

771

NINA Rapport

# Modernisering av Klosterfoss kraftverk i Skien

Tiltak for å opprettholde nedvandringmuligheter for fisk forbi kraftverket

Morten Kraabøl



## **NINAs publikasjoner**

### **NINA Rapport**

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

### **NINA Temahefte**

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

### **NINA Fakta**

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

### **Annen publisering**

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

# Modernisering av Klosterfoss kraftverk i Skien

Tiltak for å opprettholde nedvandringmuligheter for fisk forbi kraftverket

Morten Kraabøl

Kraabøl, M. 2011. Modernisering av Klosterfoss kraftverk. Tiltak for å opprettholde nedvandringmuligheter for fisk forbi kraftverket - NINA Rapport 771, 21 s.

Lillehammer, november 2011

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2365-2

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Morten Kraabøl

KVALITETSSIKRET AV

Jon Museth

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Jostein Skurdal (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)

Akershus Energi AS

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Tom Flattum og Trond Andresen

FORSIDEBILDE

Slipping av overflatevann gjennom flomlukene ved Klosterfoss kraftverk. Foto: M. Kraabøl

NØKKEWORD

Telemark, Skienselva, Skiensvassdraget, Klosterfoss kraftverk, laks, sjørret, smolt, vinterstøing, nedvandring, fiskepassasje, elektrisk fiskesperre, tiltaksutredning

#### KONTAKTOPPLYSNINGER

##### **NINA hovedkontor**

Postboks 5685 Sluppen  
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**

Framsenteret  
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

## Sammendrag

Kraabøl, M. 2011. Modernisering av Klosterfoss kraftverk. Tiltak for å opprettholde nedvandringsmuligheter for fisk forbi kraftverket - NINA Rapport 771, 21 s.

Den planlagte moderniseringen av Klosterfoss kraftverk omfatter en opprusting og utvidelse av eksisterende kraftstasjon der det vil ikke bli konstruert nye vannveier for kraftproduksjon. Slukeevnen gjennom de to rørturbinene skal økes med 33 % (tilsvarende  $80 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) fra dagens  $240 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  til  $320 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Dette vil kunne gi en økning i årsproduksjonen fra dagens 65 GWh til 75 GWh, tilsvarende 15 % økning. Utvidelse av slukeevnen reiser viktige problemstillinger knyttet til fiskevandring forbi kraftverket. Laks og sjøørret passerer kraftverket både under opp- og nedvandring i ulike livsstadier. Nedstrøms vandring forbi kraftverket kan skje via to vannveier; gjennom turbinene eller gjennom flomlukene. Ivaretagelse av de vandrende fiskebestandene betinger at flomlukene i størst grad benyttes som nedvandringsrute, eller at nye fiskepassasjer etableres som et tillegg. Generelt sett er turbinene den farligste nedvandringsveien for fisk i alle størrelsesgrupper, og dødelighet mellom 5 og 100 % må påregnes avhengig av fiskestørrelse. Størst dødelighet opptrer hos voksen laks og sjøørret (>40 cm) og minst dødelighet er funnet hos smolt (normal fiskelengde 9,5 – 17,0 cm). I følge beregninger gjort ved Skotfoss kraftverk vil om lag 20-25 % av laksesmolten som passerer turbinene dø som følge av at de treffes av rotorbladene. I tillegg kan voksen og utgytt laks opptil 90 cm passere de 9 cm store lysåpningene på varegrindene foran turbinene, og dermed bli trukket inn i turbinene. I så fall vil dødeligheten bli tilnærmet 100 % for voksen utgytt fisk. Flomlukene ved Klosterfoss antas å gi en helt ufarlig nedvandringsvei for fisk i alle størrelsesgrupper og livsstadier. Det er imidlertid grunn til å anta at en økning i slukeevnen på 33 %, og en tilsvarende reduksjon av forbitapping av vann gjennom flomlukene, vil medføre økt grad av attraksjon mot turbininntakene. Nedvandrende fisk i alle stadier følger helst hovedstrømmen, og det vurderes derfor som overveiende sannsynlig at den økte vannstrømmen mot turbinene vil gi økt nedvandring av fisk gjennom turbinene dersom den ikke ledes mot flomlukene eller nye fiskepassasjer ved turbininntaket. Turbinpassasje av fisk vil kunne gi en negativ bestandsutvikling i løpet av få år. Den største fiskebiologiske utfordringen ved en utvidelse av slukeevnen ved Klosterfoss vil derfor være å avlede nedvandrende fisk bort fra turbininntaket og over mot flomlukene. Dermed er det viktig å gi alternativ passasjemuligheter for fisk som likevel samler seg foran varegrinda ved turbininntaket.

**Tiltak:** Vannslipp over nærmeste flomluke i perioder hvor det oppholder seg nedvandrende fisk i inntaksmagasinet til Klosterfoss kraftverk anses som absolutt påkrevet for å gi tilfredsstillende nedvandringsmuligheter for fisk. Som et absolutt minimumstiltak foreslås et vannslipp over flomluka som tilsvarer en vannsøyle på 36 cm. Dette i kombinasjon med innretninger som hindrer fisken å passere turbinene kan opprettholde nedvandringsmulighetene. Denne tiltaks-kombinasjonen vurderes å gi usikker effekt, og det er lite sannsynlig at nedvandringsforholdene vil opprettholdes ved denne tiltakskombinasjonen. En akseptabel tiltakskombinasjon omfatter etablering av to nye vannveier som nedvandrende fisk kan velge mens de oppholder seg i forkant av varegrinda foran turbininntaket, og anses å kunne gi tilfredsstillende nedvandringsmuligheter. Denne type tiltak er også i tråd med internasjonale erfaringer, og gir normalt en god effekt dersom forholdene legges godt til rette. Denne løsningen vil enten opprettholde eller forbedre dagens nedvandringsforhold, og vurderes derfor som tilstrekkelig. Den beste tiltakskombinasjonen vil være at det i tillegg til vannslipp og nye fiskepassasjer etableres en elektrisk fiskeperre som monteres skrått over hovedstrømmen inn mot turbinene. Elektriske impulser over et gradert felt i hovedstrømmen vil medføre en betydelig unnvikelsesrespons hos nedvandrende fisk, og kan ved korrekt plassering lede fisk direkte mot flomluka. Fisk som eventuelt ikke blir avledet av elektrisetsfeltet vil likevel kunne passere kraftverket gjennom de to nye fiskepassasjene. Denne tiltakskombinasjonen har kapasitet til å forbedre nedvandringsforholdene sammenlignet med dagens situasjon.

Uansett tiltakskombinasjon bør det gjennomføres evaluerende og kalibrerende studier av forholdet mellom fiskevandring og vannfordeling i området. Disse feltstudiene bør designes slik

at de finner balansepunktet som tar tilfredsstillende hensyn til både kraftproduksjon og fiskevandring. Det anbefales telemetristudier som både avdekker storskala forhold som tidsperioder for nedvandring hos smolt og voksen gytefisk og individuell søkeatferd i inntaksmagasinet (radiotelemetri), og småskala studier som definerer andel fisk som passerer de ulike fiskepassasjene (PIT-telemetri). Hensyn til andre fiskearter bør også inkluderes.

Morten Kraabøl, Norsk institutt for naturforskning, Fakkeltgården, 2624 Lillehammer.  
morten.kraabol@nina.no

# Innhold

<b>Sammendrag .....</b>	<b>3</b>
<b>Innhold .....</b>	<b>5</b>
<b>Forord .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Innledning .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Metodikk .....</b>	<b>8</b>
2.1 Befaring ved Klosterfoss kraftverk .....	8
2.2 Behovet for optimal vannhusholdning i forhold til kraft- og miljøhensyn .....	8
<b>3 Områdebeskrivelse .....</b>	<b>9</b>
3.1 Kort beskrivelse av vassdraget og fiskefaunaen .....	9
3.2 Klosterfoss kraftverk og fiskepassasjer .....	9
3.3 Planer om modernisering av kraftverket .....	9
<b>4 Fiskebiologiske problemstillinger .....</b>	<b>10</b>
<b>5 Tiltak for å bedre nedvandringen av utgytt laks og sjørret .....</b>	<b>12</b>
5.1 Definisjon av viktige nedvandringsperioder for smolt av laks og sjørret .....	12
5.2 Definisjon av nedvandringsperioder for voksen utgytt laks og sjørret .....	12
5.3 Definisjon av terskelverdier for tilstrekkelig forbitapping av overflatevann .....	12
5.4 Avledning av fisk fra turbininntaket .....	13
5.4.1 Vannslipp over nærmeste flomluke .....	13
5.4.2 Elektrisk fiskeavleder .....	14
5.4.3 Flyteavleder .....	14
5.4.4 Fiskepassasje fra turbininntaket .....	15
5.4.5 Strobelys og andre lyskilder .....	15
5.4.6 Boblegardiner .....	16
5.4.7 Lydkilder (akustiske barrierer) .....	16
<b>6 Forslag til tiltak .....</b>	<b>17</b>
6.1 Minimumsløsning: Vannslipp over nærmeste flomluke i kombinasjon med strobelys, boblegardiner eller lydkilder .....	17
6.2 Akseptabel løsning: Vannslipp over flomluke og nye vannveier fra turbininntaket .....	17
6.3 Beste løsning: Vannslipp over flomluke, to nye vannveier fra turbininntaket og elektrisk fiskesperre .....	17
<b>7 Evaluering av iverksatte tiltak og definisjon av terskelverdier .....</b>	<b>18</b>
<b>8 Konklusjoner og anbefalinger .....</b>	<b>19</b>
<b>Referanser .....</b>	<b>20</b>

## Forord

Akershus Energi AS har utarbeidet planer for en modernisering av Klosterfoss kraftverk som innebærer en utvidelse av slukeevnen gjennom turbinene. I den forbindelse ble NINA ved undertegnede engasjert til å utrede tiltak som vil opprettholde nedvandringsmuligheter for smolt og vinterstøing av laks og sjørørret etter utvidelsen av kraftverket.

Det rettes en takk til Frank O. Jensen og Arne Helge Gurholt som bisto under befaringen ved Klosterfoss kraftverk. Trond Andresen og Tom Flattum takkes for teknisk informasjon og kommentarer til rapportutkast.

November 2011

Morten Kraabøl  
Prosjektleder



# 1 Innledning

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 aller fleste tilfellene har passasjene blitt konstruert med tanke på oppvandrende laksefisk med stor svømme- og hoppekapasitet. Varierte konstruksjoner har blitt prøvd med ulik grad av funksjonalitet (Clay 1995; Laine et al. 2002; Larinier 1998; Larinier et al. 2002).

I de senere år har forskningen på fiskepassasjer inntatt et mer holistisk syn på fiskevandring (for eksempel Calles & Greenberg 2007; Kraabøl et al. 2010). Fra en ensrettet fokusering på oppvandring foreligger det et økende antall studier som tar hensyn til at måltartene i fisketrapper som oftest er flergangsgytende (O'Connor et al. 2006; Agosthino et al. 2007; Kraabøl & Museth 2007), og dermed er avhengig også av nedstrøms vandring. Nedstrøms passasje av fisk gjennom fisketrapper, damluker og terskler kan skade fiskene i form av friksjonssår, øyeskader, blødninger og i verste fall dødsfall (Bell & DeLacy 1972). Telemetristudier 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. 2007; Kraabøl et al. 2008). Til en viss grad har denne nølingen vist seg å være relatert til utformingen av terskelens øvre strukturer (Larinier et al. 2002; O'Connor et al. 2006). Nølende atferd foran terskler og turbininntak er satt i sammenheng med flere fysiske forhold som varierer med konstruksjonen og øvrige fysiske omgivelser. Raskt akselererende vannhastighet, skarpe kontraster mellom lys og mørke, minkende areal og vannvannvolum i kombinasjon med trykk- og lydbølger som genereres av tekniske innretninger (for eksempel turbiner) ved passasjepunktet er forhold som kan medvirke til nøling hos nedvandrende fisk (Haro et al. 1998; Coutant & Whitney 2000; Behrmann-Godel & Eckmann 2003).

Inntaksbasseng foran turbiner i elvekraftverk er typiske eksempler på slike områder som medfører midlertidig vandringsstopp både for smolt og utgytt voksen fisk (Arnekleiv et al. 2007). De geografiske forholdene i bassenget (Hjellevann) ovenfor Klosterfoss kraftverk synes imidlertid å være gunstige for å lede smolt og utgytt voksen fisk bort fra hovedstrømmen og inn mot flomlukene. I tillegg ligger forholdene til rette for etablering av nye fiskepassasjer fra turbininntaket og ned til fisketrappa. Ved hjelp av en eller flere tidsbegrensede perioder med vannslipp over flomlukene og fysiske innretninger for alternative nedvandringsruter vurderes det som sannsynlig at det kan opprettholdes tilfredsstillende passasjemuligheter etter en utvidelse av slukeevnen gjennom kraftverket.

Denne utredningen skisserer i korte trekk hvilke tiltak som vanligvis brukes ved slike problemstillinger. I tillegg gis det en vurdering av hvilke tiltakskombinasjoner som vurderes som tilstrekkelige for å ivareta nedvandringsmulighetene for fisk ved Klosterfoss. Videre er det lagt til grunn at Klosterfoss kraftverk er det nederste kraftverket i Skiensvassdraget, og at passasjeproblematikk ved dette området har avgjørende betydning for opprettholdelse av vandringssystemer av fisk i vassdraget. Det er derfor en forutsetning at tiltak som iverksettes blir fortløpende evaluert ved bruk av ulike telemetrimetoder, og at justeringer av nye innretninger blir foretatt.

## 2 Metodikk

Utredningen er gjort med bakgrunn i en befaring ved Klosterfoss kraftverk, studier av internasjonal litteratur, samtaler med personell ved kraftverket og tekniske tegninger fra anlegget. I tillegg er det lagt til grunn en balansert avveining mellom kraftproduksjon og nedvandingsforhold for fisk. Dette innebærer en tilnærming til problemstillingen som fokuserer på avdekking av terskelverdier for økologisk funksjonalitet, og at tiltakene som gjennomføres blir evaluert og kalibrert gjennom biologiske studier i etterkant.

### 2.1 Befaring ved Klosterfoss kraftverk

Det ble gjennomført en befaring ved Klosterfoss og Skotfoss kraftverk den 2. september 2011. Forholdene knyttet til turbininntak, driftsvannføringer, flomlukene og fisketrappa ble inspisert sammen med Frank O. Jensen og Arne Helge Gurholt i Akershus Energi AS. Plantegninger for kraftverket er brukt som grunnlag til detaljerte studier av tekniske installasjoner og geografisk plassering.

### 2.2 Behovet for optimal vannhusholdning i forhold til kraft- og miljøhensyn

Interessekonflikten mellom kraftproduksjon og miljøhensyn er sterkt aktualisert gjennom EUs Vannrammedirektiv og Fornybardirektivet. Dersom det skal tas hensyn til begge direktiv vil det måtte oppstå en avveining mellom de ulike interessene. Konsesjonsvilkår for kraftproduksjon som ble gitt for noen tiår siden favoriserer sterkt kraftproduksjon, og gir lite rom for moderne miljøhensyn som i større grad vektlegger økologisk funksjonalitet. Tilsvarende gjelder også for flere konsesjonsfrie vassdragsreguleringer.

I forbindelse med moderniseringen av Klosterfoss kraftverk vil det derfor være grunn til å påpeke at det bør gjennomføres en konkret avveining mellom de motstridende behovene. En viktig forutsetning for moderniseringen vil være at forholdene for vandrende fisk forbi Klosterfoss ikke blir forringet sammenlignet med dagens situasjon. Det er imidlertid svært vanskelig å beskrive dagens situasjon fordi det ikke er gjennomført undersøkelser omkring vandringsproblemer for fisk ved Klosterfoss. Det bør derfor legges vekt på funksjonelle tiltak som kan etterprøves med oppfølgende undersøkelser i etterkant. Kravene til effektivitet for de enkelte tiltakene bør på forhånd defineres av forvaltningsmyndighetene.

En balansert og konkret avveining mellom kraft- og miljøhensyn krever kunnskap om hva som er tilstrekkelig vannføring for at vandringssystemene skal opprettholde en tilfredsstillende funksjonalitet. Ideelt sett bør det gjennomføres eksperimentelle studier med individuelt merkede fisker under ulike vannføringsfordelinger mellom turbinene og flomluka. I tillegg bør slike forsøk gjøres under ulike tidspunkt, slik at varierende vanntemperatur og motivasjon også inkluderes som forklaringsvariabler. På denne måten kan man finne terskelverdier for vannfordeling, vannføring, vanntemperatur og tidsperiode på året hvor tiltakene fungerer best. Fremskaffelsen av denne kunnskapen er imidlertid forskningskrevende, men vil til gjengjeld gi presis kunnskap.

## 3 Områdebeskrivelse

### 3.1 Kort beskrivelse av vassdraget og fiskefaunaen

Skiersvassdraget er et av Norges største vassdrag, og drenerer et nedbørfelt på 10 772 km<sup>2</sup>. Reguleringsgraden er høy i nasjonal målestokk. Årlig gjennomsnittlig vannføring ved Skotfoss er 263 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Elven munner ut i Frierfjorden. Fiskefaunaen består av laks, ørret (både sjøørret og elvelevende bestander), røye, sik, gjedde, abbor, krøkle, karuss, elvenioye, bekkenioye, havnioye, ål og trepigget stingsild. Oppvandringsruter for laks, sjøørret og ål er gjennom fiske-trappene i Klosterfoss kraftverk, Møllefossen i Skien sentrum og ved Skotfoss kraftverk. Ovenfor Skotfoss ligger Norsjø (15,3 m o.h.), som mottar vann fra de fleste avgreininger i Skiersvassdraget.

### 3.2 Klosterfoss kraftverk og fiskepassasjer

Klosterfoss kraftverk er det nederste kraftverket i Skiersvassdraget, og utnytter et fall på drøyt 5 meter (varierer noe med tidevannspåvirkning av undervannet). Siden 1886 har det vært flere fisketrapper som har sikret laks- og sjøørret tilgang til ovenforliggende områder. Dagens motstrømstrapp (Denil-type) ble satt i drift i 1976 og har en normal kapasitet på 1 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Fiske-trappas lengde er 20 meter, og har et samlet fall på 5,5 meter. Fiske-trappa åpnes 1. mai og holdes i drift til november. I perioden 1983-1997 passerte i gjennomsnitt 1231 fisker gjennom trappa. I perioden 2005-2009 passerte i gjennomsnitt 881 fisker i trappa på oppvandring. I denne siste perioden ble fiskene registrert elektronisk, og det ble ikke skilt mellom laks og sjøørret. Det er grunn til å anta at oppgangstallene i stor grad reflekterer lakseoppgang fordi det fanges kun et par titalls kilo med sjøørret i vassdraget hvert år. Fiskeoppgangen synes å være begrenset av vanntemperatur, og det passerer lite fisk når temperaturen er lavere enn 9 grader.

### 3.3 Planer om modernisering av kraftverket

Den planlagte moderniseringen av Klosterfoss kraftverk omfatter en opprusting og utvidelse av eksisterende kraftstasjon, og det vil ikke bli konstruert nye vannveier i forbindelse med kraftproduksjonen. Slukeevnen gjennom de to rørturbinene skal økes med 33 % (tilsvarende 80 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) fra dagens 240 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> til 320 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Dette vil kunne gi en økning i årsproduksjonen fra dagens 65 GWh til 75 GWh, tilsvarende 15 % økning.

## 4 Fiskebiologiske problemstillinger

En eventuell utvidelse av slukeevnen gjennom turbinene ved Klosterfoss kraftverk reiser viktige problemstillinger knyttet til fiskevandring forbi kraftverket.

Laks og sjørret passerer Klosterfoss kraftverk både under opp- og nedvandring i ulike livsstadier. Fisketrappa er den eneste vannveien som disse fiskene kan benytte under oppstrøms vandring forbi Klosterfoss kraftverk. Nedstrøms vandring forbi Klosterfoss kan skje via to vannveier; gjennom turbinene eller gjennom flomlukene. Ivaretagelse av de vandrende fiskebestandene betinger at flomlukene i størst grad benyttes som nedvandringsrute, og at nye fiskepassasjer etableres som et supplement.

Felles for de berørte artene er at de er flergangsgytende, noe som innebærer to eller flere gytevandring i løpet av livssyklusen for en betydelig andel av populasjonen. Opprettholdelsen av slike kompliserte vandringsmønstre krever at vandringene forbi kraftverket ikke medfører vesentlig økt forsinkelse eller dødelighet. Fisketrapper kan gi betydelig forsinkelse, seleksjon eller vandringsavbrudd hos oppvandrende fisk (Haugen et al. 2008; Kraabøl upubl), og det eksisterer for lite kunnskap om de ulike fisketrappenes funksjonalitet (Anon 1989; Kraabøl & Museseth 2007; Kraabøl & Nashoug 2010). Fisketrappa ved Klosterfoss omtales som velfungerende, men det er ikke gjennomført studier av funksjonaliteten. Det foreligger bl.a. opplysninger som tilsier at sene gytevandrerne som ankommer Klosterfoss når vanntemperaturen er lavere enn 9 grader vil oppleve passasjeproblemer.

Generelt sett er turbinene den farligste nedvandringsveien for fisk i alle størrelsesgrupper, og dødelighet mellom 5 og 100 % må påregnes avhengig av fiskestørrelse. Størst dødelighet opptrer hos voksen laks og sjørret (>40 cm) og minst dødelighet er funnet hos smolt (normal fiskelengde 9,5 – 17,0 cm). I følge beregninger gjort av Skåre et al. (2006) ved Skotfoss kraftverk vil om lag 20-25 % av laksesmolten som passerer turbinene dø som følge av at de treffes av rotorbladene. I tillegg beregnet de at voksen og utgytt laks opptil 90 cm kan passere 9 cm lysåpninger på varegrindene foran turbinene, og dermed bli trykket inn i turbinene. Tilsvarende antas å være gjeldende for Klosterfoss kraftverk. I så fall vil dødeligheten bli tilnærmet 100 % for voksen utgytt fisk ved passasje av turbinene.

Nedvandring gjennom flomluker som slipper overflatevann regnes normalt som relativt ufarlig (Arnekleiv et al. 2007; 2008), og flomlukene ved Klosterfoss antas å gi en helt ufarlig nedvandringsvei for fisk i alle størrelsesgrupper og livsstadier. Det er imidlertid grunn til å anta at en økning i slukeevnen på 33 %, og en tilsvarende reduksjon av forbitapping av vann gjennom flomlukene, vil medføre økt grad av attraksjon mot turbininntakene. Nedvandrende fisk i alle stadier følger helst hovedstrømmen, og det vurderes derfor som overveiende sannsynlig at den økte vannstrømmen mot turbinene vil gi økt nedvandring av fisk gjennom turbinene dersom den ikke ledes mot flomlukene eller nye fiskepassasjer ved turbininntaket. Dette vil kunne gi en negativ bestandsutvikling i løpet av få år.

Den største fiskebiologiske utfordringen ved en utvidelse av slukeevnen ved Klosterfoss vil derfor være å avlede nedvandrende fisk bort fra turbininntaket og over mot flomlukene. Dermed er det viktig å gi alternative passasjemuligheter for fisk som likevel samler seg foran varegrinda ved turbininntaket før de eventuelt velger turbinene som passasjerute.



Øverste bilde: Eksempel på varegrind for turbininntak med lysåpning på 10 cm. Laks og sjøørret i alle størrelsesgrupper kan passere mellom hvert stålelement. Nederste bilde: Gytmoden laks opptil 90 cm kan passere varegrinder med lysåpning på 9 cm (Illustrasjonsfoto: M. Kraa-bøl).

## **5 Tiltak for å bedre nedvandringen av utgytt laks og sjørret**

Økt slukeevne gjennom turbinene vil medføre behov for tiltak som opprettholder nedvandringmulighetene for smolt og voksne individer av laks og sjørret. For at slike tiltak skal være effektive, og medføre minst mulig tap av vann til kraftproduksjon, er det viktig å definere tidsperiodene hvor nedvandringen foregår i vassdraget. I tillegg er det viktig at tiltakene omfatter tilstrekkelig vannslipp for å sikre passasje av fisk som ankommer inntaksdammen til kraftverket.

### **5.1 Definisjon av viktige nedvandringsperioder for smolt av laks og sjørret**

Det er gjort et anslag og en beregning av tidspunktet for smoltutvandring hos laks i Skiensvassdraget. En sammenligning mellom nærliggende laksevassdrag med kjent smoltutvandringsperiode gjorde at Skåre et al. (2006) antok at utvandringen skjedde fra 15. april til 27. mai i de fleste årene. I den samme undersøkelsen ble utvandringstidspunktet for sjørretsmolt vurdert til å foregå hovedsakelig over det samme tidsrommet, men med en tendens til å strekke seg lengre utover sommeren (Skåre et al. 2006). I 2009 gjennomførte Hvidsten (2010) fangst av 26 smolt ved Skotfoss kraftverk innenfor perioden 18. mai til 8. juni. Med bakgrunn i at smoltutvandringen varierer mellom år, og at smoltfangsten i 2009 ved Skotfoss var såpass begrenset, konkluderte Hvidsten (2010) med at nærmere utredninger omkring tidspunktet for smoltutvandring hos både laks og sjørret burde gjennomføres.

### **5.2 Definisjon av nedvandringsperioder for voksen utgytt laks og sjørret**

Det er ikke utført undersøkelser som kaster lys over tidspunktet for nedvandring av utgytt laks og sjørret i Skiensvassdraget. Det er imidlertid grunn til å anta at returvandring av vinterstøinger skjer i to perioder. Den første puljen vandrer nedstrøms umiddelbart etter gyting om høsten, mens den andre puljen overvintrer i elven og returnerer omtrent samtidig med smolten under vårlommen.

Definisjon av nedvandringsperiodene for utgytt voksen laks og sjørret kan gjøres med radiotelemetri. Oppvandrende gytefisk merkes med radiosendere og peiles frem til den påfølgende sommeren. På den måten vil nedvandringstidspunktene enkelt kunne defineres. I tillegg vil disse studiene gi meget verdifull kunnskap om fordelingen av gytelokaliteter i vassdraget.

### **5.3 Definisjon av terskelverdier for tilstrekkelig forbitapping av overflatevann**

Slipping av overflatevann gjennom flomluker ved Klosterfoss er avgjørende for å lede smolt og vinterstøinger (av laks og sjørret) bort fra innstrømmene til turbinene. Luka som ligger nærmest inntil turbininntaket bør benyttes til dette formålet.

Nedvandrende smolt og vinterstøing av laks og sjørret orienterer seg i stor grad i forhold til elvens hovedstrøm, og følger gjerne disse strømmene under hele nedvandringen. I de fleste perioder med nedvandring av fisk forbi Klosterfoss vil det meste av vannføringen gå gjennom turbinene, og det er derfor overveiende sannsynlig at både smolt og vinterstøing vil bli ledet mot turbininntakene. Det mest sentrale spørsmålet i denne sammenheng er å finne hvilken fordeling mellom produksjonsvann og forbitapping som gir tilfredsstillende attraksjon mot flom-

luka under perioder med nedvandring av fisk. I tillegg bør alternative vannveier ved varegrindene etableres og kalibreres. Kunnskap om slike terskelverdier er avgjørende for vellykkede tiltak, og viktig for å finne den optimale avveining mellom kraftproduksjon og miljøhensyn.

Denne problemstillingen er undersøkt ved Hunderfossen i Gudbrandsdalslågen. Gytefisk (kroppslengde 50-90 cm) av den vandrende storørrestammen (Hunderørret) returnerte i to puljer etter gyting. Om lag 50 % i løpet av oktober, og den andre halvparten returnerte i løpet av den påfølgende vårflommen (Arnekleiv et al. 2007; Kraabøl et al. 2008). Visuelle studier av passasje over flomluke viste at terskelverdien for utvandring gjennom en 8 m bred overflateluke var mellom 1 og 4 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Dette tilsvarte en vannsøyle mellom 12 og 36 cm over lukekanten. Flere vinterstøinger kom bort til lukekanten ved 1 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, og de følte på lukekanten med gattfinnen før de ombestemte seg og avbrøt utvandringen. Det ble observert redusert nøling ved lukekanten ved suksessivt økende vannføringer (Kraabøl et al. 2008). Det antas at særlig minstehøyden på vannsøyla (36 cm) over lukekanten er av generell overføringsverdi for laks og sjørørret av tilsvarende kroppsstørrelse, mens det optimale forholdet mellom forbitappings- og produksjonsvannføring antas å være bestemt av de lokale forholdene. Forhold av betydning i denne sammenheng er bunntopografiske forhold, avstanden mellom turbininntaket og flomlukene og i hvilken grad forbitappingen gjennom flomlukene definerer en markant strøm ut fra hovedstrømmen inn mot turbininntaket. Ved Hunderfossen ligger den aktuelle flomluka helt inntil turbininntaket, og fisk som samles opp foran turbininntaket vil lett kunne merke tapping av overflatevann gjennom denne luka. Ved Klosterfoss kraftverk er avstanden mellom nærmeste flomluke og turbininntakene vesentlig større, men lokaliteten anses likevel som godt egnet til å etablere en markant strøm fra hovedstrømmen og bort til flomluka. Det kreves imidlertid at det gjennomføres eksperimentelle studier som kartlegger både fiskens atferd og fysiske strømmålinger ved ulike vannfordelinger gjennom/forbi Klosterfoss kraftverk. Men med mindre driftsvannføringen ved Klosterfoss kraftverk slås av under nedvandring av smolt og vinterstøinger må det påregnes noe tap av fisk gjennom turbinene uansett valg av tiltak.

## 5.4 Avledning av fisk fra turbininntaket

Nedenfor gis en kort beskrivelse av aktuelle metoder for avledning av fisk fra turbininntakene, og deres muligheter for anvendelse ved Klosterfoss kraftverk.

### 5.4.1 Vannslipp over nærmeste flomluke

Passasje av fisk gjennom flomluker er normalt forbundet med lav eller ingen dødelighet dersom det tappes overflatevann og at fallhøyden fra lukekanten og ned til undervannet er begrenset til få meter. Felles for både smolt og voksen gytefisk er at fallhastigheter over 15-16 m s<sup>-1</sup> mot vannflate gir skader på øyne, gjeller og indre organer. Beregninger har vist at dette tilsvarer et fritt fall på 25-40 m for smolt og 13 m for voksen fisk over 60 cm (Bell & DeLacy 1972). Fallhøyden ved Klosterfoss kraftverk er om lag 5 m, og vil derfor ikke gi store problemer med fallskader på nedvandrende fisk.

Vannslipp i form av overflatevann gjennom den nærmest beliggende flomluka i tidsperioden hvor nedvandring av smolt og gytefisk vurderes derfor som det viktigste tiltaket for å opprettholde dagens nedvandringmuligheter. Det bør slippes overflatevann i perioden 15. april – 15. juni for smolt dersom ikke nærmere undersøkelser omkring nedvandningsperioder foretas. Gyte-tidspunktet for laks og sjørørret er ikke kjent i Skiensvassdraget, og telemetriundersøkelser bør foretas for å kartlegge nedvandningsperiodene for voksen utgytt fisk om høsten og våren.

Vannslippet over flomluka bør minst gi en 36 cm vannsøyle over lukekanten. Dersom lukebredde kortes inn vil det trenges en lavere vannføring for å gi denne vannsøylen. Dette vil imidlertid også gi en mindre markant avledning av vann fra hovedstrømmen og inn mot flomluka, og

sannsynligvis medføre at en mindre andel fisk velger denne vandringsveien. Telemetristudier er påkrevd for å undersøke fiskens bruk av denne vannveien ved ulike forhold.

### 5.4.2 Elektrisk fiskeavleder

Dette vil sannsynligvis være det mest effektive tiltaket i tillegg til overflatetapping gjennom flomluka. Denne typen avledningsteknikker for både opp- og nedvandrende fisk har vist seg svært effektive, og vil sannsynligvis gjøre det mulig å bedre nedvandningsforholdene for smolt og vinterstøing selv etter en økning av slukeevnen. Innretninger som gir graderte elektriske felt har vist seg mest effektive, og økende ubehag som følge av økende spenningsfelt medfører unnvikende atferd og leding av fisk mot ønsket posisjon. Moderne innretninger for avledning av fisk unngår å slå fisken i svime, men gir økende ubehag og større sannsynlighet for unnvikelsesatferd gjennom strømfeltet. Dette gir meget gode muligheter for å styre fisk inn mot alternative vannveier med lavere vannføring.

De beste resultatene med elektrisk avledning av fisk er oppnådd ved strømhastigheter som er såpass høye at fisken beveger seg med halefinnen først (baklengs). Denne måten å bevege seg nedstrøms er imidlertid mest vanlig dersom vannhastigheten er minst 1 kroppslengde pr. sekund. Følgelig vil smolt ha en større tendens til å respondere positivt på elektrisk avledning sammenlignet med langt større vinterstøinger. Det er imidlertid mulig å benytte elektrisk fiskeavledning også ved lave vannhastigheter.

Strømfeltets utforming kan tilpasses de lokale forholdene. Det er relativt enkelt å lage forholdsvis skarpt definerte spenningsfelt som i stor grad vil kunne styre fisken mot ønskede områder. Arrangementet av elektroder kan derfor vinkles i forhold til strømhastigheten på stedet.

En alvorlig innvending mot elektriske fiskesperrer er sikkerhetsmessige forhold knyttet til mennesker som eventuelt havner i vannet ved fiskesperrene. Mennesker har tre ganger så stor sannsynlighet for å omkomme av vekselstrøm (A.C.) sammenlignet med likestrøm (D.C.). Moderne elektriske fiskesperrer gir derfor kun D.C. strøm. I tillegg er lengden på hver strømpuls såpass kort at de ligger godt under faresonen for mennesker som havner innenfor spenningsfeltet.

### 5.4.3 Flyteavleder

Skråstilte flyteavledere foran turbininntaket er spesielt godt egnet til avledning av smolt som vandrer i overflatelaget, men de har liten eller ingen effekt på voksen fisk som vandrer i dypere vannlag (Larinier et al. 2002). Flyteavledere har gitter, vegger eller "skjørt" som stikker mer enn 2 m ned i vannmassene, og det kreves omfattende forankring på land eller på dam. Et godt eksempel på en velfungerende flyteavleder er Bellow Falls kraftstasjon i Connecticut River i USA. Flyteavlederen står foran turbininntaket med en vinkel på 40 grader og stikker 4,5 m ned i vannmassene. Undersøkelser har vist at den avleder 84 % av nedvandrende stillehavslakse-smolt (Odeh & Orvis 1998).

Forholdene ligger godt til rette for installering av flytelense foran turbininntaket ved Klosterfoss. Det finnes fra før en lense som har til hensikt å hindre rekved og annet flytende materiale fra å samle seg opp på varegrindene foran turbininntaket. For å kunne avlede nedvandrende smolt av laks og sjørøret bør det installeres en flytende avleder som stikker vesentlig dypere ned i vannmassene. Smolt vandrer som regel like oppunder vannflata under nedvandringen, og et gitterarrangement som stikker 3-4 meter ned i vannet vil kunne avlede mye smolt mot flomlukene. Effektiviteten til dette tiltaket må imidlertid antas å være lavere enn elektrisk avledning, og bør derfor kombineres med større vannslipp over flomluka. Det bemerkes også at en flytende avleder/lense etter alt å dømme ikke vil fungere i særlig grad for avledning av voksen utgytt laks og sjørøret (vinterstøing). Voksne fisker vandrer i dypere vannlag, og lar seg i mindre grad



styre av fysiske innretninger nær overflaten. Imidlertid er det belegg for å anta at voksen gytefisk i større grad utforsker området rundt turbininntaket, og vil derfor ha større sannsynlighet for å finne vannstrømmen som etableres av flomlukene.

#### 5.4.4 Fiskepassasje fra turbininntaket

En annen effektiv måte å unngå turbinpassasje er etablering av ny vannvei forbi turbininntaket. Vanninntaket til slike fiskepassasjer må ligge helt inntil varegrinda, og helst der hvor nedvandrende fisk har en tendens til å samle seg. Typiske gode lokaliteter for vanninntaket (og fiskeinngangen) er i hjørnene på hver side av inntakskanalen. Effektiviteten til slike fiskepassasjer er i stor grad avhengig av hydrauliske forhold, og sterkt akselererende vannstrøm gjennom en lukekant er lite egnet. Vannhastigheten bør være jevnt økende over en bred lukebunn, og det bør etableres et lite vannbasseng nedenfor fiskeinngangen som kan benyttes som regulator av vannhastigheten gjennom lukeåpningen. Oppvellende turbulens foran åpningen er heller ikke egnet, og dette kan unngås ved å installere en lem på undersiden av åpningen (Larinier et al. 2002). Minste anbefalte dimensjoner på lukeåpningen er 50 cm bredde og dybde. Dersom voksen laks skal benytte denne fiskepassasjen bør dimensjonene økes til minst 70 cm.

Ved Klosterfoss er vannstrømmen inn mot turbininntaket relativt perpendikulær i forhold til varegrinda. Dette tilsier at det bør etableres en fiskepassasje på hver side av inntaket dersom det ikke settes opp en oppstrøms og dyptstikkende flyteavleder som dirigerer både smolt og voksen utgytt fisk mot den ene fiskepassasjen. Vannføringen gjennom hver av disse fiskepassasjene bør være om lag 5-10 % av driftsvannføringen gjennom turbinene til enhver tid i nedvandringsperiodene (Ferguson et al. 1998; Odeh & Orvis 1998). Det er en stor fordel dersom hele eller deler denne vannføringen ledes ned til fisketrappen og dermed gir økt attraksjon for oppvandrende fisk.

Smolt og vinterstøing som ikke finner veien til flomlukene vil sannsynligvis samle seg opp like foran varegrindene ved turbininntaket. Det forventes vesentlig grad av forsinkelse før de eventuelt slipper seg ned gjennom turbinene. Det er grunn til å anta at voksen utgytt fisk vil nøle i langt større grad enn smolt. Telemetristudier av denne problematikken ved Hunderfossen kraftverk i Gudbrandsdalslågen viste en betydelig grad av nøling, og en viss rastløs atferd frem og tilbake ved demningen (Kraabøl et al. 2008). En ny vannvei som drenerer vann fra overflata helt inntil varegrinda vil derfor kunne forventes å gi god effekt på både på smolt og utgytt voksen fisk.

Det er særlig to forhold som har betydning for effektiviteten til en slik ny vannvei. Det ene er i hvilken grad den er i stand til å skape en oppdagbar vannstrøm som fiskene kan oppfatte mens de søker rundt/oppholder seg i nærområdet. Det andre er hvorvidt vannveien gir fysisk rom og vannføeringsforhold som er gode nok til å lokke voksen utgytt fisk til passasje. Som en foreløpig anbefaling bør vannføringen gjennom denne vannveien være minst  $2\text{--}3\text{ m}^3\text{s}^{-1}$  under vandrings-sesongene, og det kan med fordel bygges to like vannveier på hver side av turbininntaket. I tillegg er det viktig at det tappes overflatevann gjennom denne/disne passasjene i periodene med ansamling av vandringsvillig fisk. Dersom dette vannet ledes ned til fisketrappa, eller ved siden av fiskeinngangen, vil dette også kunne gi en positiv effekt for oppvandrende fisk i form av økt attraksjon mot fiskeinngangen.

#### 5.4.5 Strobelys og andre lyskilder

Strobelyskastere har i varierende grad vist seg effektive til avledning av vandrende yngel og liten smolt hos stillehavslaks. Denne type tiltak har imidlertid vesentlig lavere effekt på større fisk som smolt av Atlantisk laks og sjørret. Årsaken til dette er at større fisk har bedre svømmekapasitet enn yngel, og vil i større grad manøvrere etter egen motivasjon. Yngel har større grad av passiv nedstrøms vandring med vannstrømmen, og vil derfor enklere kunne ledes vekk

fra turbininntak ved at den foretar en kortvarig unnvikelsesmanøver ved møte med strobelys, og blir deretter ført videre med alternativ strøm mot en gunstigere vannvei. Større smolt, og i særdeleshet voksen utgytt fisk vil derfor respondere dårligere på strobelys fordi de ikke automatisk føres videre med alternativ vannstrøm. I tillegg vil smolt og voksen utgytt fisk lett kunne venne seg til strobelysene hvis de oppholder seg i nærheten av dem over tid, og det forventes at en eventuell svak effekt gradvis vil forsvinne. I Frankrike er strobelys vurdert som upålitelige, og effekten har variert fra null til akseptable nivåer (Larinier et al. 2002).

Andre lyskilder, som for eksempel 50 W kvikksølvpærer, kan til en viss grad virke tiltrekkende på fisk under konstant belysning (Larinier et al. 2002), og vurderes som uegnet til å frastøte fisk. Denne type belysning er derimot egnet til å tiltrekke fisk mot ønsket posisjon, som for eksempel nye vannveier forbi turbinene.

#### 5.4.6 Boblegardiner

Boblegardiner som installeres foran turbininntak kan avlede fisk som blir skremt av oppstigende luftbobler i vannmassene. Fisk kan imidlertid raskt tilvennes boblene, og avledningen blir derfor lite effektiv. Til en viss grad har effekten blitt bedre ved å kombinere boblegardiner med lydkilder. Slike tiltak anses som virkningsløse dersom fisk oppholder seg en viss tid i området, men kan ha en viss evne til å lede fisk direkte over i en fiskepassasje (Larinier et al. 2002). Slike tiltak vurderes som lite egnet ved Klosterfoss.

#### 5.4.7 Lydkilder (akustiske barrierer)

Lavfrekvent lyd og ultralyd kan virke skremmende for en rekke fiskearter (Knudsen et al. 1994), og flere forsøk med varierende resultater er gjennomført i Nord Amerika, England og Frankrike. De mest vellykkede forsøkene ble oppnådd i mindre elver med vannrike fiskepassasjer (Whelton et al. 1997; Gosset & Travade 1999). Slike tiltak vurderes som lite egnet ved Klosterfoss.



*Eksempel på vellykket plassering av vanninntak/fiskeinngang på fiskepassasje ved siden av varegrind ved kraftverk i elva Gave d'Oussau i Frankrike. Det er viktig at slike fiskeinnganger blir plassert nært inntil varegrinda (Foto: M. Kraabøl).*

## 6 Forslag til tiltak

Vannslipp over nærmeste flomluke i perioder hvor det oppholder seg nedvandrende fisk i inn-taksmagasinet til Klosterfoss kraftverk anses som absolutt påkrevet for å gi tilfredsstillende nedvandringmuligheter for fisk. Nedenfor gis tre aktuelle løsninger i tillegg til vannslipp gjennom flomluka.

### 6.1 Minimumsløsning: Vannslipp over nærmeste flomluke i kombinasjon med strobelys, boblegardiner eller lydkilder

Et vannslipp over flomluka som tilsvarer en vannsøyle på 36 cm i kombinasjon med innretninger som har til hensikt å hindre fisken fra turbinpassasje kan til en viss grad opprettholde nedvandringmulighetene. Dette avhenger imidlertid av flere forhold som har en tendens til å variere mellom ulike kraftverk. For det første må strobelys, boblegardiner eller lydkilden virke avvisende / skremmende for fisk over tid. Dette anses som lite sannsynlig ettersom tilvenning er et vanlig fenomen, og særlig vil dette gjelde voksen utgytt fisk. For det andre må fisk som avvises/skremmes bort fra turbininntaket foreta en relativt omfattende søkeatferd i bassenget for å kunne finne vannstrømmen ned mot flomluka. Det er sannsynlig at særlig utgytt voksen fisk vil søke i området, men det er mindre trolig at smolt vil bevege seg langt unna vannstrømmen inn mot turbinene.

Denne tiltakskombinasjonen vurderes å gi usikker effekt, og det er lite sannsynlig at nedvandringforholdene vil opprettholdes ved denne tiltakskombinasjonen.

### 6.2 Akseptabel løsning: Vannslipp over flomluke og nye vannveier fra turbininntaket

Dersom det i stedet etableres nye vannveier som nedvandrende fisk kan velge mens de oppholder seg i forkant av varegrinda foran turbininntaket anses mulighetene for å gi tilfredsstillende nedvandringmuligheter som gode. Denne type tiltak er også i tråd med internasjonale erfaringer, og gir normalt en god effekt dersom forholdene legges godt til rette. Denne løsningen vil enten opprettholde eller forbedre dagens nedvandringforhold forbi kraftverket, og vurderes derfor som tilstrekkelig for å opprettholde dagens nedvandringmuligheter for laks og sjørret. Det bør etableres to nye vannveier som har vanninntak/fiskeinngang på i hjørnene på hver side av varegrinda. Begge fiskeinngangene bør være minst 70 cm brede. Dybden på hver inngang må tilpasses eventuelle vannstandsvariasjoner som inntreffer under nedvandningsperiodene. Konstruksjonen rundt selve inngangen, spesielt lukebunnen, bør være slik at den gir en jevn hastighetsøkning i vannstrømmen. I tillegg kan det med fordel monteres svak belysning ved fiskeinngangene for å tiltrekke fisk når det er mørkt.

### 6.3 Beste løsning: Vannslipp over flomluke, to nye vannveier fra turbininntaket og elektrisk fiskesperre

Dersom man i tillegg til vannslipp og nye fiskepassasjer etablerer en elektrisk fiskesperre som monteres skråstilt over hovedstrømmen inn mot turbinene vil nedvandringforholdene etter alt å dømme bedres i forhold til dagens situasjon. Elektriske impulser over et gradert felt i hovedstrømmen vil medføre en betydelig unnvikelse fra nedvandrende fisk, og kan ved korrekt plassering lede fisk direkte mot flomluka. Fisk som eventuelt ikke blir avledet av elektrisitetfeltet vil likevel kunne passere kraftverket gjennom de to nye fiskepassasjene.

## 7 Evaluering av iverksatte tiltak og definisjon av terskelverdier

Telemetristudier på gytevandrerne og smolt vil være den mest konklusive måten å evaluere iverksatte tiltak. De spesifikke metodene bør omfatte både radiotelemetri og PIT-teknologi. Feltforsøk med eksperimentelt design kan gjennomføres ved ulike vannføringsfordelinger mellom turbiner, nye fiskepassasjer ved turbininntaket og flomluker ved Klosterfoss. På denne måten kan man evaluere og kalibrere hvert enkelt tiltak, og det er også mulig å finne frem til terskelverdier for hvor mye vann som må slippes gjennom flomlukene og nye fiskepassasjer for å oppnå tilfredsstillende effekt av tiltaket.

Overvåkning av oppvandrende laks og sjørret i fisketrappa vil også være en langsiktig måte å evaluere effektene av tiltak. Det er imidlertid en viktig forutsetning at man kan skille mellom første- og flergangsgytende laks og sjørret. Dette kan gjøres ved videokontroll eller gjenfangstregistreringer gjennom manuell håndtering av oppvandrende fisk.



*Bildet viser vannspeilet (Hjellevann) ved turbininntaket i forgrunnen. I bakgrunnen ligger vannveien ned til flomlukene. Avstanden mellom strømmene ved turbininntaket og nærmeste flomluke er 40-50 meter. De fysiske forholdene synes å være godt egnet for avledning av fisk fra hovedstrømmen og over mot flomlukene. Nye fiskepassasjer bør bygges i hjørnene på hver side av varegrinda (Foto: M. Kraabøl).*



## 8 Konklusjoner og anbefalinger

Tidsperioden for nedvandring av laksesmolt i nedre deler av Skiensvassdraget er foreløpig definert innenfor perioden 15. april – 8. juni (7-8 uker). Det er behov for et bedre empirisk grunnlag for nærmere definisjon av tidsvinduet for utvandring av laksesmolt. I mangel på mer spesifikk kunnskap anbefales at tidsvinduet for nedvandring av smolt settes til perioden 15. april – 15. juni.

Det er ikke gjennomført undersøkelser på utvandring av sjørretsmolt i Skiensvassdraget. Dette bør gjennomføres for å fange opp eventuelle artsspesifikke forskjeller med hensyn til tidsvindu for nedvandring. Det antas at sjørretsmolt vandrer over et lengre tidsvindu enn laksesmolt.

Det er ikke gjort undersøkelser på utvandring av voksen utgytt laks eller sjørret. Undersøkelser ved bruk av radiotelemetry bør gjennomføres for å avklare tidsvinduene og hvorvidt returvandringen skjer både om høsten og om våren.

Slipp av tilstrekkelig overflatevann over den nærmeste flomluka i perioder med vandringsvillig fisk ved Klosterfoss kraftverk er absolutt påkrevd for å sikre nedvandring av smolt og voksen utgytt fisk.

I tillegg til overflatetapping innenfor tidsvinduene for de ulike artene bør det etableres to nye fiskepassasjer med vann- og fiskeinngang lokalisert på hver side av varegrinda. Kombinasjonen av disse tiltakene vurderes som tilstrekkelig for å opprettholde dagens nedvandringssmuligheter for laks og sjørret. Dersom det i tillegg etableres en elektrisk fiskesperre vil forholdene for nedvandring kunne forbedres.

Eventuelle tiltak som velges bør evalueres og kalibreres ved bruk av telemetristudier på nedvandrende smolt og gytefisk av laks og sjørret. Disse studiene bør ha et eksperimentelt design som fanger opp betydningen av relevante fysiske forhold.



Nedvandring av utgytt voksen ørret over flomluka ved Hunderfossen kraftverk. Flomluker med lav fallhøyde er meget gunstige vandringsveier for fisk forbi kraftverk (Foto: M. Kraabøl).

## 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.
- Agosthino, A.A., Marques, E.E., Agosthino, C.S., De Almeida, D.A., de Oliveira, R.J. & de Melo, J.R. 2007. Fish ladder of Lajedo Dam: migration on one-way routes? *Neotropical Ichthyology* 5; 121-130.
- Anonym 1989. Fisketrapper, funksjoner og virkemåte. Innstilling fra Fisketrapputvalget. Direktoratet for Naturforvaltning og Vassdragsregulanten Forening. 71 s.
- Arnekleiv, J.V., Kraabøl, M. & Museth, J. 2007. Efforts to aid downstream migrating brown trout (*Salmo trutta*) kelts and smolts passing a hydroelectric dam and a spillway. *Hydrobiologia* 582; 5-15.
- 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. & 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.
- 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.
- 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.
- DeLachenade, S. 1931. Le saumon dans les Gaves et les échelles à poissons. (The salmon of the Gave Rivers and the fish passes). *Bulletin Française de Pisciculture* 4; 97-102.
- Ferguson, J.W., Poe, T.P. & Carlsson, T.J. 1998. The design, development and evaluation of surface oriented juvenile salmonids bypass systems on the Columbia river, USA. In: Jungwirth, M., Smutz, S. & Weiss, S. (Eds.). *Fish migration and fish bypasses*. Fishing News Books, pp. 281-299.
- Gosset, C. & Travade, F. 1999. A study of facilities to aid the downstream migration of salmonids: behavioural screens. *Cybiu* 23; 45-66.
- 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. & Boubée, J. 2000. Behaviour and passage of silver-phase American eels, *Anguilla rostrata* (LeSueur), at a small hydroelectric facility. *Dana* 12; 33-42.
- Haugen, T.O., Aass, P., Stenseth, N.O. & Vøllestad, L.A. 2008. Changes in selection and evolutionary responses in migratory brown trout following the construction of a fish ladder. *Evolutionary Applications* 1; 319-335.
- Hvidsten, N.A. 2010. Smolt- og ungfiskundersøkelser i Skiensvassdraget. Smoltutvandring i Skotfoss og ungfisk i Bøelva, Heddøla, Tinnåa og Bliva. NINA Rapport 556, 31 s.

- 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.
- Knudsen, F.R., Enger, P.S. & Sand, O. 1994. Avoidance responses to low frequency sounds in downstream migrating Atlantic salmon smolt, *Salmo salar*. *J. Fish Biol.* 45; 227-233.
- 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., Museth, J. & Sandlund, O.T. 2010. Conserving iteroparous fish stocks in regulated rivers; the need for a broader perspective! *Fisheries Management and Ecology* 16; 337-340.
- Kraabøl, M. & Museth, J. 2007. Fisketrapper i Glomma og Søndre Rena mellom Bingsfoss og Storsjøen. NINA Rapport 306, 32 sider + vedlegg.
- Kraabøl, M. & Nashoug, O. 2010. Fiskevandring forbi kraftverk og dammer i Rena og Glomma. Systemforståelse, lokal og internasjonal basiskunnskap og innspill til instruks ved de enkelte fiskepassasjene. NINA Rapport 537, 47 s.
- 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., Travade, F. & Porcher, J.P. 2002. Fishways; biological basis, design criteria and monitoring. *Bulletin Francais Pêche Pisciculture* 364; 208.
- Larinier, M. & Travade, F. 2002. Downstream migration: Problems and facilities. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 364, p. 181-207.
- 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. 2006. 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.
- Odeh, M. & Orvis, C. 1998. Downstream fish passage design considerations and developments at hydroelectric projects in the north-east USA. In: Jungwirth, M., Smutz, S. & Weiss, S. (Eds.). *Fish migration and fish bypasses*. Fishing News Books, 267-280.
- Skåre, P.E., Hvidsten, N.A., Forseth, T. & Fjeldstad, H.P. 2006. Smoltutvandring forbi Skotfoss kraftverk i Skiensvassdraget ved bygging av nytt flomkraftverk. NINA Rapport 193, 19 s.
- Whelton, J.S., Beaumont, W.R.C., Ladle, M. & Masters, J.E.G. 1997. Smolt trapping using acoustic techniques. *Environment Agency, Research & Development Technical Report W66*, 79 pp.









*Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.*

*NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.*

*Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.*

ISSN:1504-3312  
ISBN: 978-82-4262365-2

## Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: [firmapost@nina.no](mailto:firmapost@nina.no)

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger