



Problematiken kring flergångslekare av Lax, Öring och Steelhead i vildlaxförande stora flödesreglerade vattendrag

Hans Lundqvist, Kjell Leonardsson, John Williams, Johan Östergren, Gustav Hellström och Åke Forssén



Sveriges Lantbruksuniversitet

Rapport 8

Institutionen för Vilt, Fisk och Miljö

Swedish University of Agricultural Sciences

Umeå 2015

Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Denna serie rapporter utges av Institutionen för Vilt, Fisk och Miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå med början 2011. Serien publiceras endast elektroniskt på institutionens hemsida www.slu.se/sv/institutioner/vilt-fisk-miljo/.

This series of Reports is published by the Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, starting in 2011. The reports are only published electronically at the department home page www.slu.se/viltfiskmiljo.

E-post till ansvarig författare

Hans.Lundqvist@slu.se

E-mail to responsible author

Nyckelord

Vandringsfisk, kelt, fiskvandring, flergångslekare, foma, kraftverkspassage, turbindödlighet, Lax

Key words

Ansvarig utgivare

Hans Lundqvist

Legally responsible

Institutionen för Vilt, Fisk och Miljö

Sveriges lantbruksuniversitet

901 83 Umeå

Adress

Address

Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Swedish University of Agricultural Sciences

SE-901 83 Umeå

Sweden

Förord

SLU har på uppdrag av Vattenfall Vattenkraft AB sammanställt problematiken kring flergångslekare av lax, öring och steelhead med fokus på nedströmsvandring i stora flödesreglerade vattendrag (> 100 m³/s). Uppdraget har finansierats genom "Vattenfalls program för biologisk mångfald och vattenkraft".

Författarnas adresser:

Hans Lundqvist och Kjell Leonardsson, Inst för Vilt, Fisk och Miljö (VFM), SLU, SE-901 83 Umeå

John Williams, Univ Washington, Seattle, USA

Johan Östergren, Inst för Akvatiska resurser, SLU, SE-901 83 Umeå

Gustav Hellström, Inst för EMG, Umeå Universitet, SE-901 83 Umeå

Åke Forssen, Vattenfall Vattenkraft AB, Västra Norrfors 125, 905 93 Umeå



Bild visande nedströmsvandrande laxkelt som stannat upp vid intagskanalerna till Stornorrfors kraftverk i Umeälven



Innehållsförteckning

1. Sammanfattning.....	5
2. Bakgrund och problem samt definition av kelt hos vandringsfisk.....	7
3. Mål.....	9
4. Del I - Befintlig kunskap om kelt – en litteraturöversikt.....	11
4.1 Keltens biologi.....	11
4.2 Kelt i fiskeri- och miljöförvaltningen.....	13
4.3 Atlantlax (<i>Salmo salar</i>).....	15
4.4 Öring (<i>Salmo trutta</i>).....	19
4.5 Steelhead (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	21
5. Del II: Keltens nedströmsvandring och överlevnad i Ume-Vindelälven.....	30
5.1 Material och metoder.....	31
5.1.1 Beskrivning av märkt lax i studien.....	31
5.1.2 Logger- och antenpositioner samt analys av loggerdata.....	31
5.1.3 Beräkning av passageframgång förbi Stornorrfors kraftverk.....	33
5.2 Resultat och diskussion.....	34
5.2.1 Vinteröverlevnad och nedströmsvandring hos Kelt i Ume/Vindelälven.....	34
5.2.2 Ankomst till och uppehållstid vid kraftverket samt beräknad överlevnad efter turbinpassage.....	37
5.2.3 Möjligheter för passage och överlevnad i relation till laxens storlek i Stornorrfors kraftverk.....	39
5.2.4 Registreringar nedströms kraftverket.....	44
6. Rekommendationer.....	45
7. Erkännande.....	46
8. Referenser.....	47
9. Bilagor.....	57
Bilaga 1 - Modellsystemet kring Stornorrfors i Ume-Vindelälvens avrinningsområde.....	57
Bilaga 2. Passageöverlevnad via turbiner för kelt märkt med akustiska sändare.....	61

1. Sammanfattning

Lax som genomfört och överlevt leken kallas för kelt (Allan & Ritter 1977). Kelt är det engelska namnet på en livshistorietyp av lax. Svenska begrepp är vraklax, besa, överståndare, grålax, mm. De överlevande föräldrafiskarna kan återvändra till havet direkt efter leken eller välja att stanna och övervintra i älven. Att förstå keltens preferenser för förhållanden i älven som de möter i sin vandring nedströms är nödvändig för att utveckla effektiva avledningssystem vid dammar och kraftverksbyggnader så att de kan undvika att passera turbiner med hög dödlighet som följd (Williams *et al.* 2012). Rapporten syftar i sin helhet till en litteratursammanställning som belyser beteende och utvandring efter leken för några arter av *Salmo spp* samt våra egna erfarenheter från keltstudier på Atlantlax i Ume/Vindelälven. Rapporten beskriver erfarenheter och vilka möjligheter det finns att styra fisken från turbinintag när de nedströmsvandrar till havet.

Sammanfattning del I: Våra målarter, atlantlax, öring och steelhead visar liknande lek-beteende där hanar strider om parningsframgång och honor väljer partner och lekplats (Fleming 1996, Quinn & Myers 2004, Quinn & Myers 2006). De har dessutom liknande beteendemässiga egenskaper i sin nedströmsvandring efter avslutad lek (Halttunen 2011). Leköverlevnaden mellan populationer inom art och mellan arter verkar variera stort. Generellt tenderar kelt att vandra nedströms i temperaturintervall mellan 6 och 14 °C. Individer av lax och öring övervintrar ofta i den älv där de lekte och företrädesvis lämnar de älvsystemet under våren även om tid för nedströmsvandring kan variera beroende på vattendragets geografiska läge. Vid utvandring simmar de främst ytnära. Kelt är känslig för förändringar i vattenhastighet och snabb minskning eller ökning i strömhastigheten medför ofta att de undviker området och simmar därifrån. Frånvaro av ytvattenflöde för passage nedströms vid dammar och kraftverk fördröjde fisken som då sökte alternativa vägar. Detta innebar att fisken oftare simmade i ytläge och inte i djupled där intagen till kraftverkets turbiner fanns. Kelt av alla arter som passerat genom turbinintag och turbiner har uppvisat en relativt hög dödlighet. För kelt av steelhead var turbinpassage det sista valet fisken gjorde om ingen alternativ väg fanns tillgänglig. Deras simbeteende verkar kopplat till preferensen att vandra nära vattenytan och förklarar i stor utsträckning varför ytspill är effektiva för att passera fisk även när volymen av flödet genom dem är lågt jämfört med flöden via turbiner eller bräddavlopp. Detta beteende är lätt att förstå ur ett evolutionärt perspektiv eftersom naturliga forsar har en uppgrundning mot forsackarna med ytnära bräddning. För effektiv nedströmsvandring måste fisken kunna simma genom bräddavlopp. Kelt verkar genomgående simma i de snabbast strömmande delarna av älven varför de relativt effektivt dras till kraftverkens intagskanaler men också till ytvattenutskov när de passerar en väsentlig del av utsläppet. De mest framgångsrika ytvattenspillvägarna för passage kommer sannolikt att vara nära områden där det största flödet med hög strömhastighet finns.

De flesta utskov har radiella dammluckor (Tainter-Gate) eller bladgrindar och vattenspill går under grindarna när de hissas upp, t.ex. spillvägarna i dammar i Columbia floden ligger ca 10 meter under vattenytan. Detta innebär att nedströmsvandrande fisk måste registrera "ljud" och aktivt simma ned från ytan för att kunna passera. Som en konsekvens av detta för nedströmsvandrande smolt är att spill under dagtid inte är effektivt då de inte vill lämna sin position nära ytan. Detta är den huvudsakliga biologiska orsaken till att det installerats nya ytvattenspillvägar (*surface spill gates*) med direkt spill av ytvatten. Sannolikt har kelt av Atlantlax och öring liknande nedströmsvandringens beteende eftersom de gärna uppehåller sig yt nära vid nedströmssimningen. De kelt studier på Steelhead som rapporteras här visar funktionen vid användande av dessa nya spillvägar. Det finns en mängd olika "spillways" och stor variation i tappning för olika typer av spillluckor (<http://www2.ce.metu.edu.tr/~ce458/documents/Spillways.pdf>)

Sammanfattning del II: Vår keltstudie i Umeälven baserar sig på totalt 78 radiomärkta laxar som passerade fisktrappan 2013, och tidigare samma säsong märkts i Umeälvens mynningsområde (N=148). Tre av dessa laxar förlorades vilket innebär att 75 individer ingått i analyserna av vinteröverlevnad och passageframgång vid Stornorrfors kraftverk. Vi konstaterade att keltens vinteröverlevnad låg mellan 33 och 38 % och att honor hade högre överlevnad (42,5%, medellängd 91 cm) jämfört med hanar (21%, medellängd 81 cm för de som överlevde och 87 cm för de som inte överlevde). Elva kelts följdes på en sträcka av 84 km i Vindelälvens nedre del och visade då en vandrings tid om 27 dygn (median) för att passera sträckan. Genomsnittlig vandringshastighet var låg, mellan 0,03 och 0,04 m/s, vilket antyder att de stannat ett flertal gånger. Om de passivt följt vattenströmningen på 0,5 m/s skulle de simmat sträckan på mindre än ett halvt dygn. Tiden för fisken att simma från Spöland till fisktrappan i Umeälven (11 km) var 8 timmar (median, N=21). Simhastigheten på denna sträcka uppgick till ca 0,4 m/s (median). Den första lax som registrerades för nedströmsvandring efter leken passerade området vid fisktrappan den 29 december 2013. Ytterligare två fiskar passerade den 6:e och 15:e januari. Sedan dröjde det till den 26-28 april då tre individer passerade. Flest kelt passerade den 19 och 20 maj, då totalt 10 kelt passerade på stigande flöden och stigande temperaturer från ca 8 grader till 14 °C. Mediandatum för ankomst till fisktrappan var 19 maj (N=25) och överensstämmer väl med tider som Grandy-Rashap (2014) redovisade för keltutvandringen året innan. Ingen radiomärkt kelt vandrade nedströms via fisktrappan eller via spill från dammen. Omkring hälften av de radiomärkta laxar som överlevde vintern beräknades ha passerat kraftverket och överlevt. En del av passageförlusten beror på att de största laxarna hindras av intagsgallrets spaltöppning (9 cm). En aspekt som inte tagits hänsyn till i ovanstående beräkningar av passagedödligheten för kelt är dels den höga fallhöjden (75 meter) som orsakar stora och snabba tryckförändringar vid turbinpassage och dels att kelten är i dålig kondition den tid de passerar området. Ytterligare en aspekt som inte vägdes in i förlustberäkningarna var möjligheten för kelt att passera dammen via spill eller via fisktrappan i Norrfors. Den osäkerhet som finns i modellberäkningen, dvs. endast dödlighet

vid träff av turbinbladen utan hänsyn till tryckfallsförändringens effekt behöver utredas vidare.

Telemetristudien hade inte tillräckligt hög rumslig upplösning för att bestämma var och hur keltens simmade i anslutning till dammen, ledarmen vid fisktrappan, samt i kanalen till turbinintaget i kraftverket. Detta är viktig information om man vill överväga möjligheten att utveckla attraktiva ytvattenströmmar till någon av dessa två platser som kan användas för att passera kelt nedströms på ett effektivt sätt. Frånvaro av svar med hög rumslig upplösning beror på begränsningar i tekniken med aktiva radiosändare. Efter att studien påbörjades har förutsättningarna att genomföra studier med hög rumslig upplösning ökat kraftigt i och med att 3D-positionering av akustiskt märkt fisk nu möjliggjorts till en rimlig kostnad.

Det blir viktigt att utreda olika framtida möjligheter att styra eller fånga upp kelt av lax och öring när de anländer till intagskanaler, dammar och kraftverk för att leda dem till en ny vandringssväg som ger dem möjlighet att fortsätta sin livscykel i havsfasen.

2. Bakgrund och problem samt definition av kelt hos vandringsfisk

Förvaltningen av vandringsfiskbestånd som lax och havsöring för att nå livskraftiga och uthålliga bestånd på älv- och älvdalsnivå i Sverige har ännu inte tillräckligt beaktat problematiken kring överlevnad och vandring hos kelt i flödesreglerade och vildlaxförande vattendrag. Att många vilda atlantlaxar och öringar överlever leken och vill vandra till havet för fortsatt tillväxt är vida känt men har hittills sig inte beaktats i den internationella vildlaxförvaltningen (Wertheimer & Evans 2005, Niemelä *et al.* 2006a, Niemelä 2006b, Kraabøl *et al.* 2009a, Halttunen 2011). I Sverige har keltfrågan och dess betydelse för beståndens utveckling, spridning och genetisk diversitet getts mycket liten uppmärksamhet. Det har därför varit svårt att i den svenska litteraturen hitta information om kelt i östersjösystemet, speciellt överlevnad efter lek och efter utvandring till och i havet. Lindroth *et al.* (1988) konstaterar att "Post-spawning mortality is usually considered to be high", medan Olofsson (1945), baserat på olika utsättningsförsök i Mörrumsån, motsatte sig denna typ av påstående. Lindroth *et al.* (1988) skriver också att märkningsförsök på lekvandrare i Ume- och Skellefteälven visade på 50 % överlevnad efter lek. I Skellefteälven märktes 147 laxar 1974 och av dessa återfångades 26 fiskar innan leken, medan 59 (49%) återfångades efter leken av de resterande 121. Tre laxar (2 %) fångades två år senare när de åter anlände till älven. Sammanfattningsvis känns det som att Lindroth (1988) aldrig bedömde keltaspekten hos östersjölaxen som något viktigt för svensk del.

Vandringsfisk som t.ex. Atlantlaxen har problem att fullfölja sin livscykel i flera områden i världen. Människans nyttjande av fiskresursen genom överfiske men också att man via byggnationer i vattendragen har stängt vandringsleder eller att lek- och uppväxtområden överdämts ger problem för populationers tillväxt genom att ingen nyrekrytering av unga sker, hög dödlighet fås eller åldersstrukturen på lekbeståndet ändras

(Brana *et al.* 1995, Amiro 2003, Lacroix 2014, ICES 2014). Olika arter har olika problem i vattenkraftsutbyggda älvar då fiskens fortlevnad äventyras på olika sätt. I regel måste de passera dammbyggnader och turbiner där åtgärder sällan genomförs för att hjälpa individer nedströms (smolt och kelt) (Calles *et al.* 2013). I dessa flödesreglerade vattendrag förknippas fiskens vandringar nedströms med relativt hög dödlighet, dödlighet som är storleksberoende oavsett vilken turbintyp som används (Monten 1985, Fergusson 2008). Vid passage nedströms kan både turbiner och spillutskov skada fiskar genom att ge direkt dödlighet vid träff mot turbinblad eller hud- eller beteendeskador då fisken på kort tid utsätts för snabba tryckfallsförändringar och höga vattenhastigheter beroende på fallhöjden vid olika kraftverk. Sårskador på fisken leder till ökad risk för sjukdomar och parasitangrepp och ger en förhöjd indirekt dödlighet (Ferguson 2008).

I Vattenfalls nya fisktrappa i Umeälvens nedre del som färdigställdes 2010 har det vandringssäsongerna (2012, 2013 och 2014) passerat över 10 000 laxar per år (Bilaga 1). Fisktrappan möjliggör laxens och havsöringens uppströmsvandring till lekområden i den oreglerade Vindelälven som med sin ca. 45 mil långa sträckning erbjuder stora arealer av lek- och uppväxtområden. Sammantaget förväntas fisktrappan tillsammans med fiskeregleringar i Östersjön och Bottniska viken ge positiv utvecklingen för den vilda Vindelälvs laxen och havsvandrande öring (Leonardsson *et al.* 2013). Vid fisktrappan finns också avledningsstrukturer som ska öka möjligheterna att avleda nedströmsvandrande fisk från turbinintag, så att de i stället kan använda fisktrappan som vandringsled till havet (Lundqvist *et al.* 2014, Bilaga 1).

Den första delen (I) i denna rapport delar den vetenskapliga litteraturen kring laxfiskarnas biologi för arter som kan överleva leken och sammanställer de erfarenheter vi har om nedströmsvandrande utlekt vuxen fisk (kelt) i flödesreglerade vildlaxförande vattendrag. Rapportens andra del (II) presenterar dagens situation för kelt från Vindelälven, deras vinteröverlevnad, nedströmsvandring, samt passage av kraftverket i Stornorrfors. Kunskapen om kelt från Vindelälven baseras på en uppföljning av radiomärkta laxar som passerade fisktrappan i Norrfors och ingick i 2013 års radiomärkningsförsök i nedre Umeälven (Leonardsson *et al.* 2013). I keltstudien med de radiomärkta laxarna har vi följt keltens nedströmsvandring mot damm och Stornorrfors kraftverksområde i Umeälven från början av december 2013 till och med sommaren 2014.

Då det råder en allmän kunskapsbrist kring vilken förmåga kelt av olika arter har att passera kraftverksdammar kommer denna rapport göra ett försök till sammanställning av centrala forskningsresultat som erhållits under senaste decennierna gällande keltens biologi och deras passage förbi dammar i Europa och Nordamerika. Vi gör denna analys för alla tre arter av laxfisk som har stadiet kelt som en del av sin livshistoria: atlantlax, öring och steelhead och dessutom har en anadrom (sötvattenslekande med havsvandringssfas) livsstil. Medan Steelhead är havsvandrande är dess sötvattensform Regnbåge (eller eng. "Rainbow

trout", båda heter *Onchorynchus mykiss*) klassad som en art med potadroma vandringar (dvs. vandringar endast i sötvattenssystem) (Hockersmith *et al.* 1995).

3. Mål

Kort- och långsiktigt vill vi att det läggs tydligt fokus på att fullfölja Sveriges miljömål (<http://www.regeringen.se/sb/d/2055>) mot att lösa problematiken kring hur nedströmsvandrande utlekt fisk av lax och öring i flödesreglerade älvar ska klara sitt eget mål: *Att nå havet för fortsatt överlevnad, tillväxt och ges möjlighet att repetera sin tidigare lekframgång.* Miljömålet "Levande sjöar och vattendrag" enligt riksdagens definition är bl.a att sjöar och vattendrag ska vara ekologiskt hållbara och att deras naturliga produktionsförmåga, biologisk mångfald, mm., ska bevaras. Detta innebär bl.a att viktiga ekosystemtjänster ska vidmakthållas, att sjöar och vattendrag har strukturer och vattenflöden som ger möjlighet till livsmiljöer och spridningsvägar för vilda växt- och djurarter som en del i en grön infrastruktur och att arter har gynnsam bevarandestatus och att tillräcklig genetisk variation inom och mellan populationer bibehålls. Till miljömålet kommer generationsmålet vilket innebär att förutsättningarna för att lösa miljöproblemen ska nås inom en generation. Miljöpolitiken ska fokusera på att ekosystemen återhämtar sig och att deras förmåga att långsiktigt generera ekosystemtjänster säkras samtidigt som den biologiska mångfalden och natur- och kulturmiljön bevaras, främjas och nyttjas hållbart. Nationellt ska vi med andra ord ha en god hushållning med naturresurserna och för att göra detta så ska vi ultimatum hjälpa bl.a. vandringsfisk att fullfölja sin livscykel, både uppströms och nedströms.

Tyvärr finns det väldigt lite kunskap, både nationellt och internationellt, om hur man hjälper nedströmsvandrande fisk, både smolt och överlevande kelt, på ett säkert sätt tillbaka till havet för fortsatt tillväxt. Kelten's biologi, överlevnad och utvandring i både naturliga och flödesreglerade vattendrag är viktiga frågor att utreda för att långsiktigt erhålla uthålliga lax- och öringsbestånd i skogs- och fjällälvar, naturliga som utbyggda, för fiskeresursen själv och för olika typer av nyttjare. Detta är särskilt problematiskt i vildlaxförande flödesreglerade vattendrag där kraftverk hindrar den utlekta laxens vandring tillbaka till havet. Målet med den moderna laxförvaltningen är att förvalta Sveriges laxbestånd för uthålligt nyttjande samtidigt som vi försöker öka värdet på denna resurs. Det ekonomiska värdet i yrkesfisket är i stor utsträckning kopplat till ett kilopris som är oberoende av storleken på fångad fisk medan värdet inom sportfisket och inom fisketurismen ökar påtagligt med möjlighet att fånga storvuxen fisk. I en population där den utlekta laxen har möjlighet att ta sig till havet för återhämtning och att delta i ytterligare reproduktionstillfällen ökar förekomsten av stor fisk och därmed även det turistiska värdet. Även miljöpolitiskt, via miljömålen och EU's vattendirektiv, är det uttalat att den biologiska mångfalden, i detta fall olika livshistoriestadier, skall värnas.

För att veta vilka åtgärder som behövs för att ge förutsättningar för återlekare av lax i vattenkraftsutbyggda älvar med vildlaxbestånd är det viktigt att få kunskap om keltens vandringsbeteende i samband med nedströmsvandringen efter lek. Den kunskapen behövs för att veta när eventuella åtgärder behöver vara aktiva, samt vilka åtgärder som behövs och var dessa skall genomföras. Det är därför viktigt att vi utreder (1) den lekande laxens vinteröverlevnad, 2) när under året de vandrar nedströms, 3) val av passagevägar och överlevnad vid passage av kraftverksanläggningar, samt 4) för att få förståelse av vilken eller vilka passagevägar som prefereras behövs kunskap om var i vattenmassan keltens vandrar och hur de beter sig i olika vattenströmningssituationer. Detta leder förhoppningsvis till att vi får kunskap om olika vandringshinders betydelse för dödlighet hos fisken, om fördröjning i vandringen sker så att vi i framtida tvärvetenskapliga projekt kan diskutera konstruktiva lösningar mellan fiskbiologer och ingenjörer för att hjälpa fisken nedströms. Många faktorer har potential att påverka olika tekniska lösningar för avledning av nedströmsvandrande fisk och sådana lösningar måste diskuteras utifrån ett tvärvetenskapligt perspektiv, t ex hur kan avledarstrukturer byggas för optimal funktion att leda nedströmsvandrande fisk förbi dammbyggnader? Detta innebär i klartext att realistiska och kostnadseffektiva lösningar måste diskuteras för hur man långsiktigt kan förena livskraftiga vilda lax- och öringsbestånd med energiproduktion från vattenkraft. Nationell samverkan krävs bland olika aktörer för att få en generell kunskap för hur man optimerar t.ex. avledningsstrukturer, olika skärmtyper, etc. i stora vattendrag (> 100 m³/s) och små vattendrag för att maximera funktionen att styra nedströmsvandrande fisk från turbinintag. Stornorrforsområdet i Umeälvens nedre del är ett system i landet med bra förutsättningar för den typen av projekt. Vår vision är att fiskproduktion och kraftuttag i älvarna kan fungera tillsammans. Det är viktigt att vi gemensamt reder ut, och kan vägleda andra, hur flergångslekare bevaras i reglerade älvar. Stornorrforsområdet är också ett bra exempel på att gemensamma investeringar, samarbeten mellan intressentgrupper och vetenskapligt grundade och utvärderade åtgärder kan generera goda resultat. Detta måste utredas vidare inom ramen för EU's ramdirektiv för vatten och Sveriges anpassning till detta ramdirektiv.

I denna rapport har vi lagt fokus på att med olika märkningstekniker följa fisk på sin nedströmsvandring tillbaka till havet efter avslutad lek. Resultaten från dessa mätningar har gett svar på många av de frågor som rör överlevnad och nedströmsvandring. Däremot har undersökningen inte varit fokuserad på att presentera/diskutera olika tekniska lösningar för hur nedströmsvandrande kelt av lax och havsvandrande öring kan ledas från Umeälvens nedersta damm (Norrfors) via ledarmen i ny fisktrappa eller från turbinintagen till Stornorrfors kraftverk för fri lejd till havet i detta relativt stora vattendrag med max kraftverksflöde kring 1000 m³/s.



Bild visande de fyra turbinintagskanalerna till Generator 1 (G1) till och med generator 4 (G4) till Sveriges största energiproducerande vattenkraftverk i Stornorrfors med en total slukförmåga på ca. 1000 m³/s och fallhöjd på 76 meter. (Foto: R. Karlsson/SLU)

4. Del I - Befintlig kunskap om kelt - en litteraturöversikt

4.1 Keltens biologi

Laxfiskar har en komplex livshistoria vilket visar sig i en stor individvariation gällande ålder och storlek för såväl smoltvandring som könsmognad (Hendry & Stearns, 2004, Thorstad *et al.* 2011, Fleming och Einum 2011). De flesta lax- och några öringarter uppvisar en anadrom livshistoriestrategi. Detta innebär att föräldrafiskarna leker i sötvatten där deras avkomma växer upp under ett-eller flera år för att sedan genomgå den sk smoltifieringen då de börjar sin vandring till havet där de har den största tillväxten. Uppehållstiden i rinnande vattendrag för ung fisk varierar mellan och inom arter liksom den tid de tillbringar i havet eller större sjöar för tillväxt. Som en allmän regel för laxfisk inom Stilla havssläktet är att *Oncorhynchus spp* är *semelpara*, de leker en gång och dör efter leken, och nästan alla är anadroma. Ett undantag från regeln att alla Stilla havslaxar dör efter leken är Steelhead som är havsvandrande. Dess motsvarighet i sötvatten är den fisk vi i Sverige normalt kallar för regnbågslax som alltså inte vandrar till havet. Steelhead (*O. mykiss*) däremot (som tidigare hade det vetenskapliga namnet *Salmo gairdneri* fick namnet utbytt under 80-talet till

Oncorhynchus mykiss), som med sin iteropara livshistoria ger fisken möjlighet att fortplanta sig mer än en gång och därigenom kan vandra till havet en eller flera gånger. Steelhead är vårlekare och genomför sin vandring som kelt under vår, sommar och höst beroende på tid för lek i nordamerikanska vattendrag. För anadroma arter som är iteropara kallas föräldrafiskarna som återvänder till havet efter reproduktion generellt för "kelt".



Bild visande typisk kelt av Atlantlax från Vindelälven. Delvis svampinfekterat huvud och stjärtspole. (Foto: R. Karlsson/SLU)

Inom släktet *Salmo* är det främst Atlantlax (*Salmo salar*) och öring (*Salmo trutta*) som är anadroma. Dessa arter är iteropara även om proportionen överlevande lekfisk av Atlantlax i olika bestånd varierar. Leköverlevnaden hos Atlantlax liknar den hos Steelhead. Generellt verkar honor överleva leken och vintern i större utsträckning än hanar (Halttunen 2011). Liksom hos Steelhead återvänder en stor andel Atlantlax och havsvandrande öring till havet efter lek för att äta upp sig inför nästa lekvandring. Beroende på vattendragstyp vandrar de överlevande lekfiskarna antingen ut under senhösten direkt efter leken eller övervintrar i sötvatten och vandrar ut under vår och försommar ca. sex månader efter genomförd lek (Jonsson *et al.* 1990b, Östergren 2006, Grandy-Rashap 2014). Jonsson *et al.* (1991a) och Halttunen (2011) observerade att efter tre månader till två år i havet återvänder laxen åter till älven för lek och att dessa flergångslekare verkar ha hög överlevnad i havet då

mellan 47-57 % av fisken återvände. Generellt har det dock varit mycket svårt att hitta information över keltens havsöverlevnad, i östersjösystemet verkar det i stort saknas!

Halttunen (2011) redovisade biologin hos flergångslekare av lax i sin doktorsavhandling och diskuterade dess betydelse för populationstillväxten. Dessa fiskar är ofta stora, erfarna honor med hög fekunditet och lekframgång (Shearer 1992, Erkinaro *et al.* 1997, Niemelä *et al.* 2000, Niemelä *et al.* 2006a, Niemelä *et al.* 2006b, Halttunen 2011) och ger därför ett högt proportionellt bidrag till populationens rekrytering jämfört med förstagångslekare. Studier av Halttunen (2011) visade att flergångslekare hos lax kan bidra med upp till 60% av produktionen i vissa älvar och denna numerär torde vara minst lika hög för öring. I vattendrag där överlevnaden från födsel till första lektillfälle är låg, vilket har varit fallet för samtliga östersjölaxälvar under flera decennier, kan frånvaron av flergångslekare som kelt vara ett problem för återuppbyggnaden av östersjöns vildlaxbestånd (ICES 2014). Rapportering kring keltens överlevnad i svenska östersjölaxälvar eller i havsfasen har inte hittats varför det i nuläget är omöjligt att dra några generella slutsatser om keltens överlevnad när de nått havet. Halttunen's (2011) observationer om hög överlevnad för kelt i havsfasen känns trovärdig och det är en fortsatt viktig fråga att utreda för Östersjölaxen.

I större flödesreglerade vattendrag med vildlaxbestånd är förekomsten av andragångslekare i det närmaste obefintlig. En anledning till detta kan vara att kelt har svårigheter att klara passage förbi nedströms belägna vattenkraftverk, de är antingen för stora för att passera genom de intagsgaller som skyddar inloppen till turbinerna mot drivgods, eller att de omkommer i samband med passagen via turbinerna.

4.2 Kelt i fiskeri- och miljöförvaltningen

Trots betydelsen av utlekt kelt hos lax, öring och steelhead diskuteras dessa inte nämnvärt i laxförvaltningen på myndighetsnivå eller hos vattenkraftsindustrin, frågor som idag är högaktuella (Wertheimer & Evans 2005, Halttunen 2011) i takt med högre miljökrav på vattenkraften. Med vetskap om den ansenliga postsmoltdödligheten för både lax och havsöring i Östersjön (ICES 2014) där endast 1-5% av den utvandrande smolten i många vattendrag återvänder för lek, är det svårt att förstå att inte åtgärder för att underlätta havsvandringen för vuxen utlekt fisk har högre prioritet. Kan dessa veteranfiskar (Jonsson & Jonsson 2011) nå havet är chansen relativt hög (ca. 50%) att de återvänder för en andra lek (Jonsson *et al.* 1990b, Halttunen 2011). I svenska vildlaxförande älvar med vattenkraftsproduktion har kelt svårt att nå havet och flergångslekare saknas därför mer eller mindre. I t.ex. Umeälvens kraftverk i Stornorrforshamn är en majoritet av de stora utlekta fiskarna i intagskanalen till kraftverket och många fiskar hindras därmed att nå havet, likadant i flera vildlaxförande älvar med kraftstationer. Mindre kelt släpper sig nedströms mot turbinerna med oftast hög dödlighet som följd (Aas *et al.* 2011, Östergren 2006), (ca. 75% dödlighet men torde variera beroende på storleken på kelten). I takt med att

vildlaxproduktionen ökar i våra vattendrag är det sannolikt tusentals utlekta laxar i Vindelälven som nu årligen inte överlever vandringen till havet. Vi behöver utreda om det är möjligt att vända dessa negativa siffror.

Det finns få undersökningar om betydelsen av kelt för utvecklingen av lokala fiskbestånd, deras genetiska diversitet och dess betydelse för sport- och yrkesfisket (Wertheimer & Evans 2005, Halttunen 2011). Fiske efter lekvandrande fisk från havet till älvarna har bedrivits under lång tid. Baserat på de laxfiskemetoder som nu används i älvsfisket har den långsiktiga evolutionära effekten av fisketryck på lax huvudsakligen verkat på uppströmsvandrande föräldrafisk. Fisket har sannolikt, varken i historisk tid eller nutid, riktats mot kelt då de generellt har ett lågt näringsvärde efter nära ett halvt till ett års svältperiod i älvarna. Sportfisket efter kelt har dock rönt ett ökat intresse på senare tid, men det är framförallt C&R metoden (*catch & release*) som tillämpas i detta fiske. Halttunen *et al.* (2010) visade att sportfiske på kelt med C&R metoden hade mycket begränsad effekt på kelten trots deras reducerade energinivåer och svaga fysiologiska tillstånd. Älvsfisket efter lax och öring har under lång tid varit samhällsekonomiskt viktigt och haft betydelse för folkhushållet (Westerberg och Ask 2011). Detta förändrades i stor utsträckning under de senaste 100-200 åren när människorna började bygga olika typer av dammar/stänganordningar för att nyttja vattendragen som transportleder för t.ex. flottningen men också för vattenkraft. Under 1900-talet kom den första lagstiftningen (1918-års vattenlag) i Sverige som hade låga krav på insatser för att vandringsfisk på sin lekvandring skulle kunna passera uppströms dammkonstruktioner. Skyddet för vild vandringsfisk är idag bättre och flera länder arbetar med olika typer av fisktrappor och passagesystem för att vandringsfisken ska kunna nå sina lekområden (Katopodis & Williams 2012). Detta förhållande, via egna initiativ från kraftindustrin eller via lagstiftning, att hjälpa uppströmsvandrande fisk till sina lekområden, har tidigare inte anammats för kelt för dess nedströmsvandring. I t.ex. nordvästra USA och Columbiafloden med biflöden (t.ex. Snake river) med sina komplexa system av kraftverksdammar har under de senaste 75 åren lagts mer tid, pengar och energi för att utveckla funktionella system för att säkerställa nedströmspassagen för laxungar (sk. smolt) än i något annat älvsystem i världen. Nordamerikansk forskning och teknikuppbyggnad för att lösa framtida passagefrågor gällande nedströmsvandring hos laxfisk och andra fiskarter är världsledande och en förebild för hur vi kan komma att hantera liknande frågor i Europa i en framtid. Trots alla satsningar på att få fungerande passersystem för nedströmsvandrande fisk har få ansträngningar riktats mot att utveckla bra och funktionella passersystem för kelt. I USA berodde sannolikt denna frånvaro av satsningar på nedströmsvandrande fisk i utbyggda flödesreglerade vattendrag på att alla köns mogna stillahavs laxarter utom steelhead dör efter leken. I samband med studier av Long & Griffin (1937) under 1930-talet visade det sig att endast ca 3% av individerna i olika Steelhead populationer repeterade sin lekvandring. Vid den tiden var det inte rimligt att investera stora pengar och ansträngningar på att utveckla passersystem förbi dammar/kraftverk när så liten andel av föräldrafiskar överlevde leken. En förändring i detta tankesätt kom under 1990-talet

när de flesta bestånd av steelhead i Columbiaflodens avrinningsområde listades som hotade eller utrotningshotade enligt den amerikanska "Endangered Species Act". Den enda liknande lagstiftning i Europa för t ex vandringsfisk gäller ål och regleras via "EU's åldirektiv (Rådets Förordning (EG) nr 1100/2007 av den 18 september 2007 om åtgärder för återhämtning av beståndet av europeisk ål (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:248:0017:0023:SV:PDF>)).

Först i början av 2000-talet började man i USA och i Columbiiflodens avrinningsområde initiera arbete för att få information om när i tiden steelhead kelt passerade olika dammar (Evans *et al.* 2004). Parallellt med forskningen om passagefrågor för Steelhead förbi dammar har det också varit starkt fokus på frågor kring rekonditionering och transport av kelt nedströms dammar (Branstetter *et al.* 2006, Evans *et al.* 2001, Evans *et al.* 2008, Hatch *et al.* 2004), likväl som hos kelt av Atlantlax (Crim *et al.* 1992, Dumas *et al.* 1991). Hittills har det inte riktats något egentligt intresse mot nedströmsvandringen av Atlantlax hos denna livshistorietyp i vare sig naturliga eller flödesreglerade vattendrag (Thorstad *et al.* 2011).

Situationen för kelt generellt i vattendrag mynnande i både Stilla havet och Atlanten verkar alltså ganska likartad. Bristen på grundläggande information om deras liv, beteende och vandringar är uppenbar och det är först under senaste decenniet som forskningen börjat förstå deras naturliga beteende och vilka effekter dammar, flödesreglering och hydrauliska flöden har på keltens överlevnad. I Norge har det genomförts relativt stora satsningar på att bättre förstå fiskarnas situation i flödesreglerade vattendrag för att långsiktigt kunna hjälpa bl. a. arter som lax, öring och ål att passera kraftverk (Forseth och Harby, 2014). Till detta kommer planerade nysatsningar via CEDREN (*Center for Environmental Design of Renewable Energy*, <http://www.cedren.no>) för perioden 2015-2018 som t ex "Safe Pass", ett internationellt samverkansprojekt mellan industrin och universitet samt NINA, SINTEF, NTNU och UNI Milj. Med ett rörelsekapital på ca. 25 MSEK ska projektet sammanställa dagens kunskap kring fisk och flöden samt arbeta med beteendemekanismer för att hitta en lösning till olika passagefrågor för fisk både uppströms och nedströms.

4.3 Atlantlax (*Salmo salar*)

Överlevnad, proportionen andragångslekare, tid och miljöförhållanden i samband med utvandring samt simbeteende och simhastighet hos kelt av atlantlax i Europa är sparsamt studerad (Thorstad *et al.* 2011, Forseth och Harby 2014). Halttunen *et al.* (2009) och Halttunen (2011) rapporterade att överlevnaden för kelt i naturliga älvsystem var relativt hög och Nyqvist (2013) sammanställde en tabell som visar variationen i överlevnaden hos leklax för olika bestånd ([Tabell 1](#)). Det är relativt okänt hur många föräldrafiskar i ett lekbestånd som utgörs av flergångslekare och hur många lekande fiskar som överlever leken i olika typer av små och stora vattendrag liksom vilken "timing" det finns i nedströmsvandringen för individer från olika stammar. Med utgångspunkt från att många

laxfiskar överlever leken så är det viktigt att via "case-studies" belysa hur dessa fiskar påverkas i sin nedströmssimning och överlever kraftverkspassage med och utan olika typer av avledningsanordningar.

Tabell 1. Överlevnad hos lax efter lek i några vattendrag (modifierad från Nyqvist 2013)

Vattendrag	Land	Överlevnad (%)	Författare
<i>Campbellton River</i>	<i>Kanada</i>	<i>50</i>	<i>Reddin et al. 2011</i>
<i>Altaälven</i>	<i>Norge</i>	<i>63-80</i>	<i>Halttunen 2011</i>
<i>Namsen</i>	<i>Norge</i>	<i>9</i>	<i>Thorstad et al. 1998</i>
<i>Imsaälven</i>	<i>Norge</i>	<i>65-85</i>	<i>Jonsson et al 1990b</i>
<i>Le Have</i>	<i>Kanada</i>	<i>90</i>	<i>Hublely et al. 2008</i>

Halttunen (2011) diskuterade bl a överlevnaden hos kelt av lax i Altaälven och antog att kelt som återfanns i relativt kalla vattendrag hade högre överlevnad jämfört med kelt i mer tempererade vattenområden. Östergren och Rivinoja (2008) fann också hög vinteröverlevnad hos öring i större norrländska älvar (> 100 m³/s) och diskuterade att kallt klimat höll nere de metaboliska kostnaderna för fisken samtidigt som dessa älvar också kunde erbjuda relativt goda habitat för övervintring. Jonsson *et al.* (1990 b), Jokikokko & Jutila 2005, Jokikokko *et al.* (2006) och Halttunen (2011) visade att lax av honkön hade högre överlevnad jämfört med hanar, något som kunde bero på honornas högre energistatus och att de var mindre aggressiva jämfört med hanlax som slogs om lekframgång. Lax av hankön har också observerats vandra nedströms tidigare än honfisk (Jonsson *et al.* 1990b, Halttunen *et al.* 2009), kanske beroende på deras lägre energistatus.

Hos Atlantlax som kan leka flera gånger rapporteras om fisk som lekt fyra till sju gånger under sin livstid (Ducharme 1969) men vanligast är att de kan leka två till tre gånger (Heggberget 1989, Jonsson *et al.* 1991a, Shearer 1992, Klemetsen *et al.* 2003). I naturliga vattendrag verkar detta vanligt förekommande och i t.ex. Torneälven varierar förekomsten av flergångslekare hos lax mellan år men uppgår till mellan c. 6- 10 % av det lekvandrande beståndet för perioden 2006-2013 (Vähä, *et al.* 2009, ICES 2014, Atso Romakkaniemi, pers comm.) och i Tenoälven var ca. 50 % av de äldre lekvandrande föräldrafiskarna flergångslekare (Erkinaro *et al.* 1997). Proportionen andragångslekare hos lax verkar också variera betydligt mellan vattendrag i laxens utbredningsområde. Nyqvist (2013) (och referenser däri) visade att procentandelen flergångslekare i olika bestånd av lax kunde variera stort (Ducharme 1969 (Big Salmon river, Kanada, 28-60 %, Niemelä *et al.*, 2006a

(Tenoälven, Norge/Finland, ca. 20 %), Jokikokko *et al.* 2006 (Simijoki, Finland, < 2%), Hedger *et al.*, 2009 (York river, Quebec, ca. 15 %) samt Halttunen 2011 (Altaälven, Norge, 20 % för honlax). Då många keltstudier som genomförts i olika vattendrag generellt är ganska kortsiktiga är det svårt att uttala sig om vad denna variation i proportion flergångslekare, oftast mellan 1- 20 %, beror på. Dessa frågeställningar skulle behöva redas ut för olika vattendrag under ett antal år även om det delvis genomförts av Niemelä *et al.* 2006b och Erkinaro *et al.* 1997.



Bild visande Kelt av Atlantlax positionerade i lugnare vatten i Umeälvens nedre del. (Foto: B-S. Wiklund/SLU)

Keltens nedströmsvandring till havet verkar ske vid olika tider på säsongen beroende på vattendragets storlek och temperaturregim. Jonsson & Jonsson (2011) anger att lax i större vattendrag (medelvattenföring 5-50 m³/s) övervintrar i vattendraget medan lax i mindre vattendrag (medelvattenföring < 3 m³/s) inte stannar över vintern. I större vattendrag sker laxens utvandring till havet företrädesvis under våren c. sex månader efter leken och vid en vattentemperatur mellan 4 och 10 grader °C. Grandy-Rashap (2014) visade också att lax som lekte högt upp i Vindelälven (ca. 250 km från kusten) i större utsträckning övervintrade jämfört med lax som lekte längre nedström (ca. 50 km) från kusten. Det finns

relativt lite rapporterat kring den överlevande leklaxens beteende och tid för nedströmsvandring och det verkar som om höst- kontra vårutvandring hos kelt varierar stort både inom och mellan vattendrag. Grandy-Rashap (2014) bedömde att både älvstemperatur och flöde var viktiga faktorer för att initiera keltens nedströmsvandring. Sammantaget visade Grandy-Rashap (2014) att nedströmsvandringen initierades vid en ökning av vattenflödet men sambandet mellan nedströmsvandring och vattenflödet var svagt. Betydelsen av både temperatur och flöde på nedströmsvandringen hos denna livshistorietyp av fisk har också visats i andra studier (Jonsson & Jonsson, 2011; Halttunen, 2011).

Generellt simmar kelt aktivt i en tydlig nedströmsriktning, simningen är dessutom ytnära (Hubley *et al.* 2008, Halttunen *et al.* 2009). Hubley *et al.* (2008) visade att kelt av atlantlax i älven Le Have (Nova Scotia) rörde sig nedströms i medeltal 3,7 km/dag (0,04 m/s) medan Halttunen *et al.* (2009) visade att akustiskt märkt kelt ($n=60$ fiskar) släppta i Altaälven vandrade genom ett 30 km långt fjordavschnitt på i genomsnitt 33 timmar (0,25 m/s). Kelts från samma lokal vandrade inte i grupp (Halttunen *et al.* 2009). I Grandy-Rashap (2014) vandrade kelt nedströms från Björksele till Norrfors, en sträcka på ca 190 km, på i genomsnitt 84 timmar vilket ger en simhastighet på ca 0,63 m/s. Vilken tid på säsongen kelt väljer för nedströmsvandring tycks variera inom och mellan populationer och Halttunen (2011) diskuterade den enskilda individens närings/energi status som en orsak till detta. Normalt sker nedvandringen under två distinkta perioder, hösten efter lek eller på våren (Jonsson *et al.* 1990b, Halttunen 2011) även om en nästan kontinuerlig nedströmsvandring från oktober till april också observerats (Jonsson *et al.* 1990a). Det är uppenbart att det finns stor mellanårsvariation när i tiden kelt väljer att vandra nedströms i samma vattendrag.

Calles *et al.* (2012) utvärderade nedströmsvandringen hos kelt av lax i Ätran i sydvästra Sverige och visade hur sex kelt märkta 2007 passerade genom ett överdämt område reglerat via en mindre dammbyggnad med avsikt att styra fisken från kraftverkens vattenintag. Fisken vandrade i deras fall under våren när vattentemperaturen gradvis ökade från 8 °C i mitten av april till 14 °C i slutet av maj. De noterade att kelt simmade fram och tillbaka mellan två kraftverksbyggnader och sökte en passage nedströms. Endast 33% (två av sex fiskar) lyckades fullfölja nedströmsvandringen. De andra fyra fiskarna klarade sig inte och återfanns döda på intagsgrindarna till kraftstationerna. I Emån, Sverige, använde laxfisken de naturliga fiskvägarna för uppströmsvandringen och även en del kelt använde dessa för sin nedströmsvandring även om de flesta nedströmsvandrande fiskarna passerade via ytspill från utskov nära turbinintagen (Calles & Greenberg 2005; Calles & Greenberg 2009).

Olika radiomärkningsförsök med aktiva (radiotelemetri) och passiva (PIT-tag) sändare har utförts på smolt och kelt av Atlantlax vid två dammar i Exploits river i Newfoundland (Kanada) under 1990-talet (Scruton *et al.* 2002, Scruton *et al.* 2005, Scruton *et al.* 2007, Scruton *et al.* 2008). Vid Grand Falls-Windsor dammen installerades en Louver-avledare (avledare med vertikal gallerstruktur) i kraftverkskanalen. Här har flera försök genomförts för att nedströmsvandrande fisk (smolt och kelt) skulle undgå att hamna i intagskanalen till

kraftverket (fallhöjd c 21 meter samt Francis turbiner). Efter ett flertal förändringar av den hydrauliska utformningen av systemet till Louver-avledaren kunde man slutligen visa (1999) att avledningen av den kelt som anlände till kraftstationens vattenintag fungerade och att FGE (*Fish Guidance Efficiency*) uppgick till 92.3 % (95 av 103 fiskar överlevde passagen) (Scruton *et al.* 2007), medan kelt som passerade turbinerna inte överlevde.

4.4 Öring (*Salmo trutta*)

Överlevnaden från lek till utvandring hos havsöring varierar mellan olika undersökningar, från 58 % (Calles & Greenberg 2009) till ca. 80 % (Östergren & Rivinoja 2008). Bendall *et al.* (2005) visade på att c. 62 % av den havsvandrande öringen i River Fowey (SW England) överlevde leken och vandrade till havet. De skattade öringens överlevnad i havsfasen till minst 18 %. Sannolikt har havsöringen hög överlevnad efter leken jämfört med laxen och Harris (2006) menade att det var viktigt att i bevarandebiologiskt syfte, med tanke på svaga öringstammar på många håll i England och Wales, att fisket på överlevande kelt skulle vara stängt efter lekperioden så att de fick återhämta sig och vandra till havet. Det har varit svårt att finna siffror på andelen andragångslekare för olika havsöringsbestånd men det bedöms att minst ca. 5-8 % av lekfisken hos Torneälvens havsöring var andragångslekare eller hade lekt tidigare (Atso Romakkaniemi, pers comm., Luke, Finland). Liknande intressanta observationer visade också Lamond (1916) hos havsvandrande öring i Loch Lomond området och menade att deras överlevnad efter leken var mycket hög. Han visade att öring som lekte i biflöden till Loch Lomond kunde repetera leken årligen under fyra till fem år. Den observerade toppnoteringen vid en internationell jämförelse var en havsöring från "river Osen", Norge, som lekt årligen under sju år (Lamond 1916). Att öring kan leka flera gånger under sin livstid är i och för sig inte anmärkningsvärt då man noterat att individuella fiskar kan nå en aktningsvärd ålder över 30 år, med en nyligen observerad toppnotering på 33 år (Kraabøl, *et al.* 2013).

Svärdson (1966) rapporterade att majoriteten av kelten vandrade ut vid lågt vattenstånd och högre temperatur under hösten jämfört med våren medan Jonsson & Jonsson (2011) menade att havsöring gärna övervintrar i älvarna och i huvudsak återvandrar till havet under våren. Detta senare säsongsbeteendet överensstämmer väl med det Östergren & Rivinoja (2008) visade för havsvandrande öring i Vindelälven och Piteälven. Kraabøl *et al.* (2009a,b) rapporterade liknade överlevnadssiffror för kelt av sjölevande öring som anlände till Hunderfossen's damm, då 62 och 44 % av den radiomärkta öringen som vandrade nedströms efter leken år 1993 och 1997 överlevt. Östergren & Rivinoja (2008) radiomärkte 2003-2004 vuxen uppströmsvandrande öring när de passerade fisktrapporna i Norrfors (Umeälven) och Sikfors (Piteälven) i norra Sverige. De följde 43 och 15 radiomärkta lekvandrande individer till sina lekområden i respektive avrinningsområde. Efter höstens lek och följande vår spårades kelten till dammarna nedströms och visade att ändringen i

vattentemperatur var den "trigger" som initierade vandringen till havet. Keltens nedströmsvandring inföll när vattentemperaturen nådde 6 °C (Vindelälven) och 4 °C (Piteälven) och var inte korrelerad med ett ökat vattenflöde. Medeltemperaturen när fisken anlände till Stornorrfors kraftstation var ca. 10 °C och vid Sikfors damm ca. 5 °C. I genomsnitt fördröjdes keltens passage av Stornorrfors kraftstation 17 dagar och vid Sikfors damm/kraftstation var fördröjningen drygt 5 dagar.

Då inget ytvattenspill fanns vid Norrfors damm utan endast vid dammen i Sikfors 2005 kan avsaknaden av denna typ av spill i Norrfors damm/kraftstation ha medfört den långa fördröjningen. I båda älvarna passerade huvuddelen av vattnet via kraftverken så förväntningarna var också att majoriteten av fisken skulle lockas mot stationernas turbinintag. Då fisken hade problem att passera den vägen uppstod fördröjningar i vandringen. Den totala överlevnaden för kelt som passerade Stornorrfors kraftstation under 2005 var 31%, medan kelt som passerade Sikfors damm hade en överlevnad på 75%. Calles *et al.* (2013) rapporterade också om problematiken kring avledning och skador på nedströmsvandrande fisk efter kraftverkspassage men utelämnade mycket av den biologiska bakgrunden för vad som händer med t.ex. öring och lax efter lek. De bedömde också att det var tekniskt möjligt att bygga fungerande avledningsstrukturer för att hjälpa nedströmsvandrande kelt förbi kraftverk även om det inte praktiserats i full skala i något större vattendrag.

Under 1993 och 1997 radiomärktes 41 vuxna öringar (storlek: 60-90 cm) som senare följdes på sin vandring mot lekområden ovanför Hunderfossen kraftstation i Gudbrandsdalslågen i sydöstra Norge (Kraabøl *et al.* 2008 och Arnekleiv *et al.* 2007). Dessutom observerades 48 omärkta kelt visuellt när de passerade genom utskovsluckor vid kraftstationen under 1999. Den radiomärkta nedströmsvandrande kelt spårades när de närmade sig och passerade ytutskovet vid Hunderfossen's kraftstation. År 1994 nedströmsvandrade kelt vid vattentemperaturer mellan 8-10 °C medan vattentemperaturen 1998 varierade från 7 till 13 °C. År 1994 varierade spillvattenmängden kraftigt mellan spillperioder; 350 och 463 m³/s under den första perioden, 94 och 337 m³/s under den andra, och mellan 4 och 273 m³/s under tredje perioden. Under 1998 och 1999 gjordes också ytvattenspill via isluckor kombinerat med spill via normala ytvattenluckor. Honor av överlevande leköring började nedströmsvandringen tidigare än hanarna och var mer benägna att passera dammen under hösten. Av den kelt som passerade genom utskoven följande vår (n=35), simmade 18 fiskar (51 %) ned genom utskovet under det första släppet av spillvatten tidigt på våren och 17 (49 %) vandrade nedströms under senare spillvattensläpp i början av sommaren. Det framgår inte av Kraabøl *et al.* (2008) om det fanns skillnader i passage på grund av ytspill jämfört med de normala spillvägarna. Baserat på Arnekleiv *et al.* (2007) tycks vattenspill genom isutskovet var den primära passagevägen under alla år. Den vattenvolym som släpptes via is/skräputskovet varierade från 1 till 25 m³/s. Kelt passerade inte is/skräputskovet innan spillvattenmängden nådde 4 m³/s. Vid

detta tröskelvärde, passerade 39% av kelten i utskovsområdet medan 100 % av kelten passerade området via utskovet redan vid 25 m³/s. Det är viktigt att notera att de flesta fiskarna passerade då marginalen på 4 m³/s uppnåts. I den sammanfattande studien av Kraabøl (2009b) anges att isluckans ytspill fungerade bäst då kraftverkets två turbinstationer tog huvuddelen av vattnet om vardera 150 m³/s. Författarna rekommenderade längre perioder av spill för att säkerställa att fisken kunde passera utskoven under både höst och vår.

Calles & Greenberg (2009) radiomärkte under 2003-2004 lekvandrande vuxen öring i Emån i sydöstra Sverige innan de passerade två uppströmsliggande dammområden. Efter leken kunde de följa cirka 58% av kelten som migrerade tillbaka nedströms. Av dessa fiskar vandrade 28% nedströms på hösten efter leken medan resterande fiskar (72%) vandrade nedströms följande vår. Vattentemperaturen vid tidpunkten för vandringen under både höst och vår var ungefär 10 °C. De fann att kelt som vandrade under våren hade svårt att hitta de naturliga fiskvägarna när andra vandringsvägar inte var tillgängliga. Kelten passerade i huvudsak genom spillgrindar och "trash chute" eftersom de var för stora för att passera genom gallergrindarna vid turbinintagen. Medan Calles & Greenberg (2009) observerade problem för kelt att passera dammområdet hade deras studie för få radiomärkta fiskar för att kunna utvärdera betydelsen av keltöverlevnaden på stammens populationstillväxt. Via utvärdering av fjällprovsdata från dessa veteranfiskar kunde keltens årliga tillväxttakt bestämmas och de drog slutsatsen att många fiskar måste ha kommit till havet trots observerade problem och fördröjningar att ta sig nedströms.

Under 2007 radiomärkte Calles *et al.* (2012) 14 havsvandrande öringkelt i Ätran och studerade dess beteende och passageframgång vid två kraftverk. De kunde visa att öringen på samma sätt som märkt atlantlax simmade fram och tillbaka mellan två närliggande kraftverk och sökte en passage för att ta sig nedströms, alltså ett liknande beteende som Arnekleiv *et al.* (2007) noterade i Norge där kelt sökte vägar i ett, som han kallade det, "milling behaviour". Medan passageframgången var högre för öringen (58 %) jämfört med laxen (33 %) för den fisk som klarade sig nedströms, tog det i medeltal ca sju dagar att hitta vandringsvägen nedströms. I medeltal simmade den märkta fisken mellan kraftstationerna ungefär sex gånger.

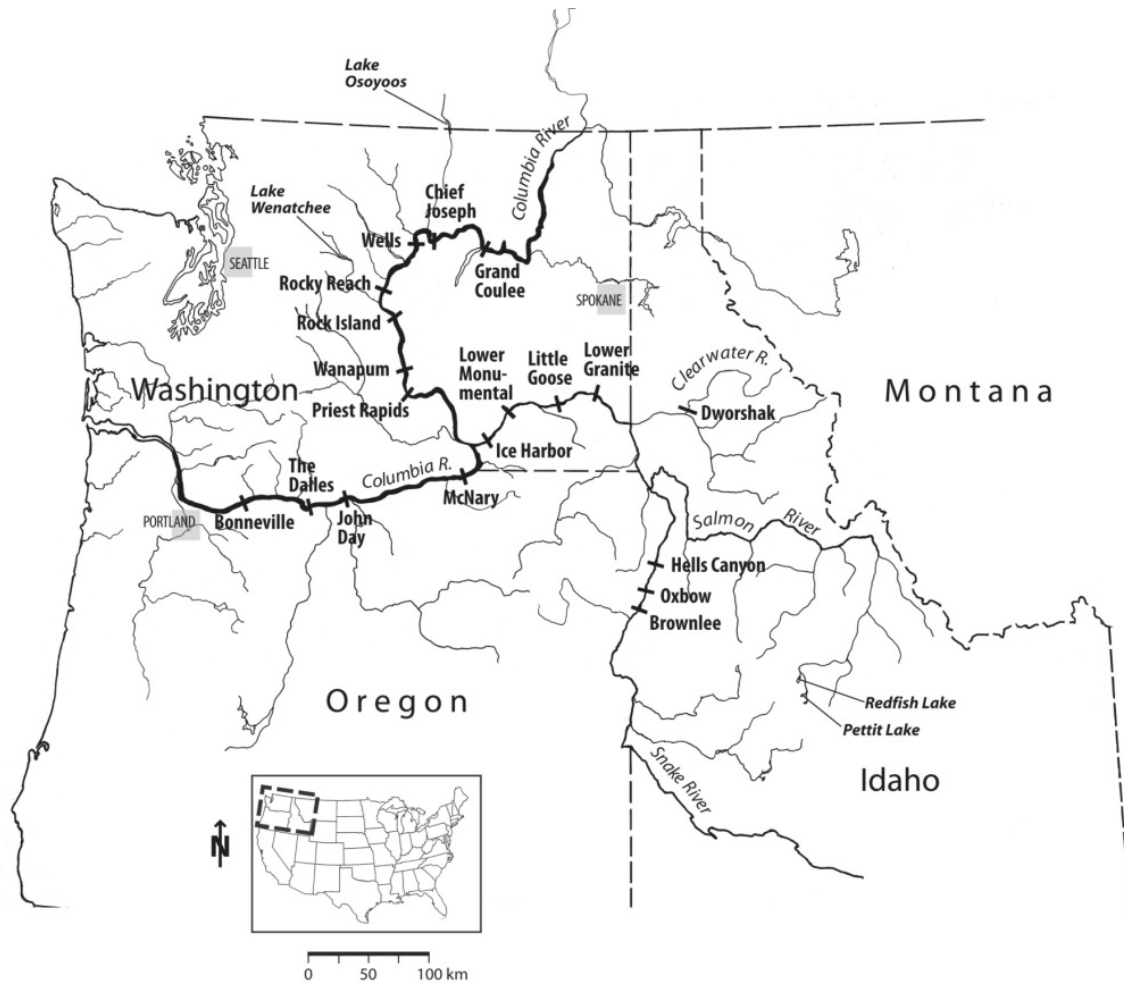
4.5 Steelhead (*Oncorhynchus mykiss*)

Enligt nordamerikansk litteratur har utvärderingar av hur Steelhead kelt passerar kraftverksdammar bara skett i Columbiaflodens avrinningsområde. Så sent som 1997 övervägdes inte ens att utvärdera hur, var och när samt antal steelhead kelt som passerade de installerade passagesystem som byggts i Columbiafloden för att hjälpa nedströmsvandrande lax (Whitney *et al.* 1997). Få studier i Columbiafloden anger överlevnaden från lek till utvandring samt proportionen andragångslekare i detta stora

avrinningsområde. Vid en analys av steelhead kelt i Snake River och längre nedströms i Columbiafloden (Keefer *et al.* 2008a) bedömdes dock könsmognadsstatus och förekomst av upprepad lek för steelhead. Proportionen av fisk som repeterar leken i olika steelhead populationer verkar variera från cirka 3-30% beroende på i vilka vattenområden de växt upp (Evans *et al.* 2001, Hatch *et al.* 2004, Keefer *et al.* 2008b, Narum *et al.* 2008, Khan *et al.* 2013).

Data i Keefer *et al.* (2008a) baserades på fisk märkta med PIT-tags som ungfisk för att kunna avgöra uppväxtområdet för frisläppning och nyttjande av bildanalys (ultraljud) av vuxna som samlats in från nedströms liggande bypass-system (fisk som avletts från turbinintag genom olika typer av skärmar) 2001, 2002 och 2004. Bland kelt av steelhead dominerade honfisk (> 80 %) och majoriteten var av vilt ursprung. Proportionen andragångslekare utgjorde ca 2,9-9 % av alla återvandrande lekfisk till Bonneville Dam från nedre Columbiafloden, men endast 0,5-1,2 % för de som hade sitt ursprung i Snake River.

De senaste tio åren har det lagts ned mycket pengar på att utreda om steelhead kelt i Columbiafloden kan fångas och senare rekonditioneras så denna viktiga föräldrakomponent inte förloras i de många steelhead bestånd i avrinningsområdet (Evans *et al.* 2001, Hatch *et al.* 2004, Branstetter *et al.* 2006, Hatch *et al.* 2013). Nedan sammanfattas viktiga case-studier för kraftverkspassage av steelhead kelt märkta med olika metoder och återutsatta i olika biflöden i Snake River's delavrinningsområde i Columbiafloden. Kelt som senare ska passera nedströms åtta dammkomplex med olika avledningsanordningar i nedre Snake river och Columbiafloden ([Figur 1](#)). Kelt kan här observeras eller upptäckas vid dammarna så långt nedströms som till Portland, Oregon.



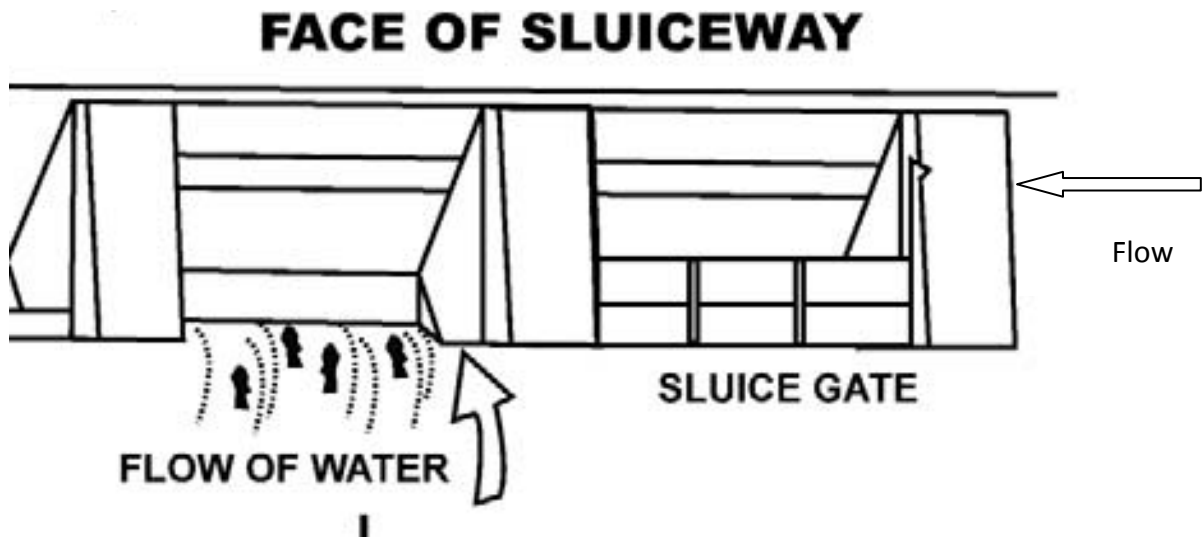
Figur 1. Karta över Columbiaflodens avrinningsområde visande dammanläggningar och kraftverk i huvudfåran.

År 2000 genomförde Evans *et al.* (2004) den första moderna forskningen för att identifiera kelt av steelhead vid dammanläggningar i Columbiaflodens avrinningsområde. De samplade cirka 1350 av 3968 Steelhead under en 10-veckors period från början av april till mitten av juni som hade vägletts av skärmar placerade i turbinintagen i de bypass system som byggts för nedströmsvandrande smolt i Lower Granit Dam. Vattentemperaturen under denna period varierade från ca 11-14 °C. Genom att använda ultraljudsmetoder uppskattades att 94% av alla aduler av steelhead var kelts. Ungefär 50 % av alla kelt som infångades bedömdes också vara vilda. Baserat på det totala antalet vilda steelhead som naturligt passerade uppströms Lower Granit Dam 1999 bedömdes att dessa kelt representerade 17 % av den vilda lekpopulationen. Det gjordes ingen uppskattning av hur stor procentandel kelt som stoppades av skärmarna vid turbinintagen respektive passerade nedströms.

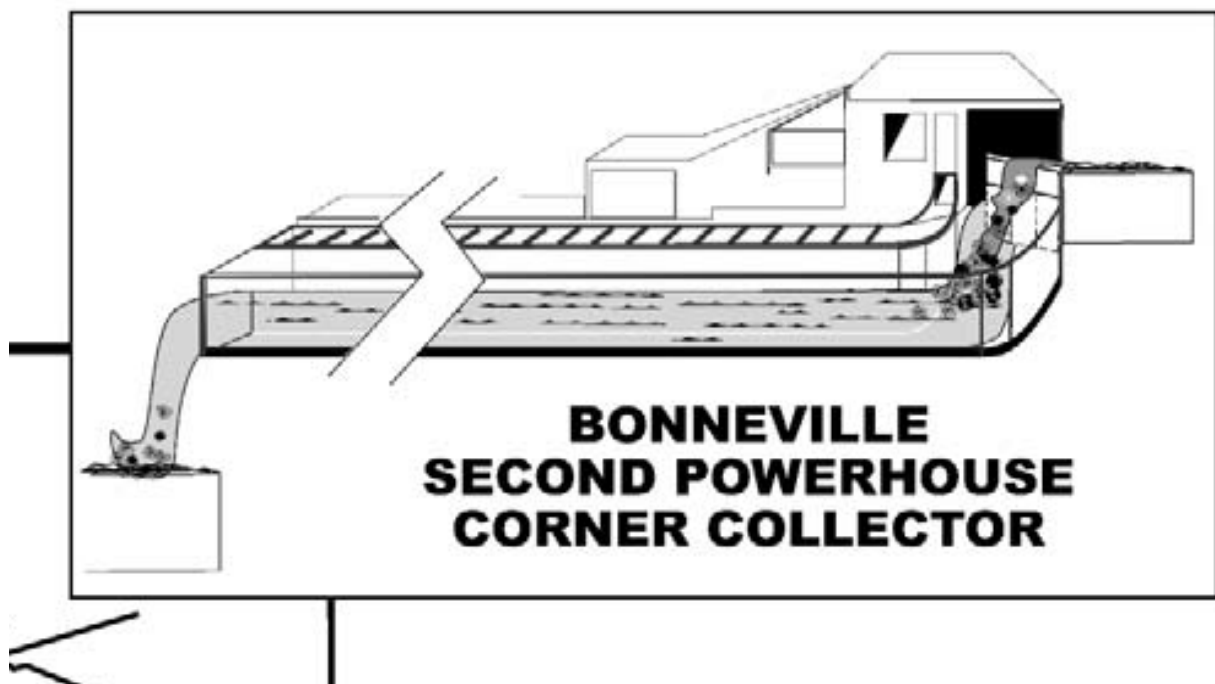
År 2001 påbörjades radiotelemetrisk studier på steelhead kelt (Wertheimer & Evans, 2005). Havsvandrande kelt radiomärktes och frisläpptes från juvenila bypass anläggningar installerade vid Lower Granit Dam i Snake River och vid dammarna i McNary och John Day i nedre Columbiafloden. Antenner placerades nära Portland, Oregon (ca 75 km nedströms Bonneville Dam) för att upptäcka märkt fisk som simmade utanför kraftverken. Märkt fisk som dött i kraftverket skulle inte kunna förflytta sig 75 km nedströms. Kelt passerade generellt dammen via utskov och olika passager med vattentappning där minst 90 % av kelten simmat under perioder av spill utan att passera turbinerna. Installation av skärmsystem i dammarna vägledde 47,2% av kelten från turbinintagen under perioder då det inte förekom spill. Författarna antog hög turbindödighet för vandringsfisken då många älvsvandrande kelt tvingades passera ett stort antal dammar. Passageöverlevnaden för kelt från Lower Granit Dam till Portland var endast 4,1% vid lågt flöde år 2001 då en liten mängd vatten spilldes genom dammarna och 15,6% vid högre flöde och högre spill år 2002. Under åren 2001-2002 fanns inget ytvattenspill utan spillet reglerades via sk "tainter-gates" med bottenöppningar för spillvatten på ca. 10 meters djup. Flödet varierade under båda åren mellan april till maj, först med låg tillströmning, når en topp i maj månad (Snake River) och i juni (nedre Columbia floden) och avtar därefter. Spillet syftade framförallt till att styra laxsmolt till passage av dammbyggnaderna och gavs i huvudsak under dygnets mörka timmar då nedströmsvandringen var som mest aktiv. Med introduktionen av nya ytspillenheter vid dammarna kan det idag ges mer spillvatten också under dagtid för att attrahera nedströmsvandrande smolt till viktiga ytspillområden. Under 2001 var medelflödet i "Snake River" (Ice Harbor till nedre Lower Granite dammen) ca. 1 400 m³/s (min-max 840- 2 250 m³/s) och i nedre delen av Columbia floden (Bonneville till McNary damm) ca. 3 650 m³/s (min-max 2 800 – 4 500 m³/s). Detta år var ett lågflödesår och det spilldes egentligen marginellt i nedre delen av "Snake River". I nedre delen av Columbia floden var medelspillet per dag (den andel vatten som spills som en procentdel av det dagliga flödet) mellan 14 maj och 15 juni följande: McNary Damm – 6%, John Day Damm – 15%, The Dalles Damm – 30%, and Bonneville Dam med fluktuationer mellan 30-40%. Under 2002 var medelflödet i "Snake River" (Ice Harbor till Lower Granite dammen) ca. 2 500 m³/s (min-max 1 685- 3 375 m³/s) och i nedre delen Columbia floden (Bonneville till McNary damm var ca. 7 500 m³/s (min-max 5 600 – 9 830 m³/s). Spillet gavs vid de flesta dammar från tidigt i april till slutet av juni men begränsades om gasövermättnaden blev för hög. Spillet vid Lower Granite damm fluktuerade mellan 20-70 % av det totala flödet (medel ca. 35%). Spillet vid "Little Goose" damm fluktuerade mellan 20-70 % av totalflödet (medel nivå ca. 40%) medan spillet över "Lower Monumental" dammen var lågt. Spillförhållandet vid "Ice Harbor" var omkring 70 % av flödet medan det dagliga medelspillet i nedre Columbia floden (april-Juni) var följande: "McNary" damm – fluktuerade mellan 30 till 50%, "John Day" damm fluktuerade mellan 20-35%, "Dalles Dam" (stabil och ca 40%) medan det i "Bonneville" damm fluktuerade mellan 40-65 % (median 50 %). Även om telemetrisk studier indikerade att flest fiskar passerade dammarna (via "tainter gates" eller "leaf gates") vid spillförhållanden var spillet

uppenbarligen inte tillräckligt för att säkerställa hög överlevnad för nedströmsvandrare från Snake River. Spillet var, som nämnts tidigare, inte "overflow" spill utan detta kom först under 2008 när nya ytvattenspillenheter installerades och testades med mer naturligt ytvattenspill. Överlevnaden hos kelt släppta under 2001 och 2002 i nedre delen av Columbiafloden, från McNary Dam till Portland (totalt tre kraftverk och ca. 300 km nedströms), var 59,6% respektive 62,3%. Från John Day Dam till Portland (totalt 2 kraftverk och ca 200 km nedströms), var keltöverlevnaden 63,6% och 80,0% under 2001 och 2002.

Under 2002 och 2004, radiomärkte Wertheimer (2007) steelhead kelt vid dammen i John Day (ca. 100 km uppströms Bonneville Dam) för att utvärdera hur kelt passerade dammen i Bonneville. Han fann att fördelningen av kelt genom olika områden strax uppströms Bonneville Dam var korrelerad med flödet. Den procentuella flödesvolymen genom Bonneville's första kraftverk, genom spillområdet och genom Bonneville's andra kraftverk hade ungefär följande fördelning 5, 28, och 66 %. De beräknade procentsatserna av kelt genom dessa tre områden visade ungefär samma fördelning motsvarande de procentuella flödesvolymerna. Intressant nog så passerade ungefär 90 % av alla kelt inte via turbinintag utan följde spillvattensläpp i resp område. Den avledningsstruktur som installerats i Bonneville's första kraftverk var inte effektiv för avledning av fisk då det befintliga ytvattenbaserade bypasssystemet fungerade så bra att den ytorienterade fisken följde med spillvattnet. Fiskar djupt i vattnet lockades inte till ytan och var ofta positionerade så djupt att de kunde simma under skärmarna till turbinintaget. Wertheimer (2007) definierade fiskens passageeffektivitet genom icke-turbinvägar som den andel av den totala mängden kelt som passerar Bonneville Dam per område (kraftverk eller spill) jämfört med andelen vatten som rann genom hela detta område. Den högsta effektiviteten, dvs. stor andel passerande fisk, uppnåddes vid flödesförhållanden kring 20:1 och 70:1 under 2002 och 2004 på Bonneville första kraftverk där ett litet ytvattenflöde strömmade genom en sluss ([Figur 2](#)) jämfört med turbinflödet. Den totala andelen kelts som anlände till Bonneville's första kraftverk och passerade genom slussen var dock bara 4%. Den lägsta effektiviteten inträffade vid utskovet, 1,6:1 och 0,8:1 under 2002 och 2004. Via utskoven passerade 28% av flödet och 28% av fisken. Fiskar som anländer till utskovet har inga andra alternativ för passage om de inte simmar tillbaka uppströms för att söka en annan väg. Vid ett ytvattenspillområde (gamla is- och skräp utskovet) vid Bonneville's andra kraftverk, fanns en så kallad "hornuppsamlare" (eng. *corner collector*, eftersom den är lokaliserad på ett hörn av kraftverket, [figur 3](#)), som passerade 55% av kelt jämfört med den totala vattenmängd som motsvarade 66% av flödet genom turbinerna. Den övergripande effektiviteten av uppsamlaren som placerats i detta hörn var 16:1.



Figur 2. Konfiguration av ett typiskt ytvattenspill i ett is- och skräp utskov (sluice gate) vid vissa dammar i floderna Columbia River och Snake River.



Figur 3. Hörn uppsamlare på Bonneville Second Powerhouse.

Under 2007 och 2008, genomförde Weiland *et al.* (2009) ytterligare utvärderingar av "hörnuppsamlaren" i Bonneville's andra kraftverk med hydroakustisk teknik samt via en DIDSON™ räknare (*Dual frequency IDentification SONar*, bildanalys). I genomsnitt passerade fyra till sju fiskar i keltstorlek uppsamlaren varje dag under uppskattningsvis totalt 174 respektive 223 dagar under de två åren. Fisk observerades passera dammen från början av provtagningsperioden i början av mars till slutet av provtagningen i mitten av april. Under samma samplingsperioder passerade 16 respektive 5 vuxna steelhead genom det befintliga juvenila (smolt) insamlingssystemet (styrning via skärmar runt turbinintagen) samt att det också passerade 4 respektive 17 PIT-märkta fiskar som detekterades via PIT-läsare placerade i utloppet av hörnuppsamlaren. Detta tyder på en hög effektivitet hos hörnuppsamlaren. Fiskens vertikala fördelning under 2007 var något skev mot ytan, med högsta andel fisk (29 %) som passerade i ytläge (0,6-1,6 m) medan det i övriga djupintervall (1,5-3,0 m, 3,0-4,5 m, 4,5-6,0 m) passerade 21 %, 18 % respektive 22 % för att i den djupaste delen (6-7,5 m) passera 9 % av fisken i de fem djupskikt som analyserades. Under 2008 var andelen passerande fisk i djupintervallet något avvikande jämfört med 2007. Här passerade omkring 14 % av fisken i intervallet 0,9-1,5 m, 22 % i djup mellan 1,5- 3 m medan flest fisk (43 %) passerade i intervallet 3,0-4,5 m och slutligen c 21 % passerande fisk på djup mellan 4.5-6.0 m. Vid botten på 6,0-7,5 m djup passerade ingen fisk av alla djupskikt som analyserades. Av de 172 kelt som observerades via DIDSON™ kameran hade 83 passerat via hörnuppsamlaren medan de resterande 89 fiskarna som noterades simma mot hörnuppsamlaren vände tillbaks uppströms. Det fanns ingen möjlighet att följa den senare gruppens simrörelser uppströms vilket innebär att det inte är känt om en del av dessa fiskar var desamma som senare registrerades för passage via hörnuppsamlaren. Den DIDSON™ bildanalys som genomfördes visade att hög strömhastighet framför hörnuppsamlaren gjorde att kelten reagerade genom att snabbt gå in i uppsamlaren eller snabbt simma därifrån. När vattenhastigheten vid ytan nått ett tröskelvärde på 1,3 m/sek, började fisken undvika hörnuppsamlaren och detta blev mer uppenbart vid strömhastigheter upp mot 3 m/sek.

Mellan åren 2008-2010 genomförde Khan *et al.* (2013) utvärderingar av hur hydroakustiskt märkt steelhead kelt passerade genom spillöppningarna (*sluice way gates*) på "The Dalles Dam" och jämförde deras rörelser med fisk som passerade via turbinerna. "The Dalles Dam" har 22 turbiner med 3 spillöppningar (*gatewells*) vid varje turbin. Ovan varje "gatewell" finns en slussöppning och 1 till 2 av dessa "gates" är öppna och koncentrerar lockvattenflödet. Över hela samplingsperioden varierade spillflödet kring 115 m³/s. Spillet vid "The Dalles" är justerat till omkring 40 % av det totala flödet då undersökningar visat att detta gav optimala betingelser för fiskpassage genom dammöppningarna och spillvägarna med en "minimal" flödesvolym. Av den anledningen varierar kvoten mellan turbinvattenföringen och spillvattenvolymen med totalflödet. Flödet under 2008-2010 (under perioden 15 april- 15 maj) varierade mellan ca. 4 200 till 7 200 m³/s. Detta innebar att flödet genom kraftstationen varierade mellan 2 520 till 4 320 m³/s med ett procentuellt flöde genom spillvägarna på mellan 4.5- 2.6 %. Sammanfattningsvis, vid en jämförelse av

fiskobservationer i vatten som gick via spill och i vatten via turbinerna observerades att 91-99 % av alla kelt passerade via ytutskovet.

Vid en annan studie med hydroakustisk teknik (DIDSON) kunde rörelserna hos steelhead kelt under vintern 2010-2011 följas via bildanalys vid dammen i McNary för att utvärdera passage av kelt genom turbinerna under förhållanden utan spill (det förmodade grundtillstånd) och under vissa villkor med oväntade tvångspill (Ham *et al.* 2012). Det typiska vinterdriftförhållandet i McNary inkluderar inte spill och avledningsstrukturerna i turbinintaget är bortplockade för underhåll samtidigt som fisktrapporna för lekvandrande fisk är tagna ur drift. Som ett resultat av detta är vattenvägen via turbinerna den enda möjliga passervägen för kelt som vill söka sig nedströms. Med hydroakustisk teknik kunde man skatta antalet passerande kelt till 1419 individer. Utan spill skulle den siffran varit högre. Fisk observerades simma nära taket vid turbinintaget vilket visade att om avledningsstrukturerna varit på plats så hade dessa skärmar haft goda möjligheter att vägleda fisken förbi turbinintaget.

Under 2012 gjordes en omfattande studie av hur akustiskt märkt steelhead kelt passerade genom nedre delen av Snake och Columbiaflodernas vattenkraftskomplex med befintlig infrastruktur för läsning av märkt fisk, dvs. juvenila och akustiska telemetrisystem (JSAT) avsedda för utvärdering av hur laxsmolt passerar genom de dammar som finns i den nedre delen av Snake och Columbiafloden ända ned till mynningen av Columbia floden (Colotelo *et al.* 2013). Akustisk telemetri är en teknik som via ljudsignaler möjliggör positionering av sändare (i fisken) inom ett system av mottagare (hydrofoner). Kelt avleds av avledningsstrukturer (skärmar) förbi turbinintagen till sk. nedströms bypasssystem förbi dammarna i nedre delen av Snake och Columbia floden men fångas också i fällor på utvalda platser inom biflödet Snake's avrinningsområde uppströms dammen i Lower Granit. För studien var JSAT'S akustiska sändare inopererade i maghålan hos kelten. Den märkta fisken detekterades via en serie av JSAT's automatiskt länkade antenner i olika områden placerade i de lägre delarna av Snake och Columbia floden (mellan 86 km och 743 km från mynningen). Detektering av märkt fisk på olika sammankopplade mottagare ger möjlighet till tredimensionell spårning av fisk när de närmar sig dammarna och det går att fastställa vilka utvandringvägar de väljer vid passage. Dessutom kan tidsåtgången för olika delsträckor som fisken valt beräknas, t.ex. förfluten tid från det överdämda området uppströms dammen ned till dammbyggnaden, från dammen till turbinutloppet samt fiskens totala passertid genom hela området av dammar. Detta analyserades för varje kelt och med hjälp av akustiska telemetridata från området uppströms dammen, simbeteende vid och genom dammen till spillvattenkanalens slut kunde man presentera data på den mediantid fisken spenderat i de olika områdena. För att studera beteende runt avledare används alltså ett modernt högupplöst telemetrisystem specifikt utvecklat för studier av fiskvandring runt kraftverk. Systemet tillåter positionering av fisk i 3-dimensioner med upp till 20 cm precision i xyz-led. Upp till 100 fiskar samtidigt kan positioneras varje sekund. Systemet är numera väletablerat

och används med stor framgång inom förvaltning och forskning i utbyggda Nordamerikanska älvar, och har revolutionerat förståelsen av hur fisk rör sig runt kraftverksstrukturer som turbinintag och fisktrappor. (För ett exempel på hur data från systemet använts för att visualisera beteende runt kraftverk i Colombiafloden USA, se:

<https://www.youtube.com/watch?v=cwJ8WhxsyU>). Akustisk telemetri kan alltså användas för att inhämta kunskap om flergångslekarnas beteende under utvandring men också för utvärdering av de åtgärder kring kraftverken som ska hjälpa fisken nedströms.

Den akustiskt märkta kelten av steelhead i den nämnda undersökningen passerade oftast via dammens spillvattenvägar ("*spillway weirs*" (spillvattenfördämningar eller traditionella spill)). Utskovens fördämningar användes av majoriteten av kelt i Snake River, medan de flesta kelten i nedre Columbiafloden passerade via traditionellt spill. Skattningen av överlevnaden hos passerande kelt var högst för fisk som passerade genom spillvattenfördämningar på dammarna i Little Goose (0,967; SE = 0,014) och John Day (0,986; SE = 0,014) och genom traditionella spill på Lower Granit där ett breddat utskov är tillgänglig för passage (0,906; SE = 0,052) och vid dammen i The Dalles där ett vattenutskov på dammen inte finns (0,941; SE = 0,020). Vatten som passerar via överspillsområden installerade i traditionella spillvägar faller i riktning nedanför luckorna och bildar därefter utloppsflödet. Fallhöjden vid de flesta dammar i Columbia floden och "Snake" river är maximalt ca. 30 meter, medan Bonneville damm är ca. 15-19 meter. Detta innebär att det maximala fallet kelt får vid passage av en ytvattenspillväg, och med den nya typen av spillöverfall som installerats vid 1-2 platser per damm, är mindre än 30 meter. Fisk som passerar genom normalt spill (under en "tainter" eller "leaf gate" (bladgrind)) dyker ned ca. 10 meter för att passera spillöppningen så fallet för dessa fiskar blir alltså mindre än 20 meter.

Kelt som passerade genom det juvenila bypass-systemet (JBS) vid Nedre Monumental (McNary) och Bonneville dammar uppskattades ha den högsta överlevnaden jämfört med alla andra nedströmsvandringvägar (1,0; SE = 0,0); det var dock en väldigt låg andel kelt som passerade denna väg (2,2% - 6,9%). Procentandelen kelt som passerade via turbinintagen var också låg på samtliga dammar (1,5% -6,5%), och uppskattningsvis var överlevnaden i allmänhet lägre (0,500-0,875) jämfört med alla andra passager. Fallhöjden i meter för "Lower Granite" dammen var ca 30 m, "Dalles dam" ca 24 m, "McNary dam" ca 20 m och "Bonneville dam" ca 18 m, alltså distansen mellan vattenytan ovan dammen samt ytan nedanför dammen. För de två kelt som passerade genom Bonneville dammens turbinintag vid andra kraftverket var överlevnaden 1,0 (SE = 0,0). Dessa fiskar representerade dock endast 1,5% av de märkta kelt som passerade Bonneville Dam 2012.

Uppehållstiden i det överdämda området uppströms dammen samt utloppskanalen och keltens totala passagetider förbi damm/kraftverksområdet minskade generellt då den akustiskt märkta fisken simmade nedströms genom vattenkraftssystemet. Mediantiden för uppehållet ovan dammen var mindre än 1,5 timme vid alla dammar som ingår i denna

studie; den kortaste uppehållstiden (0,48 tim) observerades vid Bonneville dammen. Simhastigheten (km/dag) för fisk som passerade nedströms var i älvens övre del c. 31 km/dag (0,36 m/s) och i den nedre delen av älven ca. 88 km/dag (1,02 m/s). Medianhastigheten i nedströmsvandringen var märkbart lägre då kelt simmade genom de överdämda områdena uppströms dammarna (14,1- 99,3 km/dag, vilket motsvarar 0,16-1.15 m/s) medan simhastigheterna var högre när fisken förflyttade sig genom utloppskanalerna (60,0 till 182,2 km/dag, vilket motsvarar 0,7-2,1 m/s).

År 2013 genomfördes mer omfattande undersökningar med hjälp av akustiskt märkt fisk vid tre dammar i Snake River (Colotelo *et al.* 2014). Under undersökningsperioden passerade den största procentuella delen av allt älvsvatten (69,8%, 69,2%, samt 62,4%) genom kraftverken vid dammarna i Lower Granit, Little Goose, och Lower Monumental. En majoritet av passerande kelt vandrade genom spillvattenutskov vid alla dammar (71,0-79,9 %) trots att mindre än 13% av det totala flödet passerade via utskoven vid varje damm under utvandringsperioden.

5. Del II: Keltens nedströmsvandring och överlevnad i Ume-Vindelälven

I denna studie har vi bland annat använt oss av märkt fisk som passerat i den nya fisktrappan Vattenfall Vattenkraft AB färdigställde i Umeälvens nedre del 2010 (se Bilaga 1 och Bilaga 2 för detaljerad information) för att bl.a. samla information om och hur PIT-märkt vuxen lax rört sig i och genom fisktrappan. En s.k. ledarmsstruktur (*downstream guidance structure*) finns ansluten till den övre delen av fisktrappan för att hjälpa nedströmsvandrande lax och havsöring till havet. Denna ledarmsstruktur och funktion har rapporterats av Lundqvist *et al.* (2014) och vi ger här endast en kort beskrivning av hur infrastrukturen ser ut idag (Bilaga 2). Vi vill få ny kunskap för att förstå hur dessa ledarmar kan designas i en framtid för att få optimal funktion att avleda/styra fisk i önskad riktning. De utvärderingar som gjorts hittills av ledarmen i Stornorrfors har gällt nedströmsvandrande smolt. Dessa utvärderingar har hittills varit ofullständiga på grund av att höga flöden hindrat fångst och märkning av vild smolt för utvärdering under dessa flödesförhållanden då merparten av smolten tycks passera området. Ingen ordentlig utvärdering har gjorts för att undersöka ledarmens effektivitet för att avleda nedströmsvandrande kelt till fisktrappan. Avsaknaden av registrering av nedströmsvandrande PIT-märkt vuxen fisk, som märkts tidigare år som smolt eller vuxen, i fisktrappan under perioden 2012 till 2014 antyder att effektiviteten är låg. Det finns dock enstaka observationer av nedströmsvandrande kelt i fisktrappan (personlig kommentar Åke Forssén, Vattenfall Vattenkraft AB). Vi vet idag inte vad som gör att den vuxna laxen inte fångas upp och styrs av ledarmen till den relativt trygga väg som fisktrappan innebär, men en förklaring skulle kunna vara att kelten anländer innan fisktrappan öppnats för säsongen, dvs att merparten av kelten passerar före den 20 maj. Den undersökning som presenteras i

detta avsnitt syftar därför till att bedöma hur stor andel av lekbeståndet som överlever leken och ta fram kunskap om när i tiden kelt vandrar nedströms. Ytterligare en delstudie genomfördes där syftet var att undersöka överlevnaden hos akustiskt märkt lax i samband med passage via kraftverksturbinerna. Den studien presenteras i Bilaga 2.

Resultaten i detta avsnitt baseras på uppföljande analyser av 2012 och 2013 års radiomärkningar (Leonardsson *et al.* 2013) där vi i denna rapport följt uppströmsvandrande lax till sina lekområden i Vindelälven och efter leken spårat deras vandring nedströms. Våra huvudsakliga frågeställningar har varit:

- 1) Hur stor andel av laxarna överlever leken och vintern i Vindelälven?
- 2) När i tiden vandrar de tillbaka till havet?
- 3) Hur stor är keltens passageeffektivitet från Norrfors till havet?

5.1 Material och metoder

5.1.1 Beskrivning av märkt lax i studien

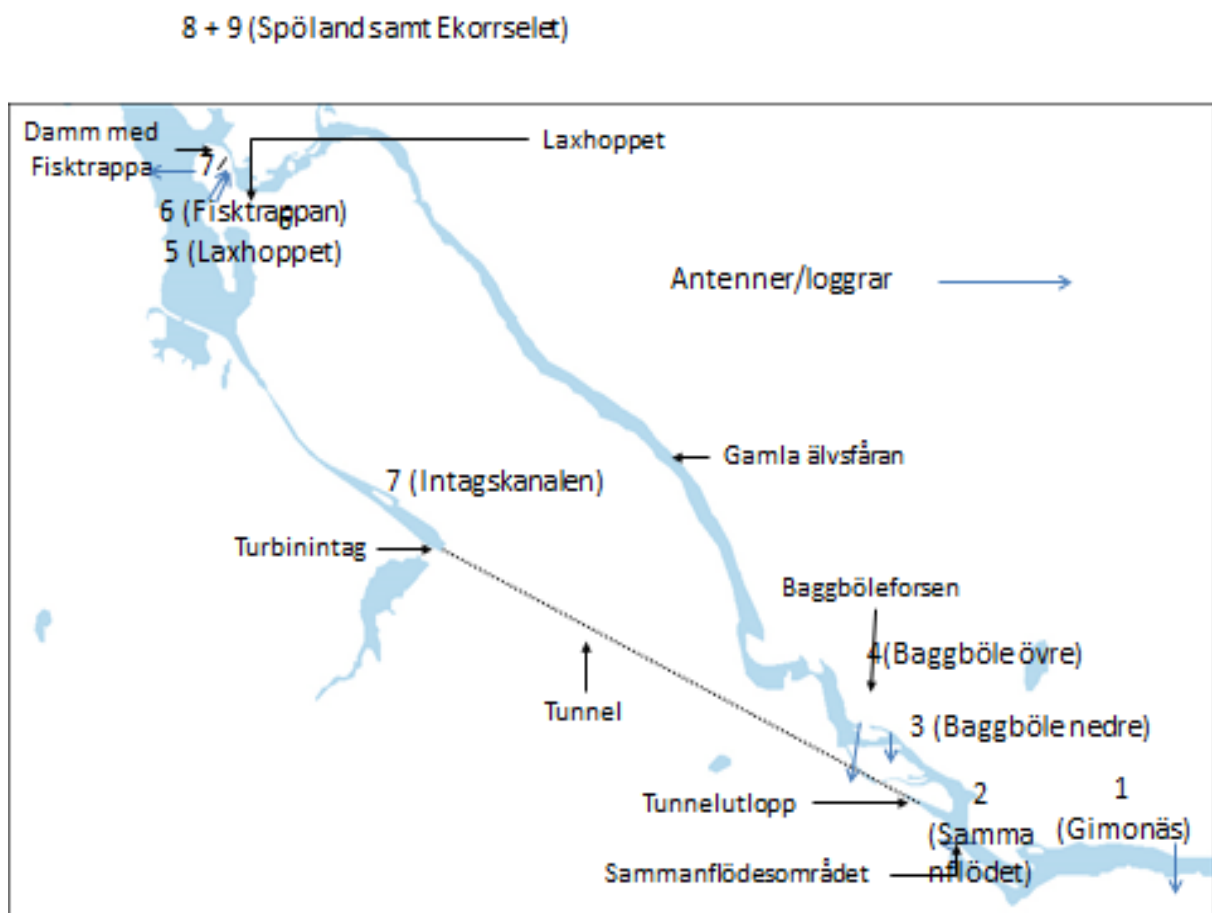
Detaljer kring detta märkningsförsök där vi följt fisken på dess väg mot lekområdena i Vindelälven återfinns i Leonardsson *et al.* (2013). Totalt passerade 78 av de radiomärkta laxarna fisktrappan under 2013. Tre av dessa laxar utgår då telemetrimärkena pejlsats eller återfunnits innan de registrerats i samband med nedströmsvandring efter leken. En av dessa tre laxar hade tappat radiosändaren nedströms dammen (Laxhoppet) innan passage av fisktrappan, en sändare hittades vid älvstranden i Vännfors 2014, och ytterligare en individ rapporterades spöfångad och avlivad i Gargnäs-Råstrand i september 2013. Återregistreringar av de 75 övriga individerna efter lek och fram till och med sommaren 2014 utgör underlag för analyserna i denna rapport.

Samtliga PIT-märkta laxar som registrerats i fisktrappan i samband med uppströmspassage (som vuxna) under 2012 och 2013 har inkluderats i analyserna, 2012 N=308; 2013 N=368. Märkesnumren för dessa individer matchades mot nedströmsregistreringar i fisktrappan åren efter uppvandring. Inga registreringar av dessa individer kunde påvisas i fisktrappan. Däremot registrerades en PIT-märkt individ för nedströmsvandring i fisktrappan 2014, men den individen släpptes som smolt (24.5 cm) 2013 och passerade fisktrappan uppströms samma år. Det är därför tveksamt om den individen kan klassas som kelt.

5.1.2 Logger- och antennpositioner samt analys av loggerdata

De laxar som radiomärktes 2013 studerades med hjälp av registreringar på fasta automatiska telemetriloggrar (NOAA samt ATS-4100) (Figur 4, Tabell 2). Loggern vid Björkudden

(fisktrappan övre) sattes ut i början av december 2013, vilket innebär att nedströmspasserande lax under oktober-november undgått registrering. I Grandy-Rashap (2014) studie vandrade ett flertal laxar nedströms förbi området vid fisktrappan (Björkudden) under perioden från slutet av oktober till mitten av december 2012. Loggrarna i Spöland och Gimonäs sattes ut i slutet av mars 2014 och de i kraftverkskanalen, Laxhoppet, sammanflödet och i Ekorrssele sattes ut i slutet av april 2014. Loggern i Baggböle sattes ut under senare delen av maj och ytterligare en logger placerades nära intagsgallret vid kraftverket i slutet av maj 2014.



Figur 4. Figuren visar positionerna med aktiva antenn- och loggerlokaler som användes för att följa den radiomärkta laxens upp- och nedvandring i Umeälven sommaren 2014.

Tabell 2. Beskrivning av antenner, luft respektive vatten, för var och en av de loggrar som användes under vintern 2013-2014 samt under våren-sommaren 2014.

<i>Lokal</i>	<i>Start datum</i>	<i>Antenn nr vatten</i>	<i>Antenn nr luft</i>
<i>Gimonäs</i>	<i>2014-03-27</i>		<i>1</i>
<i>Sammanflödet</i>	<i>2014-04-16</i>		<i>2</i>
<i>Baggböle nedre</i>	<i>2014-04-24</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Baggböle övre</i>		<i>2</i>	
<i>Laxhoppet</i>			<i>1</i>
<i>Diffusor</i>		<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Kammartrappan nedre</i>		<i>2</i>	
<i>Fisktrappan övre</i>	<i>2013-12-05</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Kraftverkskanalen</i>	<i>2014-04-22</i>		<i>1</i>
<i>Kraftverksintaget</i>	<i>2014-05-28</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Spöland</i>	<i>2014-03-27</i>		<i>1</i>
<i>Ekorresele</i>	<i>2014-04-24</i>		<i>1</i>

För att klassa en registrering som säker behöver sändarens signaler ha registrerats flera minuter i följd och med en signalstyrka som är betydligt högre än brusnivån. I många fall har klassningen varit enkel i och med att ovanstående kriterier varit uppfyllda samtidigt som signalerna gått in på de olika loggrar i den ordningsföljd man förväntar sig av en nedströmsvandrande fisk och med tidsintervall mellan registrering på de olika loggrar som stämmer överens med laxens simhastighet och vattnets strömhastighet. I några fall har dock registreringarna varit osäkra och i dessa fall har vi valt att göra analyser med och utan dessa osäkra registreringar, till exempel för beräkning av vinteröverlevnad och överlevnad i samband med kraftverkspassage. Olyckligtvis tycks mottagningsförhållandena i Umeregionen (sammanflödesområdet och Gimonäs) varit dåliga i månadsskiftet maj-juni, vilket innebär att radiomärkt kelt som passerade under den tiden har undgått registrering (Bilaga 2). Däremot tycks mottagningsförhållandena under den perioden varit godtagbara i området kring fisktrappan, vilket innebär att om radiomärkta laxar passerat med spill via utskovet borde de ha registrerats på loggen vid Laxhoppet.

5.1.3 Beräkning av passageframgång förbi Stornorrfors kraftverk

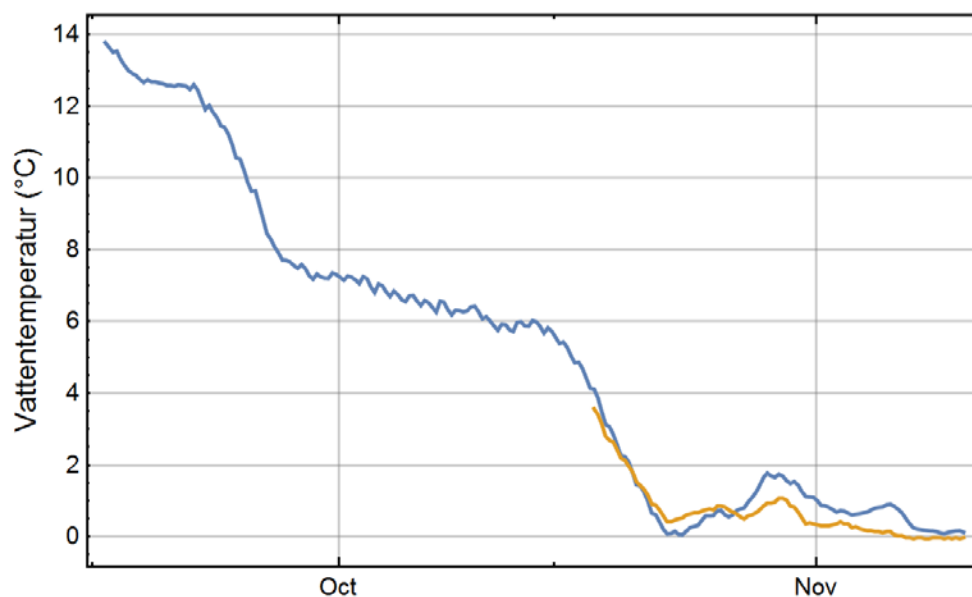
Den empiriskt skattade passageframgången, antalet kelt som tog sig ut i havet dividerat med antalet kelt som registrerades uppströms kraftverket, jämfördes med modellberäknad passageframgång. För modellberäkningarna användes den applikation som Leonardsson (2012) utvecklat för beräkning av fiskpassage förbi vattenkraftverk. Modellen var ursprungligen framtagen för ål, men den del av modellen som gäller överlevnad i samband med passage genom turbinen är inte artspezifisk. Däremot blir passageframgången genom intagsgallret felaktig om man applicerar ålmodellen på lax eftersom ål och lax har olika

bredd/längd-förhållanden. Detta åtgärdades genom att ta fram mått på laxarnas bredd/längd-förhållande och standardavvikelsen för denna kvot och använda dessa mått i stället för ålens bredd/längd-förhållande i modellen. Modellberäkningarna gjordes för inloppsflöden till turbinerna som låg mellan 50 och 100 % av de olika turbinernas maximala kapacitet, G1-G3 255 m³/s och G4 295 m³/s.

5.2 Resultat och diskussion

Under 2013 lekte laxen i Gargnäs-Råstrand området huvudsakligen under sista veckan i oktober och första veckan i november (Daniel Jonsson, pers. komm.). Uppgifter saknas om när laxarna lekte i Vindelområdet, men det torde varit under samma period.

Vattentemperaturen sjönk snabbt från 6 grader till nära noll grader på mindre än en vecka från mitten av oktober. Vattentemperaturen ökade sedan några grader, till mellan 1 och 2 grader, under sista veckan av oktober för att avta ner mot nära noll en vecka in i november (Figur 5).



Figur 5. Vattentemperatur under senhösten 2013 i Vindelälven vid Renforsen (blå linje) och vid Råstrand (röd linje).

5.2.1 Vinteröverlevnad och nedströmsvandring hos Kelt i Ume/Vindelälven

Det finns en viss osäkerhet i tolkningen av antal nedströmsregistrerad lax på grund av svårigheten att skilja några av registreringarna av kända sändarkoder från brus. Enligt vår bedömning är 25 av nedströmsregistreringarna säkra, men ytterligare två till fyra av registreringarna skulle kunna vara kelt snarare än brus. Det innebär att vinteröverlevnaden

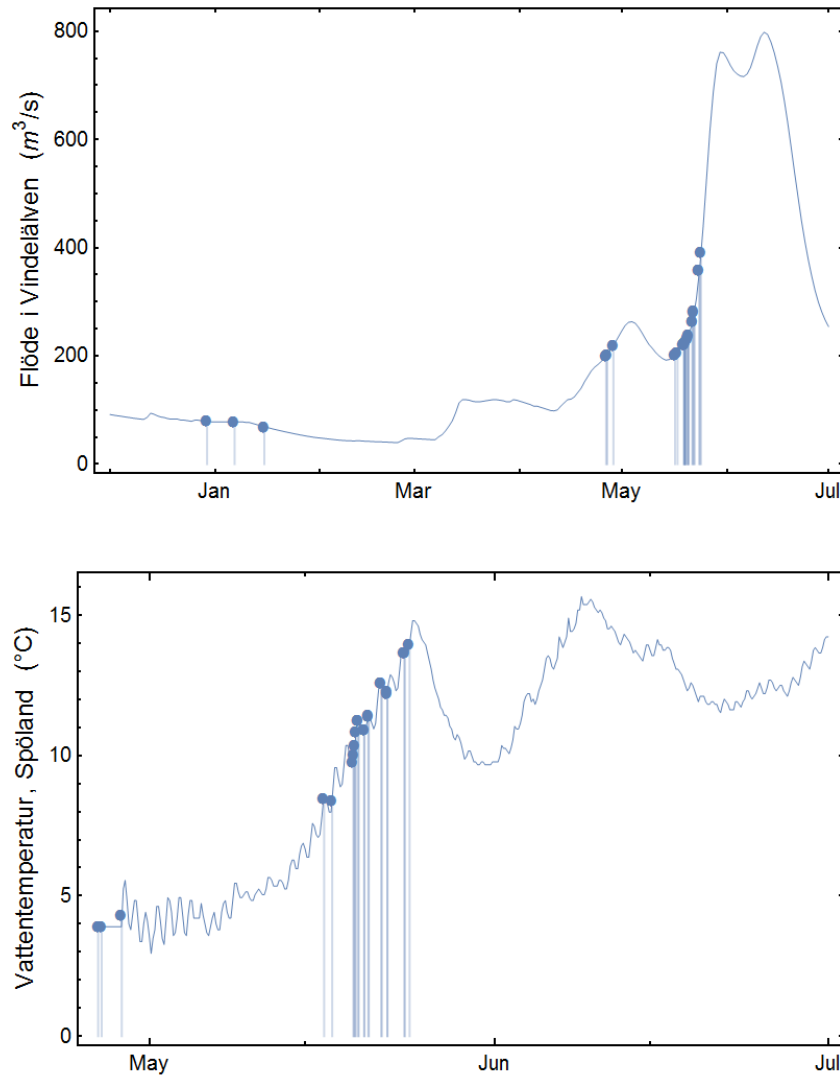
var mellan 33 och 38 %. Honor, 42,5 % vinteröverlevnad (17 av 40), medellängd 91 cm för de som överlevde och 92 cm för de som inte överlevde. Det skulle kunna vara några fler honor som överlevde och återvände nedströms men signalerna från dessa sändarnummer var svårtolkade. Hanar, 21 % vinteröverlevnad (8 av 38), medellängd 81 cm för de som överlevde och 87 cm för de som inte överlevde. Notera att dessa skattningar baseras på antagandet att ingen av den märkta kelten vandrade nedströms före den 5 december, det datum då loggern vid Björkudden installerades. Med tanke på att nästan hälften av kelten som följdes av Grandy-Rashap (2014) hösten-våren 2012/2013 passerade Björkudden under perioden från slutet av oktober till mitten av december skulle vinteröverlevnaden kunna vara nästa dubbelt så hög som den framräknade i denna studie.

Totalt registrerades 11 kelts i Ekorrsesele och senare i Spöland, en sträcka på ca 84 km. Vandringstiden från Ekorrsesele till Spöland var ca 27 dygn (median), medan 25 % av laxarna använde mindre än 24 dygn och 25 % av laxarna använde mer än 30 dygn. Den snabbaste laxen ägnade 21,4 dygn att ta sig från Ekorrsesele till Spöland. Den genomsnittliga vandringshastigheten var låg, mellan 3 och 4 cm/s vilket antyder att de stannat upp vid ett flertal tillfällen. Om de följt vattenströmmen passivt skulle de tillryggalagt sträckan på mindre än ett halvt dygn om man räknar med en genomsnittlig strömhastighet på 0.5 m/s. Strömhastigheten ökar påtagligt med flödet under vårfloden vilket innebär att tiden från Ekorrsesele till Spöland skulle teoretiskt kunna tillryggaläggas på mindre än 6 timmar med passiv transport i huvudströmfåran. Det är dock troligt att det finns en viss dygnsrytmik i vandringen, med lägre aktivitet under dygnets mörkaste timmar. Dessutom kan man förvänta sig en viss tvekan för kelten i områden med övergång mellan sel och fors.

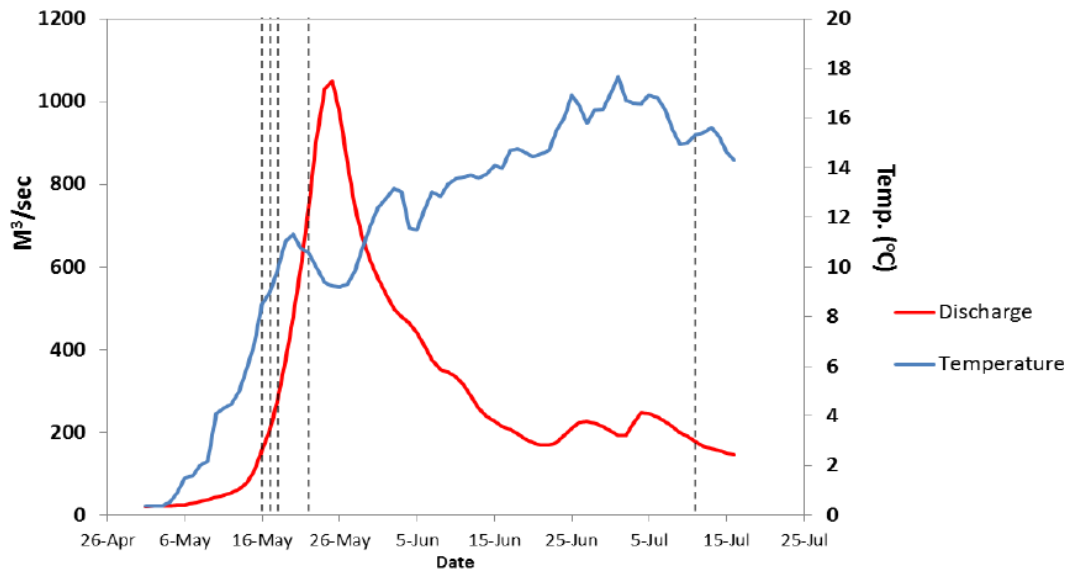
Tiden från Spöland till avelsbassängen vid fisktrappans mynning i Umeälven (11 km) var 8 timmar (median, N=21). 25 % av laxarna passerade denna sträcka på mindre än 5,5 timmar medan 25 % av dem tillbringade minst 30 timmar på sträckan. Den snabbaste individen tillryggalade sträckan på 3.3 timmar. Simhastigheten på denna sträcka uppgick till ca 0,4 m/s (median) med 0,95 m/s för den snabbaste individen. Den högsta simhastigheten var något högre än de 0,8 m/s som uppmättes med ADCP (Riverboat, Teledyne) i ytvattnet i huvudströmfåran utanför smoltryssjan i Spöland den 12 juni 2009 när flödet från Vindelälven uppgick till ca 350 m³/s. Vid högre flöden torde strömhastigheten öka ytterligare.

Den första laxen som registrerades för nedströmsvandring efter leken passerade området uppströms fisktrappan (Björkudden) den 29 december 2013. Ytterligare två laxar passerade under januari, den 6:e och den 15:e. Därefter dröjde det till slutet av april innan nästa kelt anlände, 26-28 april, då tre individer passerade. De flesta av kelten passerade den 19 och 20 maj, då totalt 10 kelt passerade på stigande flöden och stigande temperaturer från ca 8 grader till 14 grader (Figur 6). Mediandatum för ankomst till Avelsbassängen/Björkudden var den 19 maj (N=25). Ankomstdatumen överensstämmer väl med de datum som fem radiomärkta kelt anlände till Björkudden 2013 (Grandy-Rashap 2014) (Figur 7). Vattentemperaturen vid ankomsten 2012 var mellan 12 och 14 grader.

Noteras bör att vid studien av keltutvandringen efter leken 2012 kom en kelt så sent som 16 juli 2013. Även i studien av Grandy-Rashap (2014) förekom nedströmsvandring av kelt under senhöst-vinter. Sex individer passerade Björkudden under perioden från senare delen av oktober till mitten av december.



Figur 6. Vattenflöde i Vindelälven (m^3/s) (övre fig) samt vattentemperatur i Spöland (nedre Vindelälven) under vår-försommar 2014 med markeringar (blå fyllda cirklar) av de tider kelten anlände till Björkudden (vid Norrfors fisktrappa).



Figur 7. Vattentemperatur (Björksele) och flöde (Sorsele) med vertikalt streckade linjer som visar de datum som märkt lax passerade loggern vid Björksele, Vindelälven, ca 189 km uppströms märkplatsen i Norrfors i samband med nedströmsvandringen efter övervintring i älven, från Grandy-Rashap (2014).

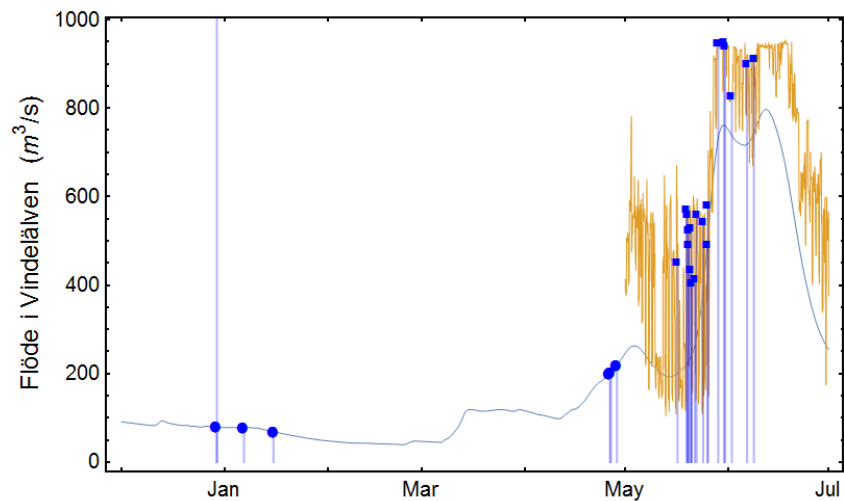
En av de PIT-tag märkta laxarna som tidigare år passerat fisktrappan har registrerats för nedströmsvandring året efter. Totalt har 728 PIT-märkta individer passerat fisktrappan under 2012 och 2013. Många av de som passerade var utsatta samma år som smolt och den individ som passerade nedströms i fisktrappan 2014 var utsatt som smolt 2013 (längd 24.5 cm). Det är därför tveksamt om den nedströmspassagen kan hänföras till nedströmsvandrande kelt.

5.2.2 Ankomst till och uppehållstid vid kraftverket samt beräknad överlevnad efter turbinpassage

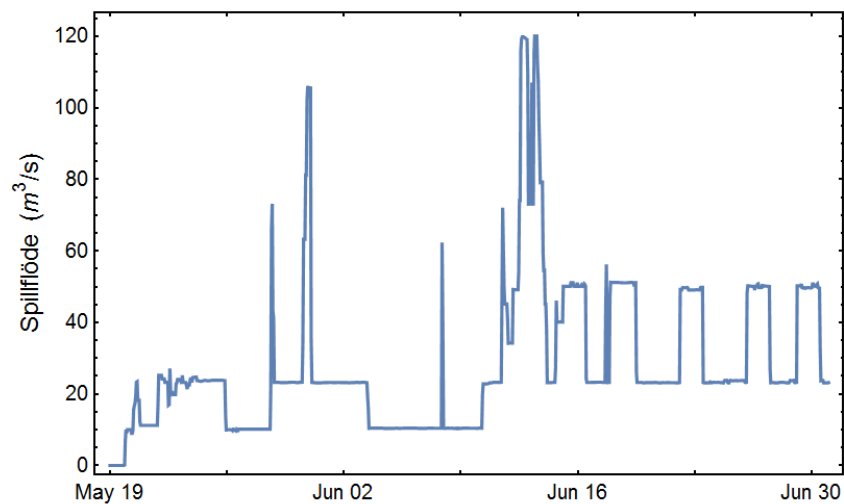
Tiden från fisktrappan (Norrfors) till ankomsten vid kraftverksintaget (ca 3-3,5 km), varierade mellan individer och hälften av laxarna nådde kraftverksintaget inom ett dygn. Mediantiden var ca 2 timmar vilket innebär en simhastighet på knappt 0,5 m/s (N=25). 25 % av laxarna tillryggalade sträckan på mindre än 15 minuter vilket kräver aktivt simmande eftersom det ger en simhastighet på minst ca 3,8 m/s. För 25 % av laxarna tog det mer än fem dygn innan de registrerades vid kraftverksintaget.

Upphållstiden i området från fisktrappan till kraftverksintaget var 26,7 timmar (median, N=18). 25 % av laxarna passerade kraftverket inom 1,6 dygn efter ankomst till fisktrappsområdet. 25 % av individerna var kvar i området, från fisktrappan till kraftverksintaget, i mer än 10 dygn innan registreringarna upphörde. När registreringar av närvaro upphör så bedömer vi att den märkta fisken passerat kraftverket. Merparten av keltens passerade kraftverket på högflödestoppar i slutet av maj och början av juni (Figur 8).

Kelten hade möjlighet att passera nedströms via spill genom utskovsluckan i slutet av maj (Figur 9). Ingen radiomärkt kelt tycks dock ha passerat den vägen eftersom det inte fanns någon registrering på loggrarna längs den gamla älvfåran och inga signaler från dessa sändare registrerades i samband med manuella pejlingar längs älvfåran. Däremot registrerades en radiomärkt lax våren 2015 (märkt 2014) för nedströmspassage via utskov, ned via den gamla älvfåran och dessutom i sammanflödesområdet och vid Gimonäs.



Figur 8. Flödesförhållanden 2014 (blå=Vindelälven, orange=kraftverksintaget) med markering av datum för sista registrering av radiomärkt kelt uppströms kraftverket.



Figur 9. Spillflödet under keltutvandringen visar att kelt kunde passera via utskovet i slutet av maj 2014.

5.2.3 Möjligheter för passage och överlevnad i relation till laxens storlek i Stornorrfors kraftverk

För att kunna bedöma rimligheten i passageöverlevnaden jämfördes den observerade överlevnaden från de radiomärkta individerna med den beräknade utifrån en passageförlustmodell (Leonardsson 2012). Modellen parameteriserades om för att gälla lax, då den ursprungliga modellen var parameteriserad för ål. Den enda skillnaden mellan lax- och ålmodellen är skillnader i arternas längd-breddförhållanden. Fiskens bredd är avgörande för om fisken skall kunna passera intagsgallret eller inte. Intagsgallret vid Stornorrfors kraftverk har en spaltöppning på 9 cm. Sannolikheten för en fisk att fysiskt kunna passera intagsgallret utgår ifrån att fiskens största bredd inte är större än spaltöppningen i intagsgallret. Sannolikheten räknas fram från andelen av fiskarna som kan passera intagsgallret givet information om variation i artens längd-bredd förhållande, ekvation 1.

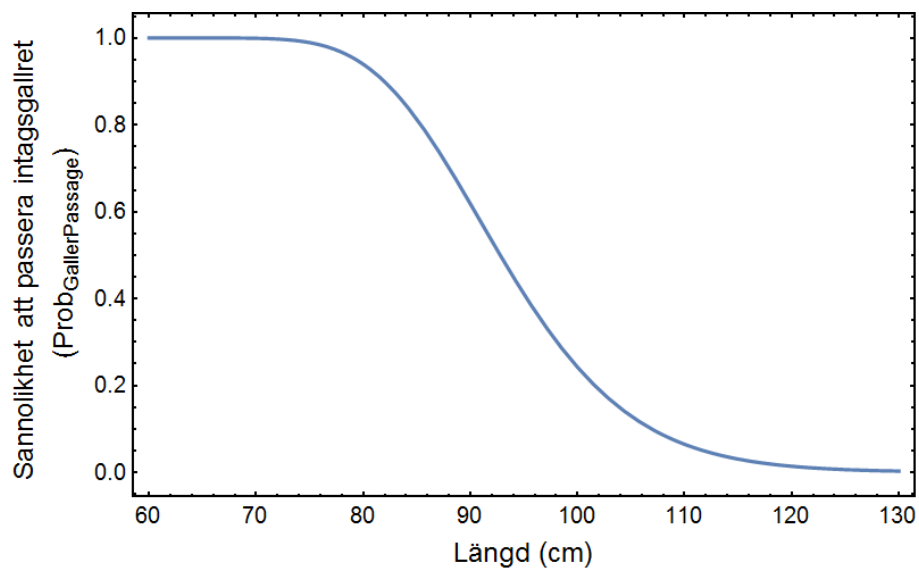
$$Prob_{GallerPassage} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{BLR \cdot L - GB}{\sqrt{L} \cdot SD}} e^{-t^2} dt, \quad (\text{Ekvation 1})$$

där BLR är medelvärdet för keltens bredd/längd-kvot, SD är standardavvikelsen för bredd/längdkvoten, L är fiskens längd och GB är spaltöppningen i intagsgallret.

Denna sannolikhet tar inte hänsyn till eventuella undvikandebeteenden som skulle kunna innebära att även om en fisk ryms för passage genom gallret så kan den vända om och låta bli att passera. På motsvarande sätt skulle en fisk rimligen kunna passera en öppning som är något smalare än fiskens bredd på grund av att fiskens bredd åtminstone rent teoretiskt kan pressas ihop något. En parameterisering för att hantera sådana beteendaspekter skulle kräva utvärdering via experiment, något som inte varit möjligt inom ramen för detta projekt. Däremot finns möjlighet att utvärdera skillnaden mellan nollmodellen som endast hanterar fiskens bredd i relation till gallrets spaltöppning och dessa beteendaspekter genom att variera gallrets spaltöppning uppåt respektive nedåt med ett antal %.

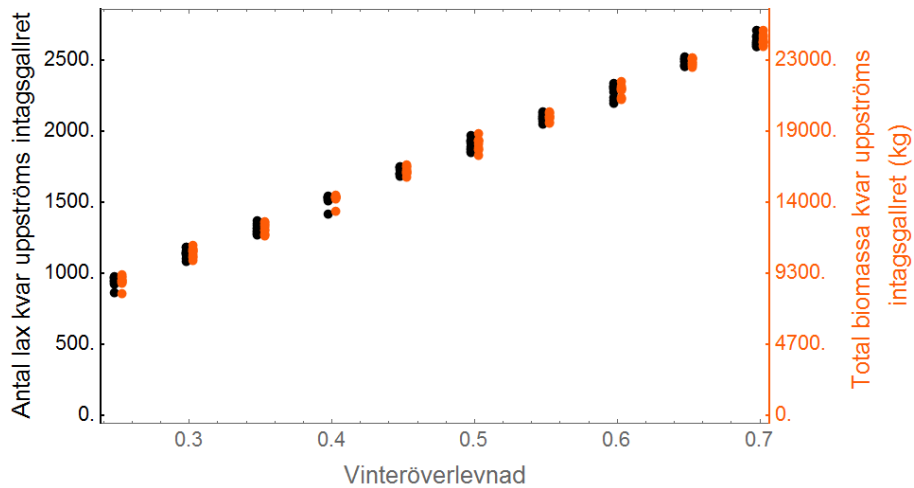
Skattningen av bredd/längd-kvoten för kelt gjordes i Norrfors fiskodling på utlekt lax. Totalt mättes största bredd och längd på 131 individer, (medellängd=90 cm, min=72 cm, max=120 cm). Den genomsnittliga bredd/längdkvoten uppmättes till 0,097 med en standardavvikelse på 0,01. Denna medelvärdesskattning kan eventuellt vara något i överkant eftersom mätningarna gjordes relativt kort tid efter kramning, medan den nedströms-vandrande kelten tärt på resurserna under ytterligare ett antal månader (fram till i maj).

Med en spaltöppning på 9 cm, som vid intaget till turbinerna vid Stornorrfor kraftverk, blir storleksberoendet i möjligheten för kelten att passera intagsgallret som i [Figur 10](#).

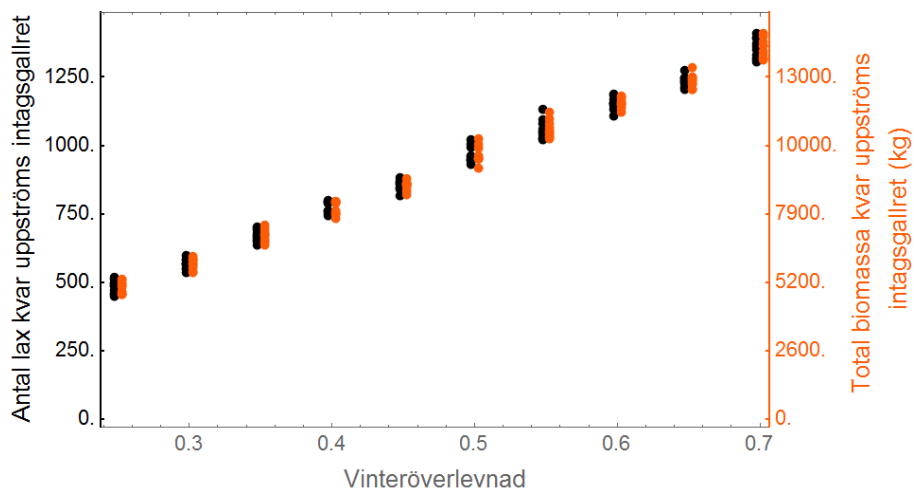


Figur 10. Storleksberoende sannolikhet för kelten att passera gallergrindarna, 9 cm spaltöppning, vid intaget till Stornorrfor kraftverk.

Genom att tillämpa den beskrivna sannolikhetsfunktionen på de längduppgifter som erhöles från fiskräknaren i fisktrappan under 2013 går det att beräkna hur många laxar och deras sammanlagda biomassa som förväntas ha blivit kvar uppströms intagsgallret för de laxar som var bredare än öppningen i intagsgallret ([Figur 11](#)). Det förväntade antalet kelt som överlevde vintern men som inte kunde passera gallergrindarna var ca 1200-1400. Med antagandet att bredd/längd-kvoten skulle kunna vara som mest 10 % lägre i maj jämfört med i oktober-november blir det förväntade antalet kelt som inte kan passera gallret något lägre ([Figur 12](#)). Detta scenario reducerade mängden kelt som förväntas bli kvar uppströms kraftverksintaget till ca hälften jämfört med föregående scenario, dvs. mellan 600 och 700 individer. Den sammanlagda biomassan av dessa laxar blir hög, ca 5-10 ton, till följd av att det är de stora laxarna som inte kan passera gallergrindarna.



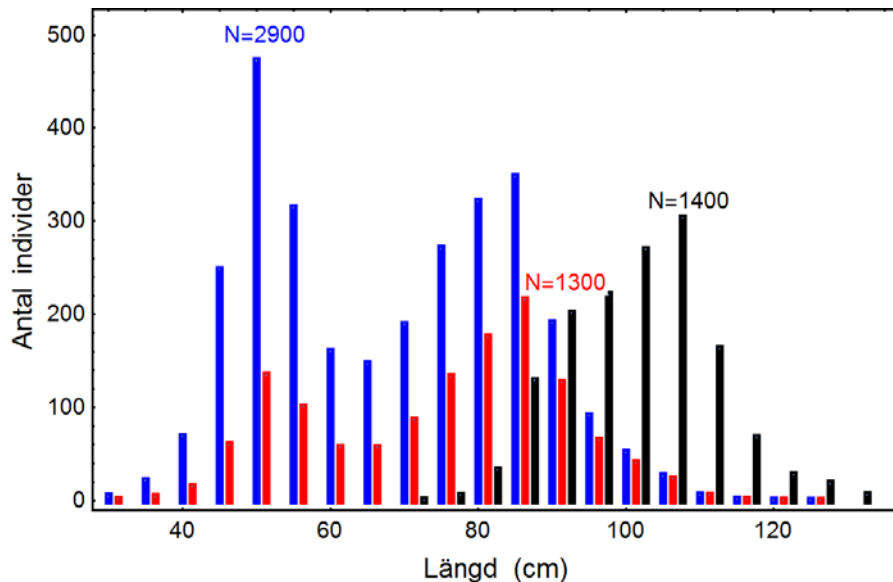
Figur 11. Förväntat antal laxar och deras sammanlagda biomassa som var för stora för att kunna passera gallergrindarna vid Stornorrfors kraftverk. Antagandet vid dessa beräkningar var att bredd/längd-kvoten var densamma för kelten som kom till kraftverksområdet som för de som mättes i odlingen, samt att kelten inte uppvisade något undvikande beteende.



Figur 12. Förväntat antal laxar och deras sammanlagda biomassa som var för stora för att kunna passera gallergrindarna vid Stornorrfors kraftverk. Antagandet vid dessa beräkningar var att bredd/längd-kvoten var 10 % lägre för kelten som kom till kraftverksområdet jämfört med de som mättes i odlingen, samt att kelten inte uppvisade något undvikande beteende.

Den totala förväntade passage-effektiviteten/överlevnaden för kelt som kommer till kraftverket blir ca 50 % om man räknar på alla storlekar. Om vi justerar våra resultat med den fördelning Grandy-Rashap (2014) hade för nedströmsvandrande kelt (senhöst- kontra vårutvandring) får vi att totalt ca 50-60 % av lekfisken borde vandrat ned mot kraftverket. Med samma fördelning över tiden skulle alltså ca 33 % av laxarna ha vandrat ned innan vi

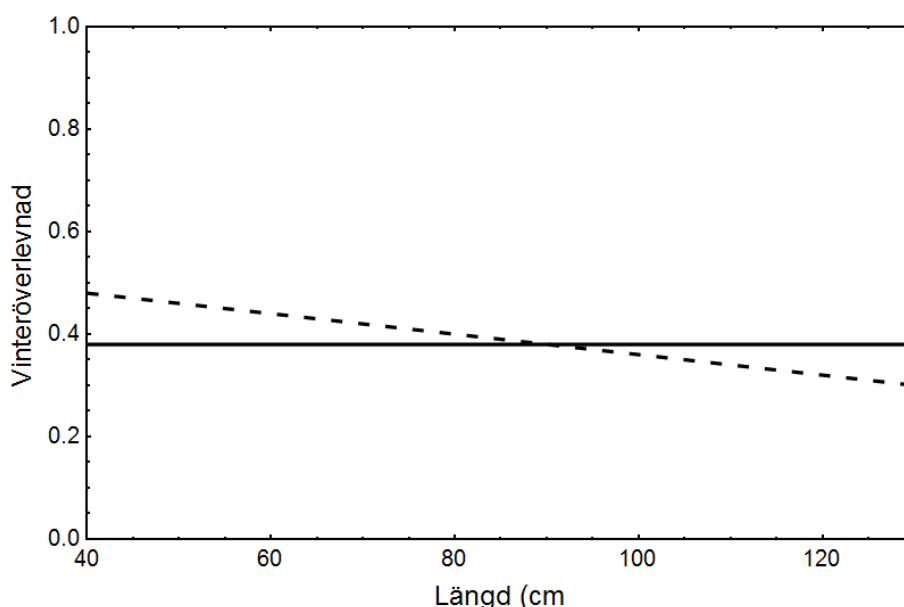
satte ut loggern i början av december. När vi räknat på passage eller inte genom kraftverket har bara hänsyn tagits till utvandringen under våren. Om beräkningarna skall gälla både vår- och höstutvandringen behöver vi multiplicera alla antalssiffror med ca 1,5.



Figur 13. Storleksfördelning av beräknat antal kelt som förväntas överleva passage genom turbinerna (blå staplar), som förväntas omkomma i samband med kraftverkspassagen (röda staplar), samt som förväntas bli kvar uppströms på grund av att de är för stora för att passera intagsgallret (svarta staplar). Antalet individer i respektive kategori anges med samma färg som motsvarande staplar. Beräkningarna av dödlighet vid turbinpassage omfattar inte dödlighet till följd av den stora fallhöjden och passagen genom tunneln, utan endast dödlighet till följd av turbinbladsträffar.

Nästa steg i beräkningen gjordes genom att kombinera sannolikheten för gallerpassage med sannolikheten att överleva passage via turbinerna. För detta ändamål användes den beräkningsmodell som Leonardsson (2012) använde för ål, men här anpassad för keltens bredd/längd-kvot. Antagandet vid den beräkningen var att inloppsflödet till de enskilda turbinerna låg mellan 55 och 100 % av den maximala kapaciteten, som var de vanligaste nivåerna under tiden keltens passerade kraftverket. Beräkningarna visade att det endast skiljde någon enstaka procent i förväntad överlevnad inom detta intervall och även mellan de två turbingrupperna, G1-G3 (max 225 m³/s) respektive G4 (max 295 m³/s). Beräkningarna gjordes för varje enskild individs längd som registrerats i fiskräknaren i fisktrappan 2013. Totalt fanns information om 14 905 laxar i det data som användes för beräkningarna. Även om beräkningsmodellen ger en viss osäkerhet bidrar det stora antalet laxar till att reducera osäkerheten i medelvärdeskattningen av förväntad passageframgång. Sammanfattningsvis

blir den förväntade passageframgången ca 48%, dvs ca hälften av de nedströmsvandrande kelten skulle rent teoretiskt kunna passera genom kraftverket och överleva. En del av passageförlusten beror på att de största laxarna hindras av intagsgallrets spaltöppning (9 cm) (Figur 13). Om spaltöppningen skulle vara tillräckligt bred så att samtliga laxar kunde passera skulle den förväntade passageframgången öka till 60%, dvs ca 25% fler laxar skulle förväntas överleva om vinteröverlevnaden är storleksoberoende. Om vinteröverlevnaden däremot är storleksberoende, vilket det finns antydning till i resultaten, med högre överlevnad för små laxar jämfört med stora skulle de beräknade resultaten ovan kunna bli något missvisande. Dock visar ett exempel med en minskad vinteröverlevnad på 2% per 5 cm lax (Figur 14) att den förväntade passageframgången blir ca 50%, dvs inte någon nämnvärt högre nivå.



Figur 14. Vinteröverlevnad enligt skattningarna från nedströmsvandrande kelt (heldragen linje). Den streckade linjen visar ett hypotetiskt alternativ där vinteröverlevnaden minskar med ökad storlek med 2 % per 5 cm lax.

En aspekt som inte tagits hänsyn till i ovanstående beräkningar är dels den höga fallhöjden (76 meter) som orsakar stora och snabba tryckförändringar vid passagen genom turbinen och dels att kelten är i dålig kondition den tid kraftverkspassagen äger rum. Passageframgången torde därför vara lägre än den beräknade, men den högre skattningen av passageframgången för de radiomärkta individerna (64 %) stämmer relativt väl överens med modellen där den förväntade passageframgången var 50-60 % för det storleksintervall som radiomärkt kelt hade. Däremot överskattar passagemodellen överlevnaden avsevärt om man jämför med den lägre skattningen från telemetristudien på 28 %. Osäkerheten i skattningen

av den radiomärkta keltens överlevnad försvårar därför valideringen av den beräknade passageframgången. Om man inkluderar osäkerheten i modellberäkningarna hamnade man på en förväntad passageframgång för de radiomärkta laxarna på mellan 40 och 80 %, vilket även det är över den lägre skattningen av passageframgången på 28 %. Man bör dock ha i åtanke att även skattningen på 28 % är förknippad med osäkerhet. Ett 95 % konfidensintervall för skattningen på 28 % sträcker sig från 12 % till 48 %.

En av de PIT-märkta laxarna har registrerats för uppströmspassage av fisktrappan mer än ett år. Det saknas nedströmsregistrering på den laxen vilket innebär att det inte finns något datum att koppla till nedströmsvandringen och det går därför inte att avgöra om den passerade nedströms via spill från utskovet under vandrings säsongen eller via turbinerna. Laxen som passerade fisktrappan både 2012 och 2013 var en hane på 50 cm som märktes vid utskovet den 7 augusti 2012 och passerade fisktrappan fyra dagar senare. Den laxen kan ha passerat nedströms via utskovet i samband med något av de två efterföljande 50 m³/s spillomgångarna innan säsongsavslutningen, varav det första spillet kom tre dagar efter att laxen passerade fisktrappan 2012. En alternativ förklaring är att laxen deltagit i leken under hösten 2012, återvänt till hvaet och sedan åter vandrat upp för lek 2013.

5.2.4 Registreringar nedströms kraftverket

12 av de 25 keltens som registrerades uppströms kraftverket våren 2014 registrerades även nedströms kraftverket. Ingen av dem registrerades i den gamla älvfåran. Fem av dessa 12 individers sändare återfanns ca 900 m nedströms sammanflödesområdet vilket tolkas som att dessa individer inte överlevde kraftverkspassagen. Ytterligare fyra sändare återfanns på ungefär samma ställe nedströms sammanflödet. Det fanns dock ingen registrering på loggern i sammanflödesområdet från någon av dessa fyra sändare. För de återstående nio individerna (76-101 cm, medellängd 89 cm) fanns inga registreringar på loggrarna nedströms kraftverket och dessa sändare kunde inte heller lokaliseras i samband med de manuella pejlingarna längs älven ([Tabell 3](#)). Dessa individer har antingen överlevt kraftverkspassagen och vandrat ut i havet utan att ha registrerats på loggern i sammanflödesområdet eller vid Gimonäs, eller så har de omkommit i kraftverkspassagen och blivit kvar i kraftverkstunneln. Om de överlevde blir överlevnaden i samband med kraftverkspassagen 64 % (16 av 25) mot 28 % (7 av 25) om de inte överlevde. Av de nio individer (sändare) som lokaliserades till området nedströms sammanflödet var sex honor och tre hanar. Det var ingen större skillnad i längd på de individer som överlevde respektive inte överlevde.

En av individerna (längd= 87 cm) som passerade kraftverket återvände upp i älven (passage logger Gimonäs och i sammanflödesområdet) 29 april 2015.

Tabell 3. Antal radiomärkta kelt som registrerades för nedströmsvandring uppströms kraftverket och som senare registrerats respektive ej registrerats nedströms kraftverket.

<i>Registrerad nedströms</i>	<i>Död</i>	<i>Antal</i>	<i>Medellängd (cm)</i>	<i>Min längd (cm)</i>	<i>Max längd (cm)</i>
<i>Ja</i>	<i>ja</i>	<i>9</i>	<i>84</i>	<i>79</i>	<i>91</i>
<i>Ja</i>	<i>nej</i>	<i>7</i>	<i>89</i>	<i>65</i>	<i>105</i>
<i>Nej</i>	<i>osäker</i>	<i>9</i>	<i>89</i>	<i>76</i>	<i>101</i>
<i>Totalt</i>		<i>25</i>	<i>88</i>	<i>65</i>	<i>105</i>

6. Rekommendationer

Miljömålen strävar mot naturliga och livskraftigt bestånd av fisk i våra vatten. I vilda lax och havsöringspopulationer är flergångslekare viktiga för framtida produktion och genetisk stabilitet i salmonid bestånd. Det saknas idag kunskap om hur detta fungerar hos frilevande laxpopulationer i alla typer av vattendrag. Att förstå den utlekta fiskens (kelt) preferenser för förhållanden i älven som de möter i sin vandring nedströms är nödvändig för att utveckla effektiva avledningssystem vid dammbyggnader så att de kan undvika att passera turbiner som ger hög dödlighet (Williams *et al.* 2012). Långsiktigt vill vi kunna lämna rekommendationer för hur denna viktiga livshistorietyp av fisk efter leken ska kunna passera förbi kraftstationer i stora vattendrag (> 100 m³/s). Umeälvens goda tillgång på lekvandrande lax de senaste åren (> 10 000 laxar/år) gör Stornorrfors/Vindelälvens modellsystem till en bra försöksarena för att studera "nedströmsvandringsproblem" när vi möter dagens strävan mot ökad förnybar elproduktion och förverkligande av miljömålen.

Laxens och öringens kapacitet att under sin livstid fortplanta sig upprepade gånger ställer krav på att vandringsvägarna i vattendragen fungerar både uppströms och nedströms. Dessa flergångslekare är en förbisedd livshistorieform hos Atlantlaxen och diskuteras inte i förvaltningen av vilda bestånd samt hur vattenkraften påverkar denna kategori av fisk. Generellt är åtgärder för fiskpassage förbi kraftverksbyggnader sällan riktade mot att förbättra fiskens nedströmsvandring. Detta är olyckligt för förvaltningen av lax och öringbestånden i utbyggda laxälvar, då flergångslekare kan stå för en betydande del av produktionen av nya rekryter i vildlaxbestånd. Mot bakgrund av dagens problematiska post-smolt dödlighet i Östersjöområdet kan flergångslekarna vara en viktig resurs för de vilda bestånden av lax- och havsöring. I de flesta svenska vildlaxförande och flödesreglerade vattendrag hindras i nuläget vuxen utlekt fisk att nå havet för att senare återvända för lek. Generellt har kraftverksbyggnader i Sverige problem med att fisk ansamlas vid turbinintag

som senare leds ned till turbinerna. Detta leder till hög dödlighet beroende på turbintyp och fiskens storlek. Det blir viktigt att närmare utreda vilken dödlighet kelt har som passerar nedströms via olika turbintyper och fallhöjd i relation till fiskens storlek. Det måste också utredas vilken överlevnad dessa fiskar har i Östersjösystemet. Det är lika viktigt att närmare diskutera förslag för hur man kan hjälpa kelt att inte passera via turbinerna. Vandringsfisk som lax och öring måste ges möjlighet att fullfölja sin strävan att vandra både uppströms för lek och nedströms för tillväxt, samt att resursen förvaltas förståndigt, för att vi långsiktigt ska kunna upprätthålla hållbara bestånd.



Bild visande mager kelt av östersjölax i Umeälvens nedre del (Foto: R.Karlsson/SLU).

7. Erkännande

Under de år vi arbetat med komplicerade upp- och nedströms vandringsproblem för lax och havsöring i Ume/Vindelälven har vi haft ett gediget gott samarbete mellan kraftindustrin, SLU, Länsstyrelsen i AC-län, HAV och fiskerättsägarna längs älvdalen. Vi tackar för det! Problematiken kring Sveriges största vattenkraftverk, Stornorrfors kraftverk i nedre Umeälven, skapade tidigt konflikter men också effektiva och övergripande samarbetskonstellationer bestående av kraftproducenter, universitet (SLU), fiskerättsägare,

kustfiskare och förvaltande myndigheter på regional, lokal och nationell nivå. Vi ser nu att det hela har fungerat och att vi arbetar tillsammans. De olika grupperingarna arbetade ofta tätt ihop med internationell expertis, särskilt nordamerikansk, norsk och finsk. Vi tackar alla för gott samarbete under det senaste decenniet och hoppas att det goda samarbetet fortsätter: Vattenfall AB (*Leif Ask*), Vindelälvens fiskeråd (Henrik Sandström, Daniel Holmqvist, Stig Westbergh som företrädare för Vindelälvens fiskeråd) samt Länsstyrelsen i AC-län (Ulf Carlsson) samt Länsstyrelsen i BD-län (Minna Brodin, Ingemar Perä och Karl-Erik Nilsson). Vi vill också rikta ett särskilt tack till våra kustfiskare Nisse Sjöström (Obbola) och Fredrik Jonsson (Holmsund) för mycket gott samarbete för Vindelälvs laxens bästa. Kammarkollegiets jurist Karolina Ardesjö-Lunden har varit en stöttepelare i hela denna process. Särskilt tack till SLU's Bo-Sören Wiklund, forskningsingenjör institutionen vid Vilt, Fisk och Miljö (SLU) som har koll på det mesta i fiskvandringssvåg och teknik. Alla fiskmärkningsstudier i denna rapport är godkända av försöksdjursetiska nämnden via tillstånd C16/14 (Uppsala) och djursförsöksetiska nämnden (Umeå) CFN A55-12.

8. Referenser

- Aas, O., Einum, S., Klemetsen, A., & J. Skurdal (2011) *Eds. Atlantic Salmon Ecology*. Blackwell Publishing Ltd., ISBN 978-1-4051-9769-4
- Allan. I.R.H., & J.A. Ritter (1977) Salmonid terminology. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 37:293-299.
- Amiro, P.G. (2003) Population status of Inner Bay of Fundy Atlantic salmon (*Salmo salar*), to 1999. Canadian Technical Report of Fisheries & Aquatic Sciences, Volume 2488, 39 pages.
- Arnekleiv J.V., Kraabøl M. & J. Museth (2007) Efforts to aid downstream migrating brown trout (*Salmo trutta* L.) kelts and smolts passing a hydroelectric dam and a spillway. *Hydrobiologia* 582:5-15.
- Bendall, B., Moore, A. & V. Quayle (2005) The post-spawning movements of migratory brown trout *Salmo trutta* L., *Journal of Fish Biology* 67(3): 809-822. DOI 10.1111/j.1095-8649.2005.00786.x
- Brana, F., Garrido, R. & A.G. Nicieza (1995) Historical changes in age structure of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the River Eo, northern Spain. *Fisheries Management and Ecology* 2(4):279-287. DOI 10.1111/j.1365-2400.1995.tb00119.x
- Branstetter, R., Whiteaker, J., Hatch, D.R., Blodgett, J., Bosch, B., Fast, D. & T. Newsome (2006) Kelt reconditioning: a research project to enhance iteroparity in Columbia Basin steelhead (*Oncorhynchus mykiss*). 2005 annual report. BPA Report DOE/BP, 00020183-1, 47 pages

- Calles, O. & L. Greenberg (2005) Evaluation of nature-like fishways for re-establishing connectivity in fragmented salmonid populations in the River Emån. *River Research and Applications* 21:951-60. DOI 10.1016/j.ecoleng.2011.05.002
- Calles, O. & L. Greenberg (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. DOI 10.1002/rra.1228
- Calles, O, Karlsson, S, Hebrand, M, & C.Comoglio (2012) Evaluating technical improvements for downstream migrating diadromous fish at a hydroelectric plant. *Ecological Engineering* 48: 30-37. DOI 10.1016/j.ecoleng.2011.05.002
- Calles, O., Degerman, E., Wickström, H., Christianson, J., Gustafsson, S., och I.Näslund. (2013) 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. ISBN 978-91-87025-39-6
- Colotelo, A.H., Jones, B.W., Harnish, R.A., McMichael, G.A., Ham, K.D., & Z.D. Deng (2013) Passage distribution and federal Columbia River power system survival for steelhead kelts tagged above and at Lower Granite Dam. Report to the U.S. Army Corps of Engineers, Walla Walla District by Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA [Available at: http://www.salmonrecovery.gov/Files/Comprehensive%20Evaluation/Colotelo-et-al_2013_-%20Kelt-Passage-Distribution-Survival_PNWD-22101.pdf], 153 pp.
- Colotelo, A.H., Harnish, R.A., Jones, B.W., Hanson, A.C., Trott, D.M., & M.J. Greiner (2014) Passage distribution and federal Columbia River power system survival for steelhead kelts tagged above and at Lower Granite Dam, Year 2. Report to the U.S. Army Corps of Engineers, Walla Walla District by Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA [Available at: http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-23051.pdf], 125 pp.
- Crim L., Wilson C., So Y., Idler D. & C.Johnston (1992) Feeding, reconditioning, and rematuration responses of captive Atlantic salmon (*Salmo salar*) kelt. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49:1835-1842.
- Ducharme, L.J. (1969) Atlantic salmon returning for their fifth and sixth consecutive spawning trips. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 26:1661-1664.
- Dumas J., Barriere L., Blanc D., Godard J. & Kaushik S. (1991) Reconditioning of Atlantic salmon (*Salmo salar*) kelts with silage-based diets: growth and reproductive performance. *Aquaculture* 96:43-56.

- Erkinaro, J., Dempson, J. B., Julkunen, M., Niemelä, E. (1997) Importance of ontogenetic habitat shifts to juvenile output and life history of Atlantic salmon in a large subarctic river: an approach based on analysis of scale characteristics. *Journal of Fish Biology* 51(6): 1174-1185
- Evans, A.F., Beaty, R.E., Hatch, D.R., Blodgett, J., & D. Fast (2001) 2000 Annual Report Kelt Reconditioning: A research project to enhance iteroparity in Columbia Basin steelhead (*Oncorhynchus mykiss*). BPA Report DOE/BP. Volume 00004185-1, 32 pages
- Evans A.F., Beaty R.E., Fitzpatrick M.S. & K. Collis (2004) Identification and enumeration of steelhead kelts at a Snake River hydroelectric dam. *Transactions of the American Fisheries Society* 133, 1089-1099.
- Evans, A.F., Wertheimer, R.H., Keefer, M.L., Boggs, C.T., Peery, C.A., & K. Collis (2008) Transportation of Steelhead Kelts to Increase Iteroparity in the Columbia and Snake Rivers. *North American Journal of Fisheries Management* 28(6): 1818-1827. DOI 10.1577/m08-043.1
- Ferguson J.W. (2008) Behavior and Survival of Fish Migrating Downstream in Regulated Rivers. Doctoral Thesis- Academic Dissertation for Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.). Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2008:23. *Faculty of Forest Sciences, Department of Wildlife, Fish and Environmental Studies, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå* 2008. ISBN 978-91-85913-56-5
- Fleming I.A. (1996) Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 6, 379-416. DOI 10.1007/bf00164323
- Fleming, I.A. & S. Einum (2011) Reproductive ecology: a tale of two sexes. In *Atlantic salmon ecology* (Ed. by Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen & J. Skurdal), pp. 32-65. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- Forseth, T. & A. Harby (2014) Eds. Handbook for environmental design in regulated salmon rivers. - NINA (Norwegian Institute for Nature Research) Special Report 53. 90 pp. ISSN 0804-421X, ISBN 978-82-426-2638-7
- Grandy-Rashap, R. (2014) Full Circle: Upstream and downstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the northern Swedish river Vindelälven. Master thesis in Biology; 2014:8, Department of Wildlife, Fish, Environmental studies, University of Agricultural Sciences, Umeå. 42 pp.
http://stud.epsilon.slu.se/6636/21/rashap_r_140429.pdf
- Halttunen E., Rikardsen A.H., Davidsen J.G., Thorstad E.B. & J.B. Dempson (2009) Survival, migration speed and swimming depth of Atlantic salmon kelts during sea entry and

fjord migration. *Tagging and Tracking of Marine Animals with Electronic Devices*, Volume 9: 35-49. DOI 10.1007/978-1-4020-9640-2_3

- Halttunen E., Rikardsen A.H., Thorstad, E.B., Næsje, T.F., Jensen J.L.A. & Ø, Aas (2010) Impact of catch- and-release practices on behavior and mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) kelts. *Fisheries Research* 105, 141-147. DOI 10.1016/j.fishres.2010.03.017
- Halttunen E. (2011) Staying alive – The survival and importance of Atlantic salmon post-spawners. A dissertation for the degree of Philosophiae Doctor, University of Tromsø, Faculty of Biosciences, Fisheries and Economics, Institute of Arctic and Marine Biology.
- Ham, K.D., Titzler, P.S., Mueller, R.P., & D.M. Trott (2012) Hydroacoustic evaluation of adult steelhead fallback and kelt passage at McNary Dam, Winter 2010-2011. Final Report to U.S. Army Corps of Engineers, Walla Walla District by Battelle, Pacific Northwest Division, Richland, WA [Available at: [https://www.salmonrecovery.gov/Files/2011%20APR%20files/New%20Folder%203/Ham et al 2012 - Steelhead Fallback and Kelt Passage McNary.pdf](https://www.salmonrecovery.gov/Files/2011%20APR%20files/New%20Folder%203/Ham%20et%20al%202012%20-%20Steelhead%20Fallback%20and%20Kelt%20Passage%20McNary.pdf)], 60 pp.
- Harris, G. (2006) A review of the statutory regulations to conserve sea trout stocks in England and Wales. (p. 441- 456). *In* International Sea Trout Symposium, Cardiff, Sea trout: Biology, Conservation, and Management. Eds G.Harris and N.Milner. ISBN-13:978-1-4051-2991-6, Blackwell Publishing
- Hatch, D.R., Branstetter,R., Blodgett,J., Bosch, B., Fast, D., & T. Newsome (2004) Kelt reconditioning: a research project to enhance iteroparity in Columbia Basin steelhead (*Oncorhynchus mykiss*): 2003 Annual Report, Project No. 200001700. BPA Report DOE/BP. 00004185-4, 51 pages
- Hatch, D.R., Fast, D.E.,Bosch, W.J., Blodgett, J.W., Whiteaker, J.M., Branstetter, R., & A.L. Pierce (2013) Survival and Traits of Reconditioned Kelt Steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) in the Yakima River, Washington. *North American Journal of Fisheries Management* 33(3): 615-625. DOI 10.1080/02755947.2013.788586
- Hedger, R.D., Hatin, D., Dodson, J.J., Martin, F., Fournier, D., Caron, F., & F.G., Whoriskey (2009). Migration and swimming depth of Atlantic salmon kelts *Salmo salar* in coastal zone and marine habitats. *Marine Ecology Progress Series* 392:179-192. DOI 10.3354/meps08227
- Heggberget, T. G. (1989). The population structure and migration system of Atlantic salmon, *Salmo salar*, in the river Alta, North Norway. A summary of the studies 1981-1986. In *Proceedings of the Salmonid Migration and Distribution Symposium*. Eds. (Brannon, E.L., & B. Jonsson, School of fisheries, Univ of Washington, Seattle, NINA, Trondheim, Norway, pp. 124-139.

- Hendry, AP, Stearns, SC. (2004) *Evolution illuminated: salmon and their relatives*. Oxford University Press, New York.
- Hockersmith, E. E., Vella, J. J., Stuehrenberg, L. C., Iwamoto, R. N., Swan, G. A. 1995. Yakima River radio-telemetry study: steelhead, 1989-93. Report of Research by Fish Ecology Division, Northwest Fisheries Science Center, National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration to the Bonneville Power Administration, Project No. 89-089, 95 p. (Available online at: http://www.nwfsc.noaa.gov/assets/26/6670_10152010_094948_Hockersmith.et.al.1995a-rev.pdf) Seattle, WA.
- Hubley P.B., Amiro P.G., Gibson A.J.F., Lacroix G.L. & A.M., Redden (2008) Survival and behaviour of migrating Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) kelts in river, estuarine, and coastal habitat. *ICES Journal of Marine Science* 65, 1626-34. DOI 10.1093/icesjms/fsn129
- ICES (2014) Report of the Baltic Salmon and Trout Assessment Working Group (WGBAST), 26 March–2 April 2014, Aarhus, Denmark. ICES CM 2014/ACOM:08. 347 pp.
- Jokikokko, E. & E. Jutila (2005) Effect of fishing regulation on the occurrence of repeat spawners and age distribution of Atlantic salmon in a northern Baltic river. *Fisheries Management and Ecology* 12(5): 341-347. DOI 10.1111/j.1365-2400.2005.00457.x
- Jokikokko E., Kallio-Nyberg I., Jutila E. & I. Saloniemi (2006) Effect of origin, sex and sea age of Atlantic salmon on their recapture rate after river ascent. *Journal of Applied Ichthyology* 22, 489-94.
- Jonsson B., Jonsson N. & Hansen L.P. (1990a) Does juvenile experience affect migration and spawning of adult Atlantic salmon? *Behavioral Ecology and Sociobiology* 26, 225-30.
- Jonsson N., Jonsson B. & Hansen L.P. (1990b) Partial segregation in the timing of migration of Atlantic salmon of different ages. *Animal Behaviour* 40, 313-321. doi:10.1016/S0003-3472(05)80926-1
- Jonsson N., Hansen L.P. & Jonsson B. (1991a) Variation in age, size and repeat spawning of adult Atlantic salmon in relation to river discharge. *Journal of Animal Ecology* vol.60(3): 937-947.
- Jonsson, B., & N. Jonsson (2011) Ecology of Atlantic salmon and Brown trout, Habitat as a template for life histories. *In* Fish and Fisheries Series 33, Volume 33, Springer Science + Business media. Doi 10.1007/978-94-007-1189-1
- Katopodis, C, & J.G. Williams (2012) The development of fish passage research in a historical context. *Ecological Engineering* 48: 8-18.

- Keefer, M.L., Wertheimer R.H., Evans A.F., Boggs C.T.B. & C.A. Peery (2008a) Iteroparity in Columbia River summer-run steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) : implications for conservation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65, 2592- 605.
- Keefer, M.L., Caudill, C.C, Peery, C.A., & S.R. Lee (2008b) Transporting juvenile salmonids around dams impairs adult migration. *Ecological Applications* 18: 1888-1900.
- Khan, F., Royer, I.M., Johnson, G.E. & S.C Tackley (2013) Sluiceway Operations for Adult Steelhead Downstream Passage at The Dalles Dam, Columbia River, USA. *North American Journal of Fisheries Management* 33(5): 1013-1023. DOI 10.1080/02755947.2013.793629.
- Klemetsen A., Amundsen P.A., Dempson J., Jonsson B., Jonsson N., O'Connell M. & E. Mortensen (2003) Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of freshwater fish* 12, 1-59.
- Kraabøl, M, Arnekleiv, J.V. & J. Museth (2008) Emigration patterns among trout, *Salmo trutta* (L.), kelts and smolts through spillways in a hydroelectric dam. *Fisheries Management and Ecology* 15: 417-423. DOI 10.1111/j.1365-2400.2008.00633.x
- Kraabøl M., Johnsen S.I., Museth J. & O.T. Sandlund (2009a) Conserving iteroparous fish stocks in regulated rivers: the need for a broader perspective! *Fisheries Management and Ecology* 16(4):337-340. DOI 10.1111/j.1365-2400.2009.00666.x
- Kraabøl, M., Arnekleiv, J.V., Johnsen, S.I, och J.Museth (2009b) Nedvandring av vinterstøing og smolt av Hunderørret ved Hunderfossen Kraftverk. Anbefalinger om vannslipp og lukemanøvringer. Zoologisk notat 2009-4. NTNU. ISBN 978-82-7126-830-5 (på norska), 18 sidor
- Kraabøl, M., G.Feld, S.I. Johnsen, J.G. Dokk, B.K.Dervo and J.Skurdal (2013) The old trout *Salmo trutta* in the pond. *Journal of Fish Biology* 82, 1717-1719. Doi:10.1111/jfb.12080
- Lacroix, G.L (2014) Large pelagic predators could jeopardize the recovery of endangered Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 71(3): 343-350. DOI 10.1139/cjfas-2013-0458
- Lamond, H. (1916) *The Sea-trout, a study in natural history*. London, Sheratt & Hughes, Manchester: 34 Cross street. (219 pages)
- Leonardsson, K. (2012) Modellverktyg för beräkning av ålförluster vid vattenkraftverk. Elforsk rapport, 12-36. (In Swedish, 84 pp.). Rapport: http://www.elforsk.se/Programomraden/Vattenkraft/Rapporter/?download=report&id=12_36 , och tillhörande beräkningsapplikation: <http://www.elforsk.se/Global/Vattenkraft/filer/Ål/Modellverktyg%20för%20beräkning>

[%20av%20passageförluster%20av%20ål%20vid%20kraftverk%20-%20over%202.0_rev.zip.](#)

Leonardsson, K., Karlsson, R., Nilsson, J., & H. Lundqvist (2013) Uppströmsvandring i den restaurerade gamla älvfåran samt funktionskontroll av ny fisktrappa i Norrfors (Umeälven) under laxens vandringsäsong 2012-2013. Umeå. Rapport 2013:7 (Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vilt, fisk och miljö).

http://pub.epsilon.slu.se/10934/13/leonardsson_et_al_131212.pdf

Lindroth, A., Larsson, P-O., & G. Bertmar (1988) Where does the Baltic salmon go? In Coastal research in the Gulf of Bothnia (*Ed. K.Muller*), Monographie Biologicae, Junk Publ., The Netherlands. pp.387-414

Long, J.B., & L.E., Griffin (1937) Spawning and migratory habits of the Columbia River steelhead trout as determined by scale samples. *Copeia* 37: 62.

Lundqvist, H., Leonardsson, K., Lindberg D-E., Westbergh, S., Forssén, Å. & G.I. Hellström (2014). Laxens nedströmsvandring mot fiskavledare till Stornorrfors fisktrappa i Umeälvens nedre del. Rapport 1. Institutionen för vilt, fisk & miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). <http://pub.epsilon.slu.se/11464/>

Monten, E. 1988. Fiskodling och vattenkraft, Vattenfall, Sverige. p. 139. (In Swedish).

Narum, S.R., Hatch, D., Talbot, A.J., Moran, P., & M.S. Powell (2008) Iteroparity in complex mating systems of steelhead *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of Fish Biology* 72(1): 45-60. DOI 10.1111/j.1095-8649.2007.01649.x

Niemelä E., Mäkinen T., Moen K., Hassinen E., Erkinaro J., Länsman M. & Julkunen M. (2000) Age, sex ratio and timing of the catch of kelts and ascending Atlantic salmon in the subarctic River Teno. *Journal of Fish Biology* (56):974-85. DOI 10.1111/j.1095-8649.2000.tb00886.x

Niemelä E., Orell P., Erkinaro J., Dempson J.B., Brors, S., Svenning M.A, & E. Hassinen (2006a) Previously spawned Atlantic salmon ascend a large subarctic river earlier than their maiden counterparts. *Journal of Fish Biology* 69 (4): 1151-1163. DOI 10.1111/j.1095-8649.2006.01193.x

Niemelä, E., Erkinaro, J., Julkunen, M., Hassinen, E., Länsman, M., & S., Brors (2006b). Temporal variation in abundance, return rate and life histories of previously spawned Atlantic salmon in a large subarctic river. *Journal of Fish Biology* 68(4): 1222-1240. DOI 10.1111/j.1095-8649.2006.01012.x

Nyqvist, D. (2013) Atlantic salmon kelts- Repeat spawning and downstream migration. Introductory paper no 9, Department of Biology, University of Karlstad. 18 pp.

- Olofsson, O. (1945) Medför leken i regel att laxen dör? Svensk Fiskeritidskrift 54(3): 50-52.
- Östergren, J. (2006) Migration and Genetic Structure of *Salmo salar* and *Salmo trutta* in Northern Swedish Rivers. Doctoral thesis-Academic Dissertation for Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.). Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2006: 112. . Department of Wildlife, Fish, and Environmental studies, SLU (Swedish University of Agricultural Sciences), Faculty of Forestry Sciences, Umeå. ISBN 91-576-7261-X
- Östergren, J. & P. Rivinoja (2008) Overwintering and downstream migration of sea trout (*Salmo trutta*) kelts under regulated flows- northern Sweden. River Research and applications 24: 551–563 DOI: 10.1002/rra.1141
- Quinn, T.P., & K.W. Myers (2004) Anadromy and the marine migrations of Pacific salmon and trout: Rounsefell revisited. Reviews in Fish Biology and Fisheries (2004) 14: 421–442. Springer 2005, DOI 10.1007/s11160-005-0802-5
- Quinn, T.P., & K.W. Myers (2006) Patterns of anadromy and migrations of pacific salmonids and trout at sea. In International Sea Trout Symposium, Cardiff, Sea trout: Biology, Conservation, and Management. Eds G.Harris and N.Milner. ISBN-13:978-1-4051-2991-6, Blackwell Publishing
- Reddin, D.G., Downton, P., Fleming, I. A., Hansen, L.P, & A. Mahon (2011) Behavioural ecology at sea of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) kelts from a Newfoundland (Canada) river. Fisheries Oceanography 29(3): 174-191. DOI 10.1111/j.1365-2419.2011.00576.x
- Scruton, DA, McKinley, RS, Kouwen, N, Eddy, W, & R.K., Booth (2002) Use of telemetry and hydraulic modeling to evaluate and improve fish guidance efficiency at a louver and bypass system for downstream-migrating Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts and kelts. Hydrobiologia 483(1-3): 83-94. DOI 10.1023/a:1021350722359
- Scruton , D.A., C.J. Pennell, M.J. Robertson, K.D. Clarke, W. Eddy, & R.S.McKinley (2005) Telemetry studies of the passage route and entrainment of downstream migrating wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts at two hydroelectric installations on the Exploits River, Newfoundland, Canada. In *Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe. Ustica, Italy, 9-13 June 2003. Rome, FAO/COISPA. 2005. 295p.*
- Scruton, D. A., Pennell,C.J., Bourgeois,C.E., Goosney, R.F., Porter, T. R., & K.D. Clarke (2007) Assessment of a retrofitted downstream fish bypass system for wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts and kelts at a hydroelectric facility on the Exploits River, Newfoundland, Canada. Hydrobiologia 582, 155-69. DOI 10.1007/s10750-006-0557-6
- Scruton, D. A., Pennell,C.J., Bourgeois,C.E., Goosney, R.F., King,L., Booth,R.K., Eddy,W., Porter,T.R., Ollerhead,L.M.N., & K.D. Clarke (2008) Hydroelectricity and fish: a synopsis

of comprehensive studies of upstream and downstream passage of anadromous wild Atlantic salmon, *Salmo salar*, on the Exploits River, Canada. *Hydrobiologia* 609: 225-239. DOI 10.1007/s10750-008-9410-4

Svärdson, G. (1966) Öringen. Fiske 66: 1-31 (På svenska)

Shearer, W. M. (1992) The Atlantic salmon. Fishing News Books, Oxford

Thorstad, E.B., Heggberget, T.G., & F. Okland (1998) Migratory behavior of adult wild and escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*), before, during and after spawning in a norwegian river. *Aquaculture research*, 29(6): 419-428

Thorstad, E.B., Whoriskey, F., Rikardsen, A.H. & K.Aarestrup (2011) Aquatic nomads: The life and migrations of the Atlantic salmon (pages 1-32) In *Atlantic Salmon Ecology* (Eds. by Ø. Aas, S. Einum, A. Klementsén, J.Skurdal). Wiley-Blackwell. Oxford, UK.

Vähä, V., Romakkaniemi, A., Ankkuriniemi, M., Pulkkinen, K. & M. Keinänen (2009) Monitoring of the salmon and trout stocks in the Tornionjoki river system in 2008. Riista Ja Kalatalous Selvityksia 4:1-31 (A collection of tables and figures (in English), which presents the monitoring data in detail is available on the FGRI website: http://www.rktl.i/english/ish/ish_resources/atlantic_salmon_and_monitoring_results_of.html)

Weiland, MA, Kim, J, Nagy, WT & G.E., Johnson (2009) Evaluation of steelhead kelt passage into the Bonneville Dam Second Powerhouse corner collector prior to the juvenile migration seasons, 2007 and 2008. Final Report to the U.S. Department of Energy by Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington [Available at: http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-18323.pdf], 46 pp.

Welton, J. S., Beaumont, W. R. C., & M. Ladle (1999) Timing of migration and changes in age structure of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the River Frome, a Dorset chalk stream, over a 24-year period. *Fisheries Management and Ecology* 6(6):437-458 DOI 10.1046/j.1365-2400.1999.00166.x

Wertheimer R.H. & A.F. Evans (2005) Downstream passage of steelhead kelts through hydroelectric dams on the lower Snake and Columbia rivers. *Transactions of the American Fisheries Society* (134): 853-865. DOI 10.1577/t04-219.1

Wertheimer, R.H. (2007) Evaluation of a surface flow bypass system for steelhead kelt passage at Bonneville Dam, Washington. *North American Journal of Fisheries Management* 27: 21-29.

Westerberg, H., och L. Ask (2011) Staten och Fisket- nedslag I fiskeriförvaltningens historia. Fiskeriverket. https://www.havochvatten.se/download/18.19fef33c13a77c96b19a1/1350634932844/Staten+och+fisket_webb.pdf

Whitney, RR, Calvin, LD, Erho, MW, Jr., & C.C., Coutant (1997) Downstream passage for salmon at hydroelectric projects in the Columbia River basin: development, installation, and evaluation. Report 97-15 of the Independent Scientific Group to the Northwest Power Planning Council, Portland, OR [Available at: http://www.nwcouncil.org/media/26710/97_15.pdf], 109 pp.

Williams, J.G., Armstrong, G., Katopodis, C., Larinier, M., & F. Travade (2012). Thinking like a fish: A key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstructions. *River Research and Applications* 28: 407-417.

9. Bilagor

Bilaga 1 - Modellsystemet kring Stornorrfors i Ume-Vindelälvens avrinningsområde

Stornorrfors kraftverk, beläget en mil nedströms sammanflödet av Umeälven och Vindelälven, producerar mest elektricitet av Sveriges alla vattenkraftverk, med en årlig genomsnittlig produktion på 2300 GWh. Den fem turbinerna som finns i Stornorrfors området har en maximal slukförmåga av c. 1000 m³/s. Nationalälven Vindelälven är en av Sveriges fyra stora utbyggda fjällälvar och hyser naturvärden, bl a vilda lax- och havsöringspopulationer, som är både nationellt och internationellt uppmärksammade. Byggandet av Stornorrfors vattenkraftverk skapade problem för Vindelälvens lax- och havsöringspopulationer att nå sina lekplatser.

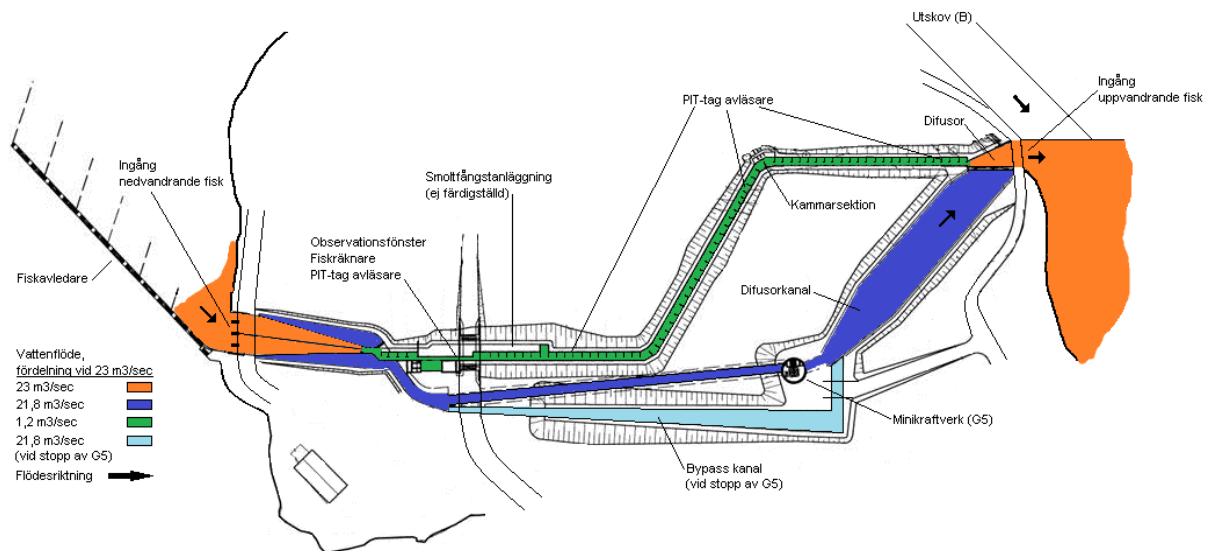
Under 90-talet etablerades ett samarbete mellan kraftproducenter, universitet, fiskerättsägare och förvaltande myndigheter med syfte att återfå Vindelälvens vilda lax och havsöringspopulationer. Projekten som skapades finansierades i huvudsak av Elforsk och Vattenfall AB och inhämtade fiskbiologisk kunskap om laxens och havsörings uppströmsvandringens beteende, dvs. hitta förutsättningar att vandra förbi kraftstationens utloppskanal, hitta fisktrappan och passera denna för att slutligen finna sina lekrområden högt uppe i Vindelälven. Nyligen utförda utvärderingar av restaurering av problematiska fiskvandringssområden som Baggböle, Kungsmo, Laxhoppet och fisktrappan, samt till viss del ändrad spillregim har gett positiva resultat och 2013 passerade det över 15 000 laxar i fisktrappan (Leonardsson *et al.* 2013). I Vindelälven möter laxen och havsöringen prima lekbottnar och uppväxthabitat som återställts via omfattande och storskaliga restaureringsprojekt (t.ex. pågående EU-LIFE restaureringsprojekt i hela älvdalen via Umeå Universitet, SLU samt Vindelälvens fiskeråd).

Vindelälven fungerar idag som ett nationellt indexvattendrag för lax och havsöringsproduktion, och data från Vindelälven utgör värdefullt underlag för internationella havsfiskerådet (ICES) vid bedömningar av produktionsförutsättningar i norrlandsälvarna, kunskap som sedan vägs in i beräkningar av internationella fiskekvoter. Befintlig infrastruktur på plats för övervakning och datainsamling av fiskvandring, i kombination med ett flerårigt och detaljerat informationsmaterial om habitat, flödesdynamik, avrinningsområdesnyttjande, fiskuttag, etc. gör Vindelälven intressant för att studera inverkan av kraftproduktion på fisk och fiskvandring. Navet i det hela är fisktrappan i Stornorrfors, en åtgärd som symboliserar att kraftproduktion inte enbart behöver vara negativt för lax och havsöringsbestånden, utan kan i dialog med forskning även tillföra mervärden i form av beståndskontroll och förvaltningskunskap.

I den här studien mättes ändringar i vattentemperaturdata med automatiska loggrar vid bland annat smoltryssjan i Spöland, vid bron över Vindelälven strax uppströms Råstrand,

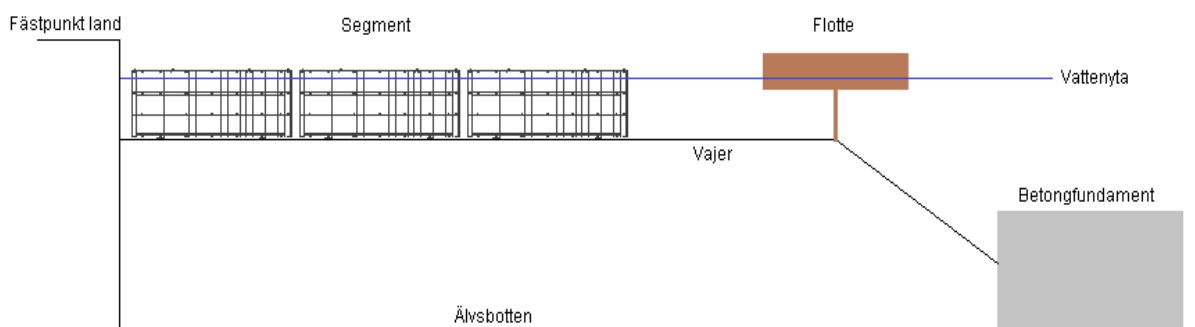
samt vid Renforsen i Vindeln. Flödesdata för Vindelälven hämtades från SMHIs vattenwebb för området strax uppströms Spöland. Data om vattenflöden med en timmes upplösning genom de olika turbinerna i Stornorrfors kraftverk samt spillflöden tillhandahölls av Vattenfall Vattenkraft AB (Storuman).

Avledningsstrukturer är fysiska strukturer (skärmar, galler, etc.) som avser styra vandrande fisk mot passager förbi kraftverk och dammar. Det finns idag lite kunskap om hur ledarmar ska designas för att optimera funktionen men ledarmens längd, vinkel och djup är centrala parametrar i hur effektiva de är som styrande strukturer för fisk (Lundqvist *et al.* 2014). Högupplösta data på fiskens rörelser runt ledarmen är av största betydelse för att göra trovärdiga utvärderingar och effektiva justeringar. När fisktrappan i Norrfors färdigställdes 2010 lades också resurser på fisktrappans funktion som en passage (omlöp eller bypass) för nedströmsvandrande utlekt kelt och smolt. Den ca. 110 meter långa fysiska styrarm som anlades uppströms fisktrappans övre öppning syftade till att leda utvandrande fisk från älvens huvudfåra till fisktrappan som då skulle fungera som "bypass". Lundqvist *et al.* (2014) utvärderade preliminärt ledarmens funktion och visade på låg avledningseffektivitet och att den i sin nuvarande form inte kunde anses fungera tillfredsställande som styrstruktur för kelt. Vi saknar idag kunskap om vilka justeringar som är nödvändiga för att öka funktionaliteten i ledarmens styrförmåga. Detta behöver utredas. I den rapporten sammanfattas också detaljerna kring den nya fisktrappan med sin ledarmsstruktur för avledning av nedströmsvandrande fisk. Nedan visas skisser på hela projektet ([Figur 1](#), [Figur 2](#), [Figur 3](#)). Nya fisktrappan är 350 meter lång, har 77 steg och en fallhöjd på 22 meter (+53-+75). Anläggningen är konstruerad för ett totalt flöde om 23 m³/s varav trappan sväljer 1,2 m³/s. Överskjutande vattenmängd skiljs av inne i trappans intag och leds vidare till antingen ett minikraftverk (G5) eller till omlöpet (själva fisktrappan) för att därefter från G5 återföras till trappa via diffusorn som lockvatten för stigande fisk (Figur 1). Den nya modellen på fisktrappa togs fram under 1960-talet vid *Ice Harbor*, ett biflöde till Columbia-floden (USA), och ger möjlighet till nedströmsvandring, automatisk fiskräkning (VAKI counter), automatisk reglering av vattennivån i trappan (± 1 cm), infrastruktur för avläsning av PIT-tag märkt fisk via 16 PIT-läsare, saknar vilopooler och har stor diffusor samt två större observationsfönster (2 st 2 x 3 meter).



Figur 1. Fisktrappan i Storrorrfors, Umeälven, som färdigställdes 2010. Fisktrappan ligger ca. 200 m nedströms från dammen och ca 2000 m uppströms kraftverksintaget.

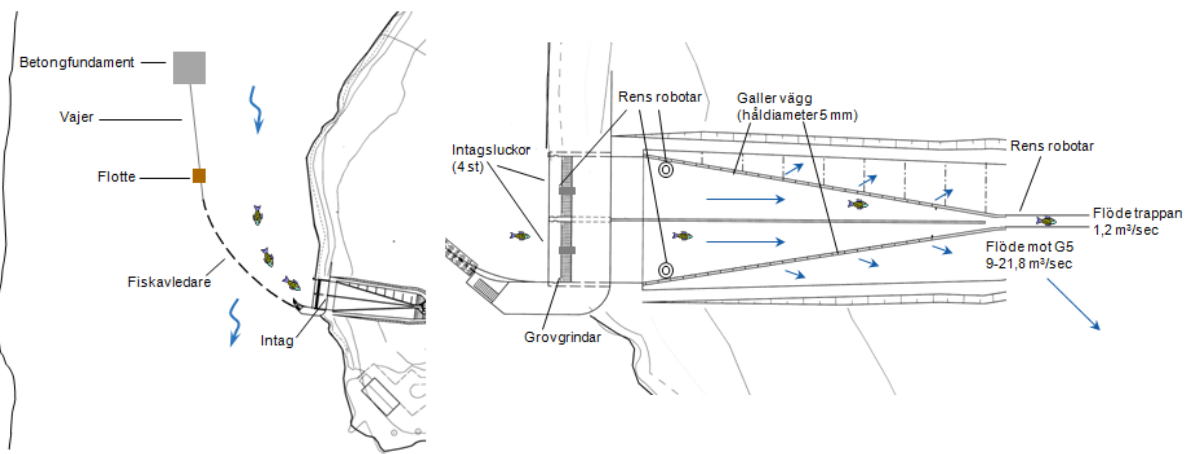
Fiskavledaren är 110 meter lång och har 22 segment (5 m bred x 1,8 m djup/segment). Konstruktionen är i rostfritt stål klätt med impregnerat trä längs långsidorna. Rätt flytförmåga (ca 1 decimeter över vattenytan) erhålls genom att segmenten invändigt fyllts med cellplast och ballast(stål) för att hålla dem i vertikal position. Varje segment är sammankopplade med en vajer som löper genom två fästpunkter i underkant på varje segment och sedan vidare till ett betongfundament på älvens botten där vajern är förankrad (Figur 2). Mellan sista segmentet och betongfundamentet har en flotte placerats med uppgift att hålla vajern på ca 2 meters vattendjup.



Figur 2. Principskiss av hur fiskavledaren är förankrad

Fiskavledarens yttre ände placerades uppströms fisktrappan, och vinklad mot strömmen skapar ledarmen en strömbildning mot fisktrappans övre del för att leda fisk i rätt riktning (Figur 3 vänster). Erfarenheter från USA säger att utvandrande smolt undviker strömmar som dyker under s.k. *behavior guidance screens* (BGS) och tenderar istället att följa dem som strandlinjer. Telemetristudier av märkt smolt i området (Rivinoja 2005, Östergren 2007), har legat till grund för placering av den nya fisktrappans intag och vår bedömning har varit att smolten bör kunna fångas upp av en styrande ledarm och dirigeras in mot trappan. Fisk som leds av och passerar nedströms via fisktrappan når den gamla älvfåran nedströms dammen i Norrfors och kan utan att hindras nå havet (Bottniska Viken) ca 22 km nedströms.

Intaget till fisktrappan är 45 meter långt, 16,5 meter brett och har 4 st. intagsluckor samt 5 st. rensrobotar. Det maximala flödet som kan passera genom intaget är $23 \text{ m}^3/\text{sek}$ varav trappan kan svälja $1,2 \text{ m}^3/\text{sek}$, överskjutande vattenmängd (lockvatten) skiljs därför av genom två perforerade väggar (Figur 3 höger) som hindrar fisk och drivgods att åka ner i minikraftverket (G5).



Figur 3. Skiss på fiskavledarens placering och intagsanordning för nedströmsvandrande fisk i nya fisktrappan (vänster) samt hur vattnet och fisken separeras i fisktrappans övre del (höger).

Bilaga 2. Passageöverlevnad via turbiner för kelt märkt med akustiska sändare

I denna delstudie släpptes akustiskt märkt kelt nedströms intagsgrindarna till turbinerna vid kraftverket i syfte att skatta överlevnad och beteende för kelt som passerar/passerat via kraftverksturbinerna i Stornorrfor kraftverk. I försöket märktes kelt som hållits i Norrfors avelsanläggning (för fiskdata se nedan) kirurgiskt med akustiska sändare (VEMCO V16 - 16 x 6.8mm) den 10 november 2014 då 17 laxar som fångats i älven nedströms fisktrappan (första två veckorna i oktober 2014). Dessa fiskar hade ingått i aveln för kompensationsodlingen vid Norrfors fiskodling. Sändaren placerades i bukhålan via ett snitt ca 7-10 cm framför bukfenan. Snittet stängdes med tre stygn. I samband med märkningen vägdes (kg) och mättes fisken (TL & FL). Laxens maximala höjd, samt dess maximala bredd över ryggen, mättes via ett specialtillverkat skjutmått. Efter märkningen tilläts laxen återhämta sig under natten.

För att öka sannolikheten att laxen skulle passera genom turbin släpptes fisken den 11 november 2014 innanför intagsgallret, ca 0,5 meter från gallret och 20 meter innan turbintunneln. Laxen släpptes vid turbin G3. Vid släpptillfället var fyra turbiner igång, och ca 430 m³/s gick totalt igenom stationen, varav ca. 255 m³/s via turbin G3.

För att detektera den märkta laxen hade 5 st hydrofoner (Vemco VR2W – 69kHz) placerats nedströms utloppskanalen ([Figur 1](#)). Hydrofonerna var förankrade via tyngder och hölls lodrätta i vattnet mha flytbojar. Varje sändare sände ID-kod ca var 40:e sekund med en styrka på -163 dB. Systemet testades genom att föra en sändare förbi hydrofonerna och sedan jämföra teoretiskt antal detektioner (dvs antalet sänd ID-kod från sändaren under driftens tidsperiod) med faktiska detektioner registrerade på hydrofonerna. Systemet visade sig fungera tillfredställande, med mellan 60-80% detektionssannolikhet upp till 150 m från varje enskild hydrofon.



Figur 1. Position av hydrofon 1 t.om 5. Hydrofon Q1 och Q2 hade något lägre detektions-sannolikhet än Q3- Q5, troligen pga att högre vattenhastighet i sammanflödesområdet genererar mer störande ljud. Bottentopografin mellan Cykelbron och E4-bron (Q4- Q5) i Umeå stad var inte optimal då en grund, central rygg delade området i öst/västlig riktning. Detta medförde potentiellt att bara en hydrofon hade bra detektionsförutsättningar beroende på vilken sida ryggen laxen passerade (antingen Q4 eller Q5).

Våra resultat från denna delstudie som avsåg att få empiriska data på dödligheten i samband med turbinpassage för olika storleksgrupper av kelt efter passage gav inte en enda registrering på någon av hydrofonerna. De fem hydrofonerna som bärgades 1 december 2014 detekterade ingen passage för någon av de 17 fisksändare som användes i försöket. En efterföljande manuell pejling via mobil hydrofonstation (Vemco VR100) som utfördes 15 januari i både utlopps- och intagskanalen kunde inte heller påvisa signaler från någon av de använda sändarfrequenserna. Vi avslutar rapporteringen av denna delstudie genom att sammanfatta att vi inte kunde avgöra om någon lax överhuvudtaget överlevde turbinpassagen då ingen logger plockade upp några signaler från passerande fisk. Om radiomärkt kelt dött efter turbinpassage skulle de detekteras när de kom passerande i kraftverksutloppet. Att samtliga 17 märkta laxar i denna studie skulle stranda innan sammanflödet är osannolikt. Att de märkta fiskarna skulle ha passerat hydrofonerna och inte registrerats är osannolikt med tanke på hög ping-frekvens (var 40:e sekund) hos loggrarna och den bedömda höga detektionssannolikheten (60-80%). En sannolik förklaring kan vara att de akustiska sändarna gick sönder pga stora och extremt snabba tryckförändringar vid 76 meters fallhöjd (Stornorrfor kraftverk) eller annan mekanisk skada i samband med turbinpassage. Något som talar för detta är att många av de aktiva radiosändarna från de kelt som inte klarade passagen via turbinerna pejlades flera hundra meter nedströms sammanflödesområdet. Även om samtliga kelt med akustiska märken omkommit i turbinerna borde alltså någon av dem "transporterats" med vattenströmmen nedströms förbi sammanflödesområdet för att slutligen hamna i det djupområde där många av de aktiva sändarna lokaliserades. Vi försöker nu utreda (via säljaren VEMCO) om detta är ett rimligt antagande. Alternativet att samtliga kelt efter frisläppning i turbinintaget skulle vänt

uppströms bedöms inte som realistiskt då manuell pejling i intagskanalen till kraftverket den 15 januari 2014 inte kunde registrera någon fisk.

Fisk och sändardata (akustiska märken) på individer som frisläpptes mot intagsgrindarna i Stornorrfors i försök att studera överlevnad hos fisken efter turbinpassage i oktober 2014.

Löp nr:	Sändar-ID	Kön	FL (cm)	TL (cm)	Vikt (kg)	Höjd (cm)	Bredd (cm)
1	ID24150/1194254	F	76	80	5.45	14.5	8.8
2	ID24106/1194270	M	81	86	4.8	15.3	7.9
3	ID24109/1194273	F	79	83	5	16	8.4
4	ID24112/1194276	M	77	81	4.7	16	8
5	ID24115/1194279	M	81	85	4.8	15	8
6	ID24118/1194282	M	89	93	7	18.8	8.7
7	ID24104/1194208	M	77	81	4.3	14.9	7.3
8	ID24107/1194271	M	76	81	3.5	12.5	5.6
9	ID24110/1194274	M	74	78	3.5	13.1	5.7
10	ID24113/1194277	M	89	92	5.8	15.1	8.1
11	ID24116/1194280	F	99	102	9.9	19.8	11.1
12	ID24119/1194283	F	79	83	5	14.5	9
13	ID24105/1194269	M	85	89	5.9	16.5	9
14	ID24108/1194272	F	76	80	4.4	14.6	8.9
15	ID24111/1194275	M	80	84	4.9	14	7.9
16	ID24114/1194278	M	90	93	6.7	18	9.5
17	ID24117/1194281	M	82	85	5.1	15.5	7.6
		Medelvärde	81.76	85.65	8.22	15.54	8.21
		SE	6.64	6.28	12.02	1.90	1.30