

Telemetrisk studier av nedvandrende smolt og utgytt Hunderørret forbi Hunderfossen kraftverk i Gudbrandsdalslågen i 2011 og 2012

Morten Kraabøl, Jon Museth, Stein I. Johnsen, Jostein Skurdal og John G. Dokk



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.

Telemetristudier av nedvandrende smolt og utgytt Hunderørret forbi Hunderfossen kraftverk i Gudbrandsdalslågen i 2011 og 2012

Morten Kraabøl
Jon Museth
Stein I. Johnsen
Jostein Skurdal
John G. Dokk

Kraabøl, M., Museth, J., Johnsen, S.I., Skurdal, J. og Dokk, J.G.
2013. Telemetristudier av nedvandrende smolt og utgytt Hunderørret forbi Hunderfossen kraftverk i Gudbrandsdalslågen i 2011 og 2012 - NINA Rapport 940. 41 sider + vedlegg.

Lillehammer november 2013

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426- 2545-8

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Morten Kraabøl

KVALITETSSIKRET AV

Jostein Skurdal

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Jostein Skurdal (sign.)

OPPDRAKSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Eidsiva Vannkraft AS

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Trond Taugbøl

FORSIDEBILDE

Hunderfossen kraftverk og dam om høsten (foto: Morten Kraabøl).

NØKKELOORD

- Gudbrandsdalslågen, Oppland, Lillehammer kommune
- Hunderfossen kraftverk
- Ørret, Hunderørret, storørret, smolt, vinterstøing
- Radiotelemetri
- Minstevannføring
- Varegrinder
- Gyteområder

KEY WORDS

- River Gudbrandsdalslågen, Oppland County, Norway
- Hunderfossen power plant, trash racks
- brown trout *Salmo trutta*, Hunder trout, smolts and kelts
- telemetry studies, downstream migration

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen
7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Framsenteret
9296 Tromsø
Telefon: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Fakkeldgården
2624 Lillehammer
Telefon: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Kraabøl, M., Museth, J., Johnsen, S.I., Skurdal, J. og Dokk, J.G. 2013. Telemetristudier av nedvandrende smolt og utgytt Hunderørret forbi Hunderfossen kraftverk i Gudbrandsdalslågen i 2011 og 2012. – NINA Rapport 940. 41 sider + vedlegg.

Bakgrunn: Alle elvekraftverk har et definert inntaksområde for vann som ledes nedstrøms gjennom trykksjakter og turbiner for kraftproduksjon. Foran disse vanninntakene er det installert varegrinder som beskytter turbinene mot større objekter som kommer flytende med vannet. I mange tilfeller er turbinpassasje den eneste tilgjengelige vannveien for nedstrøms vandrende fisk. Valg av lysåpning i varegrinder foran turbininntakene har hittil først og fremst blitt gjort som følge av driftsmessige forhold av kraftverkseieren, og det har vært lite fokus på varegrinder som bevarings- og fiskeforsterkningstiltak i norske regulerte vassdrag med elvekraftverk. Dette til tross for at det har vært et tema i internasjonale fagjournaler i årtier. Varegrindene ved Hunderfossen kraftverk ble skiftet ut i løpet av vintrene 2009/10 og 2010/11. De gamle varegrindene hadde en lysåpning på 6 cm, mens de nye grindene har en lysåpning på 10 cm mellom de vertikaltstilte elementene. Nedvandrende smolt kan passere med lysåpning 6 cm og med en åpning på 10 cm er det mulig for de fleste gytevandrende Hunderørretene å passere gjennom varegrindene under returvandringen mot Mjøsa.

Fra et fiskebiologisk ståsted er det ikke ønskelig at hverken smolt eller støing passerer gjennom turbinen. Dette kan føre både til akutt dødelighet og skader med langtidsvirkning. For smolt som skal vandre videre gjennom Lågendeltaet med mye rovfisk (gjedde, abbor og lake) kan turbinpassasje føre til at de blir mer utsatt for predasjon.

Hensikten med studiet var å undersøke om skifting til varegrind med større lysåpning (10 cm) gir økt risiko for at utgytt ørret (støing) og smolt passerer gjennom turbinene. Gytefiskundersøkelsen ble gjennomført høst og vår. Smoltundersøkelsen ble gjennomført om våren uten slipp av vann gjennom flom- og isluker, og resultatene er sammenlignet med tilsvarende telemetristudier i 1998. Videre er det undersøkt gytevandringer og gytested for radiomerket gytefisk oppstrøms dam og returvandring mot dam etter gyting. For utgytt ørret er det undersøkt terskelverdier for vannslipp over isluka i forhold til nedvandring forbi dammen og videre nedvandring gjennom minstevannføringsstrekningen til Fåberg.

Materiale og metode: Til sammen ble det radiomerket 49 voksne Hunderørret fanget i fiske-trappa ved Hunderfossen og 50 stk to-årig smolt fra settefiskanlegget ved Hunderfossen som alle ble satt ut ovenfor dammen. De radiomerkede ørretene ble peilet både manuelt og ved to automatiske dataloggingsstasjoner nedenfor Hunderfossen dam. Det ble gjennomført to forsøk med ulike vannslipp over isluka for å avdekke laveste funksjonelle terskelverdi og effekten av et kontinuerlig vannslipp på 5 m³/s over isluka i tre døgn.

Resultater voksen ørret: Oppstrøms vandring og gyteområder ble registrert for 40 gytevandrende Hunderørret. Gyting ble registrert på følgende syv lokaliteter; Strømslugguet ved Rybakken (3 stk), Øyer ved Tingberg (17 stk), Sæterfossen ved Skarsmoen (6 stk), Hovdefossen (1 stk), Tretten fra Lybekkstrømmen og ned til Hovdefossen (7 stk), Tretten ved Bådstø (5 stk) og Frya (1 stk). Dette er hovedsakelig de samme gyte plassene som er registrert tidligere. De mest intense periodene for returvandring foregikk i to puljer på henholdsvis høsten og våren; 10. – 31. oktober 2011 og 24. – 25. mai 2012. Det første forsøket med vannslipp over isluka avdekket en minste terskelverdi for på 3 m³/s for passasje av utgytt ørret. Dette tilsvarer et vannsøyde på 28 cm over lukekanten. Det andre lukeforsøket med 5 m³/s i tre døgn viste at 41,7 % av utgytt ørret foran turbininntaket passerte isluka i løpet av første døgn, og 83,3 % hadde passert etter tre døgn. Til sammen 10 støinger passerte isluka og av disse fortsatte kun 2 ned til Mjøsa ved vanlig minstevannføring på 1,8 m³/s, en ørret vandret ned ved en lokkeflom på 10 m³/s, mens de resterende syv overvintret i kulpene nedenfor Hunderfossen.

Resultater smolt: Det ble merket 50 smolt som ble satt ut ovenfor dammen ved Granrudmoen i Øyer den 16. mai 2012, og i motsetning til tilsvarende studier med finmasket (6 cm) varegrind i 1998 gikk flere av de radiomerkede smoltene direkte ned i turbininntaket. Den første registreringen på ADS-stasjonen på Fåberg var 17. mai kl. 0739. Til sammen 27 smolt ble registrert på ADS-stasjonen på Fåberg, og ingen registreringer ble logget eller peilet på minstevannføringsstrekningen. ADS-registreringene skjedde fra 17. – 28. mai, og de fleste (67 %) vandret ut i løpet av 4 døgn etter utsetting på Granrudmoen. Registreringene på loggeren viser at de vandret ut om natten og at dette derfor er aktiv vandring hos smolt. De resterende 23 smoltene har enten omkommet i turbinpassasjen eller vandret ned til Mjøsa uten å bli registrert. Siden kun 3 av 9 smolt som ble registrert manuelt ved Hølsauget ble registrert av loggerne er det trolig at en del smolt passerte loggerne uten å bli registrert. De fleste av de radiomerkede smoltene passerte trolig gjennom varegrindene, turbinene og avløpstunnelen. Registreringene nedover mot Mjøsa indikerer at de som kom ut av avløpstunnelen var i live etter turbinpassasjen, men det er umulig å fastslå om de hadde fått mindre skader. Datamaterialet gir ikke grunnlag for å beregne dødelighet som følge av turbinpassasje.

Konklusjon 1: Returvandring av utgytt ørret fra gyteområdene foregår både om høsten etter gyting og om våren i forkant av og under vårflommen. Forsøk over tre døgn med vannslipp på 5 m³/s over isluka ga 41,7 % nedvandringseffektivitet i løpet av første døgnet og 83,3 % for hele tredagers perioden. Kun 20 % av de som passerte isluka om høsten fortsatte vandringen videre ned til Mjøsa ved vanlig minstevannføring. En ørret vandret nedover til Mjøsa under en lokkeflom på 10 m³/s, mens 70 % overvintret i hølene like nedenfor Hunderfossen. Avbrutt nedvandring etter passasje av isluka kan skyldes slagskader fra selve fallet (3-4 m) fra lukekanten og hard medfart som følge av kontakt med betongrenna ned mot undervannet.

Anbefalinger: Islukas effektivitet som funksjonell nedvandningsvei for utgytt vinterstøing om høsten er godt dokumentert, og det bør hvert år slippes 5-10 m³/s i perioden 5. oktober til 5. november. Videre bør det foretas utbedringer for å redusere fallhøyden fra lukekanten og ned til betongrenna, og utformingen av betongrenna bør endres slik at den får et glatt underlag. Betongrenna ender i et fossefall ned mot fisketrappas nedre del, og oppstikkende bergknauser og andre fysiske hindringer bør fjernes. Det bør gjennomføres telemetristudier for å evaluere effektene av en eller flere kombinasjoner av de foreslåtte tiltakene på ørretens evne til å fortsette returvandringen til Mjøsa etter passasje av Hunderfossen dam.

Konklusjon 2: Nedvandrende smolt av settefisk passerer nå direkte gjennom de nye varegrindene og turbinene. Dette antas å skyldes en kombinasjon av stor lysåpning og uheldig vinkling av begge varegrindene i forhold til strømreringen. I tillegg er vannhastigheten om lag dobbelt så stor gjennom varegrindene sammenlignet med internasjonale anbefalinger. Forsøket ble gjennomført med utsatt smolt som var utvandringssklar og som straks etter utsetting startet aktiv nedstrøms vandring. Det foreligger ikke kunnskap om når villsmolten vandrer ut.

Anbefalinger: Utsetting av smolt av settefisk må foretas slik at smolten ikke må vandre gjennom turbinene for å passere kraftverket. Dette kan oppnås ved at all smolt settes nedenfor Hunderfossen eller når det går vann gjennom isluka. Det er behov for å undersøke når villsmolt vandrer nedstrøms og vurdere tiltak for å hindre at de vandrer gjennom turbinene. Ut fra generell kunnskap og litteratur om varegrinder bør det snarest iverksettes tiltak for å redusere smoltvandring gjennom turbinen. Dette omfatter bl.a. lysåpning og utforming av varegrinda, samt plassering i forhold til vannstrømmen og/eller forsøk med smoltavledere foran turbininntaket og vannslipp over isluka. Det anbefales at det installeres en skråstilt og 4-5 m dyp smoltavleder i forkant av isluka med de samme forankringspunkter som dagens flytelense. I tillegg bør det installeres ei midlertidig varegrind med lysåpning 1,5 - 2 cm som kan settes på plass i smoltutvandningsperioden fra om lag 10. mai til 1. juli. Det bør gjennomføres forsøk med radiomerket smolt (vill- og settefisk) for å finne frem til velfungerende varegrinder som både avviser nedvandrende smolt og vinterstøing samtidig som den er praktisk i forhold til driftsmessige forhold. I tillegg bør det slippes 5-10 m³/s gjennom isluka, og ved større vårflom bør også

tømmerluka åpnes så tidlig som mulig. Det bør gjennomføres utvidede telemetristudier både på naturlig rekruttert og kultivert smolt for å evaluere effektene av ett eller flere kombinasjoner av de foreslåtte tiltak.

Morten Kraabøl, NINA Fakkeltgården, 2624 Lillehammer, morten.kraabol@nina.no
Jon Museth, jon.museth@nina.no
Stein I. Johnsen, stein.ivar.johnsen@nina.no
Jostein Skurdal, jostein.skurdal@nina.no
John Gunnar Dokk, john.gunnar.dokk@nina.no

Abstract

Kraabøl, M., Museth, J., Johnsen, S.I., Skurdal, J. & Dokk, J.G. 2013. Telemetry studies of downstream migrating Hunder trout smolts and kelts at Hunderfossen power plant in River Gudbrandsdalslågen in 2011 and 2012. – NINA Report 940. 41 pp.

Background: All run-of-river hydro power plants have a turbine forebay area in which production water is drawn into the turbine shafts. In front of the intake shafts there are trash racks to avoid entrainment of coarse woody debris. In many cases the turbine waterway is the only available passage route for downstream migrating fish. The choice of spacing between the trash rack beams is generally based on operational considerations by the power plant owner, and only rarely considered in a conservational context by the authorities despite the fact that this has been an international research topic for decades. The old trash racks spaced 6 cm at Hunderfossen power plant was replaced with new and 10 cm spaced racks in 2009/10 and 2010/11. A 10 cm spacing provide very limited physical hindrance for migrating fish to pass the trash racks and enter the turbines.

From a fisheries management point of view it is not desirable to allow neither smolts nor kelts of any species to pass through turbines due to the risks of instant mortality and long term damages. The lower reaches of River Gudbrandsdalslågen contain abundant populations of predator species like pike, perch and burbot which have the capacity to inflict delayed mortality through predation on damaged and perplexed smolts.

The purpose of this study was to examine whether the effect of increased spacing between the steel elements of the trash rack (from 6 to 10 cm) inflicted increased risk of turbine entrainment of trout kelts and smolts. The kelt surveys were conducted in autumn and spring, and smolt surveys were done in early spring without release of spillwater through the spillways. The effect from increased spacing is evaluated by comparing findings from previous telemetry studies in 1998. In addition the study revealed spawning locations above the Hunderfossen dam, and further explored the lower threshold values for downstream passage of kelts through the ice- and trash spillway.

Material and methods: In total 49 adult trout were captured and tagged during their upstream migration in the fishway, and 50 hatchery-reared 2-year-old smolts were radio-tagged and released above the dam. Tracking was performed manually and by two automatic data logging stations. Two trials involving different water discharges through the ice- and spillway were conducted in order to reveal the lowest functional discharge required for downstream passage of kelts, and the effect of 3-days release of 5 m³/s during the migration period.

Results adult trout: The spawning sites for 40 trout were recorded between Rybakken in Øyer and Frya in Sør-Fron. The most intense return migration periods for kelts occurred in autumn (10-31 October) and spring (24-25 May). The lowest water discharge required for passing kelts through the ice- and trash spillway was 3 m³/s, which correspond to a 28 cm water column over the spillway crest.

Release of 5 m³/s during a 3 days period (day and night) resulted in a passage efficiency of 41.7 % after the first day, and 83.3 % after three days. However, only two (20 %) out of 10 trout that successfully passed the spillway continued further downstream migration towards Lake Mjøsa during the lowest regulated water flow, one trout migrated downstream during an artificial freshet, and the remaining 7 trout over-wintered in the pools below the dam.

Results smolt: In total, 50 radio tagged smolts were released at Granrudmoen Øyer on May 16, and unlike the results from smolt studies in 1998, many of them migrated directly towards the turbine intake. First records of smolt passage on the ADS station at Fåberg was on May 17 0739 am. In total 27 smolts were logged at this ADS station, and no records were detected on

the ADS station on the regulated river section. The smolt passages at Fåberg occurred between 17 and 28 May, and 67 % had passed Fåberg within 4 days after release at Granrundmoen. Smolt migration took place during nighttime. The remaining 23 smolts were either killed in the turbines or passed the ADS station without being recorded. It is concluded that probably all smolts passed the power plant by descending through the turbines. The data does not provide sufficient power to estimate mortality from turbine passage.

Conclusions and recommendations for kelts: The return migration of kelts from the spawning grounds occurs in two heats; during, and shortly after, spawning in October and in the early phase of the spring flood in May. Release of 5 m³/s over three days resulted in 83.3 % passage efficiency of kelts, but 70 % of the passing kelts over-wintered in the pool below the dam, and only 30 % migrated to Lake Mjøsa. Aborted downstream migration may be a result of the 3-4 m free fall down to the concrete channel and friction damages to the skin, mucus and eyes during the descent. It is also recommended that the ice- and trash spillway is actively maneuvered to provide sufficient passage opportunities for kelts. The lower threshold value for kelt passage over the spillway crest was 3 m³s⁻¹, which corresponds to a 28 cm water column. It is recommended that the ice- and trash spillway should release 5 m³s⁻¹ from 5 October to 5 November each year. The height of the free fall from the spillway crest to the concrete channel floor should also be reduced to avoid injuries affecting the motivation to migrate. The concrete channel and the rock formations in the lower parts should be smoothed.

Conclusions and recommendations for smolts: Compared to previous investigations when the old trash rack was present, hatchery-reared smolts quickly migrated towards the turbine forebay and descended without hesitation. This behaviour is interpreted as an effect of the new and coarser trash rack spacing. Whether these findings are representative for wild smolts is not clear, and similar investigations for wild smolts should be conducted. It is also recommended all hatchery-reared smolts are released below Hunderfossen dam to avoid losses from turbine mortality. Further, if wild smolts perform similarly, it is necessary to establish measures to prevent or reduce turbine entrainment of wild smolt. These include reduced rack spacing either as a permanent arrangement, or a temporary and removable rack to be installed during migration season. Selected measures and arrangements should be evaluated through further migration studies on wild and hatchery-reared smolts.

Morten Kraabøl, NINA Fakkeltgården, 2624 Lillehammer, morten.kraabol@nina.no
Jon Museth, jon.museth@nina.no
Stein I. Johnsen, stein.ivar.johnsen@nina.no
Jostein Skurdal, jostein.skurdal@nina.no
John Gunnar Dokk, john.gunnar.dokk@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	6
Innhold	8
Forord	9
1 Innledning	10
2 Materiale og metoder	13
2.1 Radiomerking av voksen gytefisk	13
2.2 Radiomerking av smolt	13
2.3 Radiopeilinger	14
2.3.1 Manuelle peilinger	14
2.3.2 Automatiske dataloggere	15
2.3.3 Forsøk med vannslipp over isluka – terskelverdi for utvandring	15
2.3.4 Vannslipp over isluka – terskelverdi for videre nedvandring gjennom minstevannføringsstrekningen	16
3 Områdebeskrivelse	17
3.1 Hunderfossen kraftverk og dam	17
3.2 Varegrindene	18
3.2.1 Vannføring i studieperioden	21
4 Resultater	23
4.1 Gytemoden ørret	23
4.1.1 Registrerte gytelokaliteter	23
4.1.2 Tidspunkt for returvandring av utgytt ørret til Hunderfossen dam	23
4.1.2.1 Telling av antall vinterstøing foran turbininntaket	23
4.1.2.2 Ankomst av radiomerkede ørreter ved Hunderfossen dam	23
4.1.3 Passasje av utgytt ørret forbi dam/gjennom turbiner	26
4.1.3.1 Forsøk 1: Vannslipp over isluka – visuell observasjon	26
4.1.3.2 Forsøk 2: Vannslipp over isluka - passasje av utgytt ørret	27
4.1.3.3 Effekten av ekstra vannslipp på minstevannføringsstrekningen etter passasje av dammen	29
4.2 Smolt	29
4.2.1 Nedvandningsrute og dødelighet	29
5 Diskusjon	31
5.1 Gyteregistreringer og returvandring til Hunderfossen dam	31
5.2 Passasje av ørret gjennom turbiner og isluka	31
5.3 Aktuelle tiltak – generelt og spesielt ved Hunderfossen	33
6 Konklusjoner og anbefalinger	38
7 Referanser	39
8 Vedlegg	42

Forord

I 2010 og 2011 ble det installert to nye varegrinder foran turbininntakene til de to generatorene ved Hunderfossen kraftverk. Lysåpningene i de nye varegrindene er 10 cm, mens de gamle varegrindene hadde en lysåpning på 6 cm.

Eidsiva Vannkraft AS engasjerte i den forbindelse NINA for å undersøke:

- om utskifting til varegrind med større lysåpning gir økt passasje av gytefisk og smolt gjennom turbinene sammenlignet med tidligere varegrinder
- gytevandring og gytelokaliteter oppstrøms dam og returvandring mot dam
- terskelverdier for vannslipp over isluka i forhold til nedvandring av utgytt voksen ørret (vinterstøing) og terskelverdier for vannslipp over dam i forhold til videre nedvandring gjennom minstevannføringsstrekningen

Vi takker Magnus F. Kaltenborn for manuelle radiopeilinger av smolt og gytefisk, Frank Hansen og Åse Brenden ved Hunderfossen settefiskanlegg, og Kjetil Olstad ved NINA for hjelp til fangst og merking av ørret. Lars Nilssen i Sherpa Film takkes for publisering av prosjektet gjennom VG TV.

Eidsiva Vannkraft AS takkes for finansiering til prosjektet, og for teknisk assistanse ved manøvrering av isluka på vår forespørsel. Trond Taugbøl takkes spesielt for verdifulle innspill av faglig art.

Prosjektet er godkjent av Forsøksdyrutvalget (FDU): ID 5541, saksnr. 2013/116588.

Lillehammer november 2013

Morten Kraabøl
prosjektleder

1 Innledning

Alle elvekraftverk har et definert inntaksområde for vann som ledes nedstrøms gjennom trykksjakter og turbiner for kraftproduksjon. Foran disse vanninntakene er det installert varegrinder som beskytter turbinene mot større objekter som kommer flytende med vannet. Trær og trevirke blir lett fanget opp på slike varegrinder, og kan deretter bli fjernet med manuelle eller automatiske renskeanordninger for å opprettholde optimal vanngjennomstrømming til turbinene. I mange tilfeller er turbinpassasje den eneste tilgjengelige vannveien for nedstrøms vandrende fisk, og en varierende andel følger enten frivillig eller ufrivillig med vannstrømmen ned gjennom turbinene.

Roterende turbinblader, store trykkforskjeller og gassovermetning kan drepe eller skade en betydelig andel av fisken som passerer turbinene (Montèn 1985; Coutant & Whitney 2000; Canada 2001). Turbinpassasje for fisk, både utgytt voksen ørret og smolt er derfor uheldig, og det er viktig med tiltak som primært hindrer og sekundært reduserer omfanget av dette. I en slik sammenheng er utforming og plassering av varegrinder viktige tiltak som forhindrer passasje gjennom turbiner, i tillegg til manøvrering av luker som slipper overflatevann.

Teknologisk miljødesign som omfatter fasiliteter for skånsom nedvandring av fisk forbi kraftverk er hittil lite påaktet i Norge, men forskningslitteraturen er økende på dette feltet (f.eks. Arnekleiv et al. 2007; Kraabøl et al. 2008; 2009a;b; Calles et al. 2012; Kraabøl 2012). Kompleksiteten i problematikken kan illustreres ved at nesten alle arter av innlandsfisk er flergangsgytende (Pethon 1998; Klemetsen et al. 2003), og trenger derfor å vandre nedstrøms i vassdragene til ulike tider i livssyklusen. Dette gjelder i første rekke returvandrende gytefisk og utvandring av ungfisk hos vandrende fiskebestander som for eksempel storørret. Utformingen av dammer, flomluker og turbininntak i eksisterende kraftverk er imidlertid først og fremst tilpasset produksjonstekniske forhold, og miljømessige forhold er som regel ikke hensyntatt. For å møte fremtidens krav til balanserte avveininger mellom kraftproduksjon og miljøhensyn er det derfor avgjørende å designe gode miljøløsninger som i større grad favner bredden i samfunnsmessige og lovpålagte behov og avveininger. Ivaretagelse av et mangfold av vandrende og bevaringsverdige fiskebestander i tidligere regulerte vassdrag er derfor en av de største utfordringene i regulerte vassdrag for å møte miljøkravene som er nedfelt i Vannforskriften (Kgl. res. 15. desember 2006).

Valg av lysåpning i varegrinder foran turbininntakene har hittil først og fremst blitt gjort som følge av driftsmessige forhold hos kraftverkseieren, og gjøres ut fra en vurdering av turbinenes robusthet, falltap og elvas transport av flytende trevirke og andre objekter. Kraftbransjen har også utviklet ulike design av varegrinder som gir optimal vanngjennomstrømming og minst mulig falltap til enhver tid. Til tross for at varegrindene er den eneste installasjonen som fysisk kan forhindre passasje av fisk gjennom turbinene har det vært overraskende lite fokus på varegrinder som bevarings- og fiskeforsterkningstiltak i norske regulerte vassdrag med elvekraftverk. Det er ytterst sjelden at varegrinder og lysåpninger er spesifisert i forhold til fiskepassasjer i konsesjonsvilkårene. I forbindelse med bygging av nye kraftverk, samt opprusting og utvidelse av eksisterende elvekraftverk blir det i mange tilfeller satt inn nye varegrinder uten at effektene på fiskevandring blir vurdert. Dersom dette medfører økt passasje av fisk gjennom turbinene kan dette få betydelige negative innvirkninger på bestandsstørrelse og -struktur hos vandrende fiskebestander. Behovet for å bevare viktige fiskebestander og opprettholde/restaurere opprinnelige vandringsmønstre bør derfor være et av de viktigste insentivene for å utvikle moderne miljødesign både i eksisterende og planlagte elvekraftverk. De to varegrindene ved Hunderfossen kraftverk ble skiftet ut i løpet av vintrene 2009/10 og 2010/11. De gamle varegrindene hadde en lysåpning på 6 cm, mens de nye grindene har en lysåpning på 10 cm mellom de vertikaltstilte elementene (**Figur 1**). Dette medførte en bekymring for økt innvandring i turbininntaket av både smolt og vinterstøing av hunderørret som vandrer nedstrøms forbi Hunderfossen kraftverk både om høsten og om våren/forsommeren. Tidligere telemetri-studier har vist at både smolt og vinterstøing passerte gjennom overflateluker i dammen frem-

for turbinene før varegrindene ble skiftet ut, og at de oppholdt seg ved turbininntaket inntil vann ble sluppet gjennom overflateluker (Arnekleiv et al. 2007; Kraabøl et al. 2008, Kraabøl 2012).

Hensikten med dette studiet var å undersøke om skifting til varegrind med større lysåpning (10 cm) gir økt passasje av utgytt voksen ørret (vinterstøing) og smolt gjennom turbinene. Studiet skulle opprinnelig gjennomføres etter samme oppsett som tidligere, slik at resultatene kunne avdekke betydningen av mer grovmasket varegrind foran turbininntaket både for smolt og vinterstøing. Resultatene fra studien av nedvandrende gytefisk er direkte sammenlignbare med studien fra 1998 (Arnekleiv et al. 2007), mens smoltundersøkelsen ble gjennomført med et avvik i form av manglende slipp av vann gjennom flom- og isluka i perioden hvor radiomerket smolt ankom Hunderfossbassenget. Dette skyldes at de radiomerkede smoltene vandret uventet raskt ned til Hunderfossen dam og videre gjennom turbinene uten forsinkelse. Radiosignalerne fra merket smolt som gikk inn i turbinsjakten ble borte, og dette ble først tolket dithen at de oppholdt seg i dypere områder i bassenget mellom Hunderfossen dam og utsettingsstedet på Granrudmoen. Basert på erfaringene fra tidligere radiomerkingsforsøk av smolt ved Hunderfossen ble peileinnsatsen derfor økt i bassenget. I denne tidsperioden forsvant derfor en stor del av den merkede smolten inn i turbinene og avløpstunnelen, og forsøk med lukemanøvrering ble ansett som vanskelig å gjennomføre som følge av et ukjent antall gjenværende smolt i bassenget og stort tidspress for å utrede den uventede situasjonen. Telemetristudiene i 1998 ble gjennomført med den gamle varegrinda med 6 cm lysåpning kombinert med gjentatte vannslipp gjennom isluka (Arnekleiv et al. 2007). Foreliggende undersøkelse ble gjennomført etter installasjonen av de nye varegrindene med 10 cm lysåpning, og er på grunn av noe ulikt design ikke direkte sammenlignbare. Men dette studiet belyser likevel den viktigste problemstillingen om hvorvidt smolt vandrer ned gjennom turbinene når det ikke slippes vann gjennom alternative nedvandningsveier. I tillegg er designet velegnet til å sammenligne graden av forsinkelse hos ørret som oppholder seg ved turbininntaket i forkant av videre nedvandring. Videre er det representativt for normalsituasjonen at alle luker holdes stengt inntil kraftverkets slukevne på 320 m³/s overstiges. Telemetristudiene av radiomerket settefisksmolt i 1998 viste dessuten tydelig at ingen smolt passerte gjennom turbinene når de ikke hadde alternative nedvandningsveier, og oppholdt seg ved turbininntaket i flere dager både i forkant av, og mellom vannføringsslipp gjennom isluka (Arnekleiv et al. 2007). Begge studiene omhandler derfor smoltens atferd ved turbininntaket uten alternative vannslipp, og de er derfor egnet som sammenligningsgrunnlag for å belyse effektene av utskifting til mere grovmaskede varegrinder.

Videre er det undersøkt gytevandring og gytelokalitet for radiomerket voksen Hunderørret oppstrøms Hunderfossen dam og returvandring mot dam etter gyting. For utgytt ørret er det undersøkt terskelverdier for vannslipp over isluka i forhold til nedvandring forbi dammen og i forhold til nedvandring til Mjøsa.



Figur 1. Øverst: Fra arbeidet med å installere de siste seksjonene til de nye varegrindene med 10 cm lysåpning. Nederst: De nye seksjonene kan sees foran inntaket (foto: Morten Kraabøl).

2 Materiale og metoder

2.1 Radiomerking av voksen gytefisk

Til sammen ble det radiomerket 49 voksne Hunderørret (14 hanner og 35 hunner, 12 villfisk og 37 settefisk) fanget under oppvandring i fisketrappa ved Hunderfossen (**Vedlegg 1**). Disse ble merket i fisketrappa og gjenutsatt ovenfor dammen på følgende datoer; 21. september, 25. september og 3. oktober 2011. Alle ørretene ble håvet opp fra fangstfella og plassert i en vannfylt merkesylinder tilsatt små mengder 2-fenoksyetanol (< 1 ml pr. liter elvevann) for mild sedasjon.

Radiosenderne (Advanced Telemetry Systems (ATS) model F2050, vekt 14,5 g, pulsrate 30 pulser pr minutt, ppm) ble festet på høyre side av ryggfinnen ved hjelp av to wirer gjennom øvre del av ryggmuskulaturen og festet separat på venstre side med stoppskiver og klemmesylindere. I løpet av merkeprosessen ble ørretenes kjønn, lengde og opprinnelse (vill eller settefisk) bestemt. Kroppshøyde og -bredde ble målt for 14 ørreter (pluss ungfisk) for å etablere sammenhengen mellom kroppslengde og -bredde (**Figur 8 og 10**). I tillegg til påmontering av radiosendere ble de voksne hunderørretene også merket med Carlinmerke (**Figur 2**).



Figur 2. Radio- og Carlinmerket voksen hunderørret fra fisketrappa (foto: Morten Kraabøl).

Etter merking ble ørretene plassert i en «laksebag» og båret manuelt opp til damkrona hvor de ble sluppet ut på oversiden av dammen.

2.2 Radiomerking av smolt

Til sammen ble det radiomerket 50 stk to-årig smolt (kroppslengder: 20,4 – 26,3 cm, kroppsvækt: 92-201 g) fra Hunderfossen settefiskanlegg den 16. mai 2012 (**Vedlegg 2**). Ingen smolt ble kjønnsbestemt. Det ble plukket ut smolt med tydelig fremskreden smoltdrakt (**Figur 3**) med få eller ingen parrmerker. Alle ble håvet opp fra settefiskkummen og plassert i et vannbad med bedøvelse (0,7 ml 2-fenoksyetanol pr. liter vann) inntil unnvikelsesreflekser opphørte. Deretter ble de plassert på digital vekt og veid til nærmeste gram før de ble plassert i vannfylte merkesylindere med friskt vann for radiomerking.

Radiosenderne (ATS, model F1945, vekt 2,1 g, pulsrate 30 ppm) ble festet på høyre side av ryggfinnen (**Figur 3**) ved hjelp av to wirer gjennom øvre del av ryggmuskulaturen som ble festet separat på vestre side med stoppskiver og klemmesylindere. I løpet av merkeprosessen ble kroppslengde målt til nærmeste millimeter.

Etter radiomerking ble smoltene plassert i lite settefiskkar med kontinuerlig vanngjennomstrømming for oppvåkning. Deretter ble alle båret over i vannfylt 1000 l transporttank med kontinuerlig oksygentilførsel og transportert til Granrudmoen bru i Øyer for gjenutsetting om lag 2,5 km ovenfor Hunderfossen dam.



Figur 3. Radiomerket hunderørret-smolt i sølvblank smoltdrakt (foto: Morten Kraabøl).

2.3 Radiopeilinger

2.3.1 Manuelle peilinger

Manuelle peilinger ble utført med mottakerutstyr fra ATS (R2000 mottaker med automatisk scannerfunksjon, bærbare Yagi-antennar og antennepisk for bilmontering). Det ble gjennomført både grov- og finskala posisjonering av de radiomerkede ørretene. Finskala posisjonering av returvandrende vinterstøing ved dammen og i kulpene nedenfor ble gjennomført med 4 m lang antenneledning (co-axial kabel). Posisjonsbestemmelse av radiomerket fisk nedenfor kraftverket ble også gjennomført med flere manuelle peilinger fra ulike posisjoner på begge sider av dammen, og signalstyrke ble brukt til å definere om vinterstøing hadde passert dammen.

Totalt ble det gjennomført 32 manuelle grovskala peilerunder fra utsettingstidspunktet (21. september 2011) og frem til 15. mai 2012 (**Tabell 1**). Hensikten med disse peilerundene var å grovposisjonere radiomerket ørret gjennom hele studieperioden, og dekket områdene fra øverste registrerte fisk på Tretten og ned til Vingnes. Registrering av gytelokaliteter ble gjennomført mer nøyaktig i oktober. Enkelte peilinger ble også foretatt i nordre del av Mjøsa. **Tabell 1** viser den månedlige fordelingen av antall manuelle grovskala posisjoneringer.

Tabell 1. Oversikt over antall grovskala peilerunder som ble utført på strekningen Vingnes-Tretten i 2011 og 2012.

Tidsperiode	Antall manuelle peilerunder
21. – 30. september	2
Oktober	15
November	5
Desember	2
Mars	1
April	4
1-15. mai	3

Utgytt gytefisk (vinterstøinger) som ankom Hunderfossen dam om høsten ble fulgt opp med daglige peilinger for å avdekke eksakt posisjon i forkant av forsøk med lukemanøvrering for nedvandring forbi dammen. En samlet vurdering av signalstyrke (ingen, svak, middels og sterk) fra peilinger gjennomført på østre og vestre side av dammen og ved Måkerud danner hovedgrunnlaget for posisjoneringene. Radiomerket ørret som ble vurdert å befinne seg innen ca. 50 m fra turbininntaket ble definert til å være i utgangsposisjon for lukeforsøkene, og dette ble bestemt både ut i fra signalstyrke ved peilinger med Yagi antenne og med bruk av co-axial kabel langs turbininntaket og damkonstruksjonene i inntaksmagasinet. Lukeforsøkene ble gjennomført 21. og 28. oktober 2011.

Nøyaktige radiopeilinger ved bruk av signalstyrke/Yagi antenne og co-axial kabel ved fiske-trappas nedre deler og langs elvebredden ble gjennomført daglig i perioden 29.oktober – 2. november for å definere de enkelte ørretenes posisjon etter lukeforsøkene, og som grunnlag for å studere effekten av et tredje vannslipp den 3. november. Dette ble fulgt opp både med manuelle peilinger og ADS-registreringer.

2.3.2 Automatiske dataloggere

Automatiske dataloggingsstasjoner (ADS) ble satt opp på to lokaliteter; ADS-1 ved utløpet av Andershølen på minstevannføringsstrekningen og ADS-2 ved Lortvarpet på Fåberg. ADS-1 på den 4, 4 km lange minstevannføringsstrekningen lå om lag 2 km nedenfor Hunderfossen dam, og ingen av frekvensene ved dammen kunne oppfanges av den fastmonterte Yagi-antenna. ADS-2 ved Fåberg lå om lag 1 km nedstrøms samløpet mellom driftvannsutløpet og minstevannføringsstrekningen (Hølsaug). Kombinasjonen av registreringer på ADS-1 og 2 gjorde det mulig å skille mellom ørret som passerte minstevannføringsstrekningen og turbinene. Vandringsruten til radiomerket smolt og utgytt fisk som kun ble registrert på ADS-2 ble definert som turbinpassasje, mens de som ble registrert kun på ADS-1 eller begge loggerne ble definert som lukepassasje. Registreringene på ADS-stasjonene ble vurdert i sammenheng med, og kontrollert av manuelle peilinger på minstevannføringsstrekningen.

Forsøket ble muligens påvirket av at radiosenderne endret antall pulser per minutt (ppm) som følge av temperaturrendringer fra luft til vann etter radiomerkning. ADS-stasjonene var innstilt på en ppm-variasjon på 28-32 ppm, og fabrikkinnstillingene på senderne var 30 ppm. For enkelte fisk (utelukkende smolt) ble det registrert pulser som hadde endret seg, og det kan være at noen hadde endret seg så mye at smolt kan ha passert ADS-stasjonene uten å bli registrert. En annen mulighet er at det var mange smolt som vandret ut samtidig, og at de dermed passerte raskere enn den individuelle lyttetiden pr. frekvens. I de to forsøkene med gytefisk og smolt inngikk det til sammen 99 fisk. Loggerne er innstilt slik at de skal søke gjennom de ulike frekvenser for fisk og det tar ca. 10 sekunder per fisk å søke og hvis det registreres en fisk tar dette enda lengre tid. Dette betyr at det tar nærmere 20 minutter å gå gjennom alle frekvensene og sjekke. I perioder med mange fisk kan derfor enkelte individer ha passert uten å bli registrert.

2.3.3 Forsøk med vannslipp over isluka – terskelverdi for utvandring

Det ble gjennomført to forsøk med vannslipp over isluka. Hensikten med det første forsøket (21. oktober 2011) var å definere den laveste terskelverdien for vannføring og vanddyp over isluka som ga utvandring av utgytt vinterstøing. Forsøket ble gjennomført med 2, 3 og 5 m³/s over isluka, mens det ble foretatt kontinuerlig visuell kontroll over den 8 m brede isluka og vannmassene i forkant av isluka (**Figur 4**). All observert ørret ble loggført som enten observert eller passert.

Det andre forsøket ble gjennomført i perioden 28. – 31. oktober 2011 med konstant vannslipp på 5 m³/s over isluka i tre døgn. I den første timen ble det gjennomført visuell kontroll av vinterstøinger inntil eller som passerte over luka. I tillegg ble det bestemt ved peiling hvor mange

radiomerkede vinterstøinger som stod inntil turbininntaket i forkant av dette vannslippet. Disse ble definert å være i utgangsposisjon for å respondere på vannslipp gjennom isluka, og utgjorde grunnlaget for å beregne effekten av vannslippet.



Figur 4. Utgytt hunderørret med hvite soppmerker i forkant av isluka. Det ble gjort flere observasjoner av ørret som inspiserte lukekanten uten å passere over kanten (foto: Morten Kraabøl).

2.3.4 Vannslipp over isluka – terskelverdi for videre nedvandring gjennom minstevannføringsstrekningen

For å avdekke eventuelle terskelverdier for videre nedvandring gjennom minstevannføringsstrekningen for vinterstøing ble det gjennomført manuelle peilinger og ADS-registreringer i dagene etter studiene av terskelverdier for nedvandring gjennom isluka (se pkt. 2.3.3). Studien ble designet slik at minstevannføringen ble satt ned til 1,8 m³/s i perioden 31. oktober – 3. november 2011. Dersom det oppholdt seg vinterstøing i kulpene nedenfor dammen den 3. november skulle det slippes 5 og 10 m³/s i ett døgn for å undersøke om dette medførte videre nedvandring gjennom minstevannføringsstrekningen.

3 Områdebeskrivelse

3.1 Hunderfossen kraftverk og dam

Hunderfossen kraftverk ligger i nedre del av Gudbrandsdalslågen (15 km fra Mjøsa) og ble satt i drift i 1963/64. Vannføringen ved Hunderfossen drenerer et nedbørfelt på 11 429 km² i Gudbrandsdalen, Jotunheimen og Rondane fjellområder. Kraftverket utnytter et fall på 46,7 m og har to like store Kaplan-generatorer med slukeevne på 160 m³/s. Begge ble skiftet ut i 2000 og 2002, og antall skovler økte fra fem til syv pr turbin. Vannveiene fra varegrindene til svingekammeret er identiske for de to generatorene. Kraftverkets totale slukeevne er 320 m³/s, og gir en midlere årsproduksjon på 579,5 GWh (se **Tabell 2** for utfyllende informasjon).

Tabell 2. Tekniske data for Hunderfossen kraftverk i Lillehammer kommune.

Parameter	Teknisk informasjon
Satt i drift	1963/1964
Nedslagsfelt	11 429 km ²
Magasinkapasitet	1 002 mill. m ³
Fallhøyde	46,7 m
Midlere årsproduksjon (92-01)	579,5 GWh
Sommerproduksjon	354,7 GWh
Vinterproduksjon	224,8 GWh
Slukeevne	320 m ³ /s
Installerte aggregat	2 x 58 MW Kaplan
Generatorer	2 x 58 MVA
Transformatorer	10,5/69 kV

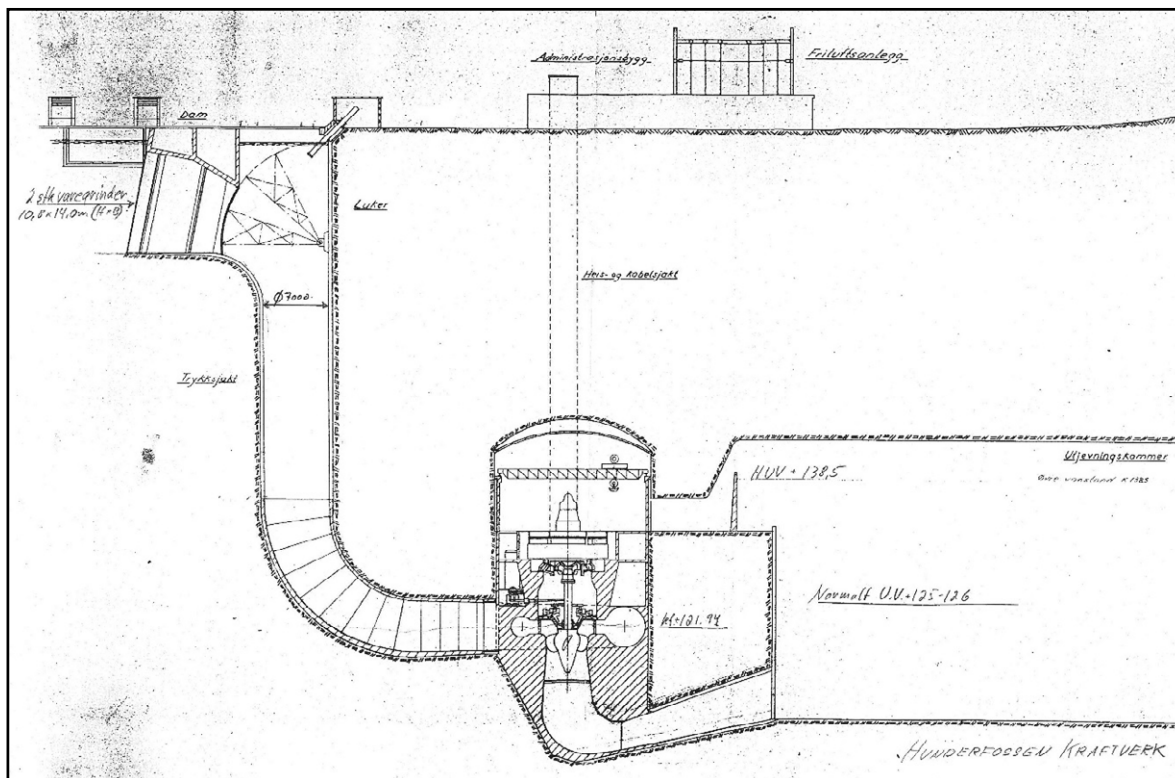
Hunderfossen dam (**Figur 5**) består av flere typer flomluker som benyttes når totalvannføringen overstiger turbinenes samlede kapasitet på 320 m³/s.

Tverrsnittsarealet for vanngjennomstrømming gjennom varegrinda er 152,6 m² uten fratrekk for arealtap som følge av de vertikaltstilte elementene. Dette tilsvarer en vannhastighet på 1,05 m/s uten varegrinder. Det anslås at den reelle vannhastigheten gjennom lysåpningene i varegrindene er 1,1 – 1,2 m/s ved full kapasitet gjennom turbinene.

Inntaksluka til trykksjaktene (**Figur 6**) er plassert om lag 7-8 m bakenfor varegrindene, og har et tverrsnittsareal på 63 m². Ved full last vil derfor vannhastigheten gjennom inntaksluka til trykksjaktene være 2,54 m/s. Dette betyr at vannhastigheten øker med en faktor på om lag 2,2 i løpet av 7-8 meter fra varegrindene ved full turbinlast.



Figur 5. Hunderfossen dam med flomluker (foto: Morten Kraabøl).



Figur 6. Skisse over isluke, turbininntak (øverst til venstre), inntaksluke til trykksjaktene, trykksjakter, generatorer og utjevningskammer for Hunderfossen kraftverk (Eidsiva Vannkraft AS).

3.2 Varegrindene

De to nye varegrindene ble montert i løpet av vintrene 2009/10 og 2010/11. Hver varegrind er 14 m bred og 10,9 m høy i ferdig montert tilstand, og er montert med 15° vinkling i vertikalplanet (**Figur 6**). Varegrindene består av flere seksjoner av rustfritt stål (**Figur 1**) som monteres over turbininntaket. De enkelte stålelementene i varegrinda måler 10 x 100 mm, og er avstivet med skråstilte stålvanger (**Figur 1 og 7**). Lysåpningen mellom de enkelte vertikalstilte stålelementene er 10 cm i de nye varegrindene, noe som tilsvarer 4 cm økning i forhold til den gamle varegrinda (**Figur 9**).

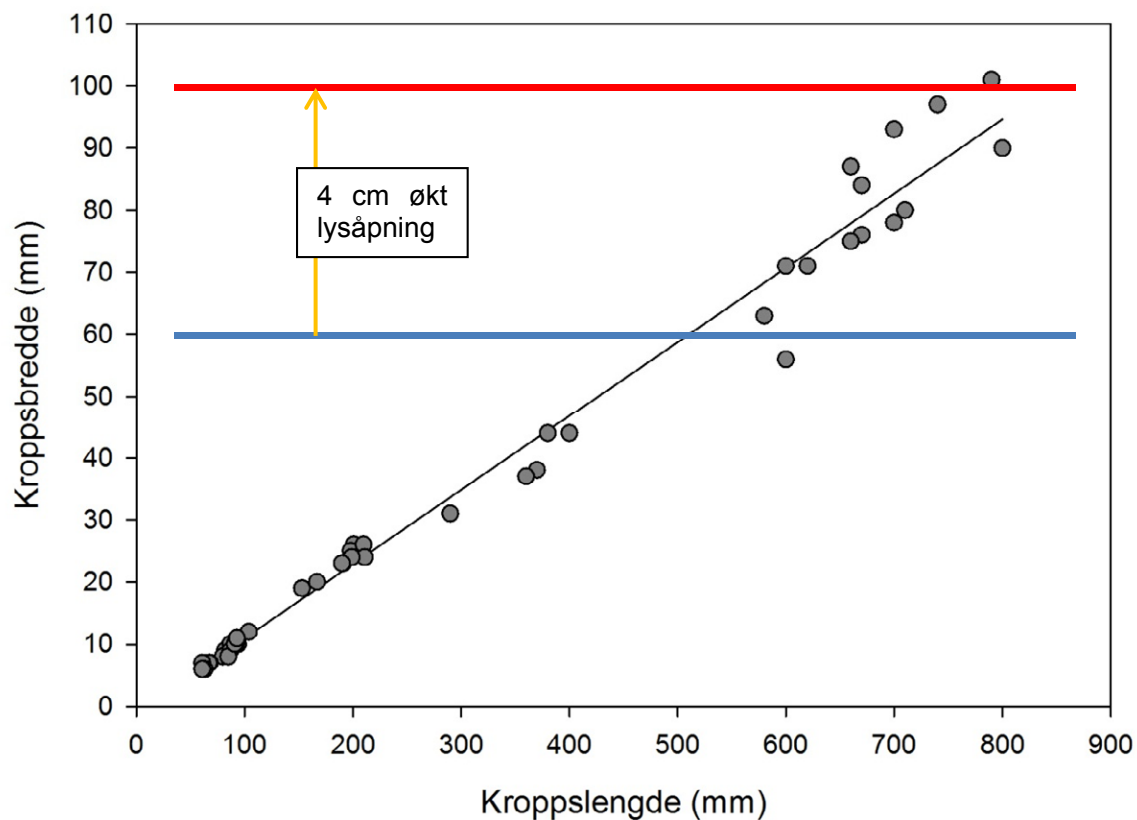
Teoretisk sett kan all fisk med kroppsdiаметer (målt fra ventrale sider) inntil 10 cm passere gjennom varegrindene. I praksis innebærer en 4 cm økning i lysåpning at nær all gytefisk av hunderørret nå kan passere gjennom varegrinda, mens lysåpningene på 6 cm i de gamle varegrindene forhindret nesten all gytefisk fra å passere gjennom varegrindene. Det ble gjennomført måling av ventral kroppsbredde for hunderørret i alle størrelsesklasser for å vise sammenhengen mellom ørretens lengde og diámetro (**Figur 8 og 10**).



Figur 7. Element fra ny varegrind med 10 cm lysåpning ved Hunderfossen kraftverk (foto: Morten Kraabøl).



Figur 8. Måling av kroppsbredde hos voksen radiomerket Hunderørret (foto: Morten Kraabøl).



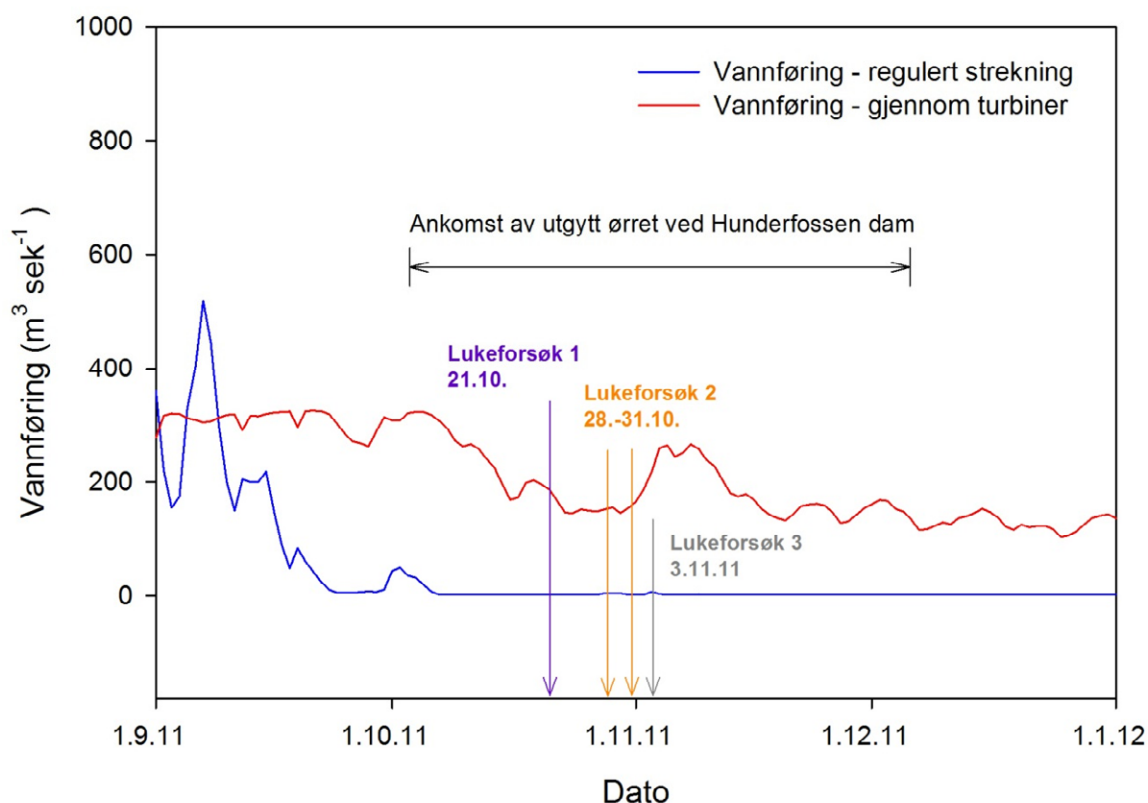
Figur 9. Sammenhengen mellom lengde og bredde hos Hunderørret. Blå og rød linje markerer lysåpning i gammel og ny varegrind.



Figur 10. Måling av kroppsbredde hos tosomrig Hunderørretsmolt (foto: Morten Kraabøl).

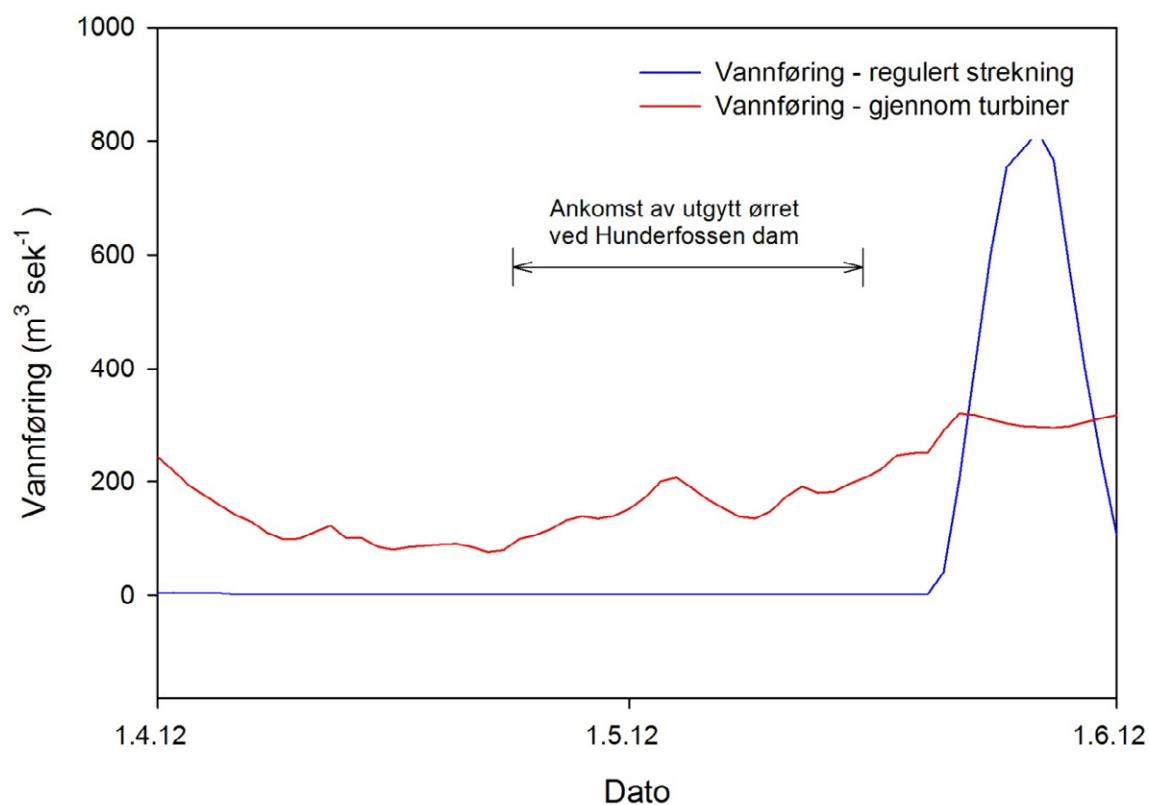
3.2.1 Vannføring i studieperioden

Totalvannføringen i Gudbrandsdalslågen var 367 m³/s den 21. september 2011 da de første gytevandrende Hunderørret ble radiomerket. Deretter sank vannføringen til om lag 150 m³/s til gyteperioden var over i slutten av oktober. Deretter kom det en vannføringsøkning som kulminerte ved 267 m³/s den 8. november, og deretter sank vannføringen ned mot 100 m³/s ved årsskiftet (**Figur 11**).



Figur 11. Driftsvannføring gjennom turbinene (rød kurve) og forbitapping til minstevannføringsstrekningen (blå kurve) i perioden 1. september til 31. desember 2011. Dato for forsøk med vannslipp over isluka er markert med piler. Tidsperioden med ankomst av utgytt ørret fra gyteområdene er markert med horisontal pil.

Totalvannføringen om våren var på det laveste 79 m³/s den 22. april 2012, og økte deretter markant opp til 210 m³/s den 16. mai hvor radiomerket smolt ble satt ut i elva. Vannføringen fortsatte å stige jevnt i de første dagene, og vårfloppen startet for alvor natt til 21. mai og økte deretter opp til 1112 m³/s den 27. mai (**Figur 12**).



Figur 12. Driftsvannføring gjennom turbinene (rød kurve) og forbitapping til minstevannføringsstrekningen (blå kurve) i perioden 1. april til 31. mai 2012. Tidsperioden med ankomst av utgytt ørret fra gyteområdene er markert med horisontal pil.

4 Resultater

4.1 Gytemoden ørret

4.1.1 Registrerte gytelokaliteter

Av de 49 radiomerkede ørretene som ble satt ut på oversiden av Hunderfossen dam ble 40 stk registrert på gytevandring oppover i Gudbrandsdalslågen mellom Rybakken ved Granrudmoen og Frya i Sør-Fron. Åtte stk oppholdt seg ved turbininntaket eller passerte dammen i løpet av høsten og vinteren, mens 1 stk ikke ble gjenfunnet etter utsetting.

Gyteområdene hos de 40 gytevandrende ørretene fordelte seg på syv lokaliteter; Strømhugguet ved Rybakken (3 stk), Øyer ved Tingberg (17 stk), Sæterfossen ved Skarsmoen (6 stk), Hovdefossen (1 stk), Tretten fra Lybekkstrømmen og ned til Hovdefossen (7 stk), Tretten ved Bådstø (5 stk) og Frya (1 stk) (**Figur 14**). En oversikt over antall og prosentvis fordeling av gyteplasser er vist i **Tabell 3**.

Tabell 3. Oversikt over fordeling av ørret på gyteplasser i Gudbrandsdalslågen høsten 2011.

Gytelokalitet	Antall ørret	%
1 Strømhugguet ved Rybakken (Granrudmoen)	3	7,5
2 Øyer ved Tingberg (nedstrøms gamle brukar)	17	42,5
3 Sæterfossen ved Skarsmoen	6	15
4 Hovdefossen ovenfor fossehodet	1	2,5
5 Tretten nedstrøms Lybekkstrømmen	7	17,5
6 Tretten ved Bådstø (Losna utløpsos)	5	12,5
7 Frya ved Hæringen	1	2,5
SUM for 7 gyteområder	40	100

4.1.2 Tidspunkt for returvandring av utgytt ørret til Hunderfossen dam

4.1.2.1 Telling av antall vinterstøing foran turbininntaket

Visuelle tellinger av vinterstøinger i forkant av varegrinda (**Figur 13**) ble gjennomført i perioden 1. oktober til 2. november 2011. De to første vinterstøingene ble observert den 12. oktober, og i perioden 19. – 28. oktober ble det tallet 7-9 vinterstøinger. I perioden 29. – 31. oktober ble det sluppet 5 m³/s gjennom isluka, og ingen vinterstøinger ble observert i denne perioden. Den 1. og 2. november var isluka stengt, og to vinterstøinger ble observert på begge disse dagene.

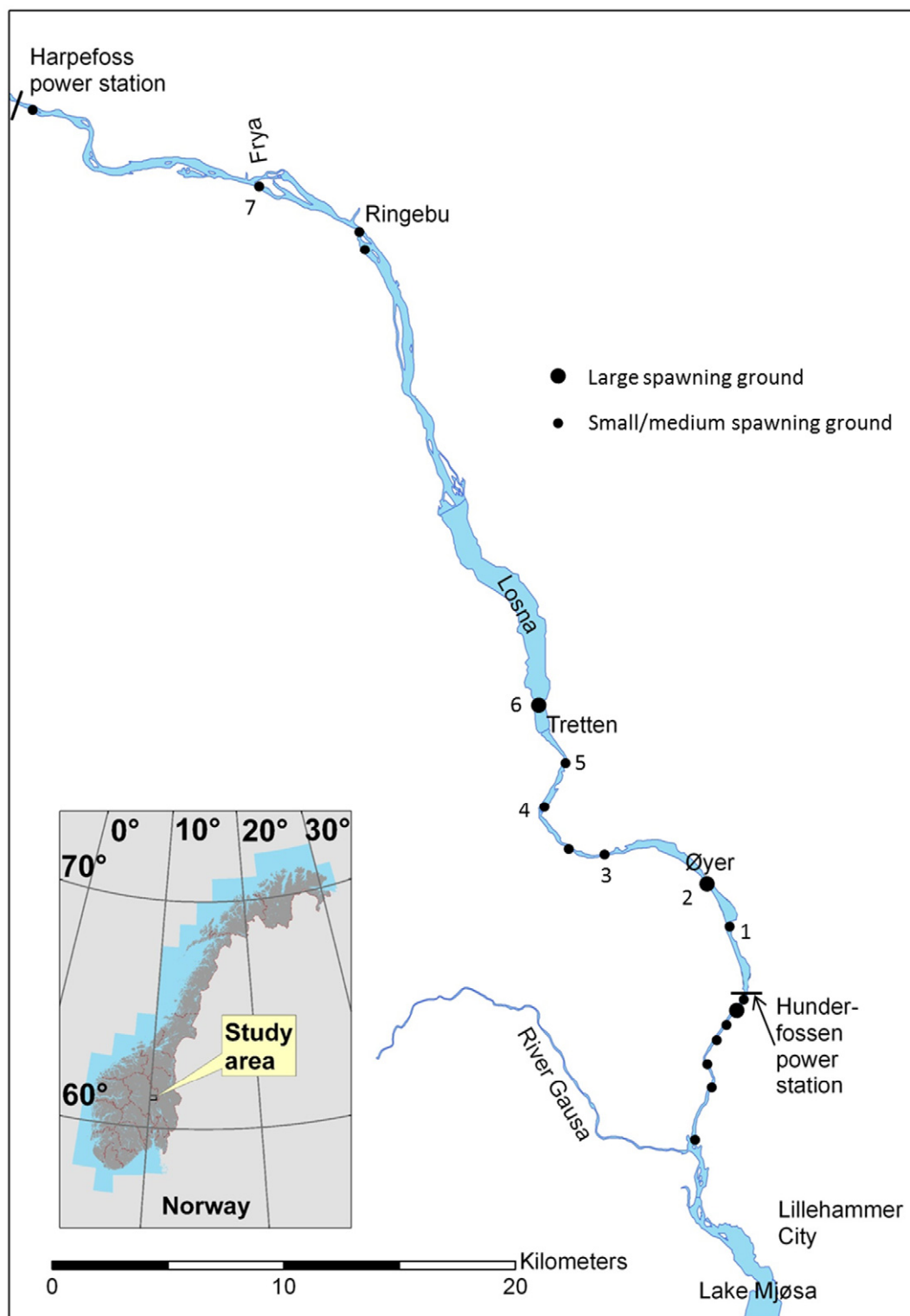
4.1.2.2 Ankomst av radiomerkede ørreter ved Hunderfossen dam

Returvandring av utgytt ørret fra gyteplassene foregikk i to hovedpuljer. Av de 37 ørretene som ble registrert både med gytelokalitet og påfølgende ankomst ved Hunderfossen dam var det 24 stk (64,9 %) som returnerte etter gyting om høsten, mens 13 stk (35,1 %) overvintret ovenfor Hunderfossen og ankom dammen i løpet av våren (første vårpulje, **Tabell 3**). De første returvandrerne ankom Hunderfossen dam om høsten i perioden 3. oktober – 4. desember 2011 (n=24), mens ankomst for første pulje av vårvandrerne fordelte seg innenfor perioden 22. april til 15. mai 2012 (n=13). **Tabell 4 og 5** viser en oversikt over ankomster til Hunderfossen dam fordelt på uke nr om høsten og våren. Tre av ørretene som ble registrert på gytelokaliteter forsvant før de ble radiopeilet som returvandrer ved Hunderfossen.

Den mest intense perioden for ankomst av utgytt ørret til Hunderfossen dam var perioden 10. oktober til 6. november. Innenfor denne perioden ankom 22 stk (91,7 %) av høstens returvandrer fra gytelokalitetene (se **Tabell 4** for utfyllende informasjon).



Figur 13. Soppinfisert vinterstøing i forkant av varegrindene ved turbininntaket til turbin 1 ved Hunderfossen kraftverk (foto: Morten Kraabøl).



Figur 14. Oversikt over registrerte gyteområder for Hunderørret i Gudbrandsdalslågen. De nummererte områdene refererer til de gytelokalitetene som ble funnet i dette studiet, jfr. Tabell 3.

Tabell 4. Oversikt over ankomstdato til Hunderfossen dam for utgytt ørret i løpet av høsten 2011.

Dato- periode	Antall ørret
3/10 – 9/10	1
10/10 – 16/10	6
17/10 – 23/10	6
24/10 – 30/10	4
31/10 – 6/11	4
7/11 – 13/11	2
14/11 – 20/11	0
21/11 – 27/11	0
28/11 – 4/12	1
3/10 – 4/12	24

Av de 24 nedvandrende ørret som ankom Hunderfossen dam om høsten foretok 12 stk omfattende forflytninger mellom dammen og Øyer ved Tingberg utover senhøsten og vinteren. I den kaldeste perioden oppholdt de seg for det meste i området mellom Granrudmoen bru og innløpet av Hunderfossen reguleringsdam. Disse ørretene ankom Hunderfossen dam den påfølgende våren i perioden 17. april til 8. mai 2012 (andre vårpulje, **Tabell 5**).

Tabell 5. Oversikt over ankomstdato til Hunderfossen dam for første og andre vårpulje av utgytt ørret i løpet av våren 2012.

Dato- periode	Antall ørret første vårpulje	Antall ørret andre vårpulje	Totalt antall ørret vår
8/4 – 14/4	1	0	1
15/4 – 22/4	1	1	2
23/4 – 29/4	1	3	4
30/4 – 6/5	1	4	5
7/5 – 13/5	6	3	9
14/5 – 20/5	4	0	4
8/4 – 20/5	13	12	25

4.1.3 Passasje av utgytt ørret forbi dam/gjennom turbiner

4.1.3.1 Forsøk 1: Vannslipp over isluka – visuell observasjon

Den 21. oktober 2011 ble det gjennomført forsøk med henholdsvis 2, 3 og 5 m³/s over isluka om formiddagen. Vanntemperaturen var 6 °C og driftsvannføringene gjennom turbinene var 105 m³/s i turbin 1 (nærmest isluka) og 89 m³/s i turbin 2. Disse vannføringene over isluka korresponderer med henholdsvis 20, 28 og 44 cm vanddyb over lukekanten. I perioden kl. 07.30 til 09.30 (2 timer) ble det sluppet 2 m³/s over isluka, mens det ble holdt oppsikt med lukekanten og vannmassene i nærheten av luka (**Figur 4 og 15**). Til sammen ble det gjort 17 observasjoner av vinterstøing i nærheten av luka, men ingen passerte over lukekanten (0 % passasjeeffektivitet ved 2 m³/s). I perioden kl. 09.30 til 11.30 (2 timer) ble det sluppet 3 m³/s over isluka. I denne perioden ble det observert vinterstøing ved 9 anledninger i nærheten av isluka, og 2 stk slapp seg over lukekanten (**Figur 15**) og passerte dammen henholdsvis kl. 09.45 og kl. 10.11 (passasjeeffektivitet 22 %). I perioden kl. 11.30 til 13.30 (2 timer) ble det sluppet 5 m³/s over isluka. Det ble ikke observert vinterstøing i denne perioden. Det bemerkes at isluka og vann-

massene ved turbininntaket ble opplyst av solskinn fra kl. 11.00, noe som kan ha påvirket resultatene.



Figur 15. Utgytt hunderørret på om lag 5 kg slipper seg baklengs ut over isluka ved Hunderfossen kraftverk (foto: Morten Kraabøl).

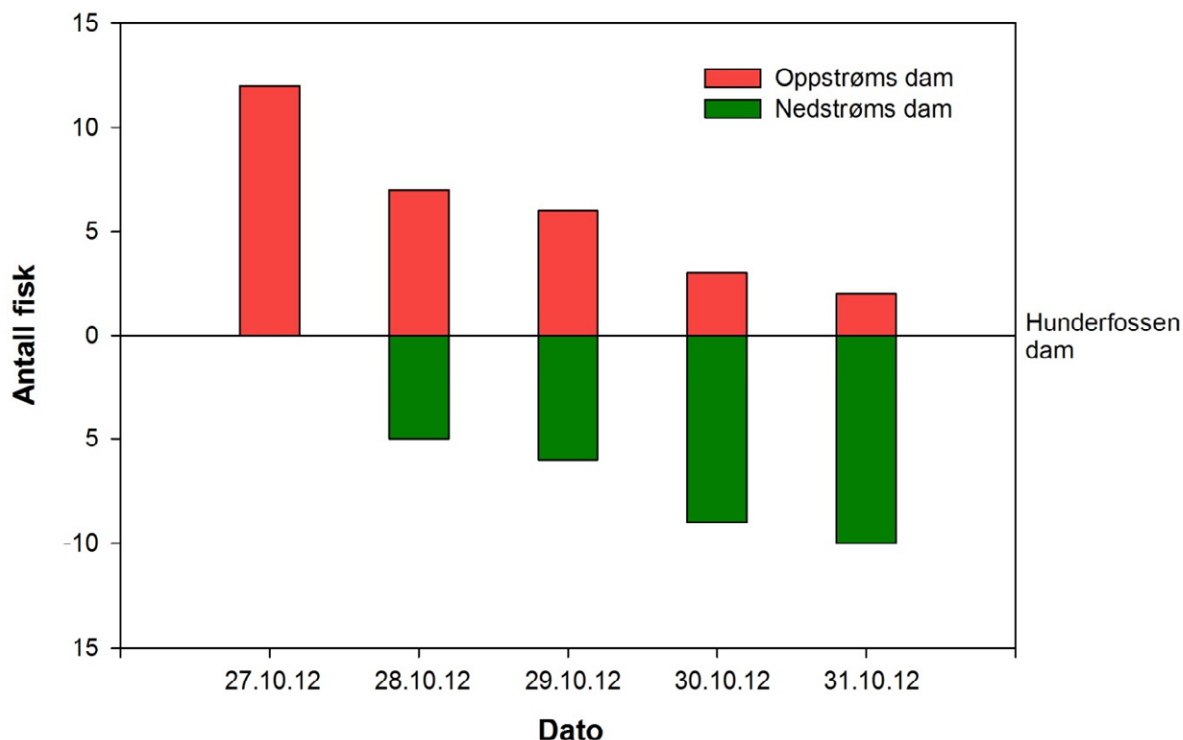
4.1.3.2 Forsøk 2: Vannslipp over isluka - passasje av utgytt ørret

I perioden fra 28. oktober kl. 10.06 til 31. oktober kl. 10.00 (2011) ble det gjennomført et forsøk med slipp av 5 m³/s (tilsvarende 44 cm vannsøyle) over isluka. I forkant av forsøket var driftsvannføringene gjennom turbin 1 og 2 på henholdsvis 76 og 70 m³/s. Vanntemperaturen var synkende fra 6 °C til 5,5 °C under forsøket. I forkant av forsøket ble det gjennomført radiopeilinger for å avgjøre hvilke radiomerkede ørreter som oppholdt seg i umiddelbar nærhet av turbininntaket. Følgende 12 vinterstøinger ble definert til å være i utgangsposisjon om kvelden den 27. oktober 2011: Nr. 1, 5, 6, 8, 9, 16, 19, 23, 25, 30, 41, og 46 (se **Vedlegg, Tabell 1**). I tillegg ble ørret nr. 42 registrert ved turbininntaket, men ble etter forsøket funnet død på varegrinda. Denne ørreten går derfor ut av forsøket. I tillegg kom ørret nr. 40 ned til Hunderfossen dam den 31. oktober og passerte gjennom isluka umiddelbart, men denne ørreten er ikke medregnet i forsøket fordi den ikke var i utgangsposisjon i forkant av forsøket.

I løpet av den første timen med lukeåpning (kl. 10.06 – 11.06) ble lukekanten og nærliggende områder observert kontinuerlig. Til sammen 38 observasjoner av vinterstøing inntil isluka ble gjort i løpet av denne timen, og 11 passasjer ble visuelt registrert. Dette tilsvarer en passasje-effektivitet på ca. 30 % innenfor observasjonsperioden.

Av de 12 radiomerkede vinterstøingene som var i utgangsposisjon ved turbininntaket var det 5 stk (41,7 %) som passerte isluka i løpet av det første døgnet. Den 29. oktober passerte ytterligere 1 radiomerket vinterstøing, og 4 stk passerte i løpet av de to siste forsøksdagene. I alt var det derfor 10 stk som passerte isluka i løpet av forsøket. Dette viser at slipp av 5 m³/s sammenhengende i tre døgn i slutten av gytetiden medførte at 83,3 % av vinterstøingene som var samlet foran turbininntaket passerte dammen (**Figur 16**).

De to radiomerkede vinterstøingene som ikke passerte isluka under forsøket (nr. 5 og 6) passerte gjennom varegrinda og turbinene i løpet av forsøket og ble ikke gjenfunnet under manuelle peilinger hverken ved Hunderfossen eller elvestrekningen ned til Mjøsa utover høsten. Ørret nr. 5 (hannfisk 57 cm) ble imidlertid registrert på ADS-2 ved Fåberg den 6. april 2012, og var sannsynligvis i live etter turbinpassasjen. Ørret nr. 6 (hunnfisk 74 cm) ble peilet inne i utjevningskammeret om våren, og hadde sannsynligvis omkommet.



Figur 16. Posisjonering av 12 radiomerkede utgytte ørreter under lukeforsøk 2 med slipp av 5 m³/s over tre døgn. Røde søyler angir antall ørret ovenfor Hunderfossen dam og grønne søyler angir antall ørret som passerte isluka under forsøket.

Av de 10 radiomerkede vinterstøingene som passerte isluka under forsøket var det 2 stk (nr 1 og 19) som ble registrert på utvandring på begge ADS-stasjonene og manuelle peilinger helt ned til Lågendeltaet og Mjøsa i perioden 28. – 29. oktober. En ørret (nr. 9) ble registrert på begge ADS-stasjonene den 4. november (antas å være en respons på økt vannslipp over is-

luka fra 3. til 4. november, se pkt 4.1.3.3). De øvrige 7 stk overvintret i hølene nedenfor Hunderfossen. Dette indikerer at kun 20 % av vinterstøingene som passerer isluka etter gyting kommer seg videre gjennom minstevannføringsstrekningen til Hølsauget ved Fåberg ved normal minstevannføring på 1,8 m³/s, mens 80 % overvintrer i kulpene nedenfor Hunderfossen dam.

Den 3. november ble det gjennomført et tredje vannslipp over isluka. Hensikten var først og fremst å studere videre nedvandring hos ørret som hadde passert dammen ved de foregående vannslippene (se pkt. 4.1.3.3). I tillegg ble det gjennomført visuelle observasjoner ved isluka. I forkant av dette forsøket ble det observert kun en vinterstøing foran turbininntaket. Isluka ble åpnet til 5 m³/s i 10 minutter (kl. 1335-1345) uten resultat. Deretter ble vannføringen gjennom isluka økt til 10 m³/s fra kl 1345. Ingen fisk ble observert i perioden frem til kl 1410.



Figur 17. Utgytt Hunderørret som har passert isluka og ruller videre nedover betongkanalen ved 5 m³/s. Skader kan oppstå i denne fasen (foto: Morten Kraabøl).

4.1.3.3 Effekten av ekstra vannslipp på minstevannføringsstrekningen etter passasje av dammen

I etterkant av lukeforsøkene i perioden 28. – 31. oktober ble det gjennomført et forsøk med slipp av 10 m³/s fra 3. – 4. november (kl. 1345 – 0800). Fisk nr. 9 responderte på dette vannslippet, og ble registrert på ADS-stasjonen ved Andershølen den 4. november kl 0700. To timer og 50 minutter senere passerte den ADS-stasjonen på Fåberg. Vannslippet på 10 m³/s i 17 timer ga nedvandningsrespons hos 1 av 8 radiomerkede vinterstøinger som nylig hadde passert isluka og stod i kulpen nedenfor dammen.

4.2 Smolt

4.2.1 Nedvandningsrute og dødelighet

Til sammen 50 radiomerket smolt ble satt ut på ettermiddagen om lag 2,5 km oppstrøms Hunderfossen ved Granrudmoen i Øyer (**Figur 18**) den 16. mai 2012, og alle ble registrert på manuell peilemottaker i timene etter utsetting. Under den påfølgende peileturen den 17. mai kl. 06.00 – 09.00 ble det kun gjenfunnet 18 smolt ovenfor Hunderfossen, og det ble brukt en del tid på å peile både oppover Jevnefjorden og forskjellige steder i Hunderfossbassenget og på minstevannføringsstrekningen. Det viste seg imidlertid at mange smolt på dette tidspunktet hadde gått inn i turbininntaket, og den første registreringen av nedvandrende smolt på ADS-stasjonen på Fåberg var 17. mai kl. 07.39. Mange av de merkede smoltene befant seg sann-

synligvis i utjevningskammeret eller i den 4,4 km lange avledningstunnelen ned til Hølsauget allerede få timer etter utsetting. I tillegg hadde radiosenderne endret antall pulser per minutt (ppm) som følge av temperaturendringer fra luft til vann etter radiomerking. ADS-stasjonene var innstilt på en ppm-variasjon på 28-32 ppm, og fabrikkinnstillingene på senderne var 30 ppm. Dette kan ha medført at en del smolt har passert ADS-stasjonene uten å bli registrert.

Til sammen ble 21 radiomerkede smolt registrert på den nederste ADS-stasjonen på Fåberg (ADS-2). Ytterligere 6 stk ble peilet manuelt uten at de ble registrert på ADS-2, noe som kan skyldes at pulsraten har endret seg etter merking eller at fiskene har passert loggeren uten å bli registrert på grunn av søketiden mellom hver frekvens. Det ble også registrert 3 smolt manuelt ved Hølsauget som deretter ble registrert på den nederste ADS-stasjonen. Dette betyr at 3 av 9 manuelt registrerte ble registrert både manuelt og på ADS-stasjonen på Fåberg. Ingen smolt ble registrert verken på ADS-1 eller manuelle peilinger på minstevannføringsstrekningen. Ettersom alle registrerte smolt som passerte Hunderfossen ble logget eller peilet nedenfor Hølsauget, og ingen på minstevannføringsstrekningen, konkluderes det med at disse 27 smoltene passerte gjennom varegrindene, turbinene og videre gjennom avløpstunnelen til Hølsauget ved Fåberg. Det er overveiende sannsynlig at alle disse 27 smoltene var i live etter turbinpassasjen ettersom de har passert en 4,4 km tunnel og flere km elveleie. Smolt som omkommer som følge av mekaniske skader fra turbinskovlene eller trykkforskjeller antas å bli liggende i utjevningskammeret eller i tunnelen, og i verste fall omkom de øvrige 24 smoltene i turbinene. Selv om dette studiet ikke var designet for å estimere smoltens dødelighet som følge av turbinpassasje så kan det konkluderes med at 26 av 50 radiomerkede smolt ble registrert nedstrøms tunnelutløpet ved Hølsauget, og at disse etter all sannsynlighet hadde overlevd turbinpassasjen. De øvrige 24 ble ikke registrert verken på ADS-stasjonen på Fåberg eller manuelle peilinger i etterkant. Det er imidlertid ikke mulig å avgjøre om dette skyldes de tidligere omtalte problemene med forskyvninger av pulsfrekvenser på radiosenderne eller dødelighet som følge av turbinpassasje, men det antas at dødeligheten kan være betydelig ettersom turbinene har 7 blader. Eventuelle dødsårsaker kan være både mekaniske påvirkninger som følge av turbinpassasje (treff fra turbinblader) eller forsinket dødelighet som følge av redusert årvåkenhet og endret atferd som følge av trykkrelaterte skader på indre organer og/eller sentralnervesystemet. Høy tetthet av gjedde og stor abbor i Lågendeltaet kan derfor medvirke til at økt predasjonsrisiko også bidrar til økt forsinket dødelighet som følge av turbinpassasjen. En av de radiomerkede smoltene ble gjenfunnet i magen på en gjedde som ble fisket i Lågendeltaet den 25. mai 2012.



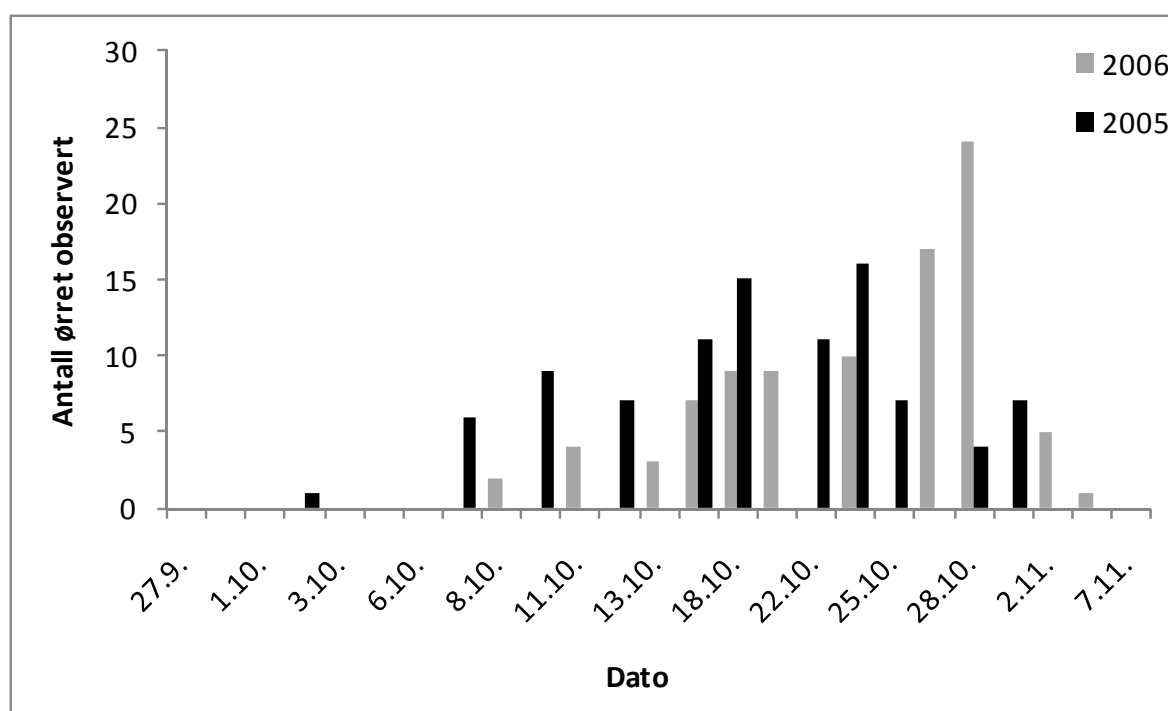
Figur 18. Radiomerket smolt av hunderørret etter utsetting ved Granrudmoen i Øyer den 16. mai 2012 (foto: Morten Kraabøl).

5 Diskusjon

5.1 Gytere registreringer og returvandring til Hunderfossen dam

Fordelingen av ørret på gyteplassene viste relativt lik fordeling som tidligere telemetristudier har vist (Kraabøl & Arnekleiv 1998), men antall gytefisk på strekningene fra Lybekkstrømmen nedenfor Tretten bru og videre nedover mot Hovdefossen, samt strømmene ved Rybakken mellom Jevnefjorden og Hunderfossbassenget ved Grandrudmoen var høyere enn tidligere registreringer har vist. Dette indikerer at disse elvestrekningen er viktigere som gyteområder for Hunderørret enn tidligere antatt.

Returvandringen av gytefisk fra gyteplassene og ned til Hunderfossen dam foregikk etter det samme mønster som funnet i tidligere undersøkelser, og to distinkte puljer av gytefisk returnerer til dammen henholdsvis om høsten og om våren. Dersom de visuelle tellingene av vinterstøing og ankomst av radiomerket utgytt ørret legges til grunn så ankom størstedelen av høstpuljen ned til turbininntaket ved Hunderfossen dam innenfor perioden 10. – 31. oktober. Dette er i samsvar med tidligere registreringer av vinterstøingenes ankomst foran varegrindene (**Figur 19**), og viser den aktuelle tidsperioden hvor det er størst mengde vandringsmotivert utgytt ørret foran isluka, og dermed også den mest kostnadseffektive tidsperioden for slipp av vann over isluka (Kraabøl et al. 2009).



Figur 19. Telling av vinterstøinger foran varegrindene ved Hunderfossen kraftverk i 2005 og 2006 (fra Kraabøl et al. 2009).

5.2 Passasje av ørret gjennom turbiner og isluka

Dette studiet over passasje av vinterstøing og smolt av Hunderørret viste at all registrert smolt passerte gjennom varegrinda og turbinene, og at den akutte dødeligheten antakeligvis var mindre enn 50 %. Dette er det første studiet som dokumenterer passasje av ørretsmolt gjennom turbinene ved Hunderfossen kraftverk og økt lysåpning i varegrindene vurderes som den direkte årsaken. Det bemerkes at under smoltens ankomst og passasje av dammen var det

ikke gitt muligheter for å passere dam gjennom isluka eller andre luker. Fisketrappa var åpen, men vanninntaket til trappa er lokalisert såpass langt unna turbininntaket at den krever utpreget søkeatferd hos passerende fisk. Peilingene av smolt mellom utsettingsstedet på Granrudmoen og Hunderfossen viste ingen tegn på søkende atferd, men en meget rask og ensrettet nedvandring rett inn i turbininntaket. Til sammenligning viste et tilsvarende telemetriforsøk i 1998 at radiomerket smolt av settefisk oppholdt seg i bassenget og foran turbininntaket i perioden fra utsetting ved Granrudmoen den 14. mai og frem til 18. mai mens det ble sluppet 1 m³/s over isluka og en vannføring på 200–400 m³/s gjennom bunnluker (Kraabøl et al. 2008). Første nedvandringsspulje av radiomerket smolt (16 av 27 stk) ble registrert da vannføringen over isluka ble åpnet til 5 m³/s og videre opp til 40 m³/s i perioden 18. – 21. mai 1998. De resterende radiomerkede smoltene (11 stk) oppholdt seg ved turbininntaket i flere døgn etter at vannføringen i isluka ble stengt frem til 1. juni 1998. Dette er klare indikasjoner på at den gamle varegrinda hadde en forsinkende effekt på nedvandrende smolt av settefisk på inntil noen døgn under økende vårflom og høy last gjennom turbinene. Ettersom ingen radiomerket smolt passerte turbinene i 1998, og at gjenværende smolt oppholdt seg i bassenget frem til neste situasjon med slipp av vann over isluka så tyder dette på at de gamle varegrindene hadde en vesentlig høyere stopp- og forsinkelseeffekt sammenlignet med de nye varegrindene. Turbinlasten i 1998 og 2012 varierte nokså likt i tidsperioden hvor smolt befant seg i bassenget.

Det knyttes en del usikkerhet omkring dødelighet som følge av tekniske problemer (pulsrateforskyvninger) på radiosenderne og lav oppløsning på de manuelle peilingene det første døgnet etter utsetting. Det antas derfor at en viss andel radiomerket smolt vandret gjennom turbinene uten å bli registrert, og at eventuell akutt dødelighet ikke ble registrert fordi eventuell død smolt ble liggende i det 4,4 km lange tunnelutløpet. Det vurderes som usannsynlig at radiomerket smolt passerte minste vannføringsstrekningen. Dette begrunnes med den kontinuerlige loggingen på disse frekvensene på ADS-1 og gjentatte manuelle peilinger på denne strekningen ikke medførte at noen smolt ble registrert. Estimering av dødelighet som følge av turbinpassasje var ikke en del av prosjektets målsetninger.

En mindre andel av vinterstøingen passerte gjennom varegrindene og turbinene, og dette er derfor det første studiet som dokumenterer passasje av utgytt ørret gjennom turbinene ved Hunderfossen kraftverk. De aller fleste utgytte ørretene stoppet nedvandringen ved turbininntaket til tross for at de nye varegrindene har såpass stor lysåpning (10 cm) at de aller fleste vinterstøinger hadde mindre kroppsbredde enn lysåpningene (**Figur 9**), og derfor kunne passere gjennom elementene. Visuelle tellinger av utgytt ørret i forkant av turbininntaket viste det samme tidsmessige mønster som ankomst av radiomerket fisk, og observasjoner som er gjort ved tidligere undersøkelser (Arnekleiv et al. 2007, Kraabøl et al. 2008). Det antas derfor at de nye varegrindene med 10 cm lysåpning fortsatt har en viss stoppeffekt for vinterstøing, men det er også dokumentert at enkelte vinterstøinger nå passerer gjennom varegrindene og turbinene.

Det vurderes som ugunstig at både smolt og utgytt vinterstøing passerer gjennom turbinene fordi dødeligheten er en direkte funksjon av fiskens kroppslengde (Clay 1995; Montèn 1985; Rivinoja 2005). En relativt lav dødelighet for et stort antall smolt (5–30 %) og høy dødelighet (>50 %) hos et mindre antall utgytt ørret hvert år vurderes som en alvorlig begrensende faktor både for ørretbestanden. Flere tusen smoltifisert settefisk av Hunderørret settes årlig ut ovenfor Hunderfossen, og turbinpassasje kan påføre en betydelig akutt og muligens forsinket dødelighet. Et ukjent antall vill smolt passerer også etter all sannsynlighet gjennom turbinene, og lider et tilsvarende årlig tap. Dette kan innebære betydelige begrensninger både for mengden ungfisk som ankommer Mjøsa hvert år, men også for år-til-år overlevelse hos gytemoden ørret. De betydelige forskjellene i oppholdstid mellom smoltforsøkene i 1998 og 2012 gir sterke indikasjoner på at de nye varegrindene med lysåpning på 10 cm har en vesentlig lavere stopp- og forsinkelseeffekt sammenlignet med de gamle. Det er kjent at varegrindenes lysåpning har stor betydning både for fysisk passasjemulighet gjennom lysåpningene og midlertidig stoppsignal som følge av den atferdsmessige effekten som varegrinder kan gi på nedvandrende fisk (Larinier et al. 2002).

Ofte er slukeevnen til turbiner ved elvekraftverk såpass stor at de utgjør den eneste tilgjengelige vannveien for nedvandrende fisk, og nedvandrende fisk trekker naturlig inn mot turbininntaket. Dette er den viktigste årsaken til at det foregår omfattende passasje av fisk gjennom turbiner. Nedvandrende ungfisk og voksen utgytt fisk (f.eks. Bendall et al. 2005) i elver følger som regel hovedstrømmen til enhver tid, og ledes således ofte direkte inn mot turbininntaket (Clay 1995). Det er vel kjent at ungfisk, og i særlig smolt, hos laksefisk passerer gjennom turbiner under nedvandringen (Montèn 1985; Wilson et al. 1991). Utgytt laks og ørret har gjerne brukt opp mye av den tilgjengelige kroppslige energien under gytingen (Jonsson et al. 1991), hvor kurtise, graving av gytegroper, jaging av artsfrender og tømning av kjønnsprodukter reduserer kondisjonen til begge kjønn (Wootton 1990; Lien 1978). De returnerer derfor så fort som mulig til innsjøen, fjorden eller havet etter gyting for å gjenvinne energi gjennom matsøk (Northcote 1978; Gross et al. 1988; Jonsson & Jonsson 1993), og kan derfor være tvunget til å passere turbiner dersom alternative nedvandringsveier mangler og vandringstrangen er stor.

Dødeligheten som påføres fisk som passerer gjennom turbiner avhenger først og fremst av to forhold; turbintype og fiskelengde (Clay 1995; Rivinoja 2005). I Norge brukes hovedsakelig to typer av turbiner; fristråleturbin og fullturbin. Peltonturbiner drives av to til seks vannstråler mot skovlene, og er derfor en fristråleturbin. Denne turbintypen medfører 100 % dødelighet ved passasje uansett fiskelengde, men anvendes imidlertid kun ved høye fall mellom 500 og 1300 m. Det er først og fremst i de korte og bratte vassdragene på Vestlandet og i Nordland og deler av Troms at slike turbiner er installert i kraftverkene, og vanligvis er det svært begrenset passasje av fisk nedstrøms slike store fossefall. Francis- og Kaplanturbiner benyttes ved lavere fallhøyder i de lange og vannrike vassdragene på Østlandet, i Trøndelag og Finnmark (Kock Johansen 2010), og er derfor vanlige i regulerte elvesystemer med vandrende fiskearter. Disse to turbintypene kjennetegnes ved at hele vannstrålen går udelt gjennom det vannfylte turbinhuset, og holdes samlet med økende trykk helt til den treffer turbinbladene. Dødeligheten hos ungfisk som passerer Francisturbiner varierer mellom 5 % og 90 %, mens for Kaplanturbiner ligger dødeligheten vanligvis mellom 5 % og 20 %. Årsakene til denne forskjellen er at Francisturbiner, som oftest er installert i kraftverk med høyere fallhøyde (30-600 m) enn Kaplanturbiner (opp til 50 m), og at de har flere rotorblader. Dermed øker risikoen for at passerende fisk blir fysisk skadet. I tillegg er som regel vannmengde gjennom turbinhuset medvirkende til at dødeligheten er større i Francis- enn Kaplanturbiner ettersom sistnevnte som regel er installert i kraftverk med stor slukeevne (Montèn 1985; Larinier & Travade 2002). Dagens turbiner ved Hunderfossen kraftverk ble satt inn i hhv. 2000 og 2002, og antall blader økte fra 5 til syv. Dette vurderes som uheldig for overlevelsesmulighetene til fisk som passerer gjennom turbinene fordi dødeligheten som oppstår når fisk passerer begge disse turbintypene er relatert til fiskens lengde og en rekke tekniske detaljer i selve turbinene. Dimensjoneringen av turbinene, rotasjonshastighet, avstand mellom turbinbladene, raske trykkøkninger på vei inn i turbinene, gassovermetning og kavitasjoner på vei ut av turbinene utgjør årsakene til akutt dødelighet hos fisk. Direkte dødelighet oppstår som følge av mekanisk skade ved kontakt med rotor og stator i turbinene, eller raske trykkforskjeller. Forsinket dødelighet kan oppstå som følge av gassovermetning og andre diffuse skader som oppstår fra raske trykkforandringer, og fisk som overlever selve turbinpassasjen kan derfor dø senere som følge av fysiologiske komplikasjoner eller økt predasjon. Fisk kan også bli desorienterte, stresset og fanget i turbulens etter turbinpassasje, noe som vil øke faren for predasjon i etterkant av turbinpassasje (Ruggles & Murray 1983; Larinier & Travade 2002). Smolt som passerer gjennom turbinene ved Hunderfossen kraftverk kommer umiddelbart ned i en elvestrekning med økende mengde gjedde, lake og abbor ned til Mjøsa, og dette kan derfor utgjøre en betydelig økt predasjonsrisiko for smolt som er desorienterte og stressede etter turbinpassasje.

5.3 Aktuelle tiltak – generelt og spesielt ved Hunderfossen

Et viktig spørsmål i denne sammenheng er i hvilken grad de radiomerkede oppdrettssmoltene har samme atferd som villsmolt? Alle de radiomerkede smoltene var ferdig smoltifisert og

vandret derfor raskt nedstrøms etter utsetting. For å få god kunnskap om tilsvarende er gjeldende for villsmolt er det nødvendig med fangst og radiomerking av villsmolt i god tid før utvandringen starter om våren. Dette vil gi informasjon om når smolten vandrer nedstrøms og hvilke vannførings- og temperaturforhold som påvirker denne vandringen.

Dersom varegrinder skal fungere som en effektiv barriere for nedvandrende fiskearter må lysåpningen mellom elementene i grinda være mindre enn fiskens bredde. Som en tommelfingerregel er bredden hos laksefisk om lag 8-12 % av fiskens totale lengde (**Figur 9**). Dette innebærer at man må kjenne til størrelsesfordelingen hos fisk som vandrer i elvesystemet, og dimensjonere varegrindas lysåpninger deretter. Vanligvis vil lysåpninger i varegrinda som tilsvarer 10 % av fiskens lengde være tilstrekkelig for å hindre at fisk passerer gjennom varegrinda, men noe fisk vil kunne sette seg fast i lysåpningene. Generelt anbefales derfor lysåpninger som er ned mot 7 % av fiskens kroppslengde dersom varegrinda skal fungere som en effektiv barriere for fisk (Larinier & Travade 2002). Utskiftningen av varegrindene ved Hunderfossen kraftverk har medført en betydelig økning i lysåpning, og har derfor sannsynligvis medført en betydelig reduksjon av stoppsignaler for nedvandrende smolt. Lysåpningen på 10 cm gir fysisk rom for turbinpassasje av alle arter i alle størrelsesgrupper av fisk i Lågenvassdraget ovenfor Hunderfossen.

Lysåpninger som tilsvarer 14 % - 25 % av fiskens lengde har vist seg å kunne fungere relativt godt til å avvise nedvandrende smolt av laks og sjørørret under forutsetning av at vannstrømmen ikke faller vinkelrett inn mot varegrinda. I slike tilfeller er det en klar forutsetning at det dannes en tversgående (tangentiell) vannstrøm foran varegrinda som lett oppfattes av nedvandrende ungfisk som da beveger seg langs varegrinda i stedet for å passere direkte gjennom elementene (Larinier & Travade 2002). Dette er ikke tilfelle ved Hunderfossen fordi vinklingen av varegrindene ikke tar hensyn til disse forholdene. Forsøk med skråstilte varegrinder ved andre kraftverk har vist at dette kan redusere innvandring av fisk i turbinene selv om lysåpningene overstiger 10 % av fiskens kroppslengde. Dette gjøres ved at varegrinda plasseres diagonalt mot den innkomne vannstrømmen (dvs. ca. 45 grader). I noen tilfeller fungerer det også med vinkler ned mot 20 grader i forhold til strømretningen (Larinier & Travade 2002). Det er spesielt denne skråstillingen som genererer tangentielle strømmer som går parallelt med varegrindas overflate, og er en fordel for fisk som samler seg ved vanninntaket til turbiner fordi møtet med den skråstilte varegrinda øker oppholdstiden og dermed også sjansene for å lokalisere alternative nedvandringsveier forbi kraftverket. Ved Hunderfossen kraftverk er varegrinda vinklet 90° mot strømmen, og ingen tangentielle strømmer oppstår under slike forhold. Dette vurderes som uheldig, og medvirker antakeligvis til smoltens direkte innvandring gjennom varegrindene og gjennom turbinene. En ombygging av rammeverket for varegrindene vil kunne muliggjøre skråstilte varegrinder.

For å unngå seleksjon på fiskestørrelse bør lysåpningene være såpass finmaskede at de fungerer som barriere for hele den vandrende delen av de angjeldende bestander. Dersom dødeligheten blir skjevt fordelt som følge av turbinpassasje induseres en potensiell størrelsesseleksjon hos vandrende fisk. En forutsetning for at slik seleksjon skal unngås er tilgangen til alternativ nedvandringsvei uten dødelighet for den vandrende delen av bestanden som blir fysisk hindret passasje gjennom varegrinda. Isluka ved Hunderfossen dam representerer en ideelt plassert vandringsvei for nedvandrende fisk.

Vannstrømmen i forkant av varegrinda bør ideelt sett være skråstilt i forhold til varegrinda. Dersom den likevel faller vinkelrett (perpendikulært) mot varegrinda må den være betydelig lavere enn den aktuelle artens (og fiskestørrelsens) normale svømmehastighet. Dette vil tillate fisken å gjennomføre søk på tvers av strømmene etter alternative nedvandringsveier. Fisk som utmattes under dette søket kan også kile seg fast mellom to elementer på varegrinda og dø av respirasjonsproblemer eller andre skader (Calles et al. 2010). Vanligvis måles maksverdien for den anbefalte perpendikulære vannhastigheten (APV) like i forkant av varegrinda, og beregnes med følgende formel (etter Videler 1993);

$$APV=0,15 \times 2,4KL \text{ (KL = fiskens kroppslengde målt i m)}$$

For laks og ørret har denne beregningsmetoden gitt anbefalte maksverdier på 15 cm/s for fisk under 6 cm og 50 cm/s for smolt mellom 15 og 20 cm (Aitken et al. 1966; Clay 1995; ASCE 1995). Smolt av Hunderørret er gjennomsnittlig 25 cm (Aass et al. 1989) og kan derfor tåle noe høyere vannhastigheter gjennom varegrindene, men vannhastigheter over 50 cm/s anbefales generelt aldri dersom det vandrer fisk forbi kraftverket (Larinier & Travade 2002), blant annet fordi vanntemperaturen kan være såpass lav enkelte år at svømmekapasiteten blir redusert (Videler 1993). De oppgitte vannhastighetene gjennom varegrindene ved Hunderfossen kraftverk er 1,1 – 1,2 m/s ved full turbinlast, noe som er normalsituasjonen under smoltutvandringen om våren. Videre øker vannhastigheten raskt opp til drøyt 2,5 m/s øverst i trykksjakten bakkenfor varegrindene, og dette er to til fire ganger høyere vannhastigheter enn det som anbefales for å unngå at mindre fisk trekkes inn i turbinene (Larinier & Travade 2002).

I tillegg til at vannstrømmen og innkommende fisk møter varegrinda på skrå fra siden bør den også skråstilles i vertikalplanet (**Figur 20**). På denne måten vil innkommende fisk også bli presset opp mot overflaten, og inn mot det hjørnet hvor strømmene kulminerer. En viktig forutsetning for at disse skråstillingene skal hjelpe fiskens nedvandring er at de gjøres i kombinasjon med alternative nedvandningsveier med slipp av overflatevann som er lokalisert i det hjørnet hvor det dannes virvelstrømmer (**Figur 20**).

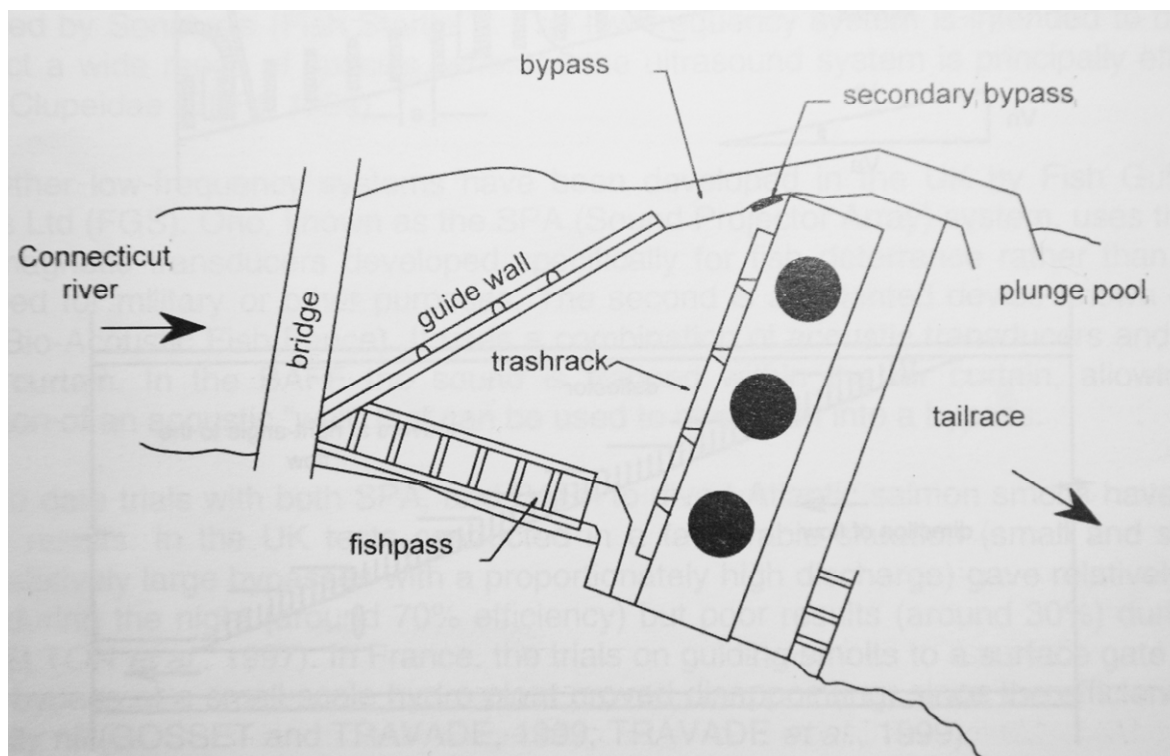


Figur 19. Eksempel på skråstilt og finmasket varegrind ved et kraftverk i Gave d'Ossau i Frankrike. Luke for fiskepassasje ligger optimalt plassert inntil varegrinda (foto: Morten Kraabøl).

Vannveier som slipper overflatevann, som for eksempel flomluker, tømmerrenner og isluker er alternative vandringsveier for nedvandrende fisk forbi kraftverk (Johnson & Dauble 2006; Larinier 2008), og er regnet for relativt trygge dersom de ikke innebærer vesentlig fall mot hardt underlag (Larinier & Travade 2002). Slike vannveier fungerer ofte som gode alternativer for nedvandrende fisk under følgende forutsetninger: 1) de bør være lokalisert svært nær varegrinda foran turbininntaket (Larinier & Travade 1999; Gosset et al. 2005), og 2) det bør slippes

overflatevann i den tiden det er vandringsvillig fisk foran turbininntaket (Larinier et al. 2002; Arnekleiv et al. 2007; Kraabøl et al. 2008). Ved Hunderfossen dam er isluka tilnærmet ideelt plassert, og er velegnet til å skape alternativ nedvandringsvei for både smolt og utgytt ørret som oppholder seg ved turbininntaket over tid (Arnekleiv et al. 2007; Kraabøl et al. 2008). Men skråstillingen av varegrindene i vertikalplanet ved Hunderfossen er imidlertid bare 15°, og som følge av kombinasjonen med rettviklet posisjon i forhold til innkommende vannstrøm ved turbininntaket og en utvidelse til 10 cm lysåpning, karakteriseres den som uegnet til å gi atferdsmessige stoppsignaler for nedvandrende smolt. Det er grunn til å tro at vannslipp gjennom isluka derfor ikke er tilstrekkelig for å tiltrekke mesteparten av den nedvandrende smolt av settefisk. Det knyttes imidlertid usikkerhet om vill smolt har den samme atferden. Selv om den har lik kroppsstørrelse som settefisk-smolten så er den i gjennomsnitt dobbelt så gammel (Aass et al. 1989), noe som kan influere på vandringsatferden.

For å lede nedstrøms vandrende fisk mot de alternative nedvandringsveiene kan det også legges ut en skråstilt avleder i forkant av varegrinda (Greenberg et al. 2012). For å oppnå god effekt av dette forutsettes det at avlederen stikker minst like dypt ned i vannmassene som fisken beveger seg, og det er ikke tilstrekkelig med overflateavledere som leder flytende is og trevirke bort fra varegrinda. Forsøk med avledning av laksesmolt ved Bellow Falls kraftstasjon i Connecticut River viste at opptil 84 % av nedvandrende smolt ble ledet mot en alternativ nedvandringsvei ved hjelp av en avleder som var vinklet 40 grader mot innstrømmen og dekket 4,5 meter ned i et inntaksbasseng som var 9 meter dypt (Odeh & Orvis 1998; Larinier & Travade 2002). Forholdene ligger meget godt til rette for å lage en tilsvarende avleder foran turbininntaket ved Hunderfossen (**Figur 21**). En slik avleder vil kunne forankres slik at den leder nedvandrende ørret direkte inn til isluka. Lokaliseringen av denne bør være identisk med flytelensa legges ut for å avlede flytende trevirke mot isluka.



Figur 21. Skisse av fiskeavleder (guide wall, 4,5 m dyp) i forkant av varegrindene (trash racks) ved Bellow falls kraftstasjon i Connecticut, USA. Avlederen leder nedstrøms vandrende fisk mot ei overflateluke (bypass og secondary bypass) (fra Larinier & Travade 2002).

Slipp av vann over isluka ved Hunderfossen dam i siste del av gyteperioden hvor det vanligvis samles utgytt ørret foran turbininntaket viste seg også i dette studiet å være effektivt. Eksperimentelle forsøk den 21. oktober 2011 viste at den nedre terskelverdien for passasje av utgytt ørret på 3-5 kg over isluka var 3 m³/s. Islukas bredde er 8 m, og dette tilsvarer en vertikal høydeforskjell mellom overvannstanden og lukekanten på 28 cm. Vannslipp på 5 m³/s over isluka i tre døgn (28/10 – 31/10 2011) samlet sett en passasjeeffektivitet på 83,3 % for utgytt ørret som oppholdt seg i umiddelbar nærhet av turbininntaket. I løpet av det første døgnet med vannslipp over isluka passerte 51,7 % av disse ørretene. Dette vurderes som et meget effektivt tiltak i forhold til vannforbruk og tapt kraftproduksjon.

Nedvandrende fisk som slipper seg over ei luke med overflatetapping kan imidlertid påføres skader og økt dødelighet dersom forholdene er ugunstige. Fritt fall av fisk gjennom lufta kan gi fallhastigheter som dreper all fisk når de treffer vannflata i undervannet nedenfor dammen. Grenseverdien for skader på øyne, gjeller og indre organer ved fritt fall er 15-16 m/s. Denne kritiske hastigheten oppnås etter fall på 30-40 meter for fisk i lengdeintervallet 15-18 cm, mens større fisk over 60 cm oppnår denne skadelige fallhastigheten allerede etter 13 meter (Bell & Delacy 1972). Vannsøylen som slippes over lukekanter oppnår den skadelige hastigheten på 15-16 m/s etter 13 meter med fritt fall. Den anbefalte maksimale fritt-fall-høyden for fisk som slipper seg utfor overflateluker er derfor 13 meter, og helst under 10 meter, uavhengig av om fisken faller utenfor eller innenfor vannsøylen. Ved Hunderfossen faller fisk som passerer isluka kun 3-4 meter, men til gjengjeld faller de mot et betongdekke. Selv om betongdekket er skrått vinklet nedover i betongkanalen er treffvinkelen såpass nær 90° at fisken må absorbere mye av bevegelsesenergien som oppnås i selve fallet. Dette kan forårsake skader på indre organer, øyne og ytre strukturer for øvrig. Det vurderes som sannsynlig at dette kan medføre slagskader som kan påvirke fiskens atferd på en andel av vandrerne, og spesielt gjelder dette for voksen utgytt ørret. Det er grunn til å tro at slike skader kan redusere den videre vandringslysten, og dette kan være kritisk på senhøsten når vanntemperaturen faller raskt i løpet av få døgn. Fiskens kroppstemperatur vil da synke tilsvarende, og vandringslyst og -evne kan derfor ytterligere reduseres slik at den tvinges til å overvintre i kulpene nedenfor Hunderfossen dam.

Det foreslås at bunnstrukturen i betongkanalen nedenfor isluka ved Hunderfossen gjøres noe brattere ved selve fallstedet under luka, og at den i tillegg jevnes ut slik at oppstikkende strukturer og underlag som kan gi slag- og friksjonsskader fjernes. Resultatene fra dette studiet viste at bare 20 % av de radiomerkede utgytte ørretene som passere gjennom isluka om høsten fortsatte den videre nedvandringen til Mjøsa, og 80 % overvintret i kulpene nedstrøms dammen. Dette kan skyldes påvirkninger som følge av fallet fra isluka og ned på betongrenna og den videre ferden ned til undervannsnivået, og begrunnes med at det er lite sannsynlig at motivasjonen for videre nedvandring plutselig forsvinner av andre naturlige årsaker hos de ørretene som velger å gå ut isluka like i forveien.

6 Konklusjoner og anbefalinger

1. Returvandring av utgytt ørret fra gyteområdene foregår både om høsten etter gyting og om våren i forkant og under vårflommen. Forsøk over tre døgn med vannslipp på 5 m³/s over isluka ga 41,7 % nedvandringseffektivitet i løpet av første døgnet og 83,3 % for hele tredagers perioden. Kun 20 % av de som passerte isluka fortsatte vandringen videre ned gjennom minstevannføringsstrekningen ved 1,8 m³/s om høsten, mens 1 gikk under en lokkeflom, og 70 % overvintret i hølene like nedenfor Hunderfossen. Avbrutt nedvandring etter passasje av isluka, og lav respons på påfølgende vannslipp antas å skyldes slag- og friksjonsrelaterte skader fra selve fallet (3-4 m) fra lukekanten og hard medfart som følge av kontakt med betongrenna ned mot undervannet.

Anbefalinger: Islukas effektivitet som funksjonell nedvandringsvei for utgytt vinterstøing om høsten anses nå som godt dokumentert, og det bør hvert år slippes 5-10 m³/s i perioden 5. oktober til 5. november. Videre bør det foretas utbedringer for å redusere fallhøyden fra lukekanten og fallets vinkel ned mot betongrenna, og utformingen av betongrenna bør endres slik at den får et glattere underlag. Betongrenna ender i et fossefall ned mot fisketrappas nedre del, og oppstikkende bergknauser og andre fysiske hindringer bør fjernes også i denne delen av passasjen.

2. Nedvandrende smolt av settefisk synes å passere direkte gjennom varegrinda og turbineene uten opphold i forkant av varegrinda. Dette antas å skyldes en kombinasjon av stor lysåpning og uheldig vinkling av begge varegrindene i forhold til strømrretningen. I tillegg er vannhastigheten om lag dobbelt så stor gjennom varegrindene sammenlignet med internasjonale anbefalinger. Sammenligning av oppholdstid hos radiomerket smolt hos dette og tidligere studier gir grunn til å tro at de nye varegrindene ikke evner å gi midlertidige stoppsignaler hos nedvandrende smolt av settefisk.

Anbefalinger: Det bør installeres en skråstilt og 4-5 m dyp smoltavleder i forkant av isluka med de samme forankringspunkter som dagens flytelense. Alternativt bør det installeres ei midlertidig varegrind med lysåpning 1,5 - 2 cm som kan settes på plass i smoltutvandringsperioden fra om lag 10. mai til 1. juli. Denne varegrinda bør stikke minst 5-6 meter under vannflata fordi det antas at smolt vil befinne seg 0--5 meter under vannflaten. I samme periode bør det slippes 5-10 m³/s gjennom isluka, og ved større vårflom bør tømmerluka åpnes så tidlig som mulig, og helst like i forkant av vårflommens start. Det bør gjennomføres utvidede telemetristudier både på vill og oppdrettssmolt for å evaluere effektene av ett eller flere kombinasjoner av de foreslåtte tiltak.

7 Referanser

- Aass, P., Sondrup Nielsen, P. & Brabrand, Å. 1989. Effects of river regulation on the structure of a fast-growing brown trout (*Salmo trutta*) population. *Regulated Rivers; Research & Management* 3; 256-266.
- Aitken, P.L., Dickerson, L.H. & Menzies, W.J.M. 1966. Fish passes and screens at water works. *Proc. Inst. Civ. Eng.* 35; 29-57.
- 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.
- ASCE 1995. Fish passage and protection. I: Guidelines for design of intakes for hydroelectric plants. American Society of Civil Engineers, New York, side 469-499.
- Bendall, B., Moore, A. & Quayle, V. 2005. The post-spawning movements of migratory brown trout *Salmo trutta* L. *Journal of Fish Biology* 67; 809-822.
- Bell, M.C. & Delacy, A.C. 1972. A compendium of the survival of fish passing through spillways and conduits. *Fish. Eng. Res. Prog. U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon*, 121 sider.
- Cada, G.F. 2001. The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival. *Fisheries* 26 (97); 14-23.
- Calles, O., Karlsson, S., Hebrand, M. & Comoglio, C. 2012. Evaluating technical improvements for downstream migrating diadromous fish at a hydroelectric plant. *Ecological Engineering* 48; 30-37.
- Calles, O., Olsson, I.C., Comoglio, C., Kemp, P., Blunden, L., Schmitz, M. & Greenberg, L. 2010. Size-dependent mortality of migratory silver eels at a hydropower plant, and implications for escapement to the sea. *Freshwater Biology* 55; 2167-2180.
- Clay, C.H. 1995. Design of fishways and other fish facilities. Lewis Publisher, Boca Raton, Ann Harbor, London, Tokyo, 248 sider.
- Coutant, C.C. & Whitney, R.R. 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines; a review. *Transactions of the American Fisheries Society* 129; 351-380.
- Gosset, C., Travade, F., Durif, F., Rives, J., Elie, P. 2005. Tests of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. *River Research and Applications* 21; 1095-1105.
- Greenberg, L., Calles, O., Andersson, J. & Engqvist, T. 2012. Effect of trash diverters and overhead cover on downstream migrating brown trout smolts. *Ecological Engineering* 48; 25-29.
- Gross, M.R., Coleman, R.M. & McDowall, R.M. 1988. Aquatic productivity and the evolution of diadromous fish migration. *Science* 239; 1291-1293.
- Johnson, G.E. & Dauble, D.D. 2006. Surface flow outlets to protect juvenile salmonids passing through hydropower dams. *Reviews in Fisheries Science* 14; 213-244.

Jonsson, B. & Jonsson, N. 1993. Partial migrations: niche shift versus sexual maturation in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 3; 348-365.

Jonsson, N., Jonsson, B. & Hansen, L.P. 1991. Energetic cost of spawning in male and female Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Fish Biology* 39; 1-6.

Klemetsen, A., Amundsen, P.A., Dempson, J.B., Jonsson, B. & Jonsson, N., O'Connell, M.F., Mortensen, E. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.: a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish* 12; 1-59.

Kraabøl, M. 2012. Reproductive and migratory challenges inflicted on migrant brown trout (*Salmo trutta* L.) in a heavily modified river. Doctoral theses at NTNU 2012-136.

Kraabøl, M. & Arnekleiv, J.V. 1998. Registrerte gytelokaliteter for storørret i Gudbrandsdalslågen og Gausa med sideelver. NTNU Vitenskapsmuseet Rapport Zoological Series 2, 28 pp (in norwegian with english abstract)

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., Arnekleiv, J.V., Johnsen, S.I. & Museth, J. 2009a. Nedvandring av vinterstøing og smolt av Hunderørret ved Hunderfossen kraftverk. Anbefalinger om vannslipp og lukemanøvreringer. NTNU Notat 2009/2, xx s.

Kraabøl, M., Johnsen, S.I., Museth, J. & Sandlund, O.T. 2009b. Conserving iteroparous fish stocks in regulated rivers: the need for a broader perspective! *Fisheries Management and Ecology* 16; 337-340.

Kraabøl, M., Museth, J., Skurdal, J. & Johnsen, S.I. 2012. Holder fisketrappene mål i forhold til Vannforskriften? *Vann* 4; 504-522.

Kock Johansen, Ø. 2010. Energi. Livets fundament og sivilisasjonens grunnlag. Kagge Forlag AS, 272 sider.

Larinier, M. 2008. Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. *Hydrobiologia* 609; 97-108.

Larinier, M. & Travade, F. 1999. The development and evaluation of downstream bypass for juvenile salmonids at small hydroelectric plants in France. I: Odeh, M. (Red.). *Fish Passage Technology*. American Fisheries Society, Bethesda, MD.

Larinier, M. & Travade, F. 2002. Downstream migration: problems and facilities. I: Larinier, M. Travade, F. & Porcher, J.P. (Red.). *Bull. Fr. Peche Piscic.* 364.

Larinier, M., Travade, F. & Porcher, J.P. 2002. Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. *Bull. Fr. Peche Piscic.* 364, 208 sider.

Lien, L. 1978. The energy budget of brown trout population of the Øvre Heimdalsvatn. *Holarctic Ecology* 1; 197-203.

Montèn, F. 1985. Fish and turbines: Fish injuries during passage through power station turbines. Vattenfall, Statens Vattenfallsverk, Stockholm.

- Northcote, T.G. 1978. Migratory strategies and production in freshwater fishes. I: Gerking, S.D. (Red.). Ecology of Freshwater Fish Production. Blackwell Science, Oxford, side 326-359.
- Odeh, M. & Orvis, C. 1998. Downstream fish passage design considerations and developments at hydroelectric projects in the North-East USA. I. Jungwirth, M., Schmutz, S. & Weiss, S. (Red.). Fish Migration and Fish Bypasses. Fishing News Book, side 267-280.
- Pethon, P. 1998. Aschehougs store fiskebok .H. Aschehoug & Co, 4. utgave, 447 sider.
- Rivinoja, P. 2005. Migration problems of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in flow regulated rivers. PhD-thesis, SLU, Umeå.
- Ruggles, C.P. & Murray, D.G. 1983. A review of fish response to spillways. Freshwater and Anadromous Division, Resource Branch Department of Fisheries and Oceans, Halifax, Nova Scotia. Can. Tech. Rep. of Fisheries and Aquatic Sci. 1172, 30 sider.
- Videler, J. 1993. Fish swimming. Chapman & Hall, Fish and Fisheries Series 10, 260 sider.
- Wilson, J.W., Giorgi, A.E. & Stuehrenber, L.C. 1991. A method for estimating spill effectiveness for passing juvenile salmon and its application at Lower Granite Dam on the Snake River. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 48; 1872-1876.
- Wootton, R.J. 1990. Ecology of Teleost Fishes. Chapman & Hall Ltd., London, 404 sider.

8 Vedlegg

Tabell 1. Oversikt over voksen hunderørret radiomerket i fisketrappa høsten 2011 og peilet frem til våren 2012. Kjønn: 1=hann, 2=hunn. Opprinnelse: V=villfisk, F=fettfinneklippt settefisk.

Fisk nr	Dato	Frekvens	Kjønn	Lengde	Oppr.	1.reg. ADS 1	1.reg. ADS 2
1	21/9	334	2	60	F	29/10	29/10
2	21/9	313	1	59	F	24/5	24/5
3	21/9	322	1	67	F	24/5	24/5
4	21/9	003	2	63	F		
5	21/9	353	1	57	F		6/4
6	21/9	383	2	74	V		
7	21/9	362	1	83	V		24/5
8	21/9	204	1	81	F	16/11	
9	21/9	144	2	72	F	4/11	4/11
10	21/9	494	2	65	F	24/5	24/5
11	21/9	422	1	70	F	13/10	
12	21/9	475	2	75	F	24/5	24/5
13	21/9	301	1	80	F		
14	21/9	293	2	66	F	23/5	23/5
15	21/9	224	2	74	F	24/5	24/5
16	21/9	392	1	74	F		
17	21/9	013	2	74	F	24/5	24/5
18	21/9	243	2	66	F	14/4	
19	21/9	035	2	72	F	28/10	29/10
20	21/9	443	2	61	F	21/10	28/10
21	25/9	252	1	75	V	25/5	25/5
22	25/9	485	2	78	F	24/5	24/5
23	25/9	261	2	67	F	24/5	24/5
24	25/9	053	1	81	F	12/10	
25	25/9	213	1	65	V	24/5	24/5
26	25/9	062	2	63	F	24/5	24/5
27	25/9	024	2	67	F	25/5	25/5
28	25/9	193	2	57	V	24/5	24/5
29	25/9	464	2	56	V	23/5	24/5
30	25/9	105	2	61	V	7/11	9/5
31	25/9	152	2	65	V		24/5
32	25/9	403	1	53	F	25/5	25/5
33	25/9	083	1	60	V		20/5
34	25/9	114	1	74	F	24/5	24/5
35	25/9	173	2	46	F	11/10	
36	3/10	282	2	70	V		29/5
37	3/10	164	2	80	F	24/5	24/5
38	3/10	433	2	71	F	24/5	24/5
39	3/10	455	2	74	F		
40	3/10	273	2	60	V	24/5	24/5
41	3/10	233	2	60	F	24/5	24/5
42	3/10	372	2	79	F		
43	3/10	184	2	67	F	24/5	24/5
44	3/10	133	2	67	F		
45	3/10	092	2	66	F	24/5	24/5
46	3/10	413	2	70	F	26/5	26/5
47	3/10	343	2	62	F	24/5	24/5
48	3/10	122	2	66	V	31/5	31/5
49	3/10	044	2	58	F	25/5	25/5

Tabell 2. Oversikt over 50 radiomerket toårig smolt fra settefiskanlegget i Hunderfossen. Alle ble satt ut i Lågen ved Granrudmoen den 16. mai 2012.

Fisk nr	Frekvens	Lengde	Vekt	Siste reg. ovf. dam	1. reg. ADS 2	1.peil. ndnf Hølsauget
1	995	20,4	95	16/5	23/5	
2	895	27,0	123	18/5		18/5
3	936	23,3	151	17/5	19/5	19/5
4	985	21,5	109	18/5		
5	945	24,0	176	16/5	23/5	
6	864	22,5	128	16/5		
7	796	23,7	160	17/5	26/5	
8	776	21,5	106	16/5	28/5	
9	835	22,2	121	16/5		
10	755	23,8	149	16/5		18/5
11	844	22,0	117	17/5		19/5
12	905	22,3	118	16/5	21/5	
13	785	24,5	165	16/5		
14	825	22,2	116	16/5	20/5	
15	975	23,0	127	17/5	18/5	
16	805	24,4	153	18/5	23/5	
17	955	24,0	143	17/5		
18	885	22,0	137	16/5	20/5	
19	765	20,4	93	16/5	22/5	
20	875	22,0	114	16/5		
21	966	22,5	126	16/5		
22	855	25,0	176	16/5		
23	925	22,9	172	16/5	20/5	
24	915	24,5	160	17/5	19/5	
25	594	22,9	132	17/5		18/5
26	534	22,5	123	16/5		
27	705	22,5	127	20/5		
28	654	23,0	126	16/5	19/5	18/5
29	814	24,9	174	16/5		
30	515	21,2	106	17/5	21/5	
31	505	23,4	140	16/5	22/5	
32	544	20,5	92	16/5		
33	664	22,0		16/5	19/5	
34	624	23,4	140	16/5		
35	734	26,3	177	20/5		
36	644	23,0	143	18/5		
37	684	25,2	169	16/5	17/5	
38	603	24,5	174	16/5		
39	745	23,7	147	16/5		
40	633	22,2	129	16/5		
41	724	25,0	182	16/5		
42	714	26,2	185	16/5	21/5	20/5
43	674	25,8	201	16/5	18/5	
44	694	23,9	142	17/5	20/5	
45	574	22,7	173	16/5		20/5
46	585	24,6	173	16/5		
47	524	22,8	141	17/5		18/5
48	564	24,4	157	17/5		
49	614	23,8	162	16/5		
50	554	25,5	182	17/5		



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: 978-82-426-2545-8

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

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger