

Til: Ingrid Haug (NVE)
Kopi til: Håkon Rustad og Guro Karoline Flugon Aase (Eidsiva Vannkraft AS) ...
Fra: Morten Kraabøl og Jon Museth (NINA)
Emne: **Spesifisering av krav til fiskepassasjer ved eventuell etablering av Tolga kraftverk.**

Konklusjon

Vi opprettholder konklusjonen fra NINA Rapport 828 om at det er mulig å redusere de negative konsekvensene av Tolga kraftverk hvis man prioriterer ivaretagelse av opp- og nedstrøms fiskevandring ved planleggingen, design og drift av kraftverket, og tiltaksorienterte etterundersøkelser. Vi mener at dagens generelle kunnskapsgrunnlag om valg av type fiskepassasjer i innlandselver, design av nedstrøms vandringsløsninger og utforming av tunnelutløp tilsier at man kan lykkes med å lage effektive fiskepassasjer ved eventuell etablering av Tolga kraftverk. Det er imidlertid svært viktig at man tar høyde for at det sannsynligvis vil være behov for tilpasninger og justeringer i anlegg og drift etter at kraftverket er satt i drift. Det understrekes at selv om man løser utfordringene knyttet til fiskevandring er de samlede konsekvensene av de ulike utbyggingsalternativene vurdert fra liten negativ til middels negativ konsekvens. Design av varegrind foran turbininntak med tilstrekkelig liten lysåpning og nedvandringsløsninger for både ung og voksen fisk vurderes som det mest kritiske punktet for å sikre fiskevandring ved etablering av Tolga kraftverk.

Bakgrunn

I NINA Rapport 828 (Tolga Kraftverk: Utredning av konsekvenser for bunndyr og fisk) ble det konkludert med at de negative virkningene av etablering av Tolga kraftverk i hovedsak var knyttet til kraftverksdam, tunnelutløp og regulert minstevannføringsstrekning. I forhold til fiskevandring ble det konkludert med at utforming av gode tekniske løsninger ved dam og tunnelutløp, tiltak for å redusere omfanget av og konsekvensene av utfall av kraftverket og prioritering av tiltaksorientert overvåking/oppfølging i etterkant i stor grad ville påvirke graden av negative konsekvenser av tiltaket. For å synliggjøre potensialet for miljøtilpasning av etablering av Tolga kraftverk ble det gjennomført en KU under to ulike forutsetninger:

- Alternativ 1: Toveis fiskevandring forbi dam og oppstrøms vandring forbi tunnelutløp opprettholdes på et tilfredsstillende nivå ved at problemstillingen gis høy prioritet ved planlegging, bygging og ved tiltaksorienterte etterundersøkelser (se forslag til avbøtende tiltak). Tiltak for å redusere omfang og konsekvenser av utfall av kraftverk gjennomføres.
- Alternativ 2: Toveis fiskevandring forbi dam og oppstrøms vandring forbi tunnelutløp blir betydelig redusert ved at det bygges en konvensjonell dam med fisketrapp for oppvandrende fisk og tunnelutløp uten spesielt fokus på å opprettholde fiskevandring (basert på beskrivelse av tiltaket i meldingen om Tolga kraftverk).

Dette notatet er ingen ny konsekvensutredning, og konklusjonene i NINA Rapport 828 opprettholdes. Det vises derfor til NINA Rapport 828 når det gjelder vurderte konsekvenser av de ulike utbyggingsalternativene. Det understrekes at selv om man løser utfordringene knyttet til fiskevandring og andre påpekte forhold er de samlede konsekvensene av de ulike utbyggingsalternativene vurdert til middels negativ (--) for alt. 3A, middels /liten negativ (-(-)) for alt. 3B og 2A og liten negativ (-) for

alternativ 2B. Ved alternativt tunnelutløp for 2B/3B (flytting av tunnelutløp ved Kleven ca. 550 m nedstrøms opprinnelig planlagt) ble konsekvensvurderingen av alternativ 3B og 2B justert opp til henholdsvis middels negativ (--) og liten/middels negativ (-(-)) for ørret på grunn av at verdien til området som blir direkte berørt oppjusteres noe. Bakgrunnen var at alternativ plassering av tunnelutløp vil føre til at gyteområdet ved Eidgårdene vil bli liggende på minstevannføringsstrekningen.

Disse negative konsekvensene er knyttet til negative virkninger av en lang minstevannføringsstrekning og usikkerhet knyttet til i hvor stor grad funksjonaliteten til bl.a. gyteområder på minstevannføringsstrekningen opprettholdes etter en eventuell utbygging.

Konklusjonene i rapporten forutsetter imidlertid at man lykkes med å lage en effektiv toveis fiskepassasje ved dam og tunnelutløp. I kap. 5.2 i NINA Rapport 828 beskrives det på et overordnet nivå hvordan dette kan løses. Det har imidlertid i etterkant, både under sluttbefaring og i høringsuttalelser, blir stilt spørsmålstegn ved om kunnskapsgrunnlaget er tilstrekkelig for å lykkes med å konstruere effektive fiskepassasjer for harr, ørret og ev. andre vandrende arter. NVE har derfor bedt utbygger utarbeide en tilleggsutredning om dette temaet, og NINA har fått dette oppdraget. Detaljplanleggingen av tiltaket har ikke startet og det påpekes at det er avgjørende at hensynet til fiskevandring er en del av planleggingen av dam og tunnelutløp fra starten av. I og med at det ikke foreligger tekniske tegninger av damanlegg m.m. per i dag vil anbefalingene i dette notat være noe generelle, men vi påpeker viktige forhold som må tas hensyn til ved utforming av effektive fiskepassasjer.

Generelt om vandringsproblemer forbi elvekraftverk med relevans for Tolga kraftverk

Etablering av elvekraftverk medfører en rekke inngrep som bl.a. kan virke forstyrrende på fiskevandring. Problemene oppstår som følge av både de tekniske installasjonene (inntaksmagasin, dam, minstevannføringsstrekning og tunnelutløp) og ved at det etableres nye vannveier som ikke nødvendigvis er egnet som fiskepassasjer. I de fleste tilfeller har nye vannveier, som bl.a. flomluker og inntak av driftsvann, kapasitet til å drenere en betydelig del av elvas vannføring, og disse vil dermed skape nye hydrauliske forhold. I tillegg endres elvas karakter i form av redusert vannføring på minstevannføringsstrekningen mellom dam og tunnelutløp, og endring fra strømmende elv til inntaksmagasin et stykke oppstrøms dammen. Alle disse inngrepene og endringene vil kunne påvirke fiskevandring i influensområdet til kraftverket negativt.

Etablering av funksjonelle fiskepassasjer som sikrer toveis fiskepassasje for de aktuelle fiskeartene er derfor avgjørende for å opprettholde fiskevandringene. Det påpekes imidlertid at etablering av elvekraftverk kan endre drivkreftene for vandring (f.eks. neddemming og tørrlegging av gyteområder og forringede produksjonsforhold på minstevannføringsstrekningen), og dette vil kunne føre til endringer i vandringsystemene til fisk selv om det etableres funksjonelle fiskepassasjer. Vi legger imidlertid til grunn, bl.a. med referanse til vannforskriften, at det skal legges til rette for toveis fiskevandring ved etablering av elvekraftverk.

Kunnskapsnivået omkring slike fiskepassasjer og tilhørende tiltak vurderes som såpass god at det med stor sannsynlighet forventes at fiskevandring kan opprettholdes selv om det bygges nye elvekraftverk. Det påpekes spesielt viktigheten av varegrindas (foran turbininntaket) betydning for å hindre turbinpassasje, samt installering av alternative nedvandningsveier i dammen hvor det avgis tilstrekkelig mengde vann i vandringsperiodene. Ved eventuell etablering av Tolga kraftverk vil det slippes minstevannføring forbi kraftverket hele året. Det er derfor viktig at minstevannføringen, og flomvann i perioder, utnyttes mest mulig optimalt for å sikre nedvandring og attraksjon mot inngangen til fisketrappa. I forhold til elvekraftverk der det ikke slippes minstevannføring (dvs. turbinene er plassert i dammen) ligger forholdene bedre til rette for å designe effektive vandringsløsninger ved en eventuell etablering av Tolga kraftverk.

Begrepet fiskepassasjer involverer derfor vesentlig mer enn bare de tradisjonelle fisketrappene, og omfatter i prinsippet hele elvestrekningen og alle vannveiene som berøres direkte av inngrepet. Alle fysiske inngrep og endringer i vannføring/elvekarakter som følge av elvekraftverket defineres derfor som fiskepassasjer, og tiltak ved de ulike strekningene og lokalitetene er nødvendig for å opprettholde fiskevandring. Problemstillinger og tiltak for å sikre fiskevandring forbi et elvekraftverk omfatter derfor elvestrekningen fra samløpet mellom drifts- og minstevannføring (tunnelutløp) i nedre del og helt opp til øvre del av inntaksmagasinet. Det er viktig at fiskepassasjene og tiltakene rettes både mot opp- og nedstrøms vandring for hele den vandrende fiskefaunaen som tidligere gjennomførte vandring på hele eller deler av den berørte elvestrekningen. Ved etablering av Tolga kraftverk vil harr og ørret være de viktigste måltartene for fiskepassasjen, selv om arter som steinsmett (relativt høye tettheter), niøye, sik, abbor, gjedde og lake også finnes på strykstrekningen i Tolgafallene.

Nedenfor gis en summarisk gjennomgang av generelle problemstillinger som er relevante for Tolga kraftverk. Det henvises vekselvis mellom generell kunnskap på de ulike delområdene, og til forhold med direkte relevans til Tolga kraftverk.

Oppstrøms vandring

Forbi tunnelutløp

Driftsvannet fra Tolga kraftverket vil ledes ut i tunnel til elveleiet (fire ulike alternativer), og disse samløpsområdene representerer det første potensielle problemområdet for oppstrøms vandrende fisk. Problemene forårsakes først og fremst av at vannføringen ut fra tunnelen er stor i forhold til vannføringen som kommer fra minstevannføringsstrekningen. Fisk på oppvandring vil derfor erfaringsmessig ha en tendens til å søke mot tunnelåpningen fremfor det regulerte elveleiet. Slike avløpstunneler for driftsvann har som regel alltid en lav fallgradient, og de aller fleste fiskearter vil derfor potensielt kunne svømme helt inn mot svingekammeret nedenfor turbinene. Dette antas å være artsspesifikt ettersom det er helt mørkt i en slik tunnel, og det foreligger for lite kunnskap om fiskevandring i totalt mørke vannveier. Det er imidlertid kjent at lake kan vandre flere kilometer inn i slike tunneler, og at laks og sjøørret kan passere kortere strekninger gjennom fisketrapp som går gjennom tunneler i berggrunnen.

Det er gjennomført noen studier av vandring hos laks og ørret forbi tunnelutløp i regulerte elver. Det er vanskelig å gi entydige konklusjoner fra disse studiene, men det er åpenbart at forholdet mellom drifts- og minstevannføring er av stor betydning. Som en foreløpig tommelfingerregel bør minstevannføringen minst utgjøre 15 % av driftsvannføringen, og helst noe mer. Planlagt slukeevne i kraftverket ved alternativ 3A, 3B og 2A av Tolga kraftverk er på 60 m³/s, dvs. minstevannføringen i oppvandringsperioden (12 m³/s) vil utgjøre minimum 20 % av driftsvannføringen. Ved alternativ 2B er slukeevnen satt til 80 m³/s og minstevannføringen vil ved valg av dette alternativet utgjøre minimum 15 % av driftsvannføringen. En kompliserende faktor som gjør det vanskelig å presentere en allmenngyldig regel for forholdet mellom drifts- og minstevannføring er elveleiets og tunnelutløpets utforming, og plasseringen av tunnelåpningen i forhold til minstevannføringen. Det er generelt en fordel dersom tunnelåpningen plasseres så nært elveleiet som mulig, slik at det ikke dannes en ny standplass som er adskilt fra hovedelveleiet.

Slipp av kunstige lokkeflommer på minstevannføringsstrekningen i kombinasjon med tilsvarende reduksjon i driftsvannføringen vil kunne gi gode stimuli for forbivandring, og slike lokkeflommer bør helst repeteres gjennom hele vandringssesongen. Uansett vil vannføringen fra tunnelen ha en betydelig attraksjonseffekt på oppvandrende fisk, og det kreves derfor tiltak både for å forhindre at fisk går inn i tunnelen, og for at fisk skal oppholde seg unødige lenge i samløpsområdet.

Aktuelle fysiske tiltak for å hindre innvandring av fisk i tunnelen er bl.a. varegrinder med lysåpninger som er mindre enn kroppsbredden til oppvandrende fisk. I innlandsvassdrag med relativt småvokste fiskearter og oppvandring av både gytefisk og ungfisk vil dette kunne by på betydelige tekniske utfordringer. Men dersom lysåpningen i varegrindene ved tunnelutløpet er litt grovere enn varegrindene

ved turbininntaket så vil faren for opphopning av trevirke og annet flytende materiale reduseres betraktelig, men det vil uansett trolig være behov for etablering ristrensker ved varegrinda.

Etablering av en oppstrøms elektrisk fiskesperre har også vist gode resultater for å hindre fisk fra å vandre inn i avløpstunneler fra kraftverk. Et pulserende elektrisk felt ved selve utløpet med gradert spenningsstyrke (økende spenning opp mot tunellutløpet) har gitt gode resultater for laksefisk, men det er en forutsetning at den elektriske sperra ikke påvirker innløpet fra den regulerte minstevannføringen. Teknologien for elektriske fiskesperrer vurderes som tilstrekkelig god til å løse slike problemer i store elver.

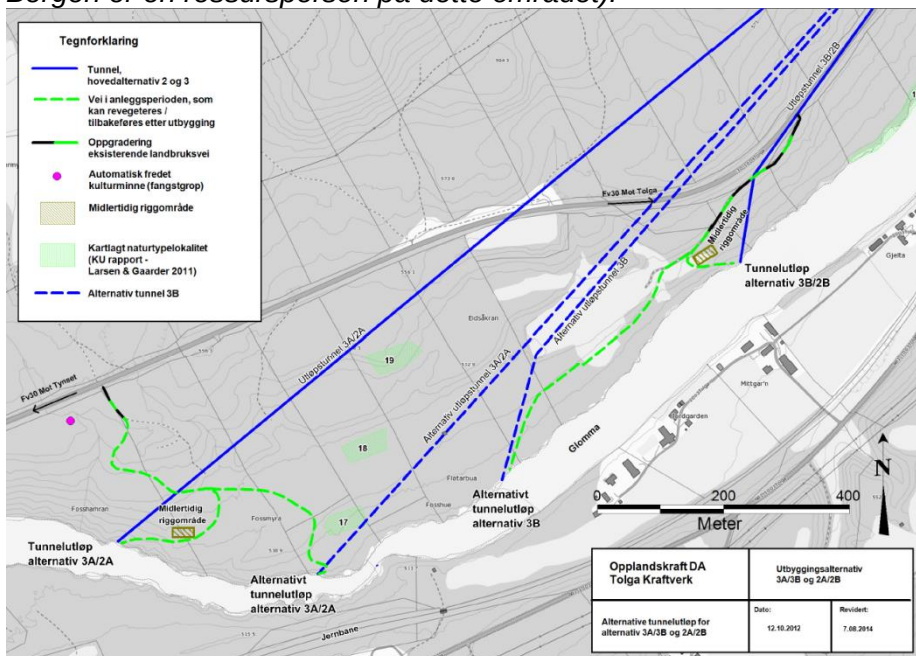
Vinklingen av selve tunellutløpet har stor betydning for graden av attraksjon for fisk. Tunnelåpninger som slipper driftsvannet i tilnærmet vannrett inn i samløpshølen vil i stor grad simulere en innkommende sideelv, og graden av attraksjon for fisk blir derfor stor ettersom driftsvannet strømmer langt ut i samløpsområdet og blir en markert vannstrøm sammenlignet med minstevannføringen. Dersom vannstrømmen fra tunnelen slippes gjennom et avløpsrør som går rett oppover vil dette drepe energien i driftsvannet, og det blir ingen markant innkommende vannstrøm som blander seg med minstevannføringen i samløpsområdet. På denne måten er det mulig å opprettholde minstevannføringen som den viktigste og mest markerte innkomne vannstrømmen i samløpsområdet. Slike neddykkede tunnelutløp er planlagt ved Tolga kraftverk og det vurderes som en stor fordel i forhold til å sikre oppvandring forbi tunnelutløpet.

Gassovermetning kan inntreffe som følge av flere forhold i regulerte vassdrag, og oppstår gjerne når en blanding av vann og luft settes under trykk. Fallhøydene ved de ulike alternativene for Tolga kraftverk er såpass høye at denne problematikken bør utredes. Gassene som vanligvis forårsaker overmetning i vann er O₂, N₂ og CO₂. Oppvarming av vann, innsuging av luft i vannmassene som går inn i turbinene, blanding av vann med ulik lufttemperatur, kavitasjoner og transport av vann i lukkede tunneller er vanlige årsaker. Ved Tolga kraftverk er det først og fremst innsug av luft i turbininntaket, mangel på tilstrekkelig lufting i til- og fraførende tunneller og kavitasjoner i turbinene som kan medføre gassovermetning. Det er derfor en fordel med neddykket inntak til kraftverket ved dam. Blanding av vann med ulik temperatur vurderes som lite sannsynlig ved elvekraftverk. Mangelfull utlufting før driftsvannet slippes ut igjen i elva kan skape gassovermetning dersom tunellutløpet vinkles slik som beskrevet ovenfor. Det anbefales derfor en nærmere vurdering av faren for gassovermetning ved den skisserte løsningen for tunellutløpet, samt muligheten for tiltak. Langvarige perioder med gassovermetning kan gi skader med forskjellig alvorlighetsgrad. Gassovermetning kan påvirke forekomsten av både vandrende og stasjonær fisk fra samløpsområdet og opptil noen kilometer nedstrøms til overmetningen er luftet ut av vannmassene.

Konklusjon tunnelutløp Tolga kraftverk: Minstevannføringen i Glomma ved etablering av Tolga kraftverk vil utgjøre fra minimum 15-20 % av driftsvannføringen ved de ulike utbyggingsalternativene. Dette er like over eller nær det som vurderes som kritisk grense for å få effektiv vandring forbi tunnelutløpsområder. Tiltak for å sikre effektiv forbivandring vurderes derfor som nødvendig. Tunnelutløpene er planlagt som neddykkede utløp som munner rett ut elvemunningen, og dette vurderes som en fordel sammenlignet med en åpen kanal som gir en markert vannstrøm ut i elveleiet. Det vil trolig foregå oppvandring av umoden ørret og harr forbi tunnelutløpet og installering av en varegrind i tunnelutløpet som fysisk hindrer fisk i å vandre inn vurderes som mulig ettersom denne varegrinda kan ha noe større lysåpning enn grinda foran turbininntaket. Tunnelutløpets planlagte utforming gjør det også mindre aktuelt å foreslå etablering av en elektrisk fiskesperre ved de alternative kraftverksutløpene. Man bør imidlertid være åpen for å vurdere og gjennomføre slike tiltak hvis det viser seg at dette blir et problemområde. Det bør vurderes og trolig legges til rette for lufting av driftsvannet slik at eventuelle problemer med gassovermetning elimineres.

Trolig vil en riktig utforming av det naturlige elveleiet forbi tunnelutløpet, kombinert med mulighetene for å slippe lokkeflommer, være tilstrekkelig for å sikre vandring forbi de planlagte tunnelutløpsområdene. Et regime med lokkeflommer er imidlertid mer utfordrende her fordi

vandringer av ungfisk og gytefisk trolig vil foregå i store deler av den isfrie sesongen. Det bør derfor legges ekstra stor vekt på at minstevannføringen forbi tunnelutløpsområdet konsentreres slik at det blir en markert vannstrøm forbi tunnelutløpet og inn på minstevannføringsstrekningen. Det vil derfor være behov for å gjøre tiltak i elveleiet ved alle tunnelutløpsområdene med unntak av "alternativt tunnelutløp alternativ 3A/2A" rett nedstrøms Eidsfossen. Her vil de nedre delene av fossen danne et markert strykparti forbi tunnelutløpet (mindre tilpasninger kan være aktuelt). Ved de øvrige tre planlagte tunnelutløpene er elveleiene forholdsvis brede og man må gjøre tiltak, f.eks. ved å etablere halvterskler på motsatt side av tunnelutløpet slik at det dannes en markert strøm forbi tunnelutløpsområdene. Dette bør være fullt ut gjennomførbart og slike halvterskler vil også skape variasjon på en ellers relativt homogen elvestrekning. Slike tiltak vil isolert sett også vurderes som positivt for fisk og øvrig biodiversitet. Selv om de naturgitte forholdene ved alternativt tunnelutløp for alternativ 3A/2A er best, mener vi dette ikke gir tilstrekkelig grunnlag for å foretrekke dette alternativet framfor de to oppstrøms Eidsfossen. Alternativt tunnelutløp 3A*/2A* bør imidlertid foretrekkes framfor tunnelutløp alternativ 3A/2A (se vedlagt kart), og tunnelutløp alternativ 3B/2B bør foretrekkes framfor alternativt tunnelutløp 3B*/2B*. Eventuelle muligheter for gassovermetning og tilhørende tiltak bør vurderes for de aktuelle tekniske løsningene (Ulrich Pulg ved UNI Miljø Bergen er en ressursperson på dette området).



Vandring på minstevannføringsstrekningen

Fisk som har passert samløpet mellom driftsvann- og minstevannføring må passere en minstevannføringsstrekning før de ankommer fisketrappene som ved Tolga kraftverk vil bli lokalisert ved kraftverksdammen. Den viktigste forutsetningen for god oppstrøms fiskepassasje er tilstrekkelig vannføring for oppvandring gjennom hele strekningen, og at både vannføringen og habitatstrukturen tilfredsstiller de ulike artenes krav til standplasser gjennom hele døgnet. Disse kravene er artsspesifikke, og generelt må tiltak tilpasses utvalgte målarter.

Et felles trekk ved elveleiet som berøres av alle dam- og tunnelalternativene ved eventuell realisering av Tolga kraftverk er at det fremtidige regulerede elveleiet er bredt og grunt, og det er i liten grad definerte djupåler på en del av elvestrekningen (f.eks. nedstrøms Tolga sentrum). Vannføringen under oppvandringssesongen for harr og ørret vil være 12 m³/s og dette vurderes som tilstrekkelig for å ivareta oppvandring på minstevannføringsstrekningen, men det er noe usikkerhet knyttet til denne vurderingen. Hvorvidt denne vannføringen er tilstrekkelig for å sikre oppvandring kan undersøkes ved telemetristudier etter at kraftverket er etablert.

Den fremtidige minste vannføringsstrekningen er såpass lang ved alle alternativene at det må antas at oppvandrende fisk kan bruke flere døgn på denne passasjen opp til damanleggene ved Lensmannsfossen eller Hummelvoll. Dette innebærer at oppvandrende fisk må kunne få egnede standplasser og vandringsruter som kan benyttes til alle døgnets tider. Generelt er det slik at dagstandplasser krever som oftest dypere høl og bedre skjulmuligheter enn nattstandplasser. Fysiske tiltak som for eksempel etablering av halvtterskler for å konsentrere vannstrømmen, samt utgraving av dype kulper og tilførsel av stor stein kan være aktuelle tiltak for å bedre oppvandringsmulighetene på minste vannføringsstrekningen. Spesielt rett nedstrøms dammene bør det etableres dypere kulper som er egnet som dagstandplasser. Selv om det etableres fisketrapper må man påregne at kraftverksdammen fører til forsinkelse i vandringene og det er derfor viktig at oppvandrende fisk ikke må forlate området rett nedstrøms dammen dersom de ikke finner fiskepassasjen med en gang.

Dersom Eidsfossen blir en del av minste vannføringsstrekningen kan dette medføre endrede oppvandringsforhold for fisk forbi Eidsfossen. Eidsfossen er i dag vandringsbegrensende og er trolig en viktig årsak til bl.a. stor ansamling av harr rett nedstrøms fossen om våren (under gytingen). Ideelt sett vurderes både bedre og dårligere oppvandringsforhold som uheldige ettersom det vil representere avvik fra naturtilstanden. Men tiltak som for eksempel modifiseringer i fosseløpet ved kontrollerte sprengninger vil kunne justere oppvandringsforholdene i forbedrende og begrensende retning. Telemetristudiene på ørret og harr som ble gjennomført i forbindelse med konsekvensutredningene utgjør et godt grunnlagsmateriale dersom det skal gjøres fremtidige vurderinger av dette.

Konklusjon oppvandring på minste vannføringsstrekningen: *NINA Rapport 828 konkluderer med at det er oppstrøms fiskevandring gjennom Tolgafallene (bl.a. basert på genetiske undersøkelser og merkedata fra Høyegga). Det er derfor viktig å legge til rette for oppstrøms fiskevandring gjennom hele Tolgafallene (dvs. de alternative minste vannføringsstrekningene), men telemetriundersøkelsene viste samtidig at det ikke var omfattende oppstrøms vandring gjennom hele den planlagte minste vannføringsstrekningen gjennom Tolgafallene. Telemetriundersøkelsene viste at det var et vandringsmønster som omfattet de øvre deler av Tolgafallene (bl.a. på strekningen Hummelvoll – Erlibrua) og de nedre deler (bl.a. på strekningen Eidsfossen – nedstrøms Tolga sentrum). Den foreslåtte minste vannføringen på 12 m³/s er trolig tilstrekkelig for å sikre oppvandring på minste vannføringsstrekningen, men dette bør undersøkes i etterkant av utbyggingen, og behov for bl.a. lokkeflommer bør vurderes. Etablering av kulper som kan tjene som dagoppholdsplasser for fisk vurderes som positivt, og spesielt rett nedstrøms de ulike damalternativene ved Hummelvoll og Lensmannsfossen bør det etableres dypere kulper som kan tjene som dag- og nattoppholdsplasser for fisk. Etablering av såkalte halvtterskler, spesielt på strekningen Tolga sentrum – Eidsfossen vurderes som et positivt habitattiltak.*

Valg av fisketrappdesign

Fiskepassasjer konstruert for oppvandrende laksefisk har i stor utstrekning blitt brukt i artsrike vassdrag i en rekke land. Mange av disse fiskepassasjene har imidlertid vist seg å fungere dårlig i forhold til måltartene. Viktige årsaker til dette har vært at fallgradienten har vært for stor og at vannhastigheten gjennom passasjene har vært større enn svømmekapasiteten til mange arter. I tillegg krever den vanligste typen av fisketrapper i innlandselver, kulpetrapper, at fisken hopper mellom kulpene. Mange fiskearter foretrekker å svømme nær bunnen, og dette gjelder også mindre ørret og harr (trolig også større individer hvis de får valgmuligheten).

Fallgradienten i fiskepassasjer for oppvandrende fisk er en avgjørende faktor fordi den i stor grad bestemmer vannhastigheten. Den vanligste fallgradienten i kulpetrapper for laksefisk varierer mellom 1:4 og 1:9. Fallhøyden mellom kulpene i laksetrapper er gjerne 30 cm, og vannhastigheten mellom kulpene er gjerne 2,4 m s⁻¹ eller høyere. Forsøk med lavere fallgradienter, mellom 1:18 og 1:32, og med vannhastigheter under 1,4 m s⁻¹ har vist seg langt mer effektive for å øke antall arter som passerer trappene. I tillegg vil slike moderate fallgradienter og vannhastigheter gi økt mulighet for passasje av ung og umoden fisk på nærings- eller overvintringsvandring, noe som er viktig i Glomma ved Tolga. De viktigste måltartene for en fiskepassasje ved Tolga kraftverk vil imidlertid være harr og ørret i ulike livsstadier, og disse er relativt strømssterke.

Fisketrappens fallgradient og utforming er også avgjørende for dannelsen av turbulens i trappekulpene. Turbulens skapes av energien i det innfallende vannet i hver kulp, samt hvilke muligheter kulpene gir for absorpsjon av denne energien. Denne fallenergien betegnes som energifordelingsfaktor (EFF) og måles som Watt pr. m^3 (W m^{-3}). For laksefisk anbefales om lag 200 W m^{-3} mens for karpefiskarter anbefales EFF ned mot 125 W m^{-3} . Småvokste innlandsfiskearter som for eksempel abbor, steinsmett og niøye har en øvre EFF-grense på $50\text{--}90 \text{ W m}^{-3}$ og svak turbulens for vellykket passasje.

Beregninger av EFF-verdier for ulike fisketrappdesign gir en tallverdi som ikke nødvendigvis gir et tilstrekkelig bilde av det tredimensjonale og komplekse miljøet i hver trappekulp. Denne tilnærmingen bør derfor anvendes med forsiktighet og alltid vurderes i forhold til forekomst av turbulens. Konstruksjoner som fordeler turbulensen jevnt utover i kulpenes vannvolum bør etterstrebes for å optimalisere oppvandringsmulighetene for strømsvake arter. Fisketrapper med neddykkede vannkanaler (submerged orifice type) anbefales ikke som følge av sterke, konsentrerte og varierte strømninger i kulpene. Derimot er den såkalte vertikalspaltede ("vertical slot") trappetypen vesentlig bedre i denne sammenheng fordi en større del av vannvolumet blir brukt til absorpsjon av energien. Det foreligger ulike designløsninger og videre utvikling og raffinering av sistnevnte fisketrappetype for å gi optimal fordeling av turbulens ved etablering av fiskepassasjer hvor måltartene har variert svømmekapasitet. I Østerrike har man god erfaring med bruk av modifiserte vertical slot trapper for vandrende harr (Gunther Unfer, pers. medd.).

Naturlignende «fiskebekker» regnes som det aller beste alternativet i elver med flere fiskearter med ulik svømmekapasitet. En svensk studie omfattet 240 individer fordelt på 15 arter som passerte to nyetablerte naturlige fiskepassasjer i ei stor elv. De to bekke-liknende fiskepassasjene var henholdsvis 370 og 150 m lange med fallgradienter på 2,5 og 1,8 % og dybder mellom 0,5 og 1 m. Vannhastigheten varierte fra 0 og opp mot 2 m s^{-1} i de 2,5-4 m brede kanalene. Til samme 240 individer av karpefisk, gjedde, abbor, lake og ørret benyttet fisketrappen og illustrerer derved potensialet dersom forholdene tilfredsstiller de enkelte artenes krav. I tillegg fungerte fiskepassasjene for fisk i ulike livsstadier. I alt 74 % av individene fra dette brede artsspekteret passerte fisketrappen. Dette studiet viser at lavt fall og varierte og begrensede turbulenser i fiskepassasjens leie kan gi tilfredsstillende oppvandringsmuligheter for arter med lav svømmekapasitet. Gjerdde og lake er for eksempel kjent for å vandre gjennom fiskepassasjer som naturlignende fiskebekker og vertikalspaltede trapper.

Fiskepassasjer som er etablert som utgravde kanaler med hydrologiske forhold som etterliknet en naturlig bekk er også studert i andre land og er antatt å gi gode passasjemuligheter for et større artsspekter enn støpte og kanaliserte fisketrapper av tradisjonelt design. Variasjoner i passeringseffektiviteten kan til viss grad være forårsaket av motivasjon fremfor svømmekapasitet alene. Viljen til å yte sin maksimale svømmekapasitet varierer sannsynligvis mye mellom gytemodne og umodne individer på vandring. Artsspesifikke forskjeller som for eksempel ulike størrelser og kjønn kan også gi skjeve bilder innen arten fordi motivasjonen og svømmekapasiteten varierer med kroppsstørrelse, stadium og kjønn. Av den grunn anbefales enten vertikalspaltede trapper eller naturlignende fiskebekker ved Tolga kraftverk, og det frarådes samtidig å bygge tradisjonelle kulpetrapper og motstrømstrapper (såkalte Deniltrapper). Disse vurderes som likestilte, men det er en forutsetning at de har en tilstrekkelig lav fallgradient. Studier har også vist at lav passeringseffektivitet i fisketrapper har vært knyttet til dimensjonene på trappekanalen. Vannvolumet har gjerne vært lavt i kombinasjon med at maksimalverdiene på vannhastigheten har vært høy. Spesielt viktig er forholdet mellom vannføring og fisketrappens bredde (VF/BR). Dette forholdet bør ikke overstige $0,1 - 0,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Dersom dette tallforholdet fordobles vil det kunne redusere artsdiversiteten gjennom fiskepassasjen. Andre faktorer som reduserer artsdiversiteten gjennom fisketrapper er den totale lengdeutstrekningen, noe som til dels er et motstridende element i forhold til behovet for lav fallgradient. Det nevnes også at en naturlignende fiskebekk vil kunne tilføre betydelige verdier til elvestrekningen i form av gyte- og oppveksthabitat for fisk, samt en variert fauna av andre akvatiske dyr og planter. Det er imidlertid en forutsetning av det slippes vann i bekkeleiet gjennom hele året, mens dette streng tatt ikke er nødvendig for ei vertikalspaltet betongtrapp.

Konklusjon valg av fisketrappdesign: Vi anbefaler naturlignende fiskebekk eller en vertikalspaltet ("vertical slot") trappetype ved Tolga kraftverk, og likestiller disse to trappetyperne i forhold til artene harr og ørret. "Vertical slot" kan modifiseres ved å etablere naturlignende elvebunn (dvs. støpe inn steiner av varierende størrelse) i bunnen av trappa. Dette vil være en fordel for fisk som vandrer langs bunnen (steinsmett og trolig ung harr og ørret). Vi har ikke konkludert endelig mht. hva slags fallgradient man skal anbefale, men det er viktig å huske at Tolgafallene i utgangspunktet har en del tøffe strykpartier og fosser – og det er derfor ikke nødvendig å legge til rette for vandring av de mest strømsvake artene. Fallgradient må avveies mot lengde på passasjen og vi regner med at en fallgradient på 1:10 – 1:20 vil være tilfredsstillende. Forholdene for etablering av en "naturlignende fiskebekk" er mer gunstig ved Hummelvoll (god plass) enn Lensmannsfossen (trangere), men vi vil ikke på dette grunnlaget uten videre anbefale damsted Hummelvoll (3A & 3B) framfor Lensmannsfossen (2A & 2B). Årsaken til dette er at valg av damsted Hummelvoll vurderes å ha noe større negative konsekvenser enn damsted Lensmannsfossen fordi berørt elvestrekning er lengre og området ved Erlibrua blir liggende på minstevannføringsstrekningen (gyteområde for både harr og ørret, se NINA Rapport 828) ved valg av damsted Hummelvoll. Det vil trolig være noe mer utfordrende, men teknisk mulig, å bygge en vertikalspaltet fisketrapp ved Lensmannsfossen. Etableringen av en fiskebekk med permanent vannføring gjennom hele året vil kun i liten grad veie opp mot de negative konsekvensene som følge av at området ved Erlibrua blir minstevannføringsstrekning.

Fiskens evne til å lokalisere fisketrappenes inngang:

Damanlegget vil bestå av flere flomluker langs dammen. I tillegg blir det bygd fisketrapp for oppstrøms fiskepassasje forbi selve dammen. Vannføringen i fisketrappa er vanligvis bare en brøkdel av den totale vannføringen som slippes enten som minstevannføring eller flomvannføring gjennom lukene. I alle tilfeller er det behov for å etablere en lukemanøvrering som i størst grad evner å tiltrekke oppvandrende fisk mot trappenes fiskeinngang. Det bør derfor først og fremst utarbeides et forslag til plassering av luker og lukemanøvreringsreglement som samlokaliserte minstevann og flomvann til trappas fiskeinngang. Valg av flomluker som skal fjernstyres/automatiseres bør derfor ligge på samme side som fiskeinngangen i trappa. Det anbefales også å legge til rette for slipp av attraksjonsvannføring inntil fiskeinngangene i trappene. Dette kan gjøres med rørsystemer eller betongkanal parallelt med fisketrappa. Denne vannveien kan også benyttes som nedvandringspassasje for fisk (se nedenfor).

Konklusjon fiskens evne til å lokalisere fisketrappens inngang: Minstevannføring og flomvann bør gjennom bevisst plassering av flomluker og lukemanøvrering kunne brukes til å lokke fisk mot inngangen til fisketrappa. Det må tas høyde for at det kan være behov for tilpasninger og ombygginger etter etablering av kraftverket for å optimalisere forholdene for oppvandring.

Passasje av oppdemt magasin:

Fisk som passerer gjennom fisketrappa kommer ut i det oppdemte magasinet ved dammen. I dette tilfellet vil fiskepassasjen tjene både som opp- og nedvandringsvei forbi kraftverket, og det medfører behov for andre avveininger omkring samlokalisering med turbininntak sammenlignet med tradisjonelle fisketrapper med enveis funksjon. For å ivareta oppvandrende fisk er det viktig å unngå at fisk kommer ut i magasinet i utmattet tilstand og i nærheten av turbininntaket fordi selve trappepassasjen kan være såpass fysisk krevende at den som følge av akutt redusert svømmekapasitet kan fanges opp av innstrømmende vann mot turbininntaket. Selv om det settes inn finmaskede varegrinder vil det være en viss fare for at fisk blir fanget på rista og dør som følge av ventileringsproblemer med gjellene. Det bør derfor etableres en hvilekulp i øvre del av fiskepassasjen for å la fisken restituere seg før den svømmer ut i magasinet. Dette vil bidra til at de nedvandringsrelaterte fordelene med samlokalisering med turbininntaket kan opprettholdes.

Etablering av gjedde kan bli et problem for småfallen ørret og harr som kommer ut fra fisketrappa og skal passere det oppdemte magasinet, men dette vurderes å bli et vesentlig mindre problem i inntaksmagasinet til de to alternative damstedene til Tolga kraftverk enn i større magasin som bl.a. Løpsjøen i Søndre Rena (se forslag til avbøtende tiltak for å redusere tetthetene av bl.a. gjedde i NINA Rapport 828).

Nedstrøms vandringer

Passasje av oppdemt magasin

Nedvandrende ungfisk og voksen fisk av ørret og harr vil på samme måte kunne bli utsatt for predasjon dersom det etableres bestander av gjedde og abbor, men se NINA Rapport 828 for avbøtende tiltak.

Finmasket varegrind foran turbininntak

Driftsvannføringen til kraftverket ledes gjennom ei varegrind og deretter gjennom fallrør, trykksjakter og turbiner for kraftproduksjon i turbinene. Foran disse vanninntakene må det installeres ei varegrind for å beskytte turbinene mot større objekter som kommer flytende med vannet. Dersom turbinpassasje er den eneste tilgjengelige vannveien, med roterende turbinblader, store trykkforskjeller og mulig gassovermetning kan en betydelig andel av fisken omkomme enten momentant eller ved forsinket dødelighet. Teknologisk miljødesign som omfatter fasiliteter for skånsom nedvandring av fisk forbi kraftverk er hittil lite påaktet i Norge, men forskningslitteraturen og forvaltningens oppmerksomhet på dette er økende. Komplexiteten i problematikken kan illustreres ved at nesten alle arter av innlandsfisk er flergangsgytende og derfor trenger å vandre eller forflytte seg nedstrøms i vassdragene flere ganger i løpet av livet. Dette gjelder i første rekke returvandrende gytefisk og utvandring av ungfisk, men også mer diffuse forflytninger av fisk innad i vassdraget, slik tilfellet er i Glomma ved Tolga. Valg av varegrinder og lysåpning styres vanligvis av driftsmessige forhold, og gjøres ut fra en vurdering av turbinenes robusthet og elvas transport av flytende trevirke og andre objekter. 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.

Dersom varegrinda ved Tolga kraftverk skal fungere som en effektiv barriere for nedvandrende fiskearter må lysåpningen mellom elementene i grinda være mindre enn kroppsbredden til de vandrende individene. Som en tommelfingerregel er bredden hos laksefisk om lag 8-12 % av fiskens totale lengde. Dette innebærer at man må kjenne til størrelsesfordelingen hos fisk som vandrer i elvesystemet, og dimensjonere varegrindas lysåpninger deretter. Vanligvis vil lysåpninger i varegrinda som tilsvarer 10 % av fiskens lengde være tilstrekkelig for å hindre at fisk passerer gjennom varegrinda, men noe fisk vil kunne sette seg fast i lysåpningene. Generelt anbefales derfor lysåpninger som er ned mot 7 % av fiskens kroppslengde dersom varegrinda skal fungere som en effektiv barriere for fisk under alle situasjoner.

Større lysåpninger som tilsvarer 14 % - 25 % av fiskens lengde har vist seg å kunne fungere relativt godt til å avvise nedvandrende smolt av laks og sjøørret under forutsetning av at vannstrømmen ikke faller vinkelrett inn mot varegrinda. I slike tilfeller er det en klar forutsetning at det dannes en tversgående (tangentiell) vannstrøm foran varegrinda som lett oppfattes av nedvandrende ungfisk som da beveger seg langs varegrinda i stedet for å passere direkte gjennom elementene. Dannelsen av tangentielle strømmer foran varegrinda er dessuten avhengig av driftsvannføringen til enhver tid, og den vil variere gjennom vandringsperiodene. Installering av varegrind med større lysåpning enn 1,5 cm vil måtte innebære andre tiltak som f.eks. avledere både i overflata og bunnært, og oppfølgende studier bør i så fall gjennomføres for å fastslå effekten ved ulike vannføringer i elv og gjennom turbinene.

Lysåpningene i varegrinda foran turbininntaket ved Tolga kraftverk bør derfor være såpass smale at de hindrer passasje av ung fisk på 15 cm. Det foregår med stor sannsynlighet omfattende nedvandring av årsunger av harr forbi Tolgafallene. Disse individene er imidlertid såpass små (2-8 cm) at det synes urealistisk å hindre disse fra turbinpassasje ettersom det kreves lysåpninger på under 0,3 cm for å etablere et fysisk hinder for nyklekkede harrunger.

Vannstrømmen i forkant av varegrinda bør være skråstilt i forhold til varegrinda. Dersom den kommer perpendikulært inn mot varegrinda må den være betydelig lavere enn den aktuelle artens (og fiskestørrelsens) normale svømmekapasitet. Dette vil tillate fisken å gjennomføre søk på tvers av strømmene etter alternative nedvandringsveier. Fisk som utmattes under dette søket kan også kile seg fast mellom to elementer på varegrinda og dø av respirasjonsproblemer eller andre skader. Vanligvis

måles maksverdien for den «Anbefalte Perpendikulære Vannhastigheten» (APV) om lag 10 cm foran varegrinda, og beregnes med følgende formel;

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

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 og ungfisk av ørret mellom 15 og 20 cm. Vannhastigheter over 50 cm/s anbefales generelt aldri dersom det vandrer fisk forbi kraftverket. Ved Tolga kraftverk er harrvandringene viktige å ivareta, og det anbefales derfor en APV på maksimalt 30-40 cm/s.

Forsøk med skråstilte varegrinder som har noe høyere lysåpning enn fiskens kroppsbredde har vist at dette kan redusere innvandring av fisk i turbinene. Dette gjøres ved at varegrinda plasseres diagonalt enten i horisontal- eller vertikalplanet mot den innkomne vannstrømmen (dvs. ca. 45 grader). I noen tilfeller fungerer det også med vinkler ned mot 20 grader i forhold til strømretningen. Denne skråstillingen genererer tangentielle strømmer som går parallelt med varegrindas overflate, og er en fordel for fisk som samler seg ved vanninntaket til turbiner fordi oppholdstiden i dette området øker. Dermed øker også sjansene for å lokalisere alternative nedvandringsveier forbi kraftverket.

En viktig forutsetning for at disse skråstillingene skal hjelpe fiskens nedvandring er at de gjøres i kombinasjon med en alternativ nedvandringsvei med slipp av overflatevann som er lokalisert i det hjørnet hvor det dannes virvelstrømmer og oppsamling av flytende objekter.

Konklusjon finmasket varegrind foran turbininntak: Dette er trolig det mest kritiske punktet for å sikre fiskevandring ved etablering av Tolga kraftverk. Selv om man har eksempler på at varegrinder med lysåpninger som tilsvarende 14-25 % av fiskens lengde kan være effektive for å hindre fisk i å vandre inn i turbininntak hvis strømningsforhold og lokalisering av alternative nedvandringsveier og avledningsinstallasjoner er optimalt plassert, konkluderer vi med at muligheten for å installere en varegrind med lysåpning på 15 mm må utredes. Dette vil gi betydelig mindre grad av usikkerhet knyttet til temaet turbinpassasje. Etablering av en varegrind med lysåpning på 10 cm (som i dag er vanlig ved de fleste kraftverk i Glomma) vurderes som ikke tilfredsstillende uansett gjennomføring av andre tiltak.

Alternative nedvandringsveier forbi dam

Vannveier som slipper overflatevann, som for eksempel flomluker, tømmerrenner og isluker er alternative vandringsveier for nedvandrende fisk forbi elvekraftverk. Slike vannveier fungerer ofte som gode alternativ for nedvandrende fisk dersom de er lokalisert svært nær den finmaskede varegrinda foran turbininntaket. I tillegg er det naturligvis en forutsetning at det slippes overflatevann i den tiden det ankommer vandringsvillig fisk foran turbininntaket. Spesiallagde lukeåpninger for fisk er sannsynligvis den mest optimale løsningen for å optimalisere balansen mellom vannforbruk og miljøgevinst på sikt. Ved Tolga kraftverk vil det slippes minstevannføring hele året, og dette gir gode mulighet for å etablere nedvandringsveier uten tappt kraftproduksjon.

Nedvandrende fisk som slipper seg over ei luke med overflatetapping kan imidlertid påføres skader og økt dødelighet som følge av høyt fall av fisk gjennom og påfølgende fallhastigheter som skader eller dreper fisk når de treffer vannflata i undervannet nedenfor dammen. Grenseverdien for skader på øyne, gjeller og indre organer ved fritt fall er 15-16 m/s for de fleste fiskearter. Denne kritiske hastigheten oppnås etter fall på 30-40 meter for fisk i lengdeintervallet 15-18 cm, mens større fisk over 60 cm oppnår denne skadelige fallhastigheten allerede etter 13 meter. Selve vannsøylen som slippes over lukekanter oppnår den skadelige hastigheten på 15-16 m/s etter 13 meter med fritt fall. Den anbefalte maksimale fritt-fall-høyden for fisk som slipper seg utfor overflateluker er derfor 13 meter, og generelt anbefales det fallhøyder som ikke overstiger 10 meter, uavhengig av om fisken faller utenfor eller innenfor vannsøylen. De foreslåtte damhøydene er henholdsvis 3 og 7 m ved Hummelvoll og Lensmannsfossen, og det vurderes slik at begge er godt innenfor grenseverdiene for påføring av skader.

I de fleste tilfeller faller fisken gjennom vesentlig lavere høyder ved norske kraftverk fordi de ofte ledes inn i en støpt betongrenne nedover til undervannet nedenfor dammen. Det er viktig at slike renner er fri for oppstikkende strukturer og at underlaget er glatt og jevnt slik at nedvandrende fisk unngår slag- og friksjonsskader som kan skade øyne, skjell- og hudlag og i verste fall gi større sårskader. Over tid vil det kunne utvikles soppinfeksjoner som en komplikasjon av slike skader.

For å øke mulighetene ytterligere for at nedvandrende fisk skal velge alternative vannveier forbi dammen kan det etableres innretninger i inntaksbassenget som bidrar til å lede nedstrøms vandrende fisk mot de alternative nedvandningsveiene. Eksempler på dette er skråstilte avledere som flyter på vannoverflata i forkant av varegrinda. For å oppnå god effekt av dette forutsettes det at avlederen stikker minst like dypt ned i vannmassene som fisken beveger seg, og det er ikke tilstrekkelig med avledere som leder flytende is og trevirke bort fra varegrinda. Forsøk med avledning av laksesmolt har for eksempel vist at opptil 84 % av nedvandrende smolt kan ledes mot en alternativ nedvandningsvei ved hjelp av en avleder som var vinklet 40 grader mot innstrømmen og stakk 4,5 meter ned i et inntaksbasseng som var 9 meter dypt. Tilsvarende innretning anbefales også for Tolga kraftverk.

Konklusjon alternative nedvandningsveier forbi dam: *Nedstrøms passasje gjennom overflateluker kan være skadelig for fisk, men ved fokus på dette ved design av slike nedvandningsløsninger vil faren for slike skader i stor grad elimineres.*

Anbefalinger knyttet til de ordinære flomlukene

Ved begge damalternativer blir det behov for flomluker til å lede vann under flomperioder. Vanligvis foregår det en del forflytninger og vandringer av fisk nedstrøms i elver under slike perioder, og det anbefales derfor at det settes inn flomluker som slipper både overflate- og bunnvann fra inntaksmagasinet. Det vurderes som uheldig dersom det bare installeres luker med lik funksjon med hensyn til drenering av overskuddsvann. Varierte vannveier gjennom lukene vil kunne sikre rask og trygg dampassasje hos flere fiskearter som kommer mot dammen i slike perioder. Det bemerkes spesielt at det høyst sannsynlig foregår en betydelig nedstrøms vandring (drift) av nyklekkede harr- og sikunger under vårfloppen, og disse vil kunne passere gjennom flomluker som tapper vann fra ulike vannlag. Det er også trolig en nedstrøms forflytning av ung ørret. Den bunnlevende arten steinsmett, som etter alt å dømme beveger seg langs bunnen til enhver tid, vil kunne benytte bunnluker som vandningsvei.

I tillegg anbefales det etablering av ei inspeksjonsluke i bunnen av damfoten, og at den opereres med enkle mekanismer for åpning og lukking. Hensikten er i første rekke å besørge transport av bunnsedimenter på årlig basis forbi demningen. På lang sikt vil dette kunne motvirke de negative effektene som følge av at det etableres en permanent dam og følgelig hindring for transport og fordeling av finere og grovere bunnsedimenter på den berørte elvestrekningen.

Nedstrøms vandringer forbi minstevannføringsstrekningen

Fisk som har passert dammen vil sikres videre nedstrøms passasje som følge av det foreslåtte minstevannføringsreglementet. Det kan ikke påpekes noen forhold ved minstevannføringsstrekningen som vil forstyrre nedvandringen i nevneverdig grad.