

# Uttesting av teknisk løsning for å hindre vandring av laksefisk via turbiner ved Trælandsfosskraftverk, Kvina



**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Jon Lilletuns vei 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Midt-Norge**

Pirsenteret, Havnegata 9  
Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Uttesting av teknisk løsning for å hindre vandring av laksefisk via turbiner ved Trælandsfoss kraftverk, Kvina	Løpenr. (for bestilling) 6258-2011	Dato 05.12.2011
	Prosjektnr. Undernr. O-11147	Sider Pris 28
Forfatter(e) Kristensen, T., Hawley, K., Guttrup, J (SNO), Johannesen, Å., Kroglund, F.	Fagområde Fiskeøkologi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Borregaard Trælandsfos AS	Oppdragsreferanse J.nr: 0038/11
---	------------------------------------

**Sammendrag** :På oppdrag fra Borregaard Trælandsfos AS, ble det i 2011 gjennomført utprøving av tiltak for å evaluere mulighetene for å lede vandrende fisk på en effektiv måte forbi turbinene ved Trælandsfoss i Kvina. Arbeidet hadde som hovedformål å evaluere noen sentrale elementer i et framtidig permanent tiltak, slik at utformingen av dette kan bli optimal. Målsettingen for et permanent tiltak ble formulert som at > 90 % av smolten skal utvandre utenom turbinene. Kraftverksturbinene skal da ikke lengre være årsak til redusert økologisk status for laks. To distinkte løsninger for vandringshinder i kraftverkskanalen ble utprøvd i løpet av perioden. Den enkleste tilnærmingen med minst vedlikeholdsbehov (fase 1) ga et estimat på 19 % fangsteffektivitet på laks. Overgang til notpose (fase 2 og 3) ga en forbedring i fangsteffektivitet opp til 32% på laks . For aure var fangsteffektiviteten langt lavere enn laks, noe som kan skyldes forskjeller i vandringsdyp og adferd mellom de to artene. Overføringsløsningen mellom kraftverkskanalen og minstevannføringsløpet fungerte i all hovedsak etter hensikten. Både laks og aure brukte relativt lang tid på å forsere minstevannføringsløpet, men overlevelsen er trolig langt høyere enn resultatene fra PIT lesestasjonen antyder.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Vannkraftproduksjon</li> <li>Migrasjon</li> <li>Atlantisk laks</li> <li>Smolt</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hydroelectric production</li> <li>Migration</li> <li>Atlantic salmon</li> <li>Smolt</li> </ol>
--	--



Prosjektleder  
Torstein Kristensen



Forskningsleder  
Åse Åtland



Direktør for teknologi og innovasjon  
James Berg

Uttesting av teknisk løsning for å hindre vandring av  
laksefisk via turbiner ved Trælandsfoss kraftverk, Kvina

## Forord

Å prøve å få fisk til å vandre dit en vil kan være både en fasinerende og frustrerende øvelse, men ikke minst en nødvendig øvelse om en ønsker å minimere effekten av fysiske inngrep i et vassdrag. I dette tilfellet var oppdraget å prøve ut tekniske løsninger for å unngå at fisken måtte passere vannkraftturbiner på sin vei ut i havet. Vi har selvsagt egne oppfatninger om hvor godt vi har lykket med oppdraget, men håper også leserne vil gjøre seg opp egne meninger og tanker om hvordan slike tiltak bør utformes. Læringskurven for hvordan slike tiltak bør utformes er bratt i Norge, men vi har heldigvis mottatt innspill fra internasjonal ekspertise både underveis og etter gjennomføringen av prosjektet, og dette styrker oss i troen på gjennomførbarheten av slike tiltak.

Arbeidet ble finansiert av Borregaard Trælandsfos AS. Vi er takknemmelige for all godvilje og praktisk hjelp som ble ytt under gjennomføringen. Oppdragsgiver la ned et betydelig arbeid for å imøtekomme våre behov underveis, og Ivar Egenes var en svært nevenyttig og hjelpsom mann å ha med på laget.

Bodø, 7. desember 2011



Torstein Kristensen

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
1.1 Vassdragsregulerings effekter på fisk	8
1.2 Elvekraftverk	8
1.3 Kompenserende tiltak	8
1.4 Områdebeskrivelse	9
1.5 Laksefisket i Kvina	9
1.6 Beskrivelse av Trælandsfoss Kraftverk	10
1.6.1 Geografisk plassering	10
1.6.2 Teknisk beskrivelse	10
1.6.3 Målsetting med prosjektet	11
<b>2. Material og metode</b>	<b>11</b>
2.1 Etablering av vandringshinder i kraftverkskanalen	11
2.2 Etablering av overføringsløsning mellom kraftverkskanalen og minstevannføringsløpet.	14
2.3 Evaluering av vandringshastighet og overlevelse gjennom minstevannføringsløpet.	16
2.4 Fisk	16
2.4.1 Fiskemateriale	16
2.4.2 Merketeknologi	17
2.4.3 Merkemethodikk	17
2.4.4 Bestandsestimater	17
<b>3. Resultater</b>	<b>18</b>
3.1 Fisk	19
3.1.1 Smoltfangst i kraftverkskanalen	20
3.1.2 Utsettinger av merket fisk oppstrøms Trælandsfoss	20
3.2 Evaluering av vandringshinder	22
3.2.1 Områdebeskrivelse	22
3.2.2 Utsetting av PIT merket fisk.	23
<b>4. Diskusjon</b>	<b>26</b>
4.1 Vandringshinder i kraftverkskanalen	26
4.1.1 Effektiviteten til valgt løsning	26
4.1.2 Sammenligning med andre kraftutbygginger og løsninger	26
4.2 Overføringsløsning mellom kraftverkskanalen og minstevannføringsløpet	27
4.3 Evaluering av vandringshastighet og overlevelse av fisk gjennom minstevannføringsløpet.	27

---

<b>5. Konklusjon og anbefalinger</b>	<b>27</b>
<b>6. Referanser</b>	<b>28</b>

## Sammendrag

På oppdrag fra regulanten, Borregaard Trælandsfos AS, ble det i 2011 gjennomført utprøving av tiltak for å evaluere mulighetene for å lede fisk på en effektiv måte forbi turbinene ved Trælandsfoss. Arbeidet ble startet opp med befaringer på stedet i september 2010 og februar 2011. Basert på eksisterende kunnskap og egne erfaringer fra andre regulerte vassdrag ble deretter en prosjektskisse for aktiviteten i 2011 utformet. Aktiviteten i 2011 hadde som hovedformål å evaluere noen sentrale elementer i et framtidig permanent tiltak, slik at utformingen av dette kan bli optimal. Målsettingen for et permanent tiltak ble formulert som at > 90 % av smolten skal utvandre utenom turbinene. Kraftverksturbinene skal da ikke lengre være årsak til redusert økologisk status for laks. Mållartene ble satt til laks og aure i første omgang, mens tiltak i forhold til ål skulle vurderes fortløpende.

Aktiviteten i 2011 hadde 3 hovedelementer:

- Etablering av vandringshinder i kraftverkskanalen
- Etablering av overføringsløsning mellom kraftverkskanalen og minstevannføringsløpet
- Evaluering av vandringshastighet og overlevelse av fisk gjennom minstevannføringsløpet

To distinkte løsninger for vandringshinder i kraftverkskanalen ble utprøvd i løpet av perioden. Den enkleste tilnærmingen med minst vedlikeholdsbehov (fase 1) ga et estimat på 19% fangsteffektivitet på laks. Overgang til notpose (fase 2 og 3) ga en forbedring i fangsteffektivitet opp til 32% på laks i fase 2. Selv om et stort areal i de øverste 4 meter av vannsøylen ble dekket av begge tilnærminger, var fangsteffektiviteten ikke tilfredsstillende for laks. Som skissert i prosjektbeskrivelsen burde man ha betydelig bedre fangsteffektivitet for å konkludere med at en teknisk løsning er tilfredsstillende. Løsningen med notpose, som ga best resultat, var betydelig mer vedlikeholdskrevende, og vil ikke tåle belastninger ved vannføringer opp mot slukeevnen uten betydelige forsterkninger. For aure var fangsteffektiviteten langt lavere enn laks, noe som kan skyldes forskjeller i vandringsdyp og adferd mellom de to artene. En viktig grunn til at resultatopptakene ble lav med de relativt enkle tiltakene utprøvd i 2011, kan ligge i det faktum at forsøkene er utført i en kraftverkskanal med relativt stor, ensrettet vannstrøm, og uten en markant damstruktur med støy fra turbiner etc. Forhold i dammer som fører til at fisken stopper opp og leter etter alternative vandringsveier er ikke nødvendigvis tilstede i samme grad ved Trælandsfoss. Når en likevel valgte å forsøke løsninger i kraftverkskanalen framfor i turbindammene, har dette primært med spesifikke fysisk-geografiske forhold ved Trælandsfoss kraftverk som vanskeliggjør andre alternativer. Vi mener det er mange fordeler med å videreføre utprøving av tiltak i kraftverkskanalen framfor andre alternativer. Overføringsløsningen mellom kraftverkskanalen og minstevannføringsløpet fungerte i all hovedsak etter hensikten, som i denne fasen var å oppbevare og registrere fangster, samt overføre merket fisk skånsomt til minstevannføringsløpet. Både laks og aure brukte relativt lang tid på å forsere minstevannføringsløpet. Dette kan ha sammenheng med topografien i systemet, der store dype kulper som gir skjul og oppholdssteder på dagtid, kombinert med lav vannføring og passasje av grunne eksponerte strekninger for å forflytte seg, virker begrensende på fiskens vandringsadferd. Majoriteten av fiskene tok seg likevel gjennom systemet på 3-4 dager, trolig gjennom primært å vandre i døgnetts mørkere timer. Dersom man velger en permanent overføringsløsning for fisk som benytter minstevannføringsløpet som vandringsvei, må man trolig akseptere en viss tidsforsinkelse i vandring gjennom systemet, men overlevelsen er trolig langt høyere enn resultatene fra PIT lesestasjonen antyder. En noe høyere vannføring enn i 2011 kan sikres delvis gjennom vannslipp fra sideløp, delvis som vannslipp via laksetrappa.

## Summary

Title: Testing of solutions for manipulating fish migration to avoid turbine-associated mortality at the Trøandsfos hydropower facility in River Kvina, Southern Norway.

Year: 2011

Author: Kristensen, T., Hawley, K., Guttrup, J (SNO), Johannesen, Å., Kroglund, F.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN: 978-82-577-5993-3

Under contract with the hydropower company Borregaard Trøandsfos AS, NIVA conducted testing of methods to divert fish migration around the hydropower facility at Trøandsfoss in River Kvina in the 2011 smolt migration season (May). The main goal of the project in 2011 was to evaluate some central components in a future permanent solution, rendering the effect of turbine-associated mortality of migrating salmon to <10%. Target species were Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*)

3 main elements were targeted in 2011:

- Establishment of a migration diversion on the 6 x 5 meter channel leading to the turbines
- Establishment of a fish collection and transfer system to the minimum discharge flow through the old river bed
- Evaluation of migration speed and survival through the alternative migration route.

Two solutions for fish diversion in the canal were tested. A simple net-curtain (20 x 4 meters) gave an estimate of 19% catch efficiency, while a bag-net (4,7 x 4,7 m mouth) gave a 32% catch efficiency for salmon. Catch efficiency for trout was very low for both solutions. The latter solution of using a bag-net required substantial maintenance effort, and could not withstand increased water discharge of about 20 m<sup>3</sup>/s. An important reason for the relatively low catch efficiency may be that the physical conditions in the canal did not facilitate a "stop and search" behavior commonly observed in hydropower dams with close proximity between the alternative migration route and the turbines. The transfer solution between the canal and the alternative migration route functioned as intended, but needs modifications if made permanent. Both salmon and trout migrated slowly through the alternative migration route, spending 2-4 days on average passing the 400 meter stretch to the main river. Survival through the system is most likely substantially higher than indicated by the PIT antennae station results due to down time periods of the system and tagged fish blocking the antennae registrations by staying within detection range for prolonged periods.



# 1. Innledning

## 1.1 Vassdragsregulerings effekter på fisk

Vassdragsreguleringer har en rekke effekter på fiskens livsvilkår i et vassdrag, og den eventuelle effekten på bestandsstørrelse og struktur av et fiskeslag er avhengig av flere faktorer. Endringer i vannføring, vannføringsregimer, temperatur, habitattilgang –og kvalitet, og vandringshindre kan hver for seg og sammen gi effekter på en fiskebestand (Johnsen et al., 2010). For fiskeslag som vandrer mellom ulike habitater vil reguleringseffekter påvirke de spesifikke livsstadier som oppholder seg i det aktuelle området, samt vandringer mellom ulike miljøer. Anadrom laksefisk har sin oppvekstfase før sjøvandring, sjøvandring, tilbakevandring og gyting, mens katadrom ål har oppvandring som juvenil glassål, oppvekstfase og begynnelsen på sin gytevandring i miljøer som påvirkes av vassdragsregulering. Atlantisk laks forvaltes i Norge på bestandsnivå (hver enkelt lakseelv) etter gytebestandsmål, og økt dødelighet på de før nevnte livsstadier vil begge kunne påvirke oppnåelse av gytebestandsmålet negativt, og eventuelt utløse restriksjoner i fiske for å kompensere for en lavere gytebestand. Sjøaure har i langt større grad enn laks gjentatte vandringer og repetert gyting, noe som betyr at dødelighet hos utvandrende støinger/gjelfisk kan ha en sterk effekt på bestandsstørrelse og struktur. De europeiske bestandene av ål er i kraftig tilbakegang, og arten er oppført som kritisk truet i den norske rødlista. Effektene av vannkraftregulering på ål er oppsummert av Thorstad et al. (2010). Dødeligheten hos utvandrende blankål ved passering av kraftverk er dokumentert til å være høy i de fleste studier.

## 1.2 Elvekraftverk

Elvekraftverk har typisk relativt liten effekt på habitatareal og vannføring. De primære effektene av denne typen kraftverk er som fysisk vandringshinder, og ikke minst gjennom økt dødelighet under nedstrøms vandring på fisk som passerer gjennom turbinene. En økt dødelighet hos smolt som følge av turbinskader og/eller forsinket utvandringshastighet ved passering av turbiner vil komme i tillegg til redusert produksjonspotensiale i et vassdrag, da denne dødeligheten skjer på et livsstadie som er på vei ut av vassdraget og dermed ikke lenger påvirkes av produksjonspotensialet i elva. I de fleste undersøkelser av dødelighet knyttet til passering gjennom vannkraftturbiner, konkluderes det med at en betydelig % andel av fisken dør som følge av fysiske skader ved turbinpassering. Skåre et al. (2006) oppgir dødeligheter mellom 7 og 73 prosent i sin gjennomgang av gjennomførte undersøkelser. Calles & Greenberg (2009) oppgir 30 % dødelighet hos auresmolt, med høyere dødelighet i Francis enn Kaplan turbiner, og turbindødelighet ved Svorkmo kraftverk i Orkla er beregnet til 73% (Francis turbiner, Hvidsten et al., 2004). Den fysiske konstruksjonen av turbiner tilsier at fiskens risiko for å pådra seg fysiske skader øker med økende fiskestørrelse. Dette er også demonstrert i praksis (Monten, 1985). Dødelighet på utvandrende vinterstøinger av laksefisk vil redusere antallet 2. og 3. gangsgytere som returnerer til vassdraget, og dermed ha en påvirkning på senere rekruttering til bestanden og strukturen i gytebestanden. I tillegg til død som følge av lett synlige fysiske skader, er det påvist forsinkelse i utvandring og økt dødelighet i perioden etter passering av kraftverksturbiner (Budy et al., 2002, Kroglund et al., 2011). Fisk som unngår fysisk kontakt med turbinskovelene kan skades av store trykkendringer i systemet Neitzel et al. (2004), noe som bl.a. er vist å gi symptomer på hjerneskade (Miracle et al., 2009).

## 1.3 Kompenserende tiltak

Tiltak for å bedre overlevelsen til vandrende fiskeslag, eller kompensere for tapt produksjon gjennom fiskeutsettinger har vært vanlig. Mens dette var en akseptert praksis tidligere, er denne metoden i dag

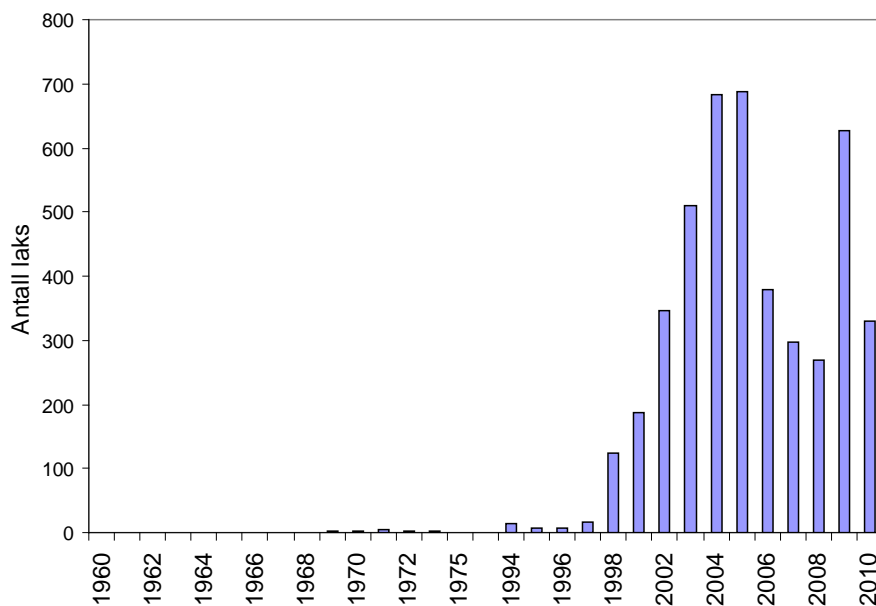
ikke betraktet som økologisk forsvarlig. Alternative vandringsveier er etablert med hell en rekke steder i verden. Prinsippet bak disse er å tilby fisken en vandringsvei rundt turbingater. Fisken må foreta et aktivt valg mellom å benytte alternativ vandringsvei og å følge hovedmengden vann som går via turbinen(e). En rekke tilleggstiltak for å stimulere fisken til å ta den alternative vandringsveien er utprøvd ulike steder med variabel suksess. Dette kan dreie seg om bruk av lys, lyd, elektriske spenningsfelt mm.

## 1.4 Områdebeskrivelse

Elva Kvina renner fra nord mot sør gjennom Kvinesdal i Vest-Agder. 55 % av vassdraget er i dag overført til Sira. Av et opprinnelig nedbørfelt på 1444,9 km<sup>2</sup> er det nå 645,2 km<sup>2</sup> som drenerer direkte til Kvinavassdraget (inkludert Litleåna på 229,2 km<sup>2</sup>). Før regulering var middelvannføringen om lag 66 m<sup>3</sup>/s ved Rafossen, mens middelvannføring etter regulering er anslått til å være i overkant av 20 m<sup>3</sup>/s. Regulanten SKK er pålagt minstevannføringer på 1,3 m<sup>3</sup>/s i vinterperioden (oktober-april) og 3,7 m<sup>3</sup>/s i sommerperioden (mai-september). Kvina har i dag en anadrom strekning på 13 km opp til Rafoss, mens den uregulerte sideelva Litleåna er anadrom 1 km opp til Åmot.

## 1.5 Laksefisket i Kvina

Historisk sett har Kvina vært et godt laksevassdrag, med rapporterte årsfangster av laks på over fem tonn i perioden 1870-1890. Vassdraget har vært kraftig påvirket av forsuring, og den opprinnelige bestanden av laks er betraktet som utdødd. Etter at det ble satt i gang kalking i 1994, er vassdraget igjen på vei til å bli en viktig elv for sportsfiske etter laks og sjøaure. Konsekvensene av regulering for gyte- og oppvekstområdene har vært betydelige. I følge NINA rapport 321 "Potensial for produksjon av laks i Kvinavassdraget – vurdering av tapsfaktorer og forslag til kompensasjonstiltak" (Bremset et al., 2008) er redusert vintervannføring oppgitt som den viktigste begrensende faktor (flaskehals) for produksjonen av ungfisk og smolt i Kvina. Effektene av lav vintervannføring vil variere mellom år, men i gjennomsnitt anslås det i rapporten at lav vintervannføring har gitt en reduksjon i produksjon på i størrelsesorden 37%.

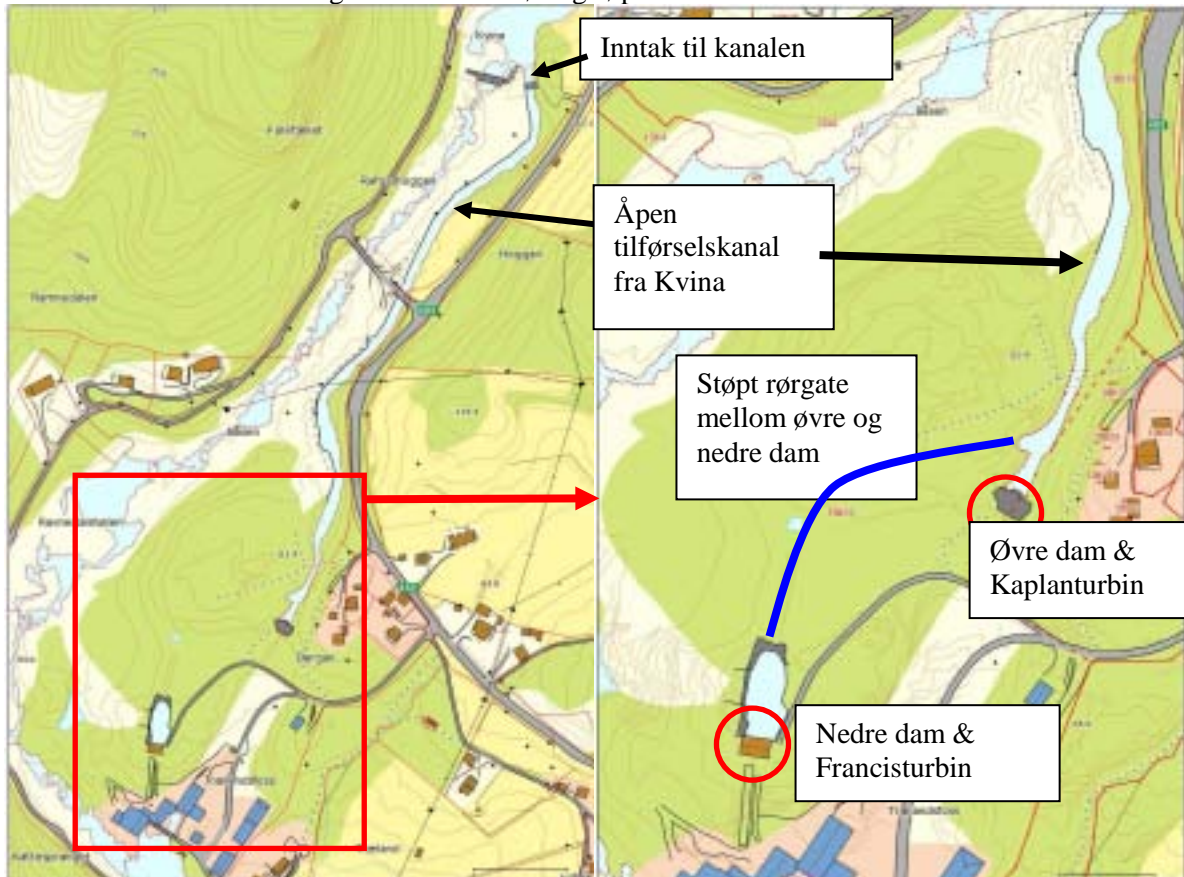


**Figur 1.** Årlig laksefangst (antall fisk) i Kvina fra 1960 til 2010. Kilde: Direktoratet for Naturforvaltning. I 2011 er det rapportert og fangst av 1042 kg laks (Scanatura).

## 1.6 Beskrivelse av Trælandsfoss Kraftverk

### 1.6.1 Geografisk plassering

Trælandsfoss kraftverk er plassert i øvre del av anadrom strekning, ca 1,5 km nedstrøms Rafossen, som er vandringshinder for anadrom laksefisk. Vann til turbinene ledes gjennom en 800 m lang åpen kanal (6 m bredde og 5 m dyp), deretter i rørgater. På strekningen mellom inntaket og kraftverksutløpet (heretter betegnet som minstevannføringsløpet (MVF)) vil vannføringen være begrenset til lekkasjevann og vann som slippes via laksetrappa i perioder med vannføring lavere enn maksimal tillatt driftsvannføring (40 m<sup>3</sup>/s). Når vannføringen i elva er høyere enn slukeevnen til kraftverket vil overskuddet gå i minstevannføringsløpet.



**Figur 2.** Oversiktsbilde over Kvina fra forbi Trælandsfoss kraftverk. Vann til kraftverket ledes i en kanal fra innsjøen til øvre og nedre dam. Her går vannet inn i en Kaplan turbin (øvre dam) eller to Francis turbiner (nedre dam) før det igjen føres ut i Kvina. Kart fra Gislink.no.

### 1.6.2 Teknisk beskrivelse

Fra kanalen går vannet via 3 rørgater til de ulike turbinene med en fallhøyde på omtrent 26 m.

**Tabell 1.** Tekniske spesifikasjoner

	Type	Slukeevne	Lengde, rørgate	Diameter, rørgate
Turbin 1	Maier Francis	28 m <sup>3</sup> /s	60 m	3,5 m
Turbin 2	Sørumsand Francis	8,5 m <sup>3</sup> /s	60 m	2,2 m
Turbin 5	Turab kaplan	15 m <sup>3</sup> /s	200 m	2,3 m

Årlig middelproduksjon er 28 GWh. Slukeevne (konsesjon) er 40 m<sup>3</sup>/s, mens teoretisk slukeevne er 50 m<sup>3</sup>/s begrenset av tilløpskanalens kapasitet. Kjøremønster er 5-2-1, tilpasset turbinenes slukeevne og virkningsgrad ved aktuell vannføring. Turbin 5 er normalt i kontinuerlig drift og dekker vannføring fra 3-15 m<sup>3</sup>/s. Smoltdødeligheten ved passering av turbinene i Trælandsfoss er tidligere vurdert. Bremset et al. (2008) konkluderte med at forholdet mellom kraftverkets slukeevne og vannføring i perioden 15. april til 1. juni gjorde at smolt bare unntaksvis kunne passere via overløp. Basert på en del beregninger og antakelser som ikke drøftes nærmere i denne sammenheng, ble 40% sannsynlighet for overlevelse ved passering av Kaplan turbinen og ingen overlevelse ved passering av Francis turbinene antatt for smolt. Avhengig av kjøremønster og andre faktorer ble totalestimatet 70% dødelighet på smolten og 100% dødelighet på vinterstøinger av laks og aure som passerte turbinene anslått. Ved anleggene i Trælandsfoss er det tidligere ikke etablert aktive tiltak for å hindre at smolt vandrer inn i turbingatene. En del større fisk som vinterstøinger av laks og aure hindres i å entre francisturbinene ved varegrind i dam før turbinene, og blir fanget inn og satt ut i elva. Lysåpningen i varegrindene er ikke tilstrekkelig til å hindre smolt i å passere turbinene. Laksetrappa ved innløpet til kraftverkskanalen åpnes 1. mai, og gir da en mulighet for å velge utvandring ned laksetrappa til minstevannføringsløpet. Hvorvidt denne vandringsveien benyttes er ikke tidligere dokumentert. Vannføringen målt ved Stegemoen er lavere enn slukeevnen i middel (perioden 1989-2009) over hele perioden fra 15. april til 14. juni. Basert på i 1 SD kan vannføringen overstige slukeevnen i perioder enkelte år. Minimumsverdien er nær middelveiden, men maksverdien kan være 3-4 x større enn middelveiden. De fleste år vil vannføringen være lavere enn slukeevnen, mens andre år vil smolt sannsynligvis også kunne utvandre via minstevannføringsløpet.

### **1.6.3 Målsetting med prosjektet**

På oppdrag fra regulanten, Borregaard Trælandsfos AS, ble det i 2011 gjennomført utprøving av tiltak for å evaluere mulighetene for på en effektiv måte å lede fisk forbi turbinene ved Trælandsfoss. Arbeidet ble startet opp med befaringer på stedet i september 2010 og februar 2011. Basert på eksisterende kunnskap og egne erfaringer fra andre regulerte vassdrag ble deretter en prosjektskisse for aktiviteten i 2010 utformet. Aktiviteten i 2010 hadde som hovedformål å evaluere noen sentrale elementer i et framtidig permanent tiltak, slik at utformingen av dette kan bli optimal. Målsettingen for et permanent tiltak ble formulert som at > 90 % av smolten skal utvandre utenom turbinene. Kraftverksturbinene skal da ikke lengre være årsak til redusert økologisk status for laks. Mållartene ble satt til laks og aure i første omgang, mens tiltak i forhold til ål skulle vurderes fortløpende.

Aktiviteten i 2011 hadde 3 hovedelementer:

- Etablering av vandringshinder i kraftverkskanalen
- Etablering av overføringsløsning mellom kraftverkskanalen og minstevannføringsløpet
- Evaluering av vandringshastighet og overlevelse av fisk gjennom minstevannføringsløpet

## **2. Material og metode**

### **2.1 Etablering av vandringshinder i kraftverkskanalen**

I forkant av sesongen 2011 ble det tatt en del strategiske valg som la føringer for gjennomføringen av prosjektet. Det ble besluttet at det mest egnede sted for en overføringsløsning av fisk til minstevannføringsløpet var i øvre del av kanalen. Både dammen oppstrøms kanalen og nedre dam ved

francisturbiner ble vurdert (figur 2). Konklusjonen ble at den mest praktiske løsningen for et eventuelt permanent tiltak ville være i kanalen, både på grunn av mulighet for tørrlegging av denne og kort overføringsavstand med naturlig fall til minstevannføringsløpet. I gjennomføringen av de tre skisserte hovedelementene i prosjektet ble en stegvis opptrapping benyttet for å sikre dokumentasjon på alle delelementer i problemstillingen. Dette innebar at en prøvde ut ulike løsninger over tid i smoltutvandringen. Smoltutvandringen er dynamisk prosess som styres av endringer i både abiotiske (daglengde, vannføring, temperatur) og biotiske (smoltens fysiologiske utvikling og artsfrenders timing av vandring) faktorer, og en konsekvens av å foreta endringer i oppsettet underveis er da at man ikke får like nøyaktige estimater på effektiviteten av alle tiltak som ved gjennomføring gjennom en hel utvandningsperiode. Denne strategien ble likevel valgt da man i 2011 ønsket å skaffe seg mest mulig erfaring med ulike løsninger. Erfaringer vunnet kan da brukes til optimalisering i 2012.

I praksis kan gjennomføringen i 2011 inndeles i tre faser, gjengitt i tabell 2.

**Tabell 2.** Oversikt over de ulike fasene i prosjektet.

Fase	Tidsrom	Tiltak	Laksetrapp
1	01.05-04.05	Enkel notløsning	Lukket
2	05.05-08.05	Notpose	Lukket
3	09.05-20.05	Notpose	Åpen

Fase 1 hadde som hovedelement å teste en enkel notsperre i kanalen. Dette ville være en løsning med lite teknisk krevende montering, lave utstyrsinvesteringer, og med relativt lavt vedlikeholdskrav. Hovedkomponenten i systemet var en not på ca. 20 meters lengde og 4 m dybde. Maskevidden på nota var 10 mm. Nota ble veid ned med kjetting i underkant og påmontert flyeelementer. Ved å feste nota ca. 15 m i overkant av overføringshullet i kanalveggen på motsatt side av kanalen, fungerte denne som et ledegjerde mot hullet. Bunnenden av nota mot hullet i kanalveggen ble veid ekstra ned og et tau festet i denne ble bundet opp ca. 10 m i forkant av kanalvegghullet slik at bunnenden ble værende i forkant av hullet.



Figur 3. Ledenot, fase 1. Foto: T. Kristensen/NIVA.

I kanalen ved overføringshullet ble en metallrist på 60\*120 cm plassert i vinkelrett i bakkant av hullet på et bergutspring ca. 1 m under normal vannstand. Sammen med en ekstra trekantet not med kraftig nedveing mot kanalveggen, skulle dette forhindre fisk i å komme seg forbi langs kanalveggen.

I fase 2 ble notløsningen erstattet med en spesialsydd notpose som ble holdt åpen av kvadratisk (4,70\*4,70 m) ramme av stålør.



**Figur 4.** Notpose med stålramme (Fase 2) montert i kanalen. Foto: Å. Johansen/NIVA.

Notposen ble sydd med åpning på siden som ble montert rundt hullet i kanalveggen.

Fangstløsningen i kanalen ble beholdt gjennom fase 2 og 3, inntil høy belastning grunnet vannføringsøkning skadet denne så mye at den ble tatt opp 19. mai.

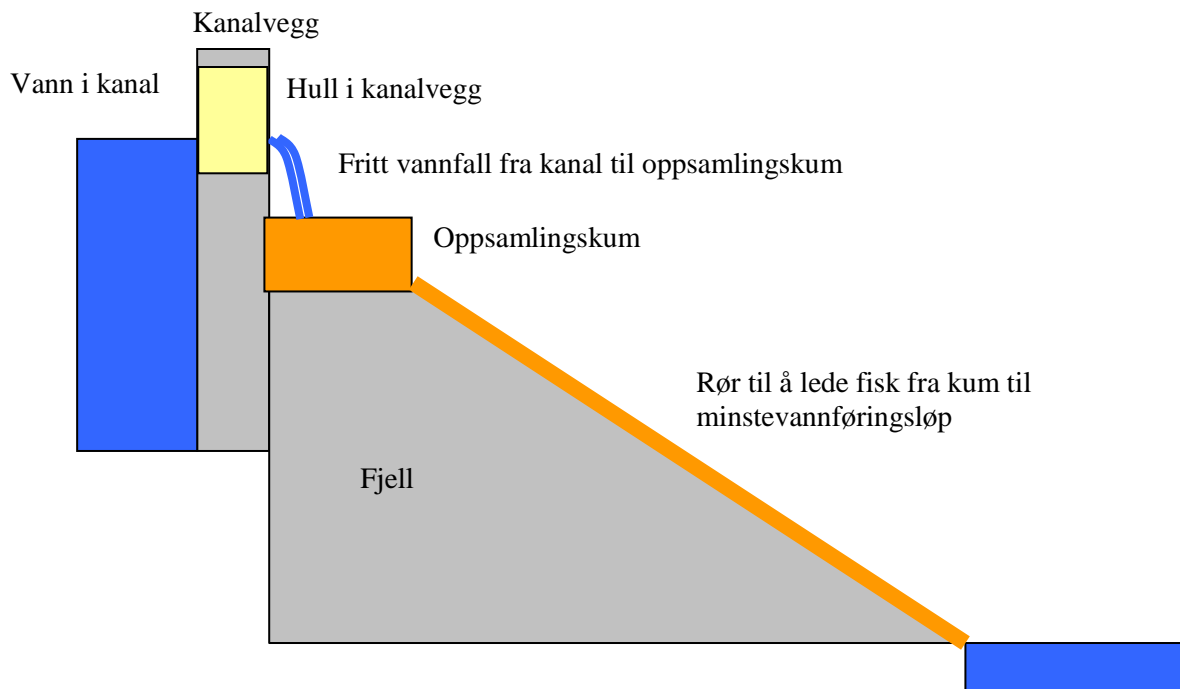
I fase 3 ble vandring via laksetrappa forsøkt stimulert ved å legge ut sperrenot på tvers av inntaket til kanalen fram til åpningen av laksetrappa. Laksetrappa ble stengt i fase 1 og 2 for å kunne evaluere fangstløsningene i kanalen, og ble i fase 3 åpnet med omtrent samme dimensjoner på åpningen som i åpningen i kanalveggen. Som i fase 1 i kanalen, ble en ekstra not med stor nedveking lagt langs fjellveggen ved åpningen av laksetrappa for å forhindre at fisk fant åpninger i nota langs veggen.



**Figur 5.** Åpning i laksetrappa og sperrenot på tvers av kanalinnløpet i fase 3. Foto: Å. Johansen.

## **2.2 Etablering av overføringsløsning mellom kraftverkskanalen og minstevannføringsløpet.**

Hull i kanalveggen ble etablert ca. 80 m nedstrøms kanalinnløpet, der korteste avstand til minstevannføringsløpet og tilstrekkelig fallhøyde var tilgjengelig. Basert på erfaringer fra andre lokaliteter, ble en løsning med moderat fallhøyde ned til oppsamlingskum, og et lederør fra oppsamlingskum ned til minstevannføringsløpet valgt (figur 6).



**Figur 6.** konseptuell skisse over teknisk løsning for overføring av smolt til minstevannføringsløpet.



**Figur 7.** Hull i kanalveggen og oppsamlingskar. Foto: T. Kristensen/NIVA.

Selve hullet i kanalveggen hadde en bredde på 32 cm og justerbar høyde. En 5 cm høy kant ga et permanent fall over kanten av hullet. Vannstandsendringer i kanalen avhengig av vannføring og kjøremønster ved kraftverket gjorde at vannføringen gjennom systemet varierte en god del gjennom perioden. Avsiling av hovedmengden vann gjennom 1 cm slisser i renna ned til karet sørget for



moderat vannutskiftningsrate i oppsamlingskaret. En 110 mm fleksibel slange førte vann (og fisk) ut av karet. Denne var avstengt for fisk med unntak av tidspunkter når merket fisk ble sluppet ut.

### 2.3 Evaluering av vandringshastighet og overlevelse gjennom minstevannføringsløpet.

For å kunne vurdere hensiktsmessigheten av å overføre fisk til minstevannføringsløpet, var fiskens overlevelse og vandringshastighet gjennom systemet viktig. Det ble derfor foretatt en initiell kartlegging av fiskebestanden for eventuelt å påvise fisk av en størrelse som kunne spise smolt. Undersøkelsen ble utført i hele minstevannføringsløpets lengde med en gangs overfiske med elektrisk fiskeapparat. Svært krevende topografi, med stor stein og en del dyphøler/jettegryter gjorde at det totale arealet ikke kunne avfiskes effektivt, men hoveddelen av arealet ble avfisket.



**Figur 8.** Kartlegging av fiskebestanden med elektrisk fiske (t.h. foto: K. Hawley/NIVA) og montering av PIT registreringsstasjon i minstevannføringsløpet (t.v. foto: T. Kristensen/NIVA).

Under forsøket ble vandringshastighet og overlevelse registrert ved at PIT merket fisk daglig ble sluppet ned i systemet. Et PIT antenne registreringssystem bestående av to separate antennesystemer (se beskrivelse av teknologien under) ble montert nedstrøms Ravnedalshølen i nedre del av minstevannføringsløpet (UTM32N: N:6469468 Ø:380744) Dette systemet registrerte ID nr og passeringstidspunkt på merket fisk.

## 2.4 Fisk

### 2.4.1 Fiskemateriale

For gjennomføring av de ulike aspektene av prosjektet, ble fisk fanget inn på ulike steder i elva og merket. Merketmetodikk og antall fisk som ble benyttet i prosjektet ble godkjent av Forsøksdyrutvalget (FDU godkjenning, ID: 3363) i april 2011. All laks som ble merket var karakterisert som smolt basert på ytre kjennetegn som sølvfarging og svarte finnekantene, samt størrelse > 11 cm. Smoltstatus er senere verifisert på to datoer ved analyse av enzymaktivitet av det sentrale enzymet for saltregulering, Natrium-Kalium ATPase, i fiskens gjeller (Kristensen et al., 2011). For aure er smoltkarakteristikkene noe mer vage, men også her er størrelseskriteriet (> 11 cm) anvendt ved merking.

Merket fisk ble anvendt til to formål:

1. Evaluering av fangsteffektiviteten til vandringshinder i kraftverkskanal
2. Evaluering av vandringshastighet og overlevelse gjennom minstevannføringsløpet

Den delen av de merkede fiskene som ble gjenfanget ved vandringshinder i kanalen ble også i neste omgang sluppet gjennom minstevannføringsløpet.

#### **2.4.2 Merketeknologi**

For hoveddelen av merket fisk ble PIT (Passive Integrated Transponder) merker benyttet (Oregon RFID, 23 mm lengde, 3,85 mm diameter). Et PIT-merke benytter seg av radiofrekvens identifikasjon der hvert merke har en 64 bit unik kode som er ISO 11784/11785 sertifisert, og kan sammenlignes med en køfribrikke som benyttes til registrering av bilpasseringer i en bomstasjon. Når en fisk med et PIT-merke passerer en registreringsstasjon vil merket aktiveres av et magnetfelt og sende ut et unikt signal som mottas og lagres i en lese/loggerenhet. PIT merker svarer med et svakt radiosignal som mottas av antennen og trenger således ingen egen strømkilde. I loggerenheten lagres passeringstidspunktet. Hver stasjon i elva består av to antenner som hver lager sitt eget magnetfelt og registrerer en passering. Når minst to antenner benyttes kan vandringsretningen til fisken bestemmes. En lesestasjon består av en antennekabel. Denne føres fra en stemmeboks (tuner box), langs elvebunnen og tilbake i vannoverflata. Fra stemmeboksen går det en skjernet coax kabel til selve leserenheten. Alt drives av 12 V 120 AMT batteri. Hver antenne har sin unike innstilling/stemming. Denne vil variere med antennens lengde og høyde samt magnetiske forstyrrelser i området. En godt stemt antenne vil detektere PIT merker langs hele antennearealet. For å ha kontroll med funksjonen til PIT lesestasjonen ble et referansemerke som sendte ut signal hver time festet til antennekabel. Fravær av fast signal fra denne indikerte da feilfunksjon i registreringene på dette tidspunktet, enten av tekniske årsaker eller fordi en merket fisk oppholdt seg over tid innenfor lesestasjonens rekkevidde og blokkerte signal fra referansemerket/annen passerende fisk.

I tillegg til PIT merker, ble fettfinneklipping benyttet på et mindre antall fisk på to tidspunkt som en kontroll på om merkeметоден ga store utslag på gjenfangstene.

#### **2.4.3 Merkeметодикк**

En godt etablert anestesiprotokoll for laksefisk ble benyttet under merking, og alt utstyr/merker ble holdt så aseptisk som praktisk mulig i en feltsituasjon. 3-5 Fisk ble samtidig overført til anestesibad med 60 mg L<sup>-1</sup> Metacain (MS 222). Tid til full anestesi var normalt 2-3 minutter. PIT merket ble plassert i bukhulen via et lateralt snitt på 4-5 mm som deretter ble lukket med vevslim (Histoacryl, Braun). Fisken ble så overført til oppvåkingskar med friskt vann, der gjenoppvåkning normalt tok 2-4 minutter. Fisken ble etter litt tid i oppvåkingskaret overført til holdekar for senere (4-8 timer) utslipp enten oppstrøms kraftverkskanalen eller i minstevannføringsløpet. PIT nr på all fisk ble avlest og registrert, sammen med art og fiskens lengde.

#### **2.4.4 Bestandsestimater**

Den vanligste metodikken for populasjonsestimering er fangst/gjenfangst. Denne metoden har en del forutsetninger knyttet til seg. Metoden baserer seg på at fisk fanges, merkes og settes ut. På et senere tidspunkt fanges fisk på nytt, og det antas da at merket fisk har blandet seg med den resterende populasjonen. Den andel av fisken som ble merket i forhold til samlet fangst på neste tidspunkt benyttes til å beregne bestandsstørrelse.

$$R/C = M/N$$

**(formel 1)**

Estimering av populasjonsstørrelse ved merketidspunkt ( $N_t$ ) ble utført med utgangspunkt i Petersens metode:

$$N = \frac{MC}{R} \quad \text{(formel 2)}$$

$N_t$ = estimert populasjonsstørrelse ved tidspunkt t	N
$M_t$ = Antall individer merket ved tidspunkt t	M
$C_{t+1}$ = Antall individer fanget ved tidspunkt t+1	C
$R_{t+1}$ = Antall individer gjenfunnet med merke ved tidspunkt t+1	R

En liten modifisering av denne formelen vurderes som mer robust, særlig hvis populasjonsstørrelsen er liten.

$$N = \frac{(M+1)(C+1)}{(R+1)} - 1 \quad \text{(formel 3)}$$

Varians til N kan beregnes som:

$$\text{var}(N) = \frac{(M+1)(C+1)(M-R)(C-R)}{(R+1)(R+1)(R+2)} \quad \text{(formel 4)}$$

En tilnærmet 95% konfidensintervall (antar at N er normalfordelt) kan beregnes som:

$$N \pm 1,965 * [\text{var}(N)]^{0,5} \quad \text{(formel 5)}$$

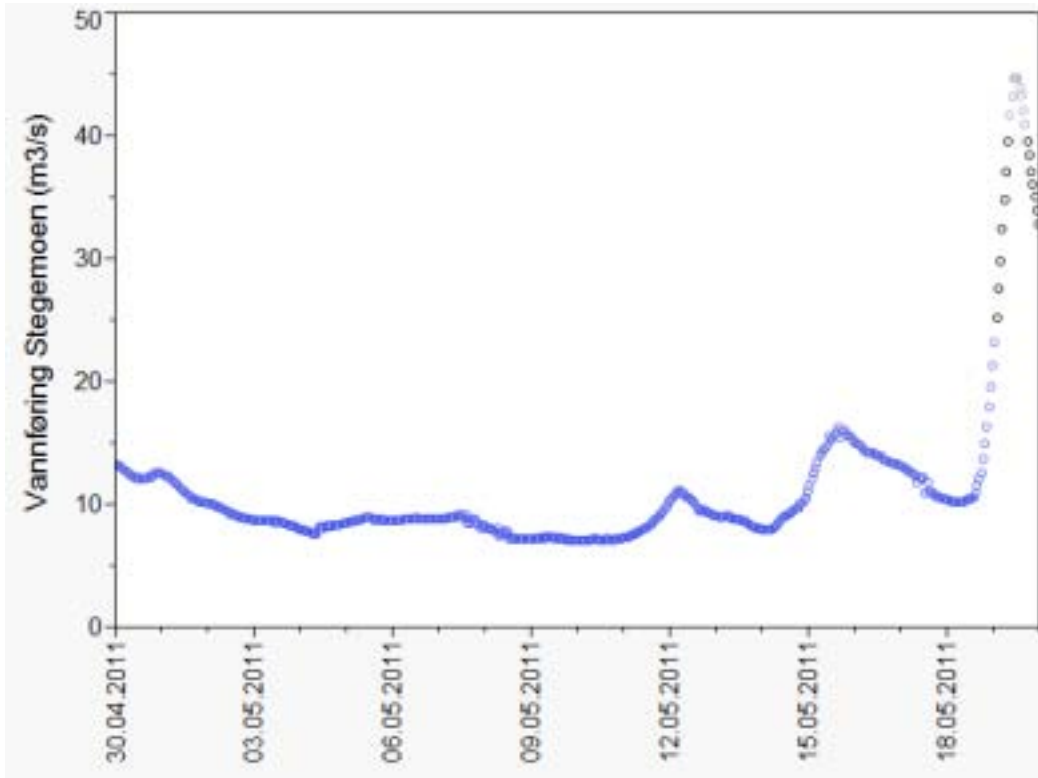
Forutsetningene for å benytte Lincoln-Petersen-metoden er:

1. Populasjonen er lukket. Det kan altså ikke skje innvandring, utvandring eller dødsfall i perioden mellom fangst og gjenfangst.
2. All fisk har samme sannsynlighet for å bli fanget første gang.
3. Merking av dyrene påvirker ikke sannsynligheten for å bli gjenfanget
4. Dyrene mister ikke merkingen mellom de to fangsttidspunktene
5. All merking blir rapportert i den siste gjenfangsten.

Fisk som dør som følge av merkingen vil redusere antall gjenfangster og bidra til at bestandsstørrelse overestimeres. Merket fisk tilført fra nedstrøms fanget bestand inkluderes i dette tilfellet i estimatet, men dette er et kjent antall som senere kan trekkes fra.

### 3. Resultater

Arbeidet med å etablere tekniske løsninger for gjennomføring av prosjektet pågikk i hele april måned, mens gjennomføringsperioden startet 1. mai og varte til 25. mai da PIT lesestasjon ble montert ned.



Figur 8. Vannføring i Kvina målt ved Stegemoen i forsøksperioden (Data: Sira Kvina Kraftselskap).

Vannføringen var relativt stabil i første del av perioden, med noen mindre vannføringsøkninger 12. og 16. mai før en større vannføringsøkning kom den 19. mai.

### 3.1 Fisk

**Tabell 3.** Oversikt over all fisk håndtert, og antall merket fisk, fordelt på opphavssted.

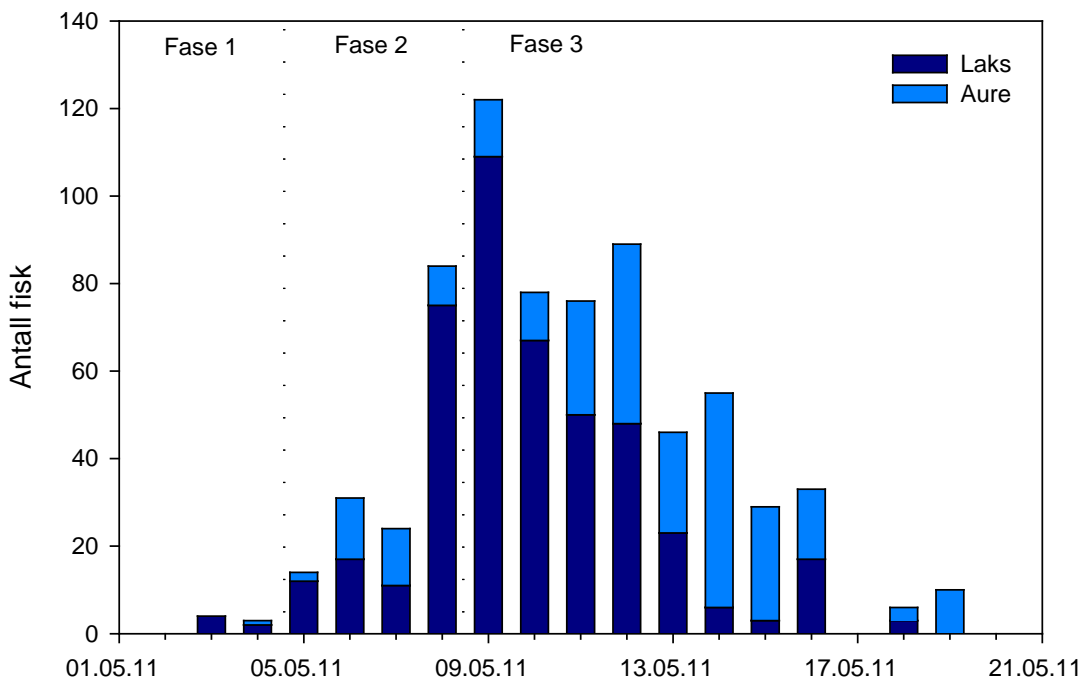
Art	Opphavssted	PIT merket	Fettfinneklipt	Umerket	Totalt
<b>Laks</b>	Oppstrøms Trælandsfoss	140	7	297	<b>444</b>
	Minstevannføringsløpet	13			<b>13</b>
	Smoltfelle	233	15		<b>248</b>
	<b>Totalt</b>	<b>386</b>	<b>22</b>	<b>297</b>	<b>705</b>
<b>Aure</b>	Oppstrøms Trælandsfoss	106	11	123	<b>240</b>
	Smoltfelle	25			<b>25</b>
	<b>Totalt</b>	<b>131</b>	<b>11</b>	<b>123</b>	<b>265</b>

Fisk fra smoltfella ble benyttet for å evaluere fangsteffektivitet på tiltak i kraftverkskanalen, da denne fisken var «naiv» i forhold til løsningen. Gjenfanget fisk av denne gruppen ble sluppet ned minstevannføringsløpet og deltok dermed også i evalueringen av denne delen av prosjektet. Umerket fisk fanget i overføringsløsningen (dvs. naturlig produsert oppstrøms Trælandsfoss) ble i hovedsak sluppet ut i minstevannføringsløpet. Fisk som figurerer som umerket, er fisk som er fanget i kanalen og sluppet umerket videre nedover minstevannføringsløpet.

Gjennomsnittslengden på laks produsert oppstrøms Trælansfoss ( $13,8 \pm 0,9$ (SD) cm) var signifikant høyere enn laks fra smoltfella ( $13,4 \pm 1,0$  cm) (t-test,  $p < 0,01$ ). Det samme var tilfellet for aure ( $19,3 \pm 3,6$  cm oppstrøms og  $17,20 \pm 2,9$  cmi smoltfella), men her var ikke forskjellen signifikant.

### 3.1.1 Smoltfangst i kraftverkskanalen

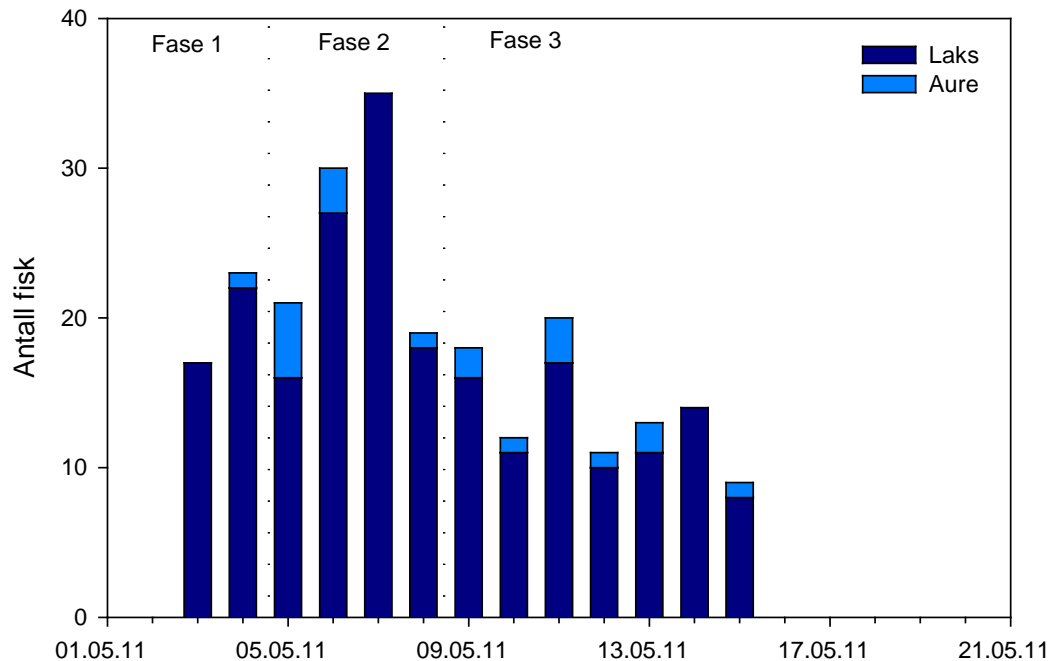
Total smoltfangst av fisk som var produsert oppstrøms Trælansfoss var 446 laks og 237 aure. Daglige fangster (figur 9) varierte mye, sannsynligvis både som et resultat av forbedringer i fangstinnretningen i kanalen, men også som en funksjon av naturlige variasjoner i smoltvandringsforløpet gjennom perioden. Et titalls vinterstøinger av aure ble også fanget og sluppet videre gjennom minstevannføringsløpet.



**Figur 9.** Daglige fangster av smolt av laks og aure produsert oppstrøms Trælansfoss. Inndeling i fase 1, 2 og 3 angir de ulike stadiene i arbeidet med å optimalisere fangstene.

### 3.1.2 Utsettinger av merket fisk oppstrøms Trælansfoss

Smolt fanget i smoltfella og et mindre antall fanget ved El-fiske i minstevannføringsløpet ble merket med PIT merker og satt ut oppstrøms fangstinnretningen (tabell 3). To uhellsepisoder knyttet til drift av systemene medførte dødelighet på merket fisk før utsett. Den første for høy strømhastighet i holdekaret grunnet hurtig vannstandsøkning i kanalen til at to fisk ble klemt mot avløpsrista, mens en uforutsett senkning av vannstanden i kanalen den 12/5 medførte at 12 fisk døde som følge av oksygensvikt da vanntilførselen ble avstengt. 15 fettfinneklepte fisk ble satt ut sammen med PIT merket fisk 7/5 (12 stk) og 12/5 (7 stk laks og 11 stk aure).

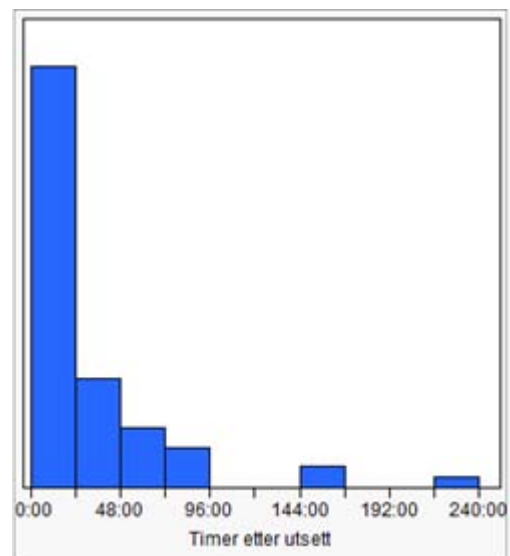


**Figur 10.** Daglige utsett av merket av smolt av laks og aure oppstrøms Trælandsfoss. Inndeling i fase 1, 2 og 3 angir de ulike stadiene i arbeidet med å optimalisere fangstene.

PIT merket fisk ble sluppet på kveldstid mellom 19 og 21. I fase 1 og 2 var slippsted øverst i kanalen, mens fisken ble sluppet 100-150 m oppstrøms kanalinnløpet i fase 3. Fisk som ikke ble gjenfanget i kanalen antas i all hovedsak å ha vandret forbi vandringshinderet og gjennom turbinen (e).

**Tabell 4.** Gjenfangster av PIT merket fisk ved Trælandsfoss, fordelt på periode.

Fase	Art	Antall	% gjenfangst
1	Laks	64	19
	Aure	6	0
2	Laks	96	32
	Aure	11	0
3	Laks	104	26
	Aure	80	5



**Figur 11.** Gjenfangsttidspunkt i tid etter utsettstidspunkt

Av tabell 4 fremgår % vis gjenfangst fordelt på de 3 fasene i prosjektet. En bedring i gjenfangstprosent ble oppnådd med skifte fra enkel notløsning (fase 1) til notpose (fase 2). Hoveddelen av fisk ble gjenfanget natta etter utsett oppstrøms Trælandsfoss (figur 11).

Basert på gjenfangsttallene og fangst av umerket fisk kunne et bestandsestimat på laksesmolt produsert oppstrøms Trælandsfoss beregnes (tabell 5). For perioden samlet ble bestandsestimatet rundt  $1800 \pm 320$  laksesmolt. For aure var gjenfangstene for lave til at et godt estimat kunne gis. Estimater inkluderer da all merket fisk satt ut fra annen lokalitet, slik at det reelle estimatet er 1540 laksesmolt naturlig produsert oppstrøms Trælandsfoss.

**Tabell 5.** Bestandsestimat for laksesmolt produsert oppstrøms Trælandsfoss.

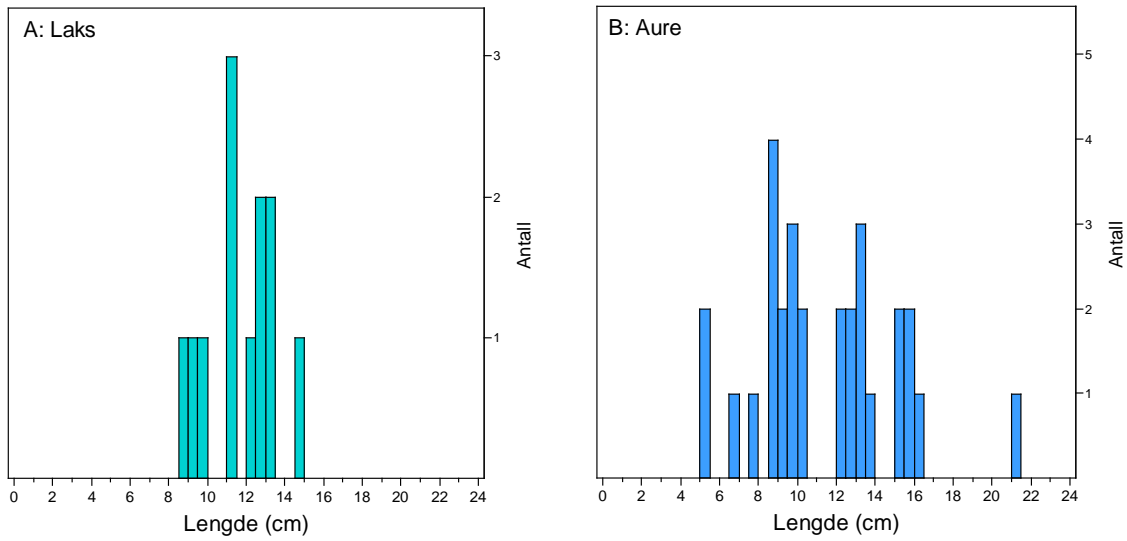
	Bestandsestimater			Modifisert	
	M	C	R	Peterson	Peterson 95 % C.I.
Fase 1	64	30	12	160	55
Fase 2	112	315	36	981	237
Fase 3	71	203	23	627	184
Total	247	518	71	1802	321

To aure merket hhv. 13. og 14. mai og satt ut oppstrøms kraftverkskanalen ble registrert på PIT stasjonen i minstevannføringsløpet uten å være registrert som gjenfanget i kanalfella. Disse antas da å ha vandret ned laksetrappa utenom kraftverkskanalen. Ellers var all fisk registrert på PIT stasjonen også registrert som merket eller gjenfanget i kanalen.

## 3.2 Evaluering av vandringshinder

### 3.2.1 Områdebeskrivelse

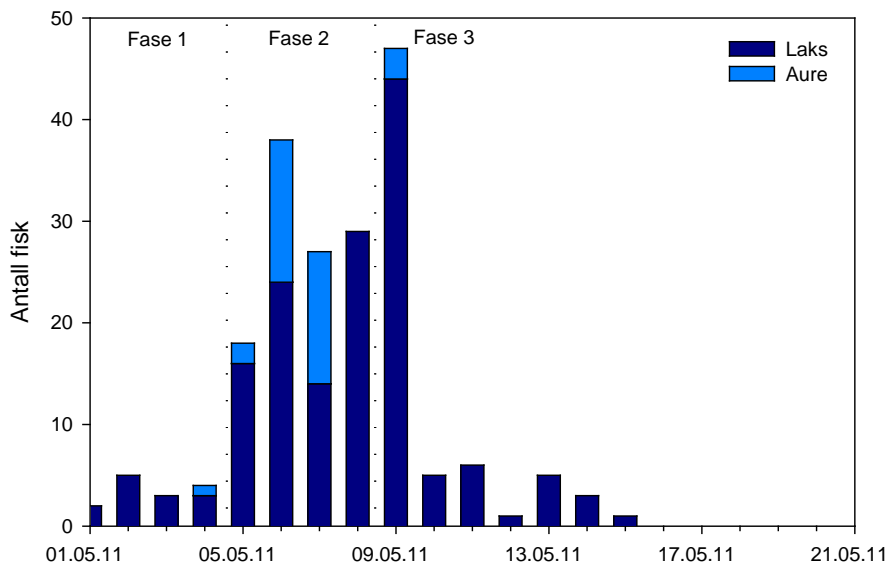
Minstevannføringsløpet var generelt preget av stor stein og blokkmark med dype høler. Enkelte steder utvidet elva seg til innsjølignende områder med relativt bløt bunn med finkornet substrat. Det ble ikke observert egnede gyteplasser på strekningen. Avstanden fra startpunkt på El-fisket opp til avslutning ved laksetrappa var totalt 410 m. Variabel vannføring og krevende avfiskingsforhold gjør en arealberegning av området vanskelig. Av sikkerhetsmessige grunner kunne ikke en del områder avfiskes. Dette fisket må derfor kun betraktes som en kartlegging i forhold til tilstedeværelse av potensielle predatorer på smolt.



**Figur 12.** Lengdefordeling av laks (A, n=12) og aure (B, n=29) innsamlet ved elektrisk fiske i minstevannføringsløpet 30.04.2011. Det ble i tillegg observert 6 ål mellom 30-50 cm, 14 laksefisk under 35 cm og 1 aure over 35 cm under innsamlingen.

Laks over 11 cm hadde alle karakteristiske morfologiske tegn på å være smolt. Det samme hadde en del av auren. Det var klart mest laks i nedre halvpart av minstevannføringsløpet.

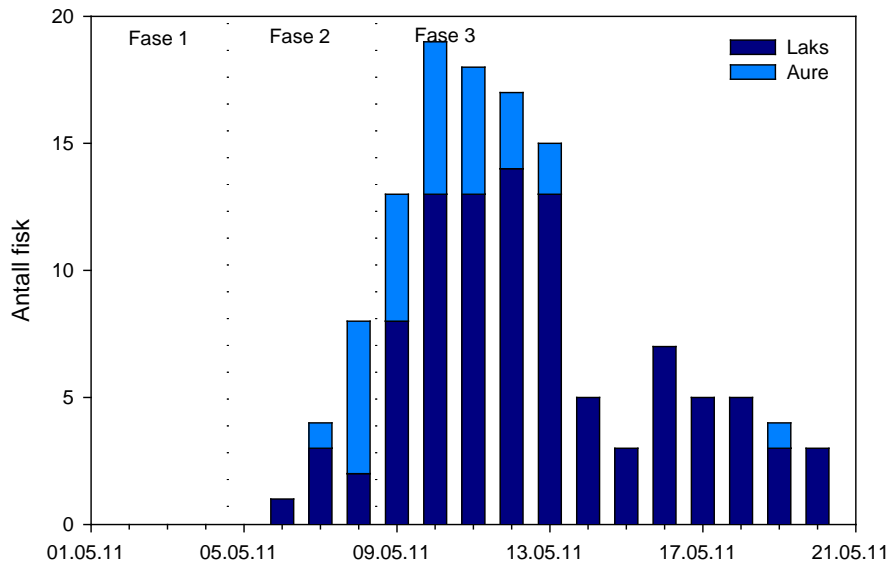
### 3.2.2 Utsetting av PIT merket fisk.



**Figur 13.** Daglig antall PIT merket fisk sluppet i minstevannføringsløpet.

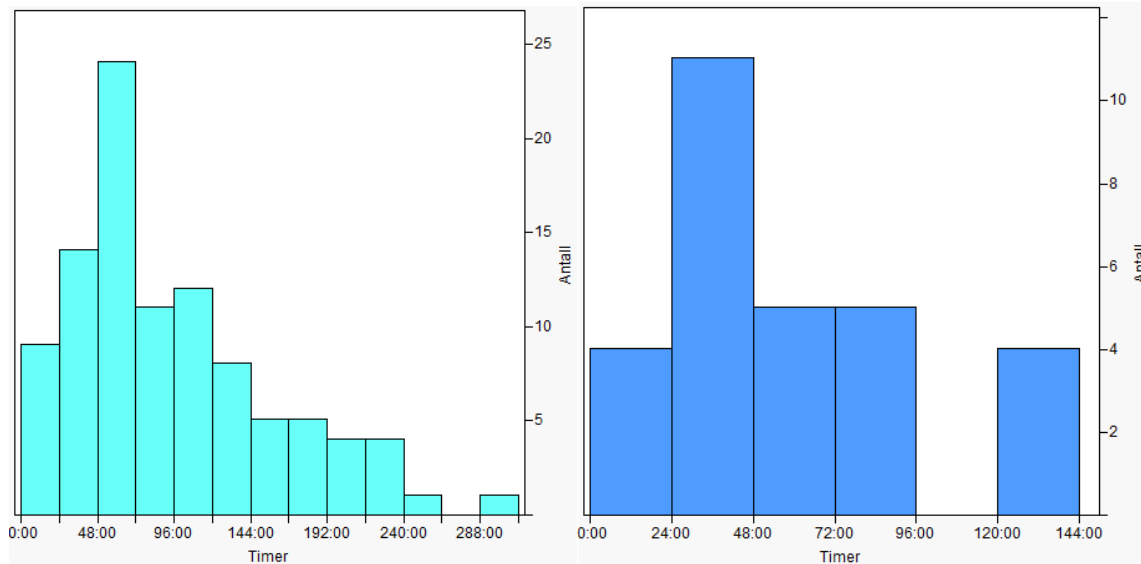
Totalt 199 fisk ble merket og satt ut i minstevannføringsløpet i løpet av prosjektperioden (figur 13). Avhengig av fangster i kanalfella ble antallet ujevnt fordelt over dagene i perioden (figur 13), med klart størst daglig antall i perioden fra 5. til 9. mai. Et større antall laks (163) enn aure (32) ble satt ut.





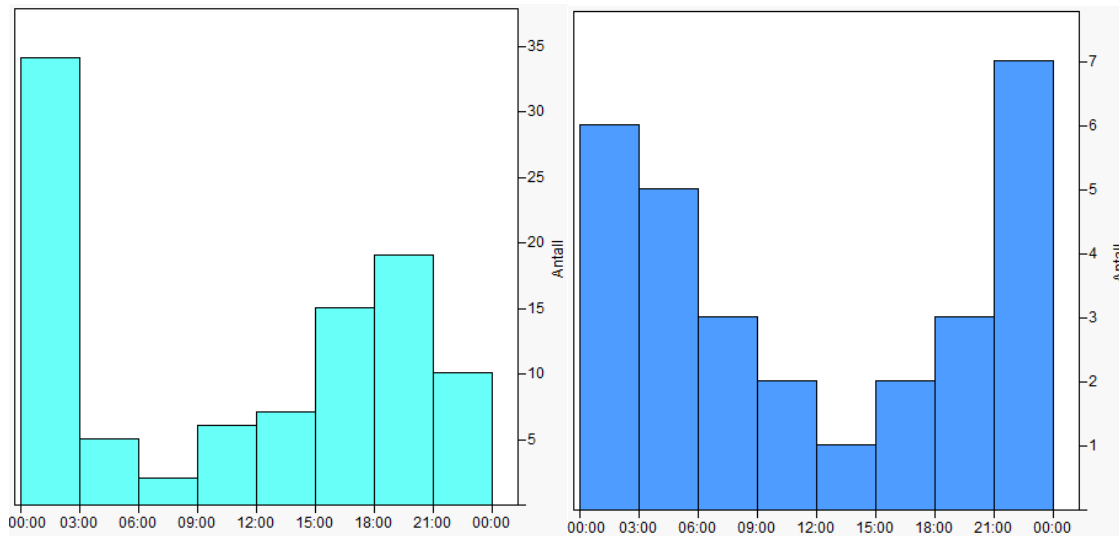
**Figur 14.** Daglig antall registrerte PIT merkede fisk passert PIT lesestasjon i minstevannføringsløpet.

Totalt ble 64% (137 stk.) av merket fisk registrert i PIT sløyfa, 60% for laks (N=163) og 83% for aure (N=32). Avhengig av opphavssted for utslipp, registreres 70% av laks sluppet direkte i MVF, mens 42% av laks fanget i smoltfella/el-fiske og sluppet oppstrøms og gjenfanget. Tidspunktet for gjenfangster er noe forskjøvet i forhold til utsettstidspunkt (figur 13 og 14).



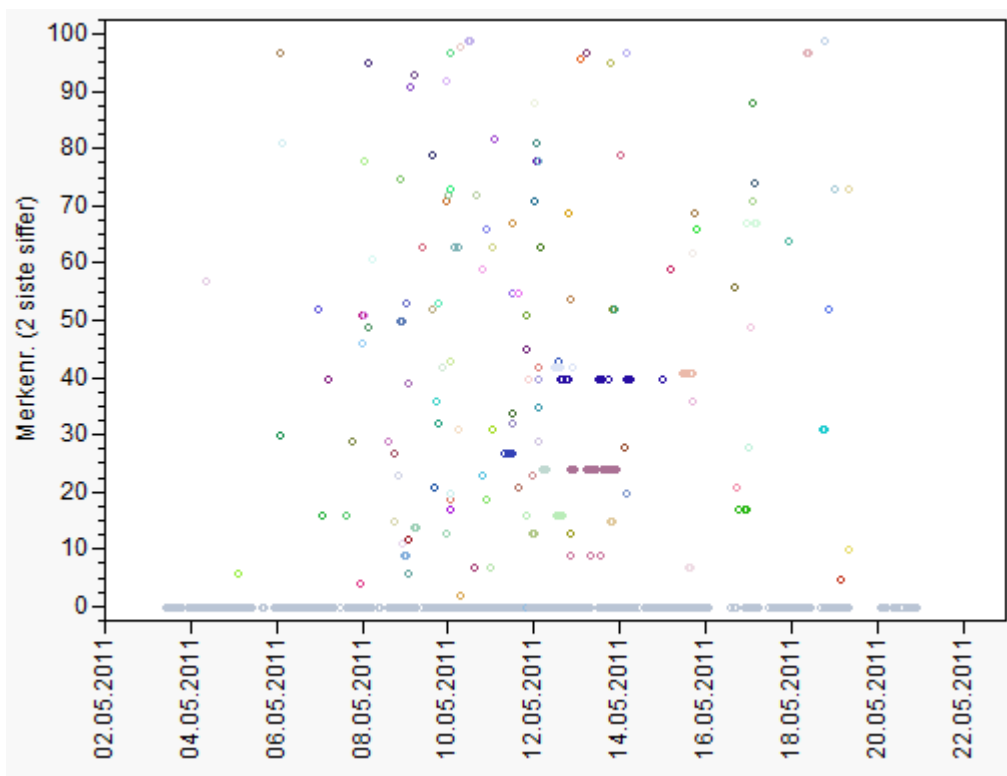
**Figur 15.** Fordeling av antall timer brukt på å forsere minstevannføringsløpet for laks (t.h.) og aure (t.v.).

Både laks og aure brukte stort sett mer enn 1 døgn på å forsere minstevannføringsløpet, og den vanligst observerte tidsbruken for laks var 48-72 timer, mens den for aure var 24-48 timer (figur 15). Aure brukte i gjennomsnitt signifikant kortere tid enn laks (Welch Anova,  $p=0,0003$ ) på forseringen. Det var en tendens til at både aure og laks brukte kortere tid på å forsere minstevannføringsløpet jo lenger ut i perioden man kom, men denne var ikke signifikant.



**Figur 16.** Tid på dagen for passering av PIT lesestasjon i minste vannføringsløpet.

Ut fra figur 16 passerer fisk lesestasjonen over hele døgnet, men med klar hovedvekt på kvelds- nattetid for begge arter.



**Figur 17.** Registreringstidspunkt for PIT (siste to siffer av merkekoden brukt) merket fisk i PIT lesestasjon i minste vannføringsløpet. Med verdi 0 nederst i bildet ses registreringene fra referansemerke gjennom perioden.

De fleste fiskene ble registrert kun en eller to ganger ved passering (figur 17), noe som indikerer svært hurtig passering, mens under 25% ble registrert over lengre tid (<1000 registreringer). Maksimalt antall registreringer på en enkelt fisk var 2199.

## 4. Diskusjon

### 4.1 Vandringshinder i kraftverkskanalen

#### 4.1.1 Effektiviteten til valgt løsning

To distinkte løsninger for vandringshinder i kraftverkskanalen ble utprøvd i løpet av perioden. Den enkleste tilnærmingen med minst vedlikeholdsbehov (fase 1) ga et estimat på 19% fangsteffektivitet på laks. Overgang til notpose (fase 2 og 3) ga en forbedring i fangsteffektivitet opp til 32% på laks i fase 2. Selv om et stort areal i de øverste 4 meter av vannsøylen ble dekket av begge tilnærminger, var fangsteffektiviteten ikke tilfredsstillende for laks. Som skissert i prosjektbeskrivelsen burde man ha betydelig bedre fangsteffektivitet for å konkludere med at en teknisk løsning er tilfredsstillende. Løsningen med notpose, som ga best resultat, var betydelig mer vedlikeholdskrevende, og vil ikke tåle belastninger ved vannføringer opp mot slukeevnen uten betydelige forsterkninger.

For aure var fangsteffektiviteten langt lavere enn laks, noe som kan skyldes forskjeller i vandringsdyp og adferd mellom de to artene. Fangst i overflateredskaper (som smoltskruer) underrepresenterer generelt aure i forhold til laks. Det er også usikkerhet knyttet til om all fanget aure reelt sett var på vandring nedstrøms som smolt, eller bare ble fanget på tilfeldig vandring i systemet. Gjenfangstene av merka fisk i minstevannføringsløpet kan tyde på at disse var smolt. I det videre må en derfor anta at fanget aure var på smoltvandring, at vandringshinderet fungerte markant dårligere for aure enn for laks. Det faktum at fangstene av umerka aure i kraftkanalen var så vidt store, tyder på at produksjonen av sjøaure oppstrøms Trælandsfoss kan være betydelig.

#### 4.1.2 Sammenligning med andre kraftutbygginger og løsninger

Når prosjektfasen ble innledet hadde vi kun praktisk erfaring fra Storelva i Holt. Her har vi lyktes med å lede >80 % av smolten til sideløpet (Kroglund mfl., 2011). Siden den gang er det utført nye forsøk (Boen, Tovdalselva) og det er gjennomført en studietur til Frankrike. Både erfaringene fra Tovdalselva samt erfaringer fra >20 illustrerte eksempler fra elvekraftverk i Frankrike viser at det er mulig å avlede smolten raskt hvis tiltakene bygges riktig. Inntil vi har mer erfaring fra forsøk utført under norske betingelser antar vi at erfaringer høstet i Frankrike i perioden 1980 til 2000 har relevans også i Norge (LT). En viktig grunn til at resultatoppnåelsen ble lav med de relativt enkle tiltakene utprøvd i 2011, kan ligge i det faktum at forsøkene er utført i en kraftverkskanal med relativt stor, ensrettet vannstrøm, og uten en markant damstruktur med støy fra turbiner etc. Forhold i dammer som fører til at fisken stopper opp og leter etter alternative vandringsveier er ikke nødvendigvis tilstede i samme grad ved Trælandsfoss. Når en likevel valgte å forsøke løsninger i kraftverkskanalen framfor i turbindammene, har dette primært med spesifikke fysiske-geografiske forhold ved Trælandsfoss kraftverk som vanskeligjør andre alternativer. Vi mener det er mange fordeler med å videreføre utprøving av tiltak i kraftverkskanalen framfor andre alternativer.

## 4.2 Overføringsløsning mellom kraftverkskanalen og minstevannføringsløpet

Overføringsløsningen fungerte i all hovedsak etter hensikten, som i denne fasen var å oppbevare og registrere fangster, samt overføre merket fisk skånsomt til minstevannføringsløpet. Ved hurtige vannstandsendringer i kraftverkskanalen var systemet følsomt for økninger eller bortfall av vannføring, noe som førte til to episoder der fisk døde i oppbevaringskaret. En mer permanent løsning vil måtte designes til å fungere uavhengig av vannstandsendringer, og på at fisk selv effektivt svømmer gjennom systemet. Man må sannsynligvis fortsatt ta hensyn til et dokumentasjonsbehov/tellesystem for passerende fisk, men dette kan løses uten at manuell håndtering av fisken er påkrevd.

## 4.3 Evaluering av vandringshastighet og overlevelse av fisk gjennom minstevannføringsløpet.

Både laksen og auren brukte relativt lang tid på å forserer minstevannføringsløpet. Dette kan ha sammenheng med topografien i systemet, der store dype kulper som gir skjul og oppholdssteder på dagtid, kombinert med lav vannføring og passasje av grunne eksponerte strekninger for å forflytte seg, virker begrensende på fiskens vandringsadferd. Majoriteten av fiskene tok seg likevel gjennom systemet på 3-4 dager, trolig gjennom primært å vandre i døgnets mørkere timer. Gjenfangstraten i PIT lesestasjonen var ikke 100 %, og lavere for laks enn aure. Basert på referansemerket, var opptiden til systemet >90 % (figur 17). Fisk kan likevel ha passert systemet uten å bli registrert, da en høy andel fisk bare var registrert 1-2 ganger, noe som indikerer en høy vandringshastighet. PIT lesestasjonen scannet etter PIT merker hvert 4 sekund, og hvis enkeltfisk ble stående innenfor leserekkevidden over lengre tid (noe som forekom på enkelte tidspunkt), vil signal fra andre fisk kunne blokkeres. Dette innebærer at fisk hadde mulighet til å passere udetektert. Estimaten på overlevelse gjennom minstevannføringsløpet er derfor å regne som minimumsestimater.

Den markante forskjellen mellom laks som var merket og satt ut oppstrøms Trælandsfoss (42 %) og laks som ble fanget og merket fra kanalen (70 %) kan tyde på at totalbelastningen av fangst i smoltfelle, transport, merking, gjenutsetting, fangst i kanalfella og ny håndtering før gjenutsetting, kan ha blitt så stor at en overdødelighet på denne gruppen har blitt resultatet.

Dersom man velger en permanent overføringsløsning for fisk som benytter minstevannføringsløpet som vandringsvei, må man trolig akseptere en viss tidsforsinkelse i vandring gjennom systemet, men overlevelsen er trolig langt høyere enn resultatene fra PIT lesestasjonen antyder. En noe høyere vannføring enn i 2011 kan sikres delvis gjennom vannslipp fra sideløp, delvis som vannslipp via laksetrappa.

# 5. Konklusjon og anbefalinger

Ut i fra årets resultater, konkluderer vi med at fisk lar seg fange opp og ledes til en alternativ vandringsrute fra kraftverkskanalen, men at fangsteffektiviteten til de utprøvde metodene ikke ga gode nok resultater til at en bør gå videre med disse. Ut i fra at tiltakene dekte en stor del av arealet i de grunne delene av kanalen (ned til ca 4 m), er det grunn til å anta at fisken aktivt søker å omgå fangstinnretningene. Endelig tiltak bør derfor dekke hele tverrsnittet av kanalen.

Et endelig tiltak må dimensjoneres for å tåle vannvolumer på >50 m<sup>3</sup>/s (kraftverkets slukeevne). Med de gjeldende dimensjoner på kanalen på 6 m bredde og 5 m dybde vil vannfarten ved maksimal kjøring i snitt være 1,6 m/s, og dermed over 2 m/s ved ca 2/3 høyde fra bunnen. NIVA anbefaler at videre arbeid fokuseres mot etablering av en varegrind med lysåpning < 4 cm. Denne vil fungere som

en adferdssperre for laks. Økes lysåpningen i forhold til dette mister grinda sin sperrende effekt (LT). Nedvandrende fisk vil stanse opp foran sperra og sirkle. Hvordan fisken sirkler avhenger av hydrologiske forhold i området. Ved å benytte fiskens adferd kan da plassering av sideløp gjøres. Basert på erfaringer innhentet i Frankrike skal sideløpet plasseres rett på eller vinkelrett på varegrinda (LT; Kroglund mfl 2011). Vannføringen inn mot grinda bør ikke overstige 0,5 m/s. Holdes disse betingelsene skal >80-90 % av smolten finne sideløpet raskt. Plassering av varegrind bør fortrinnsvis være i kanalen, da denne kan tørrlegges for montering og vedlikehold av systemet, men det er også mulig å plassere en varegrind ved kanalinngangen. Størrelsen på varegrinda blir lengst med dette alternativet, men denne løsningen vil gi mer optimale vannhastigheter inn mot grinda. En varegrind fungerer ikke som adferdssperre for ål. Hvis målart settes til ål må man ha en lysåpning med mot 1,5 cm, Vannhastighet inn mot grinda bør være noe lavere enn for smolt. Mer nøyaktige råd er ikke utarbeidet i Frankrike. Kemp og Calles (2010) anbefaler en vinkel på varegrind på 45 grader eller mindre for maksimal effekt for ål.

Minstevannføringsløpet er trolig egnet som vandringsvei, men man må sannsynligvis akseptere en viss tidsforsinkelse i vandringen. Reell overlevelse er trolig betydelig høyere enn resultatene fra PIT lesestasjonen indikerer.

I forhold til dokumentasjon av habitatutvidelse for anadrom fisk oppstrøms Rafoss, kan et fremtidig system for overføring av fisk til minstevannføringsløpet ved Trælandsfoss, med tilhørende registreringer av fisk som vandrer gjennom systemet, ha stor dokumentasjonsverdi. Gitt den estimerte turbindødeligheten i nåværende system vil tiltak som forbedrer overlevelsen ved vandring gjennom systemet ha stor betydning for bestandene av anadrom fisk i Kvina.

## 6. Referanser

- Bremset, G., Forseth, T., Ugedal, O., Gjemlestad, L.J., og Saksgård, L. 2008. Potensial for produksjon av laks i Kvinavassdraget – vurdering av tapsfaktorer og forslag til kompensasjonstiltak. NINA rapport 321, 37 s. ISBN: 978-82-426-1885-6.
- Budy P, Thiede GP, Bouwes N, Petrosky CE, Schaller H (2002) Evidence linking delayed mortality of Snake River salmon to their earlier hydrosystem experience. *N Am J Fish Manage* 22: 35–51.
- Calles, O. and Greenberg, L. (2009) Connectivity is a two way street-the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *River Research and Applications*. 25, 1268-1286.
- Calles, O., Olsson, I.C., Comoglio, C., Kemp, P.S., Blunden, L., Schmitz, M. and Greenberg, L.A. (2010)- Size dependent mortality of migratory silver eels at a hydropower plant
- Durif, C. & Thorstad, E.B, Report on the eel stock and fishery in Norway 2009/2011. C.E.S. C.M. 2010/ACOM: 18: p. 287-301. International Council for the Exploration of the Sea (ICES), Copenhagen.
- Hvidsten, N.A., Johnsen, B.O., Jensen, A.J., Fiske, P., Ugedal, O., Thorstad, E.B., Jensås, J.G., Bakke, Ø. & Forseth, T. (2004). Orkla-et nasjonalt referansevassdrag for studier av bestandsregulerende faktorer hos laks. Samlerapport for perioden 1997-2002. NINA fagrapport 79, 96 s. Rousson, I.J.,
- Johnsen (Red), B.O., Arnekleiv, J.V., Asplin, L., Barlaup, B.T., Næsje, T.F., Rosseland, B.O., & Saltveit, S.J. 2010 Effekter av Vassdragsregulering på villaks.-Kunnskapsserien for laks og vannmiljø 3, 111 s.

- Kemp, P.S. and Calles, O. (2010). Response of downstream migrating adult European eels (*Anguilla anguilla*) to bar racks under experimental conditions. *Ecology of Freshwater Fish*. 19, 197-205.
- Kroglund, F., Haugen, T.O., Guttrup, J., Hawley, K., Johansen, Å., Rosten, C., Kristensen, T., Tormodsgård, L. 2011. Effects of power plant turbines on Atlantic salmon smolt survival and behaviour: Effects of mitigation. NIVA report, serial no. 6139, ISBN 978-82-577-5874-5. In Norwegian, Abstract in English., 35 pp.
- Miracle A, Denslow ND, Kroll KJ, Liu MC, Wang KKW (2009) Spillway-Induced Salmon Head Injury Triggers the Generation of Brain aII-Spectrin Breakdown Product Biomarkers Similar to Mammalian Traumatic Brain Injury. *PLoS ONE* 4(2): e4491. doi:10.1371/journal.pone.0004491
- Neitzel D, Dauble D, Cada G, Richmond M, Guensch R, et al. (2004) Survival estimates for juvenile fish subjected to a laboratory-generated shear environment. *Trans Amer Fish Soc* 133: 447–454.
- Skåre, P.E., Hvidsten, N.A., Forseth, T., & Fjeldstad H.-P. 2006. Smoltutvandring forbi Skotfoss kraftverk i Skiensvassdraget ved bygging av nytt flomkraftverk. NINA Rapport 193: 19s.
- Thorstad, E.B., Larsen, B.M., Hesthagen, T., Næsje, T.F., Poole, R, Aarestrup, K., Pedersen, M.I., Hanssen, F., Østborg, G., Økland, F., Aasestad, I. og Sandlund, O.T., Ål og konsekvenser av vannkraftutbygging – En kunnskapsoppsummering. NVE rapport Miljøbasert Vannføring. 1. 2010. ISBN 978-82-410-0708-8. 118s.
- Welch DW, Rechisky EL, Melnychuk MC, Porter AD, Walters CJ, et al. (2008) Survival of migrating salmon smolts in large rivers with and without dams. *PLoS Biol* 6(10): e265. doi:10.1371/journal.pbio.0060265

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)