

Effekter av å passere en  
kraftverksturbin på  
smoltverlevelse og atferd.  
Betydningen av tiltak



**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

Tittel Effekter av å passere en kraftverksturbin på smoltoverlevelse og atferd. Betydningen av tiltak	Løpenr. (for bestilling) 6139-2011	Dato Mars 2011
	Prosjektnr. Undernr. O-29446	Sider Pris 35
Forfatter(e) Frode Kroglund, Thrond Haugen, Jim Güttrup, Kate Hawley, Åsmund Johansen, Carolyn Rosten, Torstein Kristensen, Lars Tormodsgard	Fagområde Kraftverk	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsreferanse 05040029-6
---	---------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>I 2009 døde 11,5 % av smolten som passerte Fosstveit kraftverk via kraftverksturbinen. Forsøkene i 2010 demonstrerte at denne dødeligheten kan reduseres hvis turbinen driftes mer optimalt. Foruten den direkte dødeligheten knyttet til turbinen, påvirket kraftverket tiden smolten brukte på vandringen forbi kraftverket og fra kraftverket til elvemunningen samt at overlevelse på den samme strekningen var redusert. Kraftverket hadde dermed samlet sett en større negativ effekt enn den direkte dødeligheten knyttet til passering av turbinen. Tiltak gjennomført i 2010 viste at det vil være mulig å få smolten til å vandre raskt forbi kraftverket. En slik løsning kan resultere i at både direkte og indirekte effekter forsvinner. Løsningene foreslått for Fosstveit kraftverk vil være kostnadseffektive og kan gjennomføres i andre tilsvarende kraftverk. Resultatene bør imidlertid valideres gjennom nye forsøk ved Fosstveit og/eller ved tilsvarende anlegg.</p>
---

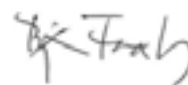
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kraftverk</li> <li>2. Smoltoverlevelse</li> <li>3. Tiltak</li> <li>4. Laks</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Power plant</li> <li>2. Smolt survival</li> <li>3. Mitigation</li> <li>4. Atlantic salmon</li> </ol>
--	---



Frode Kroglund  
Prosjektleder



Øyvind Kaste  
Forskningsleder



Bjørn Faafeng  
Seniorrådgiver

# **Effekter av å passere en kraftverksturbin på smoltoverlevelse og atferd. Betydningen av tiltak**

Forsøk utført ved Fosstveit kraftverk i  
Storelva i Holt, Aust-Agder

## Forord

Laks utsettes for en rekke trusler som alle kan bidra til å redusere oppnåelsen av gytebestandsmålet. I Storelva i Holt vil kraftverk, predasjon fra gjedde og aluminium i brakkvann bidra til redusert laksefangst. Siden 2005 har Direktoratet for naturforvaltning (DN) støttet forskning som belyser betydningen som de ulike truslene har på smoltutvandring. Fra prosjektets start til nå er innholdet i de årlige undersøkelsene endret. Mens fokus de første årene var på å beskrive de kjemiske forandringene knyttet til aluminium i brakkvann, har fokus de siste par årene vært på å gi en samlet vurdering av trusselbilde i Storelva. I denne rapporten vurderes betydningen av Fosstveit kraftverk. Ulike tiltak ble utprøvd.

Vår kontaktperson i DN har vært Roar A. Lund mens Dag Matzow har vært kontaktpersonen hos Fylkesmannen i Aust-Agder. Vi takker for samarbeidet og den støtte vi har fått.

Grimstad, mars 2011

*Frode Kroglund*

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
<b>2. Smolthjul og PIT-stasjoner</b>	<b>9</b>
2.1 Utvandringsruter for smolt	9
2.2 Lys som tiltak	12
2.3 Smoltfangst og PIT-merking av smolt oppstrøms kraftverket	13
2.4 PIT-stasjoner og smoltfeller ved kraftverket	14
2.4.1 PIT-stasjon – minstevannføringsstrekningen/gamle elveleiet	14
2.4.2 Smoltfelle på tunnelutløpet	14
2.5 PIT-stasjoner og smoltfeller nedstrøms kraftverket	15
2.5.1 Detektering ved Fosstveit: PIT-stasjon	15
2.5.2 Detektering ved Butjønna: smoltfelle	16
2.5.3 Lundevatn; PIT-stasjon-1870	16
2.5.4 Smoltfelle i Strømmen (utløpet fra Storelva)	17
<b>3. Resultater</b>	<b>18</b>
3.1 Vannføring og temperatur	18
3.2 Produksjon av laksesmolt oppstrøms Fosstveit kraftverk	18
3.3 Merking av smolt oppstrøms kraftverket	19
3.4 Fangst i smolthjulet nedstrøms kraftverket	20
3.5 Dødelighet	20
3.6 Utvandring til minstevannføringsløpet	21
3.7 Tid til passering av kraftverket	24
3.8 Effekter på vandring etter kraftverket	25
3.9 Overlevelse nedstrøms kraftverket	26
<b>4. Oppsummerende diskusjon</b>	<b>27</b>
<b>5. Litteraturliste</b>	<b>29</b>
<b>Vedlegg A.</b>	<b>30</b>

## Sammen drag

Når en smolt eller en vinterstøing skal vandre ned forbi en kraftverksdemning må fisken gjøre et veivalg: Den kan enten vandre utenom eller via kraftverksturbinene. Basert på data fra 2009 døde ca. 12 % av fisken som vandret gjennom turbinen ved Fosstveit kraftverk. Dødeligheten økte med lengden på fisken.

Kraftverket ved Fosstveit har en fallhøyde på 15 m, en rørgatelengde på 60 m og rørdiameter på 2300 mm. Kraftverket har en Kaplan turbin med en installert effekt på 1.5 MW og en årlig middelproduksjon på 7.0 GWh. Slukeevnen er på 16 m<sup>3</sup>/sek.

I 2010 ble utvandring forbi kraftverket studert i mer detalj. Smolt fanget ovenfor kraftverket ble PIT-merket (passive integrated transponder) og sluppet. Tid fra utsetting til utvandring, utvandrigsvalg, vandringshastighet nedenfor kraftverket samt overlevelse fra kraftverket til elvemunningen ble undersøkt. Smolten vandret i en periode der temperaturen var økende fra 8 °C målt 28. april til 17 °C målt 26. mai. Vannføringen var stabil omkring 3 m<sup>3</sup>/sek.

Smolt som vandret utenom kraftverket kunne velge fire alternative ruter. Kun utvandrigsalternativet nærmest inntaksrista til kraftverket viste seg å være attraktiv for smolt. Denne utvandrigsruten ble gjort tilgjengelig for smolt fra 20. mai 2010. Smolt som vandret ut via kraftverket var potensielt påvirket av turbinen, mens smolt som valgte en alternativ rute var upåvirket av turbinen og fungerer her som kontrollsmolt.

Smolt som ble satt ut ovenfor kraftverket delte seg i to grupper; de som passerte kraftverket og de som ble værende ovenfor kraftverksdammen. Av gruppen som vandret før 19. mai utvandret nær 70 % via kraftverksturbinen. Ca. 30 % av smolten som ble satt ut ovenfor kraftverket før 19. mai utvandret ikke. Dette medførte at et økende antall smolt ble stående ovenfor demningen. Når alternativ utvandrigsrute "badeland" ble åpnet 20. mai utvandret hele denne gruppen raskt. Denne smolten hadde da oppholdt seg ovenfor demningen i fra dager til uker avhengig av utsettingstidspunkt.

Det ble satt ut nye grupper av smolt ovenfor kraftverket 19. mai og 21. mai. Nær 100 % av disse vandret ut utenom kraftverksturbinen 1 til 2 døgn etter utsetting. Kraftverket påvirket andelen av smolten som vandret ut og forsinket utvandringen med 1 til 3 uker. Etablering av alternativ utvandrigsrute medførte at smolten utvandret raskt og utenom turbinen. Det var ikke likegyldig hvor den alternative utløpet var plassert. Det konkluderes med at kraftverket/demningen hemmet utvandring. Tiltaket motvirket denne tidsforsinkelsen og resulterte i at smolten utvandret raskt.

Årets undersøkelse viser at turbinen ved Fosstveit kraftverk drepte 2-4 % av smolten når kraftverket driftes optimalt, mot 8-12 % når driften er mindre optimal. Graden av optimal drift bestemmes av vinkelen på turbinbladene, som igjen regulerer fiskens mulighet til å unnsnippe uten fysiske skader. I tillegg er det viktig at alternativ (og attraktiv) rute utenom kraftverket er tilgjengelig for fisken, slik som tilfellet var etter 20 mai. 2010. Prosentvis dødelighet vil sannsynligvis være spesifikk for hver enkelt regulering, og kan knyttes til bl.a. turbintype, fallhøyde og vannvolum. Justering av vinklene på turbinbladene for å tilgodese fisken vil ofte innebære en kostnad i form av redusert kraftproduksjon. Tiltak for å få smolten til å utvandre utenom kraftverket vurderes dermed som mer hensiktsmessige.

Smolt som utvandret gjennom kraftverksturbinen hadde redusert vandringshastighet og økt dødelighet nedstrøms kraftverket. Kraftverket har således noen direkte og noen indirekte effekter på fisken. Forsinka utvandring samt død forårsaket av turbinpasseringen defineres her som direkte effekter. Redusert vandringshastighet og forsinket dødelighet nedstrøms kraftverket kan defineres som indirekte effekter.

Forsinket passering av kraftverket og redusert vandringshastighet vil resultere i at smolten når havet forsinket. Dette gir økt fare for desmoltifisering i elva med påfølgende redusert toleranse for saltvann.

---

Redusert toleranse for saltvann kan ha en direkte negativ effekt på overlevelse av smolt fram til voksen laks. Økt dødelighet på smoltstadiet vil ha en proporsjonal innvirkning på oppnåelsen av gytebestandsmålet for elva. Det er da likegyldig om smolten dør under passering av kraftverket eller i perioden etterpå.

Hovedmengden smolt vandret via inntaket til turbinen når attraktive alternativer ikke forelå. Attraktivt alternativ oppfattes her som en utvandningsrute smolten faktisk benytter. Plassering av den alternative ruten var avgjørende for effektivitet. Ved Fosstveit var det rette stedet i umiddelbar nærhet til gitteret ved inntaket til turbinen. Andre utvandningsruter ble i liten grad benyttet.

Tiltak iverksatt ved kraftverket sommeren 2010 bør etterprøves. Målet er da å få > 90 % av smolten til å vandre forbi uten tidsforsinkelse og utenom turbinene.

## Summary

Title: Effects of power plant turbines on atlantic salmon smolt survival and behavior. Effects of mitigation.

Year: 2011

Author: Frode Kroglund, Thrond Haugen, Jim Güttrup, Kate Hawley, Åsmund Johansen, Carolyn Rosten, Torstein Kristensen, Lars Tormodsgard

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5874-5

During the downstream migration, smolt of Atlantic salmon and seatrout will encounter a power plant. The dam intercepts migration. In 2009 the majority of the smolt migrated passed the turbine (Kaplan) resulting in a 11.5 % mortality. In 2010 we aimed to reduce the impact of the power plant on smolt survival by reducing the number of smolts migrating through the turbine.

Reduced migration through the turbine was achieved by opening a gate in the dam to create a bypass placed perpendicular to the trashrake. While nearly all smolt migrated through the turbine prior to this bypass being opened, hardly any smolt migrated through the turbine after the bypass was available.

Prior to the bypass being opened, close to 30 % of the smolt would not migrate and aggregated into shoals upstream. The majority of these left the river within 2 days after the bypass was available.

Smolt that survived passing the turbine had delayed migration rate and reduced survival downstream. The overall picture is that the power plant had both direct and indirect effects on smolt survival, where reduced survival is sufficient to reduce population size to a level below the stock recruitment requirement.

By opening of a trashrake we demonstrated that it is possible to reduce the effects of a power plant to levels what will have only minor effects on the salmon population. The effects of mitigations performed during spring 2010, however, need further validation.



# 1. Innledning

Når en smolt eller en vinterstøing kommer til en kraftverksdemning må fisken gjøre et veivalg. Den kan enten vandre via en trygg rute utenom kraftverksturbinene eller via en kraftverksturbin. Basert på data fra 2009 vil ca. 12 % av fisken som nedvandrer gjennom turbinen ved Fosstveit kraftverk dø, og dødeligheten var større blant stor enn blant små fisk (Kroglund m.fl., 2011a).

Fosstveit kraftverk ble igangsatt høsten 2008. Samme høst ble det registrert mye død ål. Våren 2009 ble det observert mye død smolt av laks og ørret, vinterstøinger samt noe ål nedstrøms kraftverket. Det var uvisst om all eller kun en andel av fisken passerte via kraftverket.

Kraftverket har en fallhøyde på 15 m, en rørgatelengde på 60 m og en rørdiameter på 2300 mm. Kraftverket har 1 turbin (Kaplan) som har en installert effekt på 1.5 MW og en årlig middelproduksjon på 7.0 GWh. Slukeevnen er på 16 m<sup>3</sup>/sek. Fra kraftverket går vannet tilbake til Storelva like nedstrøms lakstrappa og fossen Fosstveit.

Målet med årets prosjekt var å fastslå med større sikkerhet hvordan smolten vandrer når den ankommer kraftverket. Det oppfattes som uønskelig at den vandrer via turbinen, og utvandring via minstevannføringsløpet er ønskelig. Det forventes at veivalget kun er knyttet til de nedvandringstilbud som foreligger og hvor attraktive smolten finner de ulike veiene. Foruten å dokumentere veivalget var målet med undersøkelsene i 2010 å øke andelen smolt som gikk en trygg rute (minstevannføringsløpet) for dermed unngå turbinskadene som ble påvist i 2009. Ulike tiltak ble utprøvd.

For å øke andelen smolt som valgte minstevannføringsløpet ble det manipulert med hvor vann ble overført til minstevannføringsstrekningen (gamle elveleiet) og dermed hvor det var en vandringsmulighet forbi kraftverket. For å dokumentere veivalg ble smolt PIT-merket oppstrøms kraftverket. Disse kunne enten gjenregistreres i PIT-antennen i minstevannføringsløpet eller i en smoltfelle plassert på utløpet fra turbinløpet. Smolten som ble gjenfanget i smoltfella nedstrøms turbinen var enten død, synlig skadet eller tilsynelatende uskadd. Overlevende smolt påvirket av en turbin kan bl.a. ha redusert vandringshastighet og redusert overlevelse over tid. Disse responsene er da forsinket i forhold til når skaden inntraff. Dette ble dokumentert gjennom fangst i smolthjul og/eller deteksjon av PIT-antennesystemer utplassert fra kraftverket til elvemunningen.

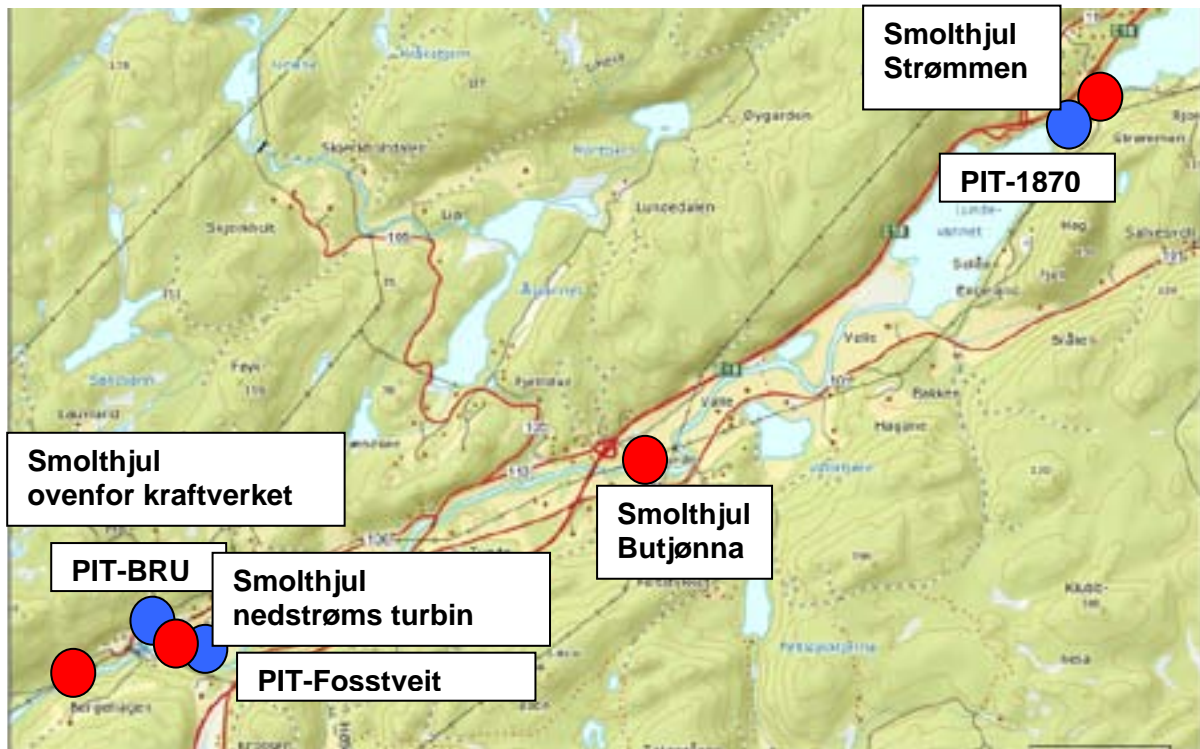
Resultater fra dette delprosjektet inngår i flere andre prosjekter (se referanselisten). Her rapporteres kun problemstillingene knyttet til selve kraftverket. Disse er som følger:

- Dokumentere effekter av kraftverket på smoltvandring og overlevelse:
  - Dødelighet grunnet passering av turbin.
  - Forsinket effekt av turbinpassering målt som endringer i:
    - Vandringshastighet
    - Overlevelse
- Utprøving av tiltak for å øke utvandring av smolt som utenom turbin

## 2. Smolthjul og PIT-stasjoner

### 2.1 Utvandningsruter for smolt

For å fastslå hvilken andel av smolten som nedvandrer via turbinen og hva som påvirket vandringsvalget ble det fanget og merket smolt oppstrøms kraftverket. Fisken ble individmerket med bruk av PIT-merker. Etter merking og en restitueringsperiode ble smolten satt ut oppstrøms kraftverket (**Figur 2**). Det ble senere gjort gjenfangster av disse enten i minstevannføringsløpet eller i fangstinnretninger nedstrøms utløpet fra turbinen nedstrøms kraftverket. Fangstinnretninger omkring kraftverket er illustrert i **Figur 2**.



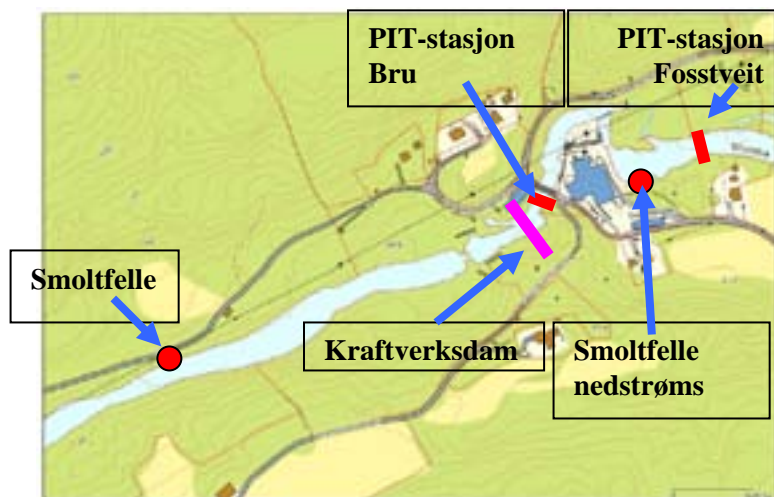
**Figur 1.** Lokalteter omtalt i rapporten. Smolt ble fanget, merket og sluppet ovenfor kraftverket. Disse kunne enten utvandre via kraftverket (via rørgate og turbin), eller til minstevannføringsløpet (det gamle elveleiet). Gjenfangster ble registrert i PIT-antennene plassert i minstevannføringsløpet (PIT-BRU), i samløpet mellom vann fra turbinløpet og minstevannføringsløpet (PIT-Fosstveit) og på utløpet av elva (PIT-1870). Foruten PIT-antennene ble smolt under vandring fanget ved bruk av smolthjul plassert ved utløpet fra tunneløpet (nedstrøms kraftverk), ved Butjønna eller på utløpet av elva (Strømmen). Smolthjul er vist med røde prikker, PIT-antennene med blå prikker.

For å øke andel smolt som vandret utenom kraftverksturbinen ble det manipulert med hvor vann ble tappet forbi kraftverket samt med LED-lys (**Figur 3**, **Figur 6**). Effekt av LED-lys omtales ikke ytterligere her da dette er rapportert av Tormodsgard (2010). Beskrivelse av manipuleringene samt datoer hvor lys var tent/slukket er omtalt i rapporten da dette kan ha påvirket vandring.

De ulike manipuleringene med hvor vann ble tappet forbi kraftverket påvirket hvilken del av kraftverksdammen som var åpen for vandring. PIT-merket smolt som utvandret til minstevannføringsløpet ble registrert på en PIT-stasjon plassert her (**Figur 2**, **Figur 3**). Umerket smolt som vandret her vil ikke bli påvist.

Både PIT-merket og umerket smolt som vandret via kraftverksturbinen ble fanget opp i en smoltfelle plassert på utløpet fra kraftverksturbinen.

PIT-merket smolt fra begge gruppene ble bli registrert på PIT-stasjon Fosstveit. Denne var plassert etter samløpet mellom vann fra kraftverket og vann fra minstevannføringsløpet.



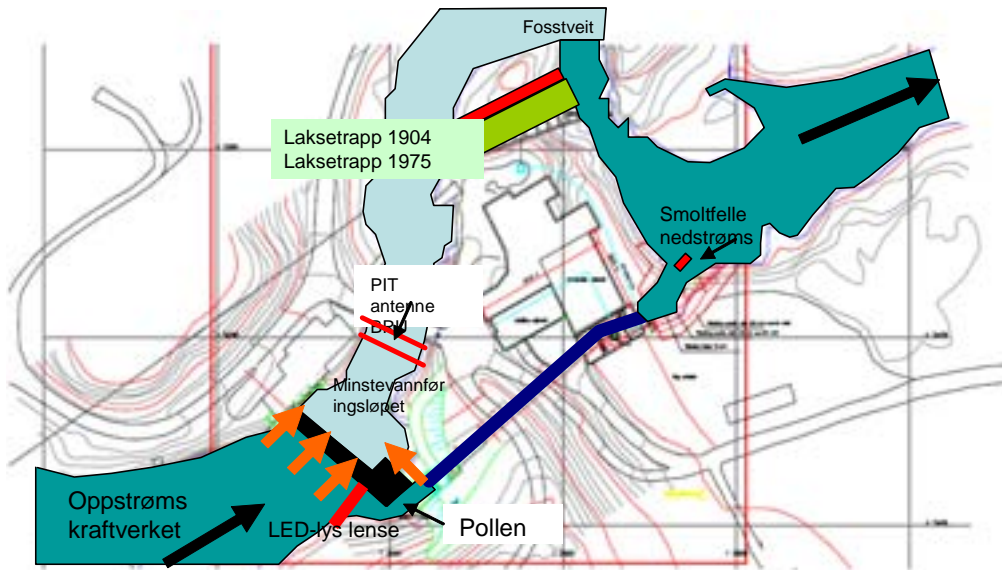
**Figur 2.** Plassering av smoltfeller ovenfor og nedenfor kraftverket samt PIT-stasjon BRU i minstevannføringsløpet og PIT-stasjon Fosstveit nedstrøms samløpet mellom minstevannføringsløpet og kraftverket.

Nedvandringsrutene over kraftverksdammen er vist i **Figur 3**. Mulighetene er vist med mer detaljer i **Figur 5**. Det gikk vann gjennom kraftverket hele perioden. De ulike alternativene som ble forsøkt var:

- Laksetrappa (åpen i 5 døgn)
- Damkrona (åpen i 9 døgn)
- Rensekanal (åpen i 5 døgn)
- Badeland (åpen i 12 døgn)

Laksetrappa ble bygd samtidig med kraftverksdammen (til høyre i **Figur 4**). Smoltløpet i damkrona er et overløp påtenkt som utvandringsvei for smolt. Denne ble modifisert i løpet av perioden for å konsentrere vannstrømmen. Modifiseringene medførte at bredden ble avgrenset samtidig som vann dybden ble økt. Rensekanalen er en sluse laget for å fjerne driv som vil samle seg i en lense spent tvers over løpet før inntaket til kraftverket. "Badeland" er en luke plassert rett ved grovrasta til kraftverksinnløpet. Denne kan brukes til å spyle bort driv som setter seg på selve rista. For at smolt skulle kunne komme seg fra luka og frem til minstevannføringsløpet ble det bygd en glassfibersklike som et provisorisk tiltak (**Figur 5**). Luka med glassfibersklike utgjør badeland ("by-pass").

Hvilke dager som de ulike vandringsmulighetene var åpen eller tilgjengelig for smolt er angitt i **Tabell 1**. Fra 20. mai var utvandring over badeland eneste alternativ. Vi har ikke målt hvor mye vann som ble tappet til minstevannføringsløpet de enkelte døgnene. Dette er av regulant oppgitt til å være ca. 350 l sek<sup>-1</sup>.



**Figur 3.** Illustrasjon av vannløpene ved Fossstveit kraftverk. Damkrona er markert sort. De fire oransje pilene markerer henholdsvis laksetrapp, smoltoverløpet, renseløpet og badeland. Badeland er da nærmest rørgata til turbinen og inni selve pollen. Denne rørgata er vist med mørk blå farge. PIT-merka fisk som nedvandrer til minstevannføringsløpet kan gjenfanges i PIT-BRU og må nedvandre enten via laksetrappa eller via fossen Fossstveit før de igjen er i Storelva. Dette var nedvandningsruta før kraftverket ble reetablert i 2008. Plasseringen av LED-lyset er vist med rød strek.



**Figur 4.** Bilde som angir de fire ulike nedvandningsrutene for smolt som ikke nedvandrer gjennom kraftverket. Fisk som bruker en av disse løpene vil havne i minstevannføringsløpet.

**Tabell 1.** Daglige endringer i hvor vann ble tilført minstevannføringsløpet/overløp i mai 2010. Felter markert med farge er åpne vandringsveier. Datoer som LED-belysningen var på (gul farge i tabellen) eller avslått (grå farge) i forhold til hvilke utvandringmuligheter smolten hadde i mai 2010.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Kraftverket	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Laksetrappa åpen	■	■	■																													
Damkrone åpen				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Rensekanal åpen																																
Badeland																																
Lys av/på	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

- Overløp på dam, bredde 43 cm dybde 20 cm
- Overløp på dam, bredde 43 cm dybde 30 cm
- Feil ved nivåmåler kraftstasjon, medførte mye overvann på hele dammen



**Figur 5.** Venstre bilde viser vannløp over damkrona. Selve hovedstrømmen gikk i forsøksperioden gjennom en utsparring i damkrona vi fikk laget. Denne hadde en åpning på 43 cm bredde og 20 eller 30 cm vanddybde (høyre bilde). I nederste bilde er den provisoriske vannsklia (badeland) ned fra kraftinnløpet montert.

## 2.2 Lys som tiltak

I samarbeid med Otera, ble det produsert en lysinnretning hvor tanken var at denne skulle ha en skremmende effekt på utvandrende smolt. Dette skulle hindre smolten fra å innvandre til området foran kraftverksinntaket. Hvis fisken ikke kom inn i kraftverksinntaket kunne den utvandre gjennom laksetrappa, damkrone eller rensekanal. Lysanretningen ble utformet som en flytende linse med innfelte LED-lys som ble liggende på undersiden av lensa og under vannspeilet. Det lå et strategisk valg om å utforme lysanlegget slik at det eventuelt hadde overføringsverdi til andre elver med samme eller liknende utfordringer. I teorien kan et lysanlegg innmontert i en linse enkelt tilpasses den enkelte elv, hvor lensens lengde vil være den varierende parameter.

Det ble montert en pulsgiver slik at LED-lyset blinket/flashet. Lyslensa ble montert fra dam og på skrå oppstrøms inn til land, slik at man fikk en sammenhengende lyssetting tvers over kanalen inn til inntaket til kraftstasjonen. Det ble gjort gjentakende forsøk i henhold til **Tabell 1** med henholdsvis lysanlegg i drift og avslått.



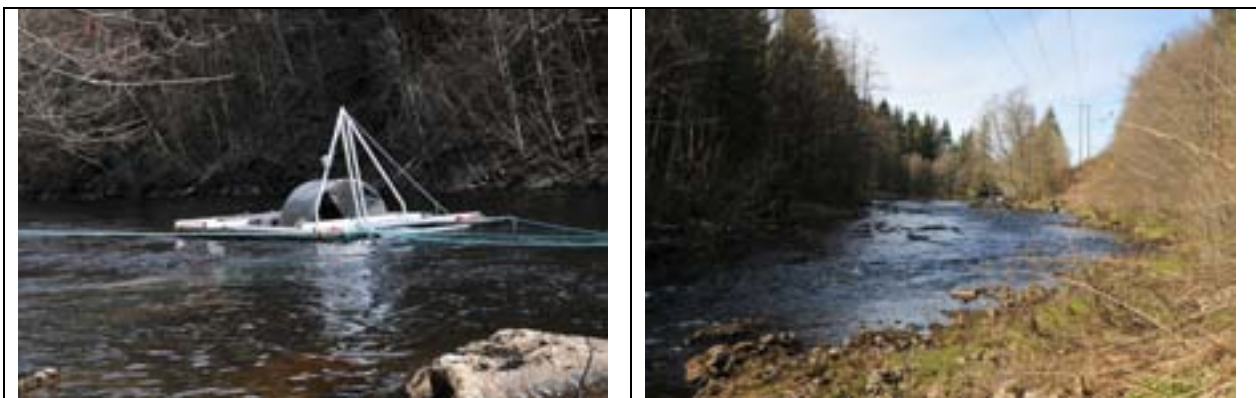
**Figur 6.** Plassering av LED-lyssperre benyttet ved Fosstveit kraftverk i 2010. Bildene til høyre viser selve LED-armaturen og innmontering i rør. Foto: Lars Tormodsgard.

### 2.3 Smoltfangst og PIT-merking av smolt oppstrøms kraftverket

Smolt benyttet til å angi vandringsruter ved kraftverket ble fanget i et smolthjul plassert oppstrøms kraftverket. Smoltfangst ble startet 27. april og avsluttet 26. mai. For å øke fangsteffektivitet ble det spent et ledegarn fra smolthjulet til elvebredden. Ledegarnet var på plass fra første dag. Detaljer vedrørende selve fella og drift står i Kroglund mfl. 2011b. Smoltfella samt merkestasjonen er vist med bilder i **Figur 7**. Bildene viser fella samt elveløpet oppstrøms fella. Etter merking og restituering ble smolten satt ut like nedstrøms fella. Herfra måtte fisken vandre ca. 370 m før den nådde fram til kraftverksdemningen. Smoltfella hadde en estimert fangsteffektivitet på 48 % (Kroglund mfl., 2011b).

Datasettet består av umerket samt PIT-merket smolt som nedvandret gjennom kraftverket eller via minstevannføringsløpet. På grunn av hyppige endringer i hvor smolten kunne vandre (alternative ruter forbi kraftverket) er utvandringsdato viktig. Materialet er skilt med hensyn til laks og ørret, samt antall levende i forhold til døde fisk.

For å sikre at det nedvandret ”kontrollsmolt” (smolt som ikke hadde erfart en turbin) forbi kraftverket ble det satt ut PIT-merket smolt nedenfor kraftverket. Denne fisken var fanget ovenfor kraftverket og kjørt med bil fra merkestasjonen til utsetningspunktet (**Figur 9**). Prosedyren for PIT-merking er beskrevet i Kroglund m.fl. 2011b.



**Figur 7.** Venstre bilde: Smoltfella oppstrøms kraftverket. Denne hadde en stor fangstrål samt ledegarn mot land. Høyre bilde: Vassdraget oppstrøms fella.

## 2.4 PIT-stasjoner og smoltfeller ved kraftverket

### 2.4.1 PIT-stasjon – minstevannføringsstrekningen/gamle elveleiet

Stasjonen startet 21. april og avsluttet 1. juni (**Figur 8**). PIT-merket smolt som gikk en av de alternative rutene forbi kraftverket måtte passere denne PIT-stasjonen (PIT-BRU) i minstevannføringsløpet. For de ulike nedvandingsrutene til PIT-stasjonen var det en avstand på 20 til 40 m, avhengig av hvor det måles fra. Andelen PIT-merket smolt som registreres her i forhold til andelen som registreres i smoltfella ved turbinløpet angir hvilken andel av smolten som benyttet minstevannføringsløpet i forhold til turbinløpet. For å teste antennene i minstevannføringsløpet ble til sammen 48 smolt sluppet ut 10 m oppstrøms antennen daglig i perioden 5. til 9. mai. Disse ble alle detektert og inngår i gruppe K1.

Smolt som utvandret her er ”kontrollfisk” i forhold til de som utvandret via kraftverksturbinen.



**Figur 8.** Bilder av PIT-BRU. Det er 10 til 30 m fra demningen til stasjonen, avhengig av hvor det måles.

### 2.4.2 Smoltfelle på tunnelutløpet

Smoltfella ble satt ut 22. april 2010 og ble utstyrt med ledegarn til land 26. april (**Figur 9**). Denne var plassert på samme sted som ble benyttet i 2009. Det var en glipe på ca. halv meter mot land på hver side av ledegarnet. Smolt som utvandret her hadde passert kraftverksturbinen. Smolt som var PIT-merka oppstrøms kraftverket og som nedvandret via tunneløpet benevnes T1. Smolt PIT-merka først etter fangst i dette smolthjulet benevnes T2. Som ”kontroll” benyttes smolt som utvandret via minstevannføringsløpet (K1) eller som var fanget og merket oppstrøms kraftverket for å bli transportert til og satt ut nedstrøms turbinløpet (K2).

I denne smoltfella kunne det fanges både død og levende smolt. Ca. 12 % av smolten fanget her i 2009 var død som følge av turbinen. Eksponering for en turbin kan også resultere i senskader som medfører økt dødelighet over tid og/eller redusert vandringshastighet. Slike forsinka ”skader” måles i prosjektet som antall smolt som overlevde fra kraftverket til neste smoltfelle ved Butjønna eller til PIT-stasjon 1870 samt smolthjulet, begge plassert i elvemunningen. Materialet på turbinpåvirket smolt består av to hovedgrupper hvor den ene er delt i to.

- Smolt som døde i kraftverket
- Smolt som levde etter kraftverket
  - Smolt PIT-merka oppstrøms kraftverket (gruppe T1)
  - Smolt merka først etter passering av turbin (gruppe T2)

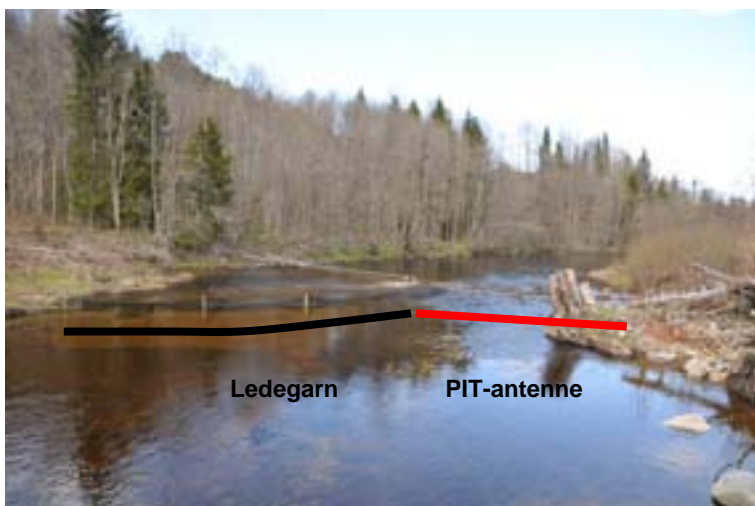


**Figur 9.** Bilde av smoltfelle på tunnelutløpet nedstrøms kraftverket. I bildet anes fossen som dannet det opprinnelige vandringshindret for laks i elva. Utsettingspunkt for PIT-merket kontrollsmolt er antydnet med rød sirkel.

## 2.5 PIT-stasjoner og smoltfeller nedstrøms kraftverket

### 2.5.1 Detektering ved Fosstveit: PIT-stasjon

Stasjonen startet 21. april. Stasjonen ble driftet frem til oktober 2010 (**Figur 10**). Antennen dekket kun ½ elvebredden frem til 5. mai. Det ble da montert et ledegarn fra østre elvebredd og fram til antennen (**Figur 10**). Utvandrende smolt måtte fra da av benytte vestre halvdel av elva. Inntil dette ledegarnet var plassert kunne smolt utvandre utenom PIT-antennen. Passeringer frem til 5. mai kan derfor være underestimert. Deteksjonseffektivitet er estimert til 45 % (Kroglund mfl. 2011b).



**Figur 10.** Illustrasjon av PIT-Fosstveit. I bildet er strekning dekket av PIT-antennen og ledegarnet markert med tekst og illustrert med strek (sort = ledegarn, rød = PIT-antenne).



### 2.5.2 Detektering ved Butjønna: smoltfelle

Stasjonen startet 1. mai og ble avsluttet 27. mai. Det var montert ledegarn mellom smolthjulet og land fra første dag (**Figur 11**). Denne stasjonen fanget også umerka smolt som enten ikke ble fanget ved kraftverket eller som var produsert nedstrøms kraftverket. Beregninger på om det var forskjeller i overlevelse og vandringshastigheten til smolt som passerte/ikke passerte turbinen ved Fosstveit kunne fortas basert på registreringene fra Butjønna. Stasjonen markerte starten på det området av elva som har betydelig forekomst av gjedde. Gjerdde finnes også i en lavere tetthet ovenfor stasjonen. Det er ikke estimert tettheten av gjedde oppstrøms denne stasjonen, men dette området betraktes ikke som et godt gjeddehabitat.

Fra Fosstveit til Butjønna er det en avstand på 4 km. Selv om det er noe gjedde innenfor dette området vurderes denne elvestrekningen som et område som vil ha lavt tap grunnet predatorer. Her beregnes det nedvandringstid for det enkelte individ samt sannsynlighet for overlevelse på populasjonsnivå.

Smoltfella hadde en fangseffektivitet på 32 %.



**Figur 11.** Illustrasjon av smolthjulet ved Butjønna. Smolthjulet var påmontert ledegarn. PIT-antennen var plassert i inngangen til smolthjulet.

### 2.5.3 Lundevatn; PIT-stasjon-1870

PIT-antennen ble montert i utløpet av Lundevatn 22. april (**Figur 12**). På grunn av mye vann i elva kunne ikke antennen innstilles korrekt. Nytt forsøk ble gjort 8. mai. Det var fortsatt innstillingsproblemer. Disse ble løst 13. mai. Fra denne datoen fungerte antennen tilfredsstillende. Denne stasjonen skal fange opp all nedvandrende merket og umerket smolt fra områdene oppstrøms. Dette gjelder smolt merket oppstrøms kraftverket, nedstrøms kraftverket og ved Butjønna. Forskjell mellom antallet (prosentandel av merket) registrert ved Butjønna og ved utløpet av Lundevatn vil antyde noe om dødelighet gjennom Lundevatn. En eventuell overdødelighet i Lundevatn kan skyldes gjedde, men andre årsaker for eksempel laksand, predatorfisk med mer bøt ikke utelukkes. Deteksjonseffektivitet ble estimert til 78,7 % (Kroglund mfl. 2011b).



**Figur 12.** Illustrasjon av PIT-1870 på utløpet av Lundevatn.

#### **2.5.4 Smoltfelle i Strømmen (utløpet fra Storelva)**

Smoltfella ble igangsatt 1. mai og avsluttet 31. mai. Smoltvandring er her registrert årlig siden 2005 (**Figur 13**). Fangstene i 2010 var betydelig redusert ettersom et større antall smolt ble fanget og transportert til fjorden fra de tre fellene oppstrøms Strømmen. På denne stasjonen ble det fanget umerka smolt, samt smolt merka på alle fellene oppstrøms. Umerka smolt kan enten være fra området nedstrøms Butjønna, men kan også stamme fra smolt som har unngått en eller flere av fellene oppstrøms. Smoltfella hadde en fangseffektivitet på 20,6 %.

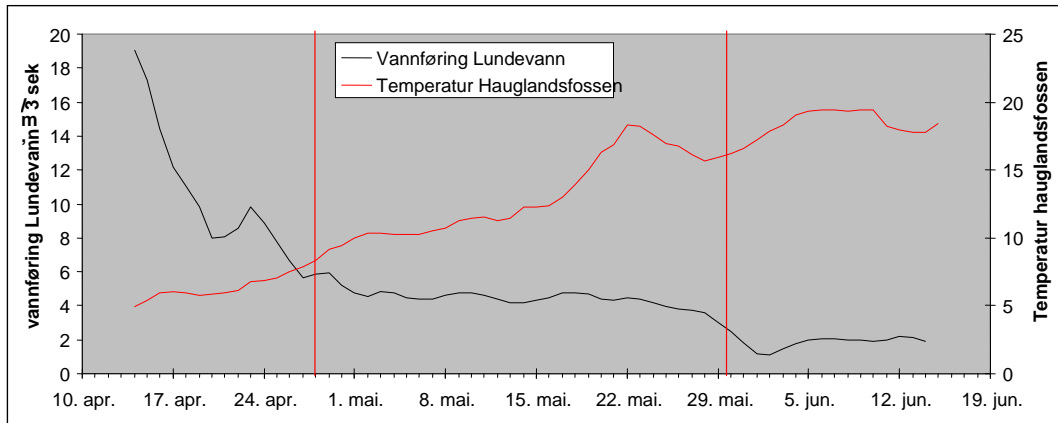


**Figur 13.** Illustrasjon av smolthjulet ved elveutløpet i Strømmen. Smolthjulet var ikke påmontert ledegarn.

## 3. Resultater

### 3.1 Vannføring og temperatur

Vannføringen ved Lundeavatn var 17 m<sup>3</sup>/sek 15. april og avtok til ca. 6 m<sup>3</sup>/sek 28. april (**Figur 14**). Fra slutten av april. og ut mai var vannføringen ca. 4 m<sup>3</sup>/sek. Ved kraftverket vil vannføringen ha vært noe lavere, eller ca. 3 m<sup>3</sup>/sek. Det var med andre ord en stabil vannføring den perioden smolten utvandret. Over samme periode økte temperaturen fra 8°C målt 28. april til 17°C målt 26. mai (**Figur 14**). Smolten utvandret i en periode temperaturen var økende, vannføringen var stabil.



**Figur 14.** Daglig variasjon i vannføring (Lundeavatn id: 18.4.0) og i temperatur (Hauglandsfossen) i perioden 15. april til 15. juni 2010. De vertikale stripene avgrensner den delen av perioden vi har data fra på smolt.

### 3.2 Produksjon av laksesmolt oppstrøms Fosstveit kraftverk

Smolthjulet oppstrøms kraftverket hadde en fangsteffektivitet på 47,8 %. Det ble fanget 4612 smolt gjennom hele fangstperioden. Vi estimerer ut fra dette en utvandring på 9649 smolt (**Tabell 2**). Av disse ble til sammen 3780 merket for å enten bli tilbakeført til elva som PIT-merka smolt (n=1148), transportert til og satt ut i fjorden (n=2442) eller døde (n=190). Resterende smolt (n=5869) kunne vandre videre som umerket laksesmolt. Denne kunne utvandre til minstevannføringsløpet eller via kraftverksturbinen.

Smolthjulet på utløpet fra turbinen hadde en felleffektivitet beregnet til 65 %. Det ble her fanget 2994 umerka smolt. Korrigeret for effektivitet utvandret det 4606 laksesmolt via kraftverksturbinen. Antallet som utvandret til minstevannføringsløpet kan ikke estimeres fra fangst av umerka smolt. Dette kan estimeres fra andel PIT-merka smolt som passerte.

Det ble fanga 401 PIT-merka smolt i smolthjulet nedstrøms turbinløpet fra utsettingene gjennomført før 19. mai. Korrigeret for fangsteffektivitet tilsvarer dette 617 smolt. Smoltutsettingene 19. og 21. mai er her ekskludert ettersom > 90 % av disse utvandret direkte til minstevannføringsløpet og utvandringmønsteret avvek fra perioden før. Det utvandret 168 smolt til minstevannføringsløpet fra smolt satt ut før 19. mai. Av totalt 785 gjenfangster ble 79 % gjort i smolthjulet nedstrøms turbinløpet og 21 % i minstevannføringsløpet. Det antas at denne fordelinga var representativ også for umerka smolt. Ut fra antall smolt fanga i smolthjulet (4606) beregnes det at 967 utvandra via minstevannføringsløpet.

Basert på fangst eller deteksjon nedenfor kraftverksdammen beregnes det også en smoltproduksjon på 9649 smolt oppstrøms kraftverket når smolt benyttet til andre formål inkluderes.

**Tabell 2.** Fangst av umerket smolt på de ulike smoltfellene innenfor Storelva våren 2010. Fangst er det antallet vi fanga i fellene. Estimert er fangst korrigert for fangsteffektivitet. Gjenfangster av smolt PIT-merka er ikke inkludert i beregningene. Noe smolt >12 cm ble sluppet umerket fra hver stasjon. Bidraget fra disse er vurdert som ubetydelig for alle stasjoner med unntak av slipp fra Butjønna som kan ha bidratt til fangst i Strømmen.

	Oppstrøms kraftverk	Utløpet fra turbin	Minstevf (21% av turbin)	Sum passert kraftverket
Ant <12 cm (umerka fanga)	505	749		
Ant >12 cm (umerka fanga)	4107	2245		
Fangst umerka fisk	4612	2994		
<b>Fangsteffektivitet</b>	47,8	65		
Ant <12 cm (estimert umerka)	1056	1152	242	1394
Ant >12 cm (estimert umerka)	8592	3454	725	4179
Sum fangst umerka fisk	9649	4606	967	5869
<b>Uttak av smolt</b>				
Satt ut fjord	2442			
Merkedød	190			
Turbindød	0	214		
Annet uttak (prøver av fisk)	0			
PIT-merka; satt tilbake til elv	1148			
Sum andre formål	3780	197		
<b>Utvandret videre som umerket smolt</b>	5869			

### 3.3 Merking av smolt oppstrøms kraftverket

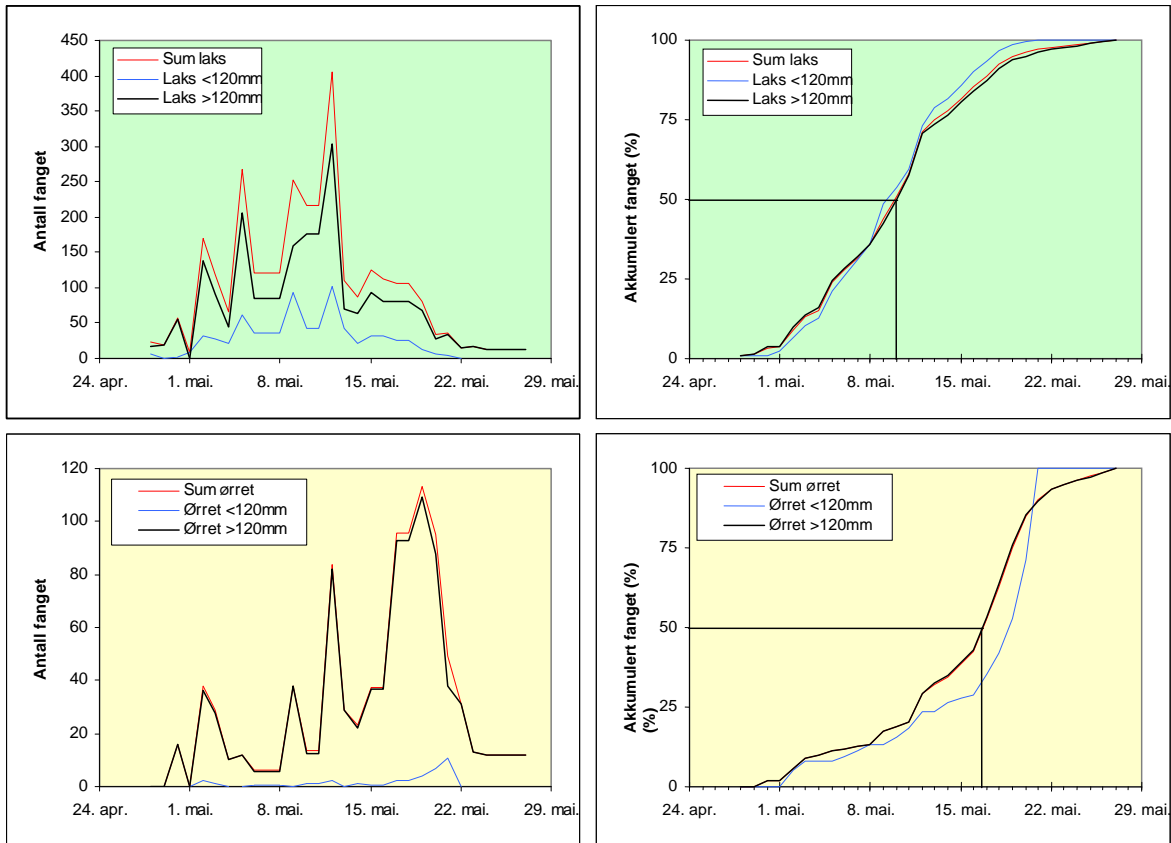
Det ble merket og sluppet 993 laksesmolt og 203 ørretsmolt oppstrøms kraftverket. Det var gjenfangster av 793 laksesmolt ved kraftverket (**Tabell 3**). I tabellen er daglig antall smolt av laks og ørret som ble merka angitt.

**Tabell 3.** Antall PIT-merka smolt med gjenfangster satt ut ved Fosstveit i april/mai 2010.

Dato	PIT-merka oppstr. kraftverket		PIT-merka nedstr. kraftverket		Satt ut i minstevannføringsløpet		PIT-merka oppstr. kraftverket, satt ut nedstr. kraftverket	
	T1+K1		T2		K1		K2	
	laks	ørret	laks	ørret	laks	ørret	laks	ørret
30.apr	7	19						
01.mai	66	19						
02.mai								
03.mai	108	35	22	10				
04.mai			1					
05.mai	63				11	0	34	0
06.mai	41				11	0	33	0
07.mai	48				9	0	28	0
08.mai	49				10	0	25	0
09.mai	44		30	1	9	0	36	0
10.mai	54						34	0
11.mai	46		3					
12.mai	61	1	47				39	0
13.mai			1	7				
14.mai	27	9	2	16				
15.mai	40							
16.mai	6	42	8	51				
17.mai	36		1					
18.mai	1	37	4	108				
19.mai	29	10	2				31	
20.mai	67							
21.mai		31						
Sum satt ut	793	203	121	193	50	0	260	0

### 3.4 Fangst i smolthjulet nedstrøms kraftverket

Smoltfella nedstrøms turbinløpet ble satt ut 22. april 2010. Fangstene var lave de første dagene for å økte gradvis frem til de første dagene av mai. Utvandring av laks kom før ørret. Det var ingen tydelig tidsforskjell i når smolt av laks > 12 eller < 12 cm vandret (**Figur 15**). I registreringsperioden ble det nedstrøms turbinløpet totalt fanget 2994 laks.



**Figur 15.** Antall laks (øverste figurer) og ørret (nederste figurer) som utvandret og ble fanget i smoltfella nedstrøms kraftverket. I figurene til venstre er daglig fangst angitt. Til høyre er akkumulert %-andel av totalfangsten vist. I figurene er det skilt mellom fisk <12 og > 12 cm samt at samlet fangst er vist. Dato for 50 % nedvandring er antydnet i figurene til høyre.

### 3.5 Dødelighet

I 2010 ble det påvist 214 døde laks nedstrøms kraftverksturbinen. Dette utgjør 7,1 % av laksefangsten. Det døde 55 ørret eller 5,8 % av ørretfangsten. Dette er et minimumsestimat for dødelighet ettersom det ikke lot deg gjøre å finne all død fisk, særlig de som sank mellom steinene. Den døde fisken ble skannet for eventuelle PIT-merker. Det ble gjenfunnet PIT-merker i 17 laks. Det ble observert PIT-merker mellom steiner på tunnelutløpet. Disse var utilgjengelige, men viser at dødeligheten var større enn det som kunne påvises. I 2010 ble det kun registrert en død blankål samt, at det ble fanget en levende ål i smoltfella oppstrøms kraftverket.

De første dagene var flere av de døde fiskene små (<10 cm; 1+). Senere var det primært smolt som døde (**Figur 15**). Yngelen som døde hadde ikke synlige skader. Dødeligheten kan her skyldes trykkfall gjennom turbinen mer enn slagskader, selv om trykkfall ikke ansees som en vanlig årsak til død (Forseth pers. medd.). Det er også mulig at fisken hadde slagskader som ikke var synlig på utsiden. Andelen større fisk med/uten slagskader ble ikke estimert daglig, men ut fra bildene manglet ca. 1/3 av fisken hode (**Figur 16**). De andre hadde ikke tydelige slagskader, men var døde. All død vinterstøing og ål hadde tydelige spor etter slag fra turbinen.

Dødeligheten var noe lavere i 2010 enn i 2009, hvor i underkant av 12 % av fisken døde. Denne forskjellen kan tilskrives hvordan turbinen ble driftet (løpehjulvinkel). Løpehjulvinkelen kunne i 2009 gå ned mot 1 %, mens den i 2010 kun kunne reduseres til 11 %. Dette innebærer at vannvolumet som kunne utnyttes av smolten i turbinen var større i 2010 enn i 2009.

Dødeligheten var svært høy 28. april, 11. og 12. mai samt 18. mai. Denne dødeligheten inntraff når vanntilførselen til turbinen ble påvirket av tapping/fylling av vannmagasinet oppstrøms demningen. Denne reguleringen var motivert ut fra forsøkets behov for å endre hvor vannet gikk over damkrona. Under mer normale driftsforhold ville dødeligheten sannsynligvis vært i området 2 til 4 %.

Årets undersøkelse konkluderer med at turbinen ved Fosstveit kraftverk dreper 2 til 4 % av smolten når kraftverket driftes optimalt, mot 8-12 % når driften er mindre optimal. Prosentvis død vil sannsynligvis være spesifikk for hvert enkelt kraftverk og kan knyttes til bl.a. turbintype, fallhøyde og vannvolum. En regulant vil kunne påvirke andel død fisk ved å justere bladene på turbinen. Dette innebærer samtidig en kostnad for regulanten. Andre tiltak vil være mer hensiktsmessige.



**Figur 16.** Illustrasjon av død fisk innsamlet nedstrøms turbinløpet i 2010. Fangstdato samt andel med/uten hode er angitt

### 3.6 Utvandring til minstevannføringsløpet

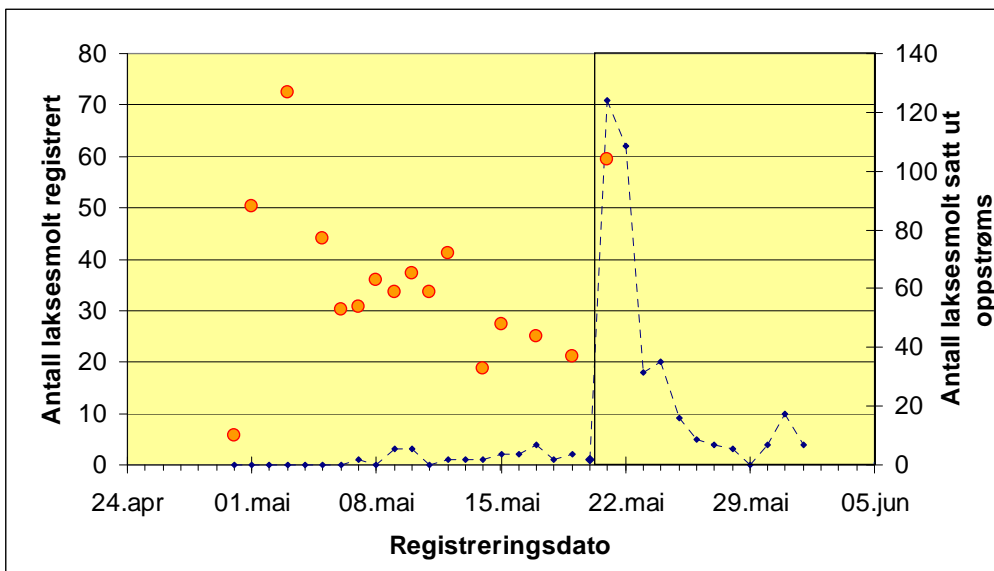
Det nedvandret 22 smolt til minstevannføringsløpet i perioden 29. april til 20. mai. I perioden 20. mai til 1. juni utvandret det 210 smolt (**Figur 17**). I de samme periodene utvandret det henholdsvis 391 og 12 smolt via inntaket til turbinen. Denne endringen i nedvandring til minstevannføringsløpet kan knyttes direkte til åpning av en spyleluke plassert ved vanninntaket til kraftverket (**Figur 18**).

Det lave antall smolt som nedvandret til minstevannføringsløpet før 20. mai til tross for stor utvandring via inntaket til turbinen gjør at vi konkluderer med at utvandringalternativene laksetrappa,

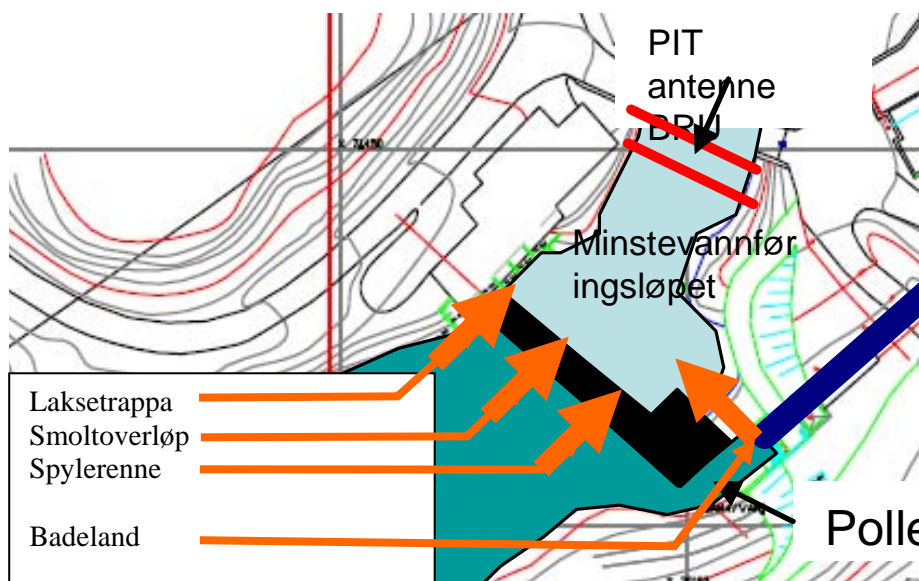
smoltoverløp og spylerebbe ikke ble oppfattet som attraktive utvandningsruter av fisken. Utvandningsalternativet som ble ”funnet” 20. mai (badeland) ble opprettholdt gjennom resten av utvandningsperioden. Badeland og utvandrende smolt er vist i **Figur 19**. I **Figur 20** er badeland illustrert fra pollen. På dette tidspunktet ble vannstrømmen sluppet forbi kraftverket for å utbedre demningen. Dermed illustreres gitter, plassering av luke til badeland her uten vann.

Badeland skiller seg fra de andre alternativene ved at denne ruten var plassert vinkelrett på og kloss inntil inntaksgitteret til turbinen. Oppstrøms dette gitteret er det en liten poll. I denne samlet smolten seg og vi kunne observere stimer som svømte i sirkel. Resultatet tyder på at smolten fulgte hovedstrømmen av vann og endte dermed foran gitteret. Her ble vandringen hemmet. Hemmingen var kortvarig for noen (utvandret via inntaket til turbinen) eller var langvarig for andre (utvandret til via badeland når dette ble åpnet). I perioden hvor nedvandring til minstevannføringsløpet var lavt hadde fisken tilgang på utvandningsmuligheter. Fisken fant ikke/valgte bort disse rutene.

Det konkluderes med at smolten vil vandre via inntaket til turbinen når attraktive alternativer ikke foreligger. En alternativ utvandningsrute må oppfattes av fisken som et attraktivt alternativ for å bli benyttet. Plassering av den alternative ruten vil være avgjørende for effektivitet. Hvis denne ikke er plassert et sted som fisken ”finner” den vil den heller ikke benyttes. Ved Fosstveit var ”rett sted” i umiddelbar nærhet til gitteret ved inntaket til turbinen.



**Figur 17.** Antall smolt satt ut oppstrøms kraftverket (sirkler) og antall smolt påvist på PIT-antennen ved BRU (minstevannføringsløpet). Nytt avløp fra kraftverket ble åpnet 20. mai.



**Figur 18.** Detaljer vedrørende over utvandringsalternativene til minstevannføringsløpet. De ulike alternativene er her gitt navn. Alternativene fra laksetrappa til Spylerenne ble alle prøvd før 20. mai. Badeland ble tatt i bruk 20. mai.



**Figur 19.** Øverst venstre: Renne som ledet smolten fra utløpsluke til minstevannføringsløpet. Øverst høyre: samme bilde, men nå med vann i renna. Nederst høyre og venstre. Smolt på vei ned renna sett fra inntaket til kraftverket.





**Figur 20.** Bilde av pollen foran inntaket til kraftverket. I bildet sees gitteret foran inntaket til turbinen samt avløpsluka til badeland.

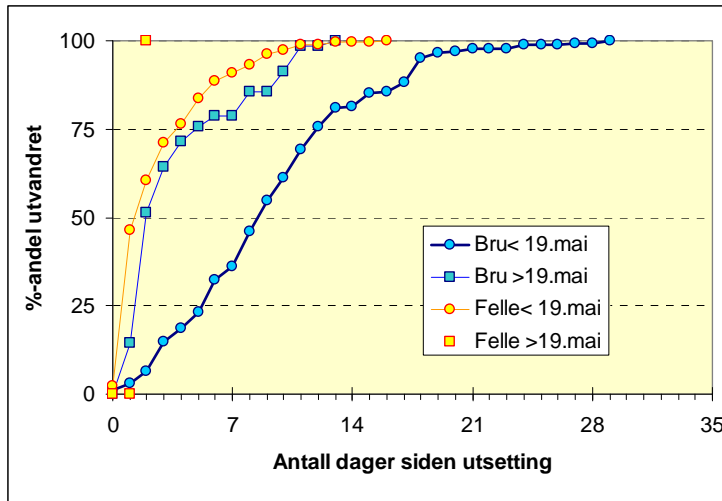
### 3.7 Tid til passering av kraftverket

Det ble merket og satt ut smolt med jevne mellomrom oppstrøms kraftverket (**Tabell 3**). Tid fra utsetting til fangst enten nedstrøms turbinløpet eller i minstevannføringsløpet angir tid smolten brukte på å passere demningen.

Den utsatte smolten delte seg i to atferdsgrupper (**Figur 21**). De som nedvandret til inntaket til turbinen og de som ikke nedvandret før etter 20. mai. Mens 50 % av smolten som utvandret til turbinen ble gjenfanget i løpet av det første døgnet etter utsetting, tok det 9 døgn før et tilsvarende antall smolt var registrert i minstevannføringsløpet. Dette kan tolkes som en uvillighet til å vandre til minstevannføringsløpet. Det er mer sannsynlig at sein utvandring skyldes en uvillighet til å utvandre via inntaket til turbinen og at smolten ikke fant alternative vandringsruter. Når utvandringsalternativet badeland ble etablert 20. mai utvandret det raskt fisk her. Majoriteten av denne fisken hadde da oppholdt seg i 1 til 3 uker ovenfor demningen uten å ”ville” utvandre via inntaket til turbinen.

Smolt satt ut ovenfor kraftverket 19. og 21. mai utvandret raskt via badeland. Halvparten av denne fisken ble detektert i PIT-antenne i løpet av dag 2 etter utsetting. Kun 3 av 73 smolt satt ut fra 19. mai utvandret via inntaket til turbinen. Dette tyder på at badeland var et attraktivt alternativ, hvor sein utvandring til smolt satt ut før 19. mai skyldes at en egnet utvandringsrute ikke forelå.

Ut fra dataene her konkluderes det med at demningen hemmet utvandring. Hemmingen berørte ca. 30 % av smolten. En forsinket utvandring i >1 uke vil kunne ha negative effekter på effekter på smoltens overlevelsessevne og fysiologiske status.



**Figur 21.** Tid fra utsetting til fisken ble påvist i smolthjulet nedstrøms turbinløpet (felle) eller til minstevannføringsløpet (BRU). Datasettet er skilt på smolt satt ut oppstrøms før og etter 19. mai. Smolt satt ut etter denne datoen vandret raskt til minstevannføringsløpet via badeland i motsetning til smolt satt ut tidligere som ikke hadde dette som en vandringsopsjon.

### 3.8 Effekter på vandring etter kraftverket

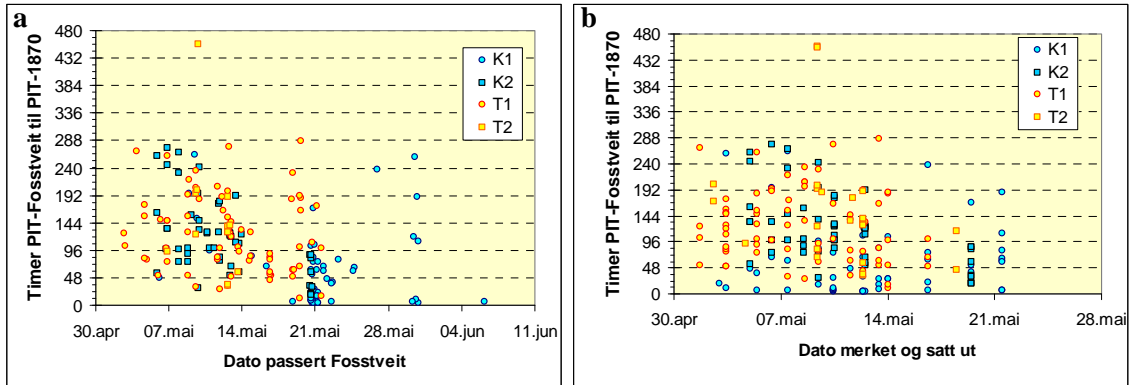
Grupper benevnt med "T" har passert turbinen. Grupper benevnt med "K" har passert via alternativ rute. Tiden smolten brukte fra kraftverket til elvemunningen angir vandringshastighet. I denne delen av prosjektet inngikk 4 smoltgrupper. Mens T1 og K2 representerer smolt merket og sluppet ovenfor kraftverket ble T2 og K2 sluppet først nedenfor kraftverket. Mens T2 hadde passert kraftverket via inntaket til turbinen (uten PIT-merke) ble K2 kjørt med bil fra fangsstedet ovenfor kraftverket og satt ut nedenfor kraftverket.

Vandringshastighet var høyest for K1 hvor 75 % av smolten hadde en hastighet  $> 2$  cm/sek (**Tabell 4**). Tilsvarende høy hastighet ble kun registrert innenfor den 10 % raskeste andelen av smolt fra de andre tre gruppene. Gruppen K2 vandret 15 til 30 % raskere enn turbingruppene T1 og T2. Resultatet tyder på at laksesmolt som passerte kraftverksturbinen vandret saktere enn kontrollfisken. Det var samtidig stor forskjell i hastighet mellom K1 og K2. Dette kan skyldes at gruppe K1 passerte PIT-antennen ved Fosstveit seinere i sesongen enn gruppen K2 og var dermed mer smoltifisert og derfor mer vandringsvillig. Mens gruppene K2, T1 og T2 hadde passert Fosstveit før 21. mai, passerte K1 i hovedsak fra 20. mai og utover. Basert på dato som smolten passerte Fosstveit synes vandringshastigheten å øke med dato. Basert på merketidspunktet er ikke denne sammenhengen like entydig (**Figur 22**).

Forskjellen i vandringsrate mellom K2, T1 og T2 gjør at vi konkluderer med at turbinpåvirket smolt vandret saktere enn "kontrollfisken". Dette sammen med forsinket passering av demningen gjør at smolten ankommer fjorden seinere enn "normalt". Demningen/kraftverket forårsaket i forsinket utvandring. Vi kan ikke skille mellom de to faktorene.

**Tabell 4.** Antall timer som laksesmolten brukte og hastigheten (cm/sek) den vandret med mellom PIT-stasjonene Fosstveit og 1870.

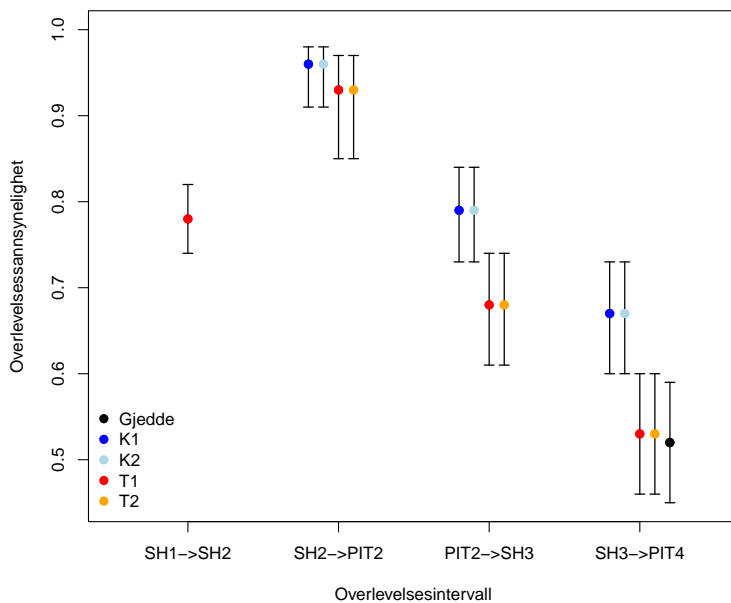
	K1	K2	T1	T2	Alle	K1	K2	T1	T2	Alle
	Timer					Cm/sek				
25-%	9,5	77,1	78,3	97,2	53,0	18,1	2,2	2,2	1,8	3,2
50-%	43,2	109,4	120,2	129,9	98,9	4,0	1,6	1,4	1,3	1,7
75-%	82,5	142,8	173,2	184,0	151,4	2,1	1,2	1,0	0,9	1,1
Antall	54	51	69	26	200					



**Figur 22.** a) Antall timer som laksesmolten brukte fra PIT-antennen ved Fosstveit til PIT-antennen ved 1870 fordelt på behandlingene ved kraftverket. b) samme data, men utsettingstidspunktet er benyttet som x-akse.

### 3.9 Overlevelse nedstrøms kraftverket

Analyse av overlevelse viste at det var forskjeller mellom de behandlingsgruppene der K-gruppene alltid hadde høyere overlevelse enn T-gruppene (**Figur 23**). For eksempel var overlevelsen gjennom Lundevatnet  $0.67 \pm 0.03$  ( $\pm$ s.e.) for K-gruppesmolten, mens den var  $0.53 \pm 0.04$  for T-gruppesmolten. Det er liten støtte i dataene for forskjellig overlevelse mellom T1 og T2, og, tilsvarende, mellom K1 og K2. Ser man på den totale overlevelsessannsynligheten fra kraftverket og helt ut til Strømmen var denne 0,55 for K-gruppesmolten mens den var 0,38 for T-gruppesmolten.



**Figur 23.** Estimerte overlevelsessannsynligheter (kun de mest relevante er gjengitt) for de ulike behandlingsgruppene mellom de ulike stasjonene, med tilhørende 95 % konfidensintervall. Overlevelse Gjedde->PIT4 lar seg ikke estimere da det ikke merkes ny smolt i vannet og fordi alle rapporterte gjenganger er døde (i gjeddemager) og fases ut av analysene (dvs. individene brukes i analysene fram til de er blitt spist). SH1 er smolthjulet ovenfor kraftverket, SH2 er smolthjulet på utløpet av kraftverksturbinen, SH3 smolthjul ved Butjønna og SH4 smolthjul ved Strømmen. PIT2 er PIT-stasjonen ved Fosstveit og PIT4 pit-stasjon 1870 på utløpet av Storelva.

Basert på disse analysene konkluderes det med at smolt som passerte turbinen hadde en forsinket dødelighet. Denne var tilstedeværende i hele elva, men økte i omfang i de nedre delene av elva. Her antar vi økt dødelighet hovedsakelig skyldes predasjon fra gjedde.

## 4. Oppsummerende diskusjon

Fosstveit kraftverk påvirket nedvandringen av smolt og vinterstøing på flere måter. Foruten direkte dødelighet ble det påvist effekter knyttet til hvor lang tid smolten brukte på å passere demningen, på vandringshastighet etter kraftverket samt på overlevelse fra kraftverket til elvemunningen. De ulike truslene innenfor elva reduserte overlevelse fra kraftverk til elvemunning til 0,55 for K-gruppesmolten og til 0,38 for T-gruppesmolten. Denne forskjellen er såpass stor at den er klart uheldig for oppnåelse av gytebestandsmålet.

Tiltakene utført våren 2009 viste at ei not (3 m dyp) som sperra hele innløpet til pollen (6 m dyp) før inntaket til turbinen ikke hemmet innvandring til og nedvandring via turbinen. Dette året hadde ikke smolten noe veldefinert alternativ utvandningsrute. I 2010 benyttet ikke smolten utvandningsmulighetene som den ble tilbydd før luka til badeland ble åpnet 20. mai. Denne luka ble oppfattet som attraktiv og nær all smolt som på det tidspunktet gikk i stim ovenfor kraftverket nedvandret i løpet av de første 2 dagene.

Resultatene oppnådd ved Fosstveit kraftverk har en klar overføringsverdi til andre/lignende kraftverk. Det synes som at utvandningsalternativet skal plasseres så nært inntaket til turbinen som mulig. Man trenger mer kunnskap om hva som eventuelt blir "for nært". Hvis vannhastigheten er stor kan det tenkes at fisken "suges" inn til turbinen. Da vil senking vannhastigheten være et tiltak. Tilsvarende tiltak er utprøvd med hell i små kraftverk (< 100 m<sup>3</sup>/sek) i Frankrike (Travade og Lariner, 2006). Nasjonale forskningsprogram har som mål å etablere løsninger ved større kraftverk.

Årets positive resultat i forhold til tiltak bør verifiseres. Dette kan gjøres ved at forsøket repeteres ved Fosstveit kraftverk, samt ved at liknende løsninger utprøves i andre kraftverk. For å øke dokumentasjon og bredden av forsøksbetingelser hadde det være ønskelig med en høyere vannføring enn i 2010. Vannføringen i elva kan kun i begrenset grad styres.

Det bør gjennomføres strømmålinger i og omkring pollen for å fastslå hvilke strømbilder som dannes ved hvilke vannføringer. Samtidig bør utformingen av "hullet" på badeland studeres nærmere. Vil det være mer ønskelig med et smalere og dypere løp enn med et grunnere og bredere løp. Hva som er det optimale for fisken og hva er gunstigst for regulant bør avklares.

Det er ikke sikkert at badeland trengs å driftes hele døgnet. Hvis det etableres lokkeflommer (for eksempel 10-15 minutter hver time/annenhver time) kan det hende at andelen smolt som vandrer forbi kraftverket forblir nært det samme som man får med konstant åpning. Denne problemstillingen er særs aktuell hvis mengde vann som badeland bør tilføres overskrider konsesjonspålagt minstevannføring.

Konklusjonene og resultatene fra Fosstveit kan overføres til andre kraftverk med nødvendige lokale justeringer. Kostnadene knyttet til denne løsningen vil normalt være lav. Mange kraftverk vil ha en spyleluke knyttet til ristene foran kraftinntaket. Der slike luker ikke er bygd vil kostnadene med å lage et hull i damkrona være marginal. Optimal størrelse (lengde/bredde) på et slikt hull må dokumenteres mer enn det vi har gjort på Fosstveit.

Det vil også være nødvendig med dokumentasjon av effekten av tiltak på andre kraftverk. En slik dokumentasjon vil tilfalle en erfaringsbase slik at man etter hvert vil kunne øke robustheten av gitte råd. Inntil bedre dokumentasjon foreligger, synes tiltakene etablert ved Fosstveit å fungere såpass tilfredsstillende at tilsvarende tiltak kan etableres i både nye og eldre kraftverk der dette er mulig.

At kraftverk har en negativ påvirkning av vandrende fisk er godt dokumentert (Monten, 1985). De første tiltakene var innrettet på oppvandring av fisk. Senere økte fokus på nedvandring. De første nedvandringstiltakene var basert på ulike former for stengsler. Disse hadde den negative effekten at de påvirket vanngjennomstrømmingen til turbinen. Samtidig ble det anbefalt løsningene basert på å bygge ”snillere” turbiner. Selv om turbinene drepte færre smolt etter hvert, drepte de fortsatt smolt.

Det er i Frankrike anbefalt å benytte smoltens naturlige atferd sammen med etablering av velfungerende omløpsløsninger ”by-pass” (oppsummert i Travade og Lariner, 2006). Hvis omløpet er feilkonstruert vil ikke fisken benytte denne muligheten og flertallet utvandrer da via turbinen. De fleste forsøkene er utført ved kraftverk med en slukeevne på fra 30 til 80 m<sup>3</sup>/sek. Løsningene de anbefaler basert på erfaringer fra 12 kraftverk ligner i hovedtrekk på det vi fant ved Fosstveit. Smolten vandrer med strømmen mot turbininntaket. Når fisken ankommer gitteret plassert før inntaket til turbinen, hemmes videre vandring. Denne løsningen baserer seg på at smolt er uvillig til å passere gitter. Ved å tillate fisken å deretter utvandre via ulike renseluker (tilsvarer vårt badeland) vil et betydelig antall smolt utvandre utenom turbinen. Andel som utvandrer utenom turbinen avhenger av flere faktorer. Det bemerkes at vannhastighet foran inntaket, gitterdimensjon, vannstrøm og vannhastighet mot badeland er vesentlig. Lysåpningen i gitteret bør ikke være > 1/10 av fiskens lengde (1,5 til 2 cm for 20 cm fisk). Gitteret hemmer imidlertid salmonider mer enn andre fiskearter så gitter med åpning på 2,5 til 4 cm kan være tilstrekkelig for å hemme utvandring til laks- og ørretsmolt. Hvis lysåpningen må økes og ha større åpninger enn dette må vannstrømmen mot badeland økes tilsvarende. Det antydes at det er gunstig at inntaket til turbinen er dypere enn utløpet til badeland (Ferguson mfl., 1998). Videre bør ikke vannhastigheten ved turbininntaket overstige 0,5 til 0,6 m/sek. Badeland bør tilføres 2 til 10 % av vannet som passerer turbinen. Effektiviteten av denne løsningen er fra Frankrike anslått til å variere mellom 55 og 90 % når utvandringstiltaket er riktig plassert i forhold til smoltens atferd og kun 20 til 30 % når mulighetene var plassert et sted fisken ikke ønsket å være. Sistnevnte illustrerer nødvendigheten av å observere fiskens atferd i området omkring turbininntaket før tiltak iverksettes på eksisterende kraftverk. Erfaringer fra tilsvarende problemstillinger bør benyttes når nye kraftverk planlegges.

## 5. Litteraturliste

- Ferguson J.W., Poe T.P., Carlson T.J., 1998. The design, development, and evaluation of surface oriented juvenile salmonid bypass systems on the Columbia River, USA.. In: Jungwirth, M., Schmutz, S., Weiss, S. (Eds), Fish Migration and Fish Bypasses, Fishing News Books, 281-299.
- Kroglund, F., Teien, H.-C., Rosten, C., Hawley, K., Guttrup, J. Johansen, Å., Høgberget, R., Kristensen, T., Tjomsland, T., Haugen, T., 2011. Betydning av kraftverk og predasjon fra gjedde for smoltproduksjon og aluminium i brakkvann for postsmoltoverlevelse. NIVA. Rapport l. nr OR-6084. 103 s.
- Kristensen, T., Rustadbakken, A., Kroglund, F., Guttrup, J., Johansen, Å., Hawley, K., Rosten, C., Kjøsnes, Arne Jørgen., 2010. Gjeddass betydning som predator på laksemolt: Populasjonsstørrelse, adferd og predasjonsomfang på laksemolt i Storelva, Aust-Agder.. NIVA. Rapport l. nr OR-6085. 31 s.
- Larinier M., Travade F., 1996. Smolt behavior and downstream fish bypass efficiency at small hydroelectric plants in France. Association Internationale de Recherches Hydrauliques, 2ème Symposium international sur l'hydraulique et les habitats, Ecohydraulique 2000, Québec, vol B, 891-902.
- Larinier M., Travade F., 1999. The development and evaluation of downstream bypasses for juveniles salmonids at small hydroelectric plants in France. In: ODEH M. (Ed), Innovations in Fish Passage Technology, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 25-42
- Monten E., 1985. Fish and turbines. Fish injuries during passage through power station turbines. Vattenfall, Stockholm, 111 pp.
- Tormodsgard, L. 2010. Lavere dødelighet for laks og ål ved passasje av kraftstasjonen Fosstveit i Storelva. Rapport: ØS 3-2010
- Travade, F. og M. Lariner. 2006. French Experience In Downstream Migration devices. I: Free Passage for Aquatic Fauna -in Rivers and other Water Bodies. International DWA Symposium on Water Resources Management, 3.- 7. April 2006

## Vedlegg A.

### Vedleggstabell 1

Tabellen står på neste side. Antall laks påvist i minstevannføringsløpet-BRU (horisontale linjer) eller i smoltfella nedstrøms turbinløpet (vertikale linjer) i forhold til utsettingsdato samt påvisningsdato. Utsettingsdatorer er angitt i røde celler diagonalt i tabellen. Datoer fisken ble detektert ved BRU leses horisontalt, vertikalt for datoer smolten ble fanget nedstrøms turbinen.

Fangster i smoltfella har gulaktig bakgrunnsfarge, mens fangster ved BRU har blåaktige farger. Antall døgn fra utsetting til fangst kan leses gjennom bruk av ulike fargevalører de første 5 dagene. Fisk fanget først 14 dager etter utslipp vil være utenfor de hvite båndene. Fisk satt ut oppstrøms BRU for å beregne deteksjonseffektivitet inngår ikke i tabellen ettersom denne ikke hadde et valg med hensyn til vandringsrute.

Til venstre i tabellen er det gitt opplysninger om antall fisk som ikke påvises før etter kraftverket (ikke påvist før Fosstveit), antall fisk gjenfanget i smoltfella eller BRU (Tag), antall smolt merka men ikke gjenfunnet (Merka), total utsetting av PIT-merka smolt gjenfanget, totalantall fisk i fella (umerka og merka) samt antall smolt fanget i smoltfella som hadde PIT merke.

Til høyre i tabellen er det oppgitt antall merker registrert fra den enkelte utsetting ved BRU før 20. mai og fra 20. mai til 1. juni. Det er her beregnet prosentandel påvist ved BRU i forhold til i smoltfelle for den enkelte utsettet. Lave gjenfangstprosenten ved BRU har lilla bakgrunnsfarge, mens høye gjenfangster har blå bakgrunn.





## Vedleggstabell 2

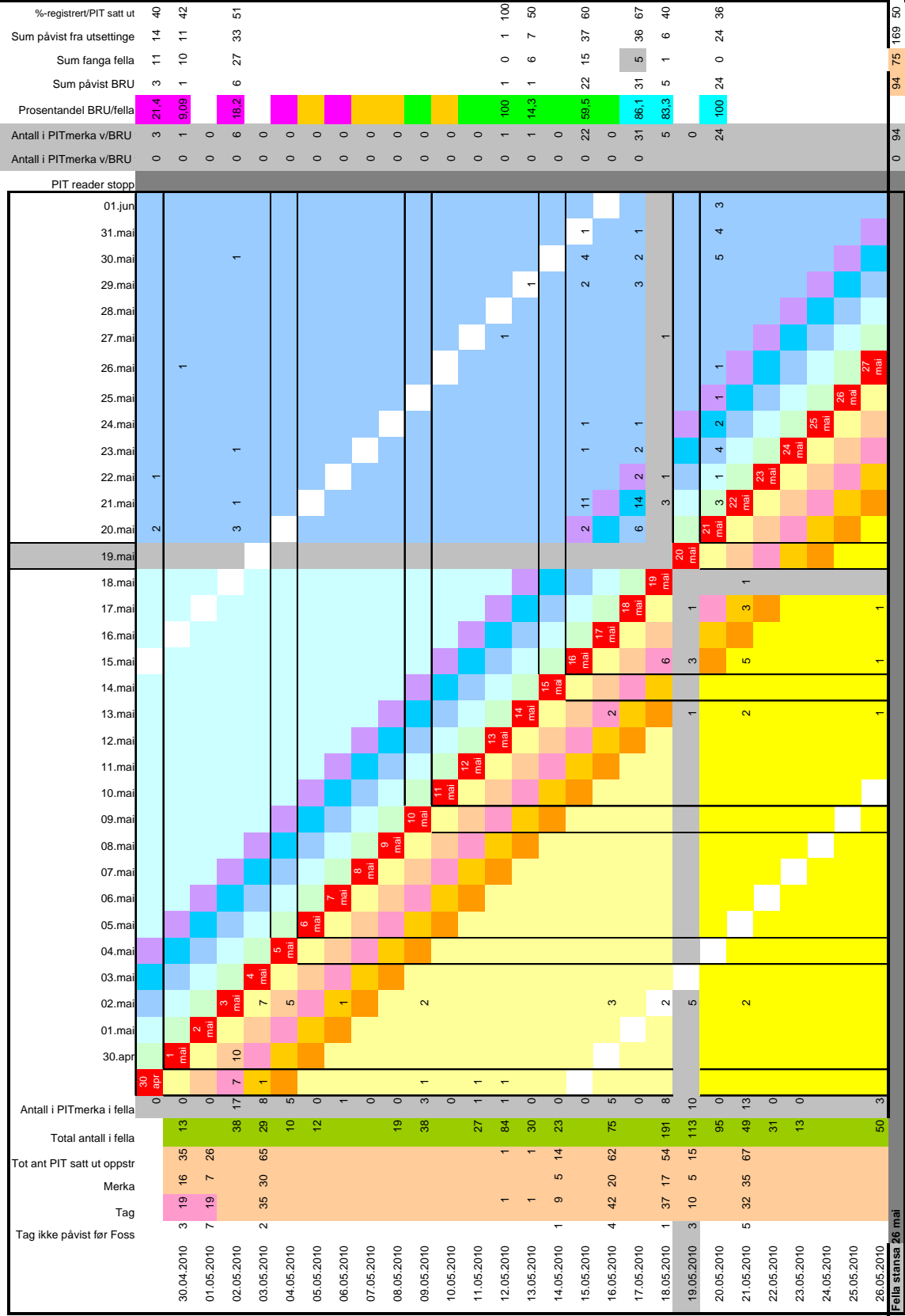
Tabellen står på neste side. Antall ørret påvist i minstevannføringsløpet-BRU (horisontale linjer) eller i smoltfella nedstrøms turbinløpet (vertikale linjer) i forhold til utsettingsdato samt påvisningsdato. Utsettingsdatorer er angitt i røde celler diagonalt i tabellen. Datoer fisken ble detektert ved BRU leses horisontalt, vertikalt for datoer smolten ble fanget nedstrøms turbinen.

Fangster i smoltfella har gulaktig bakgrunnsfarge, mens fangster ved BRU har blåaktige farger. Antall døgn fra utsetting til fangst kan leses gjennom bruk av ulike fargevalører de første 5 dagene. Fisk fanget først 14 dager etter utslipp vil være utenfor de hvite båndene. Fisk satt ut oppstrøms BRU for å beregne deteksjonseffektivitet inngår ikke i tabellen ettersom denne ikke hadde et valg med hensyn til vandringsrute.

Til venstre i tabellen er det gitt opplysninger om antall fisk som ikke påvises før etter kraftverket (ikke påvist før Fosstveit), antall fisk gjenfanget i smoltfella eller BRU (Tag), antall smolt merka men ikke gjenfunnet (Merka), total utsetting av PIT-merka smolt gjenfanget, totalantall fisk i fella (umerka og merka) samt antall smolt fanget i smoltfella som hadde PIT merke.

Til høyre i tabellen er det oppgitt antall merker registrert fra den enkelte utsetting ved BRU før 20. mai og fra 20. mai til 1. juni. Det er her beregnet prosentandel påvist ved BRU i forhold til i smoltfelle for det enkelte utsettet. Lave gjenfangstprosenten ved BRU har lilla bakgrunnsfarge, mens høye gjenfangster har blå bakgrunn.

Antall ørretsmolt registrert på BRU, fangst dato



Antall ørretsmolt fanget i smoltfelle nedstrøms kraftverket; fangst dato

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)