



Fakulteten för samhälls- och livsvetenskaper
Biologi

Olle Calles och Daniel Bergdahl

Ålens nedströmspassage av vattenkraftverk

- Före och efter åtgärd

Olle Calles och Daniel Bergdahl

Ålens nedströmspassage av vattenkraftverk

- Före och efter åtgärd

Olle Calles och Daniel Bergdahl. *Ålens nedströmspassage av vattenkraftverk*
- Före och efter åtgärd

Forskningsrapport

Karlstad University Studies 2009:19

ISSN 1403-8099

ISBN 978-91-7063-242-6

© Författaren

Distribution:

Karlstads universitet

Fakulteten för samhälls- och livsvetenskaper

Biologi

651 88 KARLSTAD

SVERIGE

054-700 10 00 vx

www.kau.se

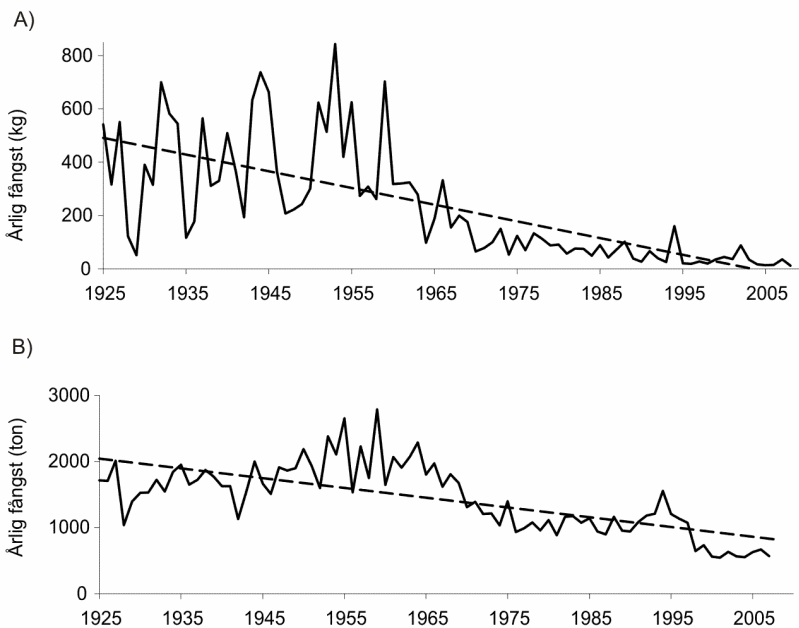
Tryck: Universitetstryckeriet, Karlstad 2009

Bakgrund

Fiskarter som är beroende av att kunna röra sig mellan sötvatten och hav för att fullfölja sina livscyklar stöter ofta på problem i reglerade vattendrag, eftersom vattenkraftverk skapar vandringshinder. Vanligen försöker man lösa dessa problem genom att anlägga fiskvägar vid hindren, för att åter göra det möjligt för fisken att passera (Calles, 2006; Clay, 1995). Fokus för sådana åtgärder har legat på just uppströms passage, medan nedströms passage av kraftverk sällan uppmärksammas och ytterst sällan åtgärdats (Calles och Greenberg, In press; Larinier, 2008). Resultatet har blivit att många fiskar dör på intagsgallren till kraftverken och/eller när de passerar genom turbinerna i kraftverket (Cowx och Welcomme, 1998). Vid turbinpassage är skaderisken relaterad till bl.a. fiskens kroppslängd, dvs. ju längre fisken är desto större risk löper den att bli träffad av turbinens rörliga delar (Ferguson *et al.*, 2008; Montén, 1985).

En art som drabbas speciellt hårt av detta är ålen, som ett resultat av sin långsmala kropp. Till följd av detta och av det faktum att det europeiska ålbeståndet minskat drastiskt (Fig. 1) har behovet av åtgärder som underlättar ålens passage av kraftverk och andra hinder bedömts som mycket angeläget (Dekker, 2003; Wickström *et al.*, 2008). Samtidigt finns ett allt större behov i samhället av tillgång till förnyelsebar och klimatneutral elproduktion i form av vattenkraft. Det är därför viktigt att optimera lösningar så att det gynnar såväl vattenkraftproduktionen som möjligheterna för ål och andra arter att vandra oskadda till havet.

En EU-förordning med avsikt att skydda det europeiska ålbeståndet har antagits och som ett led i denna process har Sverige upprättat en ålförvaltningsplan som bl.a. syftar till att 90 % av all blankål som för närvarande produceras i svenska vatten ska överleva och bidra till reproduktionen (Anonym, 2008). Detta skall uppnås genom nedskärning av fisket, minskad dödlighet i kraftverk och ökad utsättning av importerade ålyngel. Det långsiktiga målet är att 40% av den naturliga produktionen ska nå havet. I dagsläget är dock kunskapsläget sådant att man inte vet hur man ska utforma de åtgärder som krävs för minskad dödlighet vid kraftverkspassage och kunskap inom detta område är efterfrågat (Larinier, 2008).



Figur 1. Fångst av ål i svenska vatten. A) Medelfångst av ålyngel från sju svenska älvar. B) Den totala fångsten av vuxen ål i svenska vatten. De streckade linjerna visar trenden för perioden. Data från Håkan Wickström, Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium 2009.

Föreliggande studie syftar till att utreda ålens möjlighet till passage av Ätrafors kraftverk i Ätran, genom att:

- Studera radiomärkta ålars vägval vid kraftverket och hur dessa val påverkar överlevnaden.
- Studera hur vattnets flödesmönster påverkar ålens rörelser och vägval.
- Utreda möjliga åtgärder för att minska skaderisken för ål vid kraftverk.
- Implementera och testa en åtgärd för att minska skaderisken för ål vid Ätrafors kraftverk.

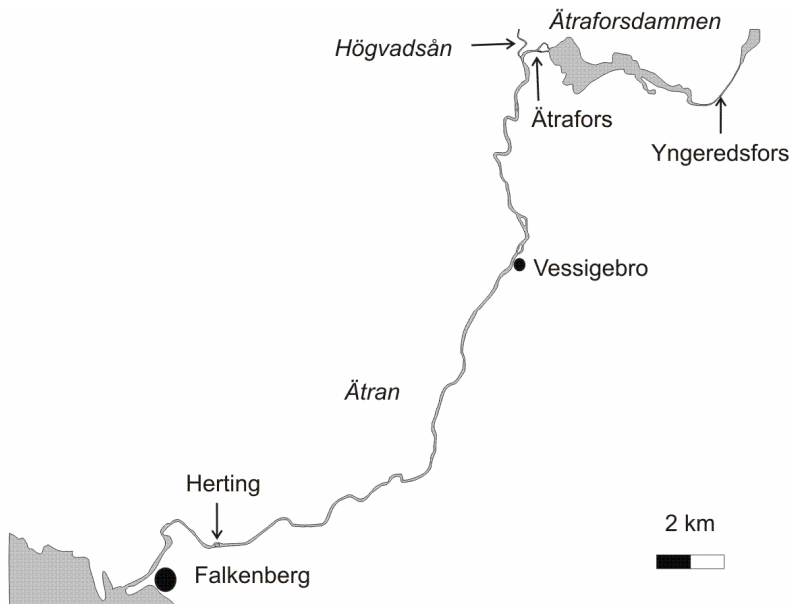
Material och metoder

Ätran

Ätran ligger i sydvästra Sverige och mynnar i Kattegatt i Falkenbergs tätort (Fig. 2). Avrinningsområdet är 3342 km² och årsmedelflödet är 51 m³/s (lägsta flöde 20 m³/s, högsta flöde 230 m³/s). Ätran har sina källflöden i näringsfattiga skogssjöar på småländska höglandet och rinner genom jordbruksmark i de nedre delarna. Huvudfåran är kraftigt fragmenterad (åtta kraftverk), vilket även är fallet för de största biflödena Högvadsån och Lillån (Bergdahl, 2008). Från mynningen räknat är det första kraftverket Herting beläget i Falkenberg, ca. 1 km från mynningen. Högvadsån ansluter Ätrans huvudfåra ytterligare ca. 22 km uppströms och 500 m längre upp i Ätrans huvudfåra ligger Ätrafors kraftverk, som i dag utgör det första definitiva vandringshindret i Ätrans huvudfåra för uppströms vandrande fisk.

Ätran klassas som nationellt särskilt värdefull, vilket har sin grund i åns vilda laxstam och andra värdefulla arter som havsöring (*Salmo trutta*), flodnejonöga (*Lampetra fluviatilis*), flodpärlmussla (*Margaritifera margaritifera*), ål (*Anguilla anguilla*), större och allmän dammussla (*Anodonta cygnea*, *A. anatina*), spetsig och äkta målarmussla (*Unio tumidus*, *U. pictorium*). Dessutom har systemet en bottenfauna med höga naturvärden, t.ex. så har nattsländan *Setodes punctatus* sin enda kända förekomst i Skandinavien här.

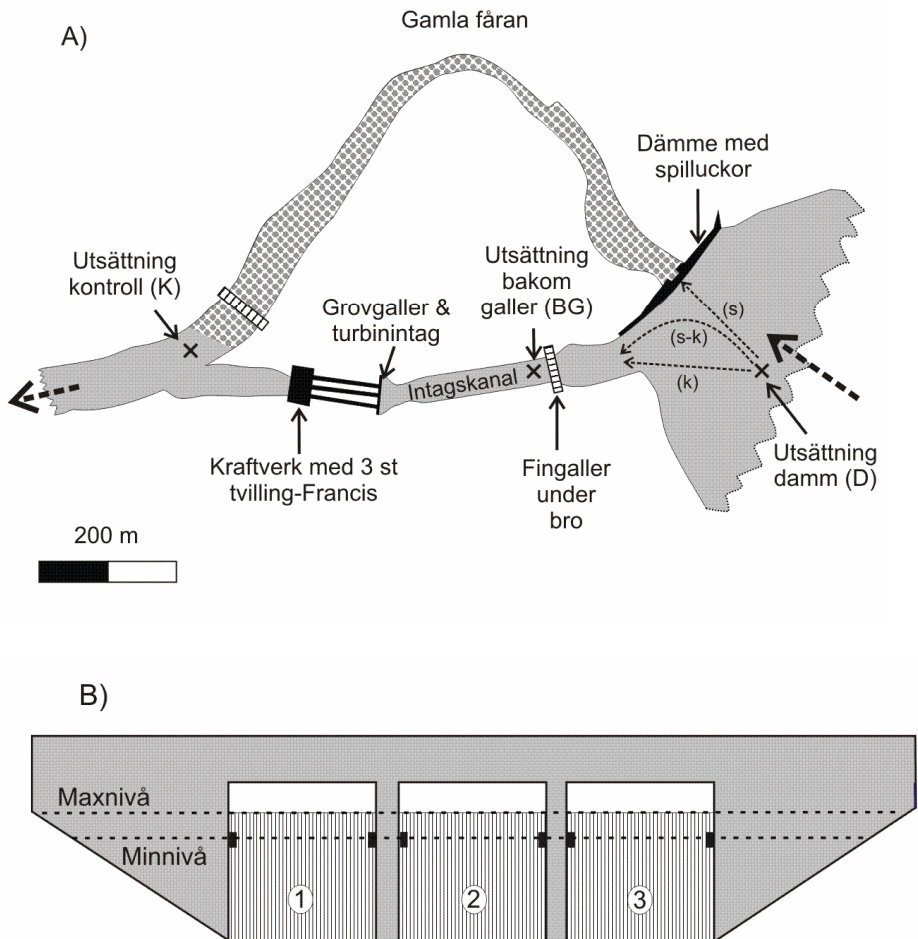
Uppvandringen av glasål var tidigare möjlig via ålyngelledare vid de flesta kraftstationerna, där ibland Herting och Ätrafors. Fångsterna minskade dock stadigt och 1983-84 skapade kraftbolag, lokala myndigheter och Fiskeriverket "Ålplan Ätran" som syftar till att upprätthålla ålpopulationen i Ätran på konstgjord väg genom utsättningar av ål inom avrinningsområdet. År 2001, var den totala omsättningen inom Ålplan Ätran 70000 kr, vilket räckte till inköp av ca. 20 kg glasål (Bergdahl, 2008). Möjligheterna till naturlig uppvandring vid Ätrafors försvann under 1990-talet då man ansåg att antalet naturligt uppvandrande glasålar var så lågt att det inte var meningsfullt att hålla ålyngeledare vid kraftverket i drift. 2006 driftsattes en ny ålyngelledare vid det längst nedströms belägna kraftverket Herting som gör det möjligt för ålyngel att simma upp till Ätrafors i Ätran och upp i Högvadsån.



Figur 2. De nedre delarna av Ätrans avrinningsområde med kraftverk och biflödet Högvadsån.

Ätrafors kraftstation

Ätrafors har en damm om ca. 2,2 km² som nästan sträcker sig upp till nästa kraftstation i Yngeredsfors (Nilsson-Hjort, 1931). Den ursprungliga fåran har dämats av och vattnet leds in i en ca. 250 m lång grävd kanal som leder fram till turbintaget. Det finns två galler placerade längs denna sträcka, ett fingaller (20 mm, senare 18 mm) som sitter under vägbron ca. 50 m in i kanalen och ett grovgaller precis vid turbinintaget (80 mm) (Fig. 3A). Bron har tre spann med ett galler placerat i var och ett av dessa spann (Fig. 3B). Spannens dimensioner var i stort sett desamma före och efter åtgärd. I kraftverket sitter tre turbiner och den totala slukförmågan är 72 m³/s med fallhöjden 23,5 m. Samtliga turbiner är av s.k. dubbel Francis-typ, där vattnet i varje trumma fördelas mellan två löphjul. De gamla och nya fingallren i intagskanalens början beskrivs i detalj under separata rubriker nedan. För ytterligare information om kraftverket vid Ätrafors se Appendix 1 och Bergdahl (2008).

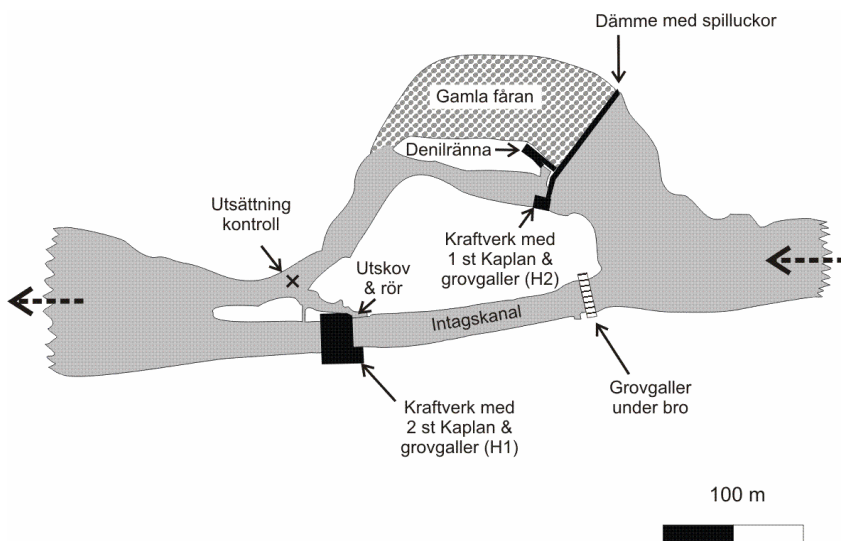


Figur 3. A) Ätrafors kraftverk och damm, samt utsättningsplats för de tre grupperna damm (D), kontroll (K) och bakom galler (BG). S, s-k och k anger möjliga vägar från utsättningsplats till intagskanal respektive spilluckor. De grova streckade pilarna visar vattnets flödesriktning. B) Nedströms vy av bron med brospann, fingaller (nr. 1-3) och de i vattendom fastställda min- respektive maxvärden för vattennivån i Ätrafordsdammen. De svarta rektanglarna visar flyktöppningarnas ungefärliga storlek och position på det nya gallret.

Hertings kraftstation

Hertings kraftstation består av två separata kraftverk, ett gammalt (kallat H1) och ett nytt (kallat H2, Fig. 4). För information om kraftverken vid Herting se Appendix 2, Karlsson (2008) och Bergdahl (2007).

I början av den grävda intagskanalen till Hertings gamla kraftstation (H1) sitter ett grovgaller (80 mm) och vid själva turbinintaget sitter ett galler med 45 mm spaltvidd (Appendix 1). Den nya stationen (H2) ligger i anslutning till dämme och spilluckor vid den gamla fåran. Gallret vid turbinintaget har 45 mm spaltvidd, med undantag för under våren då ett 22 mm galler sätts på plats med syfte att hindra smolt att simma in i turbinerna. I den gamla stationen (H1) sitter två Kaplan-turbiner med total slukförmåga om 40 m³/s (15+25 m³/s) och fallhöjden 5,25 m. I den nya stationen sitter en Kaplan-turbin med total slukförmåga om 25 m³/s och fallhöjden 5,85 m.



Figur 4. Hertings gamla (H1) och nya kraftverk (H2) i Falkenberg. Radiomärkt ål sattes ut vid "Utsättning kontroll" och död radiomärkt ål släpptes innanför gallret vid respektive turbinintag. De grova streckade pilarna visar vattnets flödesriktning.

Vandringsförsök ål

För att få svar på den övergripande frågan hur ålens passagemöjligheter av Ätrafors kraftverk såg ut före och efter åtgärd, sattes radiomärkt ål ut på olika platser i anslutning till kraftstationen och deras rörelser och öde kartlades därefter vid Ätrafors (2007-2008) och Hertings (2007) kraftstationer. Den ål som användes fångades i s.k. ålkistor inom Ätrans avrinningsområde i samarbete med respektive fällas ägare. Tillstånd för detta erhöles i och med dispens "för fångst och flyttning av ål inom Ätrans vattensystem" (Länsstyrelsen Hallands län, dnr. 623-14464-07). Fällorna var belägna vid Nydala kvarn i Högvadsån, Vessigebro i Lilleå, Skärshult i Skärshultsån och Östra Frölunda i Lillån.

Den fångade ålen transporterades till Ätraforsdammen, där de sumpades i rymliga kärl i dammen i avvaktan på märkning. Vid märkning bedövades individerna med benzocaine, placerades på ett fuktigt och mjukt underlag varefter ett ca 20 mm långt snitt lades i buken ca. 100 mm bakom bröstfenorna. Sändaren (ATS, modell F1540, 2,0 g) lades in i bukhålan och därefter fördes antennen medelst en kanyl ut genom bukväggen, varefter snittet förslöts med två stygn (Vicryl rapide). Studien 2008 innefattade även märkning med nummerade bitar av mjukplast som fästs genom ålens rygg (s.k. streamer tags). Vid märkning noterades: längd (mm), vikt (± 10 g) samt tre olika mått på yttre (morfologisk) anpassning till havsmiljön (silvergrad, bröstfenans längd, ögats diameter). Totalt tog hanteringen efter bedövning i snitt 3 min 28 s (medelvärde). Märkningen genomfördes med tillstånd från Göteborgs djurförsöksetiska nämnd (Dnr. 208-2007).

Efter märkning sumpades individerna 1-5 h för att observera att inga komplikationer tillstötte efter märkning (t.ex. rubbat beteende eller dödsfall). Individerna transporterades sedan till utsättningsplatserna där de släpptes efter mörkrets inbrott (kl. 21:00-00:00) eftersom ålen vanligen är mest aktiv i mörker och risken för predation är mindre.

Utsättningsplatserna var (Fig. 3A):

- Dammen (D): för att utreda vägval och framgång knuten därtill.
- Kontroll (K): nedströms kraftverket för att studera förluster som inte berodde på kraftverket.

- Bakom galler (BG): innanför intagsgallret för att särskilja inverkan av passage av fingaller och turbin.

Utöver ovan beskrivna utsättningar genomfördes även utsättningar av död radiomärkt ål direkt ner i turbinintaget för att utreda hur långt döda individer bars med strömmen. Utsättningarna varierade mellan år, med fler individer och utsättningsplatser under förstudien 2007, än under utvärdering av åtgärden 2008 då endast intagskanalen till Ätrafors kraftverk studerades (Tabell I). Utsättningarna 2007 skedde 25 och 28 september samt 1, 3, 5, 8, 13 och 23 oktober. Utsättningarna 2008 skedde 12, 15, 16, 17, 20 och 23 oktober.

Tabell I. Fördelning av utsatt märkt ål vid Ätrafors och Herting 2007-2008. Där ingen märkestyp anges var individerna radiomärkta.

Kraftverk	Utsättningsplats	Antal 2007	Antal 2008	Totalt
Ätrafors	Dammen	50	40 + 55 streamer	145
	Kontroll	50	0	50
	Innanför galler	15	0	15
	Döddrift	6	0	6
Herting	Kontroll	5	0	5
	Döddrift	8*	0	8
		134	95	229

* Dessa sattes fyra och fyra i turbinintagen vid Hertings nya (H2) och gamla (H1) stationer.

De radiomärkta individerna positionsbestämdes sedan regelbundet via fasta automatiska mottagare (N=10) i kombination med manuell pejling från land och båt. Individens slutliga position fastställdes och kompletterades med observationer om individen uppvisade någon rörelse eller ej. Vid utvärdering av de nya gallren 2008 användes färre automatiska stationer (N=7), varav tre antenner under vattnet i de nya gallrens framkant. Den information som kunde utläsas från denna placering var i huvudsak tidpunkt, frekvens och uppehållstider vid nyckelpunkter som: spilluckor (2007), intagskanalens mynning och gallret (2007 & 2008) och nedströms passager av Ätrafors och Hertings kraftverk samt ut i havet (2007).

Flöden och temperaturer

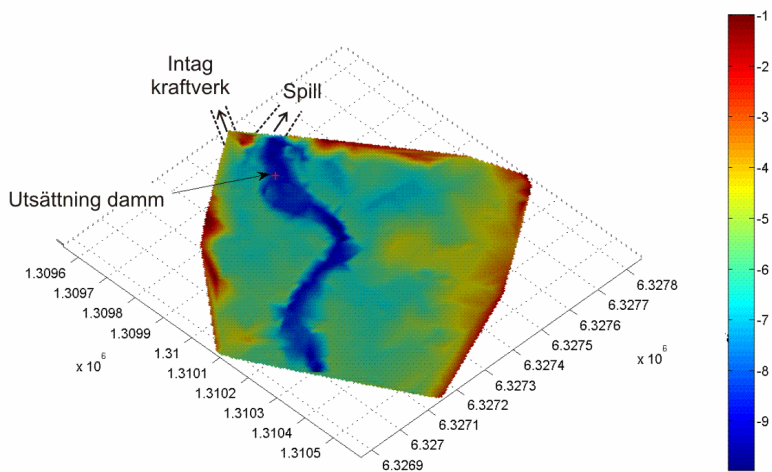
Flödet för studieåren 2007-2008 skiljde sig något åt med generellt högre flöden 2008, framförallt under den senare delen av studien. Medelflödet under den mest intensiva delen av studien 25 september - 5 november 2007 var $50,6 \pm 20,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (\pm standardavvikelse) och för samma period 2008 var det $63,0 \pm 25,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Spillflödet förväntades ha betydelse för den totala förlusten av nedströms vandrande ål, eftersom ålens passage förbi intagsgaller och turbiner sannolikt medför större skaderisker än om de vandrar ner i torrfåran. Därför studerades spillflödet speciellt noga. Spillflödet manipulerades 2007 för att testa dess effekt på nedströms vandrande ål enligt: lågt spillflöde (ca $2 \text{ m}^3/\text{s}$, $N=31$) och högt spillflöde (ca $5/10 \text{ m}^3/\text{s}$, $N=17/2$). År 2008 var spillflödets omfattning enbart beroende av driftssituationen vid kraftverket och vår avsikt var att minimera spill för att få så många ålar som möjligt till det nya galleret.

Hydrauliska mätningar

Mätningar av bottenförhållanden, vattenrörelser och hastigheter (hydrauliska förhållanden) i kraftverksdammen och dess intagskanal genomfördes för att utreda i vilken utsträckning ålens rörelser vid Ätrafors kunde förklaras av dessa faktorer. De nedre delarna av Ätraforsdammen (ca. 1 km uppströms) lodades med ekolod (Pirahna Max 10) och varje uppmätt djups position noterades med GPS (Fig. 5). Den nu överdämda ursprungliga fåran kunde tydligt urskiljas på djupkartan och stod således i förbindelse med spilluckorna och den torrlagda gamla fåran.

Ålens möjligheter till nedströmspassage före åtgärd

Det galler som satt på plats före oktober 2008 hade 20 mm spaltvidd och lutade $63,4^\circ$ i relation till botten (Fig. 6). Med andra ord var lutningen inte så hög som i många andra fall där denna vinkel kan närma sig 80° . Fallförlusten var 360 mm eller 7,5% av max dammnivå och maximalt flöde in i turbinerna ($72 \text{ m}^3/\text{s}$).

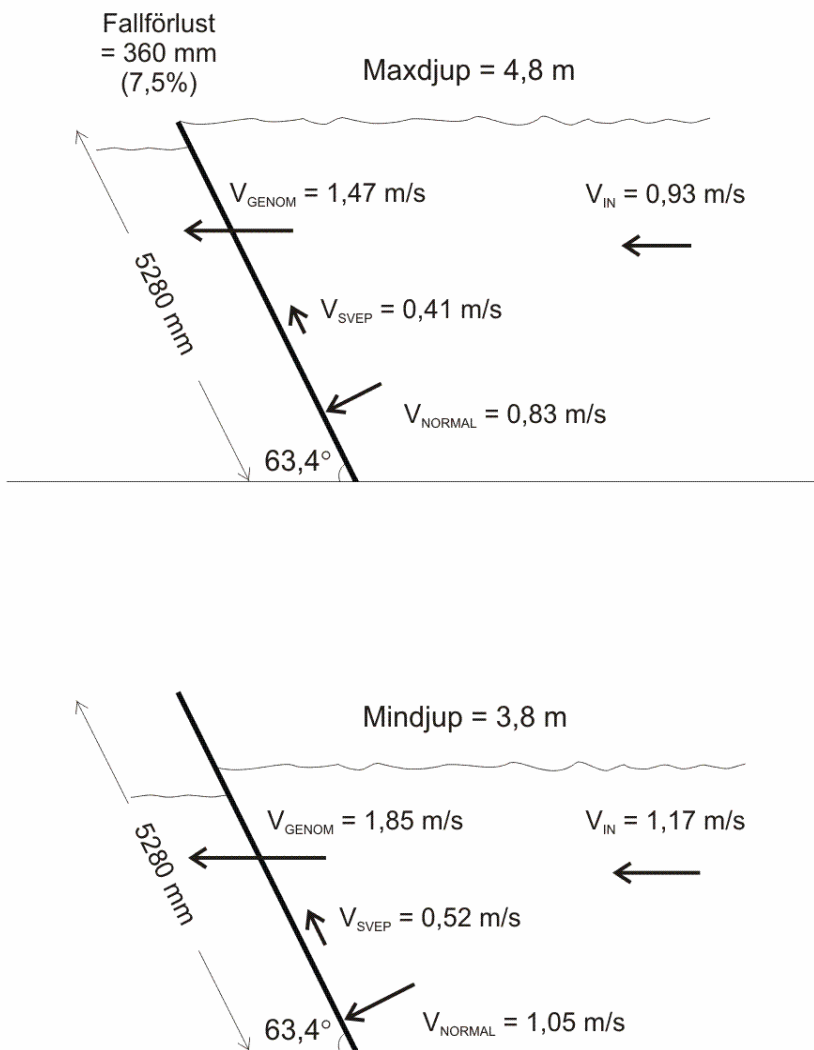


Figur 5. Djupkarta av Ätraforsdamms huvudbassäng. Spilluckorna som leder ner i den gamla fåran och inloppskanalens början är markerade på kartan. Den radiomärkta ålen sattes ut i djupfåran några hundra meter uppströms dammen ("Utsättning damm"). Mätningar och figur av Luke Blunden och Paul Kemp, University of Southampton.

Ålens vägval och passageframgång

Under studien 2007 fastnade ca. 240 omärkta blankålar på fingallret i Ätrafors. De ålar som rensmaskinen drog upp från gallret var döda med undantag för ett fåtal som levde men var svårt skadade.

Efter utsättning försvann en av kontrollålarna spårlöst och ströks därför från vidare analys. Av de kvarvarande 49 individerna lämnade 45 st utsättningsplatsen (92%). Övriga fyra individer (8%) simmade uppströms i torrfåran och stannade där till studiens slut, vilket tolkades som att de saknade vandringsbenägenhet och uteslöts därmed från fortsatta beräkningar. Bland de som vandrade nedströms stannade två längs vägen ned mot Herting, strax uppströms Vessigebro (Fig. 2). Detta gav en total förlust på 4% bland de ålar från kontrollgruppen som simmat nedströms efter utsättning.



Figur 6. Intagsgallrets utformning vid Ätrafors kraftstation före 2008 (spaltvidd 20 mm).
 Flödesvektorena visar vattenhastigheten in mot gallret (V_{IN}), vinkelrätt mot gallret (V_{NORMAL}),
 längs med (V_{SVEP}) och slutligen vattenhastigheten i spalterna genom gallret (V_{GENOM}).
 Bilderna visar rådande situationer vid maxflöde och den högsta (övre) respektive lägsta
 dammnivå (undre) som noterades 2007. Riktvärden för ål är $V_{\text{IN}} < 0,5 \text{ m/s}$, $V_{\text{NORMAL}} < V_{\text{SVEP}}$.
 Fallförlustberäkning från Persson & Holmberg (2009).

Alla individer som sattes ut i kraftverksdammen (N=50) återfanns och deras rörelser kunde följas. Fyra individer (8%) kom aldrig i närheten av vare sig spilluckorna eller intagskanalen och bedömdes som att de saknade vandringsbenägenhet och uteslöts därmed från fortsatta beräkningar. Andelen individer som inte var vandringsbenägna var således lika stor i kontrollgruppen och dammgruppen. Av de individer som initierade nedströms vandring (N=46), nådde slutligen 13 st Hertings kraftstation 22 km nedströms, vilket innebär en total förlust på 72% utan hänsyn tagen till vägval vid Ätrafors (jämfört med 4% för kontrollgruppen). De flesta av dammälarna valde att simma in i kraftverkskanalen (N=35, 76%). Övriga individer simmade ut med spillvattnet ned i den gamla fåran (N=6, 13%) eller simmade slutligen uppströms i dammen och stannade där till studiens slut (N=5, 11%). Vi såg inget samband mellan storleken på spillflödet och hur stor andel ål som gick ned i torrfåran.

Ålens beteende vid gallret

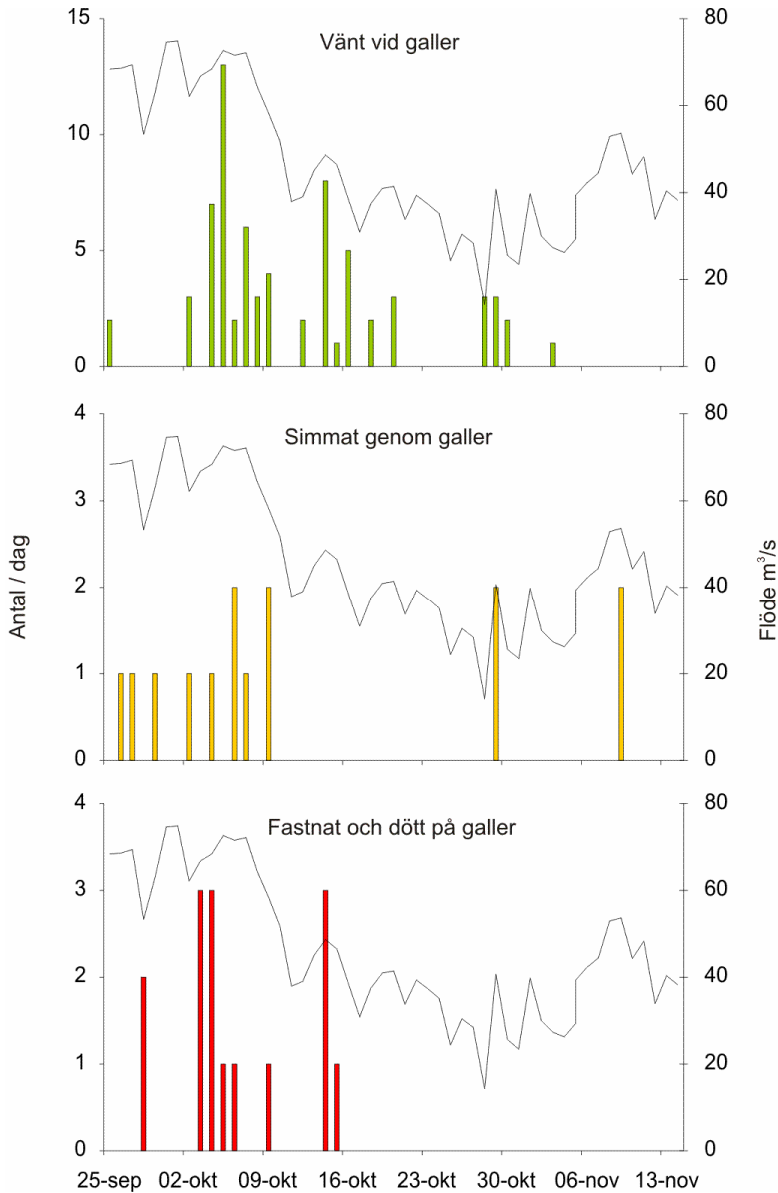
Majoriteten (74 %) av de individer som uppvisade vandringsbenägenhet var framme vid både spilluckorna och gallret minst en gång och "letade" efter en väg nedströms. Detta tyder på att en god passagemöjlighet för ålen sannolikt skulle lokaliseras av flertalet individer. Vissa var dock bara fram till gallret (11%) och andra bara fram till spilluckan (15%). Antalet besök vid spilluckorna varierade stort mellan olika individer, från en gång upp till 35 gånger (medelantal besök = 5). Motsvarande siffra för gallret var mellan en och 22 gånger (medelantal besök = 3). Det var alltså vanligare att ålen besökte spilluckorna än kraftverksintaget, vilket kan tyckas märkligt med tanke på att merparten av vattnet släpptes genom kraftverket. Det kan dock bero på att huvudfåran i dammen följer den gamla fårans lopp, vilket innebär att huvudströmmen torde följa det djupa partiet och därmed gå i en båge via spilluckornas närhet till intagskanalens början (Fig. 3A & 5). Detta styrktes även av observationer på ålens väg fram till dammen, vilket beskrivs närmare längre ner under denna rubrik.

De individer som sökte mest aktivt efter en väg nedströms var de som registrerades flest gånger vid både gallret och spilluckorna, dvs det tycktes inte finnas individer som tydligt föredrog en av passagera bland de som letade mycket. Däremot så visade det sig att av de sex individer som simmade ner genom spilluckorna till torrfåran så hade bara en av dem besökt kraftverksintaget före passage.

De upprepade besöken vid gallret visade att vissa individer klarade av att vända vid gallret och simma tillbaka uppströms, trots den starka strömmen. Totalt observerades 104 besök vid gallret varav 71 slutade med flykt uppströms (68%), 19 med gallerdöd (18%) och 14 med gallerpassager (13%). De besök som varade längst var de som slutade i gallerdöd (55 min i snitt), följt av de som slutade med flykt (27 min) och de besök som slutade med gallerpassage varade kortast (5 min). Det var även en skillnad i flödesförhållanden mellan de tre utfallen med högst medelflöde vid tidpunkten för gallerdöd (63,0 m³/s), intermediärt för passage (59,5 m³/s) och lägst medelflöde för flykttillfällena (52,3 m³/s) (Fig. 7). Alla ålar som fastnade på fingallret fastnade under högt vattenflöde och alla utom en ål fastnade när flödet in i kraftverket var >55 m³/s (Fig. 7). Anmärkningsvärt var att ålar lyckades fly även vid höga vattenflöden och hälften av alla registrerade flykttillfällen inträffade när flödet var >65 m³/s. Värt att notera är att det var svårt att bedöma exakt position på ålar framför gallret och de kan lika gärna ha befunnit sig ett par meter uppströms bron när de vände, som på gallret. Några meters skillnad i position framför gallret ger helt olika vattenhastigheter eftersom kanalen smalnar av när vattnet går in under bron och genom gallret.

"Gallervändarna" utgjorde 35% av de vandringsbenägna dammålarna och resterande ålar simmade in mot gallret utan att vända tillbaka uppströms (50%) eller var aldrig i närheten av gallret (15%). "Gallervändarna" utmärkte sig även på andra sätt, de var nämligen snabbare framme vid galler och spillluckor efter utsättning och de "gallervändare" som överlevde passagen simmade snabbare ned till Herting än övriga ålar. "Gallervändarna" var inte mer framgångsrika med att passera Ätrafors än "icke-vändarna", utan snarare tvärtom (52% av icke-vändarna överlevde passagen jämfört med 31% av gallervändarna).

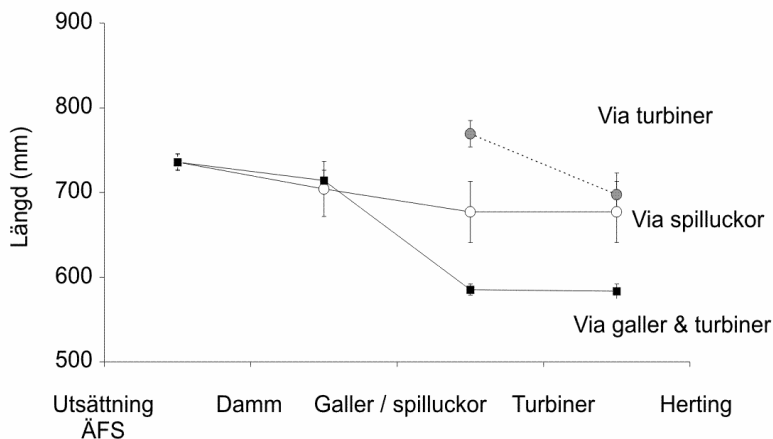
Av de individer som simmade in i intagskanalen och mot gallret fastnade och dog 19 av 35 på en av de tre gallersektionerna (54%). Alla radiomärkta individer som dog på gallret togs upp med hjälp av rensmaskinen och undersöktes därefter. Det flesta ålarna (50%) passerade eller fastnade på den mittersta gallersektionen (15 av 30 med tillförlitlig data) och lika stora andelar på de yttre gallren (dvs ca 25% vardera)(Fig. 3B). Andelen ålar som fastnade på gallret var högre på mittengallret (70%) än på de två yttre sektionerna (40-50%).



Figur 7. Radiomärkta ålars aktivitet vid Åtrafors intagsgaller 2007. Besöken vid gallret resulterade att ålen antingen vände tillbaka uppströms (överst), simmade genom gallret (mitten) eller att de fastnade och dog på gallret (längst ned). Linjen visar dygnsmedelflödet in i turbinerna i Åtrafors kraftverk.

Gallret påverkade olika storlekar på olika sätt och de individer som fastnade och dog var större (823 ± 90 mm, 935 ± 287 g) än de som simmade genom gallret (585 ± 50 mm, 358 ± 98 g)(Fig. 8). Den största individ som passerade genom gallret var 680 mm och den minsta som fastnade på gallret var 640 mm. De 16 individer som lyckades passera fingallret (20 mm) simmade omgående till turbinintaget, vilket även stämde på de 15 individer som sattes ut bakom gallret (Grupp "BG").

Ålarna kunde välja tre olika vägar från dammen in mot kraftverket och dammen (Fig 3A "s, s-k, k"). Individer som simmade ut genom spilluckorna simmade raka vägen dit (Fig. 3A "s"). De flesta av individerna som simmade in i intagskanalen (74%) följde den djupaste passagen (den överdämda ursprungliga fåran) och passerade därmed i närheten av spilluckorna innan de nådde intaget (Fig. 3A "s-k"). Återstoden av de individer som simmade nedströms via intagskanalen simmade raka vägen dit utan att passera spilluckorna (Fig. 3A "k").



Figur 8. Förändring i medellängd (\pm standardfel) för silverål längs olika vandringsvägar förbi Ätråfors kraftstation, 2007.

Turbindödlighet

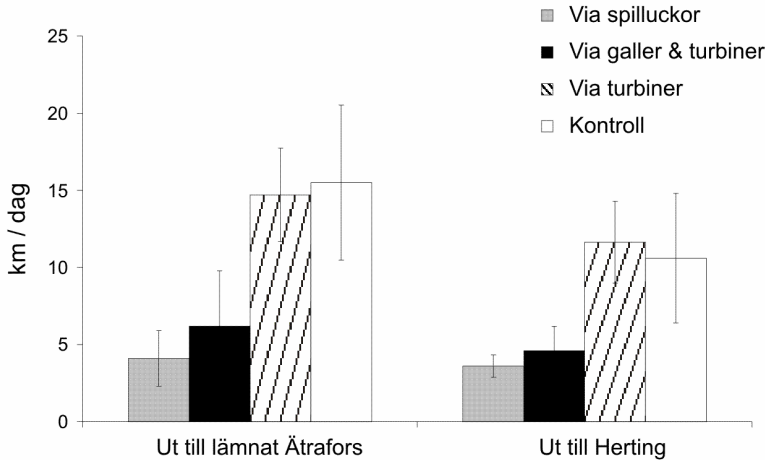
Hälften av de döda radiomärkta ålar som släpptes i turbinerna vid Ätrafors återfanns i turbinutloppet (N=3), dvs. direkt nedströms kraftverket. Resterande individer återfanns 0,9 km, 2,0 km och 4,2 km nedströms kraftverket. Lokalen 4,2 km nedströms Ätrafors var den första lugna sträckan nedströms kraftverket och den plats man skulle förvänta sig att föremål som burits med strömmen skulle kunna sjunka till botten. De individer som stannade efter att ha passerat genom turbinerna, dvs. bedömda som turbindödade, stannade inom samma område som de "dödsläppta" individerna. Spridningen av ålar som passerat genom turbinerna var densamma för dödsläppta och levande ålar, dvs. ca. hälften direkt nedan kraftverket och andra hälften utspridda inom 4,2 km nedströms Ätrafors. Endast en individ som troligen döddats i turbinerna hamnade längre nedströms, närmare bestämt 6,5 km nedströms Ätrafors. Värt att notera var att fler individer som i ett första skede bedömdes som turbindödade, helt plötsligt fortsatte nedströms efter en längre tids orörlighet.

Totalt simmade 31 radiomärkta (levande) individer genom turbinerna vid Ätrafors. Inga individer stannade mellan de två gallren (Fig. 3A, fingaller och grovgaller) eller fastnade på grovgallret i turbinintaget. Individerna som släpptes ut innanför fingallret (Fig. 3A "BG"), hade en större medelstorlek (769 ± 117 mm, 796 ± 320 g) än de som lyckades passera fingallret (585 ± 50 mm, 358 ± 98 g). Turbindödligheten, enligt definitionen ovan, var 60% för grupp "BG" (9 av 15). Motsvarande siffra för de individer som simmat genom gallret från dammen, och uppvisade en skev storleksfördelning jämfört med övriga grupper, var 44% (7 av 16). Den totala turbindödligheten för Ätrafors Francis-turbiner var således 52%, men den mest korrekta skattningen av dödligheten var 60% eftersom stora ålar generellt löper en större risk att träffas av turbinens rörliga delar än små ålar.

Förseningar

Vandringshastigheten skiljde mellan de olika grupperna och deras vägval, mest försenade blev de individer som simmade ut genom spilluckorna följt av de som simmade genom både galler och turbiner (Fig. 9). Resultatet av att ta bort effekten av gallret (grupp BG) var att vandringshastigheten mer än fördubblades och var jämförbar med kontrollgruppens vandringshastighet. Vad gäller tidsåtgång från

utsättning till Herting motsvarar detta i snitt 21 dagar för ål som sattes ut i dammen och 9 dagar för kontrollindividerna.



Figur 9. Simhastighet för ål (km/dag \pm 1/4 stdav) från utsättning till 2,8 km respektive 21,5 km nedströms Ätrafors kraftverk (Herting). Skillnaden var inte statistiskt signifikant.

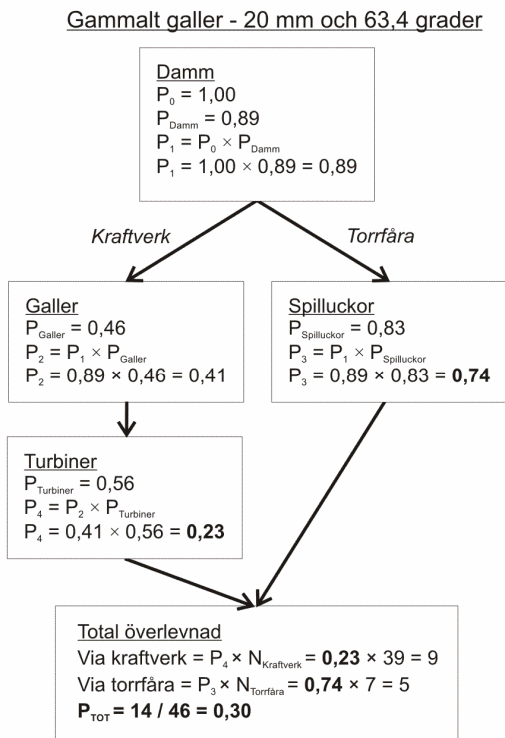
Passage av Hertings kraftstation

Totalt nådde 62 ålar Herting, varav 42 var från kontrollutsättningar, 14 från dammutsättningar och sex från utsättningar bakom gallret. Av dessa kunde vägvalet fastställas för 57 st och 24 passerade den gamla stationen (H1) och 33 den nya stationen (H2). Ingen av dessa individer simmade ut i det öppna isutskovet eller "ålröret" vid H1. Av de individer som simmade förbi Herting dog 26%, att jämföra med noll dödlighet för de kontrollindivider som släpptes ut nedströms Herting (Fig. 4). Dödligheten var 23% för H1 och 36% för H2. Bortfallet var något högre bland kontrollindividerna från Ätrafors (som inte passerat något kraftverk tidigare) i jämförelse med individerna som passerat Ätrafors, sannolikt till följd av en större medelstorlek. Av de radiomärkta vandringsbenägna individer som tvingades passera både Ätrafors och Herting 2007 nådde slutligen 17 av 61 havet, vilket motsvarar 72% bortfall. Bland de 45 radiomärkta vandringsbenägna kontrollålarerna från Ätrafors, erhöles endast tillförlitlig vandringsdata för 40 av dem. Av dessa 40 individer, som

endast passerat Herting, nådde 27 havet, vilket motsvarar 33% bortfall. Hertings närhet till havet gör att det är sannolikt att även skadade individer kan ta sig ut till havs, men kanske inte överlever lekvandringen. Samtliga döda märkta individer som släpptes i turbinerna påträffades i ån och således driver sannolikt inte döda ålar med strömmen ända ut i havet.

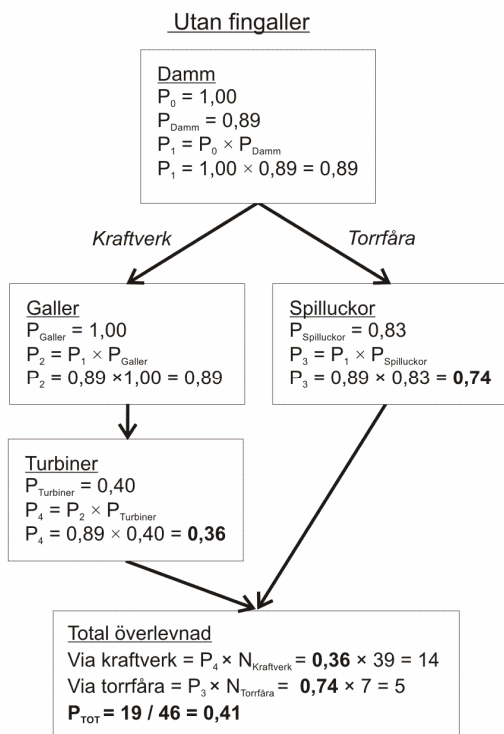
Sammanfattning av förstudie

Sammantaget var sannolikheten för att ål utsatt i dammen skulle klara sig förbi Ätrafors 30%, med stor skillnad mellan de som simmade mot kraftverket (23%) och de som simmade ner i torråran (74%, Fig. 10). Testet att ta bort effekten av galleret visade att sannolikheten för framgångsrik passage ökade från 23% till 36% för de individer som vandrade via kraftverket (Fig. 11).



Figur 10. Sannolikheten för en framgångsrik passage för silverål längs olika vägar förbi Ätrafors kraftverk. P-värdena avser ål utsatt i dammen som sedan fritt kunnat välja att simma ut genom spilluckorna eller in i intagskanalen till kraftverket med de gamla intagsgallren med 20 mm spaltvidd och 63,4° lutning. I sista steget multipliceras det kumulativa P-värdet för respektive rutt, med det faktiska antalet individer (N) som valde rutten i fråga.

Förstudien visar tydligt vilka omfattande förluster kraftverk kan orsaka för nedströms vandrande silverål. Särdrag som utmärkte Ätrafors fram tills 2007 var ett fingaller med höga vattenhastigheter utan flyktöppningar, hög fallhöjd och Francis-turbiner. Alla dessa faktorer är dokumenterat negativa för fiskpassage i allmänhet och för vuxen ål i synnerhet. Tidigare år har spillluckorna använts för att släppa ut ål, vilket i förstudien dock visade sig ha begränsad effekt trots att relativt stora mängder vatten spilldes. Normalt är spillluckorna bara öppna när tillrinningen överstiger kraftverkets slukförmåga på $72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. I den bemärkelsen var förstudien 2007 sannolikt inget undantag, utan vår bedömning är att man årligen kunde förvänta sig ett bortfall om 2/3 av de ålar som försökte passera Ätrafors kraftstation.



Figur 11. Sannolikheten för en framgångsrik passage för silverål förbi Ätrafors kraftverk utan effekt av fingaller i intagskanalen. P-värdena för turbinpassage avser ål utsatt bakom befintligt intagsgaller som sedan fritt kunnat välja väg. De värden som anges för förluster i damm och spillluckor är samma som beskrivs i Fig. 10. och endast inkluderats för att underlätta jämförelse.

De huvudsakliga alternativen till att försöka åtgärda problemet vid Ätrafors var (med den lägsta anläggningskostnaden först):

1. Ombesörja ytlig spilllucka i dammen till torrfåran, eftersom bottentappade luckor ger höga vattenhastigheter och accelerationer som skrämmer fisken.
2. Anlägga flyktöppningar i det befintliga gallret för att erbjuda ål som hindras av gallret en alternativ passage.
3. Byta ut intagsgallret mot ett nytt med minskad spaltvidd, ökad area och flyktöppningar. På så sätt hindrar man större andel från att passera gallret, man minskar risken för klämskador och man erbjuder ål som hindras av gallret en alternativ passage.

Samtliga alternativ hade varit intressanta att testa, men vid en genomgång bedömdes den förväntade effekten av alternativ ett vara låg i förhållanden till den mängd vatten åtgärden skulle kräva. Effekten av alternativ två bedömdes vara tveksam eftersom en betydande andel av ålen simmade genom 20 mm gallret 2007. Dessutom var flödesförhållandena vid gallret inte optimala för att ål skulle kunna undvika att klämmas fast och därmed klara av att leta efter flyktöppningar. Valet föll således på alternativ tre och resonemanget kring utformningen av åtgärden beskrivs under nästa rubrik.

Åtgärd för att öka ålens möjligheter till nedströmspassage

Eftersom exempel på åtgärder för att minska skaderisken för nedströms vandrande fisk i stort sett saknas i norra Europa, togs kontakter med erfarna forskare i bl.a. USA (Ed Meyer, John Ferguson och John Williams, NOAA), Kanada (Dave Scruton, Fisheries and oceans), och Frankrike (Michel Larinier och Francois Travade, EDF). För det slutliga framtagandet av åtgärden ansvarade E.ON:s personal i samarbete med Karlstads universitet, Fiskevårdsteknik AB i Lund och EnergoRetea Energi & Elkraft. Vid beräkningar på gallrens utformning och egenskaper konsulterades ytterligare hydraulisk expertis i form av Luke Blunden (University of Southampton, Storbritannien) och Claudio Comoglio (Politecnico di Torino, Italien).

Olika typer av åtgärder

Det finns många olika exempel på hur man försökt leda av olika fiskarter från turbinintag, men grundprincipen är densamma för dessa åtgärder, nämligen att man på olika sätt hindrar fisken från att simma via den passage som medför ökad skaderisk. För att en sådan avledning ska fylla en funktion, krävs att fisken klarar av att lokalisera, ta sig fram till och in i, en alternativ passage. Det finns tre huvudtyper av avledare (Anonym, 2005):

1. Beteendestyrd avledare: med hjälp av yttre stimuli leder man fisken bort från en riskfylld plats till en lämplig alternativ plats. Vanliga tekniker är ljus, ljud eller bubblor. God funktion har påvisats i stillastående och långsamt strömmande vatten.
2. Fysiska avledare: galler, skärmar, plattor eller liknande som fysiskt hindrar fisken från att gå med vattenströmmen. Vid stora kraftverk är det vanligt att dessa bara täcker del av tvärsnittsarean, t.ex. ytan eller i direkt anslutning till turbinintaget. Ofta god funktion.
3. Kombination beteendestyrd och fysisk avledare för förstärkt effekt: Exempel 1: Louver (spjälavledare) där gallrets stag vinklats vinkelrätt mot vattnets rörelseriktning, vilket ger turbulens som fisken vill undvika. Exempel 2: Belysning av flyktöppningar för att attrahera fisk, lämplighet styrs bl.a. av artspecifikt beteende.

Ovan omnämns endast dessa åtgärders funktion och utformning i anslutning till vattenkraftverk, men givetvis förekommer de även vid andra typer av konstruktioner där skaderisk för fisk förekommer, t.ex. avledning av vatten för industriellt nyttjande. Eftersom god funktion sällan dokumenterats för beteendestyrd avledare i snabbt strömmande vatten, var fysisk avledare förstahandsvalet för åtgärd vid Ätrafors. Det finns dock många olika sorters fysiska avledare och dessutom skiljer sig den vanligast förekommande metoden mellan olika områden. I Nordamerika leder man uteslutande fisken i sidled mot en flyktöppning, som antingen placeras i kanalens mitt eller på en av dess sidor. I Frankrike och Tyskland har man exempel på liknande lösningar, men ännu vanligare är att avledning sker i höjddled, vanligen mot en flyktöppning placerad i ytan. Principen för avledning är dock densamma för avledning i höjddled (vertikalt) och i sidled (horisontellt)(Anonym, 2005).

Spaltvidd och flyktöppning

Gallret ska fysiskt hindra målorganismerna från att passera, dvs. spaltvidden skall vara mindre än fiskens minsta kroppsmaat. Detta beror även av artens kroppsform och beteende, t.ex. kan ål passera betydligt mindre öppningar än vad deras kroppsmaat låter antyda. Information från flera olika tyska studier visar att en spaltvidd om 25 mm inte hindrar silverål över huvudtaget, 20 mm passeras av 700 mm ål (jämför med 680 mm vid Ätrafors) och t.o.m. 18 mm galler passeras av ålar på 250 g och 450-500 mm längd (för referenser se "Anonym, 2005").

Fisken måste alltid ha tillgång till en alternativ passage för att fingallret ska ha avsedd effekt, annars blir resultatet det som observerats vid Ätrafors och på många andra platser, nämligen att man räddar fisken från turbinerna men dödar dem istället på intagsgallret (Larnier, 2001). För att den alternativa passagen (flyktöppningen) ska fylla någon funktion, måste alltså fisken kunna hitta, ta sig fram till och in i denna. För att det ska vara möjligt måste flyktöppningen vara korrekt placerad och trycket mot gallret inte vara större än att fisken kan navigera i dess närhet. Flyktöppningen ska ligga i den punkt dit fisken leds av gallret, redan ett par meters förskjutning uppströms kan helt förstöra åtgärdens funktion. Undantagsfallet kan vara om vattenhastigheten in mot gallret är mycket låg ($< 0,3$ m/s) och fisken utan problem kan simma omkring i området och leta efter den alternativa passagen. Ätrafors och många andra kraftverk i samma storlek är dock konstruerade för vattenhastigheter omkring 1 m/s i intagskanalen och man får därmed ett högt tryck på intagsgallren.

Gallrets lutning och vattenhastighet

Vad kan man göra för att komma runt problemet med för höga vattenhastigheter i intagskanalerna? För att bibehålla kraftverkets produktion finns det egentligen bara en sak att göra, nämligen att minska risken att fisken kläms fast på gallret genom att öka gallerytan och därmed minska trycket på detsamma. Fisken kan fortfarande inte alltid simma tillbaka uppströms, men man får då sträva efter att leda dem längs en alternativ passage med låg skaderisk. Ju större yta gallret får, desto mindre tryck utsätts fisken för om flödet är detsamma. OM alla andra parametrar hålls konstanta, kommer en ökad galleryyta att ge en minskad fallförlust, vilket givetvis är positivt för kraftverksdriften.

För att ett större galler fysiskt ska "få plats" i intagskanalen vinklas det i förhållande till botten eller sidan, vilket gör att utöver att dess yta ökar kommer dess vinkel förändras i förhållande till vattnets rörelseriktning. När gallrets vinkel i förhållande till botten/sidan minskar, minskar även hastighetsvektorn vinkelrätt mot gallret medan hastighetsvektorn längs med gallret ökar. Ju mer vi tippar gallret, desto mindre blir trycket på/genom gallret och desto högre blir trycket längs med gallret mot ytan/sidan där en flyktöppning ska finnas placerad. Tumregeln är att denna vinkel ska vara $< 45^\circ$, eftersom hastighetsvektorn längs med gallret då är större än vektorn mot gallret. De gränser som nämns i litteraturen för galler med svåråtkomliga flyktöppningar är $< 0,5$ m/s för ål och för annan fisk är kroppslängden $\times 2$ /s en vanlig gräns (Anonym, 2005). Om flyktöppningen är "lätt att hitta" eller om fisk som driver längs med gallret hamnar vid flyktöppningen, kan dessa gränsvärden vara högre och i vissa fall kan det t.o.m. vara fördelaktigt med en högre hastighet som transporterar en passiv fisk rätt väg.

Val av åtgärd för Ätrafors

Val av spaltvidden för nytt galler vid Ätrafors, 18 mm, var en kompromiss mellan ålavledning och drift av kraftverket. Med tanke på att medelstorleken på utvandrande silverål i Ätran är förhållandevis stor, torde denna spaltvidd stoppa majoriteten av de ålar som kunde komma i fråga. Isbildning, lövansamling och fallförluster var faktorer som vägdes in i beslutet.

Efter att ha konsulterat expertis enligt ovan var förstahandsvalet ett horisontellt vinklat galler, med 18 mm spaltvidd och med flyktöppning (-ar) i kanalens sida. Förhoppningen var att kunna anlägga en utgång i ytan och en i botten för att jämföra funktionen för dessa, eftersom många anser att ålen vandrar längs botten och framförallt flyr uppströms längs botten när den stöter på hinder. En bottenlucka skulle således kunna vara ett föredra för ål. Dessutom skulle man förhållandevis enkelt kunna anlägga en ränna/kulvert från denna flyktöppning ned till den intilliggande torrfåran och som en bonus få till en mintappning i den annars helt torrlagda ursprungliga fåran. Ytterligare skäl till genomförande av detta var att dammnivån i Ätraforsdammen fluktuerar ca. en meter och man måste då ha en flyktöppning som kan anpassas efter en varierande nivå. Gallret blir dessutom inte längre än tidigare (men bredare), vilket påverkar förutsättningarna för effektiv

rengöring av galleret. Från franskt håll rekommenderar man t.ex. av rengöringsskäl horisontellt vinklade galler om slukförmågan på kraftverket överstiger 40 m³/s och följaktligen ett vertikalt vinklat galler om kraftverkets slukförmåga understiger 40 m³/s. Ytterligare en möjlig fördel med ett horisontellt vinklat galler var att flytande skräp i stor utsträckning skulle flyta med strömmen längs galleret och spolats in i och vidare genom flyktöppningen. Detta förslag antogs inte, eftersom man inte skulle kunna använda befintliga stödbalkar och därför skulle kostnaden bli mycket hög.

Alternativet var således ett vertikalt vinklat galler, med 18 mm spaltvidd och med flyktöppningar i gallrens ytterkanter. Den minsta lutning som bedömdes praktiskt genomförbar och driftsäker var 35°, vilket därför blev vinkeln på det nya galleret. Eftersom de tre gallren är placerade i separata brospann krävdes flyktöppningar i alla tre galler. Dessutom skulle gallren även fortsättningsvis vara orienterade vinkelrätt mot flödesriktningen, vilket innebär att man inte kunde säga på vilken sida av respektive galler som ålen skulle hamna. Slutsatsen var att det behövdes en flyktöppning i varje kant på respektive galler, dvs. totalt sex flyktöppningar. För att åstadkomma funktionella flyktöppningar även vid låg dammnivå, anlades de så att de även vid lägsta nivå skulle ligga under vatten. Flyktöppningarna var 0,25 meter breda (rekommenderad minsta bredd är 0,3 m) och 1,0 meter djupa (mätt längs med galleret, så det verkliga djupet i dem blev 0,57 m eftersom gallerets lutats 35°). En långsiktig lösning kräver att ålen från dessa öppningar samlas ihop och leds till sidan och sedan vidare i en kulvert eller kanal förbi kraftverket, så att de kan simma vidare mot havet. I vårt fall fanns en önskan att testköra lösningen innan denna vidareledning anlades och dessutom visade förstudien på betydande förluster även vid Herting, vilket gjorde det direkt olämpligt att släppa vidare ål. Den tillfälliga lösningen blev därför att sätta ryssjor i flyktöppningarna och sedan köra fångad ål nedströms och släppa ut dem i Ätran nedströms Herting.

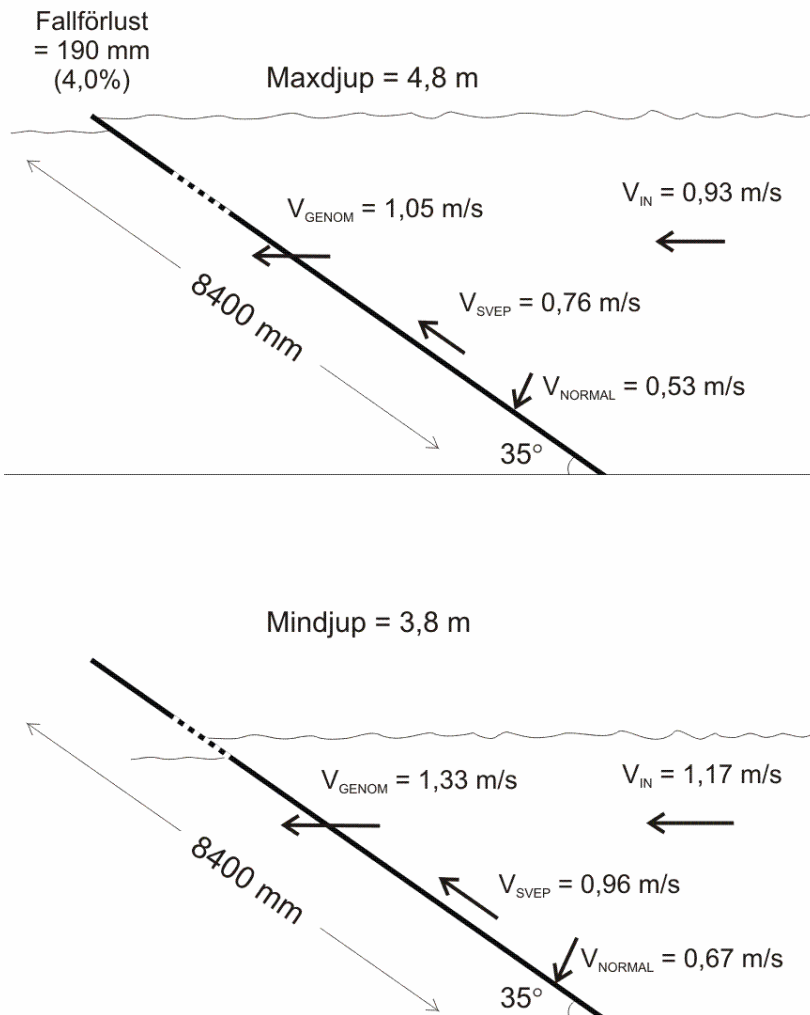
Ålen skiljer sig från andra fiskarter genom att den inte skyggar för galler utan simmar rakt in i dem för att sedan ta stöd mot galleret och försöka skjuta sig tillbaka uppströms (Anonym, 2005). Eftersom de dessutom ofta vandrar vid låga vattentemperaturer, när den fysiologiska förmågan är begränsad, är det av yttersta vikt att minimera de vattenhastigheter de utsätts för vid avledning och passage.

Ålens möjligheter till nedströmspassage efter åtgärd

Det nya galler som installerades oktober 2008 hade 18 mm spaltvidd och lutade 35° i relation till botten (Fig. 12). Med andra ord var skillnaden i lutning markant jämfört med det gamla gallret, vilket gav en högre hastighetsvektor längs med gallret (svep) än mot gallret (normal) och (Fig. 12). För det gamla gallret var förhållandet det motsatta (Fig. 6). En annan markant skillnad var att fallförlusten minskades med som mest 170 mm, eftersom fallförlusten var 360 mm för det gamla gallret och 190 mm för det nya gallret (Persson och Holmberg, 2009). Vid högsta nivå och full körning i maskin motsvarar detta 3,5% av vattendjupet och 0,7% av fallhöjden, vilket ger en ansevärd effekthöjning.

Ålens vägval och passageframgång

Under studien 2008 fastnade 4 omärkta blankålar på fingallret i Ätrafors att jämföra med >240 individer 2007. Även när den längre studietiden 2007 (43 mot 23 dagar) tas i beaktning är skillnaden markant. Individerna som påträffades på gallret levde men var svårt skadade och bar spår av vad som såg ut som gamla skador. Totalt fångades 117 omärkta och 63 märkta ålar i de sex ryssjorna under perioden 12 oktober till 6 november. Alltså hittade De omärkta individernas kondition skiftade från ypperlig till döende (22%) och många av dem bar spår av flera olika sorters skador av varierande ålder, vilket inte alls påträffades hos den återfångade märkta ålen vars kondition var känd vid utsättning. Av de återfångade märkta ålarna var alla utom två (3%) i god kondition när de påträffades i ryssjorna. Dessa två individer var något slöa, men det gick inte säga vad detta orsakats av. En möjlig förklaring är att de skadats på gallret eller av de turbulenta förhållandena i ryssjorna. Det var inte lämpligt att hålla fisk i ryssjorna någon längre tid, vilket märktes speciellt väl på andra fiskarter som ofta var i dåligt skick vid vittjning, t.ex. gös (*Stizostedion lucioperca*) och braxen (*Abramis brama*).



Figur 12. Intagsgallrets utformning vid Ätrafors kraftstation från oktober 2008 (spaltvidd 18 mm). Flödesvektorerna visar vattenhastigheten in mot gallret (V_{IN}), vinkelrätt mot gallret (V_{NORMAL}), längs med (V_{SVEP}) och slutligen vattenhastigheten i spalterna genom gallret (V_{GENOM}). Bilderna visar rådande situationer vid maxflöde och den högsta (övre) respektive lägsta (undre) dammnivå som noterades 2007. Riktvärden för ål är $V_{\text{IN}} < 0,5 \text{ m/s}$, $V_{\text{NORMAL}} < V_{\text{SVEP}}$. Den streckade delen i gallrets överkant anger flyktöppningarnas ungefärliga dimension och placering. Fallförlustberäkning från Persson & Holmberg (2009).

Skillnaden mellan utsättningarna 2007 och 2008, var att endast utsättningar i dammen gjordes 2008 och att både streamer-märkta (N=55) och radiomärkta ålar (N=40) sattes ut. Fördelningen av streamer-märkta ålar mellan olika vägval antogs följa den som observerades för radio-märkta individer, vilket bekräftades av de återfångster som gjordes av respektive typ i ryssjorna. Alla individer som sattes ut i kraftverksdammen (N=40) återfanns och deras rörelser kunde följas. En individ (2,5%) kom aldrig i närheten av vare sig spillluckorna eller intagskanalen och bedömdes som att den saknade vandringsbenägenhet och uteslöts därmed från fortsatta beräkningar. Andelen individer som inte var vandringsbenägna var således lägre 2008 jämfört med både kontroll- och dammgruppen 2007 (8% ej vandringsbenägna). Av de individer som initierade nedströms vandring (N=39), så bedömdes slutligen 35 st (>90%) framgångsrikt ha passerat Ätrafors kraftverk, vilket innebär en total förlust på 10% utan hänsyn till vägval vid Ätrafors jämfört med 72% för det gamla gallret. Anmärkningsvärt var att ingen märkt ål fastnade på gallret utan förlusten bestod i individer som sannolikt smitit genom hål i ryssjorna och sedan dött efter turbinpassage. Vid upptag av ryssjorna vid studiens slut i november 2008, observerades nämligen hål i två av ryssjornas främre delar. De flesta av dammälarna valde att simma in i kraftverkskanalen (N=37, 95%; jmf. 85% 2007). Övriga individer simmade ut med spillvattnet ned i den gamla fåran (N=2, 5%; jmf. 15% 2007). Att större andel individer hittade torrfåran 2007 har sannolikt sin förklaring i att spillet inträffade tidigare och varade under en längre tid 2007 jämfört med 2008.

Ålens beteende vid gallret

Alla individer som uppvisade vandringsbenägenhet var framme vid gallret minst en gång och "letade" efter en väg nedströms. Precis som 2007 föranleddes den slutliga passagen 2008 av upprepade besök till gallrets närhet. Antalet besök vid gallret varierade mellan olika individer (medel = 2,0 ggr, intervall 1-7 ggr), men var jämförbart med det som observerats för det gamla gallret (medel = 2,1 ggr, intervall 1-14 ggr). De upprepade besöken vid gallret visade 2008 liksom året innan att vissa individer klarade av att vända vid gallret och simma tillbaka uppströms, trots den starka strömmen. Av det totala antalet besök vid gallret slutade 55% med flykt uppströms (jmf 68% 2007), ingen med gallerdöd (jmf 18% 2007), 7% med gallerpassager (jmf. 13% 2007) och 38% med att individen simmade in i flyktöppningen och stannade till vittjning (inte möjligt 2007, mao 0%). Andelen

"gallervändare" utgjorde en ungefär lika stor andel 2008 (42%) som 2007 (35%), vilket tyder på att ålen antingen skräms av flödesaccelerationen i brospannens ingångar eller att skrämseffekten på det nya gallret var jämförbar med motsvarande effekt från det gamla gallret. Eftersom vi inte har studerat hur ål betar sig vid en naturligt svår passage, t.ex. ett vattenfall, kan vi inte säga om detta beteende även är vanligt under deras nedströmsvandring i oreglerade älvar, men detta beteende har observerats tidigare vid kraftverk (Behrmann-Godel och Eckman, 2003).

Längden på besöken som slutade med flykt var 36 min och resultatet således jämförbart med det från det gamla gallret (27 min). Däremot var det en markant skillnad i längden på de besök som resulterade i gallerpassage för det nya gallret (32 min) jämfört med det gamla gallret (5 min). Detta skulle kunna tyda på att ålen i större utsträckning klarar av att leta runt på de nya gallren, än på de gamla. Att det fåtal gallerpassager som inträffade 2008 dessutom var av stora individer (medel 812 mm; intervall 630-940mm), trots minskad spaltvidd, tyder på att passagen sannolikt skett via flyktöppningarna och sedan från ryssjan ut genom de hål som uppstått i två av ryssjornas framkant. "Gallervändarna" utmärkte sig genom att när de väl simmade in i flyktöppningarna så gjorde de det snabbare efter ankomst till gallret, än de som simmade in i flyktöppningen redan vid första besöket. Man kan således spekulera i om de tidigare besöken vid gallret var rekognoseringssturer som tjänade till att undersöka möjligheterna till passage?

Av de märkta individer som simmade in i intagskanalen och mot gallret fastnade inte någon på gallren. Dödligheten minskade således från 54% för det gamla gallret till 0% för det nya gallret. Preferensen som noterades för mittengallret (nr. 2) 2007 (50%) observerades inte 2008, utan fördelningen av antalet passerade individer per galler var mycket jämn (36%, 30%, 34%) och densamma för omärkt och märkt fisk. Tittar man däremot på hur ålen rörde sig mellan gallren vid de olika besöken var andelen besök störst på galler 2 (41%), följt av galler 3 (34%) och galler 1 (25%). Sammantaget kan detta tolkas som om att ålen i första hand dras till mittengallret (nr. 2), vilket skulle kunna bero på att strömmen är starkast i mitten. Besöken på det gamla mittengallret ledde sannolikt ofta till forcerad passage eller ihjälklämning till följd av det höga trycket, medan det nya gallret ger större möjlighet till flykt och därför färre passager på just mittengallret.

Eftersom inga märkta ålar klämdes ihjäl på det nya gallret observerades ingen reducerad medelstorlek för de ålar som lyckades passera Ätrafors. Medelstorleken för all märkt ål var 779 mm vid utsättning och 772 mm bland de som klarade passagen. Motsvarande siffra före åtgärd var 736 mm vid utsättning och 617 mm efter passage.

Turbindödlighet

Av de radiomärkta ålarna simmade sex st genom gallret, sannolikt via hål i två av ryssjornas framkant (oklart när hålen uppstod). En var kvar bakom gallret vid studiens slut 6 november. De övriga fem simmade med säkerhet genom turbinerna och två överlevde och simmade vidare (60% dödlighet). Underlaget var mycket begränsat, men det relativa bortfallet stämmer ändå exakt med vad som observerades 2007 (60%, 9 av 15). De ålar som dog i turbinen var i snitt större båda åren (2007: 822 mm; 2008: 857 mm), än de som överlevde turbinpassagen (2007: 709 mm; 2008: 720 mm). Samma principer som för 2007 användes 2008 för att särskilja dödad respektive levande turbinpasserad ål.

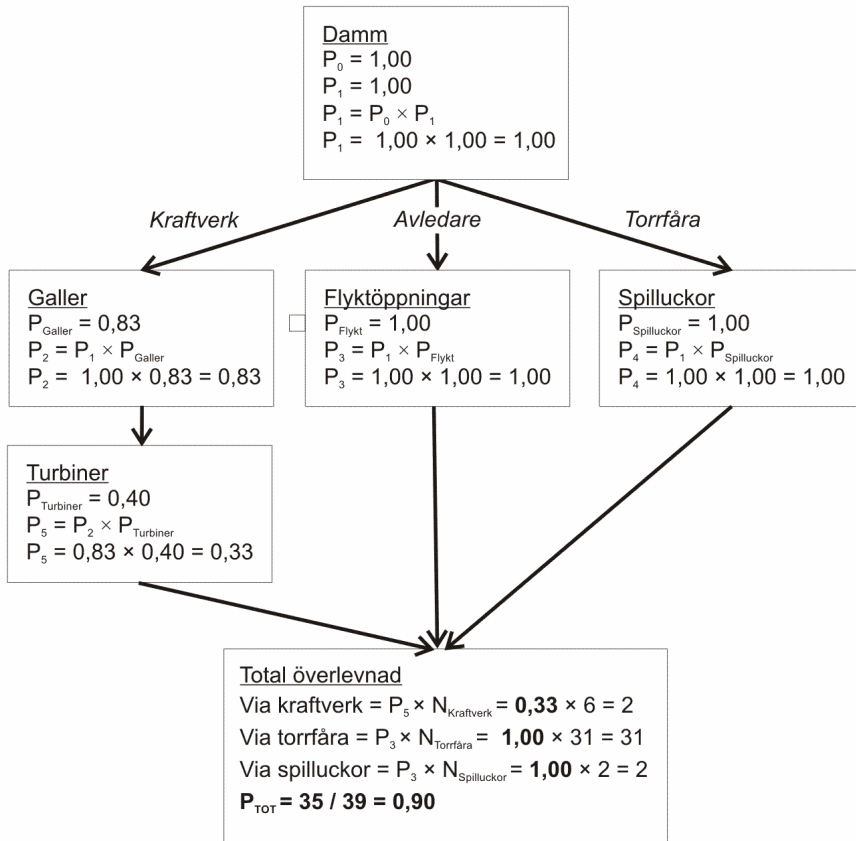
Förseningar

Den tid som det i medeltal tog radiomärkt ål att ta sig från utsättningsplatsen till passage av Ätrafors kraftverk var kortare efter åtgärd (ca. 81 h = 3,4 dagar) jämfört med före åtgärd (ca. 126 h = 5,3 dagar; ej statistiskt signifikant). Eftersom ingen studie av vandrigen nedströms Ätrafors genomfördes 2008, kan ingen sådan jämförelse göras.

Sammanfattning av utvärdering

Sammantaget så var sannolikheten för att ål utsatt i dammen skulle klara sig förbi Ätrafors 90% (Fig. 13). Eftersom 31 av de 39 radiomärkta individer som besökte gallret slutligen hittade flyktöppningarna, var avledningseffektiviteten 79,5%. Detta kallas "Fish Guidance Efficiency" (FGE) och är ett vanligt sätt att beskriva en fiskavledares effektivitet. Denna siffra borde gå att höja, eftersom de individer som inte simmade in i flyktöppningarna simmade ner i torrfåran (N=2) och förbi gallren via hål i ryssjorna (N=6), vilket för det senare fallet borde gå att utesluta i framtiden. Räkna man bort de individer som simmade ner i torrfåran blev FGE = 84%.

Nytt galler - 18 mm och 35 grader



Figur 13. Sannolikheten för en framgångsrik passage för silverål längs olika vägar förbi Ätrafors kraftverk. P-värdena avser ål utsatt i dammen som sedan fritt kunnat välja att simma ut genom spilluckorna eller in i intagskanalen till kraftverket med det nya intagsgallren med 18 mm spaltvidd, 35° lutning och flyktöppningarna. Vid gallret fanns alternativen att simma förbi gallret eller in i flyktöppningarna

Diskussion

Det finns många aspekter av åtgärder vid kraftverk som kan göra dess införande kontroversiellt utifrån praktiska, ekonomiska och i vissa fall psykologiska skäl. I många fall kan det nog sägas råda "moment 22", eftersom man inte vill införa en kostsam åtgärd innan den testats. Trots att åtgärden som testats vid Ätrafors finns beskriven på andra håll, har vi inte lyckats hitta något fall där åtgärden är väl dokumenterad OCH att man på ett tillförlitligt sätt studerat dess funktion för såväl fisk som kraftverkets drift. Vår förhoppning är därför att resultaten från denna studie ska komma till användning när liknande åtgärder diskuteras vid andra kraftverk.

Skaderisken för ål

Det råder inget tvivel om att förutsättningarna för nedströms vandrande silverål förbättrades avsevärt av åtgärden vid Ätrafors kraftverk. Antalet ålar som dödades på de tre fingallren gick från att vara hundratals 2007 till fyra 2008. Dessutom misstänkte vi att de individer som hittades döda på gallret 2008 sannolikt var i dåligt skick redan när de nådde Ätrafors. De förhållanden som rådde vid respektive galler talar för att förbättringen bestod i lägre vattenhastigheter genom gallret och högre vattenhastigheter längs med gallret mot ytan. När ålen närmade sig ytan hade de dessutom möjlighet att simma in i de flyktöppningar som öppnats i det nya gallret. Tidigare studier talar för att gallervinkeln ska vara $< 45^\circ$ för att strömmen längs med gallret ska vara starkare än strömmen genom gallret och därmed mer attraktiv för fisken att följa. Således talade det mesta för att det gamla gallret var olämpligt för att leda ålen mot ytan eftersom risken för dem att sugas fast var stor. Eftersom inga öppningar fanns att tillgå i det gamla gallret kan vi dock inte säga helt säkert att förbättringen bara berodde på minskad spaltvidd eller minskad gallervinkel/ökad gallerarea. Det skulle vara intressant att förse ett befintligt galler med flyktöppningar för att se i vilken utsträckning ålen och andra fiskarter skulle finna dessa och hur detta stod i relation till gallrets lutning och spaltvidd. FGE för de nya gallren och flyktöppningarna var kring 80%, vilket är ett mycket bra första resultat jämfört med resultat från utvärdering av åtgärder vid andra vattenkraftverk (Carr och Whoriskey, 2008; Gosset *et al.*, 2005).

De av oss kontrollerade och utsläppta ålar som återfångades i det nya gallrets flyktöppningar, var vid god hälsa vid återfångst med undantag för två individer.

Däremot återfångades många omärkta skadade ålar som sannolikt vandrat från delar av Ätran uppströms ett okänt antal vandringshinder. Ur denna synvinkel kommer åtgärden vid Ätrafors att få en begränsad effekt på ålen i Ätrans huvudfåra, eftersom avståndet till nästa kraftverk uppströms är litet. Om inte kraftverken uppströms Ätrafors åtgärdas på samma sätt, skulle den mest effektiva placeringen av en åtgärd vara vid det första kraftverket nedströms de huvudsakliga reproduktionsområdena. I det fallet skulle den effektivaste strategin, på kort sikt, vara att fånga ålen där och transportera dem nedströms förbi alla nedströms belägna vandringshinder.

Så länge situationen vid Herting är oförändrad finns ingen anledning att släppa ut ål som fångats in vid Ätrafors, eftersom ingen av åtgärderna vid Herting tycks fungera för nedströmsvandrande ål. Däremot så fångas varje vår många utlekta laxar och öringar i isutskovet och för deras överlevnad är åtgärden betydelsefull (Karlsson, 2008). För ål och smolt krävs dock en annan typ av åtgärd, eftersom endast enstaka individer fångas i isutskovet och ålröret. För ål är förlusten betydande i Hertings turbiner och en framtida åtgärd motiverad. Planer finns att genom en omfattande ombyggnation av Herting minska de negativa effekterna på de vandrande fiskarterna i Ätran.

Fingaller som fiskvård

En annan aspekt av resultaten som var anmärkningsvärd var det faktum att det gamla fingallrets effekt egentligen enbart var negativ, eftersom en större andel av ålarna som sattes i dammen dog än de som sattes bakom gallret. Fingaller som fiskevårdande åtgärd är mycket vanligt i Sverige och i de flesta, av oss, kända fall finns inte några flyktöppningar att tillgå i gallrets närhet, utan man räknar med att fisken kan leta sig andra vägar nedströms. Detta visar tydligt på hur fel en fiskevårdande åtgärd kan slå om man inte har helheten klar för sig och dessutom inte utvärderar åtgärden i fråga. Ett fingaller som hindrar fisken från att simma eller driva in i turbinerna är bara positiv om fisken antingen kan ta sig bort från gallret i fråga och/eller erbjuds en alternativ väg med mindre skaderisk förbi hindret. Man måste således både ta hänsyn till rådande förhållanden på platsen och studiearternas kapacitet och beteende. I dag genomför man många åtgärder för fisk och andra organismer i reglerade och rensade vattendrag, men det är fortfarande vanligt att dessa projekt helt saknar en utvärdering som en del av åtgärdens utförande och budget.

Fallförluster och spill

Vanliga argument mot installation av fingaller och flyktöppningar är att de försämrar kraftverkets effekt genom ökad fallförlust och minskad mängd vatten genom turbin. I fallet Ätrafors har detta visat sig vara direkt felaktigt, eftersom fallförlusten visat sig bli lägre efter att gallret ha bytts ut och eftersom ålen skiljts av från vattnet utan åtgång av spillvatten.

Det man i praktiken eftersträvar från fisksynpunkt när man ökar gallrets yta, är en minskad fallförlust, eftersom det är samma sak som ett minskat tryck på gallret. Om man däremot byter ett grovgaller med liten yta mot ett fingaller med stor yta, kan man inte räkna med att få en minskad fallförlust. I fallet Ätrafors var dock skillnaden i fallförlust betydande före och efter åtgärd (Persson och Holmberg, 2009). Detta innebär att man borde kunna räkna hem delar av åtgärdskostnaden på sikt, vilket kan underlätta liknande projekt på andra platser. Ett annat vanligt argument mot minskad spaltvidd är att gallret snabbare sätter igen med olika typer av drivgods och löv. Tveklöst kräver alla typer av fingaller en effektiv rensanordning, men frågan är om detta problem verkligen ökar om minskad spaltvidd kombineras med ökad svepvattenhastighet? Vid Ätrafors noterades att löven huvudsakligen ansamlades i ytan på det nya gallret, vilket tolkades som att den höga svepvattenhastigheten bidrog till en transport mot ytan. Det periodvis omfattande arbetet med att rensa ryssjorna från just löv, talar också för att löven i första hand fastnar på gallrets överdel. Eftersom vi inte studerat flytkraften på de inkommande löven, kan vi inte med säkerhet säga vilken betydelse denna effekt haft för ansamlingen av löv i ytan. Man bör även beakta behovet av en långsiktig lösning vid Ätrafors, vilket sannolikt kommer innebära att fallförlusten kommer att öka i jämförelse med det som observerades hösten 2008.

En långsiktig lösning

Under studien 2008 saknades en fungerande åtgärd för nedströmsvandrande fisk vid nästa kraftstation i ån, Herting, varför vi valde att transportera ålen nedströms och bespara dem ännu en kraftverkspassage. I de flesta andra vattendrag i Sverige är situationen densamma och det kan vara en bra och snabbt implementerad ålvårdande åtgärd att fånga och transportera ålen nedströms förbi alla hinder. På sikt vet man

dock inte om detta är en bra lösning, eftersom man inte vet hur hanteringen påverkar individernas chanser till överlevnad och reproduktion. Enligt försiktighetsprincipen bör man därför eftersträva att leda ålen tillbaka till vattendraget så de kan simma vidare mot havet. Vatten kommer således att gå åt till att föra ålen från flyktöppningarna tillbaka till vattendraget. Eftersom löv ansamlas i ytan och transporteras in i flyktöppningarna, kommer mängden löv som behöver transporteras bort från platsen att minska. Vidare forskning behövs för att studera mängden vatten som krävs för att en sådan vidareledning ska fungera (Larinier, 2008). För att göra det möjligt att ta in mycket vatten via flyktöppningarna bör man sträva efter att låta en del av flödet gå tillbaka till kraftutnyttjande.

Eftersom förutsättningarna som krävs för en fungerande åtgärd för uppströms respektive nedströms passage vid kraftverk skiljer sig åt, kan man inte använda samma konstruktion för dessa ändamål (Larinier, 2008). Ingången till en åtgärd för nedströmspassage, anläggs där strömmen är som starkast. Utgången från en åtgärd för uppströmspassage, däremot, anläggs där strömmen är svag för att inte nypasserad, utmattad fisk ska riskera svepas mot galler och turbiner. En möjlig kompromiss skulle dock kunna vara att nedströmspassagen från turbinintaget och uppströmspassagen (fiskvägen) går samman ett stycke nedströms vandringshindret och att man på så sätt nyttjar samma kanal/ränna i de nedre delarna för båda åtgärderna. Då skulle dessutom vattnet från nedströmspassagen kunna användas för att öka fiskvägens attraktionseffektivitet. I fallet Ätrafors skulle det dessutom leda till att torr fåran skulle få en mintappning. Man kommer då att behöva styra uppströmsvandrande fisk till den rätta fåran, så att de inte kommer ut framför intagsgallret, men i sammanhanget borde det inte vara så svårt.

Centralt för arbetet med olika fiskarters passage av vandringshinder, är att hitta funktionella och kostnadseffektiva sätt att minimera påverkan av mänskliga aktiviteter på fisk. Det första steget i exemplet silverål är att öka överlevnaden, eftersom många ålar i reglerade vattendrag riskerar att dödas på väg mot havet. Nästa steg blir att försöka mäta effekterna på ål som överlever en kraftverkspassage. Eftersom huvudmålet är att låta ålen återvända till sina reproduktionsområden för lek, får inte de sammanlagda effekterna av nedströmsvandringen bli att de ändå dör eller har otillräckliga energireserver för att nå ända fram till sina lekplatser. Vi efterlyser därför

en objektiv och standardiserad metod för att mäta ålars "hälsa", som ett mer exakt mått på dess möjligheter att lyckas med att bidra till nästa generation. Denna metod bör dessutom vara möjlig att genomföra utan att döda individen som undersöks, vilket är vanligt t.ex. vid analys att fetthalt.

Om finansiärerna

Studien i Ätrafors har bekostats av E.ON Vattenkraft i Sverige AB bland annat med stöd av pengar från försäljning av Bra miljöval, vars utdelning godkänns av Svenska Naturskyddsföreningen. Åtgärden har delfinansierats av Naturvårdsverkets havsmiljöanslag.

Kunder till E.ON som gör ett aktivt miljöval och väljer Bra Miljöval el från vattenkraft, bidrar dels till att förnybar och klimatneutral elproduktion utvecklas och ökar, men också till studier av varför ålen minskar i antal. Fiskarter som är beroende av att kunna röra sig mellan sötvatten och havet för att fullfölja sina livscyklar stöter ofta på problem i reglerade vattendrag, eftersom vattenkraftverk skapar vandringshinder. Under åren 2007-2009 ska därför ålens passage av vattenkraftverk i Ätran studeras för att hitta lösningar som gynnar såväl vattenkraftproduktionen som möjligheterna för ål att vandra oskadd till havet. Ett samarbete mellan E.ON Sverige, Karlstads Universitet och Fiskeriverket.

Erkännanden

Johan Tielman på E.ON vattenkraft Sverige som bidragit stort med goda idéer och gedigen kunskap. Claudio Comoglio på Politecnico di Torino som låtit mig skriva denna rapport på arbetstid. Mats Hebrand på Fiskevårdsteknik AB för god hjälp med beräkningar och bedömningar av konstruktioners lämplighet. Till samtliga ålfångare som låtit oss nyttja deras fällor och givit oss massor med hjälp på olika sätt: Möllers i Nydala, systrarna Andersson i Skärshult, Jan-Åke Jacobson i Vessigebro och Familjen Lennström i Östra Frölunda. Sven-Göran Bengtsson på Elektro-Sandberg för information om Ätrafors och för hjälp av alla slag under arbetets gång. Övriga projektdeltagare Ivan Olsson, Simon Karlsson, Hanna Karlsson, Monika Schmitz, Larry Greenberg och Mia Sand på Karlstads universitet. Håkan Wickström, Niklas Sjöberg och Ingvar Lagenfeldt på Fiskeriverket för goda råd och lån av utrustning.

Paul Kemp och Luke Blunden från University of Southampton och Peter Rivinoja vid SLU i Umeå för hydrauliska mätningar.

Referenser

- Anonym. 2005. *Fish Protection Technologies and Downstream Fishways. Dimensioning, Design, Effectiveness Inspection*. DWA German Association for Water, Wastewater and Waste: Hennef.
- Anonym. 2008. Swedish eel management plan (Jo 2008/3901). 51 sidor.
- Behrmann-Godel J, Eckman R. 2003. A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the River Mosel, Germany. *Ecology of Freshwater Fish*. **12**: 196-202.
- Bergdahl D. 2007. Nedströmsmigration av atlantlax och havsöring vid Hertings vattenkraftverk. Bachelor thesis. Göteborgs Universitet. 14 sidor.
- Bergdahl D. 2008. Downstream migrating silver eels confronting a hydropower station in southern Sweden. Master thesis. Göteborgs Universitet. 11 pages.
- Calles O. 2006. *Re-establishment of connectivity for fish populations in regulated rivers*. Karlstad University Press: Karlstad.
- Calles O, Greenberg LA. In press. Connectivity is a two-way street - The need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *River Research and Applications*.
- Carr JW, Whoriskey FG. 2008. Migration of silver American eels past a hydroelectric dam and through a coastal zone. *Fisheries Management and Ecology*. **15**: 393-400.
- Clay CH. 1995. *Design of fishways and other fish facilities*. Lewis Publishers: Boca Raton.
- Cowx IG, Welcomme RL. 1998. *Rehabilitation of rivers for fish: a study undertaken by the European Inland Fisheries Advisory Commission of FAO*. Fishing News Books: Oxford.
- Dekker W. 2003. Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*? *Fisheries Management and Ecology*. **10**: 365-376.
- Ferguson JW, Ploskey GR, Leonardsson K, Zabel RW, Lundqvist H. 2008. Combining turbine blade-strike and life cycle models to assess mitigation strategies for fish passing dams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **65**: 1568-1585.
- 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.
- Karlsson S. 2008. Hydro-electric power and downstream migration of Atlantic salmon and Sea trout - Evaluation of mortality and movement using telemetry in the river Ätran. Master thesis. Göteborgs Universitet. 21 sidor.
- Larinier M. 2001. Environmental issues, dams and fish migration. In *Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution*, G. Marmulla (eds). FAO: Rome; 45-90.
- Larinier M. 2008. Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. *Hydrobiologia*. **609**: 97-108.

- Montén E. 1985. *Fish and turbines: fish injuries during passage through power station turbines*. Vattenfall, Statens vattenfallsverk: Stockholm.
- Nilsson-Hjort A. 1931. Ätrafors Vattenkraftverk. *Svenska vattenkraftföreningens publikationer* **235 (1931:1)**:
- Persson F, Holmberg J. 2009. Ätrafors - Fallförlustbestämning av ändring i lutning på intagsgaller. *Energoretea Energi, Elkraft & ICT AB*.
- Wickström H, Florin A-B, Andersson J, Åström M. 2008. Report on the eel stock and fishery in Sweden 2007. *Report from the Swedish Board of Fisheries* 56 sidor.

Appendix 1. Tekniska data för kraftverken och turbinerna vid Hertings och Ätrafors kraftstationer i Ätran.

Fakta	Herting 1 (gamla)		Herting 2 (nya)	Ätrafors
Ordning från havet	1			2
Ägare	Falkenbergs energi			E.ON
Byggår	1903	1903	1943	1918, 1928-29
Effekt	3,3 MW			13 MW
Normalårsproduktion	2,46 GWh			52 MW
Antal aggregat	1 Kaplan	1 Kaplan	1 Kaplan	3 dubbla Francis
Fallhöjd	5,25 m	5,25 m	5,85 m	23,5 m
Rotationshastighet	250 rpm	187 rpm	187 rpm	187 rpm
Spaltvidd galler				
Intagskanal	80 mm		Finns ej	20/18 mm **
Turbinintag	45 mm		45 / 22 mm *	80 mm
Maximal vattenföring	15 m ³ /s	25 m ³ /s	25 m ³ /s	72 m ³ /s

* 45 mm gallret byts ut på våren mot 22 mm galler.

** 20 mm före åtgärd och 18 mm efter åtgärd.

Ålens nedströmspassage av vattenkraftverk

Fiskarter som är beroende av att kunna röra sig mellan sötvatten och hav för att fullfölja sina livscyklar stöter ofta på problem i reglerade vattendrag, eftersom vattenkraftverk skapar vandringshinder. Vanligen försöker man lösa dessa problem genom att anlägga fiskvägar vid hindren, för att åter göra det möjligt för fisken att passera. Fokus för sådana åtgärder har legat på just uppströms passage, medan nedströms passage av kraftverk sällan uppmärksammas och ytterst sällan åtgärdats. Denna rapport beskriver nedströmspassagen för ål vid ett vattenkraftverk i Ätran, före och efter åtgärd.

Före åtgärd satt en fingaller med 20 mm spaltvidd och 63,4° lutning i intagskanalen till Ätrafors kraftverk i Ätran. Förlusten för ål på väg nedströms mot havet var omfattande och dödligheten var 72 %. De flesta ålar som dog klämdes fast på intagsgallret eller skadades vid turbinpassage. Åtgärden bestod i att sätta in ett nytt fingaller i intagskanalen med 18 mm spaltvidd och 35° lutning. Dessutom anlades flyktöppningar i gallrets övre del för att erbjuda ålen en alternativ väg förbi kraftverket. Efter åtgärd minskade dödligheten för ål till 10%. Ca. 80% av ålarna hittade ut genom flyktöppningarna och ingen av dem fastnade på det nya gallret. Det nya gallrets utökade yta ledde även till att fallförlusten minskade med som mest 170 mm, vilket innebär en ökad framtida produktion vid kraftverket om man lyckas med att hålla gallret rent från löv och drivgods.