

Störs laxens lekvandring i en kraftverkspåverkad älvsträcka?

Av

Johan Lundgren,

Kurs: 01/05



Institutionen för Vattenbruk
901 83 Umeå

Examensarbete 20p. Vt - 2006

Handledare:

Hans Lundqvist & Peter

Rivinoja

Innehåll	
Sammanfattning	3
English summary	3
Inledning	4
Material och metod	4
Områdesbeskrivning	4
Flöde & Temperatur	5
Märkning av lax	7
Pejling och ekolodning av lax	7
Resultat	8
2004	8
2005	8
Sökbeteende	9
Ekolodning i kraftverkets tunnelutlopp	12
Vattenflöde och temperatur	14
Diskussion	15
Tackord	17
Referenser	18

Sammanfattning

Beteendet hos lekvandrande lax (*Salmo salar*) i sammanflödesområdet i Umeälvens nedre del (medelflöde $430 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), mellan turbinutlopp och den flödesreglerade "gamla älvfåran", jämfördes för åren 2004 och 2005. Flödet i torråran har under 2004 varierat över dygnet, med högre flöden under natten och lägre på dagen medan det under 2005 i huvudsak varierade mellan veckodagar och helger. Radiomärkta lekvandrande lax (n=116 märkta fiskar) och ekolodning i tunnelutloppsområdet visade att laxen vandrade både upp- och nedströms i relation till flödesändringar i både gamla älvfåran och kraftverket. Generellt sökte sig laxen mot högsta vattenflödet från turbinutloppet medan en ökning av spillflödet i gamla älvfåran lockade laxen i denna riktning som efter c. 8 km leder till fisktrappan i Norrfors damm. Efter registrering i fisktrappan släpps de vidare för vandring till lekområden i Vindelälven. Ekolodning i sammanflödesområdet påvisades en högre simaktivitet hos lax beroende på tid på dygnet samt flöde genom kraftverket, däremot inte efter förändrade kraftverksflöden. Omkring 70 % av de registrerade förflyttningarna var efter lax som vandrade nedströms och dessa har registrerats över hela utloppskanalens bredd och ner till 40 m djup. 2004 reglerades flödet i torråran på dygnsbasis, vilket orsakade fler förflyttningar, s.k. "jojo" simningar och en ökning av den tid som laxen tillbringade i sammanflödesområdet jämfört med 2005 då flödet reglerades på veckobasis. Samtidigt som vandringstiden för laxen till laxtrappan 32 km uppströms älvmyningen var längre år 2004 (42,6 dagar vs. 35,7 dagar) så var också vandringsframgången lägre jämfört med 2005 (21 % vs. 44 %). Resultaten visar på en negativ effekt på laxens lekvandring till följd av låga vattenflöden och snabba flödesändringar i torråran

English summary

Effect of flows on adult Atlantic salmon migration behaviour downstream a regulated area. (In Swedish). Johan Lundgren. MSc-thesis, Department of Aquaculture, SLU, SE-90183, Umeå, Sweden.

The upstream spawning migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the confluence area between the power-station outlet and the bypass-channel in river Umeälven (flow $430 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) was compared in 2004 and 2005, two years with different experimental flow-regimes. In 2004 the water flow in the bypass-channel was altered during the day with increased flows during the nights while the water flow in 2005 mainly was altered between the weekdays and weekends. Salmon showed altered migratory behaviour in this confluence area, assessed with telemetry (n=116) and echo-sounding, with up- or downstream responses depending on flow-changes in both the bypass and the power station outlet. Increased turbine flow through the power-station generally attracted salmon into the tunnel outlet area while increased spill-flows facilitated salmon to enter the bypass. Echo-sounding in the confluence area showed an increased swimming activity up- and downstream due to time in the day and flow-rates through the tunnel outlet. No changes in activity could be detected due to increasing or decreasing flow through the hydro-power facility. About 70 % of the registered movements originated from salmon swimming downstream and fish were found across the whole outlet channel and down to 40 m depth. In 2004 the spill-flows were regulated on daily basis and caused elevated movements of salmon and a prolonged stay of salmon at the confluence area compared to year 2005 with weekly spill-flow patterns. In addition, the migration success of salmon to the fish-ladder 32 km upstream the river mouth was lower (21 % vs. 44 %) and travel-time higher (42,6 day vs. 35,7 day) in 2004 than 2005, respectively. The overall results demonstrate the negative effects of rapidly changing flows on salmon upstream migration success.

Inledning

Laxen (*Salmo salar*) är en anadrom fiskart med en livscykel som är beroende av älvarnas sötvatten där de reproducerar sig och lägger sin rom. Nykläckta yngel lever första 2-4 åren i detta habitat. Efter några års tillväxt lämnar smolten sin födelseälv under våren och tillbringar sedan 1-5 år i havets födoområde där den visar en snabb tillväxt. Efter ett eller flera havsår återvänder den vuxna laxen till sin födelseälv för att leka och föra sina gener vidare (Buck & Hay, 1984).

Mänsklig påverkan på vattendrag, t.ex. genom kraftverksbyggnad, har i många älvar försvårat eller stängt vandringsvägen till laxens lekplatser. Tidigare studier har visat att kraftverksområden med dammar kan vara ett stort problem, t.ex. där utloppsflöden från kraftverkens turbiner kan vilseleda och fördröja vandrigen för salmonider (Arnekleiv & Kraabøl, 1996; Thorstad *et al.*, 2003a,b).

Sverige har fortfarande kvar några älvar med vilda laxstammar trots att de är utbyggda i sin nedre del. Umeälven som är helt utbyggd för kraftproduktion är ett sådant exempel. Älven med sitt största biflöde Vindelälven hyser fortfarande en intakt naturligt reproducerande vildlaxpopulation. Vindelälven är cirka 450 km lång och har sina källflöden nära den Norska gränsen och mynnar strax söder om Umeå vid Obbola. Omkring 40 km från mynningen, uppströms Umeälvens nedersta damm i Stornorrfors, rinner biflödet Vindelälven samman med Umeälven. Lekvandrande Vindelälvslox måste passera flera hinder i den reglerade älvsträckan i Umeälvens nedre del innan de når lekplatserna högt upp i Vindelälven (Rivinoja, 2005). Redan ca 22-23 km från mynningen möter fisken ett första vandringsproblem då den vid turbinutloppet från Stornorrfors kraftverk måste finna den gamla älvfåran som leder till fiskvägen förbi dammen. Rivinoja *et al.*, (2001) visar att den uppvandrande laxen har svårigheter att finna rätt vandringsväg i detta sammanflödesområde. Lundqvist *et al.* (2006) har noterat att ett stort antal laxar uppvisar ett sökbeteende i detta område. En del laxar vänder tillbaks från sammanflödesområdet och vandrar ner mot havet mer än 3 ggr under sin lekvandring, detta beteende kallar Lundqvist för ett "jojobeteende". Rivinoja (2005) redovisar ett flertal studier som gemensamt belyser vandringsproblemen för lax i den reglerade delen av Umeälven. Han gör dock inga ingående analyser på hur skillnader i flödesregim mellan år, från snabbt varierande till mer konstant flöde, påverkar laxens vandringsbeteende. Rivinoja *et al.* (2005) lämnar samtidigt flera frågor obesvarade kring hur laxen simmar i vertikal led i detta område och hur de reagerar på flödesförändringar i kraftverkets tunnelutlopp.

Min rapport fokuserar på hur laxens vandringsmönster ser ut i sammanflödesområdet under två år, 2004 och 2005, då flödesregimen från dammen varierades experimentellt. Flödet i torrfåran har under 2004 varierat över dygnet, med högre flöden under natten och lägre på dagen, medan det under 2005 i huvudsak varierat mellan veckodagar och helger, med låga flöden under veckorna och högre under helgerna. Det har dock vid två tillfällen under laxens vandringsperiod varit högre flöden under längre perioder, försökstapp 1 och försökstapp 2.

Material och metod

Områdesbeskrivning

Laxen i Vindelälven har sina huvudsakliga lekområden i forssträckor belägna 210-245 km uppströms kraftverket i Stornorrfors (Lundqvist *et al.* 2006, Östergren 1999) och för att vandra dit måste de passera den fiskväg som finns vid dammen. Nedströms dammen är den

ca 8 km långa sträckan till sammanflödesområdet, den gamla älvfåran, flödesreglerad. Vintertid, under ca halva året, är denna sträcka torrlagd varför den fortsättningsvis omnämns som torrfåran. I torrfåran finns 4 forsar som vid olika vattenflöden kan vara partiella vandringshinder. Den översta är Laxhoppet, en bit nedströms ligger övre och nedre Kungsmofallet. I torrfårans nedströmsdel och strax uppströms sammanflödet med turbinvattenkanalen ligger Baggböleforsen. Från 1:a oktober till den 20:e maj rinner inte något vatten i torrfåran medan det från den 20:e maj spills vatten för att fisk ska kunna vandra till laxtrappan som är belägen vid dammen, ca. 32 km uppströms älvmyningen. Det vatten som leds genom kraftverkets turbiner rinner genom en 4 km lång tunnel innan det leds ut i älvfåran i det område som vi i denna rapport kallar sammanflödesområdet (Figur 1).

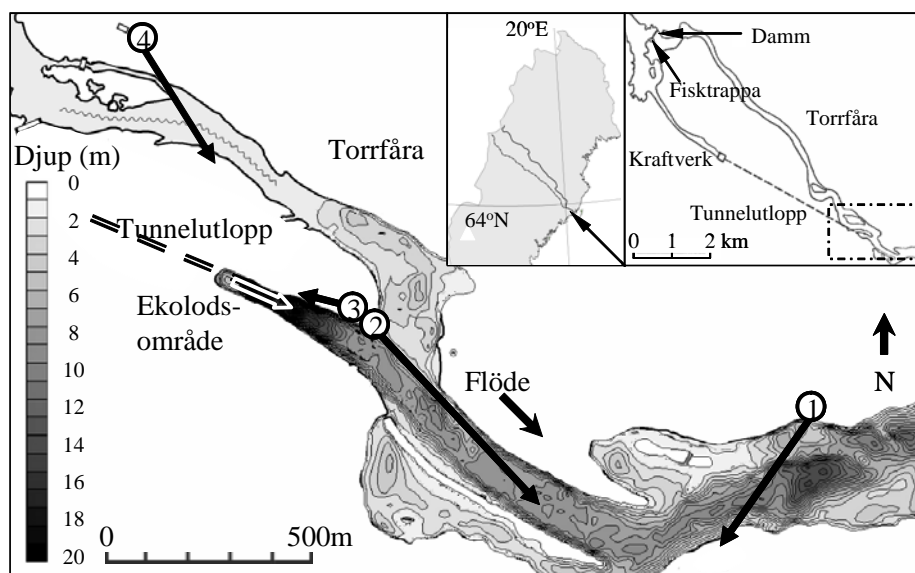


Fig. 1. Djupkarta över Umeälven vid sammanflödesområdet mellan turbinutloppet och gamla älvfåran ("torrfåran"). Pilar med numrering (1-4) indikerar logger-antennernas riktning samt avkänningsområde och den vita pilen utan nummer ekolodets inspelningsplats.

Flöde & temperatur

Flödesdata baserat på genomsnittligt timmedelvärde har erhållits från Vattenfall AB som driver kraftverket i Stornorrfors. Flödet i torrfåran har under 2004 varierat över dygnet, med högre flöden under natten och lägre på dagen. Under perioden 8/7 - 26/7 2004 var det under en längre sammanhängande period högt eller mycket högt flöde i torrfåran (Figur 2). Under 2005 har flödet i huvudsak varierat mellan veckodagar och helger (Figur 3). Det har dock vid två tillfällen under laxens vandringsperiod varit högre flöden under längre perioder, försökstapp 1 och försökstapp 2. Flödesvolymen vid dessa två försökstapp har bestämts utifrån en modell som predikterar laxens vandringsframgång i sammanflödesområdet utifrån yttre faktorer (Leonardsson *et al.* 2005, Ms)

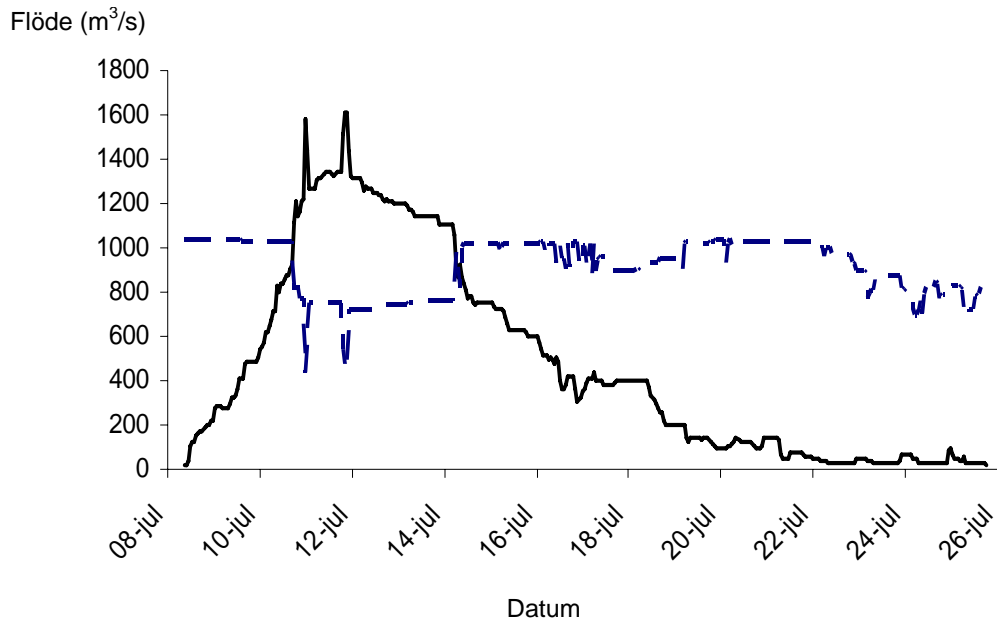


Fig. 2. Flödet (m^3/s) i torrfåran (heldragen linje) och kraftverket (streckad linje) under perioden 8/7-26/7 2004.

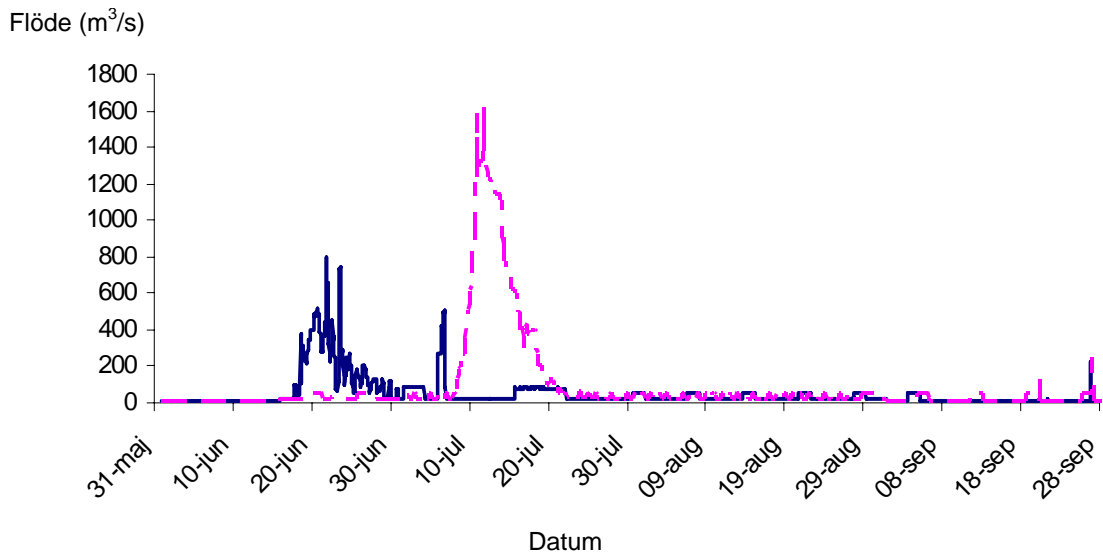


Fig. 3. Flödet (m^3/s) i torrfåran år 2004 streckad linje och 2005 heldragen linje.

Temperaturen i älven mättes med temperaturloggar i tre olika älvsområden. En logger placerades i turbintunnelutloppet, en i slutet av torrfåran och den tredje vid fiskfällan i älvmynningen. Loggar av typ Onset TidBit lagrade temperaturdata en gång per timme under perioden 21/6 till den 30/9 år 2004, samt från 15/6 till 30/9 år 2005. Kompletterande temperaturdata erhöles från fiskodlingen i Norrfors (Vattenfall AB).

Märkning av lax

Lekvandrande lax (*Salmo salar*) fångades i fiskfälla och märktes vid Umeälvens mynning (koordinaterna 63°41'30"N, 20°19'50"O) under perioden 29/6-30/7 år 2004, samt 13/6-25/7 år 2005. Vittjning av fällan ägde rum från båt på måndagar, onsdagar och fredagar varje vecka. Fångad lax av god kondition och vilt ursprung (med intakt fettfena), könsbestämdes, längdmättes och försågs med ett inre passivt märke (PIT-tag). Dessa var av modell Trovan ID 100 (Ø 2,1 mm och längd 11,5 mm) och sattes in i laxen med en märkpistol (Ralogun). Märkets ID lästes vid märkningen med avläsare av typ AEG AERH5 och noterades tillsammans med uppgifter om kön och längd. För att vid laxtrappan kunna identifiera de märkta fiskarna klipptes ett hål i fettfenan med håltång, Ø 5 mm. Med radiosändare märktes totalt 116 laxar: 60 fiskar 2004 och 56 fiskar 2005, som placerades i fiskens magsäck enligt märkmetod beskriven av Rivinoja *et al.* 2005. Radiosändare av modell F1825 från Advanced Telemetry System (ATS) har använts. De mäter Ø 12 mm och är 43 mm långa med en vikt av 8 g i luft och med en beräknad batterilivslängd på ca 200 dagar. Sändarna har fästs i spetsen av ett mjukt plaströr (Ø_{inre} 10 mm, Ø_{yttre} 13,5 mm) och förts ned i laxens magsäck. För att underlätta införandet av rör och sändare roterades dessa först vid laxens sida för att smörja med fiskens slem. Sändarens läge, beroende på fiskens storlek, var 20-30 cm från fiskens nos. För att lossa sändaren från märkröret användes ett lite smalare rör, som löper i märkröret, för att trycka loss sändaren. För att minimera risken att tappa sändare tejpades de på mitten med vulkaniserande tejp så att en diameter av 16-20 mm och en bredd av ca 5 mm uppnåddes. Därmed torde risken för sändartapp minimerats. All fisk märktes av personal från Vattenfalls fiskodling i Stornorrfors tillsammans med forskare från Institutionen för Vattenbruk vid SLU i Umeå. Tiden det tog att märka en fisk var ca 60-90 s. Märkdata från 2004 visar att 24 honor och 36 st hanar märktes, längden varierade mellan 61 och 112 cm och medellängden var 79,3 cm. 2005 märktes 30 honor och 26 hanar och längden varierade mellan 62 och 116 cm, medellängden detta år var 89,4 cm (Tabell 1).

Tab. 1. Översikt över antal märkta laxar i Umeälvens mynning, antal registrerade i sammanflödesområdet respektive i torrfåran, samt medelvandringstiden till sammanflödesområdet och för passage av laxtrappan i Norrfors. *anger andelen av de 57 respektive 45 laxar som per år anlände sammanflödet.

År	Antal hanar	Antal honor	Fisklängd, medel (min-max)	Reg. i sammanflödet	Tid till reg.	Reg. i torrfåran*	Passerat trappan*	Tid till passage
2004	36	24	79 (61-112)	57 (95 %)	4,1	31 (54 %)	12 (21 %)	42,6
2005	26	30	89 (62-116)	45 (80 %)	3,6	40 (89 %)	20 (44 %)	35,7

Pejling och ekolodning av lax

För att samla information om de radiomärkta laxarnas vandringsbeteende användes automatiska loggerstationer (LOTEK SRX-400). De var placerade vid viktiga positioner för att studera laxens upp- och nedströmsvandringar i framförallt sammanflödesområdet (Figur 1). Avståndet från märkplatsen till respektive logger var 21,5 km, 22,7 km, 23,6 km. En logger nyttjades dessutom nedströms Norrforsdammen vid 31,2 km för att mäta laxens vandringstid till laxtrappan. Dessa loggrar tömdes på data ca en gång per vecka och därutöver utfördes manuell pejling i snitt en gång i veckan med ATS RS 2100 mottagare sammankopplad med 4-elements Yagi-antenn. Insamlat data sorterades både på individbasis och per logger i Excel. Statistisk analys gjordes i MiniTab. 14.1, SYSTAT 10.2 respektive SPSS

11.0. Data från både 2004 och 2005 samlades in och analyserades på likartat sätt för jämförelse mellan åren.

Ekolod av typen SIMRAD EY60 (GPT 200 kHz Split Beam) användes för att registrera positioner och rörelser av lax vid kraftverkstunnelns utlopp. Ekolodet kördes från båt (Buster M) och var kopplat till en dator med programvaran ER60. Inspelning av ekolodsdata utfördes i de inre delarna av den kanal där kraftverkstunneln mynnar. För bestämning av ekolodets exakta läge användes en GPS (U2 SIRF Star II, WAAS-EGNOS). År 2004 testades flera platser nedströms tunnelutloppet för att studera ekolodets egenskaper samt översiktligt positionera fisk i sammanflödesområdet. Vid varje tillfälle fördes loggbok där aktuell signalstyrka, transducer-vinkel i förhållande till ytan, vattentemperatur och andra iakttagelser antecknades. Under 2005 skedde inspelningar i 15, 30, 45 och 60° transducer-vinkel (Figur 4) och data registrerades i huvudsak under de två försökstappningar som ägde rum. Utöver detta gjordes flera andra inspelningar för att få in data under olika tider av dygnet, vid varierande flöden och från olika tidpunkter under vandrings säsongen. Det inspelade datat analyserades med hjälp av programvaran SonarPRO 5 där spår efter fiskar mellan 45 och 130 cm identifierats för vidare bearbetning i Excel. För att finna samband mellan fiskarnas rörelser och någon eller några yttre faktorer analyserades dessa spår mot data på turbinvattenflöde, tid på dygnet samt de registrerade laxarnas längd.

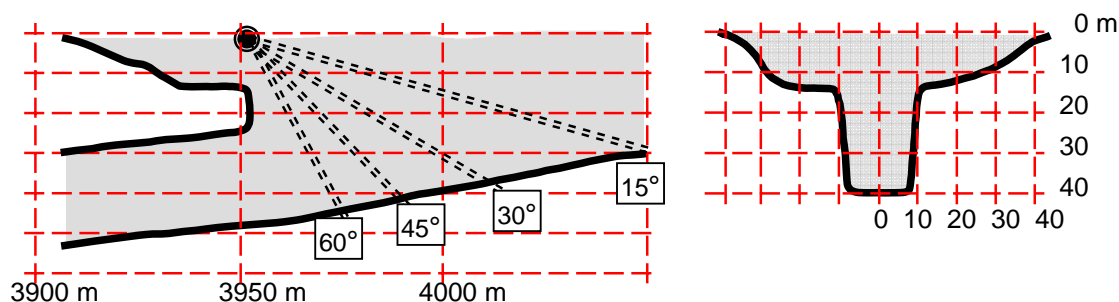


Fig. 4. Vy dels från sidan av tunnelutloppet (t.v) och dels ett tvärsnitt av kanalen 50 m utanför tunnelutloppet (t.h). Position och vinklar i den vänstra figuren visar vart ekolodsinspelning ägt rum utanför tunnelmynningen.

Resultat

2004

Under 2004 anlände de radiomärkta laxarna till sammanflödesområdet efter i snitt 4,1 dagar. Den snabbast vandrande laxen registrerades i området efter 16 timmar och den långsammaste dröjde 28 dagar (Tabell 1). Av de 60 märkta laxarna har 3 st (5 %) aldrig registrerats uppe i älven vare sig på någon av loggrarna eller vid manuell pejling. Av de fiskar som registrerades i älven har 31 st (54 %) någon gång befunnit sig i torråran och 12 st (21 %, 8 st honor och 4 st hanar) hittat in i och passerat laxtrappan i Norrfors. Tiden från märkning till passage av trappan var i genomsnitt 42,6 dagar (median 46,3 dagar).

2005

År 2005 nådde 45 av de 56 st (80 %) radiomärkta laxarna sammanflödesområdet medan 11 laxar (20 %) aldrig registrerades i älven. I medeltal registrerades fisken i sammanflödet efter 3,6 dagar. Den snabbaste laxen anlände redan efter 14 timmar medan den

långsammaste dröjde 26 dagar (Tabell 1). Av de fiskar som registrerats i älven har 40 st (89 %) någon gång befunnit sig i torrfåran och 20 st (44 %) hittat in i och passerat laxtrappan. Vandringstiden från märktillfället till dess att laxen ankom trappans område var i medel 23,7 dagar. Tiden från märkning till passage av trappan var i genomsnitt 35,7 dagar (median 33,9 dagar) och av de laxar som passerade var 9 st honor och 11 st hanar.

Sökbeteende

Loggerdata och manuella pejlingar från de båda åren visar att många av laxarna har uppvisat ett sökbeteende i sammanflödesområdet. Merparten av laxarna har vänt nedströms en eller flera gånger och således passerat loggern 1,2 km nedströms sammanflödet (logger 1) innan de hittat rätt vandringsväg upp i torrfåran och lyckats passera uppströms Baggböleforsen. Data från 2004 visar att av de 57 radiomärkta laxarna som ankom till sammanflödesområdet har samtliga fiskar vandrat nedströms och passerat loggern minst en gång under vandringsvägen. 4 fiskar (7 %) vandrade nedströms 1-3 gånger, 19 fiskar (33 %) 4-9 ggr och 34 fiskar (60 %) 10 ggr eller mer. I medeltal har laxarna år 2004 vandrat nedströms 17 gånger, ett minimum på 2 ggr och ett maximum på 93 ggr, innan de antingen hittade längre upp i torrfåran (54 %) eller simmade ut mot havet igen (Tabell 1). År 2005 har 41 st av de radiomärkta fiskarna gått att följa i sin vandring vid sammanflödet och av dessa har 7 st (17 %) hittat rätt vandringsväg upp i torrfåran utan att vända nedströms i älven igen. Sju fiskar (17 %) vandrade nedströms 1-3 gånger, 13 st (32 %) 4-9 ggr och 14 st (34 %) 10 ggr eller mer (Figur 5). I medeltal har laxarna vandrat nedströms 12 gånger (min 0, max 50) innan de antingen hittat upp i älven eller vänt ut mot havet igen. Laxarna har år 2005 i mindre utsträckning än 2004 vandrat fram och tillbaka mellan sammanflödet och nedströms mot havet (Mann-Whitney U-test, $P < 0,01$, $Z = -2,671$). Uppehållstiden (tiden från första till den sista registreringen i området) innan laxarna antingen lämnat sammanflödesområdet nedströms eller passerat uppströms var i medeltal 54 dagar (min 3, max 105) år 2004 och 27 dagar (min 2, max 90) år 2005. Denna tid var signifikant kortare under 2005 jämfört med 2004 (Mann-Whitney U-test, $P < 0,01$, $Z = -3,720$).

Av de 31 radiomärkta laxar som år 2004 någon gång befunnit sig i torrfåran har 22 st (71 %) passerat Baggböleforsen. Av dessa har 21 st registrerat tillförlitligt loggerdata vid passage. Samtliga av dessa 21 fiskar anlät Baggböleforsen när det har varit högt vattenflöde ($>39 \text{ m}^3/\text{s}$) i torrfåran. Under 2005 har 34 av de 40 laxar som hittade upp i torrfåran följts i sin vandring förbi Baggböleforsen. Av dessa har 8 st (24 %) passerat under lågflöden ($<20 \text{ m}^3/\text{s}$) och 26 st (76 %) vid högflöde ($>20 \text{ m}^3/\text{s}$) i torrfåran.

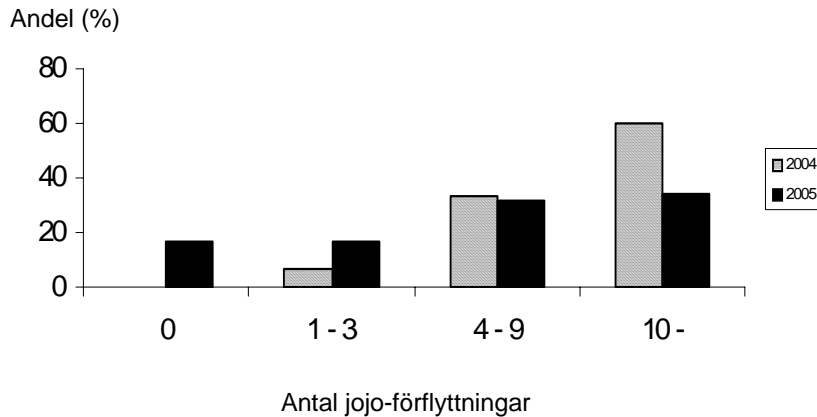


Fig. 5. Laxarnas jobeteende i sammanflödesområdet år 2004 och 2005. Procentuellt fördelat på antal gånger de vandrat nedströms.

I samband med den första försökstappningen med ökat spillflöde, 1/7-4/7 2005, fanns 23 märkta laxar i sammanflödesområdet. Under försöksperioden ankom 19 av dessa till torrfåran och registrerades på loggern i Baggböleforsen. Av dessa laxar passerade bara en forsen för fortsatt vandring uppströms, medan övriga 18 laxar återigen vandrade nedströms och registrerades vid sammanflödet. Under den andra försökstappningen, 15/7-22/7 2005, fanns återigen 23 märkta laxar i sammanflödet. Under det försöket registrerades 20 av dessa på loggern i Baggböle varav 13 passerade uppströms forsen, medan övriga 7 laxar återigen simmade nedströms (Figur 6). Under dygnet den 6/7-7/7 2005 inträffade ett haveri i kraftverket, vilket innebar att flödet genom stationen kraftigt minskade till ett minimum av 305 m³/s medan flödet i torrfåran ökade till ett maximum av 505 m³/s (Figur 7). Loggerdata visar att det under denna relativt korta period var 6 laxar (18 %) från sammanflödet som hittade upp i torrfåran och lyckades passera Baggböleforsen. Sammantaget noteras att det under 2005 var totalt 26 (76 %) av de radiomärkta laxarna som vandrat förbi Baggböleforsen som hittade torrfåran under någon av de nämnda perioderna med högt spillflöde. Jämför man detta resultat med den andel (29 %) av vandringsäsongen som det var höga spillflöden visar det sig att dessa perioder var fördelaktiga för laxen vandringsframgång uppströms. Även om man enbart ser till de sent vandrande laxarna (de efter den andra försökstappningen) så har en högre andel än förväntat hittat rätt vandringsväg under högt spill. Figur 6 visar vid vilka spillflöden som radiomärkta laxar anlände Baggböleforsen, när de lämnade forsen och simmade åter nedströms, samt när de lyckades passera forsen för fortsatt vandring uppströms.

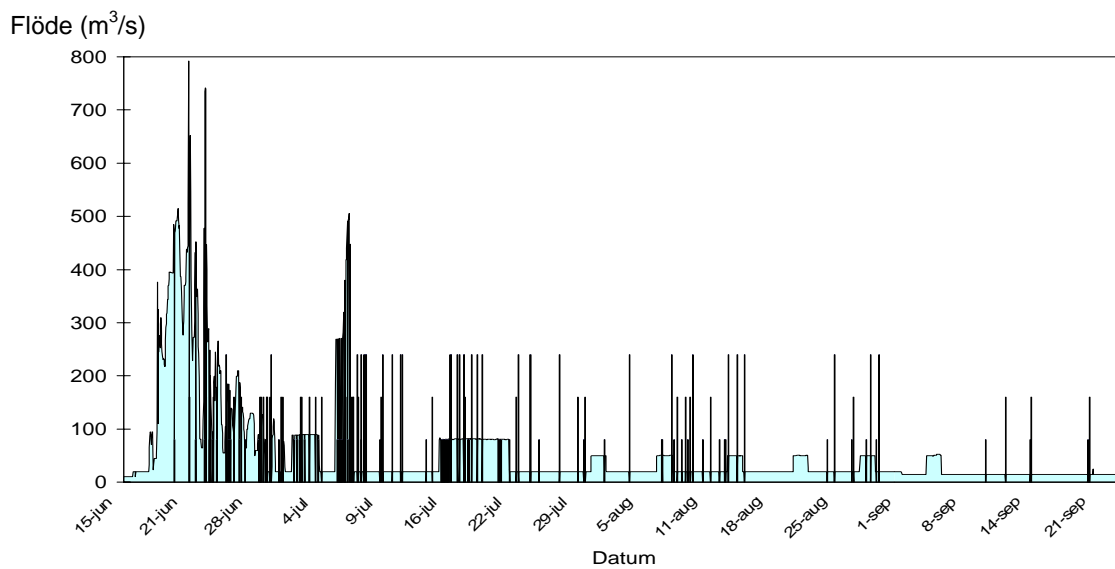


Fig. 6. Vattenflödet i torrån under perioden 15/6-26/9. Vertikala staplar visar när radiomärkt lax vandrat upp till (låga staplar) Baggböleforsen, simmat tillbaka mot sammanflödet (mellanhöga staplar), samt passerat uppströms forsens (höga staplar).

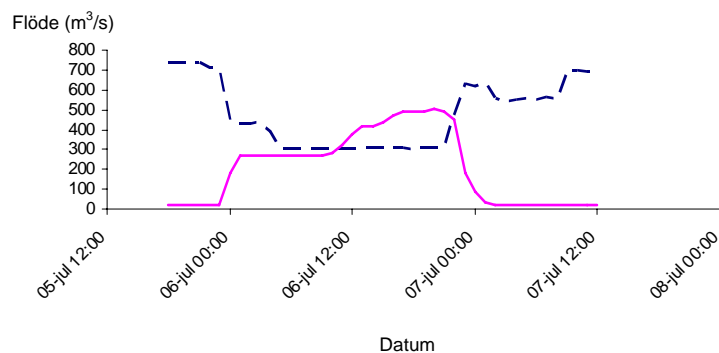


Fig. 7. Flödet i kraftverket (streckad linje) samt torrån (heldragen) kring kraftverkshaveriet den 6/7 2005.

Av de fiskar som var märkta eller anlände till sammanflödesområdet efter den andra försökstappningen, totalt 12 st, har 11 (92 %) registrerats i älven. 10 (91 %) av dessa hittade upp i torrån och 5 st (45 %) passerade laxtrappan i Norrfors. Av de 10 fiskar som hittade torrån gjorde 7 st (70 %) det på den normala veckotappningen (låg vattenföring) och 3 st (30 %) gick upp under någon av helgtappningarna. I sammanflödesområdet kunde 8 av de 12 laxarna följas mer detaljerat i sitt vandringsbeteende och resultatet visar att ingen av dessa fiskar hittade till torrån utan att vända nedströms och registrerats på logger 1 minst 3 gånger. I medeltal vandrade laxarna nedströms 22 gånger innan de antingen hittade torrån eller vände ut mot havet igen. Det är betydligt mer än medelvärdet beräknat för hela vandrings säsongen. Detta sökbeteende är detsamma som Lundqvist *et al.* (2006) kom att kalla för "jojo beteende".

Ekolodning i kraftverkets tunnelutlopp

Under 2004 testades flera olika inspelningsplatser och transducer-vinklar nedströms tunnelutloppet för att studera ekolodets egenskaper. I sammanflödesområdet konstaterades att både märkt och omärkt fisk vandrade in mot turbinutloppet i sitt sökande efter en vandringväg uppströms. De flesta laxarna i turbinutloppet noterades mellan 1-4 m djup. Vid ett specifikt inspelningstillfälle (5/8 2004) observerades lax som vandrade både uppströms och nedströms i tunnelutloppet. Omkring 70 % av alla registrerade förflyttningar var fisk som vandrade nedströms. Samtidigt fastställdes att laxar rörde sig över hela kanalens bredd och en del dök ned till tunnelutloppets botten på 40 m djup (Figur 8).

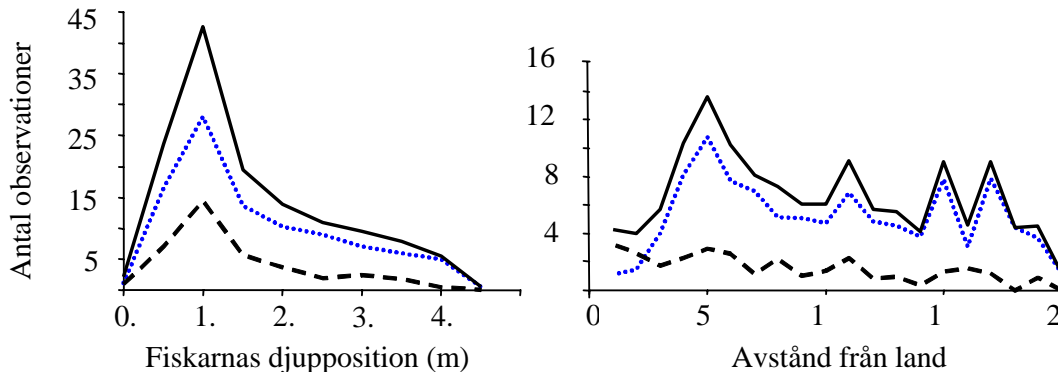


Fig. 8. Laxar i tunnelutloppet simmade mestadels på 1-4 m djup (vänster fig) och observerade över hela utloppets bredd (höger fig). Helledragen svart linje visar totala antalet observerade förflyttningar, streckade blå linje förflyttningar nedströms och streckade svart linje antalet förflyttningar uppströms (Från den 5/8 2004).

Totalt har 30 filer med inspelat ekolodsdata analyserats för 2005. Den sammanlagda tiden inspelat material är 11 timmar och 12 minuter. Det har resulterat i 10551 spår efter fisk, varav 4417 st var fisk mellan 45 och 130 cm. Av dessa har 1903 st (43 %) rört sig uppströms mot turbinutloppet och de övriga 2514 st (57 %) nedströms. De fiskregistreringar som analyserats visar att antalet registreringar per timme ökar under morgon och förmiddagar för att sedan avta under eftermiddag och kväll, likaså kan man notera fler registreringar per timme vid högre flöden genom kraftverket. Däremot kan man inte se några förändringar i aktivitet till följd av flödesförändringar i kraftverket (Figur 9, 10 och 11).

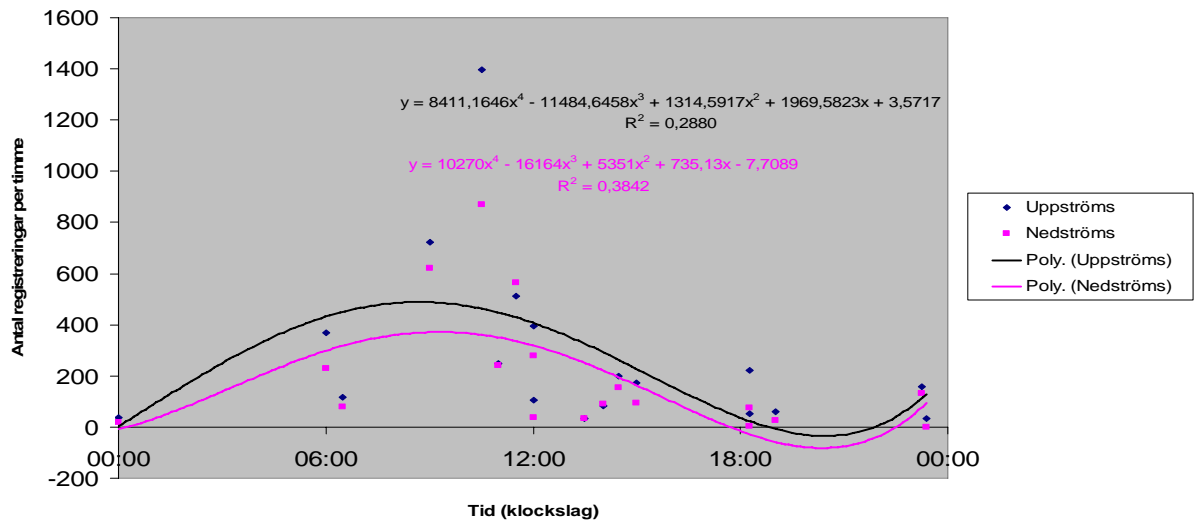


Fig. 9. Med ekolodning registrerades upp- och nedströmsförflyttningar av lax i turbinutloppet. Figuren visar antalet registreringar per timme plottat mot tid på dygnet.

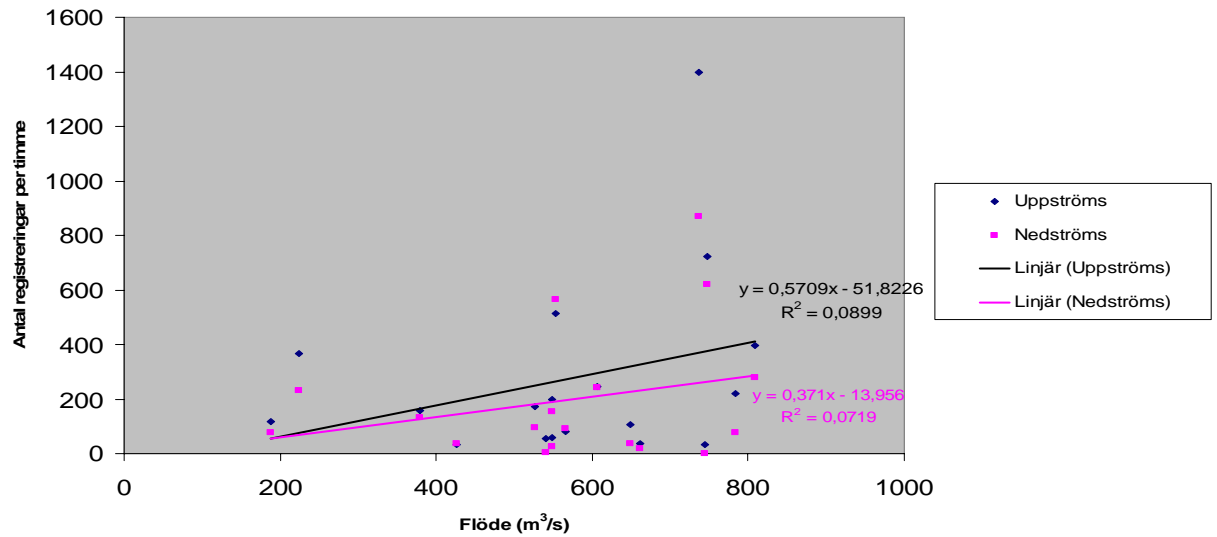


Fig. 10. Antalet registrerade förflyttningar per timme plottat mot vattenflödet genom kraftverket.

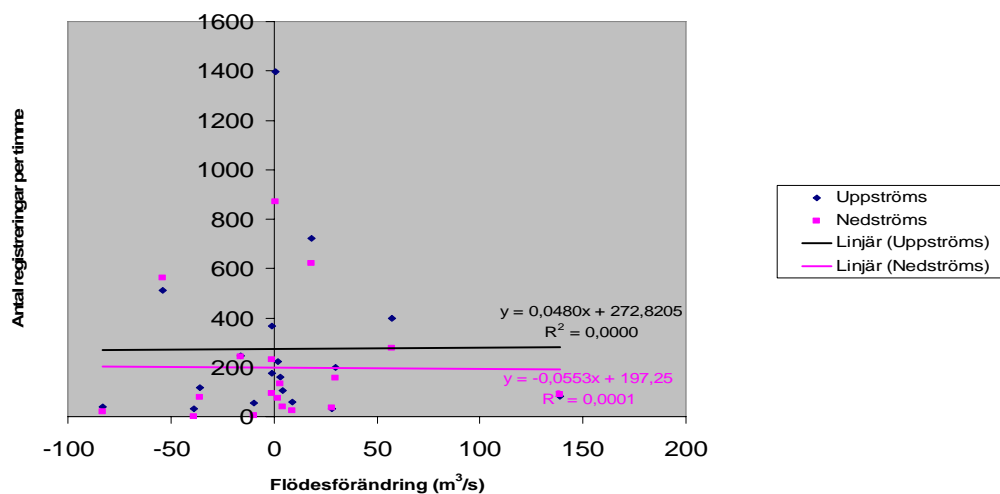


Fig. 11. Antalet registrerade förflyttningar plottat mot flödesförändringar genom kraftverket.

Vattenflöde och temperatur

Vattenflödet i torrfåran var under 2004 högre än 20 m³/s under 44 % (999 timmar) av den totala tiden (2,256 timmar) från dess att den första fisken märktes till dess att fiskvägen stängdes den 1/10. Motsvarande data från 2005 visade att under 29 % (774 timmar) av den totala tiden (2640 timmar) varit högre spillflöde än 20 m³/s. Turbinflödet har varit relativt lika under de båda åren med undantag för det haveri som inträffade år 2005 och orsakade ett lågt kraftverksflöde. Vanligtvis varierade turbinflödet under dygnet med markerade neddragningar som normalt inträffade nattetid i samband med en minskad kraftkonsumtion. Generellt varierade turbinflödet mellan ett minimum på ca 300 m³/s och ett maximum på ca 600 m³/s.

Temperaturen under laxens vandringsperiod år 2004 varierade mellan 8,5° C och 21,2° C. Under perioden år 2005 noterades en temperaturvariation mellan 9,2° C och 21,6° C. År 2005 steg temperaturen till sitt max ungefär 3 veckor tidigare än 2004 men från mitten av augusti har temperaturen i stort sett varit lika de båda åren (Fig. 10). Mellan vattnet i tunnelutloppet och torrfåran uppmättes en liten temperaturskillnad av i genomsnitt 0,7° C sett för bägge åren.

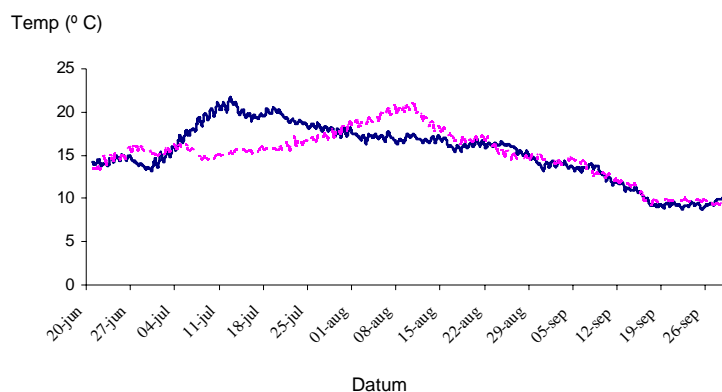


Fig. 10. Medeltemperaturen mellan kraftverksvattnet och vattnet i torråran i Umeälven åren 2004 (streckad) och 2005 (heldragen).

Diskussion

Generellt sett har laxens vandring under 2005 varit lyckad med relativt hög uppvandring av radiomärkta fiskar förbi laxtrappan (44 %), jämfört med 2004 (21 %). Mest troligt är denna skillnad orsakad av flödesmängden i torråran då spillet under 2005 anpassades för att förbättra laxens uppvandringssannolikhet från sammanflödesområdet och förbi Baggböleforsen enligt Leonardsson *et al.* (2005). Detta har inneburit att laxen på ett näst intill optimalt sätt hittat och passerat den nedre delen av torråran. Säkerligen har de olika flödesregimerna i form av turbinflöde och spillmängd samtidigt orsakat de skillnader i vandringsbeteende hos lax i sammanflödesområdet som observerats mellan år 2004 och 2005. År 2004 provades en modell där spillflödet i torråran ökades nattetid under laxens vandringssäsong. Detta för att tidigare studier har visat att lax som vandrat in mot tunnelutloppet visat sig vandra nedströms mot mynningen när flödet genom turbinerna minskar (Rivinoja *et al.*, 2001). Normalt sett inträffar detta nattetid när kraftkonsumtionen, och därmed produktionen, minskar och under 2004 studerades om det går att locka dessa fiskar in mot vandringsvägen i torråran när spillflödet höjdes ungefär vid denna tidpunkt. Många av de märkta laxarna år 2004 visade trots detta ett stort jobeteende mellan tunnelutloppet och nedströms mot mynningen och därmed uppstod ingen ökad uppvandringssannolikhet till torråran. År 2005 har flödet inte varierat på dygnsbasis utan det har på försök spillts mer vatten i två längre perioder under vandringssäsongen (1-4/7 och den 15-22/7). Det verkar som de laxar som befunnit sig i sammanflödesområdet under första halvan av säsongen visat detta jobeteende i mindre omfattning. Samtidigt har en större andel av dem också hittat upp i torråran än vad som var fallet för dem som var märkta efter de båda försökstappningarna. Likaså har laxarna generellt visat mindre jobeteende år 2005 jämfört med 2004. Dessa resultat tolkar jag som att laxen blir störd i sitt vandringsbeteende av varierande flöden i torråran och även turbinerna. Detta eftersom de laxar som har befunnit sig i sammanflödesområdet under perioder med högre vattenföring i torråran har visat ett mindre omfattande jobeteende och i högre grad har lyckats hitta rätt väg upp i torråran. Leonardsson *et al.* (2005) konstaterade att det optimala spillflödet är beroende på säsong och temperatur. Vilket som skulle vara den optimala vattenföringen är svårt att säga, troligtvis är det beroende på hur höga flöden som går genom kraftverket. Dock predikterade Leonardsson *et al.* (2005) att 80-90 m³/s normalt skulle vara gynnsamt för att locka fisk från sammanflödet till torråran och samtidigt uppnå en god passage av lax uppströms

Baggböleforsen. Eftersom det totala vattenflödet är högre i början av säsongen är det emellertid troligt att det skulle krävas något högre flöden i torråran för att laxen ska hitta rätt väg upp från sammanflödesområdet under denna tid. Flödet bör dock inte vara så högt att det försvårar passagen av Baggböleforsen och Leonardsson *et al.* (2005) fann i sin modellering ett tröskelvärde av ca 150 m³/s. När det totala flödet senare under säsongen minskar kan förmodligen ett lägre flöde i torråran vara tillfredsställande både för att locka lax till Baggböleforsen och underlätta uppströms passage.

Utöver de två försökstappningarna år 2005 var det höga flöden i torråran under helger, vårflood och vid det tillfälle då kraftverket var tvunget att stänga delar av produktionen. Under det dygn (6-7 juli) då kraftverket minskade sin produktion hittade och passerade 18 % av de radiomärkta laxarna Baggböleforsen. Denna stora flödesminskning genom kraftverket i kombination med ett ökat spillflöde hade således en mycket positiv effekt på framgången i laxens uppströmsvandring. Vid de s.k. helgtappningarna har 4 st laxar hittat och sedan även passerat Baggböleforsen och totalt sett noterades att 76 % av de märkta laxarna som passerat uppströms forsén hittade upp under perioder med ökat spillflöde. Dessa perioder var därmed påtagligt gynnsamma för laxens vandringsframgång.

Ekolodsdata från 2005 har visat ett mönster där antalet registrerade förflyttningar ökar under morgon och förmiddag för att sedan minska under eftermiddag och kväll. Likaså har antalet registreringar per timme varit större vid höga vattenflöden genom kraftverket. Däremot har jag inte kunnat se någon aktivitetsförändring i samband med flödesförändringar genom kraftverket. Vad av detta som är en konsekvens av det absoluta vattenflödet eller flödesförändringarna i kraftverket eller om det helt enkelt är beroende av laxens biologiska klocka kan jag inte svara på. Ett mönster med ökande mängd förflyttningar efter förändringar av turbinflöde, och då särskilt vid minskat flöde, har påvisats av Rivinoja *et al.* (2001). Vad som är en typisk respons för lax i samband med att fisken upplever ett minskande flöde och därmed också en minskad vattenhastighet tycker jag bör vara förflyttningar för att finna optimala ståndplatser eller vandringsvägar uppströms. Att den totalt sett största mängden registreringar noteras av nedströmsvandrande laxar finner inte jag särskilt förvånande eftersom det kan bero på att laxen har olika vandringsstråk in mot tunnelutloppet och ut från detsamma. Jag gör det antagandet att laxar i sin uppströmsvandring följer utloppskanalens kanter, där man kan förvänta sig en lägre vattenhastighet, och sedan vänder in mot mitten och följer huvudflödet ut från tunnelutloppet. Samtidigt antyder data som visar att lax finns över hela utloppskanalens tvärsnitt (Figur 8) att fler uppströmsvandrande laxar registreras närmare land, vilket stödjer mitt antagande. För att få klarhet i om så är fallet bör dock flera studier genomföras där man på udden vid sammanflödet mellan torråran och kraftverksvattnet övervakar ett tvärsnitt av utloppskanalen (alltså spela in datasekvenser där ekolodet mäter tvärs över kanalen). Genom en sådan studie kan man klarlägga vilken väg fisken tar in mot turbinutloppet och därigenom skulle den även vara intressant vid planering och anläggning av fiskväg som diskuterats av Rivinoja (2005) för att åstadkomma nya möjligheter för laxen att passera uppströms sammanflödesområdet. För att ytterligare förbättra analysen av laxens respons på flöden skulle man kunna nyttja flödesdata med högre upplösning, t.ex. med 15 minuters intervall, dock fanns endast timvärden att tillgå vid denna studie.

Temperaturen har under både 2004 och 2005 varit i stort sett optimal för laxens uppströmsvandring, och data från Mills (1989) indikerar att intervallet 10-20°C oftast är gynnsamt även om Leonardsson *et al.* (2005) nämner att populationer sannolikt är lokalt anpassade. År 2005 kom temperaturtoppen lite tidigare än 2004 men det har inte något av åren varit så varmt att laxens vandring bör ha påverkats negativt. Den skillnad som uppmättes i temperaturerna mellan kraftverksvatten och torråran (0,7°C) är knappast

tillräckligt stor för att påverka fiskens vandring, vilket också påpekas av Lundqvist *et al.* (2006). Eftersom de små temperaturskillnaderna mellan åren knappast har orsakat skillnader i laxens vandrings framgång mellan åren har jag nöjt mig med en enkel analys av temperaturen och inte vidare diskuterat dessa data.

Tackord

Jag vill rikta ett stort tack till Peter Rivinoja som fungerat som handledare under fältarbetet och kommit med goda idéer och uppmuntrat mig i analys- och skriv-arbetet. Kjell Leonardsson har besparat mig många timmars arbete genom att lära mig en hel del nyttiga applikationer i Excel samt introducerat mig i programvaran SonarPRO 5. Sist men inte minst vill jag tacka Hans Lundqvist som med stort intresse och engagemang jobbat fram medel för denna studie. Nils-Erik och Björn Sjöström och fiskodlingspersonalen (Åke, Gunnar och Melsy) i Norrfors tackas för gott samarbete. Utan Vattenfall AB's hjälp skulle inte denna studie kunna genomföras. Djurförsöksetiska nämnden (CFN Dnr. A70-03 och A90-03) gav tillstånd till undersökningen. Vi tackar Elforsk, Naturvårdsverket, Fiskeriverket, Energimyndigheten, som via kontrakt V2-03 finansierade fältarbetet. .

Referenser

- Arnekleiv, J.O. & Kraabøl, M. 1996. Migratory behaviour of adult fast-growing brown trout (*Salmo trutta*, L.) in relation to water flow in a regulated Norwegian river, *Regulated Rivers: Research and Management* 12, 39-49.
- Buck, R.J.G & Hay, D.W. 1984. The relation between stock size and progeny of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a Scottish stream. *Journal of Fish Biology* 24, 1-11.
- Leonardsson, K., Belyaev, Y., Rivinoja, P. & Lundqvist, H. 2005. Modelling upstream migration of Atlantic salmon as a function of environmental variables. *Manuscript in 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.
- Lundqvist, H., Rivinoja, P., Leonardsson, K. & McKinnell, S. 2006. Upstream passage problems for wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a flow controlled river and its effect on the population. *Hydrobiologia* (accepted)
- Mills, D.H. 1989. *Ecology and management of Atlantic salmon*. London, Chapman & Hall. 351 p.
- 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. DOI:10.1002/rrr.607.
- Rivinoja, P., Leonardsson, K. & Lundqvist, H. 2005. Migration success and migration time of gastrically radio-tagged versus PIT-tagged adult Atlantic salmon. *Journal of Fish biology* (In press).
- Rivinoja, P. 2005. *Migration Problems of Atlantic Salmon (Salmo salar L.) in Flow Regulated Rivers*. Doctor's dissertation. Department of Aquaculture, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå. ISSS: 1652-6880. ISBN: 91-576-6913-9.
- Thorstad, E.B., Økland F., Johnsen, B.O. & Næsje, T.F. 2003a. Return migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar*, in relation to water diverted through a power station. *Fisheries Management and Ecology* 10, 13-22.
- Thorstad, E.B., Økland F., Kroglund, F. & Jepsen, N. 2003b. Upstream migration of Atlantic salmon on the River Nidelva, Southern Norway. *Fisheries Management and Ecology* 10, 139-146.
- Östergren, J. 1999. Lekvandring hos vilda honor av östersjölax (*Salmo salar*) i Vindelälven. Arbetsrapport, Institutionen för Vattenbruk. Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.