

Rapport

Opprusting og utvidelse av Palmafossen kraftverk i Raundalselva i Vossovassdraget

Tiltak for sikring av toveis passasje forbi kraftverket og tilgang til nye produksjonsarealer for laks, sjøørret og ål

Forfattere

Hans-Petter Fjeldstad, SINTEF Energi

Morten Kraabøl og Torbjørn Forseth, Norsk institutt for naturforskning



Rapport

Opprusting og utvidelse av Palmafossen kraftverk i Raundalselva i Vossovassdraget

Tiltak for sikring av toveis passasje forbi kraftverket og tilgang til nye produksjonsarealer for laks, sjøørret og ål

EMNEORD:

Laks, ørret, laksetrapp, vannkraft, fiskevandring

VERSJON**DATO**

2014-04-30

FORFATTER(E)

Hans-Petter Fjeldstad, SINTEF Energi
& Morten Kraabøl og Torbjørn Forseth, Norsk institutt for naturforskning

OPPDRAAGSGIVER(E)

Voss Energi AS

OPPDRAAGSGIVERS REF.

Yngve Tranøy

PROSJEKTNR

502000741

ANTALL SIDER:

28

SAMMENDRAG

Voss Energi AS ønsker å ruste opp og utvide Palmafossen kraftverk i Raundalselva i Vossovassdraget, slik at slukeevnen økes fra 3 til 30 m³/s og med en tilsvarende økning i energiproduksjon. En avgjørende betingelse for at prosjektet skal kunne gjennomføres er at vandrende laks og ørret kan vandre opp og ned forbi kraftverket uten nevneverdig dødelighet. Det er tidligere bygget laksetrapp i fossen, men ungfiskundersøkelser oppstrøms fossen tyder på at området i liten grad benyttes til gyting hos laks, til tross for at den anadrome strekningen på mange kilometer er godt egnet for gyting og fiskeproduksjon. Dette skyldes trolig flere forhold, blant annet at trappa antas å ha dårlig funksjon (det er ikke kjente fangster av laks ovenfor Palmafossen). I denne rapporten beskrives forslag til tiltak for å sikre effektiv toveis vandring for laks og ørret forbi Palmafossen kraftverk. Tiltakene som er foreslått støtter seg til oppdatert internasjonal litteratur og erfaring fra nedvandringstiltak og lang erfaring med norske fisketrapper for laks og ørret. De foreslåtte tiltakene beskrives i prinsipp, med løsninger som har vist seg effektive ved tilsvarende lokaliteter i Norge og i utlandet. De foreslåtte løsningene vil med stor sannsynlighet sørge for at laks og ørret kan vandre opp og ta i bruk Raundalselva som produksjonsområde i større grad enn i dag, og at fisken kan vandre trygt tilbake til sjøen forbi et nytt kraftverk. Økt slukeevne i Palmafossen kraftverk kan bidra til at forholdene for oppvandring av fisk forenkles. Detaljer og nøyaktigere beregninger av foreslåtte tiltak vil utarbeides i neste del av prosjekteringsprosessen.

UTARBEIDET AV

Hans-Petter Fjeldstad

KONTROLLERT AV

Atle Harby

GODKJENT AV

Håkon Sundt

RAPPORTNR

TR A7396

ISBN

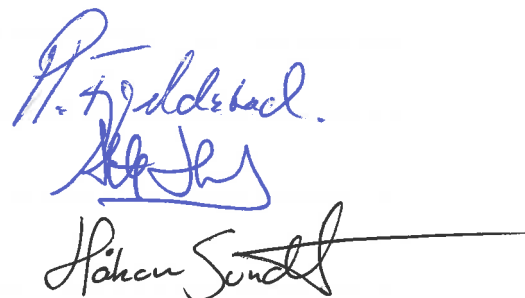
978-82-594-3587-3

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen



Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	Vassdragsbeskrivelse	5
2.1	Nedbørfelt og elvekarakter	5
2.2	Vassføring	5
2.3	Vanntemperatur	5
2.4	Vernestatus og utbyggingsplaner	6
2.5	Eksisterende og nytt elvekraftverk ved Palmafossen	6
2.6	Vannkvalitet og fiskebestander	7
3	Vandring av laks og sjørørret forbi Palmafossen	8
3.1	Vurderinger av oppvandringsforhold forbi Palmafossen	8
3.2	Generelt om fisketrapper for anadrom fisk i Norge	10
3.3	Vurderinger av nedvandringsforhold av fisk forbi planlagt kraftverk i Palmafossen	11
3.3.1	Om forholdene ved Palmafossen kraftverk og Raundalselva	13
4	Forslag til vandringstiltak i forbindelse med opprustning og utvidelse av Palmafossen kraftverk ...	18
4.1	Oppvandring av laks og sjørørret forbi tunellutløpet	19
4.2	Etablering av helt eller delvis ny fisketrapp	19
4.3	Etablering av nytt damanlegg med moderne nedvandringsløsninger	21
4.4	Vassføringer i fossen	23
5	Konklusjoner	24
6	Referanser	26

1 Innledning

Voss Energi ønsker å oppgradere og utvide kraftverket i Palmafossen i Raundalselva, som er en del av det nasjonale laksevassdraget Vosso. Palmafossen er et naturlig vandringshinder for anadrom laksefisk, men en laksetrapp bygget på 1950-tallet har gjort det mulig for laks og sjøørret å vandre forbi fossen og utnytte en ny produksjonsstrekning på 7-8 km (Barlaup, 2013). Kraftverket som er foreslått i Palmafossen har ikke et reguleringsmagasin, og vassføringen ovenfor dammen og nedenfor turbinutslaget endres derfor ikke av utvidelsen. Endringene vil i første rekke omfatte fossen og elvegjelet mellom dam og turbinutløpet. Det antas at heller ikke vanntemperaturer eller vannkjemiske forhold vil påvirkes av vannkraftdriften. Slik sett er det forhold knyttet til fiskevandring forbi kraftverket som kan være problematiske i forbindelse med dette opprustings- og utvidelsesprosjektet. Voksen laks og sjøørret må kunne gjennomføre oppstrøms gytevandring til gyte- og oppvekstområdene ovenfor Palmafossen, mens utgytt voksenfisk (støing) og utvandrende smolt må kunne vandre ned forbi inntaket. Dersom ål kan vandre opp forbi Palmafossen må den også kunne vandre fritt ned forbi kraftverksinntaket uten å passere turbinene.

Fiskevandring gjennom kraftverksturbiner er forbundet med dødelighet som følge av direkte treff på løpehjulets skovler, trykkendringer og fysiske skader påført gjennom kraftverkets vannveier for kraftproduksjon (Montén, 1985). Turbinpassasje er dermed vurdert som uaktuelt, og i denne rapporten er det derfor ikke gjort forsøk på å estimere dødelighet i denne konkrete stasjonen. Det legges vekt på løsninger som fysisk forhindrer turbinpassasje for fisk.

Målet med rapporten er derfor å dokumentere at det finnes trygge løsninger for sikker og effektiv toveis vandring hos laks og sjøørret forbi konstruksjonene i et nytt Palmafossen kraftverk. Tekniske løsninger for å hindre fisk i å vandre inn i turbiner er foreløpig lite påaktet i Norge. Forfatterne har benyttet internasjonal litteratur for å beskrive prinsippene for hvordan en sikker toveis for laksefisk vandring kan utformes i Palmafossen. Detaljerte løsninger må utarbeides basert på disse skissene.

2 Vassdragsbeskrivelse.

2.1 Nedbørfelt og elvekarakter

Raundalselva ved Palmafossen har et nedbørsfelt på ca. 520 km² (Voss Energi AS, 2009).

Raundalselva springer ut fra fjellområdene ved Mjølfjell i kommunene Aurland og Ulvik og grenser til Flåmsvassdraget og Undredalselvi. Elva renner gjennom den bratte Raundalen og ned til det innsjøpregede bassenget Vangsvatnet (8 km²), og er preget av strie fosser og stryk gjennom til dels trange elvegjel. Raundalselva utgjør sammen med Bordalselva og Strandaelva de tre hovedgreinene i Vossovassdraget. Nedstrøms Vangsvatnet kalles elva Vosso, og denne elvestrekningen veksler mellom stryk og stille partier ned til Evangervatnet (10 m o.h.). Deretter fortsetter elva ned til Bolstadfjorden.

2.2 Vassføring

Middelvassføring er ca. 35 m³/s og beregnet alminnelig lavvassføring er ca. 2. m³/s. Noen karakteristiske hydrologiske data er presentert i Figur 1. Gjennomsnittsvassføringen passerer 30 m³/s i midten av april og når en flomtopp på ca. 100 m³/s i begynnelsen av juni. Vassføringen synker deretter utover sommeren og høsten og kommer på nytt under 30 m³/s i slutten av august. Figur 1 viser likevel at vassføringen er betydelig lavere i tørre år, hvor det kun i juni måned er vassføringer over 30 m³/s.

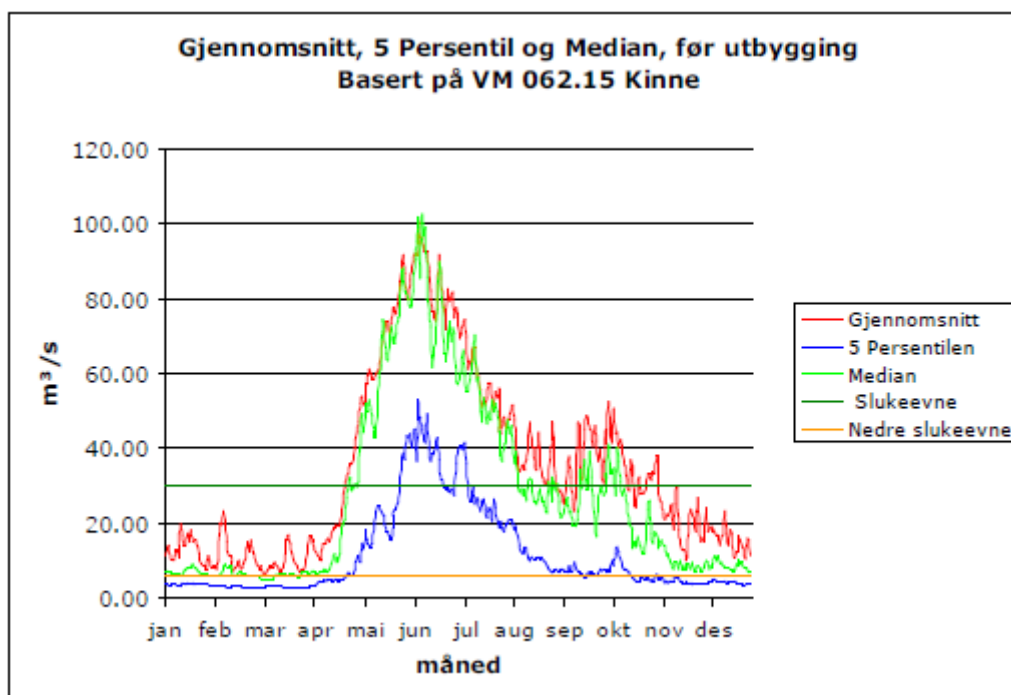
2.3 Vanntemperatur

Raundalselva er karakterisert som et relativt kaldt og næringsfattig vassdrag, men er vurdert som et potensielt betydelig tilskudd til produksjon av laks og sjøørret i Vossovassdraget (Barlaup, 2013). Den gjennomsnittlige vanntemperaturen overstiger 5°C i begynnelsen av juni, og 10°C i begynnelsen av juli. Høyeste vanntemperatur oppnås i august, og overstiger sjelden 15°C. Enkelte år overstiger ikke vanntemperaturen 10°C (Figur 2). Det er grunn til å anta at den lave vanntemperaturen kan favorisere sjøørret, men det regnes som sikkert at begge artene vil kunne reprodusere i betydelig grad ovenfor Palmafossen.

2.4 Vernestatus og utbyggingsplaner

I 1986 ble elva vernet gjennom Verneplan III, og begrunnelsen for vernet var mangfoldet av plante- og dyreliv, geologiske særegenheter, store kulturminneverdier og et omfattende friluftsliv (Naturvernforbundet, faktaark juni 2011). Den såkalte Vosso-laksen er regnet som en av verdens mest storvokste Atlantiske laksestammer, og regnes nå som truet. En rekke tiltak som er gjennomført de siste årene har imidlertid gitt positive effekter på bestanden (Barlaup, 2013).

I 2010 ble det lansert planer om utbygging av tre kraftverk i Raundalselva (til sammen 660 GWh). Opprustings- og utvidelsesprosjektet som omtales i denne rapporten er ikke en del av disse utbyggingsplanene.

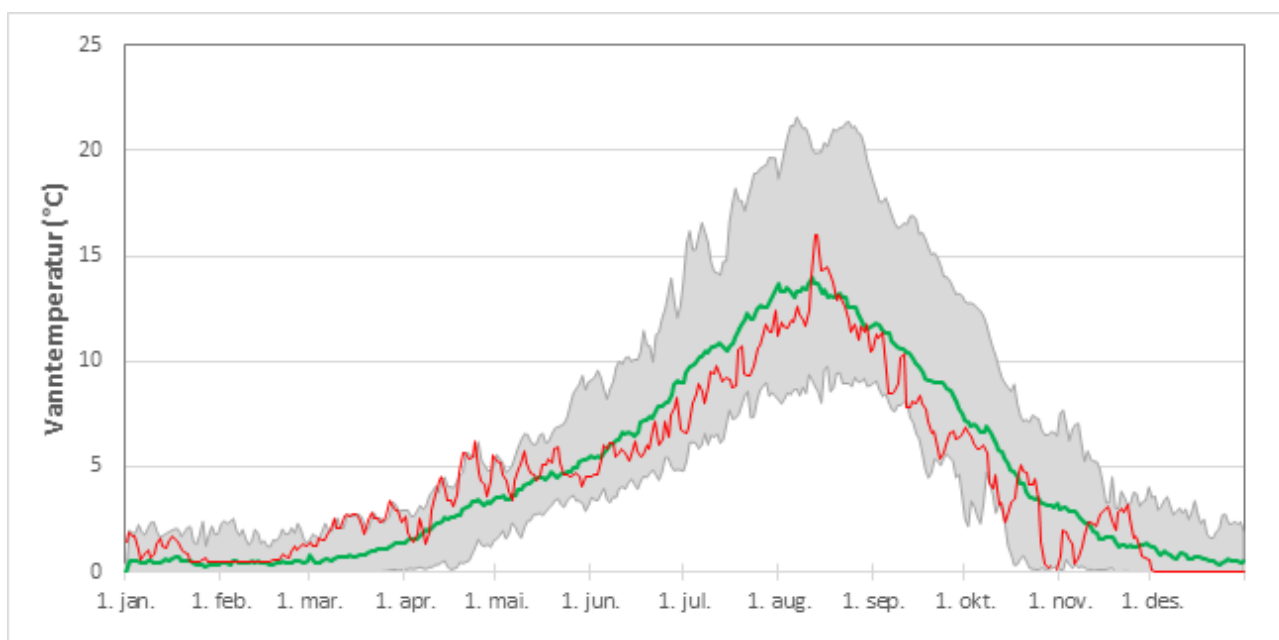


Figur 1. Vassføring over året ved Palmafossen, basert på vassmerket 62.15 Kinne. Figur hentet fra Voss Energi AS (2009).

2.5 Eksisterende og nytt elvekraftverk ved Palmafossen

Det eksisterende kraftverket i Palmafossen ble bygget i 1919 og utnytter en fallhøyde på 13 m i selve Palmafossen. Elvekraftverket har ett aggregat (0,35 MW) med en slukeevne på 3 m³/s og en årlig middelproduksjon omkring 1,8 GWh. I søknad om opprustning og utvidelse av kraftverket er

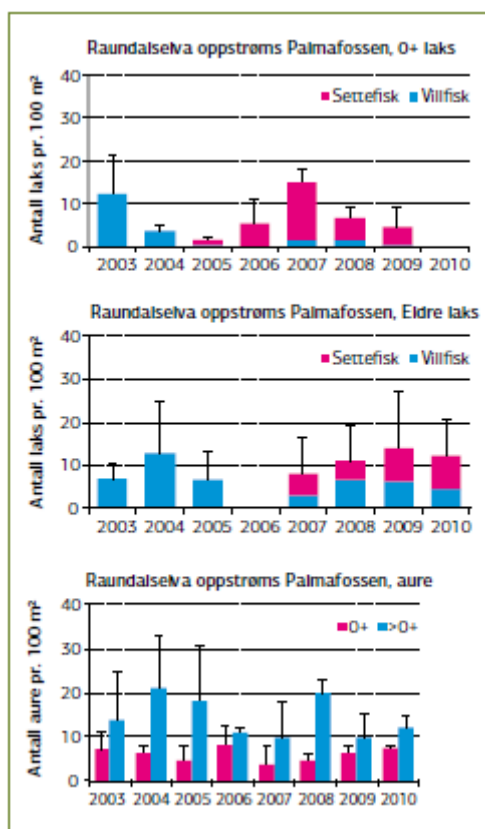
det foreslått en slukeevne på minimum 6 m³/s og maksimum 30 m³/s, mens det er foreslått minstevassføring i fossen på mellom 2 og 10 m³/s. Disse planene vil gi en beregnet årlig kraftproduksjon på ca. 16 GWh.



Figur 2. Vanntemperaturer for Raundalselva i perioden 1988-2013. Grønn kurve angir gjennomsnittstemperaturen, rød kurve angir 2012 og grå kurver angir minimums- og maksimumsverdier (utarbeidet av Bjart Are Hellen, Rådgivende Biologer).

2.6 Vannkvalitet og fiskebestander

Vannprøver har antydnet at vannkvaliteten er god nok for fiskeproduksjon uten at det iverksettes tiltak som for eksempel kalking. Som et tiltak for å øke produksjonen i Vossovassdraget har det siden 2005 blitt satt ut 1-årige laksunger og årsyngel av laks oppstrøms Palmafossen. I 2012 ble det for første gang også utlagt lakserogn i elvegrusen. Sporadiske elfiskeundersøkelser på 1990-tallet viste få eller ingen laksunger ovenfor Palmafossen, men da undersøkelsene ble tatt opp igjen i 2002 ble det registrert naturlig rekruttering av laks (Figur 3). Dette betyr at laks har kunnet passere trappa i fossen, men basert på resultatene fra ungfiskundersøkelsene er omfanget av denne laksevandringen antakelig begrenset. Det er etter det vi kjenner til ikke fanget voksen laks oppstrøms Palmafossen (Geir Ove Henden, klekkeribestyrer, pers. medd.). Hvorvidt det har passert sjørret gjennom trappa er ikke kjent.



Figur 3. Tettheter for ensomrige og eldre laks og aure oppstrøms Palmafossen i Raundalselva i perioden 2003-2010. Hentet fra Barlaup (2013).

Tetthetene av ungfisk hos laks er fortsatt relativt lave, og over halvparten består av settefisk. Dette indikerer at det er et stort potensial for naturlig rekruttering av laks ovenfor Palmafossen, forutsatt en velfungerende vandringsvei (trapp) forbi fossen. Likeledes vurderes det som et betydelig potensial for økt produksjon av sjørret på den samme strekningen.

3 Vandring av laks og sjørret forbi Palmafossen

3.1 Vurderinger av oppvandringsforhold forbi Palmafossen

Det er ikke gjennomført registreringer av oppvandrende laks og sjørret gjennom fisketrappa ved Palmafossen. Påvisning av naturlig rekrutterte lakseunger på elvestrekningen ovenfor viser imidlertid at laks av begge kjønn har passert fisketrappa. Omfanget av laksevandringene er imidlertid ikke kjent, men de lave tettheter av ungfisk (se Figur 2) og faglige vurderinger av fisketrappas konstruksjon og sannsynlige funksjon antyder at antall oppvandrende fisk har vært svært lavt.

H.-P. Fjeldstad og M. Kraabøl gjennomførte 10. og 23. april 2014 befaringer ved Palmafossen, og det ble gjort følgende vurderinger med basis i internasjonal litteratur (særlig Larinier *et al.*, 2002) omkring mulighetene for å sikre regulære oppvandringar av laks og sjørret forbi Palmafossen:

- De hydrauliske forholdene ved fiskeinngangen vurderes som ugunstige for både laks og sjørret ved vassføringer over 20-30 m³/s forbi kraftverket. Hvitskummende og turbulente kaskader av vann ved fossefoten gjennom store deler av sommeren gjør at verken laks eller sjørret kan oppholde seg i nærheten av fiskeinngangen. Redusert vannføring i fossen vurderes derfor som positivt for å skape gode oppvandringsforhold.
- Tilsvarende vurderes de hydrauliske forholdene i elvegjelet nedstrøms Palmafossen som ugunstige for oppvandrende laks og sjørret som søker opp mot Palmafossen ved vannføringer over 20 m³/s. Det kan være vanskelig for fisken å vandre gjennom de strie strykene, og det er trolig få hvileplasser i øvre del av gjelet.
- Kulpene i trappa er generelt for små for både laks og sjørret. Spesielt gjelder dette for trappas nedre deler. Den enkelte trappekulp bør være minst 1 m dyp, og energifordelingen fra vannstrømmen inn i hver kulp bør ikke overstige 250 W/m³.
- Fisketrappas vassføringskapasitet (anslått til ca. 500 l/s) er i det lavere sjiktet for å gi gode oppvandringsforhold for laks og sjørret og bør økes opp mot 1 m³/s, spesielt for å sikre oppvandringsmuligheter for storlaks.
- Fallhøyden mellom kulpene bør være 30-50 cm, noe som gir en vannhastighet på 2,4 – 3,1 m/s i mellom kulpene. Det anbefales også neddykkede passasjeåpninger i veggene mellom kulpene, og tverrsnittsarealet for disse åpningene bør ikke være mindre enn 0,1 m².
- Oppvandringsveiene for fisk var noe kronglete gjennom trappepassasjen som går i et bratt fjellterreng. Dette antas å forsinke og eventuelt stoppe oppvandringen av laks og sjørret ytterligere.

- Det ble anslått at en fisketrapp i Palmafossen fungerer best på vassføringer mellom 5 og 15 m³/s i fossen. Et fremlagt fotografi av området ved 5 m³/s viste gode forhold for oppsamling av laks og sjørret inntil fossefoten og fiskeinngangen til trappa. Under slike forhold kan fisken oppholde seg i hølen ved fossefoten og fiskeinngangen, og strømningsforholdene ved innhoppet til trappa vurderes da som gunstige for at fisken med stor sannsynlighet vil finne inngangen raskt.

3.2 Generelt om fisketrapper for anadrom fisk i Norge

Bygging av ca. 440 trappeanlegg for anadrom laksefisk i Norge har vist at riktig konstruerte trapper effektivt kan få fisk forbi vandringshindre (Fjeldstad *et al.*, 2013). Flere forhold er viktige for at trappa skal fungere godt. Inngangen til trappa må plasseres riktig, det må være tilstrekkelig med vann i trappa, og utformingen må tilpasses vassføringa. I tillegg er fiskens kapasitet til å svømme og hoppe avhengig av vanntemperatur. Det har for eksempel vist seg at fisk ikke kan passere fosser og trapper før vanntemperaturen har kommet opp til 8-10° C. Det er således kjent at sportsfisket kan forsinkes ovenfor slike hindre ved lave vanntemperaturer. De fleste norske laksetrapper er bygget forbi naturlige vandringshindre (Grande, 2010), og anslagsvis 30 % er bygget forbi menneskeskapte hindre som for eksempel vannkraftdammer. Ved en gjennomgang av all norske laksetrapper kom det fram at trapper forbi vannkraftverk har bedre funksjon enn trapper forbi naturlige hindre (Fjeldstad *et al.*, 2013). Trolige grunner til dette er at både tilsyn og vedlikehold av trapper forbi kraftverk er bedre fordi dette er sikret gjennom konsesjonsvilkår eller andre avtaler. Generelt er det klart at manglende vedlikehold og tilsyn med trapper er en hovedgrunn til dårlig funksjon.

Blant trapper som har dårlig funksjon av andre grunner, er feil plassering av inngangen den vanligste grunnen. Blant annet er det viktig at inngangen er plassert umiddelbart i nærheten av selve vandringshindret, på et sted hvor fisken enten samles eller naturlig velger å undersøke, slik som til side for en fossefot. Trappa må skape en attraksjonsstråle, og når denne er vanskelig å finne kan fisken velge å ikke vandre inn i trappa (Croze *et al.*, 2008). Et kjent problem oppstår dersom inngangen til fisketrappa befinner seg et stykke nedenfor vandringshindret (Grande, 2010). Forskjellige studier har også vist at utløp fra kraftstasjoner kan tiltrekke seg oppvandrende laks, og

føre til at fisken forsinkes i sin vandring (Thorstad *et al.*, 2003). Spesielt er dette et problem dersom vassføringa fra kraftverket blir svært dominerende i forhold til vassføringen i den ønskede vandringsveien. For ørreten i Hunderfossen har det vist seg at fisketrappa fungerer best når det slippes vann gjennom den damluka som ligger nærmest inngangen til fisketrappa (Kraabøl, M., upublisert materiale). I en studie av 90 norske laksetrapper ble det ikke funnet en sammenheng mellom avstand mellom vandringshinder og inngangen til trappa og trappas funksjon (Fjeldstad *et al.*, 2013). Avstandene varierte her stort sett mellom 2 og 10 meter. I et tilfelle, i Fiskumfossen i Namsen, var avstanden 65 meter, og denne trappa fungerer godt, med opptil 2 tusen passeringer årlig. Det er likevel viktig å nevne at disse undersøkelsene ikke inkluderte nøyaktige vurderinger av om vandringsveien faktisk ble forsinket som følge av ugunstig plassering av trappenes inngang. Dette krever omfattende atferdsstudier på den enkelte lokalitet, som må avklare om forsinkelsen skyldes trappa eller er en generell forsinkelse som er normalt ved de fleste stryk og fosser som er vanskelige å passere for fisken.

En fisketrapp kan konstrueres på mange forskjellige måter (Katopodis, 1992; Clay, 1995). Den typiske utformingen i Norge er støpte kulptrapper i betong eller kulptrapper sprengt i fjell med ca. 50 cm spranghøyde mellom kulpene. I internasjonal litteratur har denne trappetypen blitt kritisert fordi spranghøyden mellom kulpene ikke tillater småfisk eller fiskearter med lav svømmekapasitet å vandre. Voksen laks og ørret er derimot fisk med stor kapasitet til å hoppe og svømme, og erfaringen med kulptrapper i Norge er generelt god. For å fungere må imidlertid kulpene ha tilstrekkelig størrelse og strømningsforholdene i og mellom kulpene må være gunstige. Ved valg av trappetrasé må man i tillegg ta hensyn til fysiske påkjenninger fra flommer og is, og konstruksjonene bør ha en estetisk tilpasning til terrenget. I mange tilfeller er det også viktig at oppvandringen overvåkes, som grunnlag for justeringer og utbedringer.

3.3 Vurderinger av nedvandringsforhold av fisk forbi planlagt kraftverk i Palmafossen

Forskningen og tiltak for å sikre vandring forbi vandringshindre og kraftverk i Norge har hovedsakelig vært begrenset til tiltak for bedre oppstrøms vandring (se Thorstad *et al.*, 2008; Kraabøl, 2012; Kraabøl *et al.*, 2012), men det er nå økende fokus på betydningen av effektive toveis fiskepassasjer forbi elvekraftverk.

Alle elvekraftverk har et eller flere definerte inntaksområde for vann som ledes nedstrøms gjennom fallrør, trykksjakter og turbiner for kraftproduksjon. Foran disse vanninntakene er det installert ei varegrind som skal beskytte turbinene mot større objekter som kommer flytende med vannet. Trær og trevirke som fanges opp på slike varegrinder fjernes med manuelle eller automatiske renskeanordninger for å opprettholde optimal vanngjennomstrømming til turbinene.

I mange tilfeller er turbinpassasje den eneste tilgjengelige vannveien for fisk, og roterende turbinblader, store trykkforskjeller og gassovermetning kan drepe en betydelig andel av fisken (Montèn 1985; Coutant & Whitney, 2000; Cada, 2001). Teknologisk miljødesign som omfatter fasiliteter for skånsom nedvandring av fisk forbi kraftverk har frem til nå vært lite påaktet i Norge, men forskningslitteraturen er økende på dette feltet (f.eks. Arnekleiv *et al.*, 2007; Kraabøl *et al.*, 2008; 2009; Calles *et al.* 2012). Viktigheten av dette kan illustreres ved at nesten alle arter av ferskvannsfisk er flergangsgytende (Pethon, 1998; Klemetsen *et al.*, 2003), og derfor trenger å vandre eller forflytte seg nedstrøms i vassdragene til ulike tider i livssyklusen.

Utformingen av dammer, flomluker og turbininntak er alltid tilpasset de lokale forhold, og det kan være vanskelig å designe gode miljøløsninger for de vandrende fiskeartene som finnes i det aktuelle vassdraget når gamle kraftverk skal opprustes og utvides. Generelt sett vil det derfor være størst potensial for miljøforbedringer for fisk ved bygging av helt nye anlegg hvor miljødesign kan inkorporeres i hele konseptet.

Et eksempel på dette er valg av varegrinder og lysåpning, som i gamle kraftverk ble utformet ut fra driftsmessige forhold av kraftverkseierne. Det er i særlig grad turbinenes robusthet og elvas transport av flytende trevirke og andre objekter som ligger til grunn for valg av varegrind.

Kraftbransjen har også utviklet ulike design av varegrinder som gir optimal vanngjennomstrømming til enhver tid. Til tross for at ei varegrind er den eneste installasjonen som fysisk kan forhindre passasje av fisk gjennom turbinene har det vært overraskende lite fokus på varegrinder som bevarings- og fiskeforsterkningstiltak i norske vassdrag. Det er ytterst sjelden at varegrinder og deres utforming er spesifisert i sammenheng med fiskepassasjer i konsesjonsvilkårene. I forbindelse med nye kraftverk, samt opprusting og utvidelse av eksisterende elvekraftverk, blir det også i de fleste tilfeller satt inn konvensjonelle varegrinder uten at effektene

på fiskevandring er vurdert. Dette medfører at fisk fortsatt passerer gjennom turbinene, noe som gir betydelige negative effekter på vandrende fiskebestander. Dersom man som alternativ benytter finrister som er tilpasset kroppsstørrelsene på vandrende fisk ved fremtidige opprusting-, og utvidelser av elvekraftverk, kan dette representere en vesentlig reduksjon av negative miljøkonsekvenser for vandrende fiskearter. Dette forutsetter at det samtidig opprettes alternative nedvandningsruter i form av overflateluker og vannveier som leder fisk trygt forbi turbinene.

3.3.1 Om forholdene ved Palmafossen kraftverk og Raundalselva

Utgytt laks og sjørret vandrer tilbake til sjøen rett etter gyting eller overvintrer i elva og vandrer ned den påfølgende våren og forsommeren. Laksesmolt vandrer relativt synkront ut i løpet av noen uker om våren. I perioden 2001-2012 ble det utført smoltregistrering i Bolstadelva og Bolstadjorden i munningen av Vosso. Resultatene viser at utvandringene i hovedsak skjer fra begynnelsen av mai til midten av juni. Hovedandelen (ca. 70 %) vandret ut i løpet av 20 dager fra 5. til 25. mai. Ørretsmolt vandret jevnere over hele perioden og på et senere tidspunkt (Barlaup, 2013). Vandringen i Vosso følger således et mønster som er kjent fra andre norske vassdrag (Ugedal *et al.*, 2014). Vandringen forbi Palmafossen følger trolig et liknende mønster. Flere variable er med på å styre utvandringen, og det har blant annet visst seg at økning av vassføring og vanntemperatur kan trigge vandringen (Jonsson & Ruud-Hansen, 1985; Hvidsten *et al.*, 1995; McCormick *et al.*, 1998, Fjeldstad *et al.*, 2012, Ugedal mfl. 2014).

Å hindre smolt av laks og ørret i å vandre inn i turbininntak kan være utfordrende, siden fisken følger hovedstrømmen, som ofte går inn inntaket (Scruton *et al.*, 2003; Rivinoja *et al.*, 2004). Spesielt stor er utfordringen ved inntak til store kraftstasjoner. Eksisterende norske vannkraftverk er som regel forsynt med varegrinder med spalteåpninger som er så stor at fisk kan svømme inn (Kraabøl, 2013). Slipp av vann gjennom tappeløp forbi inntaket kan redusere turbinvandring (Scruton *et al.*, 2008), men da er det viktig at tappeløpet er utformet gunstig. For eksempel er det avgjørende at inngangen for fisk er plassert umiddelbart i nærheten av inntaket til turbinen, hvor fisk vanligvis samler seg under nedvandring mot kraftverksdammer (Kraabøl *et al.*, 2008). Ved å tilpasse et forbitappingsegime kan man optimalisere vandring forbi turbiner, og det har vist seg at for eksempel strobelys kan skremme fisk fra inntaksåpningen (Fjeldstad *et al.*, 2012). Forskjellige former for ledegjerder har også vist å kunne gi god effekt (Scruton *et al.*, 2008). Effekten av slike tiltak er imidlertid avhengig av atferdsmessig respons hos fisk, og det kan være

behov for betydelig følgeforskning for å oppnå tilfredsstillende resultat. Vår vurdering er at en fysisk sperre i form av ei finmasket varegrind vil være den beste løsningen for Palmafossen.

Ved opprustings- og utvidelser av elvekraftverk, slik som tilfellet er i Palmafossen, kan problemet med turbinvandring i stor grad elimineres ved å sette opp fysiske stengsler, dvs. varegrinder med liten spalteåpning (finrister). Dersom den finmaskede varegrinda er skråstilt i enten vertikal- eller horisontalplanet, og at spalteåpningene er mindre enn kroppsbredden til all nedvandrende fisk så vil turbinpassasje hos fisk kunne elimineres som et miljøproblem (Figur 4). Finrister er imidlertid kostbare sammenlignet med konvensjonelle varegrinder, og medfører som oftest et trykktap og et større behov for hyppig rensk av rista i perioder med høy vassføring. Av disse grunner er finrister i hovedsak i bruk på mindre inntak, dvs. inntak med slukeevne mindre enn 50-100 m³/s. Løsninger med finrister er hittil nærmest ukjent i norsk vannkraftindustri, men blant annet i Sverige, Tyskland, Frankrike, Storbritannia og USA finnes det nasjonale retningslinjer og godt etablert praksis for bruk av finrister som tiltak for å hindre turbinpassasje hos fisk.



Figur 4. Eksempel på en skråstilt og finmasket varegrind med små lysåpninger ved et elvekraftverk i Gave d'Ossau i Syd-Frankrike. En alternativ nedvandringsvei for fisk er etablert nært inntil varegrinda. Foto: M. Kraabøl.

Krav i EU's vanndirektiv har medført større fokus på frie vandringer for fisk i elver. Ny forskning på turbininntak og fisk, både i Norge og andre steder, har ført til utvikling av andre sofistikerte ristløsninger, som blant annet skal være selvrensende. Blant disse løsningene finnes "Berge-inntaket", "H-rista" og "Coanda-rister". Den sistnevnte løsningen er antakelig ikke aktuell for Palmafoss kraftverk, men et Berge-inntak kan være en god løsning. Imidlertid finnes det foreløpig ingen erfaring med Berge-inntak i forhold til fiskevandring. Skråstilte finrister (som vist i Figur 4) er derimot velutprøvd, og det finnes god dokumentasjon på hvordan de skal utformes og hvordan de virker (Kraabøl *et al.*, 2008; Larinier & Travade; 2002; Odeh & Orvi, 1998; Calles *et al.*, 2012).

Følgende forhold må avklares og utformes for å oppnå en god løsning med finrist foran et inntak:

- Spalteåpning mellom spilene

- Finristas areal og vannhastigheter mot rista
- Finristas plassering og helning, enten vertikalt eller horisontalt
- Alternative vandringsveier for fisk og eventuell sikker transport ned forbi dammen

Disse forholdene drøftes i korte trekk under.

Spalteåpning

Spalteåpningen i ei finrist må være så stor som mulig, men likevel liten nok til at fisk ikke svømmer i mellom spilene. I senere tid er det gjort laboratorieforsøk for å forstå de hydrauliske forholdene rundt finrister (Raynald *et al.*, 2013-a 2013-b). Generelt anbefales derfor lysåpninger om er ned mot 7 % av fiskens kroppslengde dersom varegrinda skal fungere som en effektiv barriere for fisk (Larinier & Travade, 2002). Større relative lysåpninger som tilsvare 14 % - 25 % av fiskens lengde har vist seg å kunne fungere relativt godt til å avvise nedvandrende smolt av laks og sjørøtt under forutsetning av at vannstrømmen ikke faller perpendikulært inn mot varegrinda. I slike tilfeller er det en klar forutsetning at det dannes en tversgående (tangentiell) vannstrøm foran varegrinda som lett oppfattes av nedvandrende ungfisk som da beveger seg langs varegrinda i stedet for å passere direkte gjennom elementene (Larinier & Travade, 2002).

I Sverige har man tatt utgangspunkt i spalteåpninger på 20 mm foran kraftverksinntak (Calles *et al.* 2013), mens finrister tilpasset og utprøvd med god funksjon for fisk har hatt åpning på 18 mm (Calles *et al.*, 2012; Calles *et al.*, 2013). Flere nye fisketilpassede finrister har åpninger på 14–15 mm, men ennå har ingen av disse blitt overvåket. I Danmark er største tillatte spalteåpning i turbininntak 10 mm, mens 6 mm kreves for vanninntak til fiskeoppdrett (DTA Aqua, 2011). Også i Tyskland har 20 mm vært et vanlig krav, men ny kunnskap har resultert i at man nå ofte krever 12 mm for å hindre 120 mm lang laksesmolt fra å passere (DWA, 2005), noe som samsvarer med 12,7 mm som anbefales for laksesmolt med samme størrelse i nordøstre USA. Skal laksesmolt fysisk utestenges med en finrist bør spalteåpningen ikke være mer enn 10 mm (DTU Aqua, 2011). Ut fra disse tre kildene anses at den beste mulige teknikken er en spalteåpning på 10–13 mm om man ikke kan vise at samme resultat kan oppnås med ei rist med spalteåpning opp til 18 mm, som kan være tilfellet for fisketilpassede, skråstilte rister, fordi den lave helningen da ser ut til å medføre at fisken unnviker risten.

Ristas areal og vannhastigheter mot rista

Vannstrømmen i forkant av varegrinda bør ideelt sett være skråstilt i forhold til varegrinda (Kraabøl 2013). Dersom den likevel faller perpendikulært mot varegrinda må den være betydelig lavere enn den aktuelle artens (og fiskestørrelsens) normale svømmehastighet. Dette vil tillate fisken å gjennomføre søk på tvers av strømmene etter alternative nedvandningsveier. Dersom vannhastigheten er for høy kan fisk som utmattes under dette søket kile seg fast mellom to spiler (elementer) på varegrinda og dø av respirasjonsproblemer eller andre skader (Calles *et al.*, 2010). Vanligvis måles maksverdien for den anbefalte perpendikulære vannhastigheten (APV) om lag 10 cm foran varegrinda, og beregnes med følgende formel (etter Videler, 1993);

$$APV = 0,15 \times 2,4KL$$

(KL = fiskens kroppslengde målt i m)

For laks og ørret har denne beregningsmetoden gitt anbefalte maksverdier på 15 cm/s for fisk under 6 cm og 50 cm/s for smolt mellom 15 og 20 cm (Aitken *et al.*, 1966; Clay, 1995; ASCE 1995). Vannhastigheter over 50 cm/s anbefales generelt aldri dersom det vandrer fisk forbi kraftverket (Larinier & Travade, 2002). Med dette utgangspunkt kan man regne ut nødvendig areal av finrista.

Finristas helning og plassering

For å minimere finristas areal bør den plasseres umiddelbart foran vanninntaket til turbinene. Helning av rista i horisontal- eller vertikalplan bidrar til å redusere vannhastighetene mot rista og øke sveiphastigheten (vannhastighetskomponenten parallelt med rista) langs rista, og anses som meget fordelaktig for fiskens evne til å lokalisere et tappeløp. Valg av helning henger også sammen med utforming av fiskeavledningssystem, noe som er avhengig av de stedlige forhold. Det er avgjørende at fisken ledes enten sideveis eller i vertikalplanet, slik at fisken senere kan ledes trygt videre og forbi inntaket, dvs. at en vertikalt hellende rist bør ha en vinkel på under 30-40 ° mot elvebunnen.

Alternative vandringsveier for fisk

Når fisken stoppes av finrista foran turbininntaket må den få enkel og rask tilgang til attraktive og trygge tappeløp forbi dammen og ned til minstevassføringsstrekningen eller helt ned til

undervannsnivået. Vannveier som slipper overflatevann, slik som flomluker og isluker regnes som attraktive for laksefisk, og de er relativt trygge dersom ikke fallhøyden overstiger 10 m. (Johnson & Double, 2006). For at de skal være attraktive er det viktig at de 1) er plassert i umiddelbar nærhet av inntaket og 2) at det avgis tilstrekkelig vann i vandringsveien i de periodene fisken vandrer (Kraabøl *et al.*, 2008). Det har vist seg at andre arter som ål har en annen atferd en laksefisk, og ofte foretrekker vandring langs elvebunnen og dypområdene inntil dammen. Skal man ta hensyn til ål kan dette gjøres ved å lage vandringsåpninger ikke bare i overflaten, men i tillegg ved bunnen, på en slik måte at begge vandringsalternativ fører fisken videre forbi dammen og turbinene på en risikofri måte (Calle *et al.*, in press). Et viktig moment her er at fiskens vandringsvei overvåkes på en slik måte at man over tid har god oversikt over hvilken fisk (art og livshistoriestatistikk) som vandrer, og når på døgnet og året som vandringene foregår. Her finnes det flere gode teknologier, både manuelle og automatiske registreringssystemer som overvåker fisk, og valg av løsning bør foretas i neste trinn i planprosessen.

4 Forslag til vandringstiltak i forbindelse med opprustning og utvidelse av Palmafossen kraftverk

Innenfor de tidligere skisserte planene for opprustning og utvidelse av Palmafossen kraftverk synes det å være svært gode muligheter til å koble de hittil ubenyttede gyte- og oppvekstområdene for laks og sjørret som er lokalisert oppstrøms Palmafossen kraftverk til den nåværende anadrome strekningen av Vosso.

Her presenteres løsningsforslag som er velprøvd i andre land, men som i liten grad har blitt anvendt i Norge. Vi mener at effektene av disse tiltakene er forutsigbare og vil gi betydelige positive effekter for laks, sjørret og eventuelt ål dersom de gjennomføres som skissert.

I tillegg til selve Palmafossen er gjelet som strekker seg en snau kilometer nedstrøms (ned til Gilbaret) vurdert som en naturlig vandringsutfordring for oppvandrende fisk. Det smale gjelet gir et raskt strømmende stryk (til dels hvitstryk) hele veien, og det er ytterst få hvileplasser for laks og sjørret ved vassføringer som overstiger anslagsvis 20 m³/s. Det er vår vurdering at reduksjon av vassføring på hele denne strekningen hadde vært gunstig for fiskevandringen, men videre vurderinger av denne strekningen har ikke vært en del av dette prosjektet.

4.1 Oppvandring av laks og sjørret forbi tunellutløpet

Det er svært viktig at oppvandrende laks og sjørret ikke går inn i tunnelutløpet men vandrer til foten av Palmafossen hvor fisketrappen er lokalisert. Det er i særlig grad to tiltak som kan sikre forbivandring fra samløpshølen:

- 1) Oppvandrende laks og sjørret må fysisk hindres fra å svømme innover i driftsvannstunellen. **Aktuelle tiltak:** Det bør settes opp gitter ved tunellutløpet som med god margin hindrer alle størrelsesgrupper av oppvandrende laks og sjørret fra å svømme inn i tunellen. Gitteret må dekke hele tverrsnittsarealet av tunnelåpningen. En foreløpig anbefaling til lysåpning er 4-5 cm, men dette bør vurderes grundigere opp mot størrelsesfordelingen av gytevandrende laks og sjørret i vassdraget. Generelt sett bør det settes noe strengere marginer i forholdet mellom fiskens kroppsbredde og gitterets lysåpning ved oppgangssperrer sammenlignet med nedgangssperrer. Årsaken til dette er at oppvandrende fisk lettere kan presse seg gjennom lysåpninger som er mindre enn naturlig kroppsbredde som følge av at den genererer stor svømmekraft med halen og at brystfinnene klemmes lett inntil kroppen. Ved nedvandring mangler svømmekraften ettersom den gjerne passerer strømsatte hindringer med halen først (baklengs), og brystfinnene kan virke som «mothaker» ettersom de ikke kan brettes fremover.
- 2) Vassføringsstimuli fra fossen må være tilstrekkelig stor og såpass markert at fisk som oppholder seg i samløpshølen kan detektere vandringsruten opp fisketrappa så tidlig som mulig etter ankomst i til samløpshølen. **Aktuelle tiltak:** Forholdet mellom vassføringen fra fossen og driftsvannstunellen (VF fossen : VF turbin) bør ligge i intervallet 1:6 – 1:1 i oppvandringssesongen for laks og sjørret. De topografiske forholdene ved samløpsområdet vurderes som såpass gunstige at dette ligger godt innenfor det som forventes å gi god effekt på gytevandrende laks og ørret (Arnekleiv & Kraabøl, 1996 + Eva Thorstads arbeider).

4.2 Etablering av helt eller delvis ny fisketrapp

Den eksisterende fisketrappa ved Palmafossen kraftverk har for små kulper til å kunne gi gunstige oppvandringsforhold for voksen laks og sjørret. Det bemerkes at en betydelig andel av Vosso-

laksen er meget storvokst, og trenger av den grunn romslige kulper for å føle trygghet under vandring gjennom en slik passasje som inneholder mindre vann enn selve elva. Det anbefales derfor at det bygges ei ny fisketrapp som er dimensjonert for både sjørret og storlaks. Dette innebærer at hver enkelt kulp må ha betydelig økt areal og vannvolum. En utfordring i denne sammenheng er at større kulper fordrer at trappeløpet bør forlenges i form av en eller flere slynger i terrenget. Fallhøyden mellom hver kulp bør ikke overstige 50 cm.

Det anbefales at ny fisketrapp bygges som en kombinasjon av kulpetrapp og neddykkede åpninger mellom hver kulp. Dette øker oppvandringseffektiviteten, og kan gi muligheter for oppvandring under døgnets mørke timer. Det anbefales at fisketrappa dimensjoneres for vannføringer opp til 1 m³/s.

Fiskeinngangen til dagens fisketrapp er gunstig plassert under forutsetning av at vassføringen i fossen reduseres til 5-15 m³/s i oppvandringssesongen (1. juni-1. september). Det anses som fordelaktig at vassføringen i fossen virker som attraksjonsvann for fisketrappa. Dette øker fiskens evne til å finne inngangen til fisketrappa ettersom de er tilnærmet samlokalisert. Som tilfellet er ved dagens trapp kan det legges til rette for to eller flere innganger som kan betjene ulike vassføringer og vannstandsnivåer. Ved tilrettelegging av trappas inngang bør den nederste kulpen lages ekstra stor i forhold til de øvrige kulpene. Det kan også med fordel lages en eller flere større kulper oppover i trappa som gir rom for hvile under oppvandring.

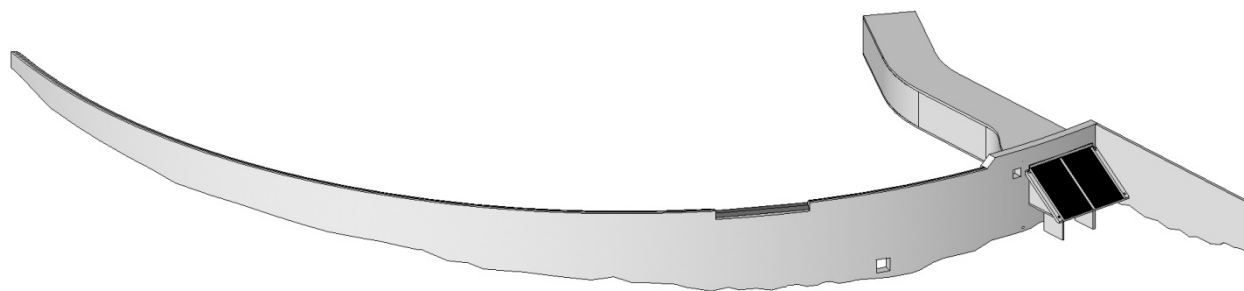
Vanninntaket (fiskens utgang til ovenforliggende elvestrekning) er i dag lokalisert på motsatt side av turbininntaket (gjelder alle skisserte alternativ). Dette er fordelaktig fordi det reduserer faren for at utmattet fisk blir trukket inn mot den finmaskede varegrinda. I tillegg er det fordelaktig at vanninntaket ligger langt unna flomløp, slik at ufrivillig nedvandring hos fisk som har passert fisketrappa unngås.

Overvåking av fiskepassasjer kan gi et godt bilde av fiskepopulasjonen oppstrøms et vandringshinder. Som eneste fiskepassasje opp forbi Palmafossen vil et overvåkingssystem i trappa effektivt kunne overvåke mesteparten av oppvandrende laks og sjørret. Det kreves imidlertid spesiell tilrettelegging av fisketrappa for å installere egnet overvåkningsutstyr.

4.3 Etablering av nytt damanlegg med moderne nedvandringsløsninger

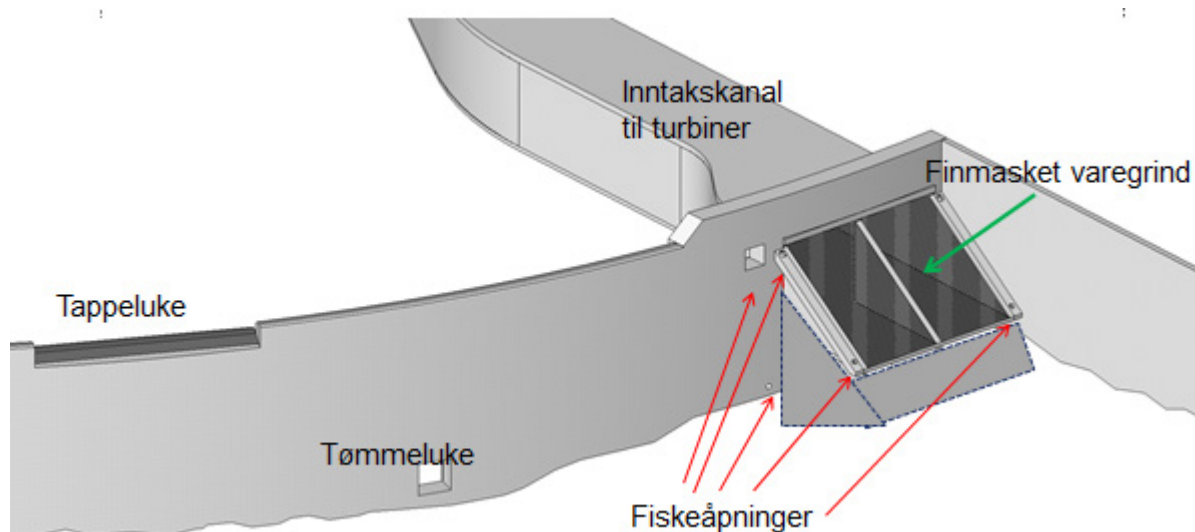
Basert på våre innspill underveis i utredningen har Bystøl AS laget noen enkle skisser for et nytt damanlegg. Vi anbefaler at det nye damanlegget får et integrert moderne miljødesign som skal sikre trygg nedvandring hos laks og sjørret smolt og vinterstøinger (utgytt voksen fisk), samt ål. Alle tiltakene er i tråd med internasjonale anbefalinger for nedvandring av laksefisk forbi elvekraftverk.

Selve dammen foreslås som en oppstrøms buet betongdam med turbininntak på nordsiden, flomluker (overflatevann) i midtre seksjon og vanninntak til fisketrappa på sørsiden. Vannstanden i dammen bør være tilnærmet konstant gjennom hele året (Figur 5).



Figur 5. Oversiktsbilde over ny dam med overløpsluke på damkrona og turbininntak med inntakskanal og skillevegg. Tegning av Bystøl AS.

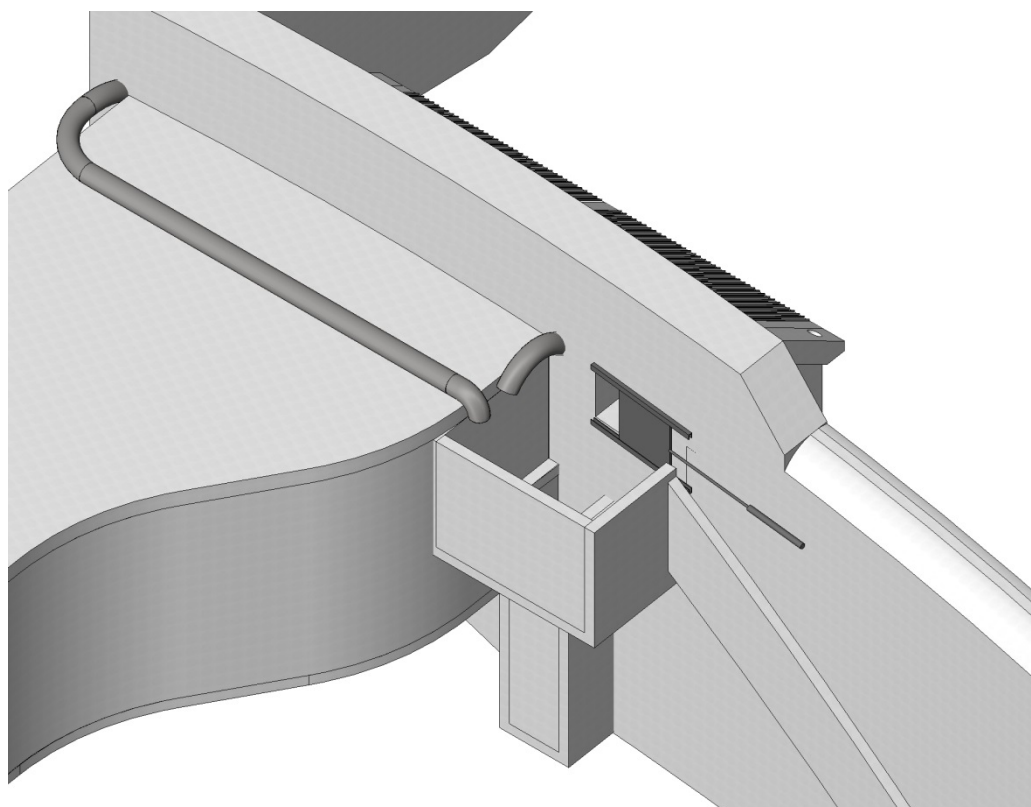
Foran turbininntaket monteres ei skråstilt og finmasket varegrind (alfa-rist). Lysåpningen på inntaksrista bør fungere som en fysisk sperre for de minste smoltene av laks og sjørret, og bør derfor ikke overstige 15 mm. Dette tiltaket vil eliminere de tidligere omtalte problemene med turbinpassasje hos fisk (Figur 6).



Figur 6. Skisse av finmasket varegrind med åpninger for nedvandring av fisk. Spesielt tilrettelagte fiskepassasjer er markert med røde piler. Tegning av Bystøl AS.

På nordsiden av turbininntaket foreslås en betongvegg som går fra varegrindas nordre ende og inn til fast bakke på nordsiden. Dette vil hindre fisk fra å samle seg opp på denne siden av inntaket. På motsatt side av inntaket lages ei luke helt inntil øvre del av varegrinda. Her slippes overflatevann (ca. 2 m³/s) kontinuerlig, og dette vil gi gode nedvandringmuligheter både for smolt og vinterstøing. Om høsten etter gyteperioden vil en betydelig andel av gytefisken returnere til sjøen, og disse vil enkelt kunne søke seg frem til denne nedvandringssluka ettersom den er plassert helt inntil varegrinda foran turbininntaket. Om våren returnerer de siste vinterstøingene, samt all smolt av laks og sjørret. Disse vil kunne velge nedvandringssluka eller flomlukene som slipper overflatevann når vårflommen overstiger kraftverkets slukeevne.

I tillegg etableres fire hull i rammeverket på varegrinda (to oppe og to nede) for nedvandring av smolt og voksen ål. Hullene gir nedvandringmulighet både for fisk som vandrer nær overflaten (i hovedsak smolt) og langs bunnen (vanlig hos ål). Den samlede vannmengden fra disse fire nedvandringshullene (ca. 1 m³/s) vil bli samlet opp i et rørsystem på nedsiden av dammen og ledes ned i felles anlegg på nedsiden av dammen som betjener all fisk som vandrer ned gjennom disse vannveiene. I dette anlegget vil det være mulig å overvåke fisk som passerer ned forbi dammen gjennom fiskepassasjene (Figur 7). Damkrona er derfor forhøyet på nordsiden av dammen for å hindre overrisling av vann i flomperioder.



Figur 7. Skisse som viser oppsamlingssystem for fisk på nedsiden av dammen ved turbininntaket. Tegning av Bystøl AS.

Fisk som vandrer via disse passasjene vil ledes ut i fossen på nedsiden av dammen og kan slippe seg ned på naturlig måte. Det anbefales noen forbedringer i denne vannveien for å hindre slagskader som følge av fritt fall. Utstikkende bergknauser bør muligens fjernes, og fallets høyde bør deles i to etapper. Dette kan gjøres ved sprengninger i elveløpet som defineres ved 3-5 m³/s.

Flomlukene i dammens midtseksjon designes for slipp av overflatevann (Pelican-luker). Dette representerer en vesentlig miljømessig forbedring sammenlignet med vanlige flomluker som slipper bunnvann. Nedvandrende laksefisk tiltrekkes sterkere av denne typen flomløp, og det vil derfor til en hver tid være svært gode nedvandringmuligheter gjennom det nye damanlegget til Palmafossen kraftverk. Det antas at de aller fleste smolt og støinger vil passere over disse pelicanlukene i flomperioder.

4.4 Vassføringer i fossen

Det bør slippes miljøbasert minstevassføring i fossen i oppvandringsperioden om sommeren.

Hensikten er først og fremst å etablere gode standplasser for laks og sjørørret som gir gode forhold

for fisk til å oppdage vannføringen ut av trappa. Ut i fra nåværende kunnskap er det vanskelig å angi denne eksakt, men en foreløpig vurdering tilsier at vannføringer i foss (og trapp) mellom 5 og 15 m³/s vil gi gunstige oppvandringsforhold. Det må foretas mere detaljerte vurderinger av minstevassføringer på befaringer ved vannføringer mellom 2 og 15 m³/s. I tillegg bør det etter hvert tas hensyn til erfaringene fra overvåkningen av fiskeoppgangen gjennom fisketrappa, hvor det blant annet tas hensyn til tidsrom for oppvandring av de ulike artene.

Ut fra vassføringsdata (Figur 1) og en planlagt turbinkapasitet på 30 m³/s, vil det i vandringsperiodene i stor grad være overløp på dammen, og nedvandring av fisk i vil i hovedsak skje via Pelican-lukene under vårflommen. Om høsten må man likevel etablere et minimum av vannslipp for å sikre nedvandringen av utgytt laks og sjørret. I utvandringsperioden for smolt, som antas å være mellom 1. mai og 15. juni, bør det alltid slippes minst 5 % av turbinvassføringen via vandringspassasjene rundt inntaket. Utgytt fisk kan vandre ned i to puljer gjennom året, både kort tid etter gyting (fra anslagsvis 1. november og fram mot årsskiftet) og om våren (anslagsvis fra andre halvdel av mai). I denne perioden må fisken ha tilgang til en fiskepassasje med overflatetapping og en dybde på minst 30 cm. Til dette benyttes luka som vist til høyre for inntaket på figur 6, hvor en vassføring på 2 m³/s vil være tilstrekkelig.

5 Konklusjoner

1. Forutsetningen for å sette i drift gyte- og oppvekstområder for laks og sjørret ovenfor Palmafossen er at fisken kan komme opp til, og oppholde seg i vannmassene ved fossefoten og fiskeinngangen til fisketrappa. Disse forutsetningene er trolig i liten grad til stede under dagens reguleringsforhold. Økt slukeevne i kraftverket kan bedre på dette, ved at det etableres et stillere parti mellom kraftverksutløpet og fossefoten der inngangen til trappa er. En viktig forutsetning for at oppvandringsforholdene skal bedres er at det skapes en tilstrekkelig stor kulp med relativt rolig vann nedstrøms trappeinngangen, og at det installeres en varegrind foran kraftverksutløpet som hindrer oppvandrende fisk i å gå inn i utløpstunnelen. Utforming og plassering av kraftverksutløpet er således viktig.
2. Det anslås at vassføringen i fossen ikke bør overstige 15 m³/s i oppvandringssesongen for laks og sjørret. Oppvandringsmulighetene for laks og sjørret forbi samløpet mellom utslippet fra kraftverket og fossen kan ivaretas ved at vassføringsforholdet varierer mellom 1:6 og 1:1. Utvidelse av samløpshølen vil være fordelaktig, slik at forholdene for oppholdstid og stimuli fra fossen og

trappa blir optimalisert. De naturgitte forholdene er gunstige for dette formålet fordi elvegjelet medfører stor grad av samlokalisering av vannveiene..

3. Minstevassføringen i fossen bør kalibreres slik at laks og sjørret kan vandre opp til foten av Palmafossen og oppholde seg i denne hølen gjennom hele døgnet uten for mye energiforbruk.
4. En ny fisketrapp designet for stor laks og sjørret bør bygges i samme trase som eksisterende fisketrapp. Det blir behov for en forlengelse av traseen i form av utsprengte slynger i berggrunnen på sørsiden av fossen, og at den øverste kulpen omdannes til et trappeløp for å øke trappas lengde. En kulpetrapp med både overflate- og bunn tapping mellom hver kulp anbefales for å forbedre oppvandringsforholdene. Trappa bør dimensjoneres for vassføring opp til 1 m³/s. Noen ekstra store kulper bør etableres, og to eller flere fiskeinnganger ved foten av Palmafossen.
5. Nedvandringmulighetene for laks, sjørret og ål ivaretas ved å etablere et nytt damanlegg med moderne miljødesign som er tilpasset internasjonalt kjente forutsetninger for trygg nedvandring både hos smolt og voksne individer. Dette gjøres ved å etablere spesialdesignede luker som både tapper overflatevann (laks og sjørret) og bunnvann (ål) i umiddelbar nærhet av turbininntaket.
6. Foran turbininntaket bør det installeres ei skråstilt varegrind med 15 mm lysåpninger. Dette vil være ei fysisk sperre som hindrer all fisk fra å passere gjennom turbinene. De alternative nedvandningsveiene lokaliseres i umiddelbar nærhet av varegrinda, slik at de lett finnes av fisken..
7. Utsprengninger av utstikkende berg i fossen kan være nødvendig for å redusere faren for slagskader for nedvandrende fisk som passerer Palmafossen.
8. Det må påregnes en periode på 10-15 år fra det nye anlegget er ferdigstilt og til det blir etablert gytebestander av laks og sjørret som passerer kraftverket. Oppfølgende studier og kalibrerende tiltak bør gjennomføres underveis i denne perioden.

6 Referanser

Aitken, P.L., Dickerson, L.H., Menzies, W.J.M. (1966). Fish passes and screens at water works. Proc. Inst. Civ. Eng. **35**; 29-57.

Arnekleiv, J.V., Kraabøl, M. & Museth, J. (2007). Efforts to aid downstream migrating brown trout (*Salmo trutta* L.) kelts and smolts passing a hydroelectric dam and a spillway. Hydrobiologia 582; 5-15.

ASCE. (1995). Fish passage and protection. I: Guidelines for design of intakes for hydroelectric plants. American Society of Civil Engineers, New York, side 469-499.

Barlaup, B. T. (redaktør). (2013) Redningsaksjonen for Vossolaksen. DN-utredning 1-2013. 224 pp.

Cada, G.F. (2001). The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival. Fisheries 26 (97); 14-23.

Calles O, Karlsson S, Hebrand M, Comoglio C. (2012). Evaluating technical improvements for downstream migrating diadromous fish at a hydroelectric plant. Ecological Engineering. **48**; 30–37.

Calles, O., Rivinoja, P., Greenberg, L. (2013). A historical perspective on downstream passage at hydroelectric plants in Swedish rivers. in: Ian Maddock A.H., Paul Kemp and Paul Wood, ed. Ecohydraulics: an integrated approach. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd. ISBN 978-0-470-97600-5. 446 pp.

Calles, O., Karlsson, S., Vezza, P., Comoglio, C., Tielman, J. (In press). Success of a low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant. Freshwater Biology.

Clay, C. H. (1995). Design of Fishways and Other Fish Passage Facilities, 2nd edn., Lewis Publishers, Ann Arbor, MI. ISBN 1566701112.

Coutant, C.C. & Whitney, R.R. (2000). Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines; a review. *Transactions of the American Fisheries Society* 129; 351-380.

Croze, O., Bau, F. & Delmouly, L. (2008). Efficiency of a fish lift for returning Atlantic salmon at a large-scale hydroelectric complex in France. *Fisheries Management and Ecology* 15; 467–476.

DTU Aqua. (2011). En opdatert og udbygget vurdering af afgitringskravet ved dambrug i ferske vandsystemer med focus på utvalgte rødliste- og habitatarter af fisk, herunder lampretter. PM 2011-06-11, 30 pp.

DWA, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, (2005). Fish protection technologies and downstream fishways. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft (www.dwa.de), 226 s.

Greenberg, L., Calles, O., Andersson, J. & Engqvist, T. 2012. Effect of trash diverters and overhead cover on downstream migrating brown trout smolts. *Ecological Engineering* 48; 25-29.

Fjeldstad, H. P., Uglem, I., Diserud, O. H., Fiske, P., Forseth, T., Kvingedal, E., Hvidsten, N. A., Økland, F. & Järnegren, J. A. (2012). A concept for improving smolt migration past hydropower intakes. *Journal of Fish Biology* 81; 642–663

Fjeldstad, H.-P., Alfredsen, K. & Forseth, T. (2013). Atlantic salmon fishways: The Norwegian experiences. VANN 02-2013.

Hvidsten, N. A., Jensen, A. J., Vivås, H., Bakke, Ø., Heggberget, T. G. (1995). Downstream migration of Atlantic salmon smolts in relation to water flow, water temperature, moon phase and social interaction. *Nordic Journal of Freshwater Research* 70; 38–48.

Hvidsten, N. A., Heggberget, T. G. & Jensen, A. J. (1998). Water temperature at Atlantic salmon smolt entrance. *Nordic Journal of Freshwater Research* 74; 79–86.

Johnson, G.E. & Dauble, D.D. (2006). Surface flow outlets to protect juvenile salmonids passing through hydropower dams. *Reviews in Fisheries Science* **14**; 213-244.

Katopodis, C. (1992). Introduction to Fishway Design. Working Document, Freshwater Institute, Fisheries and Oceans Canada, Winnipeg, Manitoba, 67 pp.

Kraabøl, M., Arnekleiv, J. V. & Museth, J. (2008). Emigration patterns among trout, *Salmo trutta* (L.), kelts and smolts through spillways in a hydroelectric dam. *Fisheries Management and Ecology* **15**; 417–423.

Kraabøl, M. (2013). Varegrinder foran turbininntak ved elvekraftverk; barrierer eller inngangsport for fisk? VANN 01-2013.

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

McCormick, S. D., Hansen, L. P., Quinn, T. P., & Saunders, R. L. (1998). Movement, migration, and smelting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* **55**; 77-92.

Montén, E. (1985). Fisk och turbiner. Vattenfall. 118 pp. ISBN 91-7186-243-9.

Odeh, M. & Orvis, C. (1998). Downstream fish passage design considerations and developments at hydroelectric projects in the North-East USA. I. Jungwirth, M., Schmutz, S. & Weiss, S. (Red.). *Fish Migration and Fish Bypasses*. Fishing News Book, side 267-280.

Pethon, P. (1998). Aschehougs store fiskebok .H. Aschehoug & Co, 4. utgave, 447 sider.

Raynald, S., Courret, D., Chatellier, L., Larinier, M. & David, L. (2013-a). An experimental study on fish-friendly trashracks – Part 1. Inclined trashracks. *Journal of Hydraulic Research*: **51**; No. 1, pp. 56–66.

Raynald, S., Courret, D., Chatellier, L., Larinier, M. & David, L. (2013-b). An experimental study on fish-friendly trashracks – Part 2. Angled trashracks. *Journal of Hydraulic Research*: **51**; No. 1, pp. 67–75.

Rivinoja, P., Östergren, J., Leonardsson, K., Lundqvist, H., Kiviloog, J., Bergahl, L. & Brydsten, L. (2004). Downstream migration of *Salmo salar* and *S. trutta* smolts in two regulated northern Swedish rivers. In: Proceedings, Fifth International Symposium on Ecohydraulics, Madrid, Spain.

Scruton, D., McKinley, R., Kouwen, N., Eddy, W. & Booth, R. (2003). Improvement and optimization of fish guidance efficiency (FGE) at a behavioral fish protection system for downstream migrating Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Rivers Research and Applications* **19**; 605-617.

Scruton, D. A., Pennell, C. J., Bourgeois, C. E., Goosney, R. F., King, L., Booth, R. K., Eddy, W., Porter, T. R., Ollerhead, L. M. N. & Clarke, K. D. (2008). Hydroelectricity and Fish: A Synopsis of Comprehensive Studies of Upstream and Downstream Passage of Anadromous Wild Atlantic Salmon, *Salmo salar*, on the Exploits River, Canada. *Hydrobiologia* **609**; 225-239.

Thorstad, E. B., Økland, F., Kroglund, F. & Jepsen, N. (2003). Upstream migration of Atlantic salmon at a power station on the River Nidelva, Southern Norway. *Fish Management Ecology* **10**; 139–146.

Ugedal, O., Kroglund, F., Barlaup, B. & Lamberg, A. (2014). Smolt – en kunnskapsoppsummering. Rapport M136-2014, Miljødirektoratet. 128 pp.

Videler, J. (1993). Fish swimming. Chapman & Hall, Fish and Fisheries Series 10, 260 pp.

Voss energi AS. (2009). Søknad om opprusting og utviding av Palmafossen kraftverk i Voss kommune. Konsesjonssøknad.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no