

# NINA Minirapport 250

## Gjenoppbygging av Kværnum Kraftverk i Lenaelva: Anbefalinger om tekniske løsninger og avbøtende tiltak

Morten Kraabøl  
Jon Museth



Kraabøl, M. & Museth J. 2009. Gjenoppbygging av Kværnum Kraftverk i Lenaelva: Anbefalinger om tekniske løsninger og avbøtende tiltak - NINA Minirapport 250. 18 s.

Lillehammer, februar 2009

**RETTIGHETSHAVER**

© Norsk institutt for naturforskning

**TILGJENGELIGHET**

Upublisert

**PUBLISERINGSTYPE**

Digitalt dokument (pdf)

**ANSVARLIG SIGNATUR**

Prosjektleder Morten Kraabøl (sign.)

**OPPDRAKSGIVER(E)**

Kværnum Energi AS

**KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER**

Gunner Myhren (Eidsiva Vannkraft AS)

**NØKKEWORD**

Lenaelva, Østre Toten kommune, Oppland fylke, mjøsørret, minstevannføring, fisketrapp, oppvandring, nedvandring

NINA Minirapport er en enklere tilbakemelding til oppdragsgiver enn det som dekkes av NINAs øvrige publikasjonsserier. Minirapporter kan være notater, foreløpige meldinger og del- eller sluttresultater. Minirapportene registreres i NINAs publikasjonsdatabase, med internt serienummer. Minirapportene er ikke søkbare i de vanlige litteraturbasene, og følgelig ikke tilgjengelig på vanlig måte. Således kan ikke disse uten videre refereres til som vitenskapelige rapporter.

**KONTAKTOPPLYSNINGER**

**NINA hovedkontor**

7485 Trondheim  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 73 80 14 01

**NINA Oslo**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 22 60 04 24

**NINA Tromsø**

Polarmiljøseneteret  
9296 Tromsø  
Telefon: 77 75 04 00  
Telefaks: 77 75 04 01

**NINA Lillehammer**

Fakkeltgården  
2624 Lillehammer  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 61 22 22 15

[www.nina.no](http://www.nina.no)

# Innhold

<b>Innhold .....</b>	<b>3</b>
<b>Bakgrunn .....</b>	<b>4</b>
Beskrivelse av Lenaelva .....	4
Om begrunnelsen for NVEs avslag på konsesjonssøknaden ....	5
<b>Tiltak: begrunnelser og tekniske løsningsforslag.....</b>	<b>6</b>
PS 1: Samløpet mellom regulert elveleie og driftsvann fra kraftverket.....	6
PS 2: Minstevannføringsstrekningen.....	8
PS 3: Fisketrappene ved Kværnum.....	9
PS 4: Effektene av en permanent tilgang til 30 km elvestrekning til gyting og oppvekst.....	10
PS 5: Returvandring hos smolt og utgytt ørret .....	10
Kværnums demningsrettigheter i Lenaelvas nedbørfelt.....	13
<b>Konklusjoner og anbefalinger .....</b>	<b>14</b>
<b>Referanser .....</b>	<b>15</b>

## Bakgrunn

Kvænum Energi AS søkte Norges Vassdrags og Energidirektorat (NVE) om konsesjon til gjenoppbygging av Kvænum Kraftverk i oktober 2006. Søknaden ble avslått i november 2008. Avslaget ble i stor grad begrunnet med at søker ikke hadde tatt tilstrekkelig hensyn til forhold som er relevante for størreireten i Lenaelva.

Ingen av høringsinstansene gikk klart i mot gjenoppbyggingen av Kvænum kraftverk. Fiskebiologiske innvendinger ble gitt av Østre Toten kommune, Lenaelva Fiskeforening og Fylkesmannen i Oppland. Samlet sett er det samsvar mellom NVEs begrunnelser for avslag og de fiskebiologiske betenknninger som ble anført av de nevnte høringsinstanser.

Kvænum Energi AS ønsker å fremme en anke overfor NVE, og engasjerte derfor NINA Lillehammer til å fremskaffe et faglig basert rammeverk for om og hvordan mjøsørretens vandring og reproduksjon kan opprettholdes på en tilfredsstillende måte i Lenaelva etter eventuell gjenoppbygging av kraftverket ved Kvænum.

Denne rapporten utreder de aktuelle problemene som en eventuell etablering av Kvænum kraftverk vil påføre mjøsørret. Disse problemene omfatter:

- 1) samløp mellom driftsvannstunnel og minstevannføring (forbivandring),
- 2) regulert elvestrekning (reduert gyte- og oppvekstareal),
- 3) fisketrapp (oppvandring),
- 4) inntaksmagasin og andre forhold i tilknytning til dette (bl.a. nedvandring av utgytt mjøsørret, samt smolt).

Utredningen omfatter i tillegg internasjonale erfaringer med tilsvarende problemstillinger, samt konkrete anbefalinger vedrørende tekniske løsninger og relevante tiltak for å sikre mjøsørret i Lenaelva.

## Beskrivelse av Lenaelva

Lenavassdraget i Østre og Vestre Toten kommune drenerer et nedbørfelt på 292 km<sup>2</sup>. Den midlere vannføringen ved Lenaelvas utløp i Mjøsa er estimert til 4,5 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (Kjellberg 1993). De største vårflommene gir vannføringer opp til 40 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, mens regnflokker om sommeren og høsten sjelden overstiger 20-30 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Sommervannføringen kan underskride 0,3 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> i lengre perioder om sommeren og tidlig om våren før vårfloppen.

Vannkvaliteten i elva har i flere år vært såpass dårlig at den har begrenset ørretproduksjonen. Industrivirksomhet, dårlig fungerende kommunale renseanlegg og andre tilførsler av næringsalter og annen forurensning var særlig stor på 1970- og 1980-tallet (Skaala et al. 1991, Kjellberg 1992). Forholdene har forbedret seg mye etter at kommunen iverksatte tiltak for å bedre forholdene (Andersen 2000).

Elva har en naturlig mjøsørretførende strekning på om lag 1,5 km. Kvænumsfossen er fra naturens side et vandringshinder for gytevandrende mjøsørret. Nedenfor Kvænum er det en fisketrapp ved Peter Aas-dammen i Skreia. Denne trappa driftes godt av Lenaelvas Fiskeforening (LFF), og gir grunnlag for både bestandsovervåkning og fangst av stamfisk (Westli & Rustadbakken 2006). De to fisketrappene ved Kvænum åpner ytterligere 30 km elvestrekning for ørretproduksjon, og dette gjør at Lenaelva har potensial til å bli den tredje lengste størreiretførende strekningen blant tilløpselvene til Mjøsa. Disse fisketrappene ble etablert tidlig på 1970-tallet, men har ikke blitt driftet tilfredsstillende. Det har årlig blitt registrert lange perioder uten vannføring i trappa, og i tillegg er det ikke på flere år utført nødvendige opprenskningsarbeidet i

den nederste trappa. Disse fisketrappene har derfor kun hatt en sporadisk funksjonalitet, og har derfor vært en betydelig flaskehals i systemet gjennom flere tiår. Det er imidlertid kjent at det passerer mjøsørret gjennom disse trappene når det slippes vann i oppvandringssesongen (T. Håkensbakken, pers.medd.). Ved Håjendammen er det også bygd en fisketrapp. Det er til sammen fire fisketrapper i Lenaelva, hvorav de to ved Kværnum bruk har en nøkkelfunksjon med hensyn til å øke den storrettførende strekningen.

## Om begrunnelsen for NVEs avslag på konsesjonssøknaden

NVE begrunner sitt avslag med at gjenoppbygging av Kværnum kraftverk vil ha negative konsekvenser for rekruttering og overlevelse til storretbestanden i Lenaelva, og at kravet i Vannressurslovens § 25 dermed ikke er oppfylt. Av spesifikke innvendinger nevnes at det gjennomførte elfisket på den planlagte regulerte strekningen ikke ble gjennomført slik at en estimering av bestanden kunne gjennomføres. Videre ble ikke vurderingene av minstevannføringsalternativene ansett som faglig tilstrekkelige for å sikre overlevelse av rogn og yngel. Det ble også uttrykt tvil om den foreslåtte minstevannføringen på  $0,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  fra Fylkesmannen var tilstrekkelig til å ivareta rekrutteringen. Det ble også påpekt at samløpet mellom driftsvannsutslippet og minstevannføringen kunne føre til at storretten ble forhindret videre tilgang til ovenforliggende fisketrapper og gyteområder.

Ut i fra generelle fiskebiologiske vurderinger anses avslaget å være godt begrunnet i etablert fagkunnskap om disse tema. Med utgangspunkt i avslagets begrunnelse foretas det en gjennomgang av de påpekte problemene i sett i lys av internasjonale erfaringer og de lokale forholdene i Lenaelva. Tiltakene som presenteres er justert slik at de etter beste faglig skjønn vil redusere eller eliminere de negative effektene som gjenoppbyggingen av Kværnum kraftverk vil påføre storretten i Lenaelva. I tillegg legges det vekt på at regulær drift av fisketrappene ved Kværnum vil utvide den storrettførende strekningen av Lenaelva med 30 km, noe som tilsvarer en tjuedobling av den storrettførende strekningen i Lenaelva. Imidlertid vil oppvandring av gytefisk forbi Kværnum medføre betydelig økt rekruttering av ørretunger, noe som gir behov for å sikre nedvandring av ørretsmolt og returvandring av utgytt storret forbi turbininntaket og regulert elvestrekning. Det gis derfor også en utredning av disse tilleggsproblemene sammen med konkrete forslag til tiltak som vil sikre nedstrøms funksjonalitet etter en eventuell utbygging av Kværnum kraftverk.

## Tiltak: begrunnelser og tekniske løsningsforslag

Med bakgrunn i NVEs begrunnelse for avslag på konsesjonssøknaden foretas en identifikasjon og beskrivelse av problemstillinger (PS) som er relevante i forbindelse med planene om gjenoppbygging av et kraftverk med slukeevne på  $3,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Det presenteres også tekniske løsningsforslag ved hvert av de beskrevne problemstillingene, samt internasjonale erfaringer med tilsvarende problemstillinger i regulerte vassdrag.

### PS 1: Samløpet mellom regulert elveleie og driftsvann fra kraftverket

#### Problembeskrivelse

Samløp mellom minstevannføring og driftsvann fra kraftverk representerer i mange tilfeller et alvorlig problem for oppvandrende gytefisk. Gytefisken kan bli forsinket i samløpsområdet fordi den tiltrekkes av driftsvannsutslippet og deretter søker mot en vandringshindring. I verste fall kan gytefisken bli forhindret videre oppvandring, og tvinges til å gyte på alternative gyteområder nedenfor samløpet. Dette kan medføre stor opphopning av gytefisk på begrensede områder med dårlig kvalitet, betydelig grad av overgraving og redusert utnyttelse av ovenforliggende gyte- og oppvekstområder. Årsaken til slike forsinkelser eller avbrudd i oppvandringen tilskrives som regel forskjellene i vannføring mellom driftsvannsutslippet og minstevannføringen. Som regel er driftsvannføringen (tunnelutløp) høyere enn i det naturlige elveleiet (minstevannføring), og gytevandrerne søker derfor i stor grad mot denne kunstige vannveien som de ikke har mulighet til å passere. Problemets omfang synes å være relatert til forholdstallet mellom drifts- og minstevannføringen, og forsøk har vist at en kortvarig forandring i dette forholdstallet i favør av vannføringen på den regulerte strekningen har vært et effektivt tiltak for å sikre forbivandring i samløpsområder (Arnekleiv & Kraabøl 1996).

Det synes fullt mulig å iverksette presise tiltak for å redusere dette problemet. Det er en stor fordel at den nedstrøms beliggende fisketrappa ved Peter Aas-dammen har daglig tilsyn med fiskeoppgangen. Oppvandringen av gytefisk mot samløpet og minstevannføringsstrekningen kan derfor angis helt presist. Dette betinger daglig kontakt mellom driftsansvarlig personell fra Kværnum og fisketrappa ved Peter Aas-dammen. Oppvandring av gytefisk er størst i august, september og første halvdel av oktober. Tiltakene knyttet til oppvandringsforhold ved driftsvannsutløpet er derfor hovedsakelig begrenset til denne tiden på året.

Kværnum kraftverk ligger inntil Lenaelva i elvas yttersving. Under normale vannføringsforhold vil hovedstrømmen gå inntil driftsvannsutslippet. Dette betyr at gytevandrende ørret med stor sannsynlighet vil bli direkte eksponert for driftsvannsutslippet og dermed få forsinket eller forhindret forbivandring. Dette gjelder i særlig grad perioder hvor vannføringen i Lenaelva er lavere enn  $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . I slike tilfeller vil driftsvannføringen være vesentlig høyere enn vannføringen på den regulerte strekningen. Ved høyere totalvannføringer i Lenaelva er det liten grunn til å tro at driftsvannsutslippet vil forsinke eller forhindre gytevandrende ørret. Det bemerkes også at gytevandringens intensitet normalt er størst ved flomperioder. En forstyrrende faktor i denne sammenheng er fisketrappen ved Peter Aas-dammen nedenfor Kværnum. Denne fisketrappen vil antakeligvis forsinke ørretoppgangen såpass mye at innsiget fra Mjøsa under flomperioder vil bli betydelig forsinket ved Kværnum. Dette betyr at oppvandringen av ørret forbi driftsvannsutslippet vil foregå når flommene er over eller i returfasen.

#### Forslag til tiltak

To tiltak er aktuelle for å sikre forbivandring av ørret ved driftsvannsutslippet fra Kværnum kraftverk. Det første tiltaket vil spre driftsvannet ut i mindre vannveier ut i elva, slik at attrak-

sjonseffekten reduseres. Det andre tiltaket reduserer driftsvannføringen i perioder hvor oppvandringen av gytefisk er intens.

Tiltaksalternativ 1: Etablering av lukket vannbasseng for driftsvannet. Det mures opp en ringmur av betong rundt driftsvannsutslippet slik at driftsvannføringen munner ut i dette bassenget. Vannspeilet i bassenget bør ha en overhøyde på om lag 2 meter i forhold til vannstanden i Lenaelva under naturlig sommervannføring. Vannføringen over bassengkanten vil til enhver tid tilsvare driftsvannføringen. Dette overløpet på inntil  $3,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  foreslås ledet gjennom flere mindre skår i betongkrona, etter samme prinsipp som fisketrappet med kulper. Denne vannføringen kan deretter ledes i en svakt skrånende betongkanal som støpes på utsiden av damkrona. Herfra kan vannet slippes ned i Lenaelva gjennom flere ulike hull i betongkanalen. Fallhøyden fra disse hullene og ned til elva bør være minst 1,5 meter, og ikke under 1 meter. På denne måten vil driftsvannet spres ut gjennom flere mindre vannveier ut i elva. Disse vannveiene må konstrueres slik at de sperrer for oppgang av ørret.

Toppen på betongkrona må være såpass høy at flomvannstander i Lenaelva ikke overskrider denne høyden. Under befaringen av kraftverket den 20. januar 2009 ble det opplyst at vannstanden i elva aldri har overskredet dagens gulvnivå i kraftverket. Det foreslås derfor at et eventuelt nytt kraftverk bygges et par meter høyere opp, og at ringmurens høyde tilsvarer en høyde som ligger om lag en meter høyere enn dagens gulvnivå på kraftverket. I tillegg bør konstruksjonen ta høyde for at høydeforskjellen til enhver tid vil være så stor at vannveiene ikke gir oppvandringssmulighet for ørret. Dersom ørret ved enkelte anledninger skulle komme opp i bassenget vil skårene i betongdemningen gi muligheter til å vandre ut igjen til elva.

Det bemerkes at vannbassengets høyde vil gi tilsvarende reduksjon av fallhøyden til driftsvannet.

Tiltaksalternativ 2: Redusert driftsvannføring i oppgangsperioden. Intense oppgangsperioder for ørret vil registreres i fisketrappa ved Peter Aas-dammen. Dersom oppgangen er stor i perioder hvor totalvannføringen er lavere enn  $6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  bør driftsvannføringen reduseres såpass mye at den til enhver tid er like stor eller lavere enn vannføringen på den regulerte strekningen. Dette vil sannsynligvis gi gode passeringssmuligheter for gytevandrende ørret i slike perioder. En optimal vannhusholdning og oppnåelse av tilsiktet effekt betinger god dialog med driftsansvarlig for fisketrappa ved Peter Aas-dammen. Behovet for redusert driftsvannføring i slike perioder er direkte betinget av fiskeoppgangen i denne nedstrøms beliggende fisketrappa. For å oppnå denne fleksibiliteten i driftsvannføringen bør det velges aggregat som kan kjøres på tilstrekkelig lave vannføringer.

## **Internasjonale erfaringer**

Oppstrøms vandring av laksefisk i regulerte vassdrag blir i varierende grad påvirket av etablering av nye vannveier, endrede vannføringsforhold, demninger og fiskepassasjer av ulike typer (Linnik et al. 1998). Utløp av driftsvann fra turbinene i kraftverk kan også påvirke oppvandringssuksessen (Andrew & Geen 1960, Brayshaw 1967, Arnekleiv & Kraabøl 1996). Tunnelutløp fra kraftverk kan skape problemer for oppvandrende gytefisk på to måter. For det første er vannstrømmen fra tunnelutløpet kjent for å tiltrekke seg oppvandrende fisk. Problemet synes å være særlig stort dersom utløpstunnelen former en kanal ut i elveleiet (Carlsson et al. 1996, Perä & Karlstrøm 1996, Rivinoja et al. 2001, Thorstad et al. 2003). Mekanismene bak denne tiltrekningen synes derfor å være relatert både til morfologiske forhold ved samløpet mellom driftsvann og minstevannføring, samt forskjellen i vannføring mellom de to vannveiene (for eksempel Arnekleiv & Kraabøl 1996, Thorstad et al. 2003). For det andre er den videre oppvandringen gjennom en regulert elvestrekning påvirket fordi minstevannføringen både er lav og konstant. Både størrelsen og variasjonene i vannføringen virker gunstig inn på oppvandring av laksefisk på gytevandring (Jonsson 1991). Det er likevel registrert at stor ørret kan fortsette

oppvandringen gjennom regulerte elvestrekninger ved lave og konstante vannføringer (Arnekleiv & Kraabøl 1996). Det største utfordringene ved tunnelutløp synes derfor å være knyttet til utforming og vannføringsforskjeller i forhold til minstevannføringen.

## PS 2: Minstevannføringsstrekningen

### Problembeskrivelse

Minstevannføringsstrekningen er en viktig gyte- og oppvekstlokalitet for ørret i Lenaelva (Nashoug 2006). Selv om strekningen er relativt kort (170 m), er den relative betydningen av denne strekningen trolig svært stor for gyting og oppvekst av mjøsørret i Lenaelva. Redusert vannføring på denne strekningen reduserer tilgjengelig gyte- og oppvekst areal. NVE påpeker i sitt avslag at elfiskeundersøkelsene viste at minstevannstrekningen hadde høy tetthet av ungfisk, men at den gjennomførte metodikken ikke ga grunnlag for å estimere bestandstettheten. Nye undersøkelser kan ikke gjennomføres innen ankefristen, og det foreslås derfor at minstevannføringsstrekningen kategoriseres som svært viktig. Dette begrunnes med de høye tetthetene som ble funnet ved første gangs overfisking, og at strekningen ligger like nedenfor en kjent og viktig gytelokalitet (Storhølen). I tillegg er det grunn til å anta at dette i dag er øverste del av naturlig gytstrekning for storørret, og at betydelige mengder gytefisk vil samle seg opp i Storhølen utover høsten. Dette gjelder i særlig grad tidligere år, hvor fisketrappa har vært ute av drift i store deler av oppgangsperiodene. Selv om fisketrappa settes i regulær drift vil det sannsynligvis være en viss opphopning av gytefisk i Storhølen som vil gyte på den regulerte strekningen. Minstevannføringsstrekningen bør derfor gis høy prioritet for å bevare den naturlige rekrutteringen til mjøsørretbestanden i Lenaelva.

### Forslag til tiltak

Effekten av ulike minstevannføringsregimer vil avhenge av en rekke lokale faktorer, bl.a. hvordan vanddekt areal endrer seg med ulike vannføringer, hyppighet og hastighet av vannføringsendringer og is-/sarrdannelse vinterstid. Det foreligger ikke tilstrekkelig grunnlag til å vurdere effekten av endret minstevannføring fra  $0,33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  til  $0,43 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  som er henholdsvis GLB's og NVE's beregning av alminnelig lavvannføring. Man må riktignok kunne anta at en økning i vannmengden ved såpass lave vannføringer vil ha en positiv effekt på den biologiske produksjonen. Minstevannføringen bør i sin helhet slippes ut fra inntaksdemningen, og det bør ikke foretas vurderinger at eventuelt resttilsig nedenfor inntaksdemningen.

Som skissert vil en funksjonell fisketrapp og nedvandringsrute i forbindelse med Kværnum kraftverk sikre mjøsørreten tilgang (og returmultipliciteter) til 30 km elvestrekning. Den planlagte minstevannføringsstrekningen er i dag av svært stor verdi for mjøsørreten i Lenaelva – bl.a. pga. gunstige bunnforhold og en opphopning av gytefisk pga. et mer eller mindre permanent vandringshinder oppstrøms. Denne strekningen vil trolig fortsatt ha stor verdi etter gjenoppbygging av Kværnum kraftverk, men man må kunne anta at den relative betydningen for rekruttering til mjøsørretbestanden trolig vil reduseres ved gjennomføring av de foreslåtte tiltakene. Dette betinger selvsagt at fisketrapper og nedvandringsruter vil fungere tilfredsstillende.

Med nåværende kunnskapsgrunnlag om minstevannføringsstrekningen er det ikke faglig forsvarlig å fastsette en differensiert minstevannføring som sikrer rogn og ulike ungfiskstadier. Det anbefales derfor at søker forplikter seg til en kalibrerende prøveperiode med ulike minstevannføringer gjennom året med påfølgende fiskeribiologiske undersøkelser i en tre-femårsperiode etter eventuell utbygging. Vanddekt areal og is- og sarrdannelse bør undersøkes ved ulike vannføringer i en slik periode.



## Internasjonale erfaringer

Det er vinterens laveste vannføring som er størst betydning for overlevelsen til fisk på regulert elvestrekning (Gibson & Myers 1988; Cunjak et al. 1998). Kalibrering av minstevannføringen er derfor helt sentralt, men det er også avgjørende at man unngår episoder med lavere vannføring enn minstevannføringen. Raske vannstandsendringer, for eksempel ved oppstart av kraftverk ved lave vannføringer kan føre til stranding av fisk. Denne risikoen avhenger imidlertid av hastigheten på nedtappingen og elvas morfologi (Halleraker et al. 2003, 2005, Harby et al. 2004). Raske vannstandsendringer har også vist å kunne ha negativ effekt på bunndyr (Stanley et al. 1994).

## PS 3: Fisketrappene ved Kværnum

### Problembeskrivelse

Den nederste fisketrappa er om lag 20 meter lang og gir vandringsmuligheter forbi et mindre fall på om lag 3 meter nedenfor Kværnumsfossen. Trappas beliggenhet gjør at de åpne kulpene raskt fylles opp av stein- og grusmasser under flommer. Dette reduserer oppvandringsforholdene i betydelig grad, og krever årlig tilsyn og opprensingsarbeid. Dette arbeidet omfatter løfting av store mengder masse, og må utføres maskinelt. Tilgangen til trappa med heisekran er god fra Kværnums eiendom, og kan derfor enkelt utføres ved å løfte masse opp fra kulpene og slippe de ut i elva ved siden av trappa.

Den øverste fisketrappa er 80 meter lang og gir oppvandrende ørret tilgang til en 30 km lang elvestrekning ovenfor Kværnumsfossen. Ørret som passerer fisketrappa kommer ut i den nedgravde kulverten som fører driftsvannet fra inntaksdammen i elva og ned til inntakshuset som fører vannet videre til røret som leder vannet ned til kraftstasjonen. Kulvertens fall ved fisketrappas ende er lav, slik at ørreten ikke har problemer med å svømme motstrøms 40-50 meter gjennom kulverten og ut i Lenaelva gjennom et grovmasket gitter ovenfor inntaksdemningen.

### Forslag til tiltak

Denne tekniske løsningen kan fungere for oppvandrende ørret, men representerer stor risiko for nedvandrende ørretsmolt. Det anbefales derfor en ombygging av den øvre delen av trappa slik at fisketrappa munner direkte ut i inntaksdammen ved siden av turbininntaket. Argumentasjonen for denne ombyggingen presenteres i avsnittet om nedvandring av smolt og utgytt ørret.

I øvre del av fisketrappa bør det bygges en fiskefelle bestående av et fangstkammer og en hvilekum. All oppvandrende fisk bør registreres med dato og tidligere merkenummer før de slippes ut i hvilekummen. Det antas at all oppvandrende ørret i trappa ved Kværnum har blitt registrert og merket i fisketrappa nedenfor Kværnum. Fangstregistrering i fisketrappa ved Kværnum vil derfor gi direkte informasjon om andelen av gytevandrerne som tar i bruk den 30 km lange strekningen ovenfor Kværnum, samt andel som gyter nedenfor Kværnum. Årlig rapport over oppvandringen bør sendes til kommunen og fylkesmannen.

I tillegg til denne overvåkningsfunksjonen bør det fanges et utvalg stamfisk hvert år fra fiskefella ved Kværnum. Dette vil bidra til å avle på ørret som er hjemmehørende i øvre del av elva, og dermed øke andelen langtvandrende gytefisk i gytebestandene.

## Internasjonale erfaringer

Kunstig etablerte fiskepassasjer har vært brukt i flere hundre år for å bedre fiskens muligheter til å passere naturlige eller menneskeskapte hindre (DeLachenade 1931; Nemenyi 1941). I de

fleste tilfellene har passasjene blitt konstruert med tanke på oppvandrende laksefisk med stor svømme- og hoppekapasitet. Varierte konstruksjoner har blitt etablert med ulik grad av funksjonalitet (Clay 1995; Laine et al. 2002; Larinier 1998; 2002). Fallgradienten i fiskepassasjer for oppvandrende fisk er en avgjørende faktor fordi den i stor grad bestemmer vannhastigheten. Den vanligste fallgradienten i kulpetrapp for laksefisk varierer mellom 1:4 og 1:9. Fallhøyden mellom kulpene i laksetrapp er gjerne 30 cm, og vannhastigheten mellom kulpene er gjerne  $2,4 \text{ m s}^{-1}$  eller høyere (Mallen-Cooper 1989; Clay 1995). Forsøk med lavere fallgradienter, mellom 1:18 og 1:32, og med vannhastigheter under  $1,4 \text{ m s}^{-1}$  har vist seg langt mer effektive for å øke antall arter som passerer trappene (Mallen-Cooper 1994; Barrett & Mallen-Cooper 2006). I tillegg vil slike moderate fallgradienter og vannhastigheter gi økt mulighet for passasje av ung og umoden fisk på nærings- eller overvintringsvandring. Fisketrappens fallgradient og utforming er også avgjørende for dannelsen av turbulens i trappekulpene. Turbulens skapes av energien i det innfallende vannet i hver kulp, samt hvilke muligheter kulpene gir for absorpsjon av denne energien. Denne fallenergien betegnes som energifordelingsfaktor (EFF) og måles som Watt pr.  $\text{m}^3$  ( $\text{W m}^{-3}$ ). For laksefisk anbefales om lag  $200 \text{ W m}^{-3}$  (Bell 1973) mens for karpfiskarter anbefales EFF ned mot  $125 \text{ W m}^{-3}$  (Larinier et al. 2002; Katopodis 1981). Småvokste innlandsfiskearter i Australia har en øvre EFF-grense på  $92 \text{ W m}^{-3}$  og svak turbulens for vellykket passasje (Mallen-Cooper 1999; Stuart & Mallen-Cooper 1999). Studier har vist at lav passeringseffektivitet i fisketrapp har vært knyttet til dimensjonene på trappekanalen. Vannvolumet har gjerne vært lavt i kombinasjon med at maksimalverdiene på vannhastigheten har vært høy (Mader et al. 1998; Aarestrup et al. 2003; Knaepkens et al. 2005). Spesielt viktig er forholdet mellom vannføring og fisketrappens bredde (VF/BR). Dette forholdet bør ikke overstige  $0,1 - 0,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ . Dersom dette tallforholdet fordobles vil det redusere artsdiversiteten gjennom fiskepassasjen (Gebler 1998). Andre faktorer som reduserer artsdiversiteten gjennom fisketrapp er den totale lengdeutstrekningen (Slatick & Basham 1985; Clay 1995; Calles & Greenberg 2005).

## **PS 4: Effektene av en permanent tilgang til 30 km elvestrekning til gyting og oppvekst**

En funksjonell fisketrapp med kontinuerlig vannslipp i oppgangsperioden vil gi storørreten permanent tilgang til 30 km elvestrekning som tidligere kun sporadisk har vært tilgjengelig. Dette vil gi en svært omfattende økning i Lenaelvas produksjon av mjøsørret. Det forventes at antall gytevandrerne fra Mjøsa og opp i Lenaelva vil øke betydelig i løpet av få år som følge av dette, med tilsvarende ringvirkninger på storørretfisket i elva. Denne elvestrekningen er ikke bonitert med hensyn til egnethet ørretproduksjon, men den representerer mer enn en tjuedobling av Lenaelvas naturlige gyte- og oppvekststrekning. Gytefiskens tilgang til denne strekningen vil derfor med stor sannsynlighet gi positive effekter som langt overgår de negative konsekvensene av opprustingen av kraftverket. Dette forutsetter imidlertid at ørretens passasje forbi Kværnumsfossen sikres, og at dagens kultiveringsstrategi og fiskeutsettinger tar hensyn til dette.

## **PS 5: Returvandring hos smolt og utgytt ørret**

### **Problembeskrivelse**

Nedstrøms vandring av ørret i Lenaelva foregår både etter gyting om høsten og om våren under vårflommen, og omfatter både utgytt voksen ørret og smolt. Sikring av returvandringmulighetene for ørret i ulike livsfaser er av meget stor betydning for bestandens størrelse, struktur og livshistoriestrategi. Det antas at størstedelen av gytefisk returnerer til Mjøsa etter gytingen, slik tilfellet er i Brumunda (Rustadbakken et al. 2004). I større gyteelver, som for eksempel Gudbrandsdalslågen, overvintrer om lag halvparten av gytefisk i dype partier av elva, mens den andre halvparten søker seg ut umiddelbart etter gyting (Arnekleiv et al. 2007, Kraabøl et al. 2008). Ørret som gyter to eller tre ganger i løpet av livet vil nesten alltid være av

de største individene i gytebestanden, og dermed meget attraktive som sportsfiskeobjekter. Det er gjerne disse største individene som former fiskeelvenes attraktivitet og status blant fiskere. En fraksjon av størørreten i Lenaelva gyter, i likhet med andre mjøsørretstammer, to eller flere ganger i løpet av livsløpet (Westly & Rustadbakken 2006). Andelen flergangsgytere i gytepopulasjonene vil i tillegg til dødelighetsfaktorer under mjøsoppholdet avhenge av returvandringmulighetene i gyteelvene. Utvandringen av smolt fra gyteelva om våren er i betydelig grad avhengig av funksjonelle nedvandningsveier forbi reguleringsinngrepene. Selv om mange forhold under mjøsoppholdet kan redusere andelen kjønnsmodne ørreter er smoltutvandringen den faktoren knyttet til elva som i størst grad virker inn på størrelsen på fremtidige gytebestander. Reguleringsinngrep som medfører etablering av kunstige og farlige vannveier eller barrierer kan i stor grad redusere bestandene av vandrende fisk i regulerte vassdrag som følge av økt dødelighet påført av turbinpassasje (Coutant & Whitney 2000; Travade & Larinier 2007, Ferguson 2008, Ferguson et al. 2008).

### **Tiltak: Voksen utgytt ørret**

Dersom fisketrappa fungerer etter hensikten, vil en betydelig andel av den årlige gytepopulasjonen passere fisketrappa og gyte ovenfor inntaksdammen. Etter gytingen vil de fleste av disse starte tilbakevandringen til Mjøsa etter hvert som de avslutter gytingen i september og oktober. Ved inntaksmagasinet til kraftverket utsettes disse returvandrende ørretene for et valg mellom to vannveier; over demningen og videre nedover det naturlige elveleiet eller gjennom turbininntaket. Dagens situasjon med felles vanninntak for både turbiner og fisketrapp medfører at sannsynligheten er relativt stor for at utgytt ørret vil velge denne vandningsveien. Spesielt gjelder dette ved moderate vannføringer i elva, da avledningseffekten forårsaket av vannstrømmer i inntaksbassenget vil bli betydelig. Hvorvidt inntaksrista mellom inntaksbassenget og turbintilførselen er funksjonelt avsperrert i form av ei rist er usikkert. Under befaringen den 20. januar 2009 var tilgangen til inntakshuset forhindret som følge av snø og frost, og lysåpningen på denne rista er derfor ikke kjent. Dette er et kritisk punkt for returvandrende voksen fisk fordi det er overhengende fare for å havne i turbinen dersom rista ikke forhindrer nedvandring. Rista er for øvrig plassert noen meter nedstrøms vanninntaket til fisketrappa, slik at ørret som eventuelt blir stanset av rista ikke presenteres for en alternativ nedvandningsvei. Det er fullstendig mørkt i denne passasjen til enhver tid, og det foreligger ingen kunnskap om hvordan sammenhengen mellom fiskestørrelse og lysåpning på rista vil forholde seg i slike situasjoner. Det er grunn til å tro at mangel på lys medfører at denne sammenhengen blir preget av fysiske forhold fremfor unnvikende atferdsmessige forhold.

For å redusere sannsynligheten for nedvandring gjennom turbinene bør inntaksdammen modifieres med tanke på nedstrøms fiskepassasje. Damkrona er tilnærmet horisontal, noe som medfører at overløpsvann blir fordelt over hele elvebredden. Det bør etableres en forsenkning i damkrona på samme sida av elva som turbininntaket, slik at nedvandrende ørret ledes mot et konsentrert utløp. Erfaringer fra andre regulerte elver har vist at samlokalisering av turbininntak og flomløp gjennom overflateluker gir best effekt fordi nedvandrende fisk i hovedsak følger hovedstrømmen i elva ned til dette stedet. Nærhet til et tilnærmet naturlig vandningspassasje over damkrona anses derfor som meget viktig. Forsøk med returvandrende voksen ørret ved Hundfossen viste at terskelverdien for nedvandring over terskler var en vannsøyle på minst 12 cm. Det anbefales derfor at det foretas beregninger av sammenhengen mellom vannføring og bredden på forsenkningen, slik at vannsøylen sjelden underskrider 12-15 cm. Vannføringen om høsten er som regel lav, og denne tilpasningen er derfor av stor betydning for å sikre tiltakets funksjonalitet.

Et annet tiltak som vil redusere faren for nedvandring av utgytt fisk gjennom turbinene er at fisketrappa bygges om slik at den ikke inkluderer den nedgravde tilførselskulverten som vandningsvei. Fisketrappa bør enten legges i egen tunnel under veien, eller eventuelt legges under brua og opp til inntaksdammen på samme side som turbininntaket og forsenkningen i damkrona. Dermed kan det settes inn ei rist foran turbininntaket i inntaksdammen som virker

hindrende eller modifierende på graden av nedvandring gjennom turbinene. Lysåpningen på denne rista bør ikke overskride 4-5 cm. Den samlede effekten av disse tiltakene vil redusere passasjen av voksen fisk gjennom turbinene og øke sjansene for at nedvandringen foregår gjennom forsenkningen på damkrona. Disse tiltakene er i tråd med internasjonal kunnskap fra vassdrag med tilsvarende problemstillinger.

### **Tiltak: Smoltutvandring**

Smoltutvandringen skjer om våren og forsommeren. På denne tiden av året er vannføringen betydelig høyere enn om høsten. Problemet med markant vannstrøm inn til turbinene er derfor relativt liten. I tillegg vil ei inntaksrist med lysåpning på 4-5 cm virke til dels hindrende eller forsinkende på passasje, og dette øker sannsynligheten for at nedvandrende smolt fortsetter nedvandringen over dammens forsenkning.

Et tiltak som med stor sannsynlighet vil redusere risiko for turbininnvandring er heving av vannstanden i inntaksdammen. Dette vil medføre at turbininntaket i større grad blir neddykket. Forsøk ved Hunderfossen har vist at neddykkede vandringsveier ikke benyttes av ørretsmolt. En heving av vannivået i inntaksdammen vil dessuten kompensere for redusert fallhøyde i forbindelse med etablering av basseng foran driftsvannutløpet ved kraftstasjonen. Ut i fra en fiskeribiologisk vurdering er det derfor ingen betenkeligheter ved å heve damkrona med 1,5 meter, bortsett fra at resipientkulpen for vannet fra forsenkningen i damkrona bør gjøres litt dypere, slik at eventuelle fallskader på fisken unngås.

### **Internasjonale erfaringer**

I de senere år har forskningen på fiskepassasjer inntatt et mer holistisk syn på fiskevandring. Fra en ensrettet fokusering på oppvandring foreligger det et økende antall studier som tar hensyn til at mållartene i fisketrapper ofte er flergangsgytende (O'Connor et al. 2007, Agosthino et al. 2007, Kraabøl & Museth 2007), og dermed er avhenging også av nedstrøms vandring. Nedstrøms passasje av fisketrapper, damluker og terskler kan skade fiskene i form av friksjonssår, øyeskader, blødninger og i verste fall dødsfall (Bell & DeLacy 1972). Telemetri-studier har også vist at fisk kan opptre nølende og unnvikende ved slike nedstrøms passasjer (Kynard & Buerkett 1997, Aarestrup & Koed 1998, Jepsen et al. 1998, Haro et al. 2000, Behrmann-Godel & Eckmann 2003, Arnekleiv et al. 2006). Til en viss grad har denne nølingen vist seg å være relatert til utformingen av terskelens øvre strukturer (O'Connor et al. 2007). Nølende nedvandring over terskler er satt i sammenheng med flere fysiske forhold som varierer med konstruksjonen av tersklene og øvrige omgivelser. Raskt akselererende vannhastighet, skarpe kontraster mellom lys og mørke, minkende areal og vannvolum i kombinasjon med akselererende vannhastighet, visuelle oppfatninger av terskelen hos fisk og trykk- og lydbølger som genereres av tekniske innretninger ved passasjepunktet er forhold som kan medvirke til nøling hos nedvandrende fisk (Haro et al. 1998, Coutant & Whitney 2000, Behrmann-Godel & Eckmann 2003). Avbøtende tiltak for ørretsmolt kan i denne sammenheng være økt vannføring, lysmanipulering og redusert turbulens ved terskelen (Haro et al. 1998). Videre har det vist seg at avrundete og jevne terskeltopper gir lavere grad av nøling enn skarpe og kantede utforminger (Haro et al. 1998).

Returvandring hos utgytt fisk omfatter den samme elvestrekningen som oppvandringen, men hindringene skal passeres til en annen tid på året og fra den motsatte retningen. En god ivaretagelse av flergangsgytende arter i regulerte elver krever derfor en utvidet forståelse av den tidsmessige og romlige skalaen som omfatter hele vandringssyklusen i elvene (Kraabøl et al. 2009, akseptert manuskript). Returvandringen skjer etter gytingen mens gytefisken er utmagret (Jonsson et al. 1991), og den er derfor sårbar for forsinkelser og ufrivillig overvintring i elva (Arnekleiv et al. 2007). Synkronisering av fysiologisk tilstand og returvandringstidspunkt hos gytefisken er viktige faktorer som påvirker overlevelsen, og er ansett som viktige for overlevel-

sen av anadrom laksefisk (Venditti et al. 2000, Budy et al. 2002, Schaller & Patrosky 2007). For storørreten i Lenaelva er det synkronisering i forhold til fysiologisk tilstand og tilgang til byttefisk i Mjøsa som er av stor betydning fordi dette vil rekondisjonere fiskene i større grad enn overvintring i en kald elv uten tilgang på næring gjennom vinteren. Rask rekondisjonering etter gytingen øker overlevelsen i betydelig grad (Wingfield 1976, Hatch et al. 2004). Økt overlevelse under returvandring omfatter tiltak som reduserer eller forhindrer innvandring av fisk gjennom turbinene (Coutant & Whitney 2000, Wertheimer & Evans 2005), slipp av overflatevann over dammer og luker i synkroni med ankomst av returvandrere (Wertheimer 2007, Arnekleiv et al. 2007). Fangst og nedstrøms transport med kjøretøy er ansett som nødvendige tiltak i noen vassdrag med flergangsgytende arter (Evans et al. 2008).

## **Kværnums demningsrettigheter i Lenaelvas nedbørfelt**

Kværnum har demningsrettigheter i Grønsjøen, Bergssjøen og Lønsjøen på Totenåsen. Kværnums eierandel i disse rettighetene er 5/8. Demningsrettighetene gir mulighet for oppdemming og tilbakeholdelse av magasin vann i disse vannene. Dette åpner muligheten til å slippe kunstige lokkeflommer i perioder hvor det er nødvendig. I tillegg kan det brukes som kompensierende vannmengde for å begrense perioder med redusert drift i kraftverket i august og september.

## Konklusjoner og anbefalinger

1. Gjenoppbygging og drift av et elvekraftverk med slukeevne på inntil  $3,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  ved Kværnum bruk kan gjennomføres med betydelige positive virkninger på storørretbestanden i Lenelva dersom de skisserte tiltakene som omfatter samløpet mellom driftsvann og regulert elvestrekning, fisketrapper, damkrona og turbininntaket gjennomføres og virker etter sin hensikt.
2. Samløpet mellom driftsvann og minstevann har potensial til å forhindre eller forsinke videre oppvandring av gytemoden storørret. Dette problemet kan reduseres eller elimineres ved at regulanten a) bygger et basseng med om lag 2 meters høydeforskjell fra utløpet av driftsvannet til elva under normal sensommervannføring. Alternativt bør regulanten b) nedjustere driftsvannføringen slik at den blir lik vannføringen på den regulerte strekningen i perioder med oppvandring av storørret.
3. Den daglige eller ukentlige oppgangen av storørret i fisketrappa ved Peter Aasdammen i Skreia bør danne grunnlaget for når det er behov for nedjustering av driftsvannføringen gjennom kraftverket (ved alternativ b, se pkt. 2).
4. De to fisketrappene ved Kværnum har en nøkkelrolle for å gi storørreten regulær tilgang til ytterligere 30 km elvestrekning. Disse trappene bør renskes og driftes slik at de gir gode passasjemuligheter for oppvandrende storørret.
5. Den øvre fisketrappa bør bygges om slik at den får et eget vanninntak fra inntaksdammen. I øvre del av denne trappa bør det bygges en fiskefelle.
6. Det bør slippes maksimal vannføring i fisketrappa i perioden fra den første storørreten har passert fisketrappa ved Peter Aasdammen og ut oktober. Pålagt minstevannføring bør for øvrig slippes som forbitapping fra inntaksdammen i perioder som fisketrappa ikke er i drift.
7. Fordeling av gytefisk på den 30 km lange elvestrekningen ovenfor Kværnumfossen vil trolig medføre en betydelig økning i produksjonen av storørret i Lenaelva sammenlignet med tidligere år hvor fisketrappene ved Kværnum har vært tørrlagte gjennom store deler av somrene.
8. For å forbedre returvandring av smolt og utgytt storørret bør det lages en forsenkning i damkrona på samme side som turbininntaket, slik at forbitappingen blir konsentrert, og dermed egnet til nedstrøms passasje av stor fisk.
9. Turbininntaket fra inntaksdammen bør sperres for nedvandring av smolt og utgytt storørret ved å installere et gitter over med lysåpning på 4-5 cm over inntakshullet.
10. Det vurderes som fordelaktig dersom vannspeilet i inntaksdammen heves med 1-2 meter. Dette fører til økt neddykking av turbininntaket, og vil trolig bidra til å redusere nedvandring av ørret gjennom turbinene.

## Referanser

- Aarestrup, K. & Koed, A. 2003. Survival of migrating sea trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts negotiating weirs in small Danish rivers. *Ecology of Freshwater Fish* 12; 169-176.
- Aarestrup, K., Lucas, M.C. & Hansen, J.A. 2003. Efficiency of a nature-like bypass channel for sea-trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT-telemetry. *Ecology of Freshwater Fish* 12; 160-168.
- Agosthino, A.A., Marques, E.E., Agosthino, C.S., De Almeida, D.A., de Oliviera, R.J. & de Melo, J.R. 2007. Fish ladder of Lajedo Dam: migration on one-way routes? *Neotropical Ichthyology* 5; 121-130.
- Andersen, K. 2000. Lenavassdraget. Statusrapport 1999. *Østre Toten kommune*.
- Andrew, F.J. & Geen, G.H. 1960. Sockeye and pink salmon production in relation to proposed dams in the Fraser River system. *Bulletin of the international Pacific Salmon Fisheries Commission* 11; 10-30.
- Arnekleiv, J.V. & Kraabøl, M. 1996. Migratory behaviour of adult fast-growing brown trout *Salmo trutta* L. in relation to water flow in a regulated Norwegian river. *Regulated Rivers: Research & Management* 12; 39-49.
- Arnekleiv, J.V., Kraabøl, M. & Museth, J. 2007. Efforts to aid downstream migrating brown trout (*Salmo trutta* L.) kelts and smolts passing a hydroelectric dam and a spillway. *Hydrobiologia* 582; 5-15.
- Barret, J. & Mallen-Cooper, M. 2006. The Murray River's 'Sea to Hume Dam' fish passage program: progress to date and lessons learned. *Ecological Management and Restoration* 7; 173-183.
- Behrmann-Godel, J. & Eckmann, R. 2003. A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla*) in the River Mosel, Germany. *Ecology of Freshwater Fish* 12; 196-202.
- Bell, M.C. 1973. *Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria*. Portland Oregon: Fisheries-Engineering Research Program, Corps of Engineers, North Pacific Division, 290 s.
- Bell, M. & DeLacy, A. 1972. A compendium on the survival of fish passing through spillways and conduits. Fisheries Engineering Research Program, US Army Engineers Division, North Pacific Corps of Engineers, Portland Oregon.
- Brayshaw, J.D. 1967. The effects of river discharge on inland fisheries. I: Isaac, P.G. (red.): *River management*. London, MacLaren, s. 102-118.
- Budy, P., Tiede, G.P., Bouwes, N., Petrosky, C.E. & Schaller, H. 2002. Evidence linking delayed mortality of Snake River salmon to their earlier hydrosystem experience. *North American Journal of Fisheries Management* 22; 35-51.
- Calles, E.O. & Greenberg, L.A. 2007. The use of two nature-like fishways by some fish species in the Swedish River Emån. *Ecology of Freshwater Fish* 16; 183-190.
- Carlsson, U., Lundqvist, H. Eriksson, T. & Nilsson, J. 1996. Lekvandring hos Vindelälvlax i Umeälvens nedre del. Redovisning av telemetriforsøken i 1995. Länsstyrelsen i Västerbotten, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen for Vattenbruk. PM 1996-01-28.
- Clay, C.H. 1995. *Design of fishways and other fish facilities*. Boca Raton: Lewis Publishers, CRC Press Inc., side 248.
- Coutant, C.C. & Whitney, R.R. 2000. Fish behaviour in relation to passage through hydropower turbines: a review. *Transactions of the American Fisheries Society* 129; 351-380.
- Cunjak, R.A., Prowse, T.D. & Parrish, D.L. 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: The season of parr discontent"? *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* 55 (suppl. 1): 161-180.
- DeLachenade, S. 1931. Le saumon dans les Gaves et les échelles à poissons. (The salmon of the Gave Rivers and the fish passes). *Bulletin Francaise de Pisciculture* 4; 97-102.
- Evans, A.F., Wertheimer, R.H., Keefer, M.L., Boggs, C.T., Peery, C.A. & Collis, K. 2008. Transportation of steelhead kelts to increase iteroparity in the Colombia and Snake rivers. *North American Journal of Fisheries Management* 28: 1818-1827.

- Ferguson, J.W. 2008. Behavior and survival of fish migrating downstream in regulated rivers. *Doctoral thesis*, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Faculty of Forest Sciences, Department of Wildlife, Fish and Environmental Studies, Umeå, 2008: 23, 60 sider + vedlegg.
- Ferguson, J.W., Ploskey, G.R., Leonardsen, K., Zabel, R.W. & Lundqvist, H. 2008. Combining turbine blade-strike and life cycle models to assess mitigation strategies for fish passing dams. *Canadian Journal of Aquatic Sciences* 65; 1568-1585.
- Gebler, R.-J. 1998. Examples of near-natural fish passes in Germany: drop structure conversions, fish ramps and bypass channels. I: (Red.: Jungwirth, M., Schmutz, S. and Weiss, S.). *Migration and fish bypasses*. Cambridge: Fishing News Book, side 363-383.
- Gibson, R.J. & Myers R.A. 1988. Influence of seasonal river discharge on survival of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* 45; 344-348.
- Halleraker, J.H., Johnsen, B.O., Lund, R.A., Sundt, H., Forseth, T. & Harby, A. 2005. Vurdering av stranding av ungfisk i Surna ved utfall av Trollheimen kraftverk i august 2005. SINTEF Teknisk Rapport TR A6220. 37 s.
- Halleraker, J.H., Saltveit, S.J., Harby, A., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P. & Kohler, B. 2003. Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream, *Journal of River Research and Applications* 19; 589-203.
- Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J.V., Flodmark, L.E.W., Halleraker, J.H., Johansen, S. & Saltveit, S.J. 2004. Raske vannstandsendringer i elver – virkninger på fisk, bunndyr og begroing. – SINTEF Teknisk Rapport. 39 s.
- Haro, A., Odeh, M., Noreika, J. & Castro-Santos, T. 1998. Effect of water acceleration on downstream migratory behaviour and passage of Atlantic salmon smolts and juvenile American shad at surface bypasses. *Transactions of the American Fisheries Society* 127; 118-127.
- Haro, A., Castro-Santos, T. & Boubee, J. 2000. Behaviour and passage of silver-phase American eels, *Anguilla rostrata* (LeSueur), at a small hydroelectric facility. *Dana* 12; 33-42.
- Hatch, D., Branstetter, Rwhiteaker, J., Blodgett, J. Bosch, B., Fast, D. & Newsome, T. 2004. Kelt reconditioning: a research project to enhance iteroparity in Columbia basin steehead (*Oncorhynchus mykiss*). Bonneville Power Administration, Report DOE/BP-00004185-5, Portland, Oregon
- Jepsen, N., Aarestrup, K., Økland, F., & Rasmussen, G. 1998. Survival of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia* 371/372; 347-353.
- Jonsson, N. 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migrations in rivers. *Nordic Journal of Freshwater Research* 66; 20-35.
- Jonsson, N., Jonsson, B. & Hansen, L.P. 1991. Energetic cost of spawning in male and female Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Fish Biology* 39; 739-734.
- Katopodis, C. 1981. Considerations in the design of fishways for freshwater species. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Canadian Hydrotechnical Conference*, Fredericton, New Brunswick, side 857-878.
- Kjellberg, G. 1992. Tiltaksorientert overvåkning av Mjøsa med tilløpselver. Årsrapport for 1991. NIVA Rapport 490/1992.
- Kjellberg, G. 1993. Tiltaksorientert overvåkning av Lenavassdraget. Generell vurdering av forurensningsgrad basert på de biologiske forhold, juli og oktober 1992. NIVA Rapport O-92099, 19 sider.
- Knaepkens, G., Baekelandt, K. & Eens, M. 2005. Fish pass effectiveness for bullhead (*Cottus gobio*), perch, (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) in a regulated lowland river. *Ecology of Freshwater Fish* 15; 20-29.
- Kraabøl, M., Arnekleiv, J.V. & Museth, J. 2008. Emigration patterns among trout, *Salmo trutta* (L.), kelts and smolts through spillways in a hydroelectric dam. *Fisheries Management and Ecology* 15; 417-423.
- Kraabøl, M., Johnsen, S.I., Museth, J. & Sandlund, O.T. 2009. Conserving iteroparous fish stocks in regulated rivers: the need for a broader perspective! *Fisheries Management and Ecology*, akseptert manuskript.
- Kraabøl, M. & Museth, J. 2007. Fisketrapper i Glomma og Søndre Rena mellom Bingsfoss og Stor-sjøen. NIVA Rapport 306, 32 sider + vedlegg.
- Kynard, B. & Buerkett, C. 1997. Passage and behaviour of adult American shad in an experimental louver bypass system. *North American Journal of Fisheries Management* 17; 734-742.
- Laine, A., Jokivirta, T. & Katapodis, C. 2002. Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and sea trout, *S. trutta* L., passage in a regulated northern river - fishway efficiency, fish entrance and environmental factors. *Fisheries Management and Ecology* 9; 65-77.



- Larinier, M. 1998. Upstream and downstream fish passage experience in France. I: (Red.: Jungwirth, M., Schmutz, S. and Weiss, S.). Migration and fish bypasses. Cambridge: Fishing News Book, side 127-145.
- Larinier, M. 2002. Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels. Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture 364; 54-82.
- Larinier, M., Travade, F. & Porcher, J.P. 2002. Fishways; biological basis, design criteria and monitoring. Bulletin Francais Pêche Pisciculture 364; 208.
- Linnik, V.D., Malinin L.K., Wozniowski M., Sych R. & Dembowski, P. 1998. Movements of adult sea trout *Salmo trutta* L. in the tailrace of a low-head dam at Wloclawek hydroelectric station on the Vistula River, Poland. Hydrobiologia 372: 335-337.
- Mader, H., Unfer, G. & Schmutz, S. 1998. The effectiveness of nature-like bypass channels in a lowland river, the Marchfeldkanal. I: (Red.: Jungwirth, M., Schmutz, S. & Weiss, S.). Migration and fish bypasses. Oxford: Fishing News Book, s. 384-402.
- Mallen-Cooper, M. 1989. Fish passage in the Murray-Darling Basin. I: (Red.: Lawrence, B.). Proceedings of the workshop on native fish management – Canberra 16.-17- June 1988. Canberra: Murray-Darling Basin Commission, s. 123-136.
- Mallen-Cooper, M. 1994. Swimming ability of adult golden perch, *Macquaria ambigua* (Percichthyidae), and adult silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Teraponidae), in an experimental vertical-slot fishway. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 45; 191-198.
- Mallen-Cooper, M. 1999. Developing fishways for nonsalmonid fishes: a case study from the Murray River in Australia. I: (Red.: Odeh, M.). Innovations in Fish Passage Technology. Bethesda, MD: American Fisheries Society, side 173-195.
- Nashoug, O. 2006. Fiskeribiologiske betraktninger vedrørende Kværnum Energi's planer om nytt kraftverk i Lenaelva – Østre Toten kommune. Rapport, 7 s.
- Nemenyi, P. 1941. An annotated bibliography of fishways. University of Iowa Studies in Engineering Bulletin 23, 64 sider.
- O'Connor, J.P., O'Mahony, D.J., O'Mahony J.M. & Glenane, T.J. 2007. Some impacts of low and medium head weirs on downstream fish movement in the Murray-Darling Basin in southeastern Australia. Ecology of Freshwater Fish 15; 419-427.
- Perä, I. & Karlström, Ö. 1996. Undersökning av laxuppvandringen till Ume älv-Vindelälven vid Stornorrfor kraftverk. Fiskeriverket, Utredningskontoret i Luleå. Rapport 1996-12-23.
- Rustadbakken, A., L'Abée-Lund, J.-H., Vøllestad, L.A. & Kraabøl, M. 2004. Reproductive migration of brown trout in a small Norwegian river studied by telemetry. Journal of Fish Biology 64; 2-15.
- Rivinoja, P., McKinnell, S. & Lundquist, H. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish river caused by a hydroelectric power-station. Regulated Rivers; Research & Management 17; 101-115.
- Schaller, H.A. & Petrosky, C.E. 2007. Assessing hydrosystem influence on delayed mortality of Snake River stream-type Chinook salmon. North American Journal of Fisheries Management 27; 810-824.
- Skaala, Ø., Taugbøl, T. & Skurdal, J. 1991. Genetisk variasjon hos mjøsaure. Fylkesmannen i Oppland, miljøvern avdelingen. Rapport 19/1991, 17 sider.
- Slatik, E. & Basham, L.R. 1985. The effect of Denil fishway length on passage of some nonsalmonid fishes. Marine Fisheries 47; 83-85.
- Stanley, E.H., Bushman, D.L., Boulten, A.J., Grimm, N.B. & Fisher, S.G. 1994. Invertebrate Resistance and Resilience to Intermittency in a Desert Stream. American Midland Naturalist 131; 288-300.
- Stuart, I.G. & Mallen-Cooper, M. 1999. An assessment of the effectiveness of a vertical-slot fishway for non-salmonid fish at a tidal barrier on a large tropical/sub-tropical river. Regulated Rivers; Research & Management 15; 575-590.
- Thorstad, E.B., Økland, F., Kroglund, F. & Jepsen, N. 2003. Upstream migration of Atlantic salmon at a power station on the River Nidelva, Southern Norway. Fisheries Management and Ecology 10; 139-146.
- Travade, F. & Larinier, M. 2007. French experience with downstream migration devices. I: Fish passage – best practices. Salzburg, 8-12 October 2007.
- Venditti, V.A., Rondorf, D.W. & Kraut, J.M. 2000. Migratory behaviour and forebay delay of radio-tagged juvenile fall Chinook in a lower Snake river impoundment. *North American Journal of Fisheries Management* 20; 41-52.

- Wertheimer, R.H. 2007. Evaluation of a surface flow bypass system for steelhead kelt passage at Bonneville Dam, Washington. *North American Journal of Fisheries Management* 27; 21-29.
- Wertheimer, R.H. & Evans, A.F. 2007. Downstream passage of steelhead kelts through hydroelectric dams on the lower Snake and Columbia rivers. *Transactions of the American Fisheries Society* 134; 853-865.
- Westli, T. & Rustadbakken, A. 2006. Storørreten i Lenaelva. Naturkompetanse AS, Rapport 2006-3, 18 sider.
- Wingfield, B. 1976. Holding summer steelhead adults over to spawn a second year. *Northwest Fish Culture Conference* 27: 63-64.