

# 1. Slutrapporter från forskningsprojektet

## 1.1 Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass"-system

### *Projektmedlemmar*

#### *Projektledare:*

Hans Lundqvist, Professor.  
Vattenbruksinstitutionen, SLU  
(Sveriges Lantbruksuniversitet),  
901 83 Umeå  
090-786 8315, 070-542 10 20  
[hans.lundqvist@vabr.slu.se](mailto:hans.lundqvist@vabr.slu.se)

#### *Projektmedlemmar:*

Lars Bergdahl, Professor.  
Bygg- och miljöteknik, Vatten miljö  
teknik, Chalmers, 41296 Göteborg  
Tfn 031-777 221 55  
[Lars.Bergdahl@wet.chalmers.se](mailto:Lars.Bergdahl@wet.chalmers.se)

#### *Projektmedlemmar:*

Kjell Leonardsson, Docent  
Vattenbruksinstitutionen, SLU  
(Sveriges Lantbruksuniversitet),  
901 83 Umeå  
090-786 8394  
[kjell.leonardsson@vabr.slu.se](mailto:kjell.leonardsson@vabr.slu.se)

#### *Doktorand:*

Peter Rivinoja  
Vattenbruksinstitutionen, SLU  
(Sveriges Lantbruksuniversitet),  
901 83 Umeå  
090-786 8384  
[Peter.rivinoja@vabr.slu.se](mailto:Peter.rivinoja@vabr.slu.se)

#### *Doktorand:*

Jaan Kiviloog, tekn. lic.  
Bygg- och miljöteknik, Vatten miljö  
teknik, Chalmers, 41296 Göteborg  
Tfn 031 25 55 70, 0705 34 58 79  
[jaan.kiviloog@home.se](mailto:jaan.kiviloog@home.se)

#### *Projektmedlemmar:*

Mikaela Eliasson, civ.ing.  
Bygg- och miljöteknik, Vatten miljö  
teknik, Chalmers, 41296 Göteborg  
Tfn 031-7772 21 59  
[Mikaela.Eliasson@wet.chalmers.se](mailto:Mikaela.Eliasson@wet.chalmers.se)

### **Bakgrund och problemställning**

Den svenska vattenkraftsutbyggnaden har orsakat stora ekologiska förändringar i älvar där vandrande fisk hindrats från att nå sina lek- och tillväxtområden, eller genom att deras rekryteringsområden överdämts eller torrlagts. I älvar med kvarvarande lekströms uppströms flödesregleringar har fiskvägar byggts för att underlätta fiskens vandring förbi kraftverk. Det är viktigt både för samhället och kraftindustrin att vandringsfisker i möjligaste mån kan bevaras som hållbar naturresurs även i helt eller delvis reglerade vattendrag. Detaljerad information kring denna problematik ges i doktorsavhandling av Rivinoja (2005). I Stornorrforos vattenkraftverk har fiskens vandring möjliggjorts genom att den gamla älvfåran utgör vandringsled, sk "bypass-kanal", för fisk från turbinutloppet till fisktrappan vid dammen uppströms. I den gamla älvfåran spills en mindre del vatten via dammens ytutskov, medan älvens huvudflöde leds till turbinerna och därefter via en utloppstunnel tillbaka till älven. Dessa två vattenvägar möts i ett sammanflöde där uppströms simmande lekvandrande lax förväntas hitta den mindre vattenvägen i bypass-kanalen och simma vidare till fisktrappan där de registreras och frisläpps för vidare vandring till lekströms i Vindelälven. I omvänd riktning vandrar smolt nedströms med huvudflödet mot turbinintagen och vidare genom turbiner/tunnelsystem där dödligheten är stor (Montén 1988).

Vilda laxpopulationers utsatthet är ett internationellt problem (NRC 1996) och Östersjölaxens och havsöringens lekvandring har skadats i många älvar i Bottniska Viken och Östersjön. Idag utgör vild lax mindre än 15 % av det totala beståndet av Östersjölax (ICES 2001). Generellt har det visat sig att många vandringsvägar, bypass-kanaler eller fisktrappor, inte fungerat tillfredsställande vilket lett till att vandringsfiskbestånden eliminerats eller reducerats (Christensen & Larsson 1979, Karlsson & Karlström 1994). Det är därför viktigt att utvärdera den kvantitativa

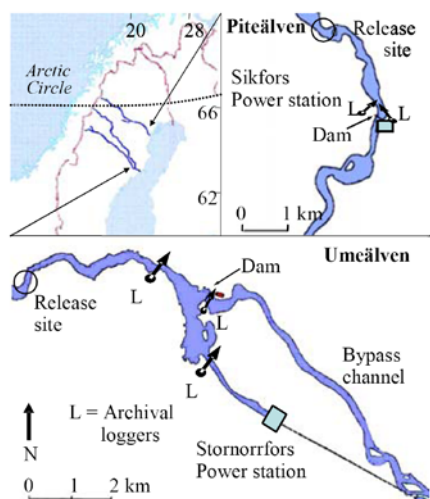
betydelsen av fisktrappor vid kraftverk i älvars nedre del som hinder för passage av fisk till och från kvarvarande reproduktionsområden uppströms.

Rivinoja et al. (2001) observerade svårigheter för lekvandrande lax att passera Stornorrfors kraftverk i Umeälvens nedre del. Dessutom visade Montén (1988) att ca 25 % av de vildfödda lax- och öringungarna under sin utvandring till havet dog efter passage av Stornorrfors kraftverk och tunnelutloppet. De observerade problemen med fiskvandringen i Umeälvens nedre del (Rivinoja 2005) belyser utförligt hur kraftverksbyggnader påverkar laxens vandring i ett större vattendrag. Samtidigt ges ny generell kunskap om förhållandet i reglerade områden och viktig information om hur man kan lösa fiskvandningsproblem också i andra vattendrag. I det ena av våra två modellvattendrag (Umeälven) finns en tämligen fungerande laxtrappa vid kraftverkets damm men det har visat sig att en majoritet av den stigande laxen har problem att finna rätt vandringsväg uppströms till fisktrappan och passera denna (Slutrapport Energimyndigheten Etapp I).

### **Umeälven och Piteälven som modellvattendrag**

Umeälven och Piteälven i norra Sverige är fjällälvar med källflöden ca 450 km från kusten. Umeälven och det största biflödet Vindelälven, med ett årligt medelvattenflöde av ca  $430 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , mynnar i Bottenhavet ( $64^\circ\text{N } 20^\circ\text{E}$ ) medan Piteälven, med en medelvattenföring av ca  $150 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  mynnar i Bottenviken ( $65^\circ\text{N } 21^\circ\text{E}$ ). Bägge älvarna är flödesreglerade via vattenkraftsanläggningar i de nedre delarna, Stornorrfors kraftverk vid Umeälven och Sikfors kraftverk i Piteälven. Fisktrappor i respektive dammanläggning möjliggör uppströmsvandring till lekområden. Umeälvens vilda laxbestånd försvann efter vattenkraftsbyggnationer under 50-talet, medan Vindelälven fortfarande har produktion av vild lax och havsöring. Smoltutsättningar (från Norrfors) kompenserar förlusten av vild umeälvslox. Fettfenan har från 1972 klippts från odlad fisk för att särskiljas från vild lax med intakt fettfena. I fisktrappan har sedan 1961 fiskens ursprung samt kön, längd, vikt, ankomsttid, mm registrerats innan frisläppning för vidare vandring uppströms till Vindelälvens lekområden 50-300 km uppströms (Lundqvist *et al.* 2005). Under 1974-2005 har den befintliga databasen (som Vattenfall AB ombesörjer) 52 671 individer av vild lax registrerad. Omkring 70% är av vilt ursprung (McKinnell *et al.* 1994).

Vindelälven rinner in i Umeälven ca 40 km från mynningen och ca 8 km uppströms Stornorrfors damm och kraftverk. Vårt undersökningsområde, ca 32 km, sträcker sig från märkplats i Umeälvens mynning till laxtrappan i Norrforsdammen (figur 1). Vattnet återförs till Umeälven via en 4 km underjordisk tunnel (rak svart linje i figur 1). Området ges då en 8 km öppen naturlig älvfåra som under fiskens vandringsperiod fungerar som "bypasskanal" mellan damm och turbinvattenutsläpp. Följande begrepp har använts: *vandring* avser den vuxna fiskens lekvandring uppströms. *Tunnelutloppet* är den 250 m långa och 40 meter djupa kanal nedströms turbinvattentunneln. *Sammanflödesområdet* är området där vattnet från tunnelutloppet och den naturliga älvfåran möts. Fisktrappan är vandringsleden förbi Norrfors damm. *Spillvatten* till bypass-kanalen kontrolleras genom dammluckorna vid dammen i Norrfors (Tabell 1). Vattenföringen genom Stornorrfors kraftverk varierar över dygnet och veckan. Den genomsnittliga vattenföringen ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) över fyra Francis turbiner från 20 maj till 1 oktober (1997) var ca  $552 \text{ m}^3/\text{s}$  och spillet  $56 \text{ m}^3/\text{s}$  för en total vattenföring av  $608 \text{ m}^3/\text{s}$ . Den maximala vattenföringen genom kraftverket kan vara ca  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figur 1.** I figurens övre vänstra hörn syns den geografiska placeringen av Umeälven och Piteälven där undersökningar har genomförts. Stornorrfor's kraftverk i Umeälven och laxens vandringsled i älvens nedre del (botten) samt Sikfors kraftverk i Piteälven (övre högra hörnet).

**Tabell 1.** Minimiflöde i bypass-kanalen i Umeälven enligt nedan. Fisktrappan har en vattenföring på ca 1 m<sup>3</sup>/s.

Datum	m <sup>3</sup> /s
20 maj – 15 juni	10
16 juni – 31 augusti,	20 (måndag 07:00 till lördag 05:00)
16 juni – 1 oktober,	50 (helger)
1 september – 1 oktober,	15 (måndag 07:00 till lördag 05:00)
1 oktober – 19 maj	0,5

### Problemställningar

Vandringsfiskars passage av vattenkraftverk, regleringsdammar och andra vandringshinder har studerats i både Umeälven och Piteälven. Projektets överordnade mål är åtgärdsinriktade och ger underlag för insatser som möjliggör förbättring av vandringsfiskars upp- och nedvandring förbi kraftverk. Arbetet har fokuserats mot följande fyra generella frågeställningar:

- I. Vilka miljövariabler får leklax i en större vattenmassa att hitta och vandra upp i en mindre flödeskälla (sk bypass) förbi kraftverks- och dammkonstruktioner?
- II. Hur, när och var i vattenmassan utvandrar lax- och öringsmolt generellt i våra flödesreglerade vattendrag (t.ex. ovan Norrfor's damm i Umeälven, samt ovan Sikfors kraftverk i Piteälven)?
- III. Simulering av strömningsmönster och validering av dessa med fältmätningar för att modellera leklaxens och laxungarnas förmåga att vandra förbi vattenkraftverk och dammar.
- IV. Kvantifiering av laxens lekvandring från fisktrappan vid olika flödesregimer för att utreda om laxen faller tillbaka över dammen, samt att sammanställa erfarenheter av FoU gällande effekten av kraftverksbyggnationer i andra

norrländska älvar på laxfiskars lekvandring och förmåga till passage (t.ex. Piteälven, mm). (Del frågeställning med ”fallbacks” över damm har efter samråd med Vattenfall inte genomförts efter första årets observationer p.g.a. att ny fisktrappa planeras att byggas vid Norrforsdammen i Umeälven.)

### **Projektbeskrivning**

Vandringsfiskars passage av vattenkraftverk, regleringsdammar och andra vandringshinder har studerats i både Umeälven och Piteälven. Studier på uppströmsvandrande lekfisk genomfördes endast i Umeälven. Fiskarnas vandringsmönster vid passage av kraftverken och dammarna relaterades till olika vattenflöden som antingen var normal veckotappning, extrema spill eller experimentella flöden i direkta försök. Med populationsmodeller bedömdes den framtida effekten på laxpopulationerna om den observerade förlusten på fiskvandringen orsakad av kraftverken minimerades. □Projektets åtgärdsinriktning ger underlag för framtida insatser för förbättring av den vilda laxens och havsöringens upp- och nedvandring via fisktrappor alternativt smoltavledare förbi kraftverken. Denna kunskap är viktig för att långsiktigt uppfylla de nationella miljömålen om skydd av hotade vandringsfiskar. Rapporten fokuseras mot tre generella frågeställningar: Nedan följer en kortfattad beskrivning av projektet som i stort kan indelas i tre delar med utgångspunkt från hur lekvandrande lax vandrar uppströms i älven vid normala veckotappningar, hur individernas vandringsintensitet varierar beroende på spillvattentappningar, samt hur smolt nedströmsvandrar mot damm och turbinintag.

### **Lekvandrande individers uppträdande vid sin uppströmsvandring i Umeälven vid normal veckotappning**

I Umeälven studerades vandringsmönstret hos lekvandrande lax som ryssjefångats och märkts under juni-augusti efter ankomst till älvens mynning. De flödesreglerade områdena, sammanflödet och bypass-kanalen, på den ca 32 km långa sträckan mellan mynningen och fisktrappan vid dammen granskades detaljerat för att utreda eventuella problematiska passager. Laxarna märktes med aktiva inre eller yttre radiosändare (ATS), passiva radiomärken, PIT-tags (Trovan), samt ett klipp i fettfenan. Ingen av dessa märken förväntas störa fiskens simförmåga eller beteende. Prover för genetisk analys av stamtillhörighet samplades tillsammans med notering av längd och kön. Laxens individuella vandringar följdes genom manuell pejling (båt, bil, mm) 3-7 ggr i veckan samt genom automatiska pejlstationer (LOTEK loggrar) fram till 7 oktober. De automatiska pejlstationerna placerades under 2003-2005 på strategiska platser i sammanflödesområdet och detaljerad information av laxars rörelsemönster inom detta område erhöles. Resultaten från loggrarna valideras med manuella pejlingar (för detaljer, se Rivinoja 2005).

### **Laxens vandringsintensitet vid olika spillvattentappningar**

Denna del utreder hur och vilka miljövariabler som får leklax i en större vattenmassa att hitta och lockas upp i en mindre flödeskälla som kan fungera som ”bypass” förbi kraftverks- och dammkonstruktioner. Tillsammans med Fiskeriverket och Vattenfall utarbetades olika tappningsmönster där laxens uppströmssimning till ”bypass”-kanalen studerades i direkt anslutning till ”nya” tappningsregimer av tex 80 m<sup>3</sup>/s spill under fyra dagar i stället för veckoreglering på 20 m<sup>3</sup>/s. Den normala veckoregleringen med en flödeshöjning till 50 m<sup>3</sup>/s under helgerna har tidigare visats stimulera laxens invandring i bypasskanalen. För att svara på frågan vilken optimal

flödesregim i "spillet" som maximerar uppvandringsresponsen behövdes en hög upplösning på rörelsemönstret hos laxen samt möjlighet att manipulera flödet i torrfåran. Signalen från automatiska loggrar visar när laxen i realtid passerar sammanflödet och vandrar in i bypasskanalen eller forsen (upp- eller nedströms) medan de radiomärkta fiskarnas uppehållstid i sammanflödesområdet och bypasskanalen nedströms Baggböleforsen också erhålls. Data om fiskens rörelsemönster och uppehållstider med hög geografisk upplösning länkas och har utgjort grund för försökstappningar (Rivinoja 2005).

Strömningsbilden vid laxens uppvandring från sammanflödesområdet till "bypass kanalen" har uppmätts och sammanflödets geometri har modellerats grovt (Chalmers). Strömningsmodellen har dock visat sig bli så omfattande (1½ miljoner celler) att det är problem med konvergensen i tillgängliga datorer. Framtida resultat från en konvergerad modell kan valideras mot uppmätta hastighetsprofiler för 2003 och 2004. En fungerande, uppvandrande, numerisk "fisk" har konstruerats och testats i den konvergerade och validerade strömningsmodellen för Sikfors. Flödesmodellen kan i kombination med den numeriska "fisken" indikera optimala relationer mellan flödet i kraftverksavloppet och bypasskanalen för att locka upp laxen i bypasskanalen.

En viktig delfråga för sammanflödesområdet har varit hur och var laxen positionerar sig i turbinvattenkanalens utlopp i älven. De 3D-positioneringar av fisk vi valt för omärkt fisk är ny hydroakustisk ekolod/Sonar från SIMRAD (EK 60) med mjukvara för lagring och analys av fiskdata från älvar. Detta ger möjlighet till analys av stora datamängder för statistisk bearbetning jämfört med den individbaserade tekniken. Möjligheten att följa enskilda fiskar är dock begränsad. Genom kombinerad djupdata för lax i sammanflödesområdet fås alltså en bild av var laxen uppehåller sig och om den vandrar in i tunneln. Vi får även veta var i området laxen uppehåller sig i relation till strömningsbilden i sammanflödesområdet. Detta är viktigt för att definiera potentiella områden för placering av ingång till en eventuell fisktrappa i området (se också Rivinoja 2005).

Studier av den tidigare angivna observationen att lax i Stornorrforss fisktrappa efter frisläppning under höga spill faller tillbaka över dammen har inte genomförts därför att Vattenfall direkt efter våra påpekande om detta problem byggde om utsläppspunkten för lax släppta från fisktrappan samt att man aviserat byggandet av ny fisktrappa med smoltavledning relativt långt från den gamla fisktrappans läge (Isaksson, 2004).

### **Smoltens nedströmsvandring mot damm och turbinintag**

Smoltens nedströmsvandring studerades i både Norrfors och Sikfors. Radiomärkta odlade smolt av lax och havsöring (från Norrfors och Heden) frisläpptes vid perioder för den naturliga smoltvandringen (maj-juni 2003 och 2004), ca 3-4 km uppströms kraftverksdammarna Norrfors i Umeälven och Sikfors i Piteälven. Avsikten var att kvantifiera smoltens utvandringsslag vid varierande dammspill i de reglerade områdena. De märkta fiskarna positionerades manuellt flera gånger per dygn samt med automatiska pejlstationer och vandringsmönstret ovan dammarna och turbinintag identifierades. Parallellt under studien mättes strömbilden ovan dammarna vid olika vattenföringar. Då flödesmönstret påverkar fiskens vandringsrutt kan denna

information nyttjas för att i framtiden avleda smolt och överlevande lekfisk från turbinerna. Flödesmodelleringen (Chalmers) visar data (bottentyper, djupförhållanden, strömmiljöer i vertikalled) så att området ovan dammen kartlagts tillsammans med smoltens utvandringssväg (Kiviloog 2005, Rivinoja 2005). Här ingår också simulering av strömningen i vattenvägar kring vattenkraftverk med hjälp av tredimensionella datorbaserade strömningsberäkningar (CFD=Computational Fluid Dynamics) som valideras mot fältmätningar. Data kring smoltens positioner (3D) i de olika vattenmassorna har kombinerats med de validerade strömningsmodellerna för att fastställa hur fisken vandrat i olika strömningsskikt. Hypotesen att smolt följer huvudströmmen nedströms älven har bekräftats med "particle tracking" från utsättningspunkterna vid de tappningsförhållanden som rådde vid utsättningarna eftersom simulerade partiklar i stort följde samma väg som den utvandrande smolten. Här kommer nya rekommendationer att göras för ev utformning och längd på "fångstarmar" för avledning av smolt från kraftverksintaget. Vårt långsiktiga mål är att ställa upp klara kriterier på hur strömningen i en vandringsled ska vara beskaffad så att man sedan med hjälp av tredimensionell numerisk strömningssimulering kan utforma fungerande vandringsleder kring en vattenkraftsanläggning. Detaljerad information ges i Kiviloog (2005).

### **Projektets resultat**

*Projektet är i detalj redovisat i två avhandlingar av Rivinoja, P. ("Migration Problems of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Flow Regulated Rivers", Ph.D.avhandling, 9 dec, 2005, SLU, Umeå) samt Kiviloog, J. ("Three dimensional numerical modelling for studying smolt migration in regulated rivers", Tekn. Lic-avhandling 18 maj 2005, Chalmers, Göteborg). Nedan sammanfattas de viktigaste resultaten i projektet. För detaljer se avhandlingarna. Vi ger specifika kommentarer till övrig verksamhet som genomförts men ännu inte rapporterats.*

### **Sammanfattning**

Lekvandrande lax märktes i Umeälvens mynning individuellt med radio-, PIT- och Carlin-märken under åren 1995-2005 (n = 2.651) och viktigaste resultaten visade att endast 0- 47 % (medel 30 %) av fisken årligen lyckades vandra till fisktrappan i Norrfors c. 32 km uppströms i älven. Lekvandringen från kusten till trappan tog i snitt 44 dagar och fisken fördröjdes eller hindrades vid kraftverkets turbinutlopp, olika forsar i "bypass" kanalen (gamla älvfåran) samt i fisktrappans område. Lax i kraftverkets utloppskanal observerades genom ekolodning, vanligtvis på 1-4 meters djup där fisken relativt starkt reagerade på flödesförändringar via turbinerna genom att vandra upp- och/eller nedströms i älven. Lax i kraftverkets turbinutloppskanal reagerade generellt positivt på ett ökat spillflöde när turbinflödet minskade genom att vandra uppströms till den gamla naturliga älvfåran som ledde fisken uppströms. Vi definierar laxens "yo-yo"-simningar som svar på stora dagliga turbinvattenförändringar som ett problem därför att många laxar "bränner" energi och fettreserver på simning upp och ned i älven beroende på hur kraftverket körs. Vid höga dammspill (ca  $150 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) minskade framgången i vandrigen uppströms det första vattenfallet i vandringsleden till fisktrappan. Förlusten av lax till lekområden uppströms beräknades till 70 %. Genom populationsmodellering beräknades en framtida ökning på 500 % inom en tio års period, om 75 % av de uppströmsvandrande laxhonorna kunde nå Vindelälven, genom att fiskvandringssproblemen i den reglerade älvsträckan minimerades. Radiomärkta lax- (n = 150) och havsöringsmolt (n = 56) som frisläppts uppströms kraftverken i Umeälven och Piteälven år 2002-2004

vandrade normalt nedströms i huvudfåran och anlände till kraftverkens turbinintag. Smoltens hastighet under vandrigen sammanföll generellt med vattnets hastighet och var i snitt ca 2 fisklängder per sekund (BL s-1). Ekolodning i Piteälven visade att majoriteten av smolten vandrade ytnära på 1-3 meters djup. Flödesmodellering (CFD, Computational fluid dynamics) visade att de spilluckor som vanligen nyttjas vid respektive kraftverksdamm inte effektivt vägledde nedströmsvandrande smolt i spilllets riktning (FGE, Fish Guidance Efficiency). I Piteälven stannade 13 % av den radiomärkta smolten närmast uppströms kraftverket. Inga smolt passerade nedströms över spillet och smolt som passerade genom turbinerna visade storleksberoende förluster så att stora individer hade högre dödlighet än små. Tillsammans med data från utsättningar av Carlin-märkt smolt (n = 7.450) under 1998-1999 skattades den genomsnittliga förlusten av smolt vid kraftverket till 17 %. Populationsmodellering bedömde att andelen lekvandrande lax skulle öka från 5-30 % till 70-120 % inom en tioårsperiod om kraftverket inte orsakade några smoltförluster. Arbetena diskuterar olika förslag till hur vandringsproblemen för fisk kan minimeras så att det långsiktigt går att etablera uthålliga vandringsfiskbestånd.

### **Uppströmsvandrande leklax**

I en studie innan det nuvarande projektet startade konstaterades att det förelåg hinder i laxens lekvandring i Umeälven och att denna störning sannolikt var kopplad till flödesregleringen av Umeälvens nedre del. I den studien undersöktes vilken effekt på fiskvandringen installationen av en extra turbin 1986 i Stornorrfor kraftverk hade på "timingen" i laxvandringen genom att analysera tid för ankomst till fisktrappan som vittjas dagligen under hela fiskvandringsperioden. Ändringar i tid för laxens ankomst till fisktrappan jämfördes för två perioder 1974-1985 och 1986-1995. Under 1997, fångades och radiomärktes i Umeälvens mynning 55 vilda (med fettfena) och 25 odlade (utan fettfena och från Norrfors fiskodling) laxar som lokaliserades relativt kontinuerligt under sin uppströmsvandring. Både manuell pejlingsutrustning och automatiska loggrar användes för att spåra laxen dagligen. Endast 26 % av den vilda laxen och ingen av de odlade laxarna hittade sin väg till fisktrappan för vidare vandring till lekområdena i Vindelälven. Vi konstaterade att laxen under sin lekvandring i älvens flödesreglerade del följde det stora vattenflödet från kraftverkets tunnelutlopp och därigenom dirigerades från ingången till "bypass" kanalen som skulle leda fisken till fisktrappan. I sammanflödesområdet och början på bypass kanalen visade laxen både upp- och nedströmsvandring beroende på aktuellt vattenflöde. I "bypass" kanalen observerades flera partiella hinder som delvis förklarar varför det tog i genomsnitt 52 dagar för laxen att vandra den 32 km långa vägen från Umeälvens mynning till fisktrappan. Installationen av en fjärde turbin i Stornorrfor kraftverk visade sig inte förändra laxens (alla viktsklasser) ankomst i tid (mediantid) till fisktrappan eller ändra den säsongsmässiga fördelningen av tid för uppvandring av vild lax genom fisktrappan. Det dagliga vattenflödet via turbinerna eller älvstemperatur påverkade inte hur många laxar som dagligen passerade fisktrappan.

**Denna delstudie sammanfattar 10 års märkningar av den uppströmsvandrande laxens beteende i umeälvens flödesreglerade nedre del och predikterar effekten på populationsnivå om det inte fanns några eller endast smärre problem i lekvandringen.**

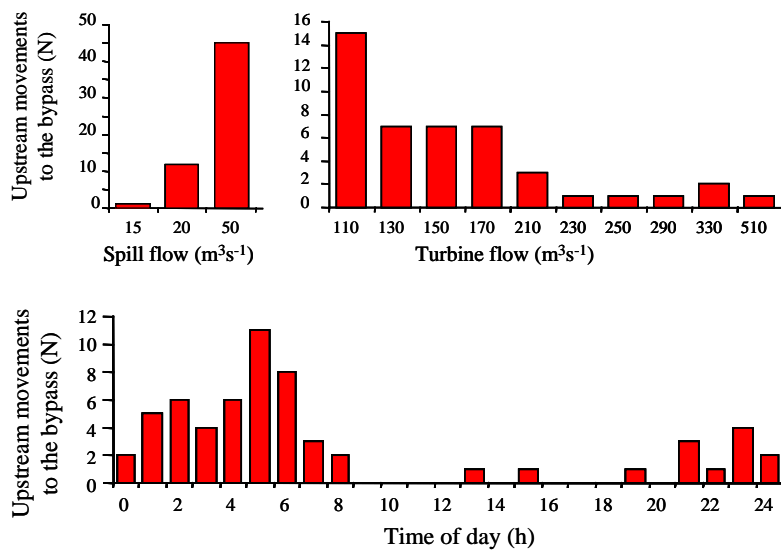
I analysen som genomförts har alla befintliga data nyttjas och statistiskt analyserats med samma förutsättningar då den experimentella designen med märkning av lax i mynningsområdet, frisläppning av fisk och registrering av vandrigen, skett på relativt likartat sätt. Då de olika årens vattenföringar i älven (skogs- och fjällflod) visat stora variationer mellan åren har detta gett möjligheter att tillsammans med experimentella spill analysera och modellera olika vattenföringars betydelse på uppströmsvandringen av lax. Här summeras resultaten från 1995 till 2005 av pejlingar av radio-märkt lekvandrande lax (märkt och frisläppt i älvens mynning) uppströms Umeälven (n=503). Kontrollfiskar märktes med inre PIT-märken (n=1574) och yttre Carlin-märken (n=574). Lekvandringen studerades under den 32 km långa vägen mellan mynningen och fisktrappan. Proportionen lax som under denna period lyckades genomföra hela lekvandringen varierade stort mellan år med en variation mellan 0 % till 47 %, vilket indikerade en förlust på i genomsnitt 70 % lekvandrare till Vindelälven (tabell 2). Ett problem var att turbinvattenflödet lockade laxen från det mindre vattenflödet i bypasskanalen.

**Tabell 2. Data från 1995-2005 för alla individuellt märkta lekvandrande laxar i Umeälven. \*Det kalkylerade vägda medelvärdet tar hänsyn till att olika antal individer märkts under olika år.**

Year	1995	1996	1997	1999	2001	2002	2003	2004	2005	Tot.
Tagged fish (N)	30	574	80	60	70	493	391	503	450	<b>2651</b>
Passed Umeå	73%	-	84%	83%	79%	78%	83%	93%	80%	<b>83%</b>
Days to Umeå	4 (1-28)	-	3 (0.7-20)	3 (0.8-15)	4 (0.6-12)	3 (0.5-47)	4 (0.7-80)	4 (0.7-29)	4 (0.6-26)	<b>4 (0.6-80)</b>
Passed Ladder	0%	17%	26%	34%	18%	47%	35%	14%	47%	<b>30%*</b>
Days to Ladder	-	52 (10-95)	52 (27-77)	44 (22-81)	45 (31-61)	44 (11-91)	46 (9-88)	44 (14-91)	39 (14-101)	<b>44 (9-101)</b>

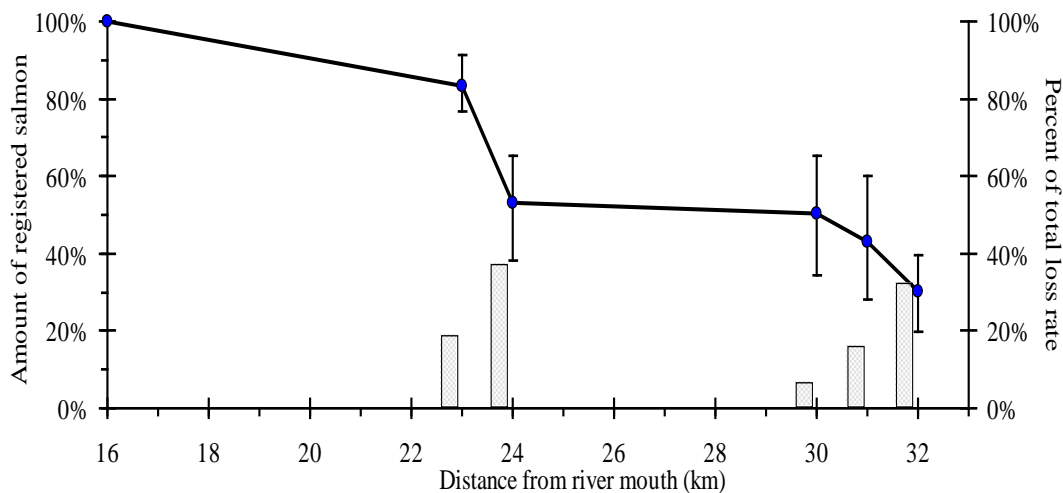
Ekolodning i turbinvattenkanalens utlopp visade att laxen i detta område huvudsakligen var orienterade ytnära på 1- 4 meter djup. Laxen reagerade starkt på förändringar i turbinvattenmängd och visade upp- eller nedströmsvandring medan ökat spillföde i bypasskanalen lockade laxen till ingången till bypasskanalen (figur 2). I bypasskanalen fördröjdes laxen och hade uppenbara problem att passera det första vattenfallet (Baggböle) vid höga spill och förhindrades alltså att passera uppströms vattenfallet och därigenom nå fisktrappan högre upp i bypasskanalen.





**Figur 2. Radiomärkt lax i sammanflödesområdet (umeälven nedre) (n=34) simmade in i ”bypass” kanalen mer frekvent vid turbin flöden < 200 m³s⁻¹, vid högre damspill och under natten med skymningsljus. Data från 2003.**

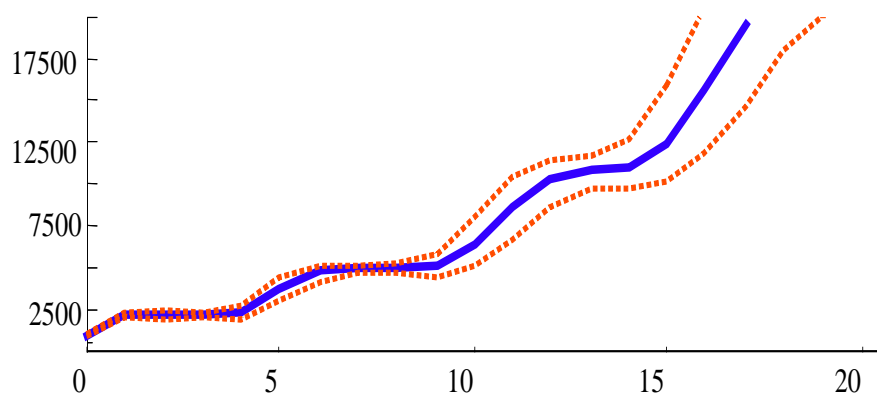
Det tog i snitt c. 44 dagar för laxen att vandra från älvsmyningen till fisktrappans fångsthus. Den tid det tog för enskilda individer att simma uppströms samma sträcka varierade stort inom år. Förluster av lax vid problematiska områden från sammanflödesområdet (distans 22-24 km) till fisktrappan (distans 32 km från älvens mynning) visas i figur 3.



**Figur 3. Kumulativa lyckade passager av vild lax förbi olika problematiska områden uppströms märkningsområdet i Umeälvens mynning (vänster axel). Vertikala linjer visar 75 % konfidensintervall. Totalt är 478 radiomärkta laxar som vandrade in i Umeälven från 1995-2005 inkluderade i analysen. Proportionen av det totala antalet förluster av lekvandrande lax (ej registrerade i fisktrappan) vid olika problemområden i älven visas i grå staplar (höger axel).**

Modellering av framtida dynamik i laxpopulationen visade en potentiell ökning kring 500 % under en tio-års period om de nuvarande vandringsproblemen kunde minimeras så att 75 % av de lekvandrande laxarna kunde passera istället för de nuvarande 30 % (figur 4). Detaljer kring modellformuleringen och parameter värden till denna redovisas i doktorsavhandling av Rivinoja (2005). Resultaten i figur 4

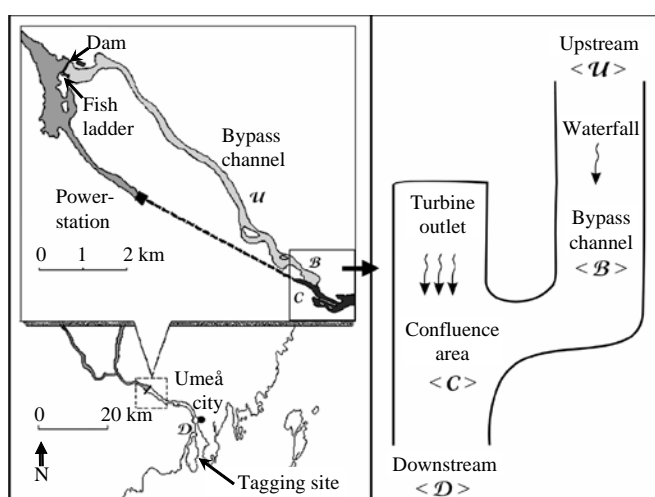
bygger inte på en unik uppsättning parametervärden utan dessa värden täcker den osäkerhet som har bedömts biologiskt relevanta. Modellen förutsätter dock att fiskemortaliteten i Östersjön inte förändras under prognosperioden. De analyser som ICES genomfört efter bearbetning av elfiskedata från Vindelälven samt statistik på uppvandrande lax visar ingen tendens till täthetsberoende reglering inom de föräldraantal som vandrat uppströms de senaste 20-åren. Det finns idag ingen säker skattning över Vindelälvens produktionspotential annat än den Karlsson & Karlström (1994) gjort. Här bedömdes den naturliga smoltproduktionen (början 90-talet) ligga kring 20,000 smolt i älvens orestaurerade skick medan Vindelälvens potentiella naturliga smoltproduktion skattades till 200,000 smolt. Deras beräkningar bygger också på att älven inte restaurerats, vilket sker idag. Vår modellprognos ligger väl under den beräknade potentiella produktionen: vår modell visar c. 5 ggr ökning inom första tio-års perioden medan den beräknade potentialen av Karlsson & Karlström (1994) visar en ökning på tio ggr. Med bakgrunden att det i början av 90-talet registrerades c. 100-500 laxhonor i Norrfors fisktrappa och att det idag på 2000-talet registrerats i genomsnitt c. 1000 honor i fisktrappan så har vi redan passerat den potentiella produktionen enligt Karlsson & Karlström (1994). En sådan ökning av antalet honor skulle kunna bero på en minskning av havsfisket i östersjön trots att en eventuell maximal smoltproduktion skulle vara uppnådd. Vi är väl medveten om att täthetsberoende effekter i älven reglerar laxyngelpopulationens maximala produktion, men var denna nivå ligger finns inte redovisad för Vindelälven eller någon annan fjällälv. WGBAST (2004) påvisar inga som helst tendenser till täthetsberoende effekter trots att det vandrar fler honor uppströms älven idag. Lundqvist *et al* (2006, manuskript) har påvisat två kärnområden för laxlek i Vindelälven, ca. 50 respektive 230 km uppströms Norrfors, och det finns stora outnyttjade lekomyråden både uppströms och nedströms dessa två kärnområden. Vi föreslår byggandet av nya fisktrappor med smoltavledning ev tillsammans med ändrat veckoreglerat vattenflöde i bypasskanalen så att vandringsförhållandet förbättras och att vattenkraftspåverkan minimeras. Detta skulle innebära att en mer långsiktigt hållbar skötsel av de migrerande laxfiskpopulationerna erhålls.



**Figur 4. Predikerat antal vuxna lekvandrande honor som passerar fisktrappan under en tio års period efter att uppströmsvandringen förbättrats från nuvarande 30 % till 75 % i Umeälvens nedre reglerade del. En skattad årlig populationsökning på 18 % förväntas och efter 10 år bör älvspopulationen av lax ha ökat med 500 %. Streckad linje visar .95%-igt konfidensintervall. Modellen tar inte hänsyn till täthetsberoende effekter i älven varför prediktioner efter en 10 års period är vansklig.**

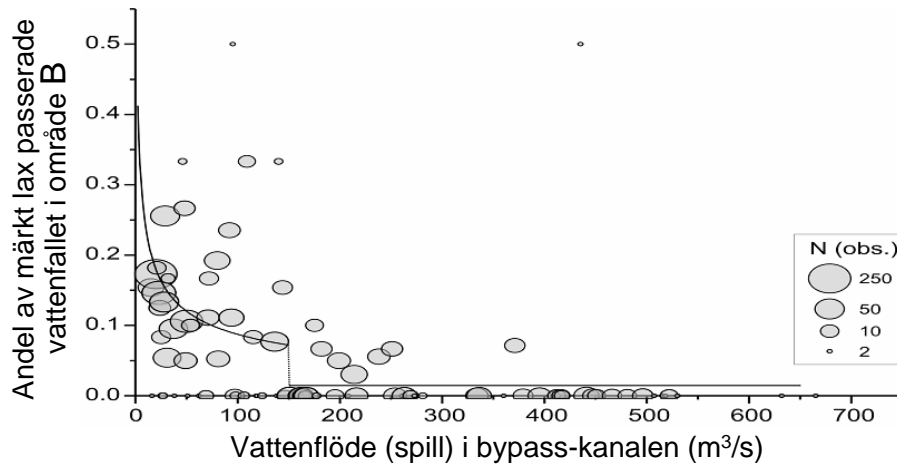
En enkel partikelmodell för uppvandrande fisk har ställts upp. Denna modell fungerar så att modellfisken rör sig uppströms, samtidigt som den strävar att successivt uppsöka ett i tvärsnittet lokalt maximum för flödet eller hålla sig i kanten av detta om strömhastigheten är större än den ansatta simhastigheten. Vid flera maxima så fångas således modellfisken upp av den första ström den hamnar i och simmar sedan uppströms i dennas mitt. Modellen har provkörts i Piteälven uppströms turbinerna där den fungerar varför denna modell nu satts in i flödesmodellen för sammanflödet (se också Eliasson, Bergdahl och Rivinoja, 2006).

Modellering av uppströmsvandringen hos lax som funktion av miljöparametrar (vattenflöde och temperatur) kvantifierade laxens uppströmsvandningsrespons i Umeälvens nedre flödesreglerade del. Dagliga positioner från total 234 radio-märkta laxar under fem års telemetri tillsammans med data från dagliga turbinflöden, spillflöden i bypasskanalen, vattentemperatur, tid för märkning i älven och tid under lekvandringssäsongen användes för att parameterisera sannolikheten för förflyttning i olika områden genom nyttjande av en Markov modell. Modellformuleringen visade laxens vandningsrespons för de två mest kritiska och reglerade sektionerna i älvens nedre del: a) sammanflödesområdet mellan kraftstationens utloppskanal och bypasskanalen, och b) det partiellt hindrande vattenfallet strax uppströms ingången till bypasskanalen. Modelleringens målsättning var att öka den biologiska kunskapen om laxens lekvandringens beteende men också att få ett verktyg för fortsatta framtida socio-ekonomiska analyser (Figur 5, Håkansson et al. 2005).



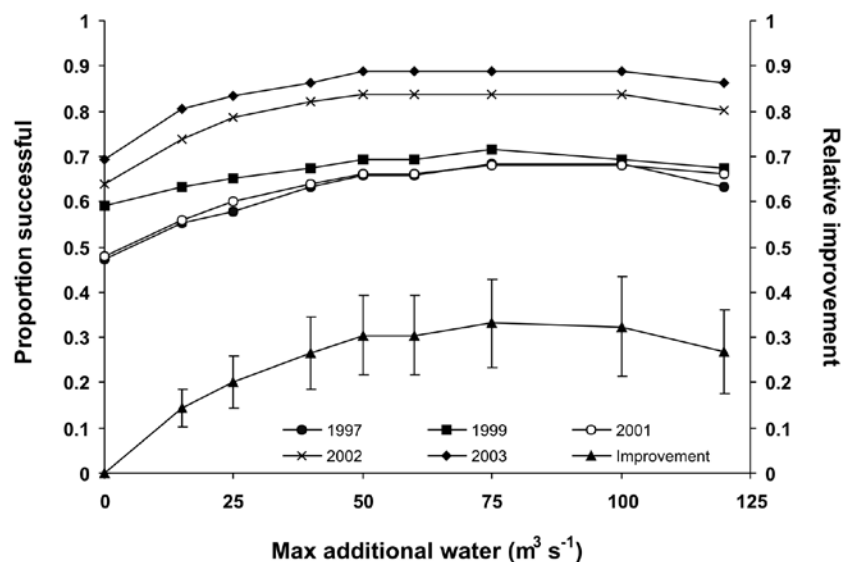
**Figur 5. Karta över studieområdet i Umeälven, ca. 22 km uppströms älvsmyningen. Beteckningarna i höger område visar de notationer som använts i modelleringsarbetet.**

Laxens uppströmsvandring i älvens båda flödesreglerade delområden påverkades starkt av vattenflödet. I sammanflödesområdet var proportionen spillvatten i bypasskanalen positivt korrelerade med sannolikheten att laxen skulle hitta och vandra in i bypasskanalen medan sannolikheten för vandring i bypasskanalen och passering av det första vattenfallet var högre vid lägre spillvattenmängder. För lax som positionerats i nära anslutning nedströms vattenfallet ökade sannolikheten att de vandrade nedströms till sammanflödesområdet om spillvattenflödet minskade, detta var särskilt utmärkande vid högre vattentemperaturer (figur 6). Modellen förklarade den säsongsmässiga fördelningen av lax i de olika älvssektionerna på ett bra sätt.



**Figur 6.** Andelen av märkt lax som passerat det första vattenfallet i bypasskanalen i relation till medelspillflödet inom dygnet. Storleken på ellipserna visar antalet observerade fiskar (höger bildruta). Predikterad sannolikhet för uppströmsvandring i relation till spillvattenföringen visas av heldragen linje.

Den slutgiltiga modellen predikterade c. 84 % rätt för de laxar som lyckades passera Baggböleforsen. Även om modellen förklarar en stor del av uppvandringen så finns en variation mellan år på c. 16 % som inte kan förklaras av modellen och de mätta variablerna. Via hypotetisk modellering med olika flöden indikerades att lyckad uppströmsvandring skulle kunna förbättras av ökat spillvattenflöde i bypasskanalen. Responserna för ”lyckad” uppvandring planar dock ut under 100 % vilket visar på betydelsen av en ”trade-off” mellan optimalt spillvattenflöde och flödet vid det partiellt hindrande vattenfallet i Baggböle (figur 7). Enligt modellen skulle en flödesökning med c. 50 m<sup>3</sup>/s (från befintligt flöde) i gamla älvfåran ge den största mängden lyckade lekvandringar förbi Baggböleforsen.

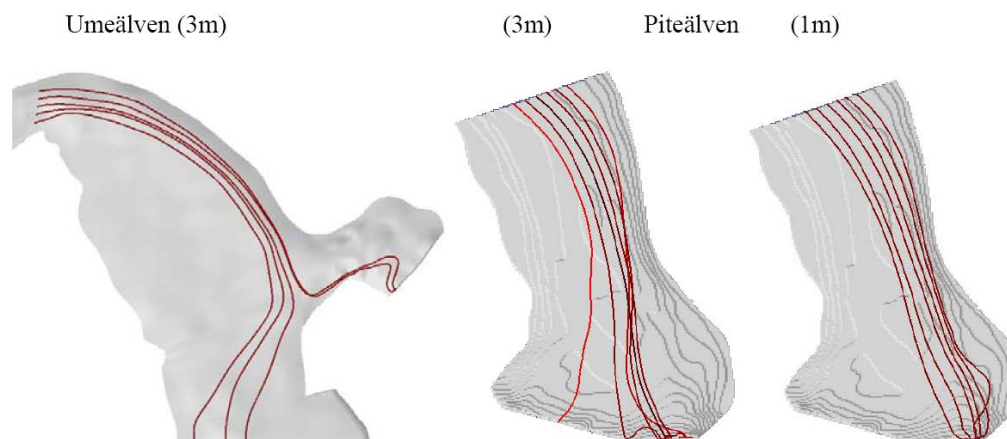


**Figur 7.** Predikterad lyckad uppströmsvandring hos lax till bypasskanalen när hypotetiska spillflöden årligen adderats till bypasskanalen under försökets fem-åriga verksamhet (spridningen kring medelvärde anger  $\pm 1$  SD). Ytterligare vattenspill upp till tröskelvärde 150 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> i total flöde utvärderades. Övriga miljöparametrar som registreras för respektive år bibehölls. Förbättringarna kalkylerades som kvoten för predikterat värde för varje x-värde och det predikterade värdet om inget vatten alls spills, minus 1.

## Nedströmsvandrande lax- och havsöringsmolt och passage förbi kraftverk

Naturligt producerade smolt kan passera vattenkraftsbyggnader via turbinintag eller via spilluckor i dammarna. Vi nyttjade radiomärkta tvååriga odlade laxsmolt ( $n=150$ ) och havsvandrande öringsmolt ( $n=56$ ) och frisläppte dessa uppströms de olika kraftstationerna i Ume- och Piteälven. Fisken spårades kontinuerligt under nedströmsvandringen medan mätning av strömhastigheter och djupförhållanden uppmättes för analys via CFD (Computational Fluid Dynamics) flödesmodellering. Modellering via "partikel spårning" användes för att simulera fiskarnas rörelse och jämfördes mot observerade nedströmsvandringssvägar för den radiomärkta smolten.

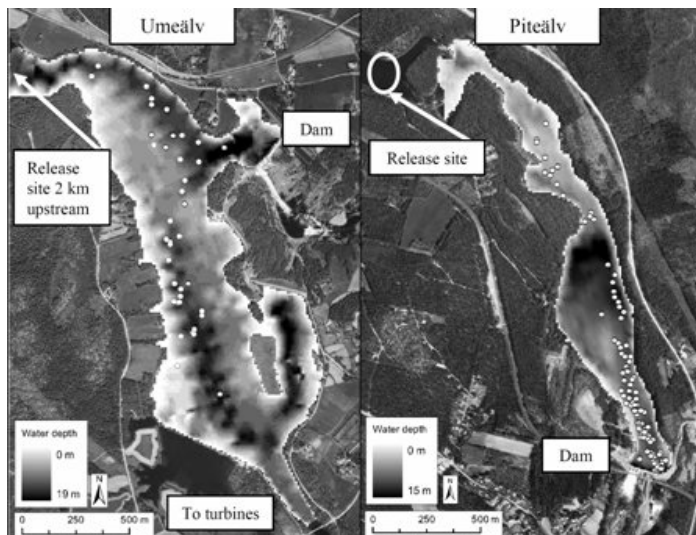
Hastigheterna i de CFD-modellerade flödena matchar fältmätningarna i allmänhet. Modellen av Piteälven uppträder bättre än den av Umeälven, troligtvis beroende på bättre upplösning vid kartläggningen av bottenpografien. De fiskvandringssvägar som simulerats med spårning av passiva partiklar visar samstämmighet med fiskens inmätta positioner i horisontalplanet för jämförbara flöden (figur 8). "Random walk" modellen predikterade dessutom olika mönster för ledningen av fisken (Fish-Guidance Efficiency, FGE) vid de två kraftverken (figur 9). I Umeälven var andelen partiklar som passerade genom utskoven högre än i Piteälven vid låga spillvattenflöden relativt totalflödet, för att öka vid ökande spillvattenflöde. I Umeälven driver nämligen de sekundärströmmar som bildas vid höga hastigheter i ytan strömmen mot utsidan av älvkröken mot höljan med ytutskoven. I Piteälven hade samma krökning av strömmen motsatt effekt på fiskledningen eftersom partiklarna leds mot turbinerna, som ligger i ytterkurvan (figur 8). Med ledning av flödessimuleringen har den totala andelen utvandring över utskoven för det senaste decenniet beräknats till c:a 20 % i Umeälven (medelspillvattenflödet 11 % av totala flödet) och c:a 15 % i Piteälven (medelspillvattenflödet 46 % av totala flödet). Således måste spillvattenflödena ökas avsevärt för att leda smolten mot ytutskoven i dammarna i de befintliga anläggningarna, åtminstone som de nu är utformade.



**Figur 8. Simulerade spårlinjer för partiklar släppta på 3 m djup i Umeälven samt på 3 m och 1 m djup i Piteälven. Spårlinjerna karakteriserar också approximativt strömningsmönstret. Effekten av sekundärflödet kan iakttas för de två bilderna för Piteälven.**

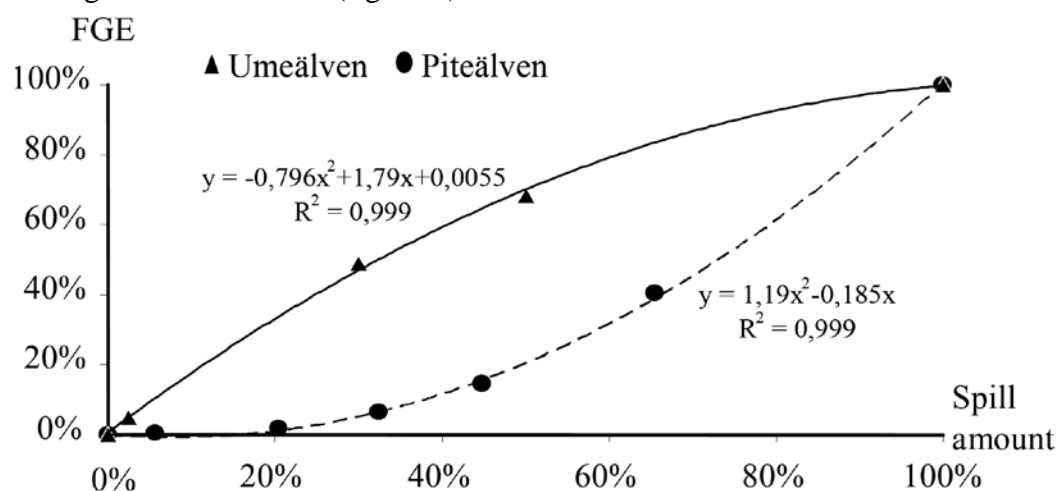
Våra resultat visade att smolten huvudsakligen vandrade i älvens huvudvattenfåra med högsta strömhastighet. Medelhastigheten hos smolten varierade mellan  $0.31-0.46 \text{ m s}^{-1}$  (c. 2 kroppslängder  $\text{s}^{-1}$ ). Ekolodning visade också att smolten vandrade ytnära på 1-3 meters djup och att fisken generellt vandrade med samma hastighet som vattnet.

En jämförelse mellan den tredimensionella inmätningen av smolten och mätta strömmar visade att smolt mestadels passivt följde med strömmen. Avvikelser från detta observerades nära kraftstationen där smolt simmade mot strömmen. Den större smoltens beteende i fiskgrupperna ändrades strax ovan dammen när de aktivt undvek att passera in i turbinintagen och stannade ovan dammen.



Figur 9. Djup i de studerade områdena och fiskpositioner (punkter) vid manuell spårning (41 observationer i Umeälven och 101 i Piteälven). Huvudströmmen följer djupområdena och det gör också fisken.

Fiskens nedströmsvandringstestades vid både ordinarie och ändrat spill över dammen (ökat ytvattenspill) men eftersom huvudflödet trots detta gick mot kraftstationen följde alla radiomärkta smolt, oavsett testat spillflöde, mot turbinintagen. Fiskens nedströmsvandringstestades och kraftverkens fisk "guidance" effektivitet (FGEs) simulerad genom partikelspårningen predikterade en låg sannolikhet för smolt att passera via dammspillet även om spillvattenpassage kunde förekomma hos smolten vid en stor ökning av spillvolymerna eller genom minskat flöde genom kraftverken (figur 10).



Figur 10. Simulerad andel av partiklar som passerar över utskoven (FGE) som funktion av andelen spill (Spill amount) av det totala flödet vid de två kraftstationerna. Gränsvärdena för 0 och 100 % medtagna.

Storleksberoende dödlighet hos nedströmsvandrande lax- och öring-smolt efter kraftverkspassage och effekten av detta på den framtida lekvandrande fiskpopulationen har undersökts. Smolt som vandrade nedströms och passerade Piteälvens Kaplan turbiner i Sikfors kraftverk visade en genomsnittlig dödlighet på c. 17 % baserade på de radio-märkta (n=90) och Carlin-märkta fiskarna som ingick i studien. Om direkta och indirekta dödligheter kombineras så skattas dödligheten till totalt 19 % som var positivt relaterad till fiskstorlek. I denna studie bedömdes c. 13 % av de radio-märkta smolten stanna i direkt anslutning till området ovan dammen. Smolt som stannade ovan dammen var större än de som gick in i turbinintagen: Längden var 225 mm i medeltal (standardavvikelse 17.3 mm) för fisk som stannade och 211 mm i medeltal (standardavvikelse 23.8 mm) för fisk som gick in i turbinintagen (tabell 3). Carlin-märkt laxsmolt (n=7 450) visade en relativt konstant och ökande dödlighet per 10 km distans i älven och förlusterna vid krafterverkspassage beräknades till 16 %.

**Tabell 3. Utsättningsdag, längd och grad av passering för radiomärkta smolt (\* = 12 lax och 8 öring) som nedströmsvandrade mot kraftstationen i Sikfors (Piteälven) och deras uppmätta genomsnittliga passeringstider i parantes.**

Utsättning dag	Ankom N	Längd (mm) Medel, Min-Max	In till turbiner N	Normal passage N, tid	Direkt förlust Långsam passage N, tid	Ej passerat N	Indirekt förlust N	Skattad förlust N, Andel
3-Juni 2003	20*	213 (175-259)	36	21 (22 min)	2 (25 h)	2	3	7 (19.4%)
4-Juni 2003	20	205 (176-240)						
1-Juni 2004	24	213 (177-248)	42	34 (22 min)	3 (23 h)	2	3	8 (19.0%)
2-Juni 2004	26	218 (166-262)						
Total/ Medel	90	212 (166-262)	78	55 (22 min)	5 (24 h)	4	6	15 (19.2%)

Modellering av den fiskstorleksberoende dödligheten på den potentiella effekten på framtida återvändande lekfisk predikterade att med en smoltstorlek på 15.5 cm skulle lekbeståndet kunna öka med 5-30 % inom en tioårsperiod om förlusterna efter kraftverkspassage helt uteblev. För smolt med en storlek av c. 21.0 cm skulle motsvarande ökning bli 30-70 %. Om de ytterligare förlusterna som orsakade fördröjd/avbruten smoltvandring också kunde minimeras till noll skulle den framtida beståndsutvecklingen i populationstillväxt för de två storleksalternativen bli, 30-70 % respektive 70-120 %.

### **Projektets mål och måluppfyllelse**

Projektets överordnade mål var att förbättra vandringsfiskars passage av vattenkraftverk, regleringsdammar och andra vandringshinder. Projektet är åtgärdsinriktat och ger bl.a. underlag för åtgärder som möjliggör förbättring av vilda vandringsfiskars (lax och havsvandrande öring) uppvandring via fisktrappor och nedvandring via smoltavledning förbi kraftverk.

**Mål 1: Vilka miljövariabler får leklax i en större vattenmassa (3D) att hitta och lockas upp i en mindre flödeskälla som kan fungera som vandringsled (sk bypass) förbi kraftverks- och damm-konstruktioner? Denna frågeställning inkluderar även delmålet hur vandringsfisk hittar och vandrar i tex en fisktrappa.**

För den *uppvandrande* fisken har genomförda undersökningar lett till önskat resultat. Vi vet nu i stort när, hur och varför laxen vandrar uppströms eller nedströms i den flödespåverkade nedre delen av Umeälven. Problemområden är identifierade och förslag finns för direkta åtgärder i området med två prioriterade åtgärder: sammanflödesområdet och fisktrappan. Vattenfall har nu tagit beslut om att bygga ny fisktrappa med smoltavledning. Strömningsflödets geometri i Stornorrfors har modellerats grovt men det återstår fortfarande att åstadkomma en validerad konvergerad strömningsmodell av detta komplexa område. En enkel numerisk fiskmodell för uppvandrande fisk har tagits fram som sedan kan sättas in i en sådan modell. Den fungerar så att modellfisken rör sig uppströms, samtidigt som den strävar att successivt uppsöka ett i tvärsnittet lokalt maximum för flödet eller hålla sig i kanten av detta om simförmågan är för låg. Finns det flera maxima så fångas således modellfisken upp av den första ström den hamnar i. Modellen har provkörts i Piteälven uppströms turbinerna och fungerar bra där.

**Mål 2: Hur, när och var i vattenmassan utvandrar lax- och öringsmolt generellt i flödespåverkade vattendrag (ex. området ovan Norrfors dammen, Umeälven, samt ovan Sikfors kraftverk, Piteälven)?**

De första pilotförsöken som nu redovisats i denna fråga utgör en bra start på liknande projekt. Vi är nöjda med delresultaten som getts. En brist har varit att vi tvingats hantera och genomföra försöken med odlad lax- och öringsmolt. Vild fisk i naturliga storleksintervall skulle använts. Smoltens vandring nedströms tillsammans med modellering av strömningsmönster har varit särskilt lyckosam eftersom vi tror att goda prediktioner erhållits. Skellefteå kraft i Piteälven ritar nu på en smoltavledning som ska hjälpa nedströmsvandrande smolt och överlevande lekfisk att hitta sin väg till havet via ytutskovet, dvs. fiskavledning så att de inte hamnar i turbinerna. För framtiden rekommenderar vi grundläggande studier och modellering av "timing" i nedströmsvandringen hos vild smolt, modellering av sannolikheten för att smolt av olika storlekar träffas av turbinblad samt noggrann utvärdering av smoltens (och överlevande lekfisks) beteende och överlevnad vid passage av dammar/smoltavledare.

**Mål 3: Simulering av strömningsmönster och validering av dessa med fältmätningar och relatera dessa modeller till leklaxens och laxungarnas-vandringar. Ett delmål är att ta fram förslag till förbättrande åtgärder ?**

Mätningar och modellering av strömningsmönster har varit framgångsrika även om vissa oklarheter fortfarande finns. Faktiska beteendedata på fisken nedströmsrörelser och modellering (CFD) har visat stor samstämmighet och är väl värda att fortsätta arbeta med i liknande projekt. För Piteälvens och Umeälvens del finns nu tydliga generella modeller som förklarar varför smolt i stort passerar ut via turbinerna på sin väg mot havet.



## **Projektets resultat i förhållande till programmets övergripande mål och syfte**

Denna nya kunskap som erhållits i projektet är viktigt för att långsiktigt uppfylla de nationella miljömålen om skydd av hotade vandringsfiskar. Miljömålen mot ”levande sjöar och vattendrag” är här särskilt aktuellt avseende biologisk mångfald i akvatiska system och bevarande av habitat för fiskars fortlevnad. Vårt miljö kvalitetsmål är att vattenbyggnationer minimalt ska påverka fiskars vandringsvägar så att vattendragets biologiska mångfald, ekologiska funktion och framtida naturresurs bevaras/utvecklas. Projektet ligger väl inom programmets prioriterade målområde ”Förbättrade förutsättningar för vattenorganismers vandring förbi vattenkraftverk, dammar och andra vandringshinder”, då vi vill utveckla kunskap om hur naturligt förekommande vandringsfiskbestånd som lax och havsöring med intakta lek- och uppväxtlokaler ovan kustnära kraftverk kan tryggas i en framtid. Med ledning av projektresultaten hoppas vi kunna bedöma hur ”generella” vandringsleder för vandringsfisk ska konstrueras i relation till vattenföringar/strömningsbild för att fungera så effektivt som möjligt. Resultaten kan användas praktiskt då dessa ger möjlighet att genomföra ombyggnader eller tillbyggnader av vandringsleder på ett rationellt och ekonomiskt sätt med avseende på anläggningskostnad och driftskostnader. Vi är totalt nöjda med resultaten som erhållits och tror att de på ett bra sätt svarar mot programmets övergripande mål och syfte.

Projektet skall vara åtgärdsinriktade och ge underlag för de åtgärder som kan aktualiseras vid implementeringen av de nationella miljö kvalitetsmålen och EU:s ramdirektiv för vatten. Projektresultaten visar att förhållandena för vandringsfisken i Ume och Pite älv är otillfredsställande. Den framtagna metoden för modellering av passivt utvandrande smolt kan direkt användas för att kvantitativt värdera ombyggnad av vattenvägar för avledning av smolt. Den metod som är under utveckling för uppvandrande fisk kommer också, efter viss vidareutveckling, att kunna användas för att pröva och kvantitativt värdera olika utformning och placering av lockvatten till fisktrappor eller omlöp (gamla älvfåror).

Vattenkraft skall kunna bedrivas effektivt efter anpassning till de nationella och regionala miljö kvalitetsmålen samt EU:s ramdirektiv för vatten. Vattenkraften kommer fortsatt att kunna bedrivas effektivt, även om kostnader för ombyggnader krävs i initialskedet, och kanske viss minskad produktion genom att man under vattenfattiga vårar måste spilla mer vatten. Ramdirektivet för vatten har syftet att ”skydda, förbättra och återställa alla ytvattenförekomster... ...2015”. I de nationella miljömålen står bl.a.: ”Naturlig produktionsförmåga, biologisk mångfald, kulturmiljö värden... ...bevaras”. Om man vill restaurera den naturliga reproduktionen av fiskbestånden i t.ex. Ume- och Pite älv så är detta fullt möjligt och projektet har gett verktyg för det.

Programmets strategiska mål är:

**att pröva och utvärdera hypoteser och teoretiska modeller i försöks- och pilotanläggningar samt i naturliga vatten.** Här har vi prövat och utvärderat den numeriska modellerna för strömningsmönster för smoltutvandring genom jämförelse med mätningar av strömningshastigheter och spårning av fisk i älvarna (både Ume- och Pite älv) om dock icke naturliga vatten. Modellerna fungerar. En enkel modell för uppvandrande fisk har testats i den färdiga hydrauliska modellen för Piteälven, och

modellfiskarna uppför sig som förväntat. Det återstår att lägga in biologiskt mer underbyggt beteende.

**att vid högskolor och universitet och företag långsiktigt öka kompetensen inom programmets prioriterade områden samt att främja samarbetet mellan högskolor, universitet, forskargrupper och företag nationellt och internationellt.**

Vi har byggt upp och förstärkt en bredare kompetens kring fiskbiologi med modellering (SLU) samt hydraulisk modellering (Chalmers) vad beträffar kunskap och intresse för vandringsfiskproblematiken vid vattenkraftverk. Givande samarbete mellan SLU och Chalmers och visst mindre samarbete med Strömningsmekanik vid LTU i Luleå.

**att stärka samarbete mellan olika vetenskapliga discipliner samt industrin då flertalet frågeställningar är av tvärvetenskaplig karaktär.** Projektet har starkt samverkat med kraftindustrin (Vattenfall AB). En samrådsgrupp finns etablerad mellan Vattenfall AB (Stornorrfors Kraftverk, samt Kjell-Ali Wallin, Vuollerim, Björn Svensson, Swedpower), Vindelälvens fiskeråd (ordf Henrik Sandström) och SLU/Umeå (Hans Lundqvist). Relativt stor kontaktverksamhet mellan Chalmers och Vattenfall Utveckling AB, Swedpower samt FLUENT Sweden AB för hjälp med modellering.

**att projekten skall ha sådan vetenskaplig kvalitet att resultaten publiceras i vetenskapligt granskade tidskrifter.** Manuskript har färdigställts i två avhandlingar som nu ska publiceras i en serie artiklar till internationella vetenskapliga tidskrifter. Se referenslistan.

Programmets syftet är att ta fram underlag för implementering av de mest kostnadseffektiva miljöförbättrande åtgärderna inom vattenkraften. Både modelleringen av miljödata som biologiska data ger starka grunder att stå på vid framtida val av effektiva lösningarna vad beträffar avledning av nedströmsvandrande fisk samt nya fisktrappor för uppströmsvandrande lekfisk.

***Nationellt och internationellt samarbete***

Sammantaget har vi haft en stor samverkan med aktiva forskare både nationellt och internationellt. Närmare kontakter har knutits inom nordnorden med Norge (T.Forseth, E.Thorstad, F. økland, J. Arnekleiv) och Finland (J.Erkinaro, P.Karppinen, A.Rommakkaniemi), samt internationellt med USA (J. Williams, J. Ferguson, E. Meyer, E.Prentice, E.Hockersmith) och Kanada (D. Scruton, S. Hinch, S. Cooke, E.Parkinson, J.Rosenfeldt).

Ett samarbetsavtal mellan SLU och NWFSC (Northwest fisheries Science Center, Seattle, via Dr. Usha Varanasi), med fokus på vandringsfisk i kraftverkspåverkade områden, har utvecklats och J. Ferguson är nu antagen (2004-06-15) som doktorand vid SLU.

En samrådsgrupp bildad mellan Vattenfall (Kjell Isaksson) tillsammans med Energimyndigheten visar på betydelsen av en laxtrappa i anslutning till kraftverkets avloppstunnel. Kan denna konstrueras (förslag finns nu framme hur den kan byggas via Kjell Ali Wallin, Vattenfall). Våra modellerade förväntningar (bilaga 6) på effekten av en fungerande trappa i tunnelutloppet på antalet uppvandrande laxar är

stor. En samrådsgrupp med Skellefteåkraft, Fiskeriverket, SLU, för framtagning av smoltavledning för Piteälvens nedre del i Sikfors kraftverk har också etablerats. Nedan listas några övriga kontakter. Vi tror också starkt på en ny fisktrappa med smoltavledning i Norrfors, Umeälven, som också Vattenfall AB planerat.

1. Radio- och PIT-märkning av lax. Umeå juli 2002. Målgrupp: Övningar och resonemang av P. Rivinoja kring märkning av lax för O. Calles. Organisatör: P. Rivinoja, SLU/Umeå. Finansiering: SLU, KaU.
2. FoU-programmet Miljöbasert vannføring. Erfaringsseminar. Trondheim, Norge 17-18 mars 2003. Målgrupp: Nordiska forskare inom området vattenkraft och miljö. Föredrag: H. Lundqvist.
3. Fiskeriverket & Fiskhälsan FH AB kurs i märkningsteknik för fisk. Boden, 12-13 mars 2003. Älvkarleby, 28-29 januari 2004. Målgrupp: Nationellt aktiva personer arbetande med märkning av fisk. Organisatör: Fiskeriverket & Fiskhälsan FH AB. Föredrag/ansvarig P. Rivinoja. Finansiering: Fiskeriverket & Fiskhälsan FH AB, SLU.
4. Surgical Implantation of Fish. Trondheim Eira Norge, samt Umeå, april-maj 2004. Målgrupp: Anpassade moment med kirurgisk märkning av fisk för P. Rivinoja & J. Östergren. Organisatör: E. Thorstad, F. økland, NINA, samt P. Rivinoja, SLU/Umeå. Finansiering: SLU, Elforsk.
5. Nordic Mini Workshop Fish passage and restoration efforts in natural and flow-regulated rivers. Umeå 15-16 juni 2004. Målgrupp: Internationellt aktiva forskare och studenter från Sverige, Norge, Finland samt USA. Föredrag: P. Rivinoja, J. Kiviloog & H. Lundqvist. Organisatör: H. Lundqvist, SLU/Umeå. Finansiering: Elforsk, LIP, SLU.
6. NowPas: Nordic Network for PhD-students on Anadromous Salmonid Research. Hösten 2004, Norge. Målgrupp: Nordiska doktorander. Deltagare: P. Rivinoja. Organisatör: M Stickler NTNU, Trondheim, Norge.
7. Positional and physiological telemetry in aquatic research: perspectives from Scandinavia and North America. Umeå 6-10 december 2004. Målgrupp: Internationell grupp av forskare/studenter från Sverige, Norge, Finland, Spanien, Kanada samt USA. Föredrag: P. Rivinoja, K. Leonardsson & H. Lundqvist. P. Organisatör: S Larsson, SLU/Umeå. Finansiering: SLU.
8. Salmon up- and downstream passage problems in two regulated rivers in northern Sweden. Umeå 29-31 september 2005. Målgrupp: Forskare, ingenjörer samt stadsplanerare arbetande med fiskvandningsproblem och återställning i Uleborgsområdet i Finland. Föredrag/ansvarig P. Rivinoja. Organisatör: P. Rivinoja (SLU), E. Laajala (Ympäristö). Finansiering: SLU, RKTL & Ympäristö Finland.
9. Stint exchange Workshop on Fish population dynamics & habitats in boreal lakes and streams in Canada (B.C) and northern Sweden. Umeå 20 september - 3 oktober 2005. Målgrupp: Internationellt aktiva forskare och studenter, främst från Sverige, Kanada samt USA. Föredrag: P. Rivinoja, K. Leonardsson & H. Lundqvist. Organisatör: Eva Brännäs, SLU/Umeå. Finansiering: STINT.

## ***Vetenskapliga resultat***

### **Doktorsavhandlingar**

1. Rivinoja, Peter. 2005. Migration Problems of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Flow Regulated Rivers. Dissertation for Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), speciality in Fish Biology, SLU, Swedish University of Agricultural Sciences Department of Aquaculture, S-901 83 Umeå, Sweden, Umeå, ISSS: 1652-6880, ISBN: 91-576-6913-9

### **Licentiatavhandlingar**

2. Kiviloog, Jaan. 2005. Three dimensional numerical modelling for studying smolt migration in regulated rivers. Tekn. Lic.-thesis 05-05-18. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology; Lic 2005:5, ISBN/ISSN: 1652-9146

### **Artiklar i (samt avsedda för) editorgranskade vetenskapliga tidskrifter**

3. Rivinoja, P., McKinnell, S. & Lundqvist, H. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish river caused by a hydroelectric power-station. *Regulated rivers: Research & Management* 17:101-115.
4. Rivinoja, P., Leonardsson, K. & Lundqvist, H. Migration success and migration time of gastrically radio-tagged versus PIT-tagged adult Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* (Accepted).
5. Rivinoja, P., Kiviloog, J., Östergren, J., Brydsten, L., Leonardsson, K. & Lundqvist, H. Migration of Atlantic salmon (*Salmo Salar*) and Brown trout (*Salmo trutta*) smolt at flow regulated areas in two northern Swedish rivers. *Submitted manuscript*.
6. Rivinoja, P., Leonardsson, K. & Lundqvist, H. Size dependent power-station induced mortality of smolts (*Salmo* sp.) and the potential effects on the spawning stock. *Submitted manuscript*.
7. Lundqvist, H., Rivinoja, P., Leonardsson, K. & McKinnell, S. Upstream passage problems for wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a flow controlled river and its effect on the population. *Manuscript*.
8. Leonardsson, K., Belyaev, Y., Rivinoja, P. & Lundqvist, H. Modelling upstream migration of Atlantic salmon as a function of environmental variables. *Manuskript*.
9. Rivinoja, P., Lundgren, J.E., Leonardsson, K. & Lundqvist, H. 2005b. Up- and downstream movements of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) in relation to flows at a bypass area in a regulated river. *Manuscript in progress*.
10. Eliasson, M., L., Bergdahl and P., Rivinoja (2006). Simulation of upstream migration of fish by computational fluid dynamics. (*Manuscript*)

### **Konferensbidrag**

11. Kiviloog, J. L. Bergdahl, P. Rivinoja & H. Lundqvist. (2003). Influence of flow on migratory behaviour of salmon smolts. Proceedings, Hydro 2003, Cavtat, Croatia.
12. Kiviloog, J. L. Bergdahl, P. Rivinoja, K. Leonardsson & H. Lundqvist. (2004) Hydraulic modelling and validation for the study of smolt migration.

- Proceedings 8th European Workshop on Physical Processes in Natural Waters, Lund, Sweden, ISBN 91-631-5825-6.
13. Kiviloog, J., L. Bergdahl, P. Rivinoja, K. Leonardsson & H. Lundqvist (2004). En studie av smoltutvandring med radiotelemetri och strömningsmodellering. Proceedings Hydroenergía 04, Falkenberg, Sweden.
  14. Östergren, J., Nilsson, J & Lundqvist, H. Spawning Migration and Genetic Status of Sea Trout (*Salmo trutta*) in Two Northern Swedish Rivers. 1'st International Sea Trout Symposium, Cardiff (UK), 6-8 July 2004
  15. Lundqvist, H., McKinnell, S.M., Jonsson, S. & J Östergren. Are Reared Anadromous Brown Trout Compatible with the Conservation of Wild Trout? 1'st International Sea Trout Symposium, Cardiff (UK), 6-8 July 2004
  16. Lundqvist, H., P. Rivinoja, K. Leonardsson, J. Östergren, J. Kiviloog, L. Bergdahl, S. McKinnell, L. Brydsten. Passage problems for upstream & downstream migrating anadromous salmonids (*Salmo salar* & *S. trutta*) in two flow controlled northern Swedish rivers. International Symposium on Fish and Diadromy in Europe, Bordeaux, France, 29th March - 1st April 2005.
  17. Östergren, J., H. Lundqvist, D. Palm, P. Rivinoja, E. Brännäs, J. Nilsson, and K. Leonardsson. Connectivity and habitat restoration in rivers helps populations of salmonids? International Symposium on Fish and Diadromy in Europe, Bordeaux, France, 29th March - 1st April 2005.
  18. P. Rivinoja, K. Leonardsson & H. Lundqvist. Gastric Radio-Tags VS. PIT-tags - Migrations of Atlantic salmon in a regulated river. Sixth Conference on Fish Telemetry held in Europe, Sesimbra, Portugal, 5-11 June 2005.
  19. Rivinoja, P., K. Leonardsson, H. Lundqvist, J. Kiviloog, L. Bergdahl & L. Brydsten. (2004). Downstream migration of *Salmo salar* and *S. trutta* smolts in two regulated northern Swedish rivers. Proceedings, 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17 september 2004. Madrid, Spain. <http://publikationer.slu.se/Filer/rivdmo.doc>
  20. Leonardsson, K. Rivinoja, P. Bergdahl, L. Kiviloog, J. & Lundqvist, H. 2004. Migration behaviour of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) vs. Altered flow regimes downstream a hydro-power construction. Abstract 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17 september 2004. Madrid, Spain.
  21. Lundqvist, H., P. Rivinoja, K. Leonardsson, J. Kiviloog, L. Bergdahl & S. McKinnell. (2004). Upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) entering a flow controlled bypass system in northern Sweden. Abstract in Proceedings, 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17 september 2004. Madrid, Spain.
  22. Håkansson, C., Kriström B., Leonardsson K., Lundqvist H., Johansson S.S..E.P.O. 2004. Salmon and Hydropower: Dynamic cost-benefit analysis. Proceedings, 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17 september 2004. Madrid, Spain.
  23. J. Östergren, H. Lundqvist, D. Palm, P. Rivinoja, E. Brännäs, J. Nilsson & K. Leonardsson. Restored rivers restore salmonid populations? Second International Symposium on Riverine Landscapes. 15-21 augusti 2004. Storforsen, Bredsel.
  24. Östergren, J., Rivinoja, P. & H Lundqvist. Wild Salmonids in Tamed rivers – Telemetry studies reveal up- and downstream migration patterns. Fifth Conference on Fish Telemetry Held in Europe". 9-13 juni 2003. Ustica, Palermo, Italy.

25. Östergren, J., Rivinoja, P. & H Lundqvist. Wild Salmonids in Tamed rivers- Telemetry studies reveal up- and downstream migration patterns Fifth Conference on Fish Telemetry Held in Europe". 9-13 juni 2003. Ustica, Palermo, Italy.

### **Examensarbeten**

26. Johan Lundgren. 2005. Laxens vandringsbeteende i ett turbinutlopp. Planerad rapportering samt redovisning december 2005 - januari 2006.

### **Övrigt**

27. Nordic Mini Workshop "Fish passage and restoration efforts in natural and flow-regulated rivers". Umeå 15-16 Juni 2004. Organisatör: H.Lundqvist
28. Stint exchange Workshop on Fish population dynamics & habitats in boreal lakes and streams in Canada (B.C) and northern Sweden. Umeå. 20 september - 3 oktober 2005.
29. Lundqvist, H. L. Bergdahl, K. Leonardsson, P. Rivinoja & J. Kiviloog. (2003) Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett bypass system: observationer och modellering av förutsättningar för passage av kraftverksbyggnader", Slutrapport projekt Dnr 5210P-01-1090 (projektnr 13569-1) till ENERGIMYNDIGHETEN Vattenbruksinstitutionen, SLU, Umeå och Vatten Miljö Transport, Chalmers, Göteborg.
30. Rivinoja, P., K. Leonardsson & H. Lundqvist. (2002) Laxens lekvandring i nedre Umeälven: redovisning av telemetriförsök år 2001 och 2002. Arbetsrapport SLU/Umeå.
31. Bergdahl, L., & J. Kiviloog. (2002). Förutsättningar för laxvandring vid Stornorrfor kraftverk: simulering av strömningsmönster och validering av dessa med fältmätningar. Arbetsrapport Chalmers/Göteborg.
32. Rivinoja, P., J. Kiviloog, L. Brydsten, K. Leonardsson & H. Lundqvist. (2002) Smoltens flödespreferens vid nedströmsvandring i området ovan Norrforsdammen, Umeälv år 2002. Arbetsrapport SLU/Umeå.
33. Sandström, H. K.A. Wallin, B. Svensson, S. Westbergh, & H. Lundqvist. (2002) Förbättring av Lax- och havsöringbestånden i Vindelälven- Ett åtgärdsförslag. Rapport från Vindelälvens Fiskeråd.
34. Leonardsson, K., H. Lundqvist & P. Rivinoja. (2002) Hur många fler laxar kommer upp i Vindelälven efter förbättringsåtgärder i de reglerade delarna i området nedströms Stornorrfor kraftverk? Arbetsrapport SLU/Umeå.
35. Nilsson, J. & A. Vasemägi. (2003). Laxens lekvandring i Umeälvens nedre del; Genetiska aspekter. Rapport SLU/Umeå.
36. Lundqvist, H., (2005) Låt vildlaxen komma hem. Fiske för alla. Nummer 3, sid: 50-54, 2005.
37. Lundqvist, H., Leonardsson K., Östergren J., Moren A-S. 2005. Miljöövervakning av lekvandrande fisk på gång Miljötrender från SLU Nr 1 2005 3 – 5.
38. Lundqvist, H., 2003. Vildlaxen måste få vandra hem igen FORMAS fokuserar 67 – 79.
39. Lundqvist, H., 2004. Laxens och Havsöringens Vandringsproblem i den flödesreglerade Umeälven. FoU-programmet Miljøbasert vannføring. Erfaringsseminar. Trondheim, Norway. 17 - 18. mars 2003. (föredrag-abstrakt)

40. Lundqvist, H., 2004. Säkerställande av fungerande Vandringsvägar för Lax och Havsöring i Ume- och Vindelälven. Sveriges Energiting 2004, Eskilstuna 9-10 mars, Framtida utmaningar för svensk vattenkraft. (föredrag-abstrakt)
41. Lundqvist, H., (2005). Låt laxen växa och vandra hem. Krönika - Havsutsikt, Nr. 1/2005.
42. Ferguson, J.W., 2005. The behaviour and ecology of downstream migrating Atlantic salmon (*Salmo salar*) and Brown trout (*Salmo trutta*) in regulated rivers in northern Sweden. Dept of Aquaculture, SLU, 901 83 Umeå., Introductory research essay no 44. ISSN 1101-6620  
<http://publikationer.slu.se/Filer/ACF505D.pdf>
43. Rivinoja, P., 2004. Passage problems of Atlantic salmon in regulated rivers. Dept of Aquaculture, SLU, 901 83 Umeå., Introductory research essay no 39. ISSN 1101-6620. <http://publikationer.slu.se/Filer/ACF147.pdf>

## Referenser

Christensen, O., Larsson, P.-O. 1979. Review on Baltic salmon research. ICES Coop. Res Rep. No. 89, 124 p.

Håkansson, C., Kriström B., Leonardsson K., Lundqvist H., Johansson S.S..E.P.O. 2004. Salmon and Hydropower: Dynamic cost-benefit analysis. Proceedings, 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17 september 2004. Madrid, Spain.

ICES CM 2001/ACFM:14. Report of the Baltic salmon and trout assessment working group. Pärnu, Estonia 28 March–6 April 2001.

Karlsson, L. and Karlström, Ö. 1994. 'The Baltic salmon (*Salmo salar* L.): its history, present situation and future', Dana 10, 61-85.

Kiviloog, J. 2005, "Three dimensional numerical modelling for studying smolt migration in regulated rivers". Fil.Lic-avhandling 18 maj 2005, Chalmers, Göteborg.

Lundqvist, H., Östergren, J., and McKinnell, S. 2005. Interannual variation in spawning migration for radio-tagged wild Salmon (*Salmo salar*) females, Manuscript.

McKinnell, S. 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar* L) life history variation: implications for the Baltic Sea fishery. Ph.D.- Thesis, Department of Aquaculture, Swedish University of Agricultural Science, Umeå 1998.

McKinnell, S., Lundqvist, H., Johansson, H. 1994. Biological characteristics of the upstream migration of naturally and hatchery-reared Baltic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture and fisheries management 25, Suppl. 2, p.46-63.

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

NRC. 1996. Upstream: Salmon and society in the Pacific Northwest anadromous salmonids.' National Academy Press, Washington , D.C.

Rivinoja, P. 2005. Migration Problems of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Flow Regulated Rivers. Doctor's dissertation. ISSS: 1652-6880. ISBN: 91-576-6913-9.

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

Sandström, H., K-A Wallin, B. Svensson, S. Westbergh och H. Lundqvist. 2002. Förbättring av Lax- och Havsöringsbestånden i Vindelälven – Ett åtgärdsförslag, Rapport från Vindelälvens Fiskeråd, 2002-03-23