

943 Reetablering av laks i Kragerøvassdraget – anbefalte tiltak for å sikre toveis vandringsmuligheter

NINA Rapport

Eli Kvingedal, Torbjørn Forseth, Frode Kroglund og Hans-Petter Fjeldstad



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

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

NINA Temahefte

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

NINA Fakta

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

Annen publisering

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

Reetablering av laks i Kragerøvassdraget – anbefalte tiltak for å sikre toveis vandringmuligheter

Eli Kvingedal
Torbjørn Forseth
Frode Kroglund
Hans Petter Fjeldstad

Kvingedal, E., Forseth, T., Kroglund, F. & Fjeldstad, H.-P. 2013.
Reetablering av laks i Kragerøvassdraget – anbefalte tiltak for å
sikre toveis vandringsmuligheter. - NINA Rapport 943. 36 s.

Trondheim, juni 2013

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2548-9

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Eli Kvingedal

KVALITETSSIKRET AV

Morten Kraabøl

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Kjetil Hindar (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Kragerøvassdragets grunneierlag

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

NORSKOG v/ Ole Erik Elsrud

FORSIDEBILDE

Dalsfoss

NØKKEWORD

Kragerøvassdraget, laks, smolt, vandring, reetablering, vannkraft,
laksetrapper

KEY WORDS

Kragerø River, Atlantic salmon, *Salmo salar*, smolt migration, res-
toration, reestablishment, hydro power, fish ladders, fishways

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen

7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

NINA Oslo

Gaustadalléen 21

0349 Oslo

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 22 60 04 24

NINA Tromsø

Framsenteret

9296 Tromsø

Telefon: 77 75 04 00

Telefaks: 77 75 04 01

NINA Lillehammer

Fakkeltgården

2624 Lillehammer

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 61 22 22 15

Sammendrag

Kvingedal, E., Forseth, T., Kroglund, F. & Fjeldstad, H-P. 2013. Reetablering av laks i Kragerøvassdraget – anbefalte tiltak for å sikre toveis vandringsmuligheter. - NINA Rapport 943. 36 s.

Dersom laks skal reetableres i Kragerøvassdraget må voksen laks kunne passere fem kraftverk for å nå de potensielt mest produktive oppvekstområdene i vassdraget. Tilsvarende må smolt og utgytt laks og sjøørret, uten for store tap, kunne komme seg forbi de samme kraftverkene på vei ned til sjøen. I dette arbeidet gir vi en kortfattet oversikt over hvilke alternative tiltak som finnes for å sikre opp- og nedvandring av laks forbi kraftverkene. Basert på observasjoner under befarings av kraftverkene og tekniske spesifikasjoner, foreslår vi hvilke tiltak som kan gjennomføres ved hvert kraftverk og anslår kostnader for løsninger for opp- og nedvandring.

For å unngå at smolt passerer gjennom kraftverksturbinene må det settes inn tiltak som hindrer smolten å følge hovedstrømmen inn inntaket, samtidig som den får lett tilgang til et attraktivt sideløp. For at smolten ikke skal svømme inn kraftverksinntaket anbefaler vi at dagens varegrinder skiftes ut med grinder som har mindre avstand mellom spilene. Med en lysåpning på 3 cm vil forholdene ved inntakene sannsynligvis virke avskrekkende på smolten, selv om den fysisk er i stand til å komme gjennom. Ved alle kraftverkene må det etableres sideløp nær kraftverksinntaket og med så stor vanntilførsel at sideløpet oppfattes som attraktivt. For å redusere vanntap kan eventuelt noe av vannet pumpes tilbake fra en oppsamlingskum der det ikke er returmogigheter for smolten. Smolten føres videre i rør eller kanaler til åpent vann (Langfoss) eller til inngangen på oppvandringstrappa der dette er praktisk mulig (Kammerfoss og Tveitereidfoss). Ved to av kraftverkene, Vafoss og Dalsfoss, foreslår vi at smolten vandrer ut via oppvandringstrappene.

For å sikre oppvandring av voksen laks foreslår vi ulike tappeløsninger ved de enkelte kraftverk.

- Kammerfoss: motstrømstrapp (Denil-trapp)
- Vafoss: spaltetrapp langs kraftverksbygning kombinert med heis
- Langfoss: kulpetrapp (eller spaltetrapp) langs gammel tømmerrenne
- Tveitereidfoss: kulpetrapp (eller spaltetrapp) i tre slynger langs kraftverksbygning
- Nye Dalsfoss: kulpetrapp (eller spaltetrapp) i tunnelen til den gamle tømmerrennen

Samlede kostnader for bygging av oppvandringsløsninger, inkludert heis ved Vafoss, er grovt estimert til 22 millioner kroner. Totalkostnadene for nedvandringsløsninger ved de fire nederste kraftverkene estimeres til mellom 6 og 9,5 millioner kroner. Ved Dalsfoss kan varegrindene tilpasses under bygging uten vesentlige merkostnader. Det kan imidlertid bli nødvendig å føre smolten i en tunnel inn til tømmerrenna, noe som vil gi en høyere kostnad for nedvandringsløsningene enn for de andre kraftverkene (estimert til 0,5 – 1 million pr. sideløp).

I en første fase kan et alternativ til å bygge vandringsløsninger ved alle de fem kraftverkene være å transportere fisken forbi ett eller flere av kraftverkene med bil. Spesielt for smolten, som har en begrenset utvandringsperiode, kan dette være aktuelt. Nedenfor Dalsfoss er det bare strekningen ned til Tveitereidfoss som har større områder egnet for gyting og oppvekst. Å samle opp smolten ved Tveitereidfoss, eller alternativt Langfoss, og slippe den ut nedenfor Kammerfoss kan derfor være en god første løsning. For å sikre rask reetablering av de øvre deler av elva, kan også transport av oppvandrende laks være gunstig i startfasen. Den enkleste løsningen vil være å samle opp fisken ved Kammerfoss og transportere den forbi Langfoss eller Tveitereidfoss. Biltransport av voksen laks fra Vafoss til oppstrøms Langfoss kan også være aktuelt som en mer langsiktig løsning.

Eli Kvingedal, Tungasletta 2, 7485 Trondheim. eli.kvingedal@nina.no

Torbjørn Forseth, Fakkeltgården, 2624 Lillehammer. torbjorn.forseth@nina.no

Frode Kroglund, Jon Lilletuns vei 3, 4879 Grimstad. frode.kroglund@niva.no

Hans-Petter Fjeldstad, Sem Sælandsvei 11, 7465 Trondheim. Hans-Petter.Fjeldstad@sintef.no

Abstract

Kvingedal, E., Forseth, T., Kroglund, F. & Fjeldstad, H-P. 2013. Reestablishment of Atlantic Salmon in the Kragerø watercourse – Recommended mitigations to ensure two-ways migration possibilities. - NINA Report 943. 36 p.

Adult salmon entering the Kragerø watercourse to spawn will have to pass five hydro power stations to reach the potentially most productive areas. When the smolts and kelts outmigrate to the sea, they should be able to pass the same power stations without extensive mortality rates. In this report we give a short overview of alternative mitigation measures to ensure both up- and downstream migration past all five power stations and associated dams.

In order to prevent smolts and kelts from being entrained in the turbine intakes during downstream migration, both measures to discourage the fish from entering the intake region and guiding them to a safe bypass should be accomplished. To exclude smolt from turbine passage, existing trash racks should be replaced with screens with smaller gaps between the bars. Screens with free gaps of approximately 3 cm will discourage the smolt from passing, even though they are physically capable to slip in-between the screen elements. At all power stations, the bypass entrance should be close to the turbine intake and with enough water flow to attract downstream migrating fish. To reduce loss of power generation, water could be pumped back from a collection chamber and into the reservoir again. Smolts and kelts could then be collected into a tube or a channel with reduced water flow past the power station and into the tailwater or, if feasible, into the fish ladder.

For ascending adult salmon we suggest different solutions for fishways, or fish ladders, at each power station:

- Kammerfoss: baffle fishway (Denil)
- Vafoss: vertical slot fishway along the power house combined with an elevator
- Langfoss: pool or weir fishway following an old log sluice
- Tveitereidfoss: pool or weir fishway in three loops along the power station building
- New power station planned at Dalfoss: pool fishway in the tunnel of an old log sluice

The costs for building the fishways, including the elevator, are coarsely estimated to 22 million NOK. Total costs for downstream migrating facilities at the four lower power stations are between 6 and 9.5 million NOK. Turbine intake screens with small gaps may be integrated at Dalsfoss during construction of the new power plant without substantial extra costs; however a tunnel to transport the smolts from the turbine intake to the fishway in the log sluice tunnel will incur higher costs for downstream migration mitigations compared to the other power stations (estimated to 0.5-1 million NOK per bypass).

During the first stage of reestablishment, an alternative to full establishment of two-way migration facilities is to transport fish by car past one or several power stations.

Eli Kvingedal, Tungasletta 2, NO-7485 Trondheim, Norway. eli.kvingedal@nina.no
Torbjørn Forseth, Fakkeltgården, NO-2624 Lillehammer, Norway.
Frode Kroglund, Jon Lilletuns vei 3, NO-4879 Grimstad, Norway.
Hans-Petter Fjeldstad, Sem Sælandsvei 11, NO-7465 Trondheim, Norway.

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
Innhold	5
Forord	6
1 Innledning.....	7
2 Nedvandring av laksesmolt og støing	9
2.1 Nedvandring av smolt i Kragerøvassdraget uten tiltak	9
2.2 Vinterstøing og muligheter for nedvandring	10
2.3 Mulige løsninger for nedvandring	10
2.3.1 Fysiske sperrer foran inntaket	11
2.3.2 Varegrindenes lysåpning	11
2.3.3 Vannhastigheten foran varegrinden	12
2.3.4 Sideløpet	12
2.3.5 Ledesystemer til sideløpet	14
2.3.6 Etter sideløpet	14
3 Oppvandring av gytemoden laks.....	15
3.1 Plassering av fisketrapp og vanntilførsel i trappa.....	15
3.2 Ulike typer fisketrapper	15
3.2.1 Kulpetrapp	15
3.2.2 Spaltetrapper	16
3.2.3 Motstrømstrapper (Denil)	17
3.2.4 Heis	17
4 Tiltak for opp- og nedvandring i Kragerøvassdraget	19
4.1 Kammerfoss	19
4.1.1 Tiltak for nedvandring	19
4.1.2 Tiltak for oppvandring	21
4.2 Vafoss	22
4.2.1 Tiltak for nedvandring	22
4.2.2 Anbefalt løsning for oppvandring	23
4.3 Langfoss	24
4.3.1 Tiltak for nedvandring	24
4.3.2 Løsning for oppvandring	26
4.4 Tveitereidfoss	26
4.4.1 Tiltak for nedvandring	26
4.4.2 Løsning for oppvandring	27
4.5 Dalsfoss	28
4.5.1 Tiltak for nedvandring	28
4.5.2 Løsning for oppvandring	28
5 Kostnader ved tiltak	30
5.1 Kostnader for bygging av fisketrapper	30
5.2 Kostnader ved nedvandringssløsningene	31
5.3 Alternative og stegvise løsninger	31
Referanser	33
6 Vedlegg	35

Forord

På oppdrag fra den lokale prosjektgruppa med NORSKOG som prosjektadministrator, gjør vi i denne rapporten en vurdering av hvilke tiltak som kan settes inn for å sikre mulighetene for oppvandring av gytemoden laks samt nedvandring av smolt i Kragerøvassdraget. Skagerak Energi er samarbeidspartner i prosjektet og står for en stor del av finansieringen.

En stor takk rettes til Einar Tafjord ved Skagerak energi, for velvillig hjelp til å finne fram teknisk informasjon underveis i prosjektet og for innsiktsfull guiding under befaringen i oktober 2012. Vi ønsker også å takke Ole-Erik Elsrud, NORSKOG, for informasjon og oppfølging underveis.

Vi har også hatt god nytte av Kåre O. Myhres kompetanse og vurderinger i rapporten fra forprosjektet og en gjennomgang vi hadde i forkant av befaringen.

Lillehammer, juni 2013

Torbjørn Forseth
Prosjektleder

1 Innledning

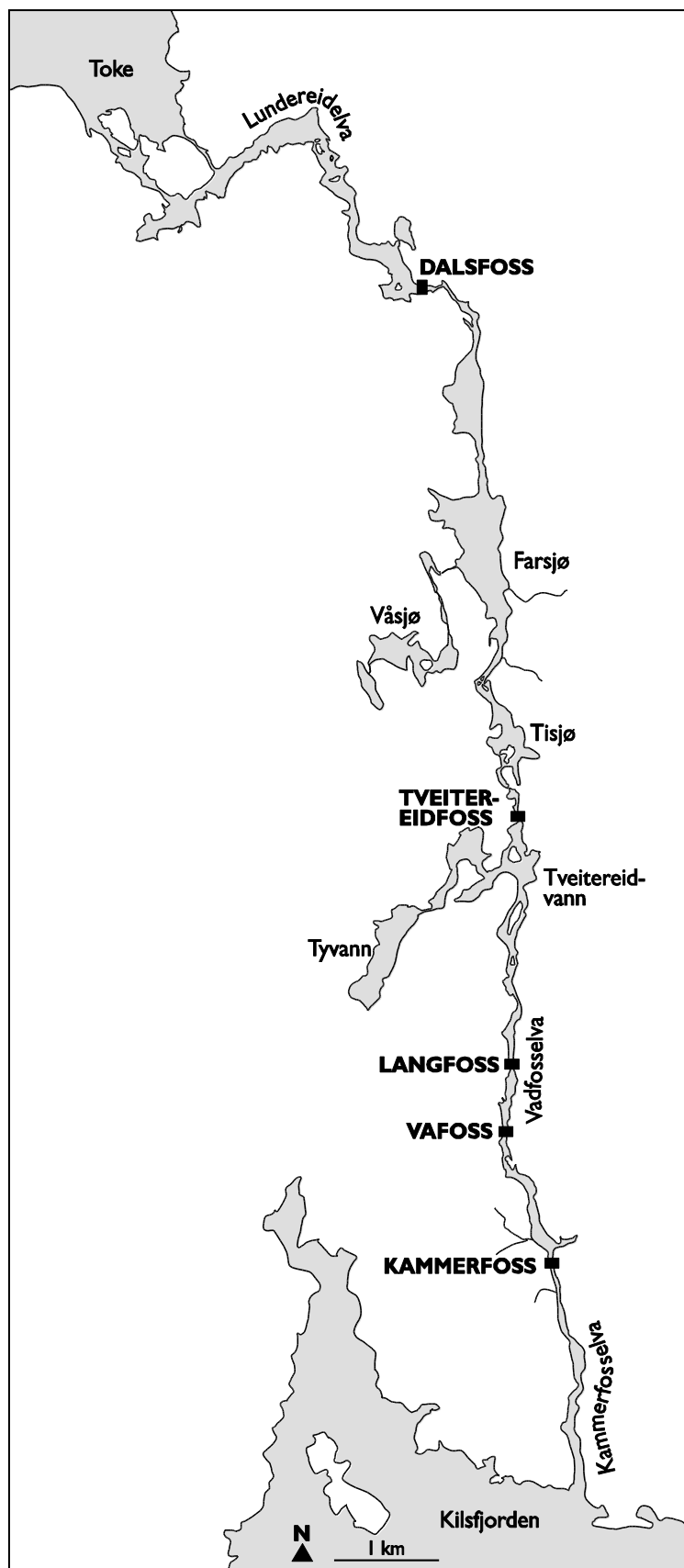
Historiske kilder viser at Kragerøvassdraget, med innløpselver til innsjøen Toke, hadde laks fram til industrialiseringa på 1600-tallet. Bygging av sagbruk og dammer satte da en stopper for laksens vandring. I dag er vassdraget regulert til kraftproduksjon og har fem elvekraftverk mellom reguleringsmagasinet Toke og utløpet i Kilsfjorden vest for Kragerø (**figur 1**). Siden det ikke er fisketrapper i vassdraget og den nederste dammen (Kammerfoss) står nær flomålet, er det usannsynlig at vassdraget i dag har egne bestander av laks og sjøørret.

På oppdrag fra lokale interessenter, gjennomførte NINA i 2005-2006 et forprosjekt hvor formålet bl.a. var å kartlegge og vurdere produksjonspotensialet både på strekningen opp til Dalsfossen, dvs. dammen nedenfor Toke, og strekningene videre ovenfor. Det ble da konkludert med at hoveddelen av produksjonsgrunnlaget vil være i de øvre delene av vassdraget (Forseth et al. 2006). For å utnytte dette produksjonspotensialet må den voksne laksen kunne vandre opp forbi dammene og smolt og utgytt laks kunne vandre ned til sjøen igjen.

Det ble i 2012 gjort en teoretisk vurdering av smoltens utvandringssmuligheter og overlevelse forbi de enkelte kraftverk uten tiltak (Kvingedal & Forseth 2012). Dødeligheten gjennom hver av turbinene ble estimert til 11-12 % ved normal drift. Når vannføringen er større enn slukkapasiteten, kan smolten passere gjennom alternative løp, som enten øker overlevelsen (en del flomavledninger) eller reduserer den (høyt fall fra damkrone og ned på stein). Under antakelsen om at vannføringen i fremtiden blir som i perioden 2002-2009, ble det estimert et smolttap forbi alle kraftverkene på 20-25 % i år med mye flomavledning, mens nær halvparten kan dø i år med liten flomavledning. I beregningene av turbindødelighet, ble det imidlertid bare inkludert dødelighet som følge av treff av skovlbladene. I tillegg kommer mulig dødelighet ved inntak og utløp til turbinene, og forsinket (indirekte) dødelighet som følge av skader og/eller økt predasjon.

I oktober 2012 gjennomførte forfatterne av denne rapporten sammen med lokale representanter en befaring av alle kraftverkene for å vurdere løsninger for opp- og nedvandring av laks. I denne rapporten gir vi en oversikt over hvilke typer tiltak og løsninger som kan benyttes for å sikre ned- og oppvandring av fisk, for deretter å presentere de løsningene som vi anser som de beste for hvert enkelte damanlegg. Det øverste kraftverket, Dalsfoss, har i dag tre eldre Francis-turbiner. Dette kraftverket er imidlertid i ferd med å erstattes av et nytt kraftverk med en større Kaplan-turbin. Siden reetableringen av laks i vassdraget ligger et stykke fram i tid, har vi valgt å gjøre vurderingene basert på det framtidige anlegget slik det er planlagt i dag.

Vi har i denne rapporten fokus på laks, men de tiltak som foreslås vil i stor grad også hjelpe sjøørreten. Det finnes allerede ål i vassdraget og tiltakene som foreslås for å hindre at smolt går gjennom turbinene vil ikke nødvendigvis beskytte ålen.



Figur 1. Kraftverkene i Kragerøvassdraget

2 Nedvandring av laksesmolt og støing

2.1 Nedvandring av smolt i Kragerøvassdraget uten tiltak

Basert på informasjon om de enkelte kraftverkene og en enkel treffsannsynlighetsmodell for turbinpassasje, ble det gjort en vurdering av hvor mye av smolten en kan forvente at blir drept hvis det ikke blir gjennomført tiltak (Kvingedal & Forseth 2012). Ved maksimal drift ble treffsannsynligheten estimert til 11-12 % for hvert av kraftverkene med Kaplan-turbiner. For Dalsfoss ble det gjort beregninger basert på planene om et nytt kraftverk med en Kaplanturbin og slukkapasitet som på Vafoss.

Tabell 1. Spesifikasjoner for Kaplanturbinene i de fire nederste kraftverkene. Nye Dalsfoss er planlagt med en turbin tilsvarende den på Vafoss og vil få et fall på 18-20 meter tilsvarende som dagens kraftverk.

	Kammerfoss	Vafoss	Langfoss	Tveitereidfoss
Turbintype	Fullkaplan	Fullkaplan	Fullkaplan	Fullkaplan
Fallhøyde [m]	6,0	13,3	8,2	9,0
Maks. volumstrøm [m ³ /s]	36	40	36	36
Maksimal effekt [MW]	1,8	4,9	2,4	2,7
Turtall [r.p.m]	167	200	187	187
Navdiameter [cm]	80	104	80	80
Løpehjulsdiameter [cm]	280	260	280	280
Antall løpeskovler	4	5	4	4
Antall ledeskovler	20	18	20	20

I det innledende arbeidet med å beregne smoltdødelighet (Kvingedal & Forseth 2012), ble det antatt at smoltutvandringen i Kragerø-vassdraget hovedsakelig vil skje i perioden 20. april – 20. mai. Ser en på hva vannføringen pleier å være i denne perioden, så er det ofte flomavledning, selv om det i enkelte år er lite vann og ingen flomavledning. Ser en på gjennomsnittet for årene 2001-2009, så var det flomavledningen på over 50 %, dvs. like mye vann utenom som gjennom turbinene, i 37 % av dagene.

I flomperioder ledes vann via flomluker og flomkanaler og/eller over selve dammen, noe som gjør at smolten kan velge en annen nedvandringsrute enn turbininntaket. Smoltoverlevelsen de enkelte år vil derfor avhenge både av rutevalg (inntak eller flomavledning) og overlevelsen gjennom de ulike vandringsveiene. Estimatenes for hvert enkelt kraftverk de enkelte år er vist i **tabell 2**.

Tabell 2. Estimert dødelighet for smolt ved de ulike kraftverkene i vassdraget (fra Kvingedal & Forseth 2012). Gjennomsnitt I er basert på vannføringen i alle årene, mens 2005 (svært lav vannføring) er utelatt i gjennomsnitt II.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Gj.snitt I	Gj.snitt II
Kammerfoss	5 %	13 %	7 %	6 %	90 %	6 %	11 %	8 %	8 %	17 %	8 %
Vafoss	4 %	9 %	5 %	5 %	0 %	5 %	11 %	6 %	7 %	6 %	6 %
Langfoss	4 %	13 %	6 %	5 %	90 %	5 %	12 %	6 %	7 %	16 %	7 %
Tveitereidfoss	5 %	14 %	7 %	6 %	100 %	6 %	12 %	8 %	8 %	19 %	9 %
Dalsfoss	5 %	9 %	6 %	6 %	0 %	5 %	11 %	7 %	7 %	6 %	7 %
Total dødelighet	21 %	46 %	28 %	25 %	100 %	24 %	46 %	31 %	31 %	50 %	32 %

Det må presiseres at det er en rekke antakelser som ligger bak disse estimatene. Dødelighet gjennom turbinene inkluderer bare direkte treff, mens smolten også kan dø eller skades i turbi-

nens inn- og utløp. Slik indirekte dødelighet etter selve passasjen kan skyldes stress, skader og predatorer (Coutant & Whitney 2000). Hvor stor denne indirekte dødeligheten er, vil trolig avhenge av både kraftverkets utforming og det miljøet smolten kommer ut i etter passering. Det finnes få feltstudier rettet mot å avdekke omfanget av den indirekte dødeligheten (Čada 2001). I Piteälven, Sverige, ble direkte dødelighet estimert til 11,5 % og indirekte (etterfølgende) dødelighet til 7,7 % ved passering av Sikfors kraftverk (Rivinoja 2005). Ved McNary Dam i Columbia River, USA, ble indirekte dødelighet estimert til mellom 46 og 70 % av total dødelighet for passering gjennom turbinene når denne ble målt 15 km nedstrøms kraftverket. Dette tilsvarte en indirekte, etterfølgende dødelighet på 6 %. Den samlede dødeligheten som følge av passering gjennom alle kraftverkene i Kragerøvassdraget kan dermed bli vesentlig større enn anslagene av dødelighet som følge av direkte treff fra trubinskovlene.

Hvor stor dødelighet det er for smolt som ville gått via flomavledning er også usikker. Kvingedal & Forseth (2012) antok at smolt som vandrer over hoveddammene ved Kammerfoss og Langfoss og over overløpsdammen på Vafoss vil ha høy overlevelse. Etter å ha studert forholdene under befaring, ser vi imidlertid at dødeligheten her kan være betydelig, spesielt ved moderat flomavledning hvor lite vann under dammene kan medføre slag og skader. Dette betyr at totaldødeligheten kan bli høyere enn estimert i **tabell 2**.

2.2 Vinterstøing og muligheter for nedvandring

Selv om storparten av laksen bare gyter én gang som voksen så kan flergangsgytere utgjøre en vesentlig andel av gytebestanden, og særlig når overlevelsen fram til første gyting er lav (Halttunen 2011). I en undersøkelse av 12 norske elver fant Jonsson et al. (1991) at andelen varierte fra 7-30 %, med størst andel i elver dominert av en-sjøvinterlaks. Hvor lenge fisken er i sjøen før den returnerer for gyting er avhengig av bl.a. geografisk plassering (nord-sør-gradient), miljøforhold i elva (fallgradient, vannføring, smoltalder m.m. (se oppsummert i Jonsson & Jonsson (2011)). I Alta vandret noen av vinterstøingene ut igjen umiddelbart etter gyting, mens de fleste, og de mest produktive (laks i best kondisjon og hunner), vandret om våren om trent samtidig med smolten (Halttunen 2011). I Storelva ved Tvedestrand, vandret all vinterstøing på våren i 2011 (Kroglund upubliserte resultater). De tiltakene som gjøres for å hjelpe nedvandringen av smolt kan derfor i stor grad også bedre overlevelsen til vinterstøing. I henhold til Monténs modell for treffsannsynlighet, øker denne proporsjonal med fiskens kroppslengde. Treffsannsynligheten for en 12 cm lang smolt ble estimert til 11-12 % for de enkelte kraftverkene. Antar en at støingene har en kroppslengde på rundt 70 cm, kan en dermed forvente at ca. 70 % vil dø i hvert av kraftverkene som følge av treffskader og med fem kraftverk etter hverandre vil bare 0,2 % overleve om de ikke har andre utvandringsveier.

2.3 Mulige løsninger for nedvandring

Tiltak for å unngå/ redusere andel fisk som vandrer ut gjennom turbininntaket har vært kjent i forskningslitteraturen gjennom lang tid, men har vært lite påaktet i Skandinavia. Det er særlig de franske forskningsmiljøene (Larinier 2001, Larinier & Travade 2002) som har fremskaffet en god kunnskapsplattform om slike tiltak. Disse har dannet grunnlaget for flere andre nasjonale retningslinjer (Irish Guidelines 2005, Turnpenny et al. 1998). Rådene er basert på forsøk og erfaringer gjort i vassdrag som har karakteristika som er sammenlignbare med de forhold vi har i Norge. Det har også vært stor aktivitet på utvikling av ulike tiltak i USA og Canada. De fleste av tiltakene igangsatt i Nord-Amerika er i elver som er betydelig større enn de vi har i Norge. Tiltakene som settes i verk i store elver trenger ikke være like effektive eller anvendbare under våre forhold. Inntil man har mer erfaring med ulike typer tiltak, også de som er utviklet for større forhold, tar vi utgangspunkt i de franske anbefalingene når vi vurderer hvilke tiltak som er best egnet i Kragerøvassdraget.

De fleste tiltak benyttet i Frankrike, men også i England, Scotland og Irland, baserer seg på at fisken ledes til et sideløp. Tiltakene bygger på to prinsipper; fiskens motivasjon for å følge hovedstrømmen inn kraftverksinntaket må hemmes eller avbrytes i nærheten av turbininntaket, og fisken må deretter ledes eller lokkes til et tilrettelagt sideløp som sikrer trygg passasje forbi kraftverket. Hemming oppnås med bruk av gitter/varegrinder, ledegjerder eller skremmetiltak (som strobelys og boblegardiner). Disse må være riktig utformet for å ha ønsket funksjon. Sideløpet må være plassert i nærheten av kraftverksinntaket og ha tilstrekkelig vannføring til at smolt og støing oppfatter det som en mulig vandringsvei.

2.3.1 Fysiske sperrer foran inntaket

Varegrinder eller andre gitterløsninger foran turbininntaket (som hindrer at store gjenstander kommer inn i turbinene) er installert i alle større elvekraftverk. Gitter benyttes mange steder også for å unngå at fisk går inn i turbinene (Turnpenny & O'Keeffe 2005) og kan være laget av forskjellige typer materialer, blant annet komposittmaterialer og stål. Varegrinda plasseres gjerne i en vinklet posisjon slik at fisken ledes til et sideløp. Det kan være betydelige tekniske og økonomiske utfordringer knyttet til å etablere gitter når arealet av inntaket er stort eller vannhastighetene er høye. De franske anbefalingene er basert på enkle tekniske løsninger hvor man utnytter fiskens kjente reaksjonsmønster når den ankommer en varegrind. Dersom varegrindene utformes riktig kan de være en effektiv fiskesperre og vil alltid være en vesentlig del av tiltaket. Varegrinder ved norske elvekraftverk er normalt ikke utformet som et fisketiltak, og er derfor sjelden omtalt i konsesjonsvilkårene.

Varegrinda vil fungere som et fysisk vandringshinder hvis fisken er breiere enn lysåpningen mellom stavnene. Laksefisk har en bredde som er ca. 50 % av høyden som igjen er 20 % av lengden. Bredden til en smolt er således omtrent 10 % av lengden. For å unngå at nedvandrende fisk kiler seg fast bør åpningen mellom grindstavnene være ned i 8-9 mm for at varegrinda skal fungere som en fysisk barriere og hindre fastkiling av en 12 cm lang smolt. Hvis vassdraget har stor smolt kan lysåpninger opptil 12-15 mm være tilstrekkelig. Erfaring med smolt tilsier imidlertid at lysåpningen kan være større enn kroppsbredden og fortsatt ha ønsket effekt. Smolten har vist seg å være motvillig til å passere varegrind når lysåpningen er mindre enn 3 til 4 cm (Larinier & Travade 2002). Fra å være en fysisk sperre blir varegrinda da en midlertidig atferdssperre. Fisken vil øke oppholdstiden i inntaksbassenget foran varegrinda og søke alternative nedvandringsruter. Hvis slike ikke foreligger, eller at de er plassert slik at fisken ikke finner dem, vil den etter hvert passere gjennom varegrinda inn i turbinløpet. Dersom lysåpningen er større enn 4 cm vil graden av atferdssperring avta for deretter å opphøre ved lysåpninger på 6-7 cm eller større.

2.3.2 Varegrindenes lysåpning og utforming

Alle varegrindene i Kragerøvassdraget med unntak av Dalsfoss har 90 mm lysåpning og 10 mm tykke staver. Lysåpningene er således i utgangspunktet for store til at det er sannsynlig at de vil ha særlig effekt på nedvandrende smolt. Et viktig tiltak er derfor at varegrindene skiftes ut eller endres for å få smolt til å velge gunstige alternative nedvandringsveier forbi kraftverkene. Et alternativ til å skifte grindene er å etablere midlertidige varegrinder i fremkant av eksisterende grind. Disse kan tas bort når det ikke er behov for tiltak. Varegrinda må ha en utforming som reduserer den effektive lysåpningen ned mot 3 cm. Ettersom laksemolt primært vandrer nær overflata er det mulig at man kan oppnå god effekt med ei varegrind som går fra overflaten og et par meter ned. Denne løsningen er imidlertid etter det vi vet ikke testet ennå (men det foreligger planer for tester i Norge).

Varegrinder med mindre lysåpninger gir i utgangspunktet økt falltap, men redusert stavtykkelse og bedre utforming av stavnens profil kan redusere dette tapet betydelig (Raynal et al. 2013, Raynal et al. 2013). Det er ikke montert grindrensere i Kragerøvassdraget. I flomperioder foretas det relativt hyppig manuell rensing av varegrindene for å unngå tetting (E. Tafjord, pers medd.). Med overgang til mindre lysåpninger vil det trolig bli behov for grindrensere for å kompensere for falltap i perioder med mye driv.

2.3.3 Vannhastighet foran varegrinda

En tilstrekkelig lav vannhastighet inn mot varegrinda er også vesentlig for at den skal fungere som et godt tiltak. Hvis vannhastigheten blir for stor vil ikke fisken kunne snu og svømme motstrøms. Fisk kan håndtere høy vannhastighet over kort tid, men hvis den ikke raskt finner en fluktrute vil den presses mot eller gjennom varegrinda. Svømmekapasitet til laks er primært avhengig av kroppslengde og vanntemperatur, og er begrenset ved lave og relativt høye temperaturer (sjeldent et problem under utvandring). Smolt vil kunne opprettholde en hastighet på opptil 7 kroppslengder pr. sekund (84 cm/s for en 12 cm lang smolt) over kortere tid (Peake & McKinley 1998). Flere land benytter 2 ganger kroppslengde pr. sekund som høyeste akseptable hastighet (Turnpenny et al. 1998), men denne grensen underestimerer trolig evnen smolt og støing har til å svømme motstrøms (Larinier & Travade 2002) og i Frankrike brukes 50 cm/s (4 kroppslengder/s) som grense. Høyere hastigheter kan fungere hvis fisken lett finner sideløpet.

Vannhastigheten måles ofte ca. 10-30 cm foran varegrinda. Hastigheten vil ikke være uniform over hele grinda. Fisk vil normalt da søke etter områder hvor vannhastigheten ikke er for høy, og slike områder forekommer gjerne i overflaten dersom øvre del av varegrinda er neddykket. Oppbremsing av vannstrømmen mot betongvegger vil redusere vannhastigheten i betydelig grad, og skaper egnede oppholdssteder for ankommende smolt og utgytt laks. Slike forhold kan benyttes for å lede fisk til et sideløp hvor det samtidig er viktig å sørge for at forholdene i sideløpet ikke oppleves som ugunstig med rask akselerasjon av vannhastighet eller turbulente vannstrømmer ved første passasjepunkt. Vannhastigheter kan måles i eksisterende kraftverk før ny varegrind installeres.

Dersom vannhastighet foran varegrinda er for høy er det flere måter å løse dette på. Mens det å øke tverrsnittsarealet på inntaksåpningen for driftsvannet kan være en dyr og vanskelig gjennomførbart løsning, vil det å vinkle varegrinda være en billigere løsning. En varegrind som settes opp med en vinkel på 17° i forhold til vannstrømmen, redusere vannets hastighet vinkelrett på varegrinden fra 1,0 til 0,3 m/s (Bates & Vinsonhaler 1957). Dette tilsvarer den hastigheten fisken må svømme i for å komme seg vekk fra varegrinda. Vannhastigheten langs varegrinda derimot vil være nær 1 m/s. En skråstilt varegrind har dermed en dobbel fordel; den reduserer vannhastighet og den kan lede fisken til et sideløp som er etablert i den ene enden av varegrinda.

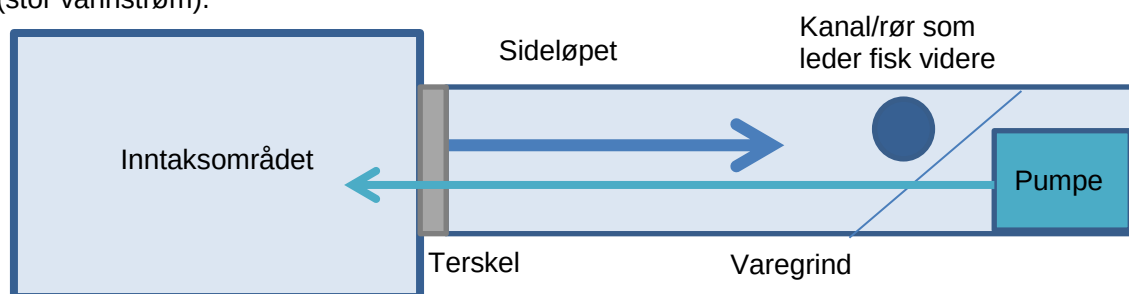
2.3.4 Sideløpet

Det å hindre eller hemme fiskens bruk av turbininntaket er ikke tilstrekkelig for å berge fisken raskt og levende forbi kraftverket. Fisken må samtidig tilbys en alternativ vandringsvei - et sideløp. Sideløp skal ha inngangen enten som en del av varegrinda eller stå i umiddelbar nærhet til varegrinda. Mens en utvandringsløsning som er lokalisert mer enn 2 m oppstrøms varegrinda i liten grad vil bli benyttet vil en tilsvarende løsning plassert mindre enn 1 m fra varegrinda være optimal (Larinier & Travade 2002, Turnpenny et al. 1998).

Inntaket til sideløpet må utformes slik at det her ikke oppstår for rask økning i vannhastighet eller turbulens (Larinier & Travade 2002). Inntaket til sideløpet kan med fordel utformes som en trakt (Haro et al. 1998). I en trakt vil vannhastighet akselerere (1 m/s pr. m) gradvis opp til hastigheter på 3 m/s. En slik løsning sikrer at man har gode hydrauliske betingelser ved innløpet og at vannhastighet øker innover i sideløpet slik at fisken følger vannstrømmen videre fremfor å returnere til turbininntaket.

Effektiviteten til sideløpet er sterkt knyttet til vannføringsbrøken mellom drift- og spillvannføring. Hovedregelen er desto mer vann til sideløpet, desto bedre blir avledningseffektiviteten. Vannføringen som avledes fra hovedstrømmen og ut gjennom sideløpet setter opp en vannstrøm som skal gi avledningsstimuli for fisk til å forlate vannstrømmene knyttet til turbininntaket. Vannbehovet vil være sterkt knyttet til det hydrauliske miljøet omkring varegrinda og vil kunne være ned mot 2 % av totalvannføringen dersom varegrinda er skråstilt for å øke til 5 % når grinda står vinkelrett på vannstrømmen (Odeh & Orvis 1998). I Frankrike angis vannføringen i

sideløp til å ligge mellom 2 og 10 % avhengig av blant annet sideløpets plassering, varegrindas bredde og vannhastigheter (Larinier & Travade 2002). Vann til sideløpet kan således i noen tilfeller gi et ikke ubetydelig tap i kraftproduksjon under smoltutvandringsperioden. Dette tapet kan reduseres ved at mye av vannet som brukes til å tiltrekke fisk pumpes tilbake til inntaksbassenget. En mulig løsning er skissert i **figur 2**. Sideløpet utformes slik at mye vann kan brukes til å tiltrekke fisk, vann og fisk skilles og fisken transporteres videre i en begrenset vannstrøm, mens resten av vannet pumpes tilbake. Dette kan være energimessig gunstig så lenge vann ikke må pumpes høyt. Et regneeksempel med utgangspunkt i Kragrøvasdraget kan illustrere dette: Dersom produksjonsvannføringen reduseres fra 36 til 34 m³/s (2 m³/s brukes i sideløpet) og fallhøyden i kraftverket er 10 m vil en enkel produksjonsformel tilsi et produksjonstap på 4700 kWh pr. døgn. En pumpe med løftehøyde på 0,5 m vil forbruke i størrelsesorden 50 kWh, som gir et døgnforbruk på 1200 kWh. Pumping av vann vil dermed kunne kompensere for en stor del av produksjonstapet samtidig som man får en god tiltrekning av smolten (stor vannstrøm).



Figur 2. Skisse over prinsippløsning (sett ovenfra) for å pumpe vann tilbake til produksjon.

Vannbehovet ut sideløpet vil endres med endringer i totalvannføring. Dette kan håndteres ved at det plasseres profiler i innløpet til sideløpet, hvor profilstørrelse er optimalisert ut fra hydrauliske forhold (Johnson & Dauble 2006, Rainey 1985). Når vannføringen i elva overstiger slukekapasiteten til kraftverket vil sideløpet kunne bli neddykka. Det kan tas hensyn til dette ved at veggene på sideløpet lages noe høyere enn vannstandsnivået under flom. Dermed vil sideløpets funksjon opprettholdes også ved flom.

Sideløpet bør plasseres slik at det ikke oppstår uønsket oppadgående strømminger i området. Om slike oppstår kan dette motvirkes ved å montere perforerte plater eller rister horisontalt ved inntaket til sideløpet (Larinier & Travade 2002). Det vil være en fordel med dykka varegrind i forhold til en som stikker opp av vannspeilet. Med en dykka varegrind kan det lettere settes opp et godt hydraulisk bilde som dermed reduserer fiskens oppholdstid ved turbininntaket, skaper gode oppholdssteder nært overflata og dermed reduserer vannbehovet som skal til for å gi attraksjonsstimuli mot en alternativ nedvandringsvei.

Sideløp som beskrevet over er utprøvd i Storelva, Tvedestrand. Her er sideløpet plassert vinkelrett på varegrinda. Lysåpningen til varegrinda er 50 mm. Når sideløpet tilføres < 3 % av vannføringen i elva benytter < 40 % av smolten dette alternativet. Når sideløpet tilføres > 4 % av vannet øker effektiviteten til > 80 %. Små fisk er mer villig til å vandre ut turbinløpet enn stor fisk (F. Kroglund upubliserte resultater).

Tverrsnittsarealet på sideløpet vil være avgjørende for hvor mye vann som kan avledes denne veien. Utformingen må derfor tilpasses slukeevnen til kraftverket. Vi har fått opplyst at kraftverkene i Kragrøvasdraget stanser når vannføringen kommer under 8 m³/s. Dette settes derfor som nedre vilkårsgrænse. Maksimal vannføring gjennom kraftverkene er 36 til 40 m³/s. Dersom vi antar at de hydrauliske forholdene ved sideløpet er moderat gunstige bør sideløpet ha 5 % av totalvannføringen. Under mer gunstige forhold kan dette forbruket reduseres. Mulige vannføring til sideløpet er beregnet nedenfor (**tabell 3**), med tilhørende dimensjoneringer av sideløpet i **tabell 4**. Dimensjonering av sideløpet er beregnet etter overløpsformelen $Q = C \cdot b \cdot (2g)^{0,5} \cdot$

$H^{1,5}$, der Q er vannføringen (m^3/s), b er bredden (m), g er tyngdeakselerasjonen ($9,81 m/s^2$), H er overløpshøyden (m) og med antatt vannføringskoeffisient på 0,4 (Larinier 2002).

Tabell 3. Mengde vann (m^3/s) sideløpet må tilføres ved ulike vannføringer, avhengig av om de hydrauliske forholdene ved sideløpet er gunstige (2 % av totalvannføringen), moderat gunstige (5 %) eller lite gunstige (8 %).

Vannføring	VF sideløp		
	2 %	5 %	8 %
8	0,16	0,4	0,6
10	0,2	0,5	0,8
15	0,3	0,8	1,2
20	0,4	1,0	1,6
25	0,5	1,3	2,0
30	0,6	1,5	2,4
35	0,7	1,8	2,8
40	0,8	2,0	3,2

Tabell 4. Mengden vann (m^3/s) ved ulik dimensjonering av sideløpet.

Bredde (cm)	Høyde (cm)				
	30	50	70	100	140
30	0,09	0,19	0,31	0,53	0,88
40	0,15	0,31	0,52	0,89	1,47
50	0,20	0,44	0,73	1,24	2,05
60	0,29	0,63	1,04	1,77	2,93
70	0,35	0,75	1,25	2,13	3,52

2.3.5 Ledesystemer til sideløpet

I tilfeller der sideløpet ikke kan plasseres på en gunstig hydrologisk måte i nærheten av inntaket, kan det settes opp ledegjerder (Louvres) som guider smolten mot sideløpet. I Frankrike benyttes det i tillegg kvikksølvbelysning for å trekke fisken inn mot sideløpet og til å lede fisken inn i mørke kanaler (Gosset & Travade 1999, Larinier & Boyerbernard 1991). Det foreligger ingen kunnskap om dette vil virke i Norge. Vi har lysere netter enn i Frankrike. Samtidig kan bruk av kvikksølvbelysning være nødvendig hvis fisken skal lokkes inn i kanaler/tuneller.

2.3.6 Etter sideløpet

Både smolt og vinterstøing er svært sårbare under nedvandring og har lett for å miste skjell. Økt skjelltap vil kunne gi i redusert overlevelse på grunn av osmotiske påvirkninger i saltvann. Transportsystemet fra sideløpet tilbake til elva nedenfor kraftverket må derfor utformes på en slik måte at skjelltap unngås. Fritt fall kan benyttes såfremt fallhøyden ikke er for stor og det er tilstrekkelig med vann i mottaksbassenget. Skråstilte åpne kanaler kan benyttes, og kan være lange og ha fall på opp mot 45° . Odeh & Orvis (1998) har gitt noen generelle råd om oppsamlingsbassenger og fallhøyder. Et oppsamlingsbasseng (som smolten faller ned i) bør være $10 m^3$ pr. m^3 vannføring i sideløpet. Dybden på bassenget bør være minst $\frac{1}{4}$ av fallhøyden, men ikke under 90 cm når fallhøyden er $<3,6$ m. Nedvandringssløpet kan også være en del av en laksetrapp, men ikke en Denil-trapp (se kap. 4.1). Mye turbulens i transportstrengen kan også gi skjelltap og bør unngås. Det er også mulig å samle opp smolten ved sideløpet og transportere den videre med bil

3 Oppvandring av gytemoden laks

3.1 Plassering av fisketrapp og vanntilførsel i trappa

For å få en velfungerende fisketrapp er det viktig at inngangen til trappa er plassert i nærheten av hovedstrømmen slik at oppvandrende fisk finner den. Hvis inngangen til trappa er ugunstig plassert eller vanntilførselen til trappa er for lav i forhold til det som kommer ut fra kraftverket, så vil laksen bli forsinket og eventuelt også la være å gå opp trappa (Thorstad et al. 2008). Fisketrappene vil bare være dimensjonert for $0,5 - 1 \text{ m}^3/\text{s}$ (se de neste avsnittene), mens det kommer $36-40 \text{ m}^3/\text{s}$ ut fra kraftverket. For å lokke laksen inn i trappa kan det slippes ekstra vann inn i nederste trinn av trappa eller ved siden av inngangen. Der det er hensiktsmessig, kan vann fra nedvandringssløpet for smolten brukes til dette, dvs. la utgangen av sideløpet ende nederst i eller ved siden av inngangen til trappa (**figur 3**).

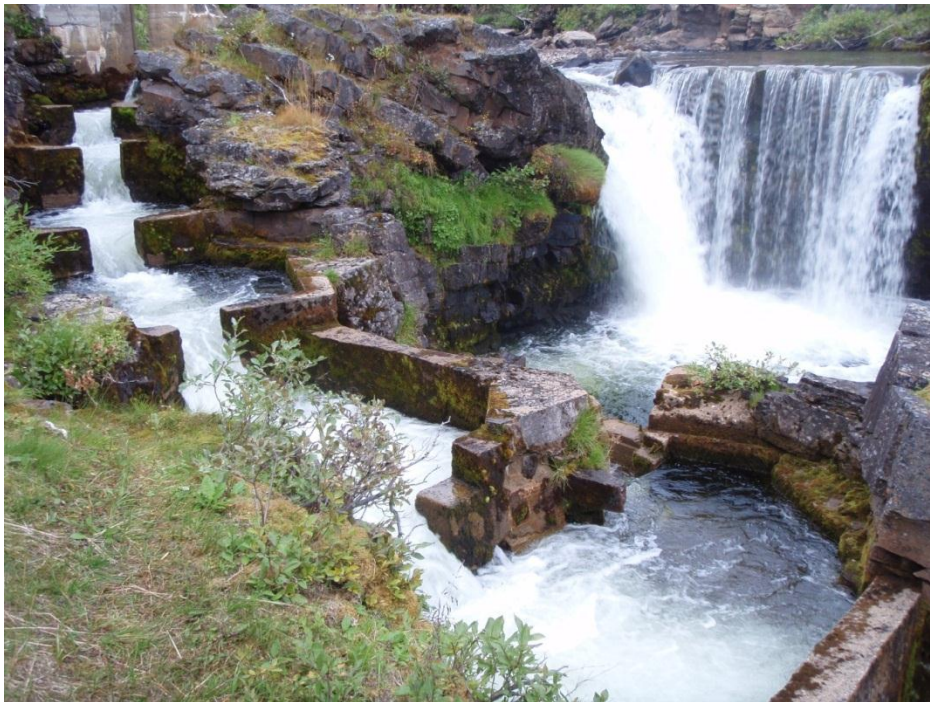


Figur 3. Spaltetrapp med parallelle løp for attraksjonvann og sideløp for smolt i Gave d'Pau, Frankrike. Foto: Morten Kraabøl, NINA.

3.2 Ulike typer fisketrapper

3.2.1 Kulpetrapp

I Norge er over 90 % av alle laksetrapper bygget som kulpetrapper, enten støpt i betong, som vil være det aktuelle i Kragerøvassdraget, eller sprengt i fjell. Trappen består normalt av kummer med overløp utformet som rektangulære slisser i toppen av hver vegg mellom kummene. Typisk dybde i kummene er 1-1,5 m, med lengde 3-4,5 m og bredde 2-2,5 m. Trinnhøyden på kulpetrapper i Norge er fra 30 til 60 cm (Direktoratet for naturforvaltning 2002). Vannføringen bør være minst 500 liter/s. Fordelene med kulpetrappene er i hovedsak at de kan utformes fleksibelt i forhold til terrenget, er enkle å planlegge, samt at vannforbruket er lavt. Erfaringer fra norske forhold er at kulpetrapper fungerer godt (Fjeldstad et al. 2013, i trykken), forutsatt god plassering av inngangen, og riktige hydrauliske forhold. En ulempe med kulpetrapper er imidlertid at de ikke regnes som et godt alternativ som nedvandringsskorridor for smolt, fordi kulpene kan forsinke nedvandringen (Edward Meyer, pers. medd.).



Figur 4. Kulpetrapp forbi vandringshinder i Bergebyelva i Finnmark. Foto: Hans-Petter Fjeldstad, Sintef.

3.2.2 Spaltetrapper

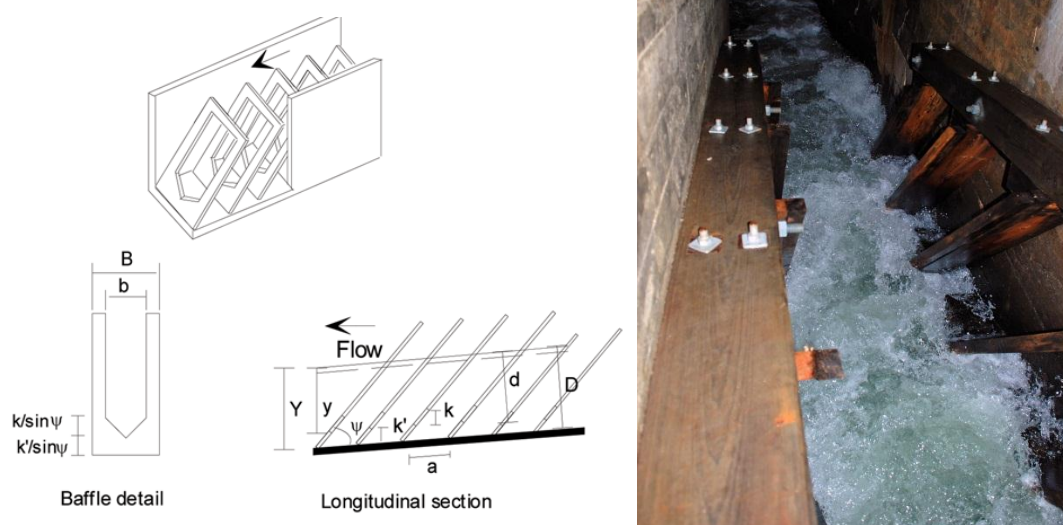
En spaltetrapp er prinsipielt lik en kulpetrapp, men det er en åpning (spalte) mellom kulpene som går hele veien ned til bunnen av hver kulp. Dette betyr at vannstanden i trappen kan variere med vannføringen. Spaltetrapper er fleksible for vannstandsendringer ved vanninntaket, og er dermed en foretrukket løsning når overvannet har varierende nivå. Størrelsen på kulpene og trinnhøyden er som for en kulpetrapp. Vannforbruket er fra 500 liter/s og oppover.



Figur 5. Spaltetrapp i Fyrisån, Sverige. Foto: Cmglee, en.wikipedia

3.2.3 Motstrømstrapper (Denil)

Motstrømstrapper kan bygges brattere enn kulpetrapper og spaltetrapper. Trappen består av bratte motstrømsrenner i betong med 5-10 meters lengde og bredde på ca. 1 m, bundet sammen med hvilekulper på ca. 2 x 2 m. Motstrømsrennene har en helning på mellom 1:4 og 1:8, og i rennene er det plassert tverrplater (lameller) med ca. 0,5 meters avstand. I hver lamell er det en sentrisk plassert sliss (spalte) som fisken vandrer gjennom. Lamellene sørger for å redusere vannhastigheten som fisken kan vandre i. Dybden fra nedkant av hver sliss og til bunnen av betongrenna bør være minst 1 m. Motstrømstrapper fungerer best når fyllingsgraden er stor, og vannføringen bør være minst 1,0 m³/s for voksen laks. Vannføringen kan reguleres med ei inntaksluke.



Figur 6. a Oppbygging av motstrømstrapper. Figur etter Katopodis 1992. b. Motstrømstrapp i dammen ved Hunderfossen kraftverk. Foto: Morten Kraabøl, NINA.

3.2.4 Heis

Fiskeheis kan benyttes når fisken skal forsere en stor høyde på kort avstand. Anlegget består av en inngangskonstruksjon som vanligvis er utformet som inngangen til ei kulpetrapp eller spaltetrapp. Deretter går fisken inn i et kammer med en "kalv" som hindrer returvandring. Kammeret med fisken heises deretter vertikalt til ønsket høyde, styrt enten manuelt eller automatisk. På toppen tømmes fisk og vann over i ei renne hvor fisken spyles ned i elva på oversiden av vandringshinderet. Fiskeheiser har vært brukt med suksess i blant annet Frankrike og Nord-Amerika, men har ingen tradisjon i Norge. Vannforbruket er tilsvarende som for kulpetrapper og spaltetrapper.



Figur 7. Fiskeheis ved kraftverket Baigts i elva Gave de Pau, Frankrike. Foto: Frode Kroglund, NIVA.

4 Tiltak for opp- og nedvandring i Kragerøvassdraget

Basert på observasjoner under befaringen og tekniske data for de enkelte kraftverk (**tabell 5** og **tabell V1** i **Vedlegg**), presenterer vi i dette kapittelet anbefalte løsninger for opp- og nedvandring ved hvert enkelt kraftverk.

Tabell 5. Størrelse på varegrinder og kapasitet på inntak og flomavledning ved de enkelte kraftverk. Vannhastighet ved varegrind beregnet for maksimal drift (slukeevne).

	Slukeevne m ³ /s	Varegrind b x h (m) = A (m ²)	Lysåpning mm	Staver mm	Vannhast. m/s	Flomavledning
Kammerfoss	36	8 x 5,8 = 46,4	90	10	0,8	Overløp over damkrone
Vafoss	40	5 á 2,4 x 6 = 72	90	10	0,5	Østre flomluke: 100 m ³ /s Vestre flomluke: 130 m ³ /s Overløp over vestre damkrone til flomløp
Langfoss	36	8 x 6 = 48	90	10	0,75	Flomluker på 2 x 75 m ³ /s, øvrige flom over damkrone
Tveitereidfoss	36	8 x 6 = 48	90	10	0,75	Flomluker på 2 x 150 m ³ /s. Bjelkestengsler til sideløp når VF over 200 m ³ /s
Nye Dalsfoss	40					Vestre flomluke: 60 m ³ /s Østre flomluke: ca. 400 m ³ /s Ny østre flomluke: ca. 400 m ³ /s

4.1 Kammerfoss

4.1.1 Tiltak for nedvandring

Hovedvannstrømmen går inn en 90 meter lang kanal dannet av en halvøy (**figur 9**). Varegrinda er 8 m bred og har et areal på ca. 46 m². Vannhastighet i inntaksområdet er for høy for smolt, med en estimert vannhastighet på 0,8 m/s ved normal drift. Inntaksområdet og varegrinda er således uheldig utformet for nedvandrende smolt og støing.

Problemene kan reduseres betraktelig ved å ta i bruk flere samtidige tiltak.

1. Etablering av en ny skråstilt varegrind som står 15 til 20° på vannretningen, vinklet mot sideløpet. Denne varegrinda vil bli i størrelsesorden 20 til 25 m lang. Dybdeforhold må avklares.
2. Varegrinda må ha mindre lysåpning. Det er mulig å redusere lysåpning fra 100 til 33 mm samtidig som godstykkelse i staver reduseres fra 10 til 3,5 mm uten falltap. Økt areal vil redusere dagens falltap.
3. Sideløpet plasseres på vestsiden av dagens varegrind. Her er det allerede en grunn kanal som kan gjøres dypere. Plassering av sideløp i forhold til varegrind er god og lav vannføring i sideløpet kan trolig aksepteres (2-3 %). Benyttes 2 % må sideløpet kunne transportere 800 l/s. Dette oppnås med et sideløp som er 60 cm bredt og 1 m dypt. Inn-til det foreligger tilstrekkelig med erfaring anbefales at man gjennomfører tiltaket med et sideløp dimensjonert for 1600 til 2000 l/s og at man heller bruker mindre vann.
4. Vann kan eventuelt pumpes tilbake til inntaksbassenget.

5. Fra sideløpet kan fisken føres i en renne eller i rør langs fisketrappa (se neste avsnitt) og slippes ut ved inngangen til trappa

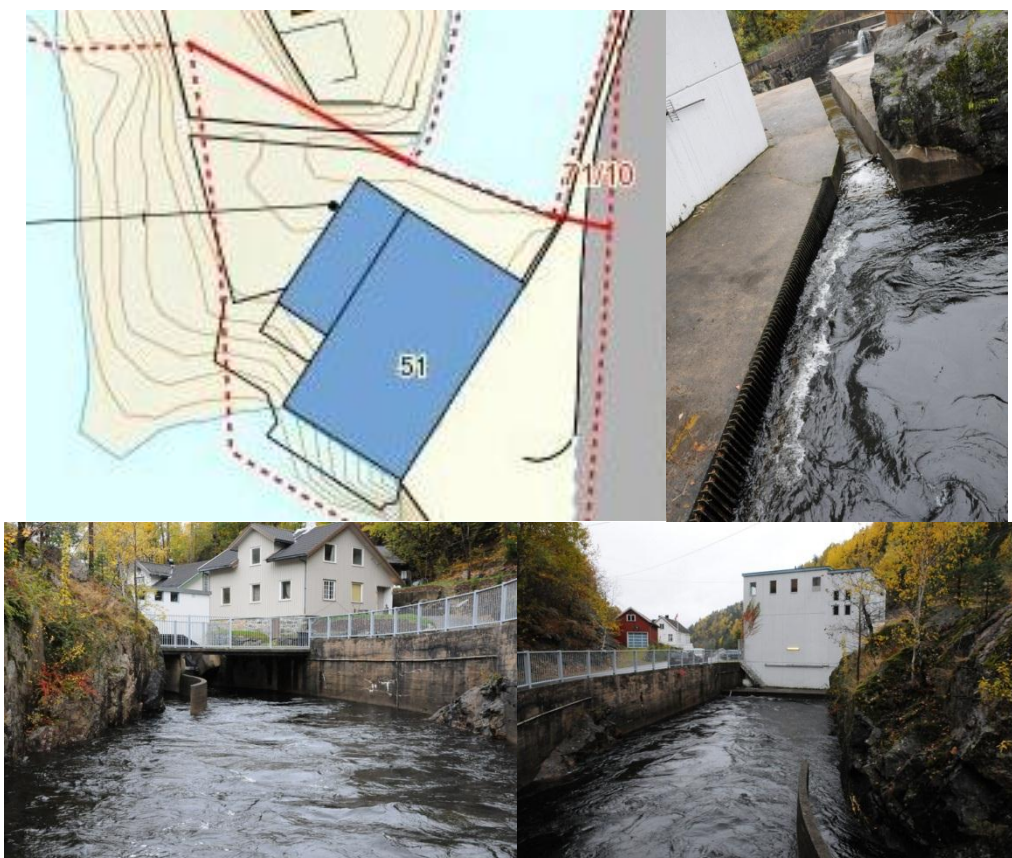
All flomavledning ved Kammerfoss skjer over hoveddammen eller dammen i vestre sideløp. Terskelen på hoveddammen ligger 15 cm lavere enn vestre sideløp. Smolt som eventuelt vil slippe seg over dammen ved flom antar vi overlever, siden fallhøyden er relativt lav, dvs. 4 meter på hoveddam og 3 meter på overløpsdammen, og det vil være godt med vann under.

Når vannføringen er under $8 \text{ m}^3/\text{s}$, kjøres ikke kraftverket og inntaksluka, som ligger ca. 40 meter ovenfor kraftverket stenges. Dette vil hindre smolten i å nå sideløpet. I henhold til overløpsformelen (se avsnitt 2.3.4), vil en vannføring på $8 \text{ m}^3/\text{s}$ over en 60 meter lang demning gi et overløp på ca. 18 cm. Når overløpet er over 15 cm, vil imidlertid noe vann også gå over overløpsdammen til venstre sideløp, slik at maksimalt overløpet over hoveddammen blir noe lavere, men likevel stort nok til at smolt kan gå over når det ikke finnes alternative utganger. Smolt som slipper seg over damkrona, vil trolig dø eller bli skadet som følge av fall mot berg eller grunt vann.

I normalår vil kraftverket kjøres alle dager i smoltutvandringsperioden og kun ha korte stans for vedlikehold, grindrensing eller retting av feil. I perioden 2002 – 2011 var det imidlertid ett år (2005) hvor det måtte holdes tilbake vann i magasinet, noe som medførte at vannføringen var under $8 \text{ m}^3/\text{s}$ i hele perioden 20. april – 20. mai, dvs. i den perioden en kan anta at det meste av smolten vil vandre ut (**tabell 6**). Med smoltutvandring under slike forhold vil den skisserte løsningen for smoltutvandring ikke fungere, og mye av smolten kan dø. Som et tiltak for å sikre smoltutvandring i slike perioder foreslås det at det føres et stålrør gjennom damkrona nær inngangen til kanalen, som festes til betongveggen på vestre side av halvøya og føres ned i den nederste hvilekulpen i laksetrappa (se nedenfor og **figur 9**). Røret må ha en kapasitet på $1 \text{ m}^3/\text{s}$, og vil i tillegg til å transportere smolt fungere som vanntilførsel til nedre del av laksetrappa når kraftverket stanses.

Tabell 6. Antall dager i hver måned og for årene 2002-2011 med vannføringer mindre enn $8 \text{ m}^3/\text{s}$ (ved Dalsfoss) som gjør at inntaksluka ved Kammerfoss stenges og kraftverket stanses.

År	Måned												Totalt
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2002	0	0	0	8	0	0	7	8	0	0	0	0	23
2003	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	9	0	12
2004	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	19
2005	0	0	0	11	31	7	0	11	0	4	0	0	64
2006	0	0	0	0	0	0	20	26	0	0	10	0	56
2007	0	0	0	0	0	9	0	0	10	3	17	21	60
2008	2	19	10	0	0	24	21	10	0	1	0	0	87
2009	0	0	0	0	0	18	2	0	0	0	0	0	20
2010	0	0	0	0	0	9	31	7	0	0	0	0	47
2011	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	6	0	9
Totalt	2	19	10	19	34	86	81	63	12	8	42	21	397

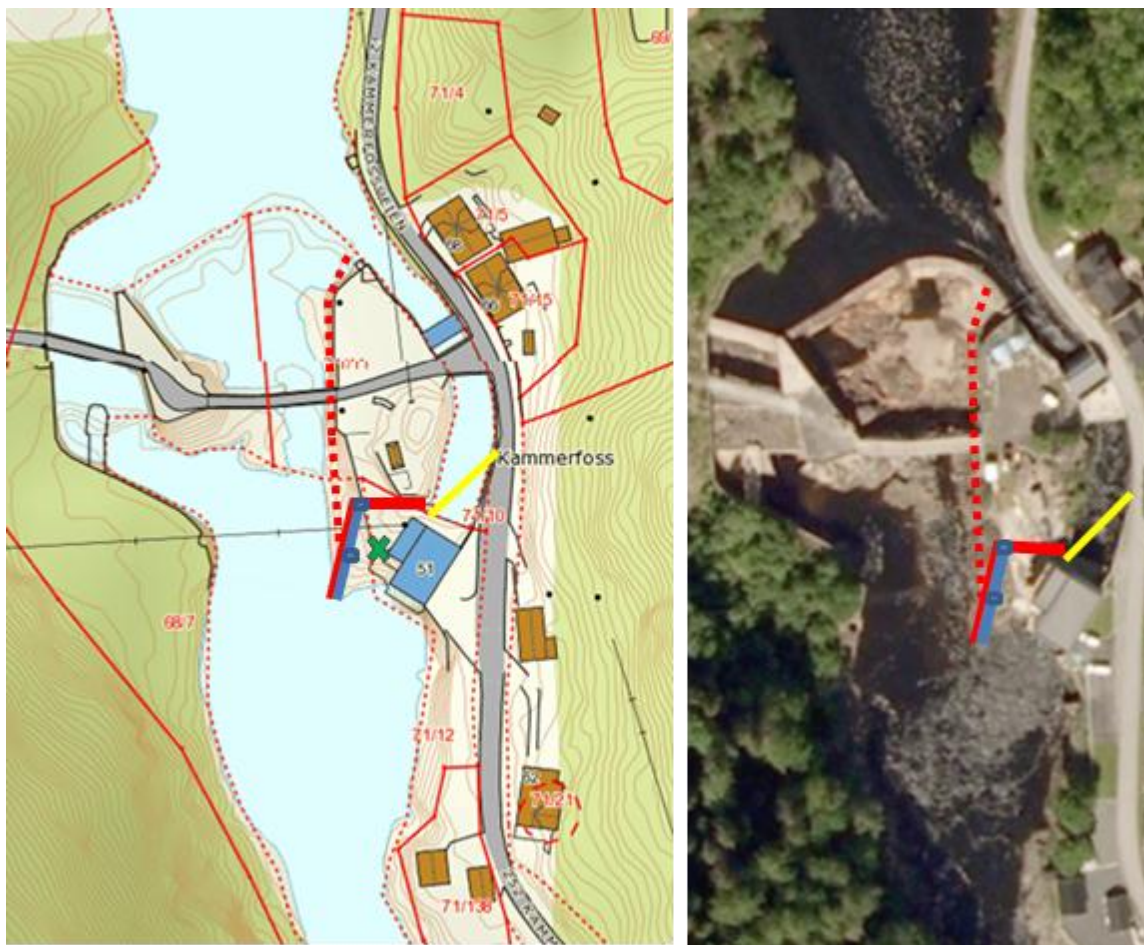


Figur 8. a) Kraftverket ved Kammerfoss med b) grunn spylerenne ved inntaket, inntakskanalen sett c) fra inntaket og d) mot inntaket

4.1.2 Tiltak for oppvandring

For å kunne ta ut høydemetrene over en kort strekning foreslår vi å bygge en motstrømstrapp (Denil-trapp) med inngang ved neset (**figur 9**). Trappa bør bestå av to renner på anslagsvis 12 meters lengde og med en høydeforskjell på 3 m hver. Mellom rennene anlegges en hvilekulp på 2,5 x 2,5 m. Bredde på rennene bør være ca. 1 m innvendig, og vangene 1,5-2,0 m høye. Vannforbruket tilsvarer 0,8-1,5 m³/s. Øverst må det være en ny hvilekulp kulp (2,5 x 2,5 m) som ender ved utgangen til det nye sideløpet for smolten, slik at laksen får et siste trinn opp i sideløpet (**figur 9**) og deretter kan vandre ut via inntakskanalen.

I perioder hvor inntaksluka er stengt, vil det ikke være vanntilførsel til trappa. Fordi dette kan skje relativt ofte og lenge enkelte år (**tabell 6**) og fordi dette er den første trappa, må den også sikres vanntilførsel under slik forhold. Dette gjøres ved tilførsel av vann (1 m³/s) via stålrøret fra luka i hoveddammen (se ovenfor), og laksen samles opp i nedre hvilekulp for manuell transport over demningen. Den voksne laksen kan samles opp i en kurv som er senket ned i hvilekulpen, og som heves og senkes med en kran (**figur 9**).



Figur 9. Tiltak for ned- og oppvandring skissert inn i a) kart og b) flyfoto. Varegrind (gult), sideløp og renne for utvandring av smolt (rød) og oppvandring av voksen laks (blå). Blå firkanter markerer plassering av hvilekulper. Stiplet rødt viser traséen for et stålør fra en luke i damkro- ne og ned i første hvilekulp i trappa. Om kraftverket stenges, vil røret gi vanntilførsel til trappa under oppvandringen (se tekst) og fungere som en utgang for smolten forbi dammen under utvandring. Et grønt kryss markerer mulig plassering av en kran for opp- og nedsenking av en oppsamlingskurv for oppvandrende fisk.

4.2 Vafoss

4.2.1 Tiltak for nedvandring

Siden inntaksbassenget ved Vafoss har et tverrsnitt med stort areal (**figur 10**), vil vannhastig- heten foran inntaket bli uproblematisk for smolten. Hovedvannstrømmen vil gå mot inntaket til turbinen inntil vannføringer overstiger slukeevnen vesentlig ($> 2x$). Hvor mye flomoverløpet på vestsiden av kraftverket vil påvirke strømbildet og virke som attraksjon for fisken er usikkert. Noe av attraksjonen kan eventuelt motvirkes ved enkle ledegjerder.

Dagens varegrind vil ikke hemme utvandring. Grinda bør derfor skiftes ut eller det kan settes på en utenpåliggende varegrind. Ved å vinkle spilene svakt på ny eller utenpåliggende grind, kan det settes opp en turbulens som leder smolten bort fra inntaket og mot sideløpet, Vare- grinda bør ideelt sett dykkes for å gi et gunstig hydraulisk miljø. Louvres (ledegjerder) kan også

settes opp i inntaksbassenget for å lede smolten mot sideløpet, hvis de andre tiltakene ikke er tilstrekkelige.

Et sideløp kan tas ut på østre side av varegrinda og føre smolten til en kum under damkrona (**figur 11**). Fra kummen kan det føres et rør eller en renne ned til inngangskulpen på heisen slik at smolten bruker spaltetrappa (se neste avsnitt) det siste stykke ned til elveløpet.

Sideløpet bør dimensjoneres for ca. $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Hvis sideløpet er 1 m høyt og 1,2 m bredt, gir dette en vannføring på $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (**tabell 4**). For å danne gunstige hydrauliske forhold rundt sideløpet, kan det bli nødvendig å slippe mye vann inn sideløpet. Produksjonstapet kan reduseres ved å pumpe vann fra oppsamlingskummen (under damkrona) tilbake til inntaksdammen.



Figur 10. a) Vafoss dam sett fra inntakssiden og b) overløpsdammen vest for inntaket.

4.2.2 Anbefalt løsning for oppvandring

En oppvandringsløsning her må ta fisken opp et stort fall på en kort strekning. Utløpet fra stasjonen ligger ca. 32 m nedstrøms inntaket og fallhøyden er på ca. 13,5 m, noe som gir en stigning på 1:2,3. Dette er for mye for en laksetrapp og det er for trangt å bygge trappa i flere vindinger. Vi foreslår derfor å kombinere en spaltetrapp med en vertikal heis, med vanntilførsel til trappa via smoltløpet (se avsnitt over).

Inngangen til spaltetrappa bør starte ved utløpet av kraftstasjonens østre side og gå opp langs betongveggen på stasjonsbygningen (**figur 11**). Spaltetrappa bør ha fire kulper, hver med et fall på 0,5 m, og en vannføring på $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Hver kulp må være ca. 3,5 m lang, 2,5 m bred og 1,5 m dyp. Trappa fører fram til en vertikal heis, som hever fisken ca. 12 m. Oppe må det bygges ei ca. 20 m lang renne hvor fisken kan spyles ut fra heiskurven og over dammen. Renne kan for eksempel bestå av karbonstål malt med to-komponent epoxy, plast eller treverk. Renne må være ca. 0,5 m bred og 1,0 m høy.



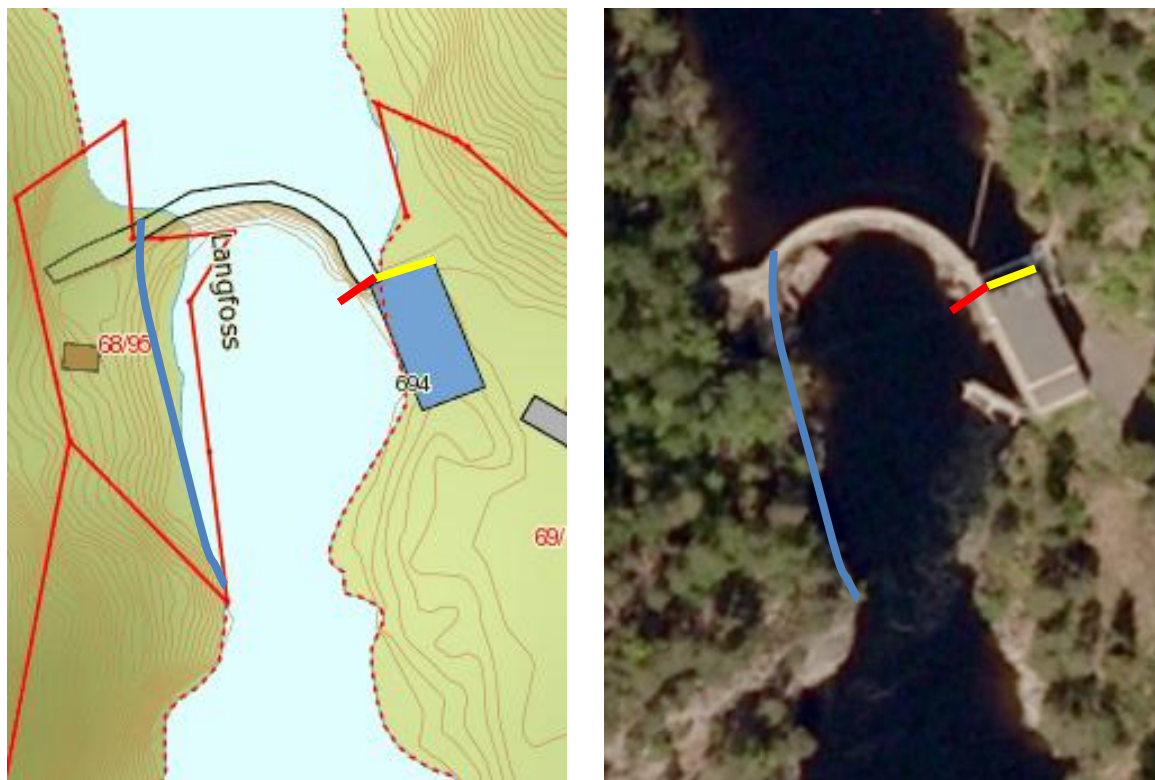
Figur 12. Inntaket ved Langfoss kraftverk, bildet tatt i sørvestlig retning.



Figur 13. Langfoss kraftverk ved a) flom og b) ved lav vannføring.

4.3.2 Løsning for oppvandring

Ved Langfoss vil det være enklest og billigst å bygge en spaltetrapp eller en kulpetrapp som følger den gamle tømmerrenna og har inngang ved et berg nedenfor (5-10 m nedenfor rørbukk). Dette vil gi en trapp på ca. 50 m fordelt på ca. 15 kulper. Størrelse på kulpene bør være $b \times l \times d = 2.5 \times 3 \times 2$ m og vannføringen ca. $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ uansett om det velges en spalte- eller kulpetrapp. Selv om inngangen til trappa ligger på motsatt side av kraftverket kommer det nær utløpsstrømmen fra kraftverket og fisken bør kunne finne inngangen.



Figur 14. a) Kartutsnitt og b) flyfoto av Langfoss kraftverk med omtrentlig plassering av kulpetrapp (blå), varegrind (gul) og sideløp (rød).

4.4 Tveitereidfoss

4.4.1 Tiltak for nedvandring

Et sideløp kan etableres i bjelkestengsel på østsiden av varegrinda. Løpet må kunne håndtere vannføringer på opptil $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Smolten føres i rør eller renne til nederste kulp i laksetrappa (**figur 15, avsnitt 4.4.2**). Tilbakepumping av vann vil trolig være energimessig gunstig.

Det er viktig at det hydrauliske miljøet foran varegrinda er gunstig for etablering av sideløp. Vi observerte ved befaringen strømvirvler foran varegrinda som kan ha uheldig effekt på smoltutvandring. Disse kan elimineres med enkle strømmettere (plater i vannet).

Dagens varegrind bør erstattes av en varegrind med mindre lysåpning eller det bør settes inn en midlertidig ekstra varegrind i smoltperioden (se **avsnitt 2.3.2**).



Figur 15. a) Aktuell trasé for laksetrapp langs veggen av kraftverket, b) demningen sett ovenfra, c) kartutsnitt og d) flyfoto av Tveitereidfoss kraftverk med plassering av kulpetrapp eller spaltetrapp (blå), varegrind (gul) og sideløp for smolten (rød).

4.4.2 Løsning for oppvandring

Den beste plasseringen for en trapp vil være i elveløpet langs veggen av kraftverket (**figur 15**). Her er det imidlertid bratt. Fallhøyden er 9,1 m og horisontal avstand fra damkrone til inngang på trappa vil være ca. 22 m, noe som gir en stigning på 41 % (1:2,4). Vi foreslår derfor å bygge en kulpetrapp (alternativt spaltetrapp) i tre slynger (inn mot dammen langs kraftverksdammen, deretter tilbake samme vei og til slutt inn til dammen igjen) og med 17-18 kulper. For å sikre en god inngang til trappa bør trappen starte inne ved kraftbygningen.

Kulpene i trappa bør ha innvendige mål $b \times l \times d = 2.5 \times 3.5 \times 1.5 \text{ m}^3$, og trappa må ha ei vannføring på minst $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. I Tveitereidfoss er vannivået oppstrøms dammen relativt konstant. Dette innebærer at en spaltetrapp ikke har et stort fortrinn med hensyn til vanninntaket framfor en tradisjonell kulpetrapp, hvor det eksisterer lang erfaring. Trappen kan føres ut av den allerede eksisterende luka i dammen.

4.5 Dalsfoss

4.5.1 Tiltak for nedvandring

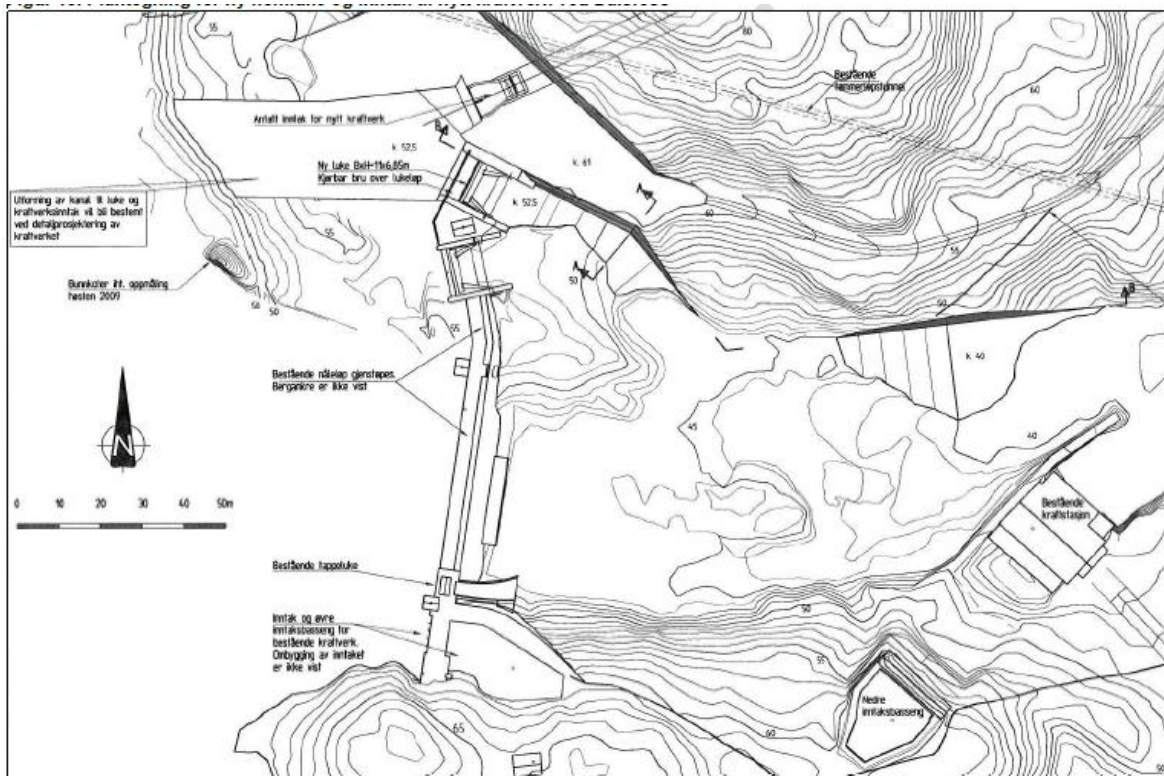
Det nye kraftverket er ikke ferdig prosjektert. Det er dermed heller ikke mulig å skissere eksakt plassering og utforming av tiltaket. Noen generelle betraktninger kan likevel gjøres med utgangspunkt i planene slik de foreligger pr. februar 2013.

Før nytt vanninntak til turbiner etableres bør det tas hensyn til samlokalisering med sideløpet for nedstrøms fiskepassasje, siden det vil være merkostnader knyttet til å etablere dette sideløpet i ettertid. Sideløpet kan plasseres på østre side av ny varegrind (**figur 16**). Herfra ledes fisken videre inn høyt oppe i fisketrappa (se nedenfor) gjennom en egen tunnel. Vannhastighet foran den nye varegrinda bør ikke overstige 0,5 m/s, og det er gunstig at den er finmasket og skråstilt slik at fisken ledes effektivt mot sideløpet. Vannstandsvariasjoner kompliserer tiltaket, siden sideløpet må fungere uavhengig av vannstand. Det kan dermed være nødvendig med flere innganger til sideløpet.

4.5.2 Løsning for oppvandring

Vi foreslår å etablere en laksetrapp i den tidligere tømmerrenna nord for kraftverket (**figur 16** og **17**). En laksetrapp anlagt i tømmerrenna må utnytte tverrsnittet av tunnelen til det ytterste, dvs. at kulpene må gå ut i full bredde, noe som på det bredeste er snaut 2 m. Siden tunnelen også er lav under taket foreslås et lite fall mellom hver kulp, ca. 0,3 m. Det blir da ca. 60-65 kulper for å overkomme fallet på 19 m, hvor hver kulp har en lengde på knappe 4 m. Det relativt store antall korte kulper er valgt for å opprettholde en god dybde i trappa. Vannføringen bør være ca. 0,5 m³/s.

Det kan være aktuelt å bygge denne trappa i seksjoner bestående av plastrør som trekkes inn i tunnelen ovenfra. I så fall kan løsningen bety at seksjonene senere kan demonteres i motsatt retning. Et argument for seksjonsløsning er at alt arbeid inne i tømmerrenna er tungvint på grunn av plassmangel. Under befaringen var det eksempelvis slitsomt å gå gjennom tunnelen i krumbøyd stilling, til tross for at gulvet var plant å gå på. Plassmangel vil også vanskeliggjøre framtidig vedlikehold, siden tunnelen er trang og vanskelig tilgjengelig for inspeksjon.



Figur 16. Plantegning for ny flomluke og foreløpig plassering av inntak.



Figur 17. Kart over Dalsfoss med plassering av kulpetrapp skissert inn der tømmerrenna ligger (blå stiplet) og foreslått plassering av sideløp for smolt (rød stiplet) fra det nye inntaket til kulpetrappa i tunnelen. Varegrinda (gult) er skissert inn noe ut fra inntaket, for å redusere vannhastigheten inn mot varegrinda.

5 Kostnader ved tiltak

5.1 Kostnader for bygging av fisketrapper

I forprosjektet (Forseth et al. 2006) ble det gitt kostnadsestimat for de fem fisketrappene basert på vurderinger fra Kåre Myhre som har prosjektert og bygd svært mange laksetrapper i Norge (**tabell 5**).

Tabell 5. Kostnader (millioner kroner) til bygging av fisketrapper estimert i forprosjektet (laveste og høyeste), og i dette prosjektet (klassifisering og estimert kostnad)

Lokalitet	Vurderinger i forprosjektet		Vurderinger i denne rapporten	
	Laveste estimat	Høyeste estimat	Kostnadsklasse	Millioner 2012 kr
Kammerfoss	0,6	0,8	Lav	2,0
Vafoss	2	2	-	4,0
Langfoss	1,6	1,6	Høy	3,6
Tveitereidfoss	1,5	1,5	Moderat	3,5
Dalsfoss	2	3,5	Høy	8,9
Totalt	7,7	9,4		22,0

Etter befaring i oktober 2012 ble det foreslått å beholde de prinsipielle, tekniske løsningene for fisketrappene i Langfoss og Tveitereidfoss, mens løsningen i tømmerrenna blir foreslått for Dalsfoss. Dette ble vurdert som det billigste alternativet i forprosjektet (2- 2.5 mill.kroner). For Kammerfoss foreslås nå en motstrømstrapp i stedet for en kulpetrapp. Dette bør ikke være en fordyrende endring. I Vafoss foreslås en heis i stedet for en kulpetrapp. Et foreløpig estimat for en heis er ca. 2 mill. kroner (kostnadsantydning fra en leverandør), men denne løsningen er ikke tidligere utprøvd i Norge, og konseptet er ikke helt ferdig utviklet. I tillegg kommer kostnader til de elementene som fører fisken inn og ut av heisen. Disse er grovt estimert til å koste 1,5 mill. NOK.

Kostnadsestimatet i forprosjektet, totalt kr 130-160 000 pr. høydemeter (totalt 58 høydemeter) ble sammenliknet med erfaringstall for norske laksetrapper fra Direktoratet for naturforvaltning, (DN) som ligger i området 50 000 til 350 000 kr pr. høydemeter trapp (2001-kroner). Slik sett ble de funnet rimelige. Det er flere forhold som tyder på at dette estimatet ligger for lavt. Alle anleggsarbeidene krever enten dykkerarbeid eller at kraftproduksjonen stanses i deler av anleggsperioden (eller begge deler). Videre framstår i alle fall noen av anleggsarbeidene som store sammenlignet med andre trappeprosjekter i Norge.

På befaringen ble det påpekt at anleggsarbeid i Langfoss er krevende fordi anlegget blir liggende vanskelig tilgjengelig fra vei. Endelig teknisk løsning for trapp i tømmerrenna på Dalsfoss må også gjennom en mer detaljert undersøkelse. Selv om løsningen ansees gjennomførbart, er det usikkerhet knyttet til anleggsarbeidet fordi tunnelen er trang, og det må gjennomføres målinger for å avklare behovet for meisling av fjell. Disse momentene tilsier at kostnadsestimatene fra forprosjektet bør økes betydelig for å anslå riktig kostnadsramme, herunder produksjonstap, og det vil være riktig å gjøre en kvalifisert beregning av disse, utført av personell med kompetanse fra komplisert anleggsvirksomhet. For å gi et grovt kostnadsoverslag tar vi utgangspunkt i de historiske erfaringstallene fra DN. Vi klassifiserer prosjektene (med unntak av Vafoss) som lave, moderate og høye med kostander pr. høydemeter på henholdsvis 150 000 kr, 250 000 kr og 300 000 kr (nær øvre grense i erfaringstallene) i 2001-verdi. Vi klassifiserer kostnadene som lav for Kammerfoss, moderat for Tveitereidfoss og høy for Dalsfoss og Langfoss (**tabell 5**). Om vi indeksregulerer ved byggekostnadsindeksen fram til 2012-nivå og holder Vafoss utenom, blir kostnadsestimatet på 17,5 millioner (krafttap ikke inkludert) for oppvandringsløsningene (**tabell 5**). I tillegg kommer trapp og heis i Vafoss, som er grovt an-

slått til 4 millioner, og tilleggsløsning for vanntilførsel til trappa i Kammerfoss. Totalkostnadene for oppvandringsløsninger anslåes således til i størrelsesorden 22 millioner.

5.2 Kostnader ved nedvandringsløsningene

En stor del av kostnadene ved nedvandringsløsningene er knyttet til nye grinder. Ser vi bort fra Dalsfoss, hvor et nytt kraftverk (med varegringer som kan tilpasses) er under prosjektering, anbefaler vi i utgangspunktet at eksisterende varegrinder erstattes eller suppleres med varegrinder med lysåpninger på 3 cm i de fire andre kraftverkene. Disse har et samlet grindareal på ca. 214 m². Vi har ikke kontaktet leverandører, men NVEs «Inntakshåndbok» for småkraftverk (Jenssen et al. 2006) og informasjon fra noen større nye prosjekter antyder kostnader pr. m² på mellom 10 000 og 40 000,- (ferdig montert) for standard varegrinder (50 mm senteravstand stavene). Kostnadene er størst pr. m² for små grinder og flater ut ned mot 10 000,- pr. m² for store grinder. Bruker vi kostnadskurvene på de relevante grindstørrelsene for Kragerøvassdraget og korrigerer for konsumprisindeksen (fra 2005 til 2012) blir kostnadene ca. 10 500,- pr. m². Tar vi utgangspunkt i kostnader på mellom 10 000 og 15 000,- pr. m² (noen ferske tall antyder kostnader opp mot 15 000) og øker kostnadene med 50 % på grunn av liten lysåpning blir totalkostnadene for alle fire kraftverkene i størrelsesorden 4 til 5,5 millioner. Kostnader ved eventuelle grindrensere er ikke inkludert.

Kostnadene ved å etablere sideløp er trolig moderate for de fire nederste kraftverkene. Vi tar utgangspunkt i en kostnad pr. kraftverk på mellom 0,5 og 1 million slik at totalkostnaden for sideløpene blir på mellom 2 og 4 millioner. For Dalsfoss kan det bli nødvendig å føre fisken i en liten tunell inn i tømmerrenna (for å sikre fall), noe som kan øke kostnadene.

Falltap på grunn av redusert lysåpning i grindene er ikke vurdert, primært fordi dette er avhengig av hva slags materiale, utforming og dermed dimensjonering som benyttes for stavene. Vi har også forslått at det bør vurderes om det er lønnsomt å pumpe noe av vannet tilbake, og vi har derfor heller ikke vurdert produksjonstap på grunn av vannslipp i sideløpene. Vi påpeker også at et større forskningsprosjekt er planlagt og omsøkt (Norges forskningsråd, EnergiX-programmet) hvor grindløsninger har spesiell fokus. Om dette blir finansiert kan resultatene bli meget relevante for utvandringsløsninger i Kragerøvassdraget.

5.3 Alternative og stegvise løsninger

Det vil ta tid eventuelt å etablere en laksebestand i Kragerøvassdraget, både om man baserer seg på naturlig kolonisering eller aktiv etablering ved utlegging av rogn. Samtidig er tiltakene som er nødvendige for at fisken på egen hånd skal kunne vandre opp og ut av vassdraget relativt omfattende. Selv om det vil kunne bli fiskeproduksjon og fiske også på strekningen opp til Dalsfoss (Forseth et al. 2006) er det store deler av strekningen som er lite egnet både til gyting, oppvekst og fiske, og som primært er transportstrekninger for fisken. Dette betyr at man kan tenke seg stegvise løsninger hvor fisken transporteres i kar på bil. Dette er særlig aktuelt for utvandrende smolt som har en relativt kort vandringsperiode (4-5 uker). Transport med bil er ikke uvanlig i elver med mange dammer som ligger tett etter hverandre. Estimert dødelighet pr. kraftstasjon er heller ikke så høy (det er den samlede dødeligheten som blir for høy) slik at passering av en av stasjonene uten tiltak kan være aktuelt.

For oppstrøms transport av voksen laks kan ønsket om fiske gjennom hele oppvandringsseongen (3-4 måneder) skape et større og mer sammensatt transportbehov. I utgangspunktet er det derfor best på lengre sikt å etablere løsninger som ikke innebærer biltransport. Imidlertid kan man tenke seg at man i en startfase transporterer voksen fisk med tankbil på deler av strekningen. Siden fisketrappene har mindre vannføring enn utløpet fra kraftverket, vil laksen normalt stoppe opp på nedsiden av trappa og bli forsinket under oppvandringen (Thorstad et

al. 2008). Laksen kan også velge heller å gyte på nedsiden av trappa eller til og med returnere til sjøen (Thorstad et al. 2008). Dette vil forsinke reetableringen av bestanden. Ut fra et biologisk perspektiv kan derfor transport av voksen fisk være gunstig. Slik transport kan også være en mer langsiktig løsning der dammene ligger tett, men dette vil avhenge av antallet voksen fisk i bestanden. Etter hvert som bestanden øker i Kragerøvassdraget, kan en i en overgangsfase ha en delt løsning, med noe transport som sikrer at laksen når de øvre delene, i tillegg til oppvandring i trapper.

For utvandring av smolt og vinterstøinger kan man som en første fase tenke seg at det etableres et velfungerende gitter og sideløp så langt oppe i vassdraget som mulig (slik situasjonen er i dag er Tveitereidfoss en aktuell lokalitet) og at fisken samles opp i et oppbevaringskar og deretter transporteres nedstrøms Kammerfoss. Dette blir en moderat lang transport som bør fungere bra med okygenering av vannet. Vanntemperaturene blir neppe et problem i utvandningsperioden. Et alternativ, eller for en fase to, er å bruke Langfoss der det bare er ca. 2 km transport (til Kammerfoss). Begge alternativene gjør at man transporterer smolt og vinterstøinger forbi Kammerfoss som er spesielt utfordrende på grunn av høy vannhastighet inn mot varegrinda. Kostnadene med tiltakene ved de ulike dammene og driftskostnadene ved biltransport vil være viktige premisser for strategivalg i en slik stegvis løsning.

For oppvandring vil den enkleste løsningen for en første fase være å samle opp fisken ved Kammerfoss og transportere den forbi Langfoss, Tveitereidfoss eller Dalsfoss. Transporten forbi Langfoss vil være kort, men krever at en oppvandringsløsning er på plass i Tveitereidfoss. Årsaken til dette er at strekningen mellom Langfoss og Tveitereidfoss neppe har særlige gytemuligheter (vil bli kartlagt sommeren 2013) og et eventuelt fiske vil primært kunne foregå i innsjøer eller stilleflytende og mindre attraktive fiskeområder. Fra Tveitereidfoss og opp til Dalsfoss er det flere gytemuligheter og flere fine fiskeplasser (Forseth et al. 2006) og det er viktig at fisk som eventuelt transporteres med bil også blir satt ut her. Mye av fisken kan imidlertid i en tidlig fase av reetableringen transporteres direkte forbi også Dalsfoss. Dette blir imidlertid en relativt lang transportstrekning som vil kreve store tanker med okygenert vann. Ut over i sesongen kan også høye vanntemperaturer gi ytterligere utfordringer både med oppbevaring og transport av fisk. Fordelingen av fisk til strekningen Tveitereidfoss-Dalsfoss kan estimeres ut fra sannsynlig fangst og behovet for gytefisk for fullrekruttering. Også mer langsiktige løsninger med biltransport fra Vafoss og forbi Langfoss kan være aktuelle. Langfoss er vurdert som spesielt utfordrende anleggsmessig (på grunn av adkomst) for en oppvandringsløsning og transporten er svært kort.

Vi har ikke estimert kostnader ved biltransport av fisk. Tiltaket vil kreve bygging av oppsamlingskurver og heiser, bil til transport med større kar med muligheter for okygenering av vannet og personell for daglige transporter i vandringsperiodene.

Referanser

- Bates, D. W. & Vinsonhaler, R. 1957. Use of louvers for guiding fish. - Transactions of the American Fisheries Society 86 (1): 38-57.
- Čada, G. F. 2001. The Development of Advanced Hydroelectric Turbines to Improve Fish Passage Survival. - Fisheries 26 (9): 14-23.
- Coutant, C. C. & Whitney, R. R. 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: A review. - Transactions of the American Fisheries Society 129 (2): 351-380.
- Direktoratet for naturforvaltning. 2002. Fisketrapper i Norge. - Notat 2002-3.
- Fjeldstad, H-P., Alfredsen, K. & Forseth, T. 2013. Atlantic salmon fishways: The Norwegian experiences. - VANN 2-2013 (under trykking).
- Forseth, T., Lund, R. A. & Ugedal, O. 2006. Reetablering av laks i Kragerøvassdraget. - NINA Rapport 145: 28 s.
- Gosset, C. & Travade, F. 1999. Devices to aid downstream salmonid migration: Behavioral barriers. - Cybium 23 (1): 45-66.
- Halttunen, E. 2011. Staying Alive: The survival and importance of Atlantic salmon post-spawners. Department of Arctic and Marine Biology. - University of Tromsø.
- Haro, A., Odeh, M., Noreika, J. & Castro-Santos, T. 1998. Effect of water acceleration on downstream migratory behavior and passage of Atlantic salmon smolts and juvenile American shad at surface bypasses. - Transactions of the American Fisheries Society 127 (1): 118-127.
- Irish Guidelines. 2005. Guidelines on the Construction & Operation of Small-Scale Hydro-Electric Schemes and Fisheries. Central Fisheries Board, Department of Communications, Marine and Natural Resources, Dublin. 59 s.
- Jenssen, L., Tesaker, E., Lund, S. & Huber, D. 2006. Inntakshåndboken. En rettleiding for planlegging og utforming av inntak til småkraftverk. - NVE-veileder 1.
- Johnson, G. E. & Dauble, D. D. 2006. Surface flow outlets to protect juvenile salmonids passing through hydropower dams. - Reviews in Fisheries Science 14 (3): 213-244.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. 2011. Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout: Habitat as a template for life histories. - Springer Netherlands, Dordrecht.
- Jonsson, N., Hansen, L. P. & Jonsson, B. 1991. Variation in Age, Size and Repeat Spawning of Adult Atlantic Salmon in Relation to River Discharge. - Journal of Animal Ecology 60 (3): 937-947.
- Kvingedal, E. & Forseth, T. 2012. Mulighetene for smoltutvandring i Kragerøvassdraget. - NINA Minirapport 395. 30 s.
- Larinier, M. 2001. Fish passage experience at small-scale hydropowerplants in France. - Hydrobiologia 609: 97-108.
- Larinier, M. 2002. Chapter 5. Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels. - Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture (364 suppl.): 181-207.
- Larinier, M. & Boyerbernard, S. 1991. Smolts downstream migration at Poutes-dam on the Allier river - use of mercury lights to increase the efficiency of a fish bypass structure. - Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture (323): 129-148.
- Larinier, M. & Travade, F. 2002. Chapter 13. Downstream migration: Problems and facilities. - Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture (364): 181-207.
- Odeh, M. & Orvis, C. 1998. Downstream fish passage design considerations and developments at hydroelectric projects in the North-East USA. - Fish Migration and Fish Bypasses: 267-280.
- Peake, S. & McKinley, R. S. 1998. A re-evaluation of swimming performance in juvenile salmonids relative to downstream migration. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 682-687.
- Rainey, W. S. 1985. Considerations in the design of juvenile bypass systems. - Proceedings of the Symposium on Small Hydropower and Fisheries. 261 s.
- Raynal, S., Chatellier, L., Courret, D., Larinier, M. & David, L. 2013. An experimental study on fish-friendly trashracks – Part 2. Angled trashracks. - Journal of Hydraulic Research 51 (1): 67-75.
- Raynal, S., Courret, D., Chatellier, L., Larinier, M. & David, L. 2013. An experimental study on fish-friendly trashracks – Part 1. Inclined trashracks. - Journal of Hydraulic Research 51 (1): 56-66.
- Rivinoja, P. 2005. Migration Problems of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Flow Regulated Rivers. No. 2005:114. - Doctoral Thesis, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. 36 s.

- Thorstad, E. B., Okland, F., Aarestrup, K. & Heggberget, T. G. 2008. Factors affecting the within-river spawning migration of Atlantic salmon, with emphasis on human impacts. - *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18 (4): 345-371.
- Turnpenny, A. W. H. & O'Keeffe, N. 2005. Screening for Intake and Outfalls: a best practice guide. - Environment Agency, Science Report SC030231.
- Turnpenny, A. W. H., Struthers, G. & Hanson, K. 1998. A UK Guide to Intake Fish Screening Regulations, Policy and Best Practice-With Particular Reference to Hydroelectric Power Schemes. - Report by Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd and Hydroplan for UK Department of Trade and Industry, Energy Technology Support Unit (ETSU H/06/0052/00/00).

6 Vedlegg

Tabell V1. Byggetekniske data for de ulike anleggene. For Dalsfoss er det tatt utgangspunkt i den framtidige situasjonen med ny flomluke i drift og nytt kraftverk

Kraftverk	Tunneler/kanaler	Dam	Inntaksluke	Flomluker	Stengsler
Kammerfoss	Åpen inntakskanal L=90 m, B=10 m	<u>Hoveddam</u> L= 60 m, H = 4,0 m terskel 6,35 moh. <u>Overløpsdam</u> (vestre sideløp) L=17m, H=3m terskel 6,50 moh.	Segmentluke B x H = 8,0 x 5,0 m Hydraulisk drift Finvaregrind 8,0 x 5,8 m C/C staver 10 cm	Nei	Nei
Vafoss	Flomkanal (L=90 m, B=8-15 m) Flomtunnel (L=90 m, F = 80 m ²)	<u>Hoveddam</u> L = 60 m, H = 14 m overløp: 20,95 moh. <u>Overløpsterskel</u> L = 90 m Overløp: 20,12 moh.	2 rulleluker Hydraulisk drift B x H = 4,10 x 4,50 m Finvaregrind 5 felt á 2,4 x 6 m C/C staver 10 cm	2 glideluker m/ el.drift og skruespindel Østre: 4,6 x 4,6 m; 100 m ³ /s Vestre: 5,0 x 6,15 m; 130 m ³ /s	2 små bjelkestengsler for å styre vann ved overløp
Langfoss	Flomtunnel L = 100 m, F = 25 m ²	Hoveddam Buedam; 50 x 17 m Overløpsterskel (vest) L = 13 m terskel 27,55 moh.	2 rulleluker Hydraulisk drift B x H = 3,65 x 5,7 m Finvaregrind 8 x 6 m C/C staver 10 cm	2 glideluker m/ el.drift og skruespindel 1,9 x 4,0 m 2 x 75 m ³ /s "Spyleluke" glideluke 1 x 1 m el. drevet spindel	Nei

Tveitereidfoss	Åpen inntakskanal, L=12 m, i forlengelse av dam (vestre side)	<u>Hoveddam</u>	2 rulleluker	2 segmentluker	Bjelkestengsler
		Platedam	3,6 x 5,5 m	5,0 x 4,1 m	.
		L = 22 m, H = 9,0 m	Hydraulisk drift	2 x 150 m ³ /s	.
		Overløp: 38,2 moh.			.
		<u>Sperredam</u>	Finvaregrind		.
Dalsfoss	Inntakstunnel (dimensjon ukjent)	<u>v/Haugholtfoss</u>	8,0 x 6,0 m		.
		L = 33 m, H = 2,5 m	C/C staver 10 cm		
		Inntaksdam	Inntaksluke	Vestre: glideluke	
		L = 30 m, H = 10 m	Finvaregrind	3,2 x 5,5 m	
				60 m ³ /s	
				Østre: segmentluke	
				11,6 x 6,85 m	
				ca. 400 m ³ /s	
				Ny segmentluke (øst):	
				11 x 6,85 m	
				ca. 400 m ³ /s	



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

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

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

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-2548-9

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger