Slutrapport Hertingprojektet

– Förstudie och uppföljning av åtgärder för förbättrad fiskpassage 2007-2015

Olle Calles [1], Jonas Christiansson [1,2,3], Stefan Kläppe [1,5], Ingemar Alenäs [2], Simon Karlsson [1, 2, 4], Daniel Nyqvist [1], och Mats Hebrand [5]

[1] Naturresurs rinnande vatten, Biologi, Karlstads universitet
[2] Falkenbergs kommun
[3] Elghagen fiskevård
[4] SLU Aqua, Stockholm
[5] Fiskevårdsteknik AB

Om uppdraget

Den biologiska förstudien av Hertingprojektet inleddes 2006-2007 med syftet att studera nedströmspassagen för kelt och smolt samt funktionen hos fällan i isutskovet vid Herting 1 (Bergdahl, 2007; Karlsson, 2008). Blankålens nedströmspassage av Herting studerades 2007 inom ramen för ett projekt finansierat av E.ON Vattenkraft och Bra miljövalsfonder som beviljas av Svenska Naturskyddsföreningen (Bergdahl, 2008; Calles *et al.*, 2009; Calles *et al.*, 2010b). Först därefter diskuterades åtgärder vid Herting och den egentliga förstudien inleddes och Karlstads universitet (KAU) fick i uppdrag av Länsstyrelsen i Halland tillsammans och Falkenbergs kommun att komplettera genomförda undersökningar med studier på leklax, kelt, lekvandrande havsnejonöga och ålyngel (Calles *et al.*, 2010a; Calles *et al.*, 2012c; Monsén, 2010). Planen var att genomföra förstudien under ett år och sedan fortsätta med två års studier efter åtgärd (uppföljning) efter avslutat åtgärd. Efter åtgärdernas genomförande 2012-2013 inleddes, beviljades finansiering från Havs- och vattenmyndigheten och Falkenbergs kommun för att upprepa samtliga studier efter åtgärd under 2014. Till följd av driftstopp i kraftverket hösten 2014 och uteblivna fångster av havsnejonöga, beviljades en förlängning som innebar att studier även genomfördes 2015. Utöver innevarande rapport publiceras delstudiernas resultat i såväl vetenskapliga tidskrifter (Calles *et al.*, In prep; Calles *et al.*, 2012c; Calles *et al.*, 2010b; Nyqvist *et al.*, In prep), examensarbeten (Bergdahl, 2007, 2008; Heiss, 2015; Karlsson, 2008; Monsén, 2010) och rapporter (Calles *et al.*, 2010a; Calles *et al.*, 2009; Christiansson *et al.*, 2015).

Olle Calles har varit projektledare för undersökningarna före och efter åtgärd 2006-2015. Fältansvariga var Stefan Kläppe (KAU, 2009), Jonas Andersson (KAU-2010), samt Jonas Christiansson (Kau, Elghagen fiskevård & Falkenbergs kommun, 2014-2015). Övrig personal som bidrog till arbetets genomförde var: Simon Karlsson (Göteborgs universitet (GU) & KAU, 2007-2008, SLU 2014-2015), Daniel Bergdahl (GU & KAU, 2007-2008), Kjell Nilsson (KAU, 2009), Lars Eriksson (GU & KAU, 2010), Jenny Monsén (KAU, 2010), Peter Olsson (KAU, 2014), Marius Heiss (Ludwig-Maximilians-Universität München, Tyskland, 2014), Anette Karinsdotter (Falkenbergs kommun, 2015), Robin Lindgren (KAU & Falkenbergs kommun, 2015). Av avgörande betydelse för studiens genomförande var även Ingemar Alenäs, Krister Lindqvist och Margareta Gunnarsson (Falkenbergs kommun), Fiskefunktionen vid Länsstyrelsen Halland, Peter Rivinoja (SLU), Stina Gustafsson (KAU), Paul Kemp (University of Southampton, UK), Claudio Comoglio och Paolo Vezza (Politecnico di Torino, Italien), samt Mats Hebrand (Fiskevårdsteknik AB). Sven-Erik och Berit Möller (Nydala kvarn) har varit ovärderliga för arbetet med både lax och ål. Ålstudierna hade inte varit möjliga utan omfattande arbete av Jan-Åke och Henrik Jacobsson (Vessige kraftverk), Familjen Lennströms (Mölneby gård) och systrarna Andersson (Skärhultaån). Karl-Göran Olofsson och kollegor vid Falkenberg Energi har stöttat och bistått projektet på alla plan.

Tack till er alla!

Innehåll

Om uppdraget 2
Introduktion 4
Material & Metoder 5
Ätran 5
Hertings kraftverk 6
Fiskpassage vid Herting 1945-2012 6
Fiskpassage vid Herting 2013- 8
Passagestudier 12
Abiotiska data 15
Resultat och diskussion 15
Lekvandrande lax 15
Utlekt lax 17
Laxsmolt 21
Havsnejonöga 23
Blankål 26
Ålyngel 27
Summerande diskussion och slutsatser 28
Finansiering 31
Referenser 32

Introduktion

Vattenkraft utgör en förnyelsebar energikälla med begränsad klimatpåverkan och har dessutom en grundläggande betydelse som reglerkraft inom det svenska elnätet (Anonymous, 2014). Den lokala och regionala miljöpåverkan är dock ofta omfattande, i synnerhet om miljöförbättrande åtgärder är bristfälliga eller saknas. En betydande form av påverkan är den fragmentering som kraftverk och dammar orsakar (Näslund *et al.*, 2013), eftersom det bryter korridorfunktionen (konnektiviteten) och därmed hindrar vandrande fiskarter från att fullfölja sina livscykler. Fragmenteringen anses vara den huvudsakliga bakomliggande orsaken till ungefär hälften av de fiskarter som är hotade i Europa (Northcote, 1998). De arter som drabbas speciellt hårt av fragmenteringen är de diadroma arterna som är beroende av fria vandringsvägar mellan hav och sötvatten för att fullfölja sina livscykler. Diadroma arter inbegriper dels anadroma arter som lax och havsnejonöga, som leker i sötvatten och främst tillväxer i havet, och katadroma arter, som ål, som leker i havet och främst tillväxer i sötvatten.

För att återskapa fria vandringsvägar vid ett hinder, krävs ett åtgärdsprogram som inbegriper både uppströms- och nedströmspassage (Calles & Greenberg, 2009) och som dessutom säkerställer en flödesregim som tillåter såväl fiskvandring som tillgång till habitat för lek och uppväxt (Malm-Renöfält & Ahonen, 2013). Man har sedan lång tid tillbaka insett vikten av fiskvägar för uppströmspassage (Clay, 1995), men först nyligen har dessa börjat formges på ett sätt som tillåter passage av samtliga förekommande fiskarter och livsstadier i behov av fria vandringsvägar (Calles *et al.*, 2013a). Till följd av detta är de fiskvägar som byggs oftast naturlika och man har även börjat utforska habitatfunktionen hos denna fiskvägstyp (Calles *et al.*, 2012b; Gustafsson *et al.*, 2013). Motsvande åtgärder för nedströmspassage är fortfarande mycket ovanliga, men kunskapen har förbättrats avsevärt under de senaste åren och i dag finns flera nedströmspassager i drift (Calles *et al.*, 2013a; Calles *et al.*, 2013b; Calles *et al.*, 2013c). Miljöförbättrande åtgärder i reglerade vattendrag blir allt vanligare, men fortfarande är kunskapsnivån bristfällig och de flesta kraftverk saknar åtgärder (Calles *et al.*, 2013a; Malm-Renöfält & Ahonen, 2013). I de fall åtgärder har implementerats, är det ovanligt med grundligt genomförda vetenskapliga utvärderingar, vilket innebär att utvecklingstakten är långsam. Det är därför av yttersta vikt att nya passageåtgärder formges efter ”bästa möjliga teknik” och att deras funktion noggrant utvärderas (Calles *et al.*, 2013a).

Ätran är ett medelstort vattendrag på Sveriges västkust som nationellt klassats som särskilt värdefullt p.g.a. dess artrikedom (Erlandsson, 2001). Ätran hyser värdefulla arter som lax (*Salmo salar*) havsöring (*Salmo trutta*), havsnejonöga (*Petromyzon marinus*), flodnejonöga (*Lampetra fluviatilis*), ål (*Anguilla anguilla)*, flodpärlmussla (*Margaritifera margaritifera),* större dammussla (*Anodonata cygnea*), allmän dammussla (*Anodonata anatina*) och spetsig målarmussla (*Unio tumidus)*. Ätran med dess biflöden är viktiga reproduktionsområden för många av dessa arter, men flera populationer av fisk och stormusslor har minskat och

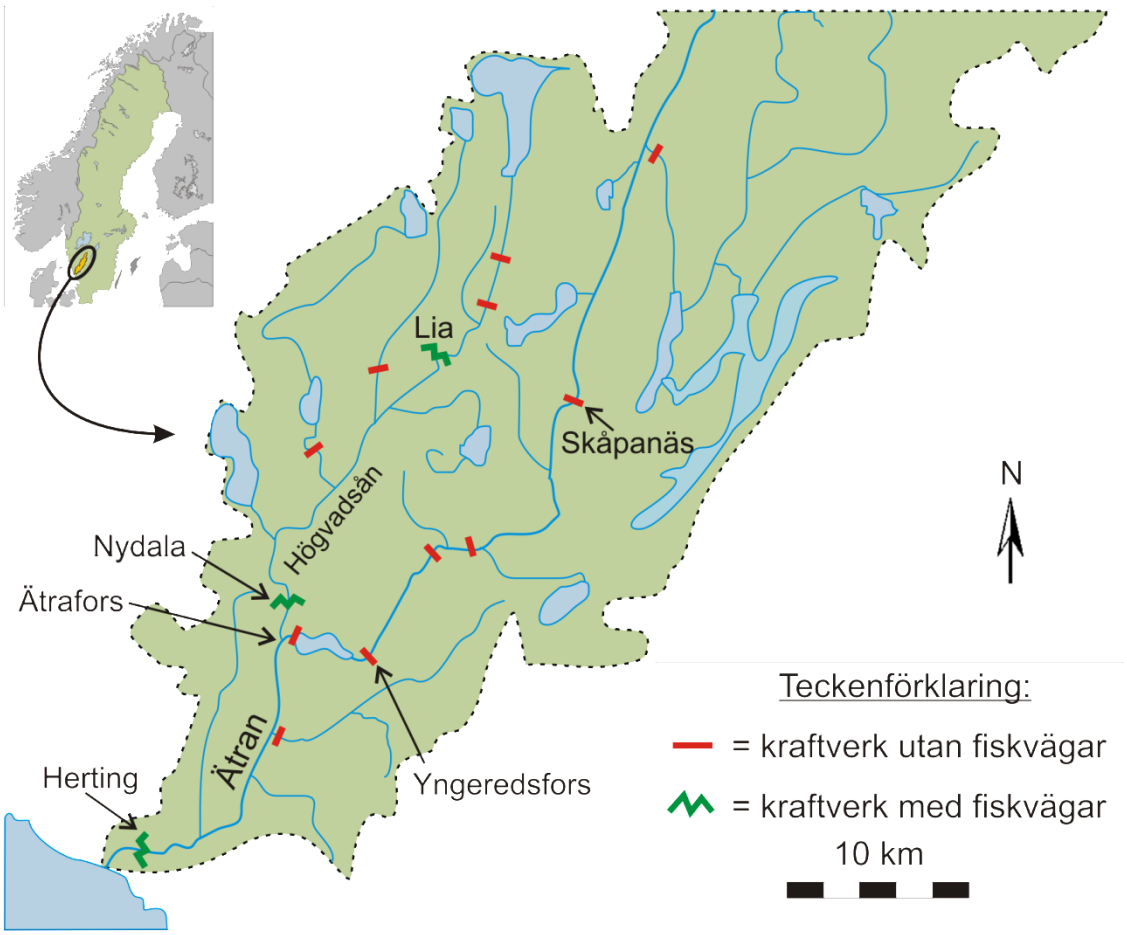
sannolikt har en del av förklaringen varit en bristfällig konnektivitet i ån. Hertings kraftstation ligger nära Ätrans mynning och eftersom habitat för lek och uppväxt i huvudsak är belägna uppströms kraftverket, måste alla fiskarter som vandrar mellan ån och havet (diadroma arter) passera kraftverket (Figur 1). Eftersom Hertings kraftverk därmed är ”nyckeln till Ätran” för diadroma fiskarter, inleddes 2006 en studie som syftade till att utreda passageförhållanden vid Herting för tre de tre diadroma arterna lax, havsnejonöga och ål. Arterna valdes dels på grund av sina höga skyddsvärden, men även för att de har kontrasterande livscykler och beteenden, vilket innebär att åtgärder med god funktion för dem sannolikt ger en god funktion för de flesta i Ätran förekommande arter och livsstadier. Studien 2006 efterföljdes av fler delstudier 2007-2010, vilka sammantagna senare kom att kallas förstudie, när det stod klart att passageförbättrande åtgärder skulle genomföras vid kraftverket. Efter att åtgärderna färdigställts, genomfördes en uppföljning under 2014-2015. Studierna har främst bestått i radiomärkning och spårning av fisk uppströms respektive nedströms förbi Herting. Delstudierna på uppströmspassage har inbegripit lekvandrande lax (N = 115) och havsnejonöga (N = 35), samt ålyngel (N = 330). Delstudierna på nedströmspassage har inbegripit utlekt lax (kelt; N = 53), laxsmolt (N = 98) och blankål (N = 135).

Material & Metoder

Ätran

Ätrans huvudfåra är 243 km lång och avrinningsområdet är 3342 km² och årsmedelflödet under de senaste tio åren är cirka 60,0 m^3/s, medan det tidigare varit 48,0 m^3/s (1961–1993) (Olofsson, 2013). Ätran rinner genom Västra Götalands och Hallands län och mynnar ut i Kattegatt, Nordsjön. Det finns ett stort antal kraftverk och dammar i avrinningsområdet, varav åtta kraftverk i de nedre delarna av Ätrans huvudfåra (nedre 58 km) och tre i biflödet Högvadsån (ARO: 480 km^2).

Hertings kraftverk ligger i Falkenberg 3 km från Ätrans mynning i Kattegatt (Figur 1). Fisk som vandrar upp i Ätran från havet kan, efter att ha passerat Herting, vandra ytterligare 24 km till Ätrafors kraftverk som är det första definitiva vandringshindret i Ätrans huvudfåra. Innan förekomsten av vandringshinder skapade av människan, uppges lax ha kunnat vandra 31 km uppströms från mynningen till Yngeredsfors och under vissa flödesförhållanden vidare upp till forsarna vid Skåpanäs (Thyssel *et al.*, 2013). Strax nedströms Ätrafors mynnar biflödet Högvadsån, vars nedre 34 km är tillgängligt för de havsvandrande (diadroma) fiskar som lyckas passera vandringshindren Nydala och Lia kvarn. Till följd av vattenkraftsutbyggnaden är strömmande sträckor ovanliga i Ätran, även på de sträckor som i dag är tillgängliga för havsvandrande fiskarter. Tillgängliga habitat nedströms vandringshinder i Ätran i dag omfattar totalt 156,5 ha, varav uppväxtområden utgör cirka en fjärdedel (Spjut & Degerman, In prep). Av tillgängliga habitat, förutsatt att passage av fiskvägar fungerar, återfinns drygt en tredjedel i Högvadsån med de viktigaste biflödena Fageredsån och Hjärtaredsån.



Figur 1. Ätrans avrinningsområde i Sverige och kraftverk med respektive utan fiskvägar i de nedre delarna av avrinningsområdet.

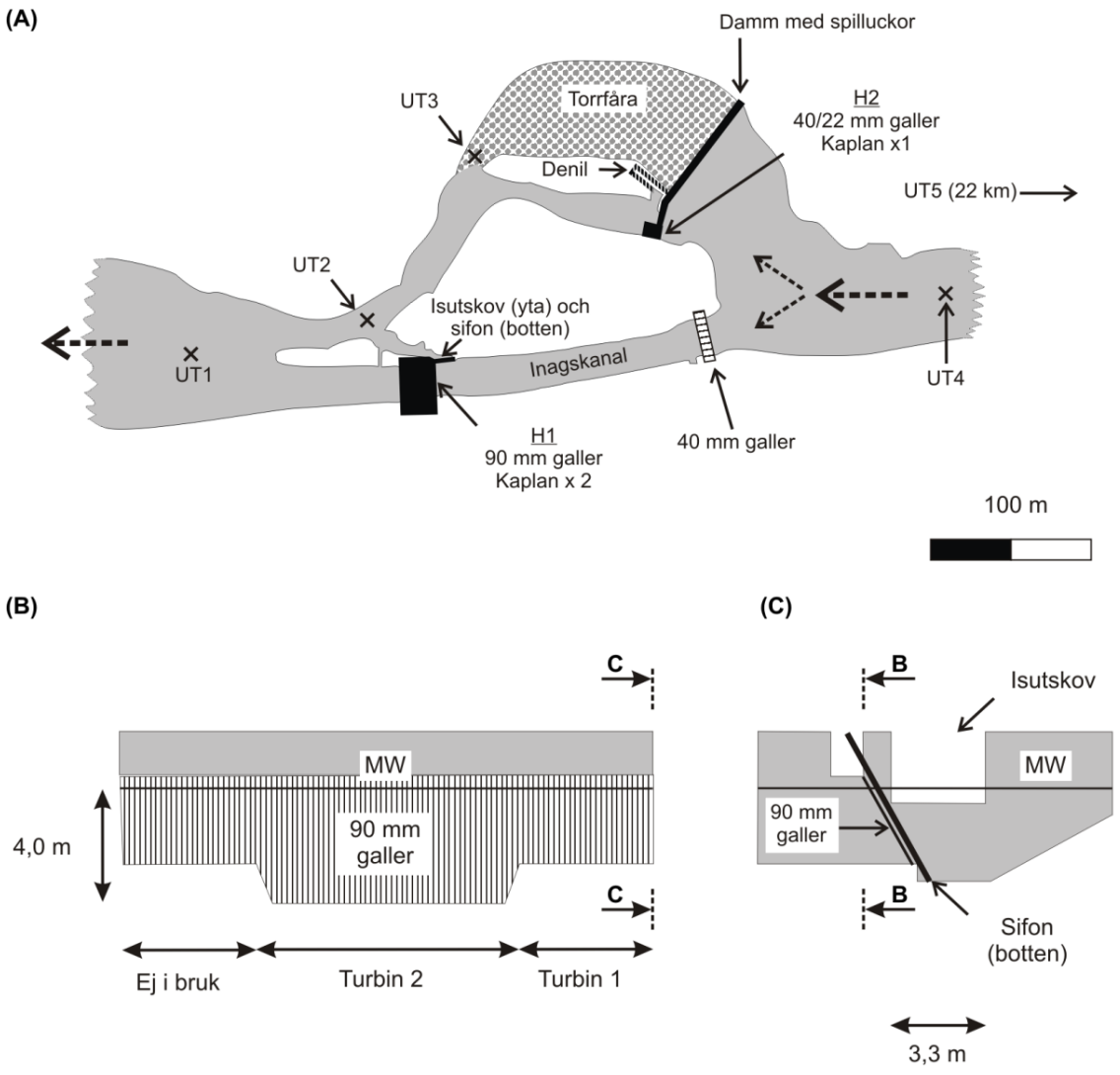
Hertings kraftverk

Herting består av två kraftverk, som I dagligt tal kallas Herting 1 (H1) och Herting 2 (H2)(Figur 2). H1 anlades 1903 och är utrustat med två Kaplan-turbiner (nr 1: 250 rpm, 15,0 m^3/s; nr 2: 187 rpm, 25,0 m^3/s) och är beläget i slutet av en anlagd intagskanal vid sidan om den ursprungliga fåran. H2 anlades 1945 vid dammen i den ursprungliga fåran och har en Kaplan-turbin (187 rpm, 25,0 m^3/s). Den totala slukförmågan för de två kraftverken vid Herting är således 65,0 m^3/s. Det har skett omfattande ombyggnationer vid Herting 2013, med syftet att förbättra förutsättningarna till uppströms- och nedströmspassage för vandrande fiskarter.

Fiskpassage vid Herting 1945-2012

Under perioden 1945-2006 fanns inga fiskpassager vid H1 och uppströmsvandrande fisk kunde enbart passera Herting via en Denil-ränna (motströmsränna) placerad i direkt anslutning till H2. För att öka attraktionen till fiskvägens ingång, förstärktes fiskvägsflödet (1,4 m^3/s) med ytterligare attraktionsvatten från ett utskov (1,6 m^3/s). Det fanns även en kanal som sammanband utloppet från H1 med förlängningen av utloppet från H2, för att

fisken enklare skulle hitta vidare uppströms. En ålyngelledare installerades i torrfåran vid Denil-rännan 2006.



Figur 2: Hertings två kraftverk H1 och H2 med Denil-ränna (1945-2012) och isutskov med sifon (2006-2012), Ätran. Utsättningsplatser för passagegrupper och kontrollgrupper av radiomärkt fisk vid studierna av fiskpassage inom Hertingprojektet 2007-2010 anges med ”UT1-5”, vilka beskrivs närmare i ”material och metoder”.

Under perioden 1945-2005 fanns inga åtgärder för att underlätta passagen för nedströmsvandrande fisk vid Herting och därför var de enda passagevägarna genom kraftverkens turbiner eller genom spilluckorna, under de perioder dessa var öppna. Vid H1 fanns två grovgaller placerade för att skydda kraftverket från drivgods, ett 40 mm galler vid intagskanalens början, samt ett 90 mm galler i turbinintaget. Båda gallren var konventionella med en ungefärlig lutning på 60° i förhållande till horisontalplanet. I ett första försök att underlätta passagen för nedströmsvandrande fisk, anlades en s.k. Wolf-trap (Wolf, 1951) i isutskovet vid turbinintaget till H1 (Calles *et al.*, 2012c) som var i drift april-november under perioden 2006-2012. Isutskovet var 3,3 m brett och avbördade mellan 0,3-2,0 m^3/s i en 90°

sväng ner via fällan ner till en rymlig sump. Som ett komplement till det ytligt placerade isutskovet, placerades ett rör (Ø = 200 mm) vid botten intill 90 mm-gallret och nyttjades som en sifon/hävert (0,25 m^3/s) över dammkrönet ner i en separat sump. Sifonen anlades som en åtgärd för bottenorienterade arter, som t.ex. ål. Få fiskar passerade dock sifonen, vilket inte beskrivs ytterligare här (men se: Calles *et al.*, 2012c). För att fisken enkelt skulle kunna passera 40 mm-gallret vid intagskanalens början, avlägsnades de yttre 1 m breda segmenten av gallret.

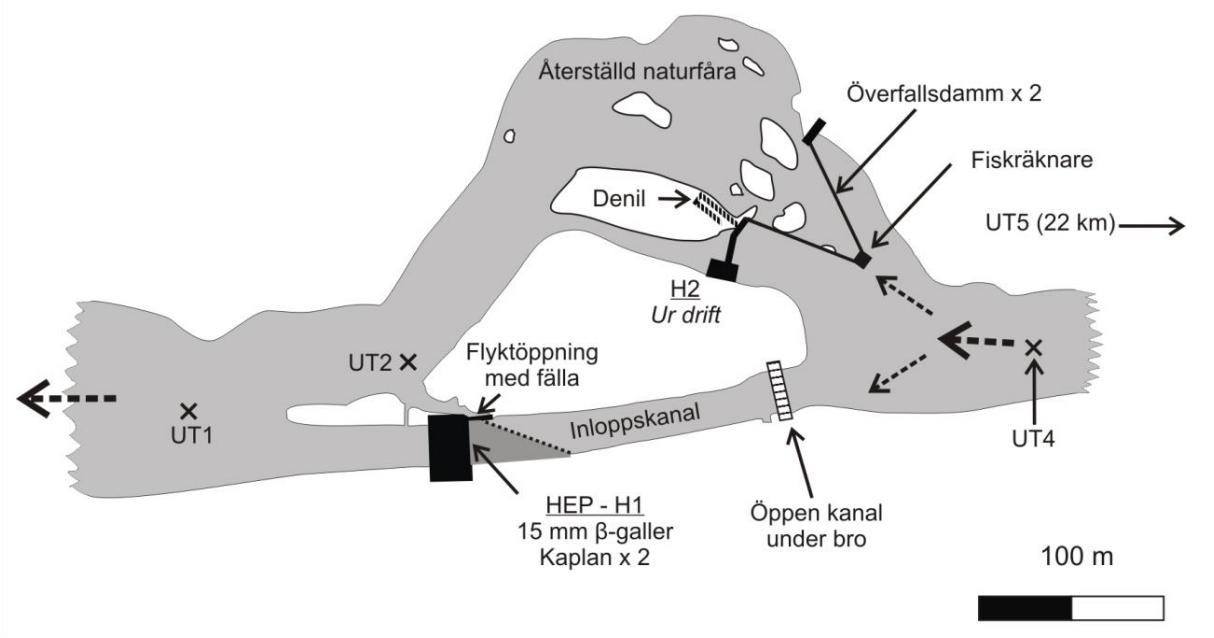
Vid H2 fanns inga nedströmspassager 1945-2012 och fisken kunde således enbart passera genom kraftverkets turbiner, via Denil-rännan eller via spilluckorna när tappning den vägen förekom. För att hindra fisk (framförallt smolt) från att vandra genom 40 mm-gallret och vidare in i turbinerna vid H2, placerades ett 22 mm-galler i turbinintaget under våren. Fisk som stoppades av gallret erbjöds dock ingen närliggande passageväg. Vattenhastigheten mot det branta gallret (77°) var dessutom hög och dess skyddsfunktion tveksam.

Fiskpassage vid Herting 2013-

För att förbättra uppströmspassagen vid Herting presenterade Fiskevårdsteknik ett antal olika åtgärdspaket, där man från Falkenbergs Energi och ägaren Falkenbergs kommun beslutade att välja det mest omfattande åtgärdspaketet med störst förväntad förbättringspotential för havsvandrande fiskarter i Ätran. För att förbättra möjligheterna till uppströmspassage för samtliga förekommande fiskarter och livsstadier revs större delen av dammen vid H2 ut 2013 och ersattes av två överfallsdammar med en 5 m öppning högst upp (Figur 3). I öppningen monterades snedställda galler (35 mm spaltvidd) för att leda all passerande fisk genom en elektronisk fiskräknare som är placerad i öppningens mitt. Fiskräknaren är av typen Riverwatcher och består av ett par extra höga skannerplattor och två videokameror monterade ovanpå varandra för att bibehålla en fri passage från botten till ytan (Riverwatcher, VAKI, Island). Ätrans ursprungliga fåra, som varit torrlagd sedan uppförandet av H2 1943, återställdes och en djupfåra (stigränna) anlades i dess mitt för att säkerställa funktionell passage vid lågflöden. Sträckan kallas härefter för den nya naturlika fiskvägen, men beskrivs mer korrekt som den rehabiliterade delen av Ätrans huvudfåra nedströms Hertingdammen. Den naturlika fiskvägen har en fastställd minsta vattenföring på 11 m^3/s eller det totala flödet i Ätran vid flöden ≤ 11 m^3/s. Valet att ersätta Denil-rännan med den nya stora naturlika fiskvägen har sin grund i både i en förväntat god passage för alla samtliga förekommande fiskarter och livsstadier och ett viktigt tillskott av strömmande habitat nedströms samtliga vandringshinder i Ätran. Flödet i den nya naturlika fiskvägen fördelas enligt följande: 5 m^3/s genom öppningen och 6 m^3/s jämnt fördelat över de två överfallsdammarna. När totalflödet i Ätran överstiger turbinernas och fiskpassagernas slukförmåga ökar vattennivån och avbördningen ökar då både genom öppningen och över överfallsdammarna. Eventuellt spillflöde tappas således i huvudsak via den naturlika fiskvägen, men vid kraftiga högflöden kan ytterligare flöde avbördas genom kvarvarande

spilluckor vid H2 (kapacitet: 15,0-20,0; 26,0-30,0; 26,0-30,0 m^3/s;) och två nya mindre isutskov belägna vid nedströmsänden av respektive överfallsdamm. I dagsläget finns även Denil-rännan och lockvattenutskovet kvar men är helt tagna ur drift. Ombyggnationen sänkte vattenytan uppströms Herting, vilket i viss mån återskapat strömsträckor där.

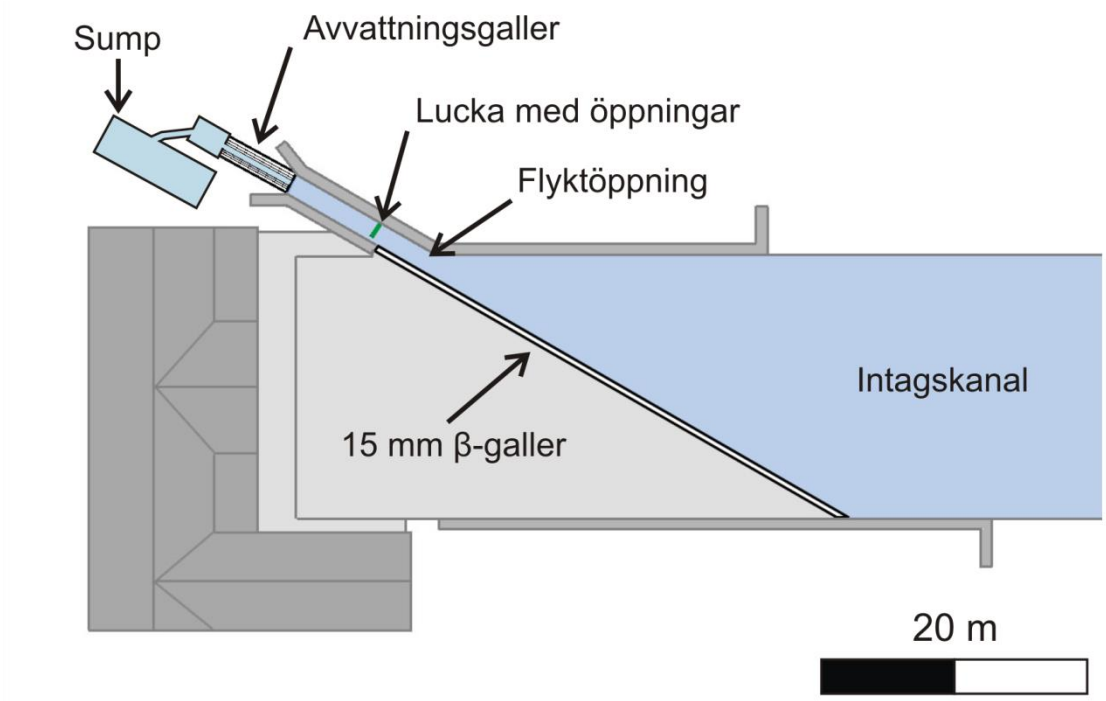
Kraftverket i anslutning till den naturlika fiskvägen (H2) har inte åtgärdats för förbättrad nedströmspassage och får därför endast tas i produktion under perioder med begränsad fiskvandring (1 december- 29 februari). Åtgärderna för förbättrad nedströmspassage vid H1 bestod i att både gallret i intagskanalens början (40 mm) och gallret i turbinintaget (90 mm) togs bort och ersattes av ett låglutande s.k. β-galler samt en flyktöppning med en kontrollstation i direkt anslutning till turbinintaget (Figurer 3 & 4). Gallret är 40 m långt och består av hydrodynamiskt utformade, horisontellt orienterade kompositelement med spaltvidden 15 mm (CompRack®, Halmstad, Sweden). Gallret lutar 30° relativt intagskanalens sidor och därmed också vattnets huvudsakliga strömningsriktning. Gallrets våta yta vid dämningsgränsen är 80 m^2, vilket innebär att den maximala normalhastighetsvektorn är 0,5 m/s (40 m^3/s fördelat på 80 m^2).



Figur 3: Hertings två kraftverk H1 och H2 efter ombyggnation 2013 med återställd naturfåra med överfallsdammar och videoräknare samt och låglutande β-galler (30°) och flyktöppning med kontrollstation, Ätran. Utsättningsplatser för passagegrupper och kontrollgrupper av radiomärkt fisk vid studierna av fiskpassage inom Hertingprojektet 2014-2015 anges med ”UT1-5”, vilka beskrivs närmare i ”material och metoder”.

I slutet av den nya avledaren finns en flyktöppning som är öppen hela vägen från ytan till botten och har en slukförmåga på 3,0 m^3/s. I flyktöppningen sitter en hydraulisk klafflucka som vid normal drift är stängd och fisken kan då passera genom en öppning i ytan och ytterligare en öppning vid botten, vilket ger ett genomsnittligt flöde om 0.6 m^3/s. Gallret rensas av en automatisk tryckfallsinducerad rensmaskin som vid fullföljd cykel leder till en

automatisk full öppning av luckan i flyktöppningen (3,0 m^3/s). Direkt nedanför flyktöppningen och luckan följer en 6 m lång och 1,2 m bred kanal som fungerar som kombinerad fallränna för säker förbiledning av fisk och spolränna för uttransport av frånskilt drivgods. I fallrännan kan ett låglutande 8 mm-galler sänkas ner för avvattning och vidaretransport av fisk till fälla för kontroll (Wolf, 1951). I gallrets mitt finns en impermeabel 300 mm bred ränna som leder fisk och drivgods vidare ner i en stor sump (5 x 0,5 x 0,9 m). Sumpens väggar är impermeabla och övergår i sumpens övre del i ett 8 mm-galler för avvattning. Avledarens design är en modifierad version av Ebel, Gluch and Kehl (Ebel, 2013) och följer på samtliga punkter rekommendationerna om ”bästa möjliga teknik” för nedströmspassage (Calles *et al.*, 2013a).



Figur 4: Den nya nedströmspassagen vid Hertings kraftverk (H1) i Ätran. Åtgärden färdigställdes 2013 och består av ett låglutande β-galler (30°) samt flyktöppning med kontrollstation. Modifierad från Heiss (2015).

De nya åtgärderna vid Herting har ändrat förhållandena för kraftverksproduktionen på fler sätt än att H2 är ur drift större delen av året. Ersättandet av dammen med två överfallsdammar har i snitt sänkt vattennivån uppströms kraftverket med 60 cm, vilket minskat fallhöjden och därmed produktionen både vid H1 och vid H2. Vid flöden ≤ 11 m^3/s tappas allt vatten genom den naturlika fiskvägen och resterande vatten genom flyktöppningen vid H1. När flödet överstiger 11 m^3/s sätts H1 i drift och tar överstigande flöde till dess slukförmåga överstigs vid 51 m^3/s. Överstiger totalflödet i Ätran 51 m^3/s spills detta genom den naturlika fiskvägen.

Tabell 1. Delstudier inom Hertingprojektets biologiska delprojekt 2007-2015. Samtliga delar av förstudien har presenterats i slutrapporten från förstudien (Calles *et al.*, 2010a), medan delstudier som presenterats i andra former är markerade med * och specificerats under ”Tidigare publikation”.

Art	**Livsstadium**	**Vandring**	**Årstid**	**Studieår**		**Antal fiskar**			**Tidigare publikation***
				Förstudie	**Uppföljning**	Passage	Kontroll	Totalt	
Lax	Lekvandrare	Uppströms	Höst	2009*	2014	32+30	16+10 (+27)[C]	88 (115)	Monsén (2010) Nyqvist *et al.* (In prep)[D]
	Kelt	Nedströms	Höst-Vår	2009-2010*	2014-2015	”	”	”	
	Smolt	Nedströms	Vår	2007*	2014*	34+20	35+9	98	Heiss (2015) Calles *et al.* (2012c)
Ål	Yngel	Uppströms	Sommar	2009-2010*	2014*	45+120	45+120	330	Christiansson *et al.* (2014)
	Blankål	Nedströms	Höst	2007*[A]	2014-2015	42+30+30	13[B]+10+10	135	Calles *et al.* (2010b) Calles *et al.* (2012c) Calles *et al.* (In prep) [D]
Havsnejonöga	Lekvandrare	Uppströms	Vår-sommar	2010	2014-2015	20+11	3+1	35	Andersson *et al.* (2010)
Vattenkemi och bottenfauna	N/A	N/A	Sommar-höst	2010	2014	-	-	-	Calles *et al.* (2010a)

[A] Finansierad av E.ON vattenkraft och Bra Miljöval (Calles & Bergdahl, 2009; Calles *et al.*, 2013b; Calles *et al.*, 2010b)

[B] Av kontrollålarna var fem levande och åtta s.k. ”dödsläpp”, där de senare användes för att undersöka hur långt död ål driftar efter turbinpassage.

[C] Individer från Karlsson *et al*. (in prep), utsättning i Högvadsåns mynning.

[D] Preliminära resultat, analys pågår.

Passagestudier

Projektet har fokuserat på att studera tre havsvandrande fiskarters passagemöjligheter vid Herting, före och efter passageförbättrande åtgärder. Både uppströms- och nedströmspassage har studerats för målarterna lax, ål och havsnejonöga, vilket inneburit totalt 13 delstudier (Tabell 1). Vissa av dessa studier har på olika sätt delrapporterats och presenteras endast översiktligt i innevarande rapport, vilket markerats med ”*” i tabellen nedan.

Telemetristudier har genomförts på samtliga arter och livsstadier där det har varit praktiskt möjligt, vilket innebär lekvandrande lax och kelt, laxsmolt, lekvandrande havsnejonögon och blankål (Tabell 1). Ålyngelstudien har haft ett annorlunda tillvägagångssätt, vilket beskrivs separat nedan. Det generella tillvägagångssättet för telemetristudierna har varit att vild fisk fångats och radiomärkts under bedövning, varefter de satts ut i grupper nedströms och uppströms Herting. Vid uppströmspassagestudierna har gruppen nedströms kraftverket benämnts ”passagegrupp” och den uppströms benämnts ”kontrollgrupp”. Vid nedströmspassagestudierna har gruppen uppströms kraftverket benämnts ”passagegrupp” och den nedströms benämnts ”kontrollgrupp”. Syftet med denna studiedesign har varit att explicit studera problem relaterade till passagen av Herting, genom att jämföra resultaten för de fiskar som tvingats passera Herting under sin vandring (passagegrupp) med de som flyttats förbi (kontrollgrupp). På så sätt kan resultatet från kontrollgruppen visa på eventuella problem som inte kan härledas till själva kraftverkspassagen, utan som beror av andra faktorer som fångst, hantering, fiske etc. Studierna beskrivs övergripande här, för specifika detaljer hänvisar vi till publikationerna i Tabell 1.

Samtliga individer har radiomärkts kirurgiskt under bedövning (MS-222 / benzocaine), vilket innebär att fisken sövts ner i ett väl luftat vattenbad tills de inte reagerat på yttre stimuli. Därefter har fiskens längd, vikt och status noterats. Endast individer som bedömts vara oskadda och i god form har märkts. Ett snitt har sedan lagts i buken, genom vilket en radiosändare förts in. Antennen har letts ut genom en kanyl i ett separat hål. Snittet har förslutits med nedbrytbar sutur (vanligen Vicryl,; Ethicon Inc., USA). De radiomärkta individerna har därefter återhämtat sig i en behållare med vatten från älven, varefter de satts tillbaka i vattendraget. Fiskmärkningen har utförts med tillstånd från Göteborgs djurförsöksetiska nämnd (Dnr. 208-2007, 85-2013) och Malmö-Lunds djurförsöksetiska nämnd (Dnr. M197-09). Fångst och förflyttning av fisk har utförts med dispens från Länsstyrelsen i Halland (Dnr. 623-2207-06, 623-14464-07, 623-1923-10, 623-2668-10, 623-1596-14, 623-1597-14, 623-3686-14, 623-3918-15, 623-4152-15) samt från Länsstyrelsen i Västra Götaland (Dnr. 623-11312-2010).

För samtliga telemetristudier har fisken positionsbestämts regelbundet manuellt via pejling till fots och från båt, samt via stationära mottagare (loggrar) i området kring Herting, Ätrafors, Nydala kvarn och Lia kraftverk. Antalet stationära mottagare har varierat mellan x

och y och för detaljerad information hänvisas till publikationerna i Tabell 1. Loggrarna placerades ut på strategiska platser ur ett passageperspektiv och när en radiomärkt fisk befinner inom dess räckvidd lagras fiskens identitet och tidpunkt för närvaro. Dessutom registreras signalstyrkan, vilket ger ett mått på fiskens avstånd från loggern. När informationen från flera loggrar sammanförs, erhålls fiskens geografiska position.

Leklax och kelt

Lekvandrande lax har i huvudsak fångats i fiskvägen vid Herting 2009 och i Nydala 2014. Den ändrade fångstplatsen 2014 berodde på att fångstförsöken med nät nedströms Herting misslyckats detta år. Totalt märktes 48 laxar under förstudien, varav 32 ingick i passagegruppen och 15 i kontrollgruppen. Motsvarande antal vid uppföljningen var 40 laxar, varav 30 ingick i passagegruppen och 10 i kontrollgruppen. Passagegruppen sattes ut vid ”Ut 1” och kontrollgruppen vid punkten ”Ut 4” (Figurer 2 och 3). Dessutom genomförde SLU en studie 2014 där ytterligare 27 radiomärkta laxar sattes ut vid Högvadsåns mynning (Karlsson, In prep), vilka inte ingår i innevarande studie men vars nedströmspassage av Herting inkluderats i analysen. En preliminär analys av resultaten från förstudien finns beskrivna i (Monsén, 2010) och (Calles *et al.*, 2010a), medan den slutliga analysen pågår (Nyqvist *et al.*, In prep) från vilken de viktigaste delarna presenteras här.

Laxsmolt

Smolten fångades i Wolf-fällan i isutskovet vid H1 2007 och i Wolf-fällan vid Nydala 2014. Den ändrade fångstplatsen 2014 berodde på önskan om att testa den nya nedströmspassagen med fisk utan tidigare erfarenhet av passagen. Totalt märktes 54 laxsmolt under förstudien, varav 34 ingick i passagegruppen och 20 fördelade mellan de två turbininloppen. Kontrollgrupp saknades. Motsvarande antal vid uppföljningen var 44 laxsmolt, varav 35 ingick i passagegruppen och 9 i kontrollgruppen. Passagegruppen sattes ut vid ”Ut 4” och kontrollgruppen vid punkten ”Ut 2” (Figurer 2 och 3). Laxen positionsbestämdes regelbundet manuellt via pejling till fots och från båt, samt via stationära mottagare (loggrar) i området kring Herting enligt ovan, för ytterligare detaljer se Calles *et al.* (2012c) och Heiss (2015).

Ålyngel

Förstudien på uppströmsvandrande juvenil ål genomfördes 2009 och 2010. Eftersom ombyggnationen av Herting innebar att denna ålyngelfälla nedmonterades, bestod uppföljningen i analys av fångstdata från ålyngelfällor vid Vessigebro kraftverk (Jacobson, opublicerat) och Ätrafors kraftverk (Calles *et al.*, 2012a; Christiansson *et al.*, 2014). Totalt märktes 330 ålyngel med två olika färger av VIE (Visible Implant Elastomer, Northwest Marine Technology, Inc., Washington, USA) och sattes därefter ut på två lokaler(Figur 2: ”Ut 1” & ”Ut 3”), varefter eventuella återfångster i ålyngelledaren noterades.

Blankål

Den blankål som radiomärktes under förstudien fångades i befintliga ålkistor i samarbete med respektive fällas ägare: Östra Frölunda (Lennströms), Vessigebro (Jacobssons), Nydala (Möllers) och i Skärhultaån (Anderssons). Under uppföljningen användes ål från fällorna i Vessigebro och Ätrafors (Calles *et al.*, 2013b). Totalt märktes 55 blankålar under förstudien, varav 42 ingick i passagegruppen och 13 i kontrollgruppen. Kontrollgruppen utgjordes av fem levande ålar samt ytterligare åtta döda ålar som sattes ut jämnt fördelade mellan turbinintagen vid H1 och H2 för att undersöka risken för att ålar som dödats vid turbinpassagen kan drifta ut till havet. Totalt märktes 40 blankålar per år under uppföljningen 2014-2015, varav 30 ingick i passagegruppen och 10 i kontrollgruppen. Passagegruppen sattes ut vid ”Ut 5” och kontrollgruppen vid punkten ”Ut 2” (Figurer 2 och 3). Kraftverket stängdes ner under ålutvandringen 2014 och ungefär hälften av ålarna passerade när kraftstationen inte var i drift. Eftersom resultatet därför blev bristfälligt togs beslutet att upprepa studien 2015. Resultaten från förstudien finns beskrivna i (Calles *et al.*, 2012c), medan studien 2015 pågår i skrivande stund, varför endast preliminära resultat från uppföljningen på blankål presenteras här.

Havsnejonöga

Lekvandrande havsnejonöga har fångats i ryssjor nedströms Herting. Vid förstudiens fångstförsök av havsnejonöga användes två specialdesignade nejonögeryssjor (Alpo Tervonen, Finland). Totalt märktes 31 nejonögon under förstudien, varav 20 ingick i passagegruppen och 11 i kontrollgruppen. Efter ombyggnationen minskade fångsterna drastiskt, trots ökade fångsansträngningar från fyra ryssjor 2014 till 14 ryssjor 2015. Efter att helt ha misslyckats att fånga nejonöga 2014 fångades och radiomärktes endast fyra individer 2015. Av dessa ingick tre i passagegruppen och en i kontrollgruppen. Passagegruppen sattes ut vid ”Ut 1” och kontrollgruppen vid punkten ”Ut 4” (Figurer 2 och 3). Uppföljningen grundar sig därför endast på ett fåtal radiomärkta individer i kombination med resultat från VAKI-räknaren i den nya fiskvägen vid Herting.

Vattenkemi och bottenfauna

Provtagningen av bottenfauna och vattenkemi som utfördes under förstudien har upprepats 2014. Vattenkemin undersöktes på de fem lokaler som ingick i förstudien: Vessigebro, Fjällalunda, Herting, Laxbron och vid Tullbron. På lokalerna togs pH, syre, konduktivitet, turbiditet och temperatur. Bottenfauna togs på sju lokaler den 10-12 september 2014. De ovanligt höga flödena i Halland under andra halvan av augusti ledde till en cirka 2 ½ veckas senareläggning jämfört med förstudiens provtagning. Resultaten från dessa undersökningar presenteras separat i bilaga 1.

Abiotiska data

Det totala dygnsmedelflödet vid Herting för perioden 2007-2015 har hämtats från SMHI (www.smhi.se). Flödet genom turbiner noterades manuellt 2009-2010 (intervall 1 h), samt automatiskt 2014-2015 (intervall 2 min). Vattentemperatur härrör från VAKI-räknaren i den gamla fiskvägen för 2009-2010 (intervall 3 h, Fiskevårdsteknik AB) och från Hertings kraftverk för 2014-2015 (intervall 2 min, Falkenberg Energi). Vattennivådata finns dels från Hertings kraftverk för 2014-2015 (intervall 2 min, Falkenberg Energi) och dels från tre tryckloggrar placerade vid Herting (intervall 1 h, (HOBO Water Level Logger – U20; Onset, Bourne, MA, U.S.A.). Bearbetning av detaljerad abiotisk data pågår och presenteras inte närmare här, men se Bilaga 1 för presentation av övriga abiotisk data.

Resultat och diskussion

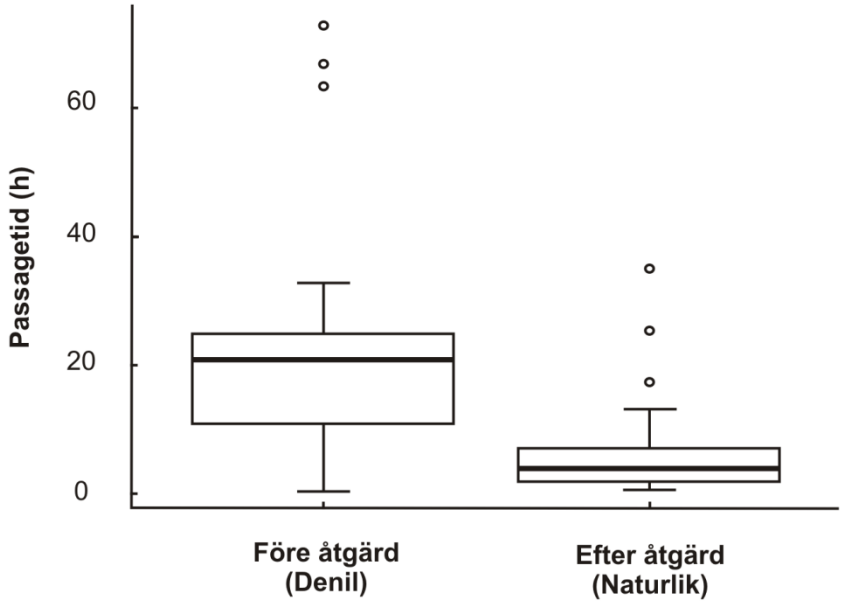
Studierna av passagemöjligheter vid Herting före och efter åtgärd visade tydligt att de nya fiskpassagerna förbättrats passageförhållandena avsevärt för samtliga fiskarter och livsstadier. En betydligt större andel av de vandrande fiskarna lyckas passera Herting både upp- och nedströms efter åtgärd och dessutom passerar de generellt sett via passagevägar med liten skaderisk, t.ex. avledarens flyktöppning istället för genom intagsgaller och turbiner. Tidsåtgången för passage har även reducerats, vilket torde innebära att fiskarnas stress och energiförbrukning minskat och därmed förbättrat förutsättningarna för lek. De passageproblem som kvarstår är främst relaterade till den övervakning som sker, vilket innebär att man måste komma tillrätta med problemen och innan det skett sänka ambitionsnivån för hur stor andel av den passerande fisken som ska registreras. Den nya fiskvägens goda funktion tycks ha lett till att fisk till märkning är svårare att fånga, vilket inneburit att fångstplatser ändrats och att färre studieobjekt fångats efter åtgärd.

Lekvandrande lax

Av de 33 radiomärkta leklaxar som sattes ut nedströms Herting 2009, passerade totalt 21 Denil-rännan, vilket motsvarar en total passageeffektivitet på 64 %. Motsvarande resultat från uppföljningen av den nya fiskvägen, var att 29 av 30 laxar passerade fiskvägen, vilket motsvarar en total passageeffektivitet på 97 %. Kraftverket var dock taget ut drift under en del av studieperioden och beaktas endast passager som inträffade när kraftverket var i drift blir siffran 25 av 26, vilket motsvarar en total passageeffektivitet på 96 %. De fiskar som inte passerade Herting och således blev kvar på sträckan nedströms kraftverket vid tidpunkten för lek var tolv individer före åtgärd (36 %) och en individ efter åtgärd (3 %). Samtliga radiomärkta laxar som sattes ut uppströms Herting lämnade området och återfanns senare vid lekområden längre upp i systemet, både före och efter åtgärd.

Av de individer som befann sig uppströms Herting före åtgärd, efter passage eller utsättning där, återvände ingen tillbaka nedströms kraftverket under pågående lekvandring. Efter åtgärd återvände nästan hälften av fiskarna (44 %) nedströms förbi dammen vid minst ett

tillfälle, men samtliga återvände sedan uppströms dammen. Andelen fiskar som uppvisade detta beteende efter åtgärd var jämförbar för kontrollgruppen (50 %) och passagegruppen (41 %). Tiden från utsättning till uppströmspassage av Herting var i genomsnitt 21 dagar (median, min-max: 0,5 - 73 dagar) före åtgärd och 26 h (median, min-max: 1,3 h - 32 d) efter åtgärd (Wilcoxon, $p < 0,001$). Motsvarande tidsåtgång från utsättning till att fisken passerat respektive fiskväg och lämnat Hertingområdet och simmat vidare uppströms, dvs. inklusive upprepade passager av dammen, var i genomsnitt 21 dagar före åtgärd och 4 dagar efter åtgärd (Wilcoxon, $p < 0,01$, Figur 5).



Figur 5. Tidsåtgång (h) från utsättning till passage av Herting för radiomärkt lekvandrande lax före åtgärd (1; Denilränna) och efter åtgärd (2; naturlik fiskväg), Ätran 2009-2010 respektive 2014-2015. Boxplotarna visar medianvärde (tjockt streck), 1:a till 3:e kvartilen (box), samt min- och maxvärden (streckade linjer) exklusive de värden som analysen betecknat som avvikande (cirklar, Eng.”outliers”).

De fiskar som inte passerade fiskvägarna spenderade från sex minuter till 85 dagar (median 56 d) med att upprepade gånger försöka passera fiskvägen, medan den enda fisk som inte passerade efter åtgärd lämnade området fem dagar efter utsättning. De radiomärkta laxar som sattes ut uppströms Herting, dvs. kontrollgrupperna, lämnade Herting efter 3 h (2 min – 10 dagar) före åtgärd och efter 2 dagar (0,5 – 13 d) efter åtgärd. Den radiomärkta laxen var således snabbare att lämna Herting före åtgärd än efter åtgärd.

Uppströmspassagen av Herting har således förbättrats betydligt för lekvandrande lax, både vad det gäller passageeffektivitet och tidsåtgång för passage. Denil-rännans funktion har tidigare betecknats som godtagbar, men den nya naturlika fiskvägen ökade passageeffektiviteten med mer än 50 % och är av grundläggande betydelse för Ätrans laxbestånd i framtiden. Denna bedömning stärks av resultaten från kontrollgrupperna, som efter en förhållandevis kort tid lämnat Herting och simmat vidare uppströms. Den

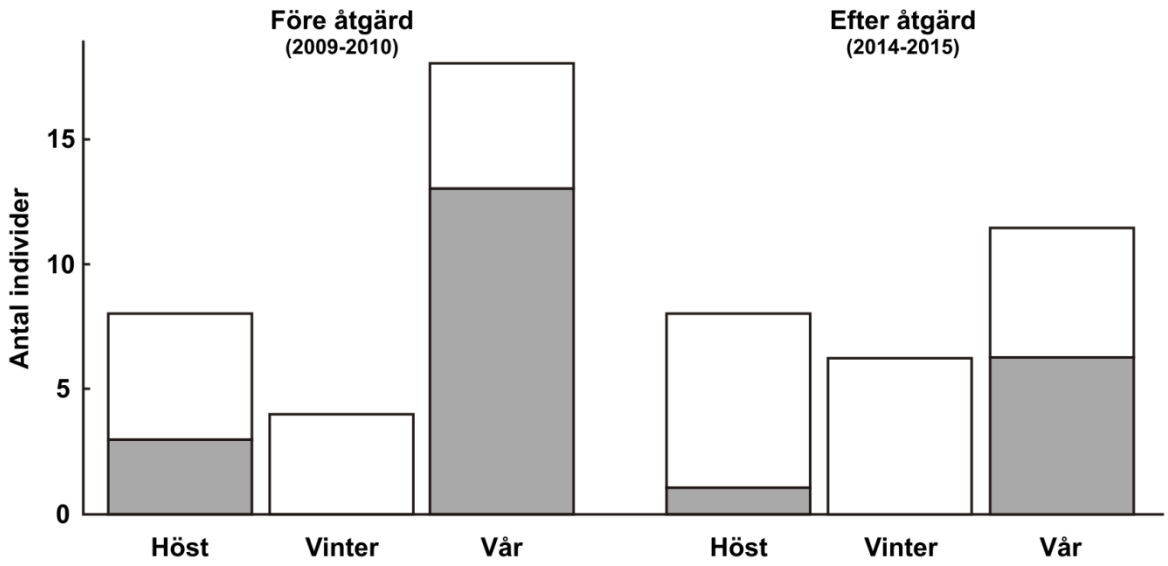
passageeffektivitet som noterats för vild Atlantlax vid Herting efter åtgärd (97 %) är exceptionellt hög i jämförelse med litteraturen där den genomsnittliga passageeffektiviteten för laxfisk i fiskvägar är drygt 60 % (Noonan *et al.*, 2012). I nyss nämnda sammanställning är 74 % den högsta totala passageeffektivitet som rapporterats för lax, men är ofta betydligt lägre än så när t.ex. där fiskvägen är placerad i en annan fåra än kraftverket (Rivinoja *et al.*, 2001; Thorstad *et al.*, 2005). Anmärkningsvärt nog saknas studier på naturlika fiskvägar och Atlantlax helt i litteraturen. Motsvarande information för öring är 13-86 % för naturlika fiskvägar (Aarestrup *et al.*, 2003; Calles & Greenberg, 2005; Calles & Greenberg, 2009) och 57 % för den enda studie som studerat öringpassage av en slitsränna (Laine *et al.*, 2002). Resultaten från Herting stödjer tidigare resultat som visar att Denil-fiskvägar generellt sett har lägre effektivitet än naturlika fiskvägar och bassängtrappor (Noonan et al., 2012).

Dessutom var skillnaden i tidsåtgång mellan passage- och kontrollgruppen från utsättning till att fisken lämnat Herting stor före åtgärd, men ytterst begränsad efter åtgärd. En stor del av fördröjningen efter åtgärd kan sannolikt tillskrivas effekter av hantering och märkning i enlighet med tidigare studier (Gerlier & Roche, 1998; Jokikokko, 2002). Motsvarande siffror på passageeffektivitet för laxfisk har beskrivits både från andra kraftverksdammar och naturliga vandringshinder (Gowans *et al.*, 2003; Karppinen *et al.*, 2002).

Att en betydande andel av fiskarna som just passerat den nya fiskvägen återvänder nedströms kraftverket igen, beror sannolikt på att fisken efter åtgärd enkelt kan passera den nya naturlika fiskvägen, både upp- och nedströms, medan en nedströmspassage tidigare var mycket besvärlig. Det skulle dock även kunna vara en indikation på att fisken av någon anledning var i sämre skick vid uppföljningen, vilket skulle kunna bero på att man fångat dem längre upp i systemet (Nydala) efter åtgärd. Dessa individer har således redan passerat Hertings fiskväg en gång, simmat vidare uppströms cirka 25 km och dessutom vandrat in i fällan vid Nydala. Det kan även bero på att fisken av någon annan anledning generellt sett var i sämre skick 2014 än 2009, men vår studie gör det inte möjligt att dra några säkra slutsatser.

Utlekt lax

Den utlekta laxen (kelt) vandrade mot havet under hösten direkt efter lek, under vintern och efterkommande vår. Nedströmspassagen av kelt pågick november-maj före åtgärd och november-april efter åtgärd. Laxhanarna vandrar i lika stor utsträckning nedströms under höst-vinter-vår, medan endast några honor vandrar nedströms under hösten, inga under vintern och merparten under våren, vilket observerats även i andra studier (Nyqvist *et al.*, 2015). Det fanns inga skillnader i tidpunkt för nedströmsvandring före och efter åtgärd, varken för honor eller för hanar (Figur 6). Det fångades 948 laxkelt i flyktöppningen våren 2015 att jämföra med 99 respektive 335 laxkelt i isutskovet vårarna 2007 respektive 2010 (Calles *et al.*, 2012c).



Figur 6. Tidpunkt för nedströmsvandring av utlekt lax (kelt) för honor (grå) och hanar (vit), före respektive efter åtgärd vid Hertings kraftverk i Ätran.

Passageöverlevnaden var lägre före åtgärd än efter åtgärd. Totalt anlände 30 kelt till Herting före åtgärd, varav 24 nådde havet (80 % överlevnad). För de individer för vilka en passageväg kunde fastställas vandrade lika många via isutskovet som via spilluckorna (12 individer respektive väg). Alla utom en individ lyckades passera kraftverket, men fem stycken dog och var kvar nedströms kraftverket. Efter åtgärd nådde 23 kelt Herting, varav en stannade i fiskvägen och 22 nådde havet (96 % överlevnad). Av de kelt som passerade Herting efter åtgärd vandrade 14 via den nya avledaren och flyktöppningen (64 %) och resterande åtta individer vandrade via den nya fiskvägen (36 %).

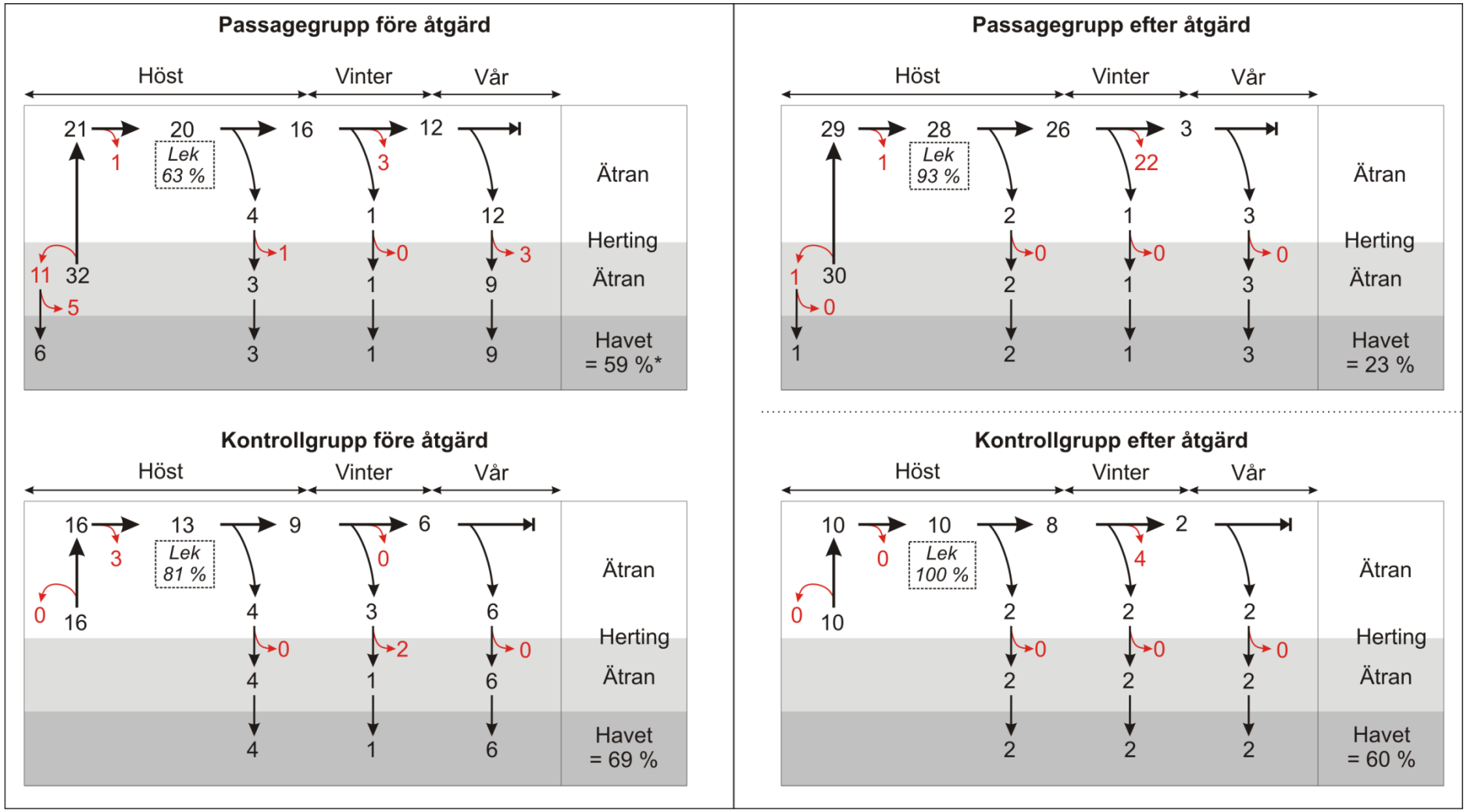
Tidsåtgången för nedströmspassagen var betydligt längre före åtgärd än efter åtgärd (Wilcoxon, $p < 0{,}01$). Medianvärdet för passage före åtgärd var 4 h (2 min – 44 d) och efter åtgärd 36 min (7 min – 7 d). Före åtgärd besökte laxen dammområdet 1-75 gånger innan passage och motsvarande siffra efter åtgärd var 1-9 besök, men medianvärdet var ett besök både före och efter åtgärd. I denna jämförelse har två fiskar som övervintrat vid Herting exkluderats, en individ före (137 d) respektive en individ efter åtgärd (141 d). Fiskar som passerade via isutskovet/avledaren blev fördröjda mer än de fiskar som passerade spilluckorna/fiskvägen.

Skillnaden i passageeffektivitet kan tyckas vara mindre än förväntat, men studien före åtgärd var förknippad med höga spillflöden under vandringsperioden (Bilaga 1, Figur 2), vilket gav kelten goda möjligheter till passage. Vid en tidigare studie vid Herting överlevade endast 33 % av kelten när inget spillflöde förekom (Calles *et al.*, 2012c) och det finns exempel från vattendrag med många kraftverk där ingen kelt överlever nedströmspassagen (Nyqvist *et al.*, 2015). Dessutom dog ett antal kelt före åtgärd trots att de lyckades passera kraftverket,

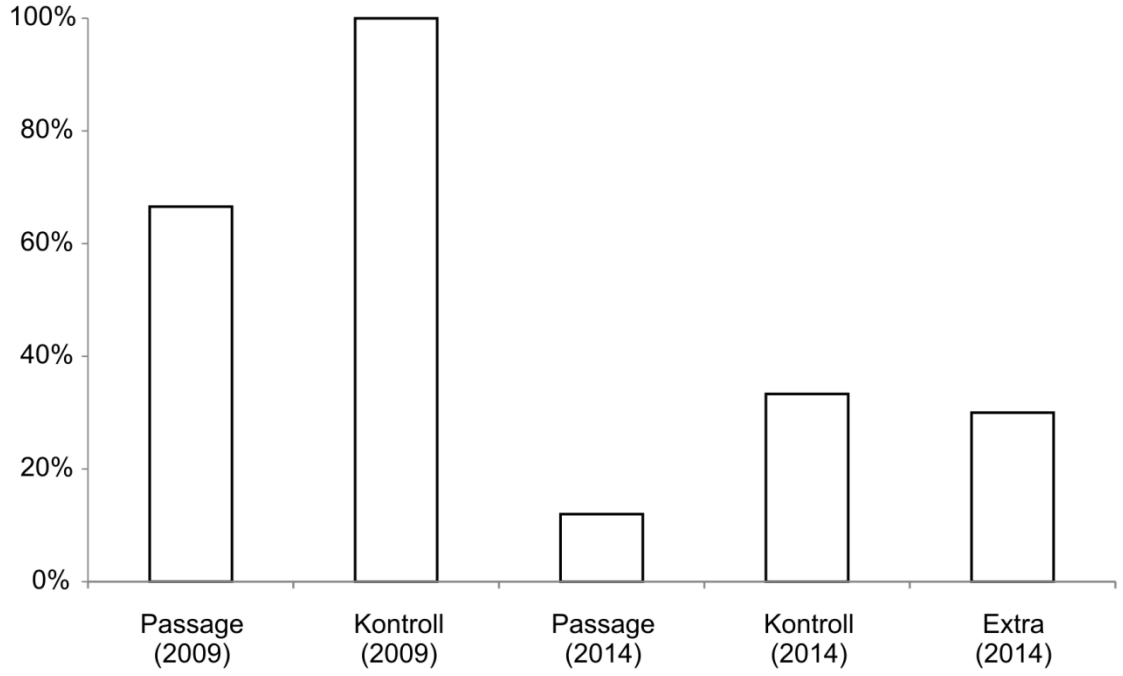
vilket tydligt visar att det är av yttersta vikt att även följa fisken efter passage. De nya passagerna resulterade inte bara i högre passageeffektivitet, utan har även reducerat tiden för nedströmspassage. Kelt är generellt i dålig kondition efter lek och övervintring, vilket innebär att en snabb och skadefri nedströmspassage i många fall är helt avgörande för att de ska kunna nå havet och återhämta sig.

Av de laxar som radiomärkts och satts ut överlevde fler lekvandring, lek och vinter före åtgärd (63 %) än efter åtgärd (33 %, Figur 7). Skillnaden bestod främst i att vinteröverlevnaden var betydligt högre före åtgärd (73 %) än efter åtgärd (22 %; Figur 8). Allra lägst var vinteröverlevnaden för passagegruppen efter åtgärd (12 %, N = 25) och högst för kontrollgruppen före åtgärd (100 %, N = 6; Figur 7). Det var dock ingen skillnad i konditionsfaktor vid märkning för lekfisk före och efter åtgärd (Wilcoxon, p = 0,2).

Jämför man den totala överlevnaden för passage- och kontrollgrupper före och efter åtgärd, var överlevnaden trots de framgångsrika åtgärderna totalt sett högre före än efter åtgärd (Figurer 7 & 8). Det är dock viktigt att poängtera att en betydligt större andel av de lekfiskar som vandrade upp efter åtgärd (93 %) nådde lekplatserna uppströms Herting, än före åtgärd (63 %). Det går inte att fastställa orsaken till den höga vinterdödligheten efter åtgärd, men en möjlig förklaring kan vara en ökad konkurrens om lekområdena till följd av högre tätheter av lekfisk (i likhet med situationen nedströms Herting före åtgärd). Transporten från Nydala, samt den extra tillryggalagda vandringen uppströms, efter åtgärd kan ha försämrat fiskens kondition, samtidigt som de svagaste fiskarna inte lyckades passera Herting före åtgärd. Det kan också bero på en rad andra faktorer som skilde åren åt, t.ex. flöde, vattentemperatur eller ett ökat fisketryck. Om man studerar årsmedeltemperaturen för perioden 1990-2014, visar det sig att de två studieåren faller ut som det kallaste (2010) respektive det varmaste (2014) för hela perioden (Stibe, 2015). Skillnaden var alltså markant mellan de två studierna, vilket illustreras av dygnsmedeltemperaturen 1 september till 30 april som 2009-2010 var dubbelt så hög (3,2 ± 0,4 °C) som motsvarande period 2014-2015 (6,2 ± 0,3 °C)(SMHI 2015: station ”Eftra-Broen V” strax utanför Falkenberg). Se även Bilaga 1, Figur 3. De specifika vinterförhållandena har en stor effekt på överlevnaden hos laxfisk (Huusko *et al.*, 2007) och det är troligt att en högre vattentemperatur under vintern har negativ påverkan på överlevnaden (Halttunen, 2011a; Östergren & Rivinoja, 2008). Vi kan således inte säkert säga vad skillnaden i vinteröverlevnad berodde på, men sannolikt är förklaringen en kombination av en naturlig mellanårsvariation och de skilda fångstplatserna. Det är viktigt att vara medveten om att keltöverlevnaden var betydligt lägre under perioden 1945-2006, innan isutskovet vid H1 försågs med en fälla som tillät nedströmspassage.



Figur 7. Passageframgång och överlevnad för passage- och kontrollgrupper vid Hertings kraftverk före (2009-2010) och efter åtgärd (2014-2015).

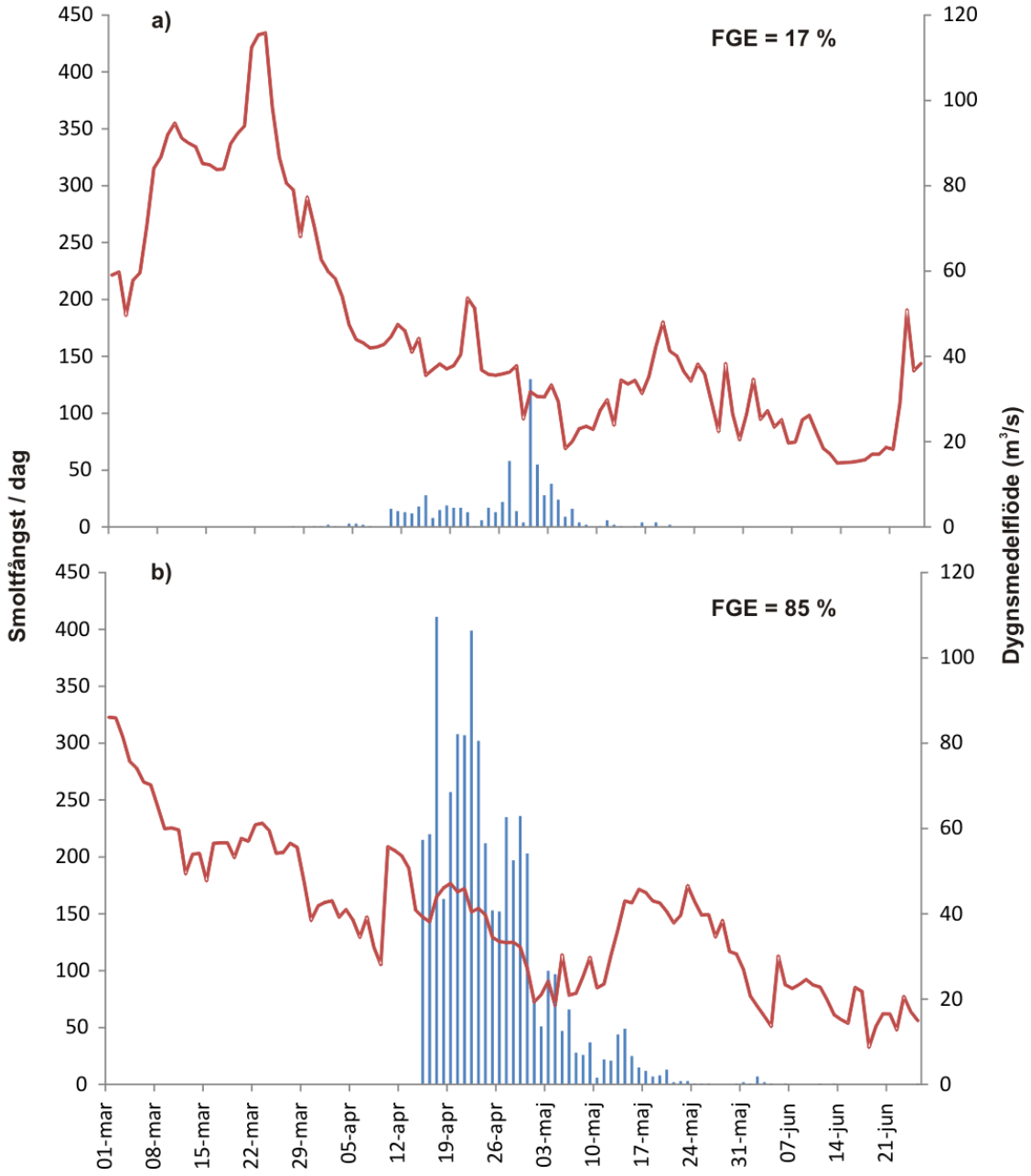


Figur 8. Vinteröverlevnaden för radiomärkta leklaxen i Ätran före och efter åtgärd vid Hertings kraftverk.

Laxsmolt

Smoltstudierna finns sedan tidigare publicerade i Calles *et al.* (2012c) och Heiss (2015) och presenteras därför endast kortfattat här. Totalt fångades 668 laxsmolt i isutskovet 2007 (1/3 – 7/6), medan motsvarande fångst i avledaren 2014 var 4746 laxsmolt (15/4 – 13/6; Figur 9). Motsvarande totalfångst våren 2015 var 8459 laxsmolt under perioden 1 mars – 25 juni. Beräknas fångst per tidsenhet (CPUE, Catch Per Unit Effort), blir fångstsiffrorna 7 smolt/dag före åtgärd respektive 66-72 smolt/dag efter åtgärd, åskådliggörs tydligt hur mycket effektivare det nya snedställda gallret och flyktöppningen avleder smolt efter åtgärd jämfört med grovgallret och isutskovet före åtgärd. Slutsatsen är att laxsmolten huvudsakligen passerade genom galler och turbiner före åtgärd, medan de flesta kunde undvika denna potentiellt skadefyllda passageväg efter åtgärd.

Kontrollfällan vid den nya avledaren och flyktöppningen sattes inte i drift förrän 15 april 2014, medan fällan i isutskovet var i drift redan 1 mars 2007. Jämför fångsternas fördelning i tid, ser man dock att endast 10 % av laxsmolten hade passerat Herting innan 15 april 2007 och sannolikt så täckte studieperioden in större delen av smoltvandringsperioden 2014. Ytterligare en jämförelse kan göras med smoltfällan i Nydala kvarn (Högvadsån) där man hade fångat 55 % av det totala antalet laxsmolt innan 15 april (2014), som dock merparten av smolten anländer till tidigare eftersom Nydala är beläget cirka 30 km uppströms Herting.



Figur 9. Antal laxsmolt fångade per dygn i a) isutskovet 2007 respektive b) flyktöppningens kontrollstation 2014 med dygnsmedelflöde för perioden 1 mars – 25 juni.

Före åtgärd passerade merparten av smolten genom någon av turbinerna vid H1 och H2 (69 %) och endast 10 % genom isutskovet och 21 % i någon annan spillucka (Calles *et al.*, 2012c). Efter åtgärd passerade alla laxsmolt utom en av de 35 försöksfiskarna Herting, varav 15 individer (44 %) passerade via fiskvägen och 19 individer (56 %) via intagskanalen. Av de individer som vandrade mot avledaren fångades 17 av 20 i flyktöppningen/förbipassagen, vilket ger en ”Fish Guidance Efficiency” (FGE) på 85 % att jämföra med 17 % under förstudien. Den totala passagenöverlevnaden för laxsmolt före åtgärd var 90 %, att jämföra med 89-98 % (31-34 av 35) efter åtgärd. Av de fyra smolten som inte passerade Herting och

fortsatte mot havet dog två på kontrollstationens spjälgolv, en återfanns i området uppströms vid studiens slut (misstänkt predation) och den fjärde individen simmade ner i fiskvägen och stod kvar vid studiens slut (vid liv). Således är definitionen av en ”lyckad passage” svårbedömd såväl före som efter åtgärd. Av de 9 individer som ingick i kontrollgruppen simmade alla (100 %) vidare och förbi loggerstationen vid Vallarna mot havet. Se Heiss (2015) i Bilaga 2 för detaljer.

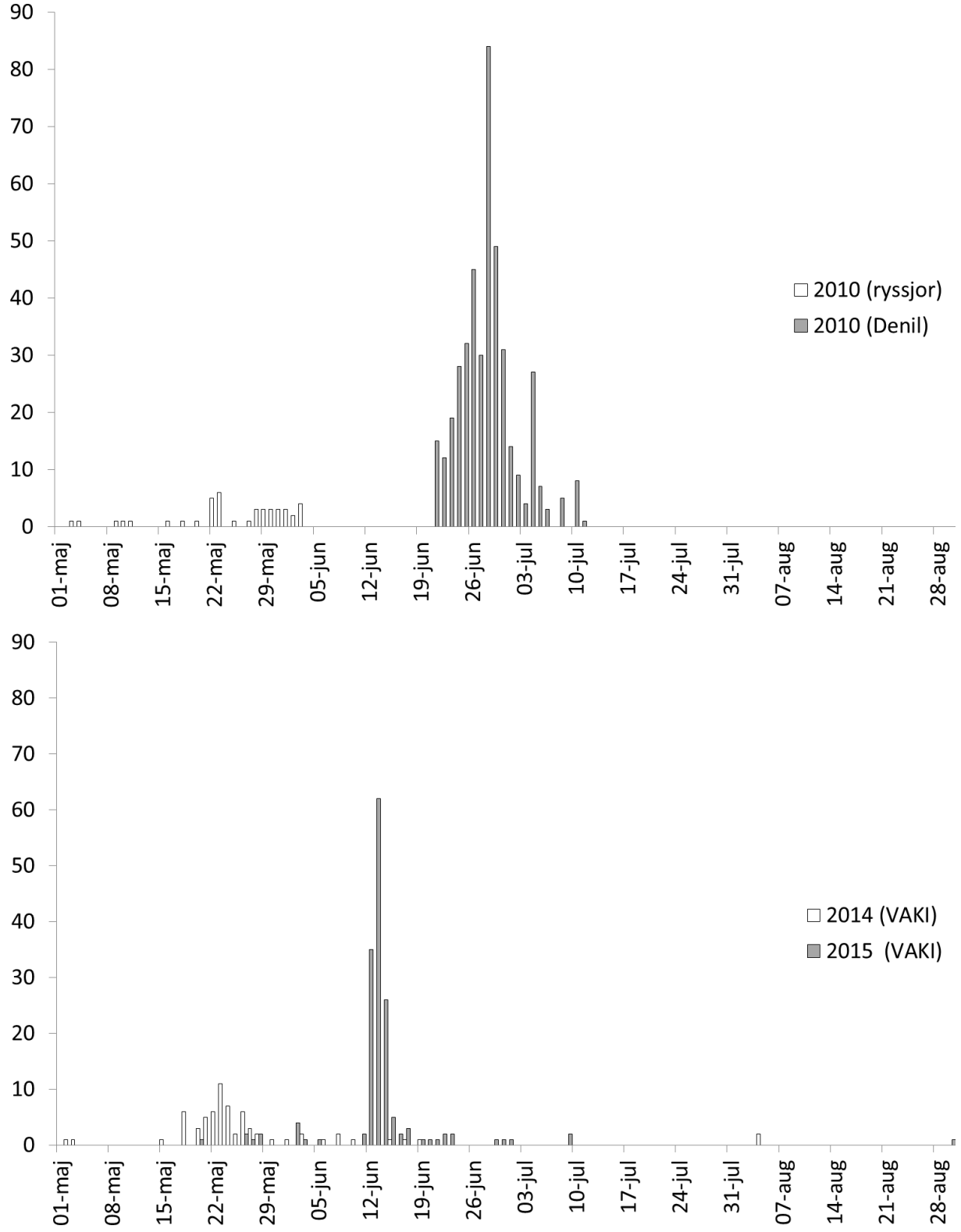
Tidsåtgången för passage var liknande före åtgärd (median 14,4 h, 0,2–144,2 h) och efter åtgärd (median 9,8 h, 0,2 – 171,3 h). Den mest tidskrävande passagen var via isutskovet före åtgärd och via flyktöppningen efter åtgärd, men den individuella skillnaden var stor och det fanns ingen statistiskt signifikant skillnad mellan de olika passagevägarna (Mann-Whitney U-test, $p >> 0,05$).

Motsvarande överlevnad före åtgärd var 90 %, men då passerade 69 % av smolten genom kraftverkens turbiner (Calles *et al.*, 2012c), vilket gör att den långsiktiga överlevnaden var okänd. Så även om den kända överlevnaden inte skiljde sig åt före och efter åtgärd, talar passagevägen för att den långsiktiga smoltöverlevnaden är betydligt högre efter åtgärd (Calles & Greenberg, 2009; Ferguson *et al.*, 2006; Norrgård *et al.*, 2013).

Havsnejonöga

Vid förstudiens fångstförsök fångades 42 havsnejonögon i de två ryssjorna (13 april – 15 juni 2010) samt ytterligare 423 individer i Denil-rännans nedre del (Figur 10). Fångstförsöken efter åtgärd resulterade endast i tre havsnejonögon i fyra ryssjor 2014 (11 maj – 30 juni) och fyra havsnejonögon i 14 ryssjor 2015 (22 april till 10 juli). I VAKI-räknaren i den nya fiskvägens längst uppströms belägna del registrerades totalt 67 individer 2014 och 160 individer 2015 (Figur 10).

Av de 20 radiomärkta havsnejonögonen som sattes ut vid Laxbron 2010 besökte de flesta Denil-trappans ingång (60 %) (Andersson *et al.*, 2010). Det var vanligast med två besök (30 %), följt av ett (20 %) respektive tre besök (10 %). De resterande individerna registrerades aldrig i närheten av Denil-trappan (40 %). Loggerdatan visade att de radiomärkta individerna simmade mellan H1 och H2 och att vissa gjorde denna förflyttning ett stort antal gånger. Vissa individer som stod vid utloppet från H2, simmade över till Denil-trappans ingång kring 21:00 på kvällen, vilket stämmer väl överens med tidpunkten för arbetet med manuell fångst och flytt av havsnejonögon där. Totalt passerade två individer kraftverksdammen via Denil-rännan, dessa två individer kom upp vid första respektive andra försöket. Ytterligare en individ blev upplyft av misstag vid de manuella upptransporter av lekvandrande havsnejonögon som genomförts under våren 2010 (K. Lindkvist, pers. komm.) Sannolikt passerade de två individerna genom trappan i anslutning till dess öppnande (morgon) eller stängande (kväll), eller genom att de lyftes upp utan att radiomärkningen observerades, eftersom inga havsnejonögon observerats i trappans övre del. Det mesta talar således för att Denil-rännan utgjort ett definitivt vandringshinder för havsnejonögon vid normal drift.



Figur 10. Antalet havsnejonögon registrerade vid Herting a) fångst i ryssjor respektive fångst i Denil-rännan före åtgärd (2010), samt b) registrerade i VAKI-räknaren efter åtgärd (2014-2015, Data från Fiskevårdsteknik AB). Totala antalet registrerade individer var 465 individer 2010, 67 individer 2014 och 160 individer 2015.

Samtliga radiomärkta havsnejonögon som sattes ut i kraftverksdammen ovanför Hertings kraftverksstation (N=11) vandrade med hög hastighet cirka 10 km upp till Fors uppströms Vessigebro. Fors är det första forsande svårpasserade partiet efter Hertings kraftstation och består av en lång forsande sträcka. De flesta individerna stannade till vid Fors (73 %) och endast ett fåtal simmade snabbt förbi (27 %). Vidare såg vi att cirka 1/3 av de radiomärkta havsnejonögonen vandrade upp i biflödet Högvadsån, medan resterande 2/3 stannade för lek i Ätran.

Samtliga tre märkta passageindividerna 2015 hittade in i fiskvägen på första eller andra försöket. Samtliga individer tillbringade en lång period i fiskvägen, innan två av dem passerade vidare uppströms efter 15 respektive 17 dagar. Den tredje individen passerade aldrig Herting, utan simmade nedströms mot havet efter att ha tillbringat 34 dagar i fiskvägen. Passageeffektiviteten grundat på dessa tre individer blir således 67 %, men eftersom den nya fiskvägen innehåller omfattande arealer potentiellt lekområde kan individen mycket väl ha lekt innan den gav sig av till havet. Av de två individer som passerade Herting, återvände en av dem mot havet 56 dagar senare medan den andra påträffades cirka 400 m nerströms Högvadsåns mynning i slutet av juni. Kontrollindividen simmade upp till Vessigebro och pejlades in en sista gång i området i början av juli.

Även om underlaget är bristfälligt, ser man en tydlig förbättring av passagemöjligheterna för havsnejonöga efter åtgärd. Antalet havsnejonögon som registrerats i fiskräknaren 2014-2015 är lågt i förhållande till det totalantal som fångades 2010, men det är ännu inte känt hur stor andel av havsnejonögonen som passerar videotunneln i VAKI-räknaren respektive hur stor andel som istället passerar över dammarna eller genom gallret på räknarens sidor.

Havsnejonögon fångades utan större ansträngning före åtgärd, men efter åtgärd uteblev fångsterna trots en markant ökning av fångstansträngning. En förklaring kan vara att havsnejonögonen ansamlades nedströms Herting före åtgärd, eftersom det senare visade sig att de inte kunde ta sig förbi via Denilrännan. En annan möjlig förklaring är att 2010 kan ha varit ett år med en stor uppvandring av nejonögon, medan 2014-2015 var år med en begränsad total uppvandring av nejonögon. Denna teori stärks av det faktum att man 2010 fångade 42 havsnejonöga i ryssjorna och 423 i den gamla Denil-trappan, medan ryssjefångsterna 2014-2015 uppgick till sju individer och endast 67 (2014) respektive 160 (2015) havsnejonögon observerades i den nya VAKI-räknaren längst upp i den nya fiskvägen. Det kan dock fortfarande vara så att havsnejonögonen normalt vandrar upp tidigare än man fångade dem i ryssjorna 2007 och att de numer kan passera Herting snabbt och därmed är svårare att fånga på området nedströms. Dessutom är området nedströms Herting kraftigt fysiskt förändrat, vilket borde påverka fiskens rörelsemönster och därmed den mest optimala placeringen av fångstredskapen. Havsnejonögon fångades även i kontrollstationen för nerströmsvandrande fisk (flyktöppningen). Av dessa visade merparten tecken på

lekskador i form av skador på huvud och analfena och en generellt nedsatt kondition. Havsnejonögonen är dock semelpara, vilket innebär att de dör efter lek (Lasne *et al.*, 2015).

Blankål

Förstudien av blankålens nedströmspassage av Herting var en del av utvärderingen av en blankålsstudie vid Ätrafors kraftverk i samarbete med E.ON och Bra miljöval (Naturskyddsföreningen) och finns redovisade i Calles *et al.* (2012c) och Calles *et al.* (2010b). Under studien före åtgärd passerade samtliga radiomärkta ålar genom någon av kraftverkens turbiner och ingen passerade genom isutskovet (FGE = 0 %). Vissa av dessa individer stannade därefter kvar nedströms kraftverken under en längre tid och inga rörelser noterades och klassificerades då som döda. Den totala passageeffektiviteten före åtgärd var 71 % (27 av 38), att jämföra med att 100 % av kontrollålarna nådde havet.

Sammantaget för båda åren efter åtgärd simmade 95 % av de individer som ingick i kontrollgruppen förbi loggerstationen vid Vallarna mot havet. Samtliga nådde havet 2015, medan en individ stod kvar mellan Herting och havet vid studiens slut 2014. Den totala passageframgången för individerna i passagegruppen var exakt densamma båda åren, nämligen 97 %. De märkta ålarna i passagegruppen simmade de drygt 20 km från utsättningsplatsen vid Ätrafors till Herting på en mediantid av två dygn före åtgärd (4 h - 34 d) och sju dygn efter åtgärd (7h – 36 d).

Av de ålar som passerade när kraftverket var i drift (N = 46) passerade 61 % via avledaren och flyktöppningen och resterande 39 % via fiskvägen. Andelen ålar som gick ut via avledaren var snarlik mellan år, 12 av 17 ålar år 2014 (71 %) respektive 16 av 29 ålar år 2015 (55 %). Av de resterande 13 individerna som ännu inte passerat när kraftverket stängdes ner hösten 2014, vandrade 12 ut under den tid allt vatten tappades i fiskvägen. En individ per år misslyckades med att passera och stod kvar vid studiens slut i slutet av november 2014 respektive 2015 (två av 60 = 3 %), vilket dock är jämförbart med att 5 % av kontrollålarna inte lämnade ån. Totalt besökte 22 av 29 individer avledarens närområde, varav 16 slutligen passerade den vägen (FGE = 73 %). Ett FGE som inte är nära 100 % är dock av mindre betydelse eftersom i princip samtliga ålar lyckades passera Herting utan att någon individ dödats. Eftersom bortfallet vid passage av Herting var detsamma för kontroll- och passagegrupperna 2014-2015, kan passageeffektiviteten för blankål vid Herting anses vara 100 %. Resultaten är preliminära, men indikerar att den nya nedströmspassagen vid Herting är den första dokumenterade åtgärden för blankål som i princip inte ger någon förlust alls, vilket i sådana fall är unikt (Calles *et al.*, 2013a; Calles *et al.*, 2013b).

Passageeffektiviteten är en viktig del av funktionen för en fiskpassage, men även tidsåtgången för att lyckas med passagen är av stor betydelse. Tidsåtgången för passage av Herting före åtgärd var låg och medianvärdet var 9,5 min från ankomst till passage (1 min–32 d), medan motsvarande tidsåtgången för passage var 62 min efter åtgärd (5 min – 49 d). Besök vid avledaren som resulterade i passage 2015 var i regel hälften så långa (20 min),

som de som resulterade i att ålen avbröt passageförsöket och återvände uppströms (40 min). Medianålen efter åtgärd (2015) passerade redan på första försöket (1-15 försök), medan motsvarande information saknas från studien före åtgärd. Sammantaget var antalet loggrar betydligt färre under förstudien (2007), vilket gör att tidsåtgången för passage och antalet försök inte är direkt jämförbara mellan studierna före respektive efter åtgärd.

De nya åtgärderna innebär en stor skillnad för ålen som nu passerar med hög total effektivitet och dessutom uteslutande via vägar förknippade med låg skaderisk, dvs. flyktöppning och fiskväg. Före åtgärd passerade samtliga genom intagsgaller och turbiner, vilket resulterade i en direkt dödlighet på cirka 30 % och en okänd fördröjd dödlighet till följd av skador (Calles *et al.*, 2012c).

Ålyngel

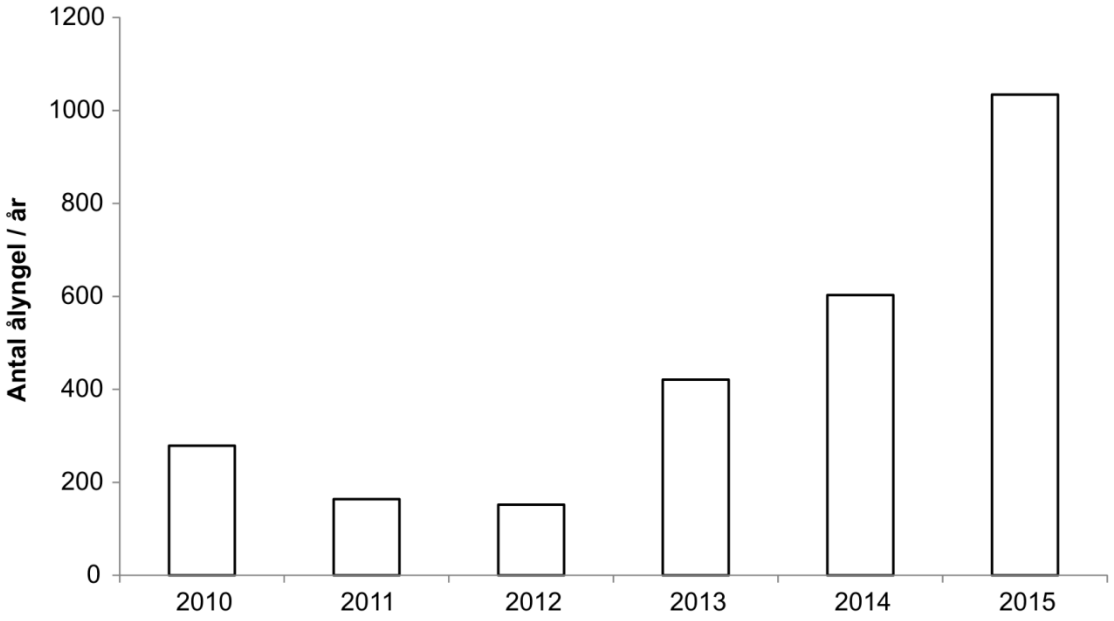
Förstudien 2009-2010 visade på skillnader i återfångst i ålyngelavledaren mellan märkta ålyngel som släpptes ut vid Laxbron (270 m simsträcka, återfångst cirka 10 %) och de som sattes ut vid Lagunen (120 m simsträcka, återfångst cirka 50 %) (Calles *et al.*, 2010a). Tiden från utsättning till återfångst var 2-10 dagar för de individer som sattes ut vid Laxbron och 2-7 dagar för de som sattes ut i lagunen. Resultaten gav en fingervisning om att andelen ålyngel som hittade till ålyngelledaren var förhållandevis låg, eftersom en mycket lägre andel av ålynglen hittar fram om de först tvingas välja mellan kraftstationerna (Laxbron), än om de sätts uppströms sammanflödet (Lagunen). Eftersom ålynglens passageeffektivitet inte gick att studera efter åtgärd, granskades fångster av ålyngel i fällor uppströms Herting, före och efter åtgärd.

Totalt fångades 3736 ålyngel i ålyngeluppsamlare nummer 4 vid Ätrafors kraftstation 1 juli – 12 augusti 2014, vilket var i storleksordningen 100 gånger högre än motsvarande fångst i samma uppsamlare 2010-2011 (Tabell 2). Den ökade fångsten beror sannolikt på förbättrade passageförhållanden vid Herting, men även det intensifierade arbetet med ålyngel vid Ätrafors 2014 och ett generellt bra ålyngelår kan ha bidragit till de ökade fångsterna. Trots denna markanta ökning kan vi således inte ge ett definitivt svar på huruvida de förbättrade passagemöjligheterna vid Hertings kraftstation medfört att fler ålyngel passerar kraftverket där.

Tabell 2. Årlig totalfångst, fångsttid samt catch per unit effort (CPUE) för ålyngeluppsamlare nummer 4 vid Ätrafors kraftstation. Data för 2010-2011 från Calles *et al.* (2012a) och 2014 från (Christiansson *et al.*, 2014).

År	Fångst	Antal dagar	CPUE
2010	17	60	0,3
2011	76	78	1,0
2014	3736	38	98,3

En ökning av antalet ålyngel uppströms Herting stärks av observationerna vid Vessige kraftverk i Lilla å, där man noterat en kraftig uppgång av antal fångade ålyngel efter åtgärd med mer än tre gånger fler ålyngel 2013-2015 än 2010-2012 (Figur 11). Med tanke på att ålynglen kan ta lång tid på sig under sin uppströmsvandring, kan det dessutom ta tid innan en eventuell uppgång av ålyngel förbi Herting når Vessigebro och Ätrafors i full omfattning. Den uppåtgående trend som illustreras av fångstresultaten från Vessige kraftverk kan alltså fortsätta stiga.



Figur 11. Antal fångade ålyngel vid Vessige kraftverk i Lilla å (Vessigebro) under perioden 2010-2015. Data från Jan-Åke och Henrik Jacobsson 2015.

Summerande diskussion och slutsatser

Före åtgärd hade samtliga studerade arter och livsstadier problem med att passera Herting, vilket var speciellt allvarligt eftersom kraftverkets lokalisering gör att i stort sett alla havsvandrande fiskar måste passera på väg mellan reproduktions- och tillväxtområden. De passagevägar som fanns tillgängliga var en Denil-ränna och spillutskov, vilket sällan ger en god funktion och i dagsläget generellt bedöms som otillräckliga passageåtgärder (Calles *et al.*, 2013a; Noonan *et al.*, 2012). Herting var passerbart för de flesta laxsmolt, lekfiskar och kelt, men passagerna var tidskrävande och föregicks av ett omfattande sökbeteende. Omfattande spill under uppvandringsperioden för lax innebar ofta att stora mängder leklax lockades in till spilluckorna utan att kunna passera och en stor andel stängdes in i höljorna nedströms dammen när spillmängden minskade. Dessutom var de långsiktiga effekterna av passagen okänd, med risken att passerbarheten som observerades före åtgärd var missvisande. Ett exempel var att merparten av laxsmolten passerade genom kraftverkets turbiner vid nedströmspassage och den långsiktiga effekten av detta var okänd.

För havsnejonöga utgjorde Herting ett definitivt vandringshinder och populationen har sannolikt endast bevarats till följd av att man under många år fångat och manuellt lyft upp dem förbi kraftverket. Ålyngel har sannolikt inte lyckats passera Herting innan Denil-rännan kompletterades med en ålyngelledare 2006 och efter det lyckades ändå sannolikt bara kring 10 % av ynglen passera. Slutligen var passerbarheten för blankål, precis som för smolt, helt beroende av turbinpassage. Trots att turbindödligheten vid just Herting inte var total, nådde sannolikt ytterst få ålar havet eftersom de måste passera många kraftverk mellan uppväxtområdena och havet.

Åtgärdsprogrammet man beslutade att genomföra är ett av de mest ambitiösa i Europa, vilket är väl motiverat med tanke på att Ätran hyser flera av de viktigaste populationerna av diadroma fiskarter i västra Sverige. Såväl den nya naturlika fiskvägen som den nya avledaren och flyktöppningen följer samtliga aspekter som beskrivs som ”bästa möjliga teknik” i Havs- och vattenmyndigheten rapport (Calles *et al.*, 2013a). Resultaten visar genomgående på förbättrade passageförhållanden för samtliga arter och livsstadier, både avseende uppströms- och nedströmspassage. Även om provstorlekarna i vissa fall varit begränsade är resultaten entydiga och visar på en markant förbättring.

Den totala passageeffektiviteten var hög och tidsåtgången för passage låg för lekvandrande lax, kelt och smolt. Det finns i dag inga publicerade resultat på åtgärder med liknande resultat för Atlantlax. Dessutom var ökningen av andelen laxar som nådde lekområdena uppströms Herting betydande, vilket talar för att smoltproduktionen kommer att öka och därmed på sikt stärka Ätrans laxpopulation. Vi kan inte säkert säga vad den låga vinteröverlevnaden efter åtgärd beror på, men sannolikt förklarades detta delvis av den extremt milda vintern (Halttunen, 2011b; Östergren & Rivinoja, 2008) i kombination med att studiefisken redan vandrat betydande sträckor i Ätran. De problem som fortfarande återstår att lösa är främst kopplade till avledarens kontrollstation, som fortfarande kan orsaka skada på fisk, i synnerhet vid högflöden när stora mängder fisk och drivgods samtidigt når avvattningsgaller och sump. Tills man löst problemet rekommenderar vi att man enbart ska ta stickprov på utvandrande fisk, för att inte riskera att skada en stor andel av den fisk som passerar. Dessbättre passerar i grova drag hälften av laxen genom den naturlika fiskvägen, vilket innebär att en eventuell negativ effekt av passage genom kontrollstationen inte påverkar all passerande fisk. Om Havs- och vattenmyndighetens förslag att göra Ätran till en indexälv beviljas (Berglund, 2015), kommer Ätranlaxens status kommer sannolikt höjas och resurser till övervakning och åtgärder tillgängliggöras till gagn för alla vandrande fiskarter.

Havsnejonögat kan passera Herting efter åtgärd, vilket inte var fallet före åtgärd. Det är dock oklart exakt hur effektiv den nya fiskvägen är för denna art, men det mesta tyder på en god funktion. Vi tror att de låga fångsterna av havsnejonöga efter åtgärd delvis beror på två år med låg uppvandring. Ytterligare en möjlig förklaring är att fångstbarheten försämrats eftersom fisken efter åtgärd passerar istället för att som före åtgärd ansamlas nedströms

kraftverket. Det är dock mycket angeläget att populationen övervakas och att man förbättrar kunskapen om juvenila nejonögon (linål) i ån och nedströmsvandringen mot havet (Johnson & Miehls, 2014). Dessutom behöver åtgärder implementeras för att havsnejonögat i framtiden även ska kunna passera Nydala kvarn i Högvadsån.

Fångsterna uppströms Herting tyder på att betydligt fler ålyngel kan passera Herting efter åtgärd. Detta stöds både av resultaten från förstudien och av vetskapen om att ålyngel kan passera naturliga forsar, men ofta har problem med tekniska fiskvägar som Denil-rännor (Porcher, 2002). Även om ålyngelpassage ofta återskapas med specialdesignade ålramper, är en naturlik att föredra eftersom den designas för att återskapa fria vandringsvägar för alla naturligt förekommande arter och livsstadier (Calles *et al.*, 2012b; Eberstaller *et al.*, 1998). Överlevnaden för blankål i Ätran har varit låg sedan uppförandet av vattenkraftverk, eftersom den huvudsakliga ålproduktionen skett i stora sjöar högt upp i avrinningsområdet och ålen därmed tvingats passera ett stort antal kraftverk för att nå havet (Calles *et al.*, 2012a; Calles *et al.*, 2013b; Calles *et al.*, 2010b). Passageeffektiviteten för blankål vid Herting var dock mycket hög efter åtgärd och dessutom var tiden för passage låg (både 2014 och 2015). I kombination med goda passageförhållanden vid kraftverken i Ätrafors (Calles *et al.*, 2013b), Vessige kraftverk (Calles *et al.*, 2012a) och sannolikt även Nydala (Calles *et al.*, 2010b), innebär förbättringen vid Herting att ålen från stora delar av Högvadsån, Lillån och Ätran upp till Yngeredsfors nu kan vandra till havet med hög överlevnad. Från ålens perspektiv är nu därför den mest angelägna åtgärden på kort sikt att anlägga en uppsamlingsanläggning för ål vid Mölneby kraftverk i utloppet från det högproduktiva Kalven-/Fegensystemet (Calles *et al.*, 2012a). Den exakta passagevägen för ål vid Herting återstår att analysera, eftersom studien avslutas i skrivande stund. Bekräftas de preliminära resultaten att passagen av Herting numer är effektiv snabb och uteslutande sker via flyktöppning och fiskväg, kan vi fastslå att avledaren vid Herting är ett av få exempel i världen på en högeffektiv åtgärd för nedströmspassage av blankål (Calles *et al.*, 2014; Calles *et al.*, 2013a).

De nya fiskpassageåtgärderna vid Herting har återskapat korridorfunktionen på platsen, vilket var målet för Hertingprojektet. Samma typ av avledare finns på flera platser (Ebel, 2013), men det är första gången dess funktion följts upp i detalj (Calles *et al.*, 2013a). Den stora fördelen med ett β-galler i jämförelse med ett α-galler, är att gallret leder fisken direkt till flyktöppningen och därmed sannolikt minskar fiskens söktid. Det finns fortfarande problem med den nya åtgärdstypen och förbättringar behövs med avseende på i) gallrets renhållning och ii) hantering av kombinationen av skräp och fisk på avvattningsgaller och i sump. Sannolikt bör låglutande galler, om möjligt, föregås av ett grovgaller eller en ytläns för att hindra grovt drivgods från att nå fram till anläggningen. Problemen är dock av en sådan art att de går att lösa, vilket innebär att tekniken är ett mycket användbart komplement till

tidigare utvärderade åtgärder för en förbättrad passage för nedströmsvandrande fiskarter (Calles *et al.*, 2013a).

Den naturlika fiskvägen, eller den återställda naturfåran, är förknippad med höga kostnader både vid anläggandet och i form av produktionsbortfall. Resultaten efter åtgärd talar dock sitt tydliga språk och åtgärden har i hög utsträckning återskapat både korridor- och habitatfunktionen vid Hertingforsen. Den naturlika fiskvägen erbjuder alltså inte enbart goda förhållanden för passage, såväl uppströms som nedströms, utan innebär dessutom ett betydande tillskott av habitat för såväl reproduktion som uppväxt. Det kan vara av avgörande betydelse för de diadroma fiskarterna i Ätran, att högkvalitativt strömmande habitat tillförts i direkt anslutning till havet, utan några passager med förhöjd skade- och predationsrisk. Dessutom visar elfisken från 2015 att laxyngelproduktionen i fiskvägen redan uppgår till 13 000 yngel (Spjut & Degerman, In prep), vilket är ett välbehövligt och inte oansenligt tillskott till populationen. Sannolikt kommer åtgärden att vara motiverad på fler platser där det biologiska värdet är högt och där åtgärdens funktion är av högsta prioritet, men kan knappast komma att användas som en standardlösning vid alla kraftverk.

Sammanfattningsvis är åtgärderna vid Herting att betrakta som ”bästa möjliga teknik” och bör således rekommenderas för kraftverk i Sverige, i synnerhet de små- till mellanstora. Med tanke på att det är höga kostnader förknippade med åtgärderna både direkt genom anläggningskostnader och indirekt genom en produktionspåverkan, bör de dock främst komma i fråga vid anläggningar där naturvärdet är högt prioriterat. I synnerhet de kraftverk som utgör det första vandringshindret från havet bör vara aktuella för omfattande åtgärder, förutsatt att lämpliga habitat finns att tillgå uppströms hindret i fråga.

Finansiering

Förstudien pågick 2006-2010 och de olika delprojekten finansierades av Naturvårdsverkets havsmiljöanslag, Falkenberg Energi, Stiftelsen för Kunskaps- och Kompetensutveckling, EU-projektet ”Living North Sea” (Falkenbergs kommun), samt E.ON genom medel från försäljning av el märkt Bra Miljöval, vars utdelning godkänns av Svenska Naturskyddsföreningen. Uppföljningen 2014-2015 finansierades av bidrag från Havs- och vattenmyndigheten via Länsstyrelsen Halland och Falkenbergs kommun, samt), samt Falkenberg Energi genom medel från försäljning av el märkt Bra Miljöval (Svenska Naturskyddsföreningen).

Referenser

Aarestrup K, Lucas MC, Hansen JA. 2003. Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. *ECOLOGY OF FRESHWATER FISH*. **12**: 160-168.

Andersson J, Rivinoja P, Calles O. 2010. Passagemöjligheter för lekvandrande havsnejonöga (*Petromyzon marinus*) i ett reglerat vattendrag. *Naturresurs Rinnande Vatten - Karlstads universitet,* 10 pages.

Anonymous. 2014. Strategi för åtgärder i vattenkraften - Avvägning mellan energimål och miljökvalitetsmålet Levande sjöar och vattendrag. *Havs- och vattenmyndighetens rapport,* **2014:14:** pages.

Bergdahl D. 2007. Nedströmsmigration av atlantlax och havsöring vid Hertings vattenkraftverk. Bachelor thesis. Göteborgs Universitet. 14 pages pages.

Bergdahl D. 2008. Downstream migrating silver eels confronting a hydropower station in southern Sweden. Master thesis. Göteborgs Universitet. 11 pages pages.

Berglund I. 2015. Förvaltning av lax och öring - Havs- och vattenmyndighetens förslag på hur förvaltning av lax och öring bör utformas och utvecklas. *Havs- och vattenmyndighetens rapport,* **2015:20:** 70 pages.

Calles EO, Greenberg LA. 2005. Evaluation of nature-like fishways for re-establishing connectivity in fragmented salmonid populations in the River Eman. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*. **21**: 951-960.

Calles O, Alenäs I, Andersson J, Kläppe S, Lindqvist K, Rivinoja P. 2010a. Biologisk förstudie Hertingprojektet. *Naturresurs rinnande vatten, Karlstads universitet* 37 pages.

Calles O, Bergdahl D. 2009. Ålens nedströmspassage av vattenkraftverk - *Före och efter åtgärd*. *Karlstad University Studies,* 37 pages.

Calles O, Bergdahl D, Karlstads universitet. Avdelningen för biologi. 2009. *Ålens nedströmspassage av vattenkraftverk : före och efter åtgärd*. Fakulteten för samhälls- och livsvetenskaper, Biologi, Karlstads universitet, Karlstad.

Calles O, Christiansson J, Andersson J, Sahlberg T, Stein F, Olsson B-M, Alenäs I, Tielman J. 2012a. Ål i Ätran - En fallstudie för svensk ålförvaltning. *Karlstad University Studies,* **2012:43:** 51 pages.

Calles O, Christiansson J, Karlsson S, Andersson J-O, Wickström H. 2014. Tekniska lösningars tillämpbarhet för förbättrad nedströms passage för ål - Applicerat på Göta älv och Motala ström *Elforsk rapport,* **14:35:** 83 pages.

Calles O, Christiansson J, Nyqvist D. In prep. The downstream passage of adult European eels at a hydroelectric plant with an innovative screening system.

Calles O, Degerman E, Wickström H, Christiansson J, Gustafsson S, Näslund I. 2013a. Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar - Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. *Havs- och vattenmyndighetens rapport,* **2013:14:** 114 pages.

Calles O, Greenberg L. 2009. Connectivity is a two-way street - the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*. **25**: 1268-1286.

Calles O, Gustafsson S, Österling M. 2012b. Naturlika fiskvägar i dag och i morgon. *Karlstad University Studies,* **2012:20:** 45 pages.

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

Calles O, Karlsson S, Vezza P, Comoglio C, Tielman J. 2013b. Success of a low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant. *Freshwater Biology*. **58**: 2168-2179.

Calles O, Olsson IC, Comoglio C, Kemp PS, Blunden L, Schmitz M, Greenberg LA. 2010b. Size-dependent mortality of migratory silver eels at a hydropower plant, and implications for escapement to the sea. *Freshwater Biology*. **55**: 2167-2180.

Calles O, Rivinoja P, Greenberg L. 2013c. A historical perspective on downstream passage at hydroelectric plants in Swedish rivers. In *Ecohydraulics: An Integrated Approach*, A. H. Ian Maddock, Paul Kemp and Paul Wood (eds). John Wiley & Sons Ltd: West Sussex, UK; 309–322 pages.

Christiansson J, Nilsson A, Olsson P, Heiss M, Calles O. 2014. Test av olika åtgärdsutformningar för att optimera ålyngelfångst vid vattenkraftverk. *Elforsk rapport,* 24 pages.

Christiansson J, Olsson P, Heiss M, Karlsson S, Calles O. 2015. Delrapport Hertingprojektet - Uppföljning av åtgärder för förbättrad fiskpassage 2014. *Naturresurs rinnande vatten, Forskningsrapport* **2015:01:** pages.

Clay CH. 1995. *Design of fishways and other fish facilities*. Lewis Publishers, Boca Raton.

Ebel G. 2013. *Fish Protection and Downstream Passage at Hydro Power Stations Handbook of Bar Rack and Bypass Systems*. Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie,

Eberstaller J, Hinterhofer M, Parasiewicz P. 1998. The effectiveness of two nature-like bypass channels in an upland Austrian river. In *Migration and fish bypasses.*, M. Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss (eds). Fishing News Books: Oxford; 363-383 pages.

Erlandsson J. 2001. Områden av riksintresse för naturvård i Hallands län. *Länsstyrelsen Hallands Län - Meddelande,* **2001:20:** pages.

Ferguson JW, Absolon RF, Carlson TJ, Sandford BP. 2006. Evidence of delayed mortality on juvenile Pacific salmon passing through turbines at Columbia River dams. *Transactions Of The American Fisheries Society*. **135**: 139-150.

Gerlier M, Roche P. 1998. A radio telemetry study of the migration of Atlantic salmon (Salmo salar L.) and sea trout (Salmo trutta trutta L.) in the upper Rhine. *HYDROBIOLOGIA*. **372**: 283-293.

Gowans ARD, Armstrong JD, Priede IG, Mckelvey S. 2003. Movements of Atlantic salmon migrating upstream through a fish-pass complex in Scotland. *ECOLOGY OF FRESHWATER FISH*. **12**: 177-189.

Gustafsson S, Österling M, Skurdal J, Schneider LD, Calles O. 2013. Macroinvertebrate colonization of a nature-like fishway: The effects of adding habitat heterogeneity. *Ecological Engineering*. **61, Part A**: 345-353.

Halttunen E. 2011a. Staying Alive - The survival and importance of Atlantic salmon post-spawners. University of Tromsø. 63 pages.

Halttunen E. 2011b. Staying Alive - The survival and importance of Atlantic salmon post-spawners. University of Tromsø. 63 pages.

Heiss M. 2015. Evaluation of innovative rehabilitation measures targeting downstream migrating Atlantic salmon smolt (*Salmo salar*) at a hydroelectric power plant in southern Sweden. Ludwig-Maximilians-Universität München. 61 pages.

Huusko A, Greenberg L, Stickler M, Linnansaari T, Nykanen M, Vehanen T, Koljonen S, Louhi P, Alfredsen K. 2007. Life in the ice lane: The winter ecology of stream salmonids. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*. **23**: 469-491.

Johnson NS, Miehls S. 2014. Guiding out-Migrating Juvenile Sea Lamprey (Petromyzon Marinus) with Pulsed Direct Current. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*. **30**: 1146-1156.

Jokikokko E. 2002. Migration of wild and reared Atlantic salmon (Salmo salar L.) in the river Simojoki, northern Finland. *Fisheries Research*. **58**: 15-23.

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 pages pages.

Karlsson S. In prep. Passageutvärdering av adult uppströmsvandrande lax vid Nydala Kvarn. *Aqua Reports,* pages.

Karppinen P, Makinen T, Erkinaro J, Kostin V, Sadkovskij R, Lupandin A, Kaukoranta M. 2002. Migratory and route-seeking behaviour of ascending Atlantic salmon in the regulated River Tuloma. *HYDROBIOLOGIA*. **483**: 23-30.

Laine A, Jokivirta T, Katopodis C. 2002. Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and sea trout, *Salmo trutta* L., passage in a regulated northern river - fishway efficiency, fish entrance and environmental factors. *FISHERIES MANAGEMENT AND ECOLOGY*. **9**: 65-77.

Lasne E, Sabatie MR, Jeannot N, Cucherousset J. 2015. The Effects of DAM Removal on River Colonization by Sea Lamprey Petromyzon Marinus. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*. **31**: 904-911.

Malm-Renöfält B, Ahonen J. 2013. Ekologiska flöden och ekologiskt anpassad vattenreglering. *Havs- och vattenmyndighetens rapport,* **2013:12:** 63 pages.

Monsén J. 2010. Laxens (*Salmo salar*) biologi i ett reglerat vattendrag. C-uppsats. Karlstads universitet. 10 pages.

Noonan MJ, Grant JWA, Jackson CD. 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *FISH AND FISHERIES*. **13**: 450-464.

Norrgård JR, Greenberg LA, Piccolo JJ, Schmitz M, Bergman E. 2013. Multiplicative loss of landlocked Atlantic salmon *Salmo salar* L. smolts during downstream migration through multiple dams. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*. **29 (10)**: 1306–1317.

Northcote T. 1998. Migratory behaviour of fish and its significance to movement through riverine fish passage facilities. In *Migration and fish bypasses.*, M. Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss (eds). Fishing News Books: Cambridge; 3-18 pages.

Nyqvist D, Calles O, Bergman E, Greenberg LA. 2015. Post-spawning survival and downstream passage of landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a regulated river: Is there potential for repeat spawning? *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*. ***Early online***.

Nyqvist D, Kläppe S, Christiansson J, Karlsson S, Comoglio C, Vezza P, Hebrand M, Calles O. In prep. The upstream and downstream passage of adult Atlantic salmon before and after passage improvements.

Näslund I, Kling J, Bergengren J. 2013. Vattenkraftens påverkan på akvatiska ekosystem – en litteratursammanställning. *Havs- och vattenmyndighetens rapport,* **2013:10:** pages.

Olofsson H. 2013. Recipientkontrollen i Ätran 2012, Ätrans Vattenråd. *ALcontrol Laboratories report,* 128 pages.

Porcher JP. 2002. Fishways for eels. *BULLETIN FRANCAIS DE LA PECHE ET DE LA PISCICULTURE*. **364**: (chapter 10) 147-155.

Rivinoja P, McKinnell S, Lundqvist H. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish river caused by a hydroelectric power-station. *Regulated Rivers-Research & Management*. **17**: 101-115.

Spjut D, Degerman E. In prep. Laxhabitat på västkusten. *Aqua reports* **2016:XX:** 45 pages.

Stibe L. 2015. Vattenkemiska undersökningar i Hallandsåarna 1972-2014. *Länsstyrelsen Hallands Län - Meddelande,* **2015: 14:** 92 pages.

Thorstad E, Fiske P, Aarestrup K, Hvidsten N, Hårsaker K, Heggberget T, Økland F. 2005. Upstream migration of Atlantic salmon in three regulated rivers. In *Aquatic telemetry: advances and applications*, M. Spedicato, Marmulla, G, Lembo, G (eds). FAO/UN - COISPA: Rome; 191-202 pages.

Thyssel E, Schibli H, Norell P. 2013. Bevarandeplan för Ätran. *Länsstyrelsen Halland (Natura 2000),* **511-3405-11:** pages.

Wolf P. 1951. A trap for the capture of fish and other organisms moving downstream. *Transactions Of The American Fisheries Society*. **80**: 41-51.

Östergren J, Rivinoja P. 2008. Overwintering and downstream migration of Sea sea trout (*Salmo trutta* L.) kelts under regulated flows - northern Sweden. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*. **24**: 551-563.