjørn M. Larsen
Hans M. Berger
Torbjørn Forseth



NINA • NIKU

NINA Norsk institutt for naturforskning

Effekter av vannkvalitet og habitat
på tettheten av aureunger i
tilløpsbekker til innsjøer i tre
forsuringsområder

Trygve Hesthagen
Bjørn M. Larsen
Hans M. Berger
Torbjørn Forseth

NINA•NIKUs publikasjoner

NINA•NIKU utgir følgende faste publikasjoner:

NINA Fagrapport

NIKU Fagrapport

Her publiseres resultater av NINAs og NIKUs eget forskningsarbeid, problemoversikter, kartlegging av kunnskapsnivået innen et emne, og litteraturstudier. Rapporter utgis også som et alternativ eller et supplement til internasjonal publisering, der tidsaspekt, materialets art, målgruppe m.m. gjør dette nødvendig.

Opplag: Normalt 300-500

NINA Oppdragsmelding

NIKU Oppdragsmelding

Dette er det minimum av rapportering som NINA og NIKU gir til oppdragsgiver etter fullført forsknings- eller utredningsprosjekt. I tillegg til de emner som dekkes av fagrapportene, vil oppdragsmeldingene også omfatte befaringsrapporter, seminar- og konferanseforedrag, årsrapporter fra overvåkningsprogrammer, o.a.

Opplaget er begrenset. (Normalt 50-100)

NINA•NIKU Project Report

Serien presenterer resultater fra begge instituttenes prosjekter når resultatene må gjøres tilgjengelig på engelsk. Serien omfatter original egenforskning, litteraturstudier, analyser av spesielle problemer eller tema, etc.

Opplaget varierer avhengig av behov og målgrupper.

Temahefter

Disse behandler spesielle tema og utarbeides etter behov bl.a. for å informere om viktige problemstillinger i sammenheng. Målgruppen er "almenheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern-avdelinger, turist- og friluftlivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

Opplag: Varierer

Fakta-ark

Hensikten med disse er å gjøre de viktigste resultatene av NINA og NIKUs faglige virksomhet, og som er publisert andre steder, tilgjengelig for et større publikum (presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivåer, politikere og interesserte enkeltpersoner).

Opplag: 1200-1800

I tillegg publiserer NINA og NIKU-ansatte sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler, gjennom populærfaglige tidsskrifter og aviser.

Hesthagen, T., Larsen, B. M., Berger, H. M. & Forseth, T. 1998. Effekter av vannkvalitet og habitat på tettheten av aureunger i tilløpsbekker til innsjøer i tre forsursområder. - NINA Oppdragsmelding 534: 1-14.

Trondheim, mars 1998

ISSN 0802-4103

ISBN 82-426-0920-9

Forvaltningsområde:

Arealforvaltning, Bevaring av naturens mangfold
Management of areas, Conservation of biodiversity

Rettighetshaver ©:

Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning
NINA•NIKU

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

Ann Kristin Schartau
NINA•NIKU, Trondheim

Design og layout:

Synnøve Varvik

Sats: NINA•NIKU

Kopiering: Norservice

Opplag: 100

Kontaktadresse:

NINA•NIKU
Tungasletta 2
7005 Trondheim
Tel: 73 80 14 00
Fax: 73 80 14 01

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 13504 Ungfisktetthet/vannkvalitet fys. fakt.

Ansvarlig signatur:

Ann Kristin L. Schartau

Oppdragsgiver:

Direktoratet for naturforvaltning

Referat

Hesthagen, T., Larsen, B. M., Berger, H. M. & Forseth, T. 1998. Effekter av vannkvalitet og habitat på tettheten av aureunger i tilløpsbekker til innsjøer i tre forsursingsområder. - NINA Oppdragsmelding 534: 1-14.

Tettheten av aureunger ble relatert til ulike vannkjemiske parametre og habitatets beskaffenhet (substrat, skjul, dyp etc) i tilløpsbekker til innsjøer i tre vassdrag: Gaular i Sogn og Fjordane, samt Vikedal og Bjerkreim i Rogaland. Elffiske og innsamling av vannprøver ble foretatt i august eller tidlig september hvert år fra 1987 til 1993. Gjennomsnittlig pH og labilt Al (uorganisk fraksjon) varierte mellom henholdsvis 5,21-5,52, og 8,40-43,36 µg/l. Innholdet av kalsium var lavt med gjennomsnittlige konsentrasjoner på 0,35 mg/l (Gaular), 0,52 mg/l (Vikedal) og 0,84 mg/l (Bjerkreim). Modeller basert på multiple regresjonsanalyser viste at ulike vannkjemiske - og habitatbeskrivende parametre forklarte 86 % (Gaular), 68 % (Vikedal) og 32 % (Bjerkreim) av variasjonen i tettheten av aureunger. Det var en klar økning i tettheten av aureunger med økende nivå av pH, kalsium og kalsium/pH forholdet målt i ekvivalenter ($\text{Ca}^{2+}:\text{H}^+$). Kalsiuminnholdet bidro mest til å forklare variasjonen i ungfisktettheten i Gaular ($r^2 = 0,75$) og Vikedal ($r^2 = 0,54$). I Bjerkreim var derimot pH den viktigste faktoren, men forklaringsgraden var relativt lav ($r^2 = 0,25$). Regresjoner basert på enkeltparametre viste at $\text{Ca}^{2+}:\text{H}^+$ forholdet har relativt stor betydning for variasjonen i tettheten av aureunger i de undersøkte vassdragene. Derimot ga habitategenskapene lav forklaringsgrad i alle tre vassdragene ($r^2=0,01-0,04$). Undersøkelsen viser at vannkvaliteten har en mye større betydning for tettheten av aureunger i bekker med surt og ionefattig vann enn habitatets beskaffenhet.

Emneord: Aureunger, tetthet, bekker, forsurening.

Trygve Hesthagen, Bjørn M. Larsen, Hans M. Berger & Torbjørn Forseth, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7005 Trondheim.

Abstract.

Hesthagen, T., Larsen, B.M., Berger, H.M. & Forseth, T. 1998. The relationship between young brown trout (*Salmo trutta*) density and water quality in tributary streams to lakes in three acidic watersheds. - NINA Oppdragsmelding 534: 1-14.

We examined the relationship between young brown trout (*Salmo trutta*) densities in lake tributaries, and water chemistry and habitat variables. The study was carried out during the autumn in three acidic, softwater river systems in western and southwestern Norway; Gaular and Vikedal (1987-93) and Bjerkreim (1988-93). The streams had mean calcium concentrations of 0.35 mg/l (Gaular), 0.52 mg/l (Vikedal) and 0.84 mg/l (Bjerkreim). The concentration of inorganic Al was generally low, with mean values of 8.40 (Gaular), 22.22 (Vikedal) and 43.36 µg/l (Bjerkreim). Statistical models that included both habitat and water chemistry variables showed that the density of young brown trout was predicted primarily by calcium concentrations in Gaular ($r^2 = 0.75$) and Vikedal ($r^2 = 0.54$), as opposed to pH in Bjerkreim ($r^2 = 0.25$). The $\text{Ca}^{2+}:\text{H}^+$ ratio as a single factor had relatively high predictive power for the variability in brown trout density in all three watersheds. Habitat variables had low predictive power in all three river systems ($r^2 = 0.01-0.04$). The final model explained 86, 68 and 32 %, respectively, of the variability in brown trout density in the three catchments. Thus, water chemistry variables seem to limit the density of young brown trout in acidic softwater streams.

Key words: Juvenile brown trout, streams, density, acidification

Trygve Hesthagen, Bjørn M. Larsen, Hans M. Berger & Torbjørn Forseth, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7005 Trondheim, Norway.

Forord

Undersøkelsen er finansiert av Direktoratet for naturforvaltning (DN). Materialet som undersøkelsen bygger på er samlet inn i forbindelse med *Statlig program for forurensningsovervåking* under programmet *Biologisk overvåking av sur nedbør*, som også finansieres av DN.

Trondheim, mars 1998

Trygve Hesthagen
prosjektleder

Innhold

| | |
|---------------------------|----|
| Referat..... | 3 |
| Abstract | 3 |
| Forord..... | 4 |
| 1 Innledning | 5 |
| 2 Områdebeskrivelse | 6 |
| 3 Metoder..... | 7 |
| 4 Resultater..... | 8 |
| 5 Diskusjon | 12 |
| 6 Referanser | 13 |

1 Innledning

Det er vist at høye konsentrasjoner av H^+ (lav pH) og uorganisk monomert aluminium (Al_i) forårsaker økt dødelighet hos fisk i ionefattig vann (Baker & Schofield 1980, Driscoll et al. 1980, Schofield & Trojnar 1980). Innholdet av kalsium kan imidlertid dempe den giftige virkningen av H^+ og Al_i (Muniz & Leivestad 1980, Brown & Lynam 1981, Brown 1983, Dalziel et al. 1986, Sadler & Lynam 1988). Eksperimentelle forsøk med aure i surt vann (pH 4,5-5,4) tyder imidlertid på innholdet av kalsium bare er kritisk ved lave konsentrasjoner (Brown 1993). Det ble registrert høy dødelighet hos plommeseekyngel både ved kalsiuminnhold på 0,25 og 0,50 mg/l, men ikke ved 1,00 mg/l. Det er også vist at overlevelsen til egg hos aure økte med økende kalsium:pH forhold målt i $Ca^{2+}:H^+$ ekvivalenter (Turnpenny 1992). Hos andre fiskearter er det også vist at sensitiviteten til forsurening avtar med økende ionestyrke (Hutchinson et al. 1987).

Ved feltundersøkelser i noen bekker i et forsursingsområde i Sverige ble det funnet at pH og alkalitet forklarte ca 50 % av variasjonen i tettheten av aureunger (Andersson & Andersson 1984). Videre hadde små bekker med liten vannføring større tetthet enn større bekker, men forklaringsgraden var liten. Felteksperimenter med aure i to sure svenske bekker viste at overlevelsen av egg og ettåringer var lavest i den bekken som var surest og hadde lavest innhold av kalsium (Carlsson & Johansson, 1988). Registrering av auretettheten i bekker i flere områder i Skottland viste tilsvarende resultat (Harriman et al. 1987, Maitland 1987). I bekker i Loch Fleet i England var imidlertid overlevelsen av aurerogn og tettheten av aureunger bare relatert til pH (Turnpenny, 1989, 1992, Turnpenny et al. 1988).

Det er også vist at habitatets beskaffenhet begrenser tettheten og fordelingen av aure i rennende vann (Heggenes 1996). I komparative feltstudier i forsursingsområder er det derfor viktig å skille mellom variasjoner i fisketettheten som skyldes vannkjemiske forhold og de som skyldes habitatets egnethet. Det er vist at ulike størrelse- og aldersgrupper av aureunger i ikke-forsurede bekker har klare preferanser for ulike habitatvariabler som dyp, strømhastighet, bunnsubstrat og skjul (Heggenes 1989). Aure foretrekker relativt grovkornet elvebunn både som gytesubstrat og til oppvekstarealer for yngel (Shirvell & Dungey 1983, Heggenes 1988, Crisp & Carling 1989). Det er antatt at substratet gir fisken skjul og mikrohabitat med lav strømhastighet, samt øker den visuelle isolasjonen mellom individene (Kalleberg 1958, Fausch 1984, Heggenes 1988). En kan forvente å finne ulike typer habitat i bekker innen et vassdrag, noe som kan påvirke tettheten av laksefisk i ikke-sure lokaliteter.

Vi undersøkte tettheten av aureunger i tilløpsbekker til innsjøer i tre forsurede vassdrag på Vest og Sørvestlandet; Gaular, Vikedal og Bjerkreim. Fisketettheten ble analysert i forhold til ulike vannkjemiske parametre og habitatets be-

skaffenhet (dyp, substrat etc). Det er tidligere vist at disse vassdragene er forsuret, og med skader på innsjølevende aurebestander (Hesthagen et al. 1986, Hesthagen & Forseth 1998). Hensikten med undersøkelsen er å utvikle en modell som relaterer tettheten av aureunger til både vannkjemiske parametre og til habitatets beskaffenhet for bedre å kunne dokumentere forsursingsrelaterte effekter på fiskebestander. Det er flere årsaker til at studier av forsuringseffekter på aurebestander i bekker er relevant: (i) bekker påvirkes lett av forsuring, (ii) bekker er viktige gyte- og oppvekstområder for aure, og (iii) rekrutteringssvikt synes å være den viktigste årsaken til tap av aurebestander i forsursingsområder (Howells 1983).

2 Områdebeskrivelse

Bjerkreim- og Vikedalsvassdraget er lokalisert i Rogaland, og Gaular i Sogn og Fjordane. Bjerkreim og Gaular har nedslagfelt på henholdsvis 693 og 630 km², mens Vikedal er betydelig mindre med 119 km² (tabell 1). Berggrunnen i øvre deler av vassdragene består i hovedsak av lite forvitrede bergarter, og innslaget av løsmasser er sparsomt. Nedre deler er rikere på løsmasser, og spesielt i Bjerkreim er det også relativt mye dyrket mark. Alle tre vassdragene har typisk kystklima med mye nedbør (2 000-2 800 mm pr. år), og en relativt høy gjennomsnittlig årlig temperatur. Nedbøren er klart forsuret med lavest årlig gjennomsnittlig pH i Bjerkreim (4,53) og høyest i Gaular (4,78). Konsentrasjonen av sulfat i nedbøren er også størst i Bjerkreim (0,49 mg/l), noe mindre i Vikedal (0,46 mg/l), og lavest i Gaular (0,22 mg/l). Våtdeposisjonen av sulfat er størst i Vikedal med 1237 mg pr. m².

De undersøkte bekkene ligger fra 145 til 715 m o. h. Bortsett fra noen lokaliteter i Gaular og Bjerkreim, er de lokalisert ovenfor områder med dyrket mark og er uten påvirkning av lokal forurensing og kalking. Gjennomsnittlig bredde ± standard avvik var mye lavere i tilløpsbekkenevar (3,6 ± 4,8 m) enn i hovedinnløpene (17,7 ± 12,2 m) og utløp-ene (18,5 ± 14,1 m). Bortsett fra kanadisk bekkerøye i noen få bekker i Bjerkreim, er aure eneste fiskeart i forsøkslokalitetene.

Tabell 1. Noen data som karakteriserer de enkelte vassdragene. Våt deposisjon er målt på følgende stasjoner: Gaular: i Nausta (1987-93), Vikedal: ved Hundeid i Vikedal (1987-93), og Bjerkreim: ved Ualand (1992-93). Fra Tørseth (1996).

| Vassdrag | Nedslagfelt (km ²) | Høyde (m o.h.) | Gjennomsn. nedbør (mm) | pH i nedbør | SO ₄ i nedbør (mg S l ⁻¹) | Våt dep. av SO ₄ (mg S m ⁻²) | Gj.sn. vassfør. (m ⁻³ s ⁻¹) |
|-----------|--------------------------------|----------------|------------------------|-------------|--|---|--|
| Gaular | 630 | 145-715 | 2 002 | 4,78 | 0,22 | 590 | 41,0 |
| Vikedal | 119 | 154-586 | 2 816 | 4,58 | 0,46 | 1 237 | 9,0 |
| Bjerkreim | 693 | 63-659 | 2 070 | 4,53 | 0,49 | 958 | 60,0 |

3 Metoder

Fisken ble fanget med et bærbart elektrisk fiskeapparat av Paulsen typen. Feltarbeidet ble gjennomført fra midten av august til først del av september i 7 påfølgende år i Gaular og Vikedal (1987-93), og seks år i Bjerkreim (1988-93). Undersøkelsen i Gaularvassdraget begrenset seg til innløp/utløp og tilløpsbekker i tilknytning til 8 innsjøer i Eldalen, fra Nystølsvatnet til Viksvatnet. I Vikedal ble undersøkelsen gjennomført i tilknytning til 9 innsjøer i midtre og lavere deler av nedslagsfeltet. I Bjerkreim ble det elfisket i bekker i tilknytning til 17 innsjøer fordelt på ulike deler av nedslagsfeltet. Elfiske ble foretatt i de fleste innløp, utløp og tilløpsbekker til hver innsjø i alle tre vassdragene. Tilløpsbekker med fysiske barrierer som hindrer fisken i å vandre opp, ble ekskludert. Innløp og tilløpsbekker ble elfisket fra strandlinjen og oppover, mens utløpene ble elfisket fra den nederste stasjonsgrensen og opp til innsjøen. I hver lokalitet ble den samme strekningen elfisket hvert år. Imidlertid kunne årlig avfisket areal variere noe, avhengig av vannstanden. Gjennomsnittlig elfisket areal \pm SD var $76,5 \pm 75,4$ m² i tilløpsbekkene, $153,6 \pm 108,8$ m² i innløpene og $139,5 \pm 100,6$ m² i utløpene. Alle lokaliteter ble med få unntak elfisket hvert år. Tilsammen ble fem bekker som opprinnelig ble valgt ut ekskludert pga kalking og jordbruksforurensning. Bortsett fra 87 undersøkte bekker i 1987, ble mellom 113 og 144 bekker elfisket hvert år (totalt 869 registreringer og 94 587 m² avfisket areal). Det ble tilsammen fanget 9 117 aure med en dominans av årsyngel (5 878 individ). Eldre individ besto hovedsakelig av ett- og to-åringer.

All fisk ble lengdemålt til nærmeste mm. I perioden 1987-92 ble hver stasjon elfisket en gang, mens de ble suksessivt avfisket tre ganger i 1993. Et utvalg fisk fra hvert vassdrag

ble fiksert for seinere aldersanalyse, mens resten ble sluppet ut på prøvestasjonen etter avsluttet elfiske. Vi benyttet både lengdefordelinger og aldersanalyser til å klassifisere fisken til yngel eller eldre individ. Den gjennomsnittlige lengden i de to gruppene varierte mellom henholdsvis 35-55 og 70-150 mm. Materialet fra 1993 med tre elfiskeomganger ble benyttet til å beregne fangstsannsynligheten hos yngel og eldre individ (cf. Zippin 1958, Bohlin et al. 1989). Fangstsannsynlighetene varierte mellom henholdsvis 0,37-0,57 og 0,51-0,71 i de enkelte vassdragene.

Vi behandlet materialet fra hvert vassdrag samlet for alle årene. Imidlertid vil fangstutbyttet ved elfiske i rennende vann avhenge av fysiske faktorer som vanntemperatur og vassføring. Vi testet derfor om det var noen sammenheng mellom fangstutbyttet og disse to fysiske variablene under elfisket hvert år gjennom forsøksperioden. Analysen viste at det var et inverst forhold mellom fangstutbyttet av årsyngel i de tre vassdragene og av eldre aureunger i Bjerkreim og vassføringen under elfisket (**tabell 2**). Vi justerte derfor fangstutbyttet for hvert år til en gjennomsnittlig vassføring for hele forsøksperioden. Til slutt ble fangstsannsynlighetene benyttet til å beregne tettheten av yngel og eldre individ i hver bekk. Deretter ble samlet tetthet beregnet ved å addere tetthetene for de to aldersgruppene. Tettheten presenteres som antall individ pr. 100 m².

Det ble tatt en vannprøve fra hver lokalitet samtidig med elfisket. Prøvene ble lagret kjølig til de ble analysert ved NINA i løpet av en uke. Analysene fulgte standard metoder (Nøst & Schartau 1996). Ulike aluminiumsfraksjoner ble bare målt i de fire siste årene av undersøkelsen (1990-93).

Tabell 2. Sannsynligheten for fangst (p) av yngel og eldre aureunger (parr) i bekker i Gaular, Vikedal og Bjerkreim, og likningene mellom fangstutbytte i første elfiskeomgang (antall pr. 100 m²) og vassføring (F) med regresjonskoeffisient (r^2), is = ingen signifikant sammenheng ($P > 0,05$). Det er benyttet vassføringsdata fra NVE sine stasjoner i de enkelte vassdragene.

| Vassdrag | Alder | p | Regresjonslikninger | r^2 |
|-----------|-------|------|--|-------|
| Gaular | Yngel | 0,37 | $\ln \text{ yngel} = 5,51 - 0,15 F$ | 0,53 |
| Gaular | Parr | 0,51 | is | |
| Vikedal | Yngel | 0,57 | $\ln \text{ yngel} = 17,00 \exp - 0,055 F$ | 0,85 |
| Vikedal | Parr | 0,71 | is | |
| Bjerkreim | Yngel | 0,54 | $\ln \text{ yngel} = 11,61 - 0,49 F$ | 0,80 |
| Bjerkreim | Parr | 0,64 | $\ln \text{ parr} = 6,25 \exp - 0,060 F$ | 0,91 |

Habitatet i hver lokalitet ble karakterisert samtidig med elfisket i 1992 og 1993. Det ble etablert faste transekter loddrett på elvebredden med målinger for hver 5. eller 10. meter, avhengig av lengden på stasjonen. Disse målingene omfattet dyp (cm), visuell klassifisering av substratet (både dominerende og subdominerende substrat), og skjul for hver 25, 50 eller 100 cm langs transektene, avhengig av bredden på stasjonen. Substratet ble målt og klassifisert ifølge en modifisert Wentworth skala (Heggenes & Saltveit 1990). Skjul ble vurdert innen et areal på ca 30 x 30 cm i små tilløpsbækker og ca 60 x 60 cm i innløps/utløpsbækker, og uttrykt i 10 % intervaller fra 0 til > 90 %. Skjul ble definert som (i) stein, (ii) nedsenkete strukturer (unntatt substrat), (iii) banker under elvebredden, (iv) overhengende vegetasjon, og (v) overflateturbulens. Dominerende skjul i de undersøkte bekkene var overflateturbulens. Bredden på en stasjonen ble målt langs hver transekt, og arealet beregnet ved å multiplisere gjennomsnittlig bredde med lengden på stasjonen. Lengden ble målt midt i hver bekk. Antall målinger i hver lokalitet varierte fra 11 til 59 med et gjennomsnitt på $28,9 \pm 8,5$ SD. Høyde over havet, vanntemperatur (°C), og type lokalitet (innløp, utløp eller tilløpsbekk) inngikk også som habitatvariabler. Se Hesthagen et al. (1998) for mer omfattende beskrivelse av metodikken.

4 Resultater

Bekkene i Gaularvassdraget hadde høyest pH med et gjennomsnitt på 5,51, mens de i Vikedal og Bjerkreim var noe surere (**tabell 3**). Det var store forskjeller i innholdet av kationer i de tre vassdragene. Eksempelvis var gjennomsnittlig konsentrasjon av kalsium 0,35 mg/l i Gaular, 0,52 mg/l i Vikedal og 0,84 mg/l i Bjerkreim. Gaular hadde lavt innhold av labilt Al (8,40 µg/l), mens det var høyest i Bjerkreim (43,36 µg/l). Konsentrasjonen av totalt organisk karbon (TOC) var lavt i alle vassdragene (1,95-2,90 mg/l).

Det var en klar økning i tettheten av aureunger med økende pH i alle tre vassdragene (**figur 1**). I de mest forsurede lokalitetene (pH < 5,0) varierte tettheten mellom 8,1-13,4 individ pr. 100 m². Tettheten i neste pH intervall (5,0-5,5), var størst i Bjerkreim med 39,1 individ pr. 100 m².

Tettheten av aureunger økte med konsentrasjonen av kalsium (**figur 2**). I Gaular hadde de fleste bekkene kalsiumkonsentrasjoner lavere enn 0,25 mg/l, og gjennomsnittlig tetthet av aureunger i disse lokalitetene var bare 12,3 individ pr. 100 m². Bare bekker med over 0,75 mg Ca/l i Gaular hadde vesentlig større tettheter av aureunger, men dette omfatter bare et fåtall lokaliteter. I Vikedal var det relativt lave tettheter i bekker med mindre enn 0,50 mg Ca/l sammenliknet med lokaliteter med høyere konsentrasjoner. Ved samme kalsiumnivå i intervallet 0,75-2,00 mg/l, hadde bekker i Bjerkreim lavere tetthet av aureunger enn Gaular og Vikedal.

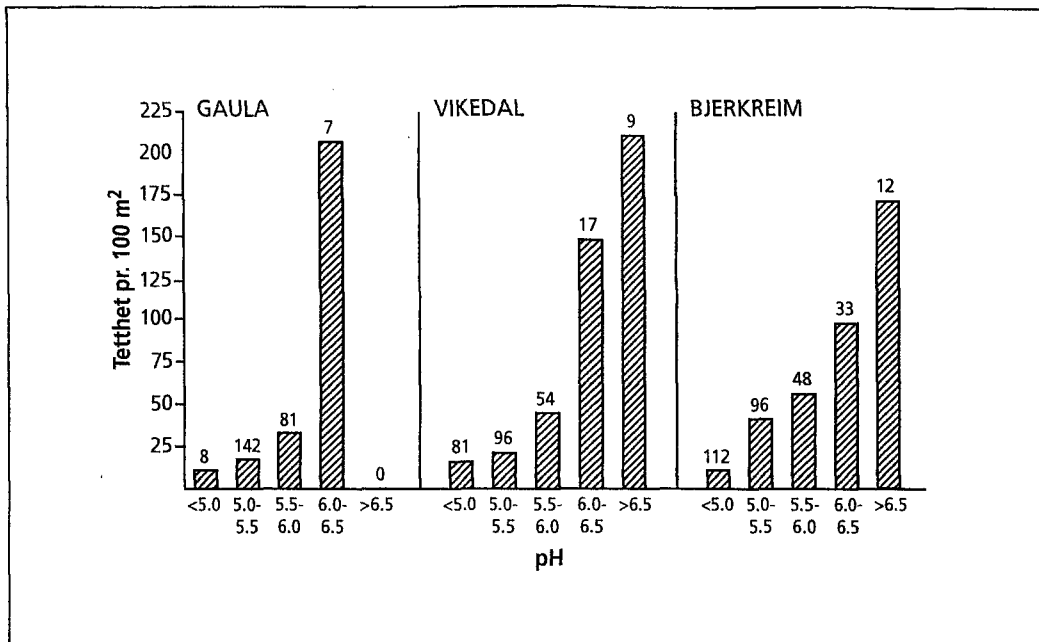
Vi fant en klar økning i tettheten av aureunger med økende Ca/pH forhold, dvs når innholdet av kalsium øker relativt til pH (**figur 3**). De mest sure og ionefattige bekkene (Ca²⁺:H⁺ forholdet < 5,0) hadde lave tettheter i alle tre vassdragene.

De multiple regresjonsanalysene med vannkjemi og habitat som uavhengige variabler, viste at konsentrasjonen av kalsium bidro mest til å forklare variasjonen i fisketettheten i både Gaular (75 %) og Vikedal (54 %), **tabell 4**. Andre vannkemiske variabler som inngikk modellen var Mg og alkalitet i Gaular og nitrat i Vikedal. I Bjerkreim var pH best relatert til fisketettheten, men forklaringsgraden var betydelig mindre enn i de to andre vassdragene ($r^2 = 0,25$). Habitatet synes å ha liten betydning for tettheten av aure i bekker i de tre vassdragene ($r^2 = 0,01-0,04$). Likningene som uttrykker tettheten av aure som en funksjon av ulike vannkemiske parametre og habitatets beskaffenhet er vist i **tabell 4**.

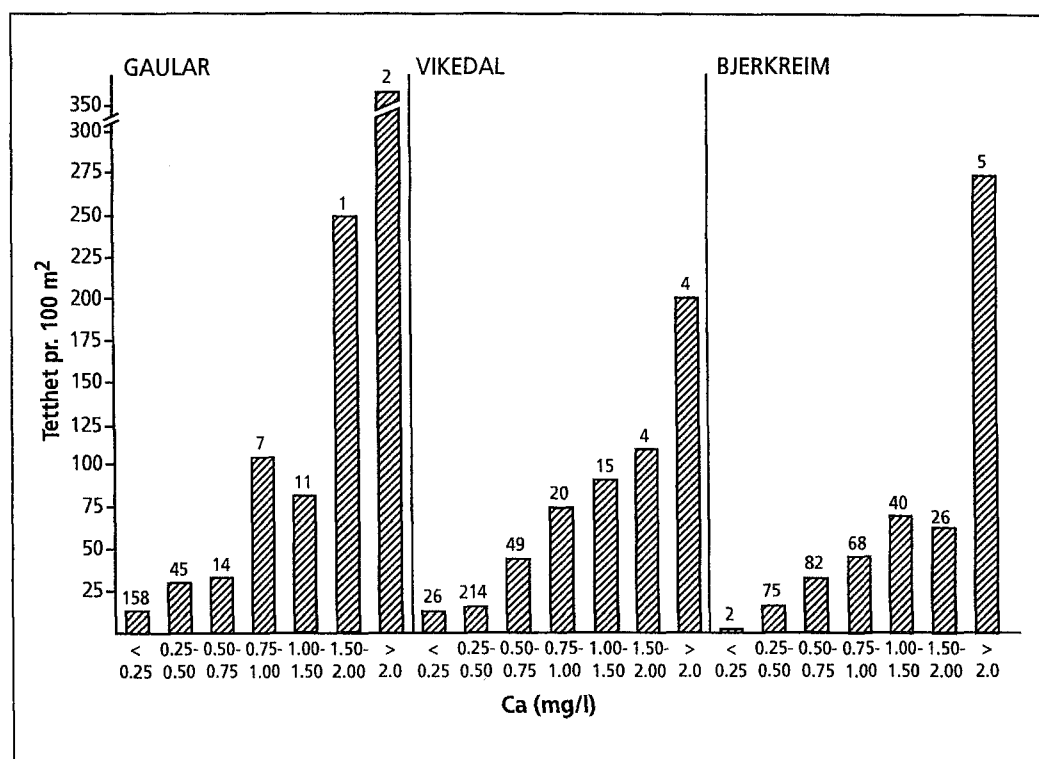
Estimatet for total fisketetthet ett år er til en viss grad avhengig av tettheten i tidligere år fordi det også inkluderer eldre fisk ($\geq 1+$). Vi gjennomførte derfor regresjoner basert på gjennomsnittlig tetthet av fisk for hver lokalitet gjennom hele forsøksperioden i forhold til gjennomsnittlige verdier for pH, Ca og Ca²⁺:H⁺ (**tabell 5**). Også disse analysene viste at Ca var sterkest relatert til tettheten av aureunger i alle tre vassdragene. Videre ga Ca²⁺:H⁺ forholdet relativt høye regresjonskoeffisienter; for total fisketetthet varierte de mellom 0,39-0,73.

Tabell 3. Gjennomsnittlig verdier, \pm standard avvik ($x \pm SD$) og min og max-verdi for noen vannkjemiske variabler i bekker i Gaular, Vikedal og Bjerkreim. Al_a = totalt syrereaktivt Al, Al_r = totalt monomert Al, Al_o = ikke-labilt monomert Al (organiske komplekser) og Al_l = labilt monomert (uorganiske komplekser) Al. N = antall prøver.

| Variabler | Enhet | Gaular | | | Vikedal | | | Bjerkreim | | |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----|--------------------|----------------|-----|---------------------|----------------|-----|
| | | $x \pm SD$ | Min-Max | N | $x \pm SD$ | Min-Max | N | $x \pm SD$ | Min-Max | N |
| pH | | 5,51 \pm 0,41 | (4,74-6,50) | 238 | 5,25 \pm 0,38 | (4,65 - 6,66) | 333 | 5,31 \pm 0,52 | (4,51 - 6,83) | 298 |
| Alkalitet | $\mu\text{eq l}^{-1}$ | 5,69 \pm 3,80 | (0,00-98,82) | 238 | 4,92 \pm 19,18 | (0,00-262,25) | 333 | 8,87 \pm 23,50 | (0,00-219,77) | 298 |
| Ca | mg l^{-1} | 0,35 \pm 0,39 | (0,07-2,71) | 238 | 0,52 \pm 0,42 | (0,14-3,55) | 333 | 0,84 \pm 0,56 | (0,17-5,00) | 298 |
| Mg | mg l^{-1} | 0,12 \pm 0,09 | (0,03-0,59) | 238 | 0,26 \pm 0,13 | (0,08-1,16) | 333 | 0,55 \pm 0,24 | (0,17-1,48) | 298 |
| Na | mg l^{-1} | 0,84 \pm 0,47 | (0,35-3,42) | 238 | 1,63 \pm 0,50 | (0,67-3,55) | 333 | 3,40 \pm 1,18 | (1,36-8,40) | 298 |
| K | mg l^{-1} | 0,13 \pm 0,15 | (0,02-1,17) | 238 | 0,14 \pm 0,43 | (0,01-7,64) | 333 | 0,22 \pm 0,18 | (0,03-1,88) | 298 |
| SO ₄ | mg l^{-1} | 1,16 \pm 0,63 | (0,42-4,58) | 338 | 2,31 \pm 0,69 | (1,17-5,86) | 333 | 3,19 \pm 0,86 | (0,68-6,83) | 298 |
| Cl | mg l^{-1} | 1,18 \pm 0,73 | (0,36-5,26) | 238 | 2,52 \pm 1,00 | (0,84-8,91) | 333 | 6,01 \pm 2,56 | (2,20-18,90) | 298 |
| NO ₃ | $\mu\text{g l}^{-1}$ | 50,58 \pm 133,37 | (1,00-1130,00) | 238 | 67,75 \pm 121,29 | (1,00-1416,00) | 333 | 157,61 \pm 124,83 | (1,00-1021,92) | 298 |
| Al _r | $\mu\text{g l}^{-1}$ | 60,53 \pm 52,11 | (10,00-297,00) | 136 | 85,52 \pm 43,01 | (13,00-208,00) | 191 | 90,34 \pm 43,48 | (11,00-195,00) | 195 |
| Al _a | $\mu\text{g l}^{-1}$ | 30,71 \pm 27,14 | (5,00-155,00) | 136 | 50,68 \pm 28,41 | (3,00-149,00) | 191 | 60,36 \pm 38,37 | (1,00-175,00) | 195 |
| Al _o | $\mu\text{g l}^{-1}$ | 22,35 \pm 25,89 | (1,00-138,00) | 136 | 28,48 \pm 21,93 | (1,00-107,00) | 191 | 17,10 \pm 14,23 | (1,00-59,00) | 195 |
| Al _l | $\mu\text{g l}^{-1}$ | 8,40 \pm 5,44 | (1,00-29,00) | 136 | 22,22 \pm 13,00 | (1,00-57,00) | 191 | 43,36 \pm 34,53 | (1,00-167,00) | 195 |
| TOC | mg l^{-1} | 2,90 \pm 4,07 | (0,09-43,00) | 136 | 2,27 \pm 1,19 | (0,00-7,29) | 191 | 1,95 \pm 0,69 | (0,81-4,31) | 195 |
| Farge | mgPt l^{-1} | 1,28 \pm 23,50 | (1,00-122,00) | 238 | 14,41 \pm 12,90 | (1,00-92,00) | 333 | 8,35 \pm 5,21 | (1,00-35,00) | 298 |
| Turbiditet | FTU | 0,59 \pm 0,63 | (0,15-4,80) | 238 | 0,49 \pm 0,34 | (0,12-3,00) | 333 | 0,50 \pm 0,32 | (0,11-2,50) | 298 |
| Si | mg l^{-1} | 0,44 \pm 0,46 | (0,08-2,81) | 171 | 0,41 \pm 0,33 | (0,11-2,21) | 242 | 0,67 \pm 0,42 | (0,02-3,38) | 240 |

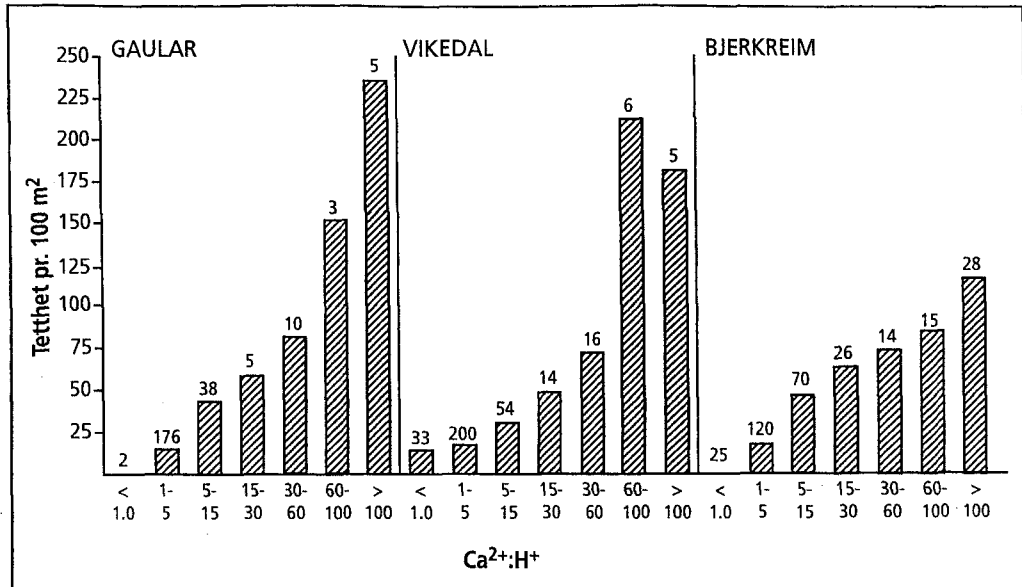


Figur 1. Tettheten av aureunger i bekker i Gaular, Vikedal og Bjerkreim i forhold til ulike nivåer av pH. Tallene over søylene angir antall elfiskeregistreringer gjennom forsøksperioden.



Figur 2. Tettheten av aureunger i bekker i Gaular, Vikedal og Bjerkreim i forhold til ulike nivåer av kalsium. Tallene over søylene angir antall elfiskeregistreringer gjennom forsøksperioden.

Figur 3. Tettheten av aureunger i bekker i Gaular, Vikedal og Bjerkreim i forhold til ulike nivåer av $Ca^{2+}:H^+$.



Tabell 4. Bidraget av ulike parametre uttrykt som regresjonskoeffisienter (r^2) fra multiple regresjonsanalyser mellom habitat- og vannkvalitetsvariabler og tettheten av aureunger i bekker i Gaular, Vikedal og Bjerkreim. is = ingen signifikant korrelasjon. SD = standard avvik. Modellene er; **Gaular:** Tetthet-en = $413,9 \cdot Ca - 749,2 \cdot Mg - 0,2 \cdot H\ddot{o}yde - 7,2 \cdot Temp - 2,3 \cdot Alk + 3,1 \cdot Vanndyp$ SD + 119,2. **Vikedal:** Tettheten = $107,7 \cdot Ca - 0,2 \cdot NO_3 + 6,3 \cdot Temp - 91,8$. **Bjerkreim:** Tettheten = $43,7 \cdot pH + 47,7 \cdot Si + 64,6 \cdot Mg + 68,1 \cdot K - 204,0$.

| Variabler | Gaular | Vikedal | Bjerkreim |
|--------------------|--------|---------|-----------|
| Ca | 0,75 | 0,54 | is |
| Mg | 0,03 | is | 0,02 |
| K | is | is | 0,01 |
| NO_3 | is | 0,12 | is |
| pH | is | is | 0,25 |
| Alkalitet (Alk) | 0,02 | is | is |
| Si | is | is | 0,04 |
| Vanndyp SD | 0,01 | is | is |
| Høyde | 0,04 | 0,02 | is |
| Temperatur | 0,01 | is | is |
| Modellen (r^2) | 0,86 | 0,68 | 0,32 |

Tabell 5. Regresjonskoeffisienter (r^2) fra lineære regresjoner mellom gjennomsnittlige verdier for Ca, pH og $Ca^{2+}:H^+$ forholdet og gjennomsnittlige tettheter av yngel, parr, samt total tetthet i bekker i Gaular-, Vikedal- og Bjerkreimsvassdragene fra 1987-93.

| Vassdrag | Variabel | Yngel | Parr | Totalt |
|-----------|---------------|-------|------|--------|
| Gaular | Ca | 0,55 | 0,43 | 0,62 |
| | pH | 0,10 | 0,10 | 0,12 |
| | $Ca^{2+}:H^+$ | 0,69 | 0,40 | 0,73 |
| Vikedal | Ca | 0,40 | 0,62 | 0,54 |
| | pH | 0,70 | 0,09 | 0,18 |
| | $Ca^{2+}:H^+$ | 0,23 | 0,68 | 0,38 |
| Bjerkreim | Ca | 0,54 | 0,50 | 0,60 |
| | pH | 0,13 | 0,08 | 0,13 |
| | $Ca^{2+}:H^+$ | 0,33 | 0,40 | 0,39 |

5 Diskusjon

Det er en betydelig variasjon i vannkvaliteten i de tre undersøkte vassdragene. Gaular har svært ionefattig vann med lavt innhold av kalsium, men pH var noe høyere enn i de to andre vassdragene. Bekkene i Bjerkreim hadde høyest innhold av kalsium, men også laveste pH. Deposisjon av sulfat er betydelig lavere i Gaular enn i de to andre vassdragene, og er derfor minst påvirket av forsuring. Dette er i overensstemmelse med regionale forskjeller i overskridelser av tålegrenser for overflatevann (Henriksen et al. 1996).

Vannkvaliteten synes å ha en mye større betydning for tettheten av aureunger i de tre undersøkte vassdragene enn habitatets beskaffenhet. Dette tyder på at vannets innhold av labilt aluminium og konsentrasjon av H^+ begrenser tettheten av fisk (se også Hesthagen et al. 1998). Resultatet av de multiple regresjonsanalysene viste at innholdet av kalsium var den beste forklaringsvariabelen for fisketettheten i de to mest ionefattige vassdragene; Gaular og Vikedal. Dette innebærer at kalsium bidrar mest til å forklare variasjonen i auretettheten mellom bekker med samme surhetsgrad. De stegvise multiple regresjonsanalysene viste at andre faktorer enn kalsium bare i bedret modellen. I Gaular var forklaringsgraden til kalsium hele 75 %, men den var også relativt høy i Vikedal (54 %). Bekker i Bjerkreimsvassdraget hadde størst innhold av kalsium, men her var pH best korrelert med fisketettheten ($r^2 = 0,25$).

Den giftige virkningen av høye konsentrasjoner av uorganisk Al og H^+ på fisk skyldes effekten på membran-permeabiliteten, noe som kan forårsake forstyrrelser av fiskens ioneregulering (Wood & McDonald 1987). Funksjonen til kalsium er trolig relatert til utvekslingen av ioner over gjellene, en mekanisme som er følsom for endringer i vannets kalsiuminnhold (McWilliams 1980, 1982). Eksperimentelle studier har vist at konsentrasjoner av kalsium under 1,0 mg/l gir høy dødelighet hos aureyngel i surt vann. Innholdet av kalsium i Gaular- og Vikedalsvassdraget, og i enkelte bekker i Bjerkreim, er derfor innen det kritiske nivået hvor en kan forvente økt dødelighet hos aureunger. Reaksjonen er imidlertid avhengig av pH idet overlevelsen ved en bestemt Ca-konsentrasjon avtar med avtakende pH. Det er derfor relevant å uttrykke kalsium/pH forholdet i en parameter ($Ca^{2+}:H^+$), og den ga også relativt høy forklaringsgrad mht fisketettheten. Bortsett fra i Vikedal, ble det ikke fanget aureunger i bekker med et $Ca^{2+}:H^+$ forhold $< 1,0$. I eksperimentelle studier er det også funnet økt overlevelse hos egg av aure med økende $Ca^{2+}:H^+$ forhold (Turpenny 1992).

Det er også vist at de tre vassdragene har forskjellig forhold mellom ANC (syre-nøytraliserende kapasitet) og tettheten av aureunger (Hesthagen 1997). Denne vassdragspesifikke responsen skyldes trolig forskjeller i vannkvalitet og tålegrenser for overflatevann. Selv om Gaularvassdraget har lav bufferkapasitet, er konsentrasjonen av sulfat i avrenningsvannet betydelig lavere her enn i de to andre vassdragene. Gaularvassdraget har derfor en høyere tåle-

grense for overflatevann enn de to andre vassdragene (Henriksen et al. 1996). Modellen for forholdet mellom fisketetthet og ANC forutsier 50 aureunger pr. 100 m² ved ANC-verdier på 1,8, 7,3 og 12,4 $\mu\text{ekv/l}$ i henholdsvis Bjerkreim, Vikedal og Gaular. Bekker i Bjerkreim kan følgelig opprettholde samme fisketettheten som de i Gaular ved en lavere ANC-verdi. Dette skyldes trolig at bekker i Bjerkreim har høyere innhold av hovedkationene som inngår i ANC (Ca, Mg, Na og K) enn bekker i Gaular (Hesthagen 1997). Vann med et høyere innhold av kationer resulterer i mindre fysiologisk stress hos fisken (Wood & McDonald 1987). Det er også mulig at fisken er genetisk tilpasset vannkvalitetene i sine vassdrag (Dalziel et al. 1995), noe som eventuelt påvirker forholdet mellom fisketettheten og ANC.

6 Referanser

- Andersson, B. & Andersson, P. 1984. The distribution of trout (*Salmo trutta* L.) in relation to pH - an inventory of small streams in Delsbo, central Sweden. - Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 61: 28-33.
- Baker, J.P. & Schofield, C.L. 1980. Aluminum toxicity to fish as related to acid precipitation and Adirondack surface water quality. - I: Drabløs, D. & Tollan, A., red. Ecological impact of acid precipitation. Proc. Int. Conf., Sandefjord, Norway, March 11-14, 1980. SNSF project, NISK, 1432 Ås, Norway, s. 292-293.
- Bohlin, T., Hamrin, S., Heggberget, T.G., Rasmussen, G. & Saltveit, S.J. 1989. Electrofishing - theory and practice with special emphasis on salmonids. - Hydrobiologia 173, 9-43.
- Brown, D.J.A. 1983. Effect of calcium and aluminum concentrations on the survival of brown trout (*Salmo trutta*) at low pH. - Bull. Environ. Contam. Toxicol. 30, 582-587.
- Brown, D.J.A. & Lynam, S. 1981. The effect of sodium and calcium concentrations on the hatching of eggs and the survival of yolk sac fry of brown trout, *Salmo trutta* L. at low pH. - J. Fish Biol. 19, 205-211.
- Carlsson, U. & Johansson, T. 1988. Effects of aluminium and calcium on the survival and reproduction of brown trout (*Salmo trutta* L.) in two acidified streams. - Inform. Inst. Freshw. Res. Drottningholm, Rep. 11-1988. 21 s.
- Crisp, D.T. & Carling, P.A. 1989. Observations on siting, dimensions and structure of salmonid redds. - J. Fish Biol. 34, 119-134.
- Dalziel, T.R.K., Morris, R. & Brown, D.J.A. 1986. The effects of low pH, low calcium concentrations and elevated aluminium concentrations on sodium fluxes in brown trout, *Salmo trutta* L. - Water, Air, and Soil Poll. 30, 569-577.
- Dalziel, T.R.K., Kroglund, F., Lien, L. & Rosseland, B.O. 1995. The refish (Restoring endangered fish in stressed habitats) project, 1988-1994. - Water, Air and Soil Pollut. 85, 321-326.
- Driscoll, C.T.Jr, Baker, J.P., Bisogni, J.J.Jr & Schofield, C.L. 1980. Effect of aluminium speciation on fish in dilute acidified waters. - Nature 284, 161-164.
- Fausch, K.D. 1984. Profitable stream positions for salmonids: relating specific growth rate to net energy gain. - Can. J. Zool. 62, 441-451.
- Harriman, R., Morrison, B.R.S., Caines, L.A., Collen, P. & Watt, A.W. 1987. Long-term changes in fish populations of acid streams and lochs in Galloway southwest Scotland. - Water, Air, and Soil Pollut. 32, 89-112.
- Heggenes, J. 1988. Substrate preferences of brown trout fry (*Salmo trutta*) in artificial stream channels. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45, 1801-1806.
- Heggenes, J. 1989. Physical habitat selection by brown trout (*Salmo trutta*) in riverine systems. - Nordic J. Freshw. Res. 64, 74-90.
- Heggenes, J. 1996. Habitat selection by brown trout (*Salmo trutta*) and young Atlantic salmon (*S. salar*) in streams: static and dynamic hydraulic modelling. - Reg. Rivers: Res. & Manage. 12, 155-169.
- Heggenes, J. & Saltveit, S.J. 1990. Seasonal and spatial microhabitat selection and segregation in young Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *S. trutta* L. in a Norwegian river. - J. Fish Biol. 36, 707-720.
- Henriksen, A., Hindar, A. & Styve, H. 1996. Forsuring av overflatevann - beregningsmetodikk, trender og mottiltak. - Naturens Tålegrenser, Fagrapport. 81, 46 s.
- Hesthagen, T. 1997. The density of young brown trout (*Salmo trutta*) in streams of different acid-neutralizing capacity in three acidic softwater river systems in South Norway. - I: Aoyama, K., Katoh, K., Murano, T., Paces, T & Taguchi, Y., red. Acid Snow and Rain. Proc. Int. Congress of Acid Snow and Rain 1997, Niigata University, Niigata, Japan, s. 728-733.
- Hesthagen, T. & Forseth, T. 1998. Reversibility of acidification in Norwegian watersheds: are brown trout (*Salmo trutta* L.) populations recovering? - Verh. Int. Verein. Limnol. (I trykk).
- Hesthagen, T., Lien, L. & Sevaldrud, I.H. 1986. Fiskeundersøkelser i innsjøer. - I: Gaularvassdraget. Nedbør-, vannkjemiske - og biologiske undersøkelser i 1984. s. 73-102. Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 248/86.
- Hesthagen, T., Larsen, B.M., Berger, H.M & Forseth, T. 1998. Effects of water chemistry and habitat on the density of young brown trout *Salmo trutta* in acidic streams. - Water, Air and Soil Pollut. (I trykk).
- Howells, G.D. 1983. Acid water - the of low pH and acid associated factors on fisheries. - Adv. Appl. Ecol. 9, 143-255.
- Hutchinson, N.J., Holtze, K.E., Munro, J.R. & Pawson, T.W. 1987. Lethal responses of salmonid early life stages to H⁺ and Al in dilute waters. - I: Witters, H. & Vanderborcht, O., red. Ecophysiology and acid stress in aquatic organisms. Ann. Soc. Roy. Zool. Belgique, Vol. 117, s. 201-217. (Supplement 1).
- Kalleberg, H. 1958. Observations in a stream tank of territoriality and competition in juvenile salmon and trout (*Salmo salar* L. and *S. trutta* L.). - Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 39, 55-98.
- Maitland, P.S. 1987. The status of fish in streams associated with lochs vulnerable to acid deposition in Scotland. - I Maitland, P.S., Lyle, A.A. & Campbell, R.N.B., red. Acidification and fish in Scottish lochs. Institute of Terrestrial Ecology, Natural Environmental Research Council, Scotland, 54-63.
- McWilliams, P.G. 1980. Effects of pH on sodium uptake in Norwegian brown trout (*Salmo trutta*) from an acid river. - J. Exp. Biol. 88, 259-267.
- McWilliams, P.G. 1982. The effects of calcium and sodium fluxes in the brown trout, *Salmo trutta*, in neutral and acid water. - J. Exp. Biol. 96, 439-442.

- Muniz, I.P. & Leivestad, H. 1980. Toxic effects of aluminium on the brown trout, *Salmo trutta* L. - I: Drabløs, D. & Tollan, A., red. Ecological impact of acid precipitation Proc. Int. Conf., Sandefjord, Norway, March 11-14, 1980. SNSF project, NISK - 1432 Ås, Norway, s. 320-321.
- Nøst, T. & Schartau, A. K. 1996. Kjemisk overvåking av vassdrag. Elveserien 1995. - NINA Oppdragsmelding 446: 1-37.
- Sadler, K. & Lynam, S. 1988. The influence of calcium on aluminium-induced changes in the growth rate and mortality of brown trout, *Salmo trutta* L. - J. Fish Biol. 33, 171-179.
- Schofield, C.L. & Trojnar, J.R. 1980. Aluminum toxicity to brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in acidified waters. - I: Toribara, T.Y., Miller, M.W. & Morrow, P.E., red. Polluted Rain. New York: Plenum Press, s. 341-362.
- Shirvell, C.S. & Dungey, R.G. 1983. Microhabitats chosen by brown trout for feeding and spawning in rivers. - *Trans. Am. Fish. Soc.* 112, 355-367.
- Turnpenny, A.W.H. 1989. Field studies on fisheries in acid waters in the United Kingdom. - I: Morris, R., Taylor, E., Brown, D.J. A. & Brown, J.A., red. Acid toxicity and aquatic animals. Cambridge: Cambridge University Press, s. 45-65.
- Turnpenny, A.W.H. 1992. The history of the Loch Fleet fishery and fresh water quality for fish and other aquatic fauna. - I: Howells, G. D. & Dalziel, T.R.K., red. Restoring acid waters: Loch Fleet 1984-1990. London and New York: Elsevier Applied Science, s. 39-73.
- Turnpenny, A.W.H., Dempsey, C.H., Davis, M.H. & Fleming, J.M. 1988. Factors limiting fish populations in the Loch Fleet system, an acidic drainage system in south-west Scotland. - J. Fish Biol. 32, 101-118.
- Wood, C.M. & McDonald, D.G. 1987. The physiology of acid/aluminium stress in trout. - I: Witters, H. & Vanderborght, O., red. Ecophysiology of acid stress in aquatic organisms. *Ann. Soc. Roy. Zool. Belgique* 117, s. 399-410. (Supplement 1).
- Zippin, C. 1958. The removal method of population estimation. - *J. Wildl. Manage.* 22, 82-90.
- Tørseth, K. 1996. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1995. - Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 663/96, 189 s.

ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-0920-9

534

NINA
OPPDRAKS-
MELDING

NINA Hovedkontor
Tungasletta 2
7005 TRONDHEIM
Telefon: 73 80 14 00
Telefax: 73 80 14 01

NINA
Norsk institutt
for naturforskning