

## Varegrinder foran turbininntak ved elvekraftverk; barrierer eller inngangsport for fisk?

*Av Morten Kraabøl*

Morten Kraabøl er biolog og seniorforsker ved NINA.

### Summary

**Trash racks at hydropower turbine intakes; barriers or entry gates for fish?** At all run-of-river hydro power plants, water is diverted through turbines for power generation. Trash racks protect the turbines from harmful debris. The spacing between the trash rack elements usually reflects operational considerations, and rarely fish protection. The mortality inflicted on fish passing the turbines varies between 5 % and 100 %, depending on turbine design. Trash racks will protect migrating fish if the element spacing is no more than 7 % -10 % of the fish length. If the spacing is greater than this, alternative downstream migration routes should be established alongside the trash racks. Trash racks should be angled 20-45 degrees in the vertical as well as the horizontal plane, and thereby increase the retention period of fish and increase the probability of locating an alternative migration route. Installation of an angular fish deflector reaching at least 3-5 m deep in the forebay basin will divert the fish towards alternative downstream routes for fish.

### Sammendrag

Varegrinder foran turbininntak ved elvekraftverk; barrierer eller inngangsporter for fisk? Alle elvekraftverk har et definert inntaksområde for innstrømmende vann som ledes ned gjennom turbiner for kraftproduksjon. Foran vanninntakene er det installert varegrinder som har til hen-

sikt å beskytte turbinene mot større objekter som kommer flytende. Valg av varegrinder og lysåpning gjøres etter driftsmessige vurderinger, og ikke for å hindre fisk å passere turbinene. Dødeligheten ved turbinpassasje varierer mellom 5 og 100 %, avhengig av turbinetype. Skal varegrinda fungere som en barriere for nedvandrende fisk kan ikke lysåpningene overstige 7-10 % av fiskens total lengde. Ved større lysåpninger bør alternative nedvandringsveier etableres inntil varegrinda. Vannstrømmen som møter varegrinda bør vinkles 20-45 grader både i horisontal- og vertikalplanet. Dette medfører økt oppholdstid for fisk foran varegrinda, og større sannsynlighet for å velge alternativ nedvandringsvei. I tillegg bør det legges ut skråstilte avledere som stikker minst 3-5 m ned i vannet og leder nedvandrende fisk mot de alternative nedvandringsveiene på siden av varegrinda.

### Innledning

Vassdragsreguleringer utgjør et betydelig problem for vandrende fiskearter i Europa, og passasjeproblemer ved kraftverk antas å være den viktigste årsaken til at mer enn halvparten av de femti truede fiskeartene i Europa er i tilbakegang (Northcote 1998). Etablering av fisketrapper har vært det vanligste tiltaket til tross for at de som regel bare forbedrer oppvandringsmuligheter for fisk (Clay 1995). Toveis fiskepassasjer favner imidlertid mer helhetlig i forhold til problem-

komplekset fordi det inkluderer både opp- og nedstrøms forflytninger av fisk forbi hindringer. Forskningen på fisketrapper i Norge har hovedsakelig vært begrenset til tiltak for bedre oppstrøms vandring (se Thorstad et al. 2008; Kraabøl 2012; Kraabøl et al. 2012), og det er nå et økende fokus på betydningen av effektive toveis fiskepassasjer forbi elvekraftverk (Noonan et al. 2012).

Fiskevandring som skjer nedstrøms forbi kraftverk er lite undersøkt, og denne artikkelen tar derfor for seg noen viktige faktorer som påvirker nedstrøms fiskepassasje 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 blir lett fanget opp på slike varegrinder, og deretter fjernet med manuelle eller automatiske renskeanordninger for å opprettholde optimal vanngjennomstrømming til turbinene.

Men hva med vandrende fisk som skal passere slike kraftverk? I mange tilfeller er turbinpassasje den eneste tilgjengelige vannveien, men 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 er lite påaktet i Norge, men forskningslitteraturen er voksende på dette feltet (f.eks. Arnekleiv et al. 2007; Kraabøl et al. 2008; 2009; Calles et al. 2012). Komplexiteten i problematikken kan illustreres ved at nesten alle arter av innlandsfisk er flergangsgytende (Pethon 1998; Klemetsen et al. 2003), og derfor trenger å vandre eller forflytte seg nedstrøms i vassdragene til ulike tider i livssyklusen. Dette gjelder i første rekke returvandrende gytefisk og utvandring av ungfisk, men også mer diffuse forflytninger av fisk innad i vassdraget. I artsrike vassdrag vil dette medføre at vandrende fiskearter har behov for å komme seg forbi kraftverkene til flere ulike tider på året. Utformingen av dammer, flomluker og turbininntak er alltid

tilpasset de lokale forhold, og det kan være vanskelig å designe gode miljøløsninger for et mangfold av fiskearter.

Valg av varegrinder og lysåpning har hittil blitt gjort som følge av driftsmessige forhold av kraftverkseierne, og gjøres ut fra en vurdering av turbinenes robusthet og elvas transport av flytende trevirke og andre objekter. 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 i mange tilfeller satt inn nye varegrinder uten at effektene på fiskevandring er vurdert. Dersom dette medfører økt passasje av fisk gjennom turbinene kan dette ha betydelige negative innvirkninger på vandrende fiskebestander.

Behovet for å bevare viktige fiskebestander og opprettholde opprinnelige vandringsmønstre bør være et av de viktigste insentivene for å utvikle moderne miljødesign av elvekraftverk. Hensikten med denne artikkelen er å redegjøre for de viktigste tiltak som reduserer passasje av fisk gjennom turbiner. Det er lagt mest vekt på forskningsresultater som har stor overføringsverdi ved bygging av nye kraftverk, opprusting og utvidelse av eldre kraftverk og ved tilfeller hvor fiskeforsterkningstiltak skal gjennomføres. Artikkelen er finansiert av RiverConn, prosjektnr. 221454/E40 Miljø2015.

## Hvorfor unngå turbinpassasje av fisk?

Slukeevnen til turbiner ved elvekraftverk er som regel såpass stor at de utgjør den eneste tilgjengelige vannveien for nedvandrende fisk, og nedvandrende fisk trekker naturlig nok inn mot turbininntaket. Dette er den viktigste årsaken til at det foregår omfattende passasje av fisk gjen-

nom turbiner. Nedvandrende ungfisk og voksen gytefisk etter gytingen (f.eks. Bendall et al. 2005) i elver følger som regel hovedstrømmen til enhver tid, og ledes således ofte direkte inn mot turbininntaket (Clay 1995). Det er vel kjent at ungfisk, særlig smolt, hos laksefisk passerer gjennom turbiner under nedvandringen (Montèn 1985; Wilson et al. 1991). Utgytt laks og ørret har gjerne brukt opp mye av den tilgjengelige kroppslige energien under gytingen (Jonsson et al. 1991), hvor kurtise, graving av gytegroper, jaging av artsfrender og tømning av kjønnsprodukter reduserer kondisjonen til begge kjønn (Wootton 1990; Lien 1978). De returnerer derfor så fort som mulig til innsjøen, fjorden eller havet etter gyting for å gjenvinne energi gjennom matsøk (Northcote 1978; Gross et al. 1988; Jonsson & Jonsson 1993), og kan derfor være tvunget til å passere turbiner dersom alternative nedvandringsveier mangler og vandringsstrangen er stor.

Dødeligheten som påføres fisk som passerer gjennom turbiner avhenger først og fremst av to forhold; turbintype og fiskelengde (Clay 1995; Rivinoja 2005). I Norge brukes hovedsakelig to typer av turbiner; fristråleturbin og fullturbin. Peltonturbiner drives av to til seks vannstråler mot skovlene, og er derfor en fristråleturbin. Denne turbintypen medfører 100 % dødelighet ved passasje uansett fiskelengde, men anvendes imidlertid kun ved høye fall mellom 500 og 1300 m.

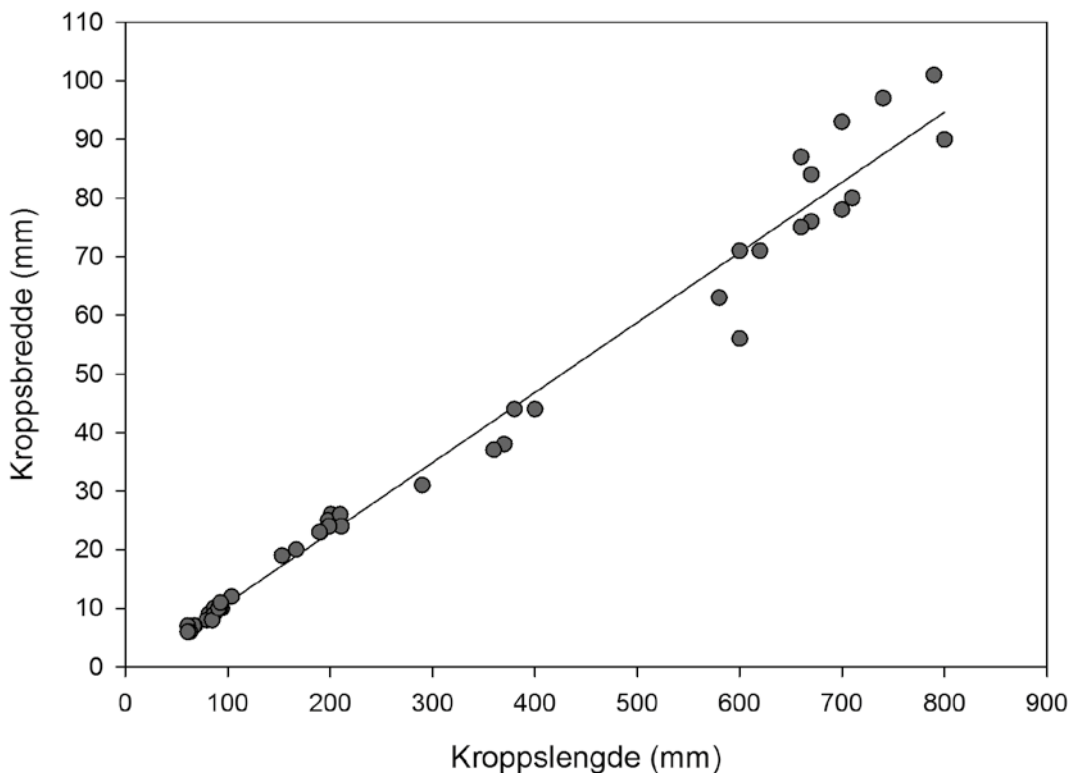
Det er først og fremst i de korte og bratte vassdragene på Vestlandet og i Nordland og deler av Troms at slike turbiner er installert i kraftverkene, og vanligvis er det svært begrenset passasje av fisk nedstrøms slike store fossefall. Francis- og Kaplan-turbiner benyttes ved lavere fallhøyder i de lange og vannrike vassdragene på Østlandet, i Trøndelag og Finnmark (Kock Johansen 2010), og er derfor vanlige i regulerte elvesystemer med vandrende fiskearter. Disse to turbintypene kjennetegnes ved at hele vannstrålen går udelt gjennom det vannfylte turbinhuset, og holdes samlet med økende trykk helt til den treffer turbinbladene. Dødeligheten hos ungfisk som passerer Francis-turbiner varierer mellom 5 % og 90 %, mens for Kaplan-turbiner ligger dødeligheten mellom 5 % og 20 %. Årsa-

kene til denne forskjellen er at Francis-turbiner, som oftest er installert i kraftverk med høyere fallhøyde (30-600 m) enn Kaplan-turbiner (opp til 50 m), og at de har flere rotorblader, bilde 1. Dermed øker risikoen for at passerende fisk blir fysisk skadet. I tillegg er som regel vannmengde gjennom turbinhuset medvirkende til at dødeligheten er større i Francis- enn Kaplan-turbiner (Montèn 1985; Larinier & Travade 2002).

Dødeligheten som oppstår når fisk passerer begge disse turbintypene er relatert til fiskens lengde og en rekke tekniske detaljer i selve turbinene. Dimensjoneringen av turbinene, rotasjonshastighet, avstand mellom turbinbladene, raske trykkøkninger på vei inn i turbinene, gassovermetning og kavitasjoner på vei ut av turbinene utgjør årsakene til akutt dødelighet hos fisk. Direkte dødelighet oppstår som følge av mekanisk skade ved kontakt med rotor og stator



Bilde 1. Stor Kaplan-turbin fra Hunderfossen kraftverk i Gudbrandsdalslågen. Lang avstand mellom rotorbladene gir relativt lav dødelighet for fisk som passerer turbinen. Foto: M. Kraabøl.



Figur 1. Sammenhengen mellom ørretkroppens totale lengde og største bredde for ørret fra Gudbrandsdalslågen. Dette er et godt grunnlag for valg av lysåpning i varegrinder. Tilsvarende forhold mellom lengde og bredde bør måles for alle arter som vandrer nedstrøms forbi kraftverkene.

i turbinene, eller raske trykkforskjeller. Forsinket dødelighet kan oppstå som følge av gassovermetning og andre diffuse skader som oppstår fra raske trykkforandringer, og fisk som overlever selve turbinpassasjen kan derfor dø senere som følge av fysiologiske komplikasjoner eller økt predasjon. Fisk kan også bli desorienterte, stresset og fanget i turbulens etter turbinpassasje, noe som vil øke faren for predasjon i etterkant av turbinpassasje (Ruggles & Murray 1983; Larinier & Travade 2002).

### Varegrinder som fysisk sperre for fisk

Dersom varegrinder skal fungere som en effektiv barriere for nedvandrende fiskearter må lysåpningen mellom elementene i grinda være mindre enn fiskens bredde. Som en tommelfingerregel er bredden hos laksefisk om lag 8-12 % av fiskens totale lengde, figur 1. Dette innebærer

at man må kjenne til størrelsesfordelingen hos fisk som vandrer i elvesystemet, bilde 2, og dimensjonere varegrindas lysåpninger deretter. Vanligvis vil lysåpninger i varegrinda som tilsvare 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 (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 sjøørret 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





Bilde 2. Måling av bredde over ryggen på ørretunge. Foto: M. Kraabøl.



Bilde 3. Eksempel på en skråstilt og finnmasket 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.

beveger seg langs varegrinda i stedet for å passere direkte gjennom elementene (Larinier & Travade 2002).

For å unngå seleksjon på fiskestørrelse bør lysåpningene være såpass finmaskede at de fungerer som barriere for hele den vandrende delen av bestanden. Dersom dødeligheten blir skjevt fordelt som følge av at den småvokste fraksjonen av bestanden dør hyppigere etter turbinpassasje induseres en størrelsesseleksjon hos vandrende fisk. En forutsetning for at slik seleksjon skal oppstå er tilgangen til alternativ nedvandningsvei uten dødelighet for den delen av bestanden som blir fysisk hindret passasje gjennom varegrinda, bilde 3.

### Vannhastighet foran varegrinda

Vannstrømmen i forkant av varegrinda bør ideelt sett være skråstilt i forhold til varegrinda. 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. Fisk som utmattes under dette søket kan også kile seg fast mellom to 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).

### Skråstilte varegrinder og strømmønster

Forsøk med skråstilte varegrinder har vist at dette kan redusere innvandring av fisk i turbinene selv

om lysåpningene overstiger 10 % av fiskens kroppslengde. Dette gjøres ved at varegrinda plasseres diagonalt mot den innkomne vannstrømmen (dvs. ca. 45 grader). I noen tilfeller fungerer det også med vinkler ned mot 20 grader i forhold til strømretningen (Larinier & Travade 2002). 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 nedvandningsveier forbi kraftverket.

I tillegg til at vannstrømmen og innkommende fisk møter varegrinda på skrå fra siden bør den også skråstilles i vertikalplanet. På denne måten vil innkommende fisk bli presset opp mot overflaten, og inn mot det hjørnet hvor strømmene kulminerer. En viktig forutsetning for at disse skråstillingene skal hjelpe fiskens nedvandring er at de etableres i kombinasjon med en alternativ nedvandningsvei med slipp av overflatevann som er lokalisert i det hjørnet hvor det dannes virvelstrømmer. Den optimale lokaliseringen av nedvandningsveien kan fastslås ved å slippe appelsiner ut i elva et godt stykke ovenfor turbininntaket, og deretter se hvor appelsinene samler seg etter ankomst ved varegrinda.

### Alternative vandningsveier

Vannveier som slipper overflatevann, som for eksempel flomluker, tømmerrenner og isluker er alternative vandningsveier for nedvandrende fisk forbi kraftverk (Johnson & Dauble 2006; Larinier 2008), og er regnet for relativt trygge (Larinier & Travade 2002). Slike vannveier fungerer ofte som gode alternativer for nedvandrende fisk under følgende forutsetninger: 1) de bør være lokalisert svært nær varegrinda foran turbininntaket (Larinier & Travade 1999; Gosset et al. 2005), bilde 3, og 2) det bør slippes overflatevann i den tiden det er vandringvillig fisk foran turbininntaket (Larinier et al. 2002; Arnekleiv et al. 2007; Kraabøl et al. 2008).

Nedvandrende fisk som slipper seg over ei luke med overflatetapping kan imidlertid påføres skader og økt dødelighet dersom forholdene er

ugunstige. Fritt fall av fisk gjennom lufta kan gi fallhastigheter som dreper all 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. 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 (Bell & Delacy 1972). 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 helst under 10 meter, uavhengig av om fisken faller utenfor eller innenfor vannsøylen.

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 underlag som kan gi slag- og friksjonsskader på fisk som passerer.

## Skråstilte avledere

For å lede nedstrøms vandrende fisk mot de alternative nedvandningsveiene kan det også legges ut en skråstilt avleder i forkant av varegrinda (Greenberg et al. 2012). 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 ved Bellow Falls kraftstasjon i Connecticut River viste at opptil 84 % av nedvandrende smolt ble ledet mot en alternativ nedvandningsvei ved hjelp av en avleder som var vinklet 40 grader mot innstrømmen og rakk 4,5 meter ned i et inntaksbasseng som var 9 meter dypt (Odeh & Orvis 1998; Larnier & Travade 2002).

## Anbefalte tiltak

Opprettholdelse av to-veis vandring er sentralt i Vannforvaltningsforskriften som ble vedtatt i 2006 (Kgl. res. 15. desember 2006). Definisjonene av økologisk status og tilstand i elver forutsetter

mindre avvik fra naturtilstanden når det gjelder sammensetning, mengde og aldersstruktur av fiskearter, og henspeiler i stor grad til naturtilstanden. Vannforskriften skal sikre at det utarbeides og vedtas regionale forvaltningsplaner med tilhørende tiltaksprogrammer med sikte på å oppfylle miljømålene, og sørge for at det fremskaffes nødvendig kunnskapsgrunnlag for dette arbeidet. Ut i fra et bevaringsbiologisk perspektiv bør derfor forholdene for toveis fiskevandring optimaliseres, og det er behov for tiltak som bedrer nedvandningsmulighetene i tråd med en forvaltning etter vannforskriftens målsetting om god økologisk tilstand.

Ved bygging av nye elvekraftverk, eller opprusting og utvidelse av eldre verk, anbefales først og fremst fysiske barrierer foran turbinsjakten. Dette innebærer at varegrinda bør fungere som en fysisk barriere for nedvandrende fisk. Dersom ikke varegrinda hindrer nedvandring av fisk i turbinene bør en kombinasjon av alternative lede- og nedvandningsveier etableres. Følgende tiltak anbefales for å ivareta nedvandrende fiskearter på best mulig måte:

- Undersøke arts- og størrelsesfordelingen til nedvandrende fisk. Artsmangfoldet og størrelsesfordelingen av fisk som er på vandring nedstrøms mot kraftverket kan avdekkes ved historiske opplysninger, prøvefiske med garn og/eller elektrisk fiske i inntaksbassenget.
- Lysåpningene i varegrindene bør ikke overstige 7-10 % av total lengden til de nedvandrende fiskeartene. Alternativt kan det installeres en midlertidig finmasket varegrind oppå de eksisterende i aktuelle nedvandningsperioder for fisk.
- Vinkelen på innstrømmen mot varegrinda bør ikke være perpendikulær hvis lysåpningene i varegrinda er større enn 7-10 % av fiskens total lengde. Varegrinda bør skråstilles både i horisontal- og vertikalplanet, slik at det dannes tversgående strømmer samtidig som fisken tvinges opp mot overflaten. Skråstillingen bør være mellom 20 og 45 grader.
- Vannhastigheten inn mot varegrinda bør aldri overstige 50 cm/s, og tilpasses arts- og

størrelsesfordelingen av fisk som vandrer nedstrøms.

- Etablere alternativ vandringsvei nær turbininntaket. Luker og åpninger som kan slippe overflatevann helt inntil varegrinda gir nesten alltid god effekt. Dersom innstrømmen mot varegrinda er perpendikulær så bør det etableres luker på hver side av varegrinda.
- Alternative vannveier bør ikke medføre fritt fall over 10 meter, og nedvandrende fisk bør ikke ha kontakt med faste objekter som medfører slag eller friksjon mot huden.
- Vannslippet gjennom disse alternative nedvandringsveiene bør synkroniseres med nedvandringsperioder for alle aktuelle fiskearter. I tillegg bør det slippes tilstrekkelig vann over lukekanten slik at alle aktuelle størrelsesgrupper kan slippe seg ut.
- Skråstilte avledere som stikker minst 3-5 meter ned i vannmassene bør installeres i inntaksbassenget, slik at nedvandrende fisk møter avlederen og ledes mot alternative nedvandringsveier inntil varegrinda.

## 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.

Bendall, B., Moore, A. & Quayle, V. 2005. The post-spawning movements of migratory brown trout *Salmo trutta* L. Journal of Fish Biology 67; 809-822.

Bell, M.C. & Delacy, A.C. 1972. A compendium of the survival of fish passing through spillways and conduits. Fish. Eng. Res. Prog. U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon, 121 sider.

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., Olsson, I.C., Comoglio, C., Kemp, P., Blunden, L., Schmitz, M. & Greenberg, L. 2010. Size-dependent mortality of migratory silver eels at a hydropower plant, and implications for escapement to the sea. Freshwater Biology 55; 2167-2180.

Clay, C.H. 1995. Design of fishways and other fish facilities. Lewis Publisher, Boca Raton, Ann Harbor, London, Tokyo, 248 sider.

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.

Gosset, C., Travade, F., Durif, F., Rives, J., Elie, P. 2005. Tests of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. River Research and Applications 21; 1095-1105.

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.

Gross, M.R., Coleman, R.M. & McDowall, R.M. 1988. Aquatic productivity and the evolution of diadromous fish migration. Science 239; 1291-1293.

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.

Jonsson, B. & Jonsson, N. 1993. Partial migrations: niche shift versus sexual maturation in fishes. Reviews in Fish Biology and Fisheries 3; 348-365.

Jonsson, N., Jonsson, B. & Hansen, L.P. 1991. Energetic cost of spawning in male and female Atlantic salmon (*Salmo salar*). Journal of Fish Biology 39; 1-6.

Klemetsen, A., Amundsen, P.A., Dempson, J.B., Jonsson, B. & Jonsson, N., O'Connell, M.F., Mortensen, E. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.: a review of aspects of their life histories. Ecology of Freshwater Fish 12; 1-59.

Kraabøl, M. 2012. Reproductive and migratory challenges inflicted on migrant brown trout (*Salmo trutta* L.) in a heavily modified river. Doctoral theses at NTNU 2012-136.



- 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., Johnsen, S.I., Museth, J. & Sandlund, O.T. 2009. Conserving iteroparous fish stocks in regulated rivers: the need for a broader perspective! *Fisheries Management and Ecology* 16; 337-340.
- Kraabøl, M., Museth, J., Skurdal, J. & Johnsen, S.I. 2012. Holder fisketrappene mål i forhold til Vannforskriften? *Vann* 4; 504-522.
- Kock Johansen, Ø. 2010. Energi. Livets fundament og sivilisasjonens grunnlag. Kagge Forlag AS, 272 sider.
- Larinier, M. & Travade, F. 1999. The development and evaluation of downstream bypass for juvenile salmonids at small hydroelectric plants in France. I: Odeh, M. (Red.). *Fish Passage Technology*. American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Larinier & Travade 2002. Downstream migration: problems and facilities. I: Larinier, M. Travade, F. & Porcher, J.P. (Red.). *Bull. Fr. Peche Piscic.* 364,
- Larinier, M., Travade, F. & Porcher, J.P. 2002. Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. *Bull. Fr. Peche Piscic.* 364, 208 sider.
- Lien, L. 1978. The energy budget of brown trout population of the Øvre Heimdalsvatn. *Holarctic Ecology* 1; 197-203.
- Montèn, F. 1985. Fish and turbines: Fish injuries during passage through power station turbines. *Vattenfall, Statens Vattenfallsverk, Stockholm.*
- Noonan, M.J., Grant, J.W.A. & Jackson, C.D. 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries* 13; 450-464.
- Northcote, T.G. 1978. Migratory strategies and production in freshwater fishes. I: Gerking, S.D. (Red.). *Ecology of Freshwater Fish Production*. Blackwell Science, Oxford, side 326-359.
- Northcote, T. 1998. Migratory behaviour of fish and its significance to movement through riverine fish passage facilities. I: Jungwirth, M., Schmutz, S., Weiss, S. (Red.). *Migration and Fish Bypasses*. Fishing News Books, Cambridge.
- 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.
- Rivinoja, P. 2005. Migration problems of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in flow regulated rivers. PhD-thesis, SLU, Umeå.
- Ruggles, C.P. & Murray, D.G. 1983. A review of fish response to spillways. *Freshwater and Anadromous Division, Resource Branch Department of Fisheries and Oceans, Halifax, Nova Scotia*. *Can. Tech. Rep. of Fisheries and Aquatic Sci.* 1172, 30 sider.
- Thorstad, E.B., Økland, F., Aarestrup, K. & Heggberget, T.G. 2008. Factors affecting the within-river spawning migration of Atlantic salmon, with emphasis on human impacts. *Review Fish Biology and Fisheries* (2008) 18; 345-371
- Videler, J. 1993. *Fish swimming*. Chapman & Hall, *Fish and Fisheries Series* 10, 260 sider.
- Wilson, J.W., Giorgi, A.E. & Stuehrenber, L.C. 1991. A method for estimating spill effectiveness for passing juvenile salmon and its application at Lower Granite Dam on the Snake River. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48; 1872-1876.
- Wootton, R.J. 1990. *Ecology of Teleost Fishes*. Chapman & Hall Ltd., London, 404 sider.