



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Faculty of Forest Science

Laxens uppströmsvandring i den restaurerade och flödesreglerande Umeälvens nedre del

The upstream migration of Atlantic Salmon in the restored and flow regulated lower part of Umeälven

Joakim Johansson



Examensarbete i ämnet biologi

Department of Wildlife, Fish, and Environmental studies

Umeå

2015

Laxens uppströmsvandring i den restaurerade och flödesreglerande Umeälvens nedre del

The upstream migration of Atlantic Salmon in the restored and flow regulated lower part of Umeälven

Joakim Johansson

Supervisor: Hans Lundqvist, Dept. of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Assistant supervisor: Kjell Leonardsson, Dept. of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Examiner: Anders Alanärä, Dept. of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Credits: 30 HEC

Level: A2E

Course title: Master degree thesis in Biology at the Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Course code: EX0764

Programme/education: Jägmästarprogrammet

Place of publication: Umeå

Year of publication: 2015

Cover picture: Joakim Johansson

Title of series: Examensarbete i ämnet biologi

Number of part of series: 2015:18

Online publication: <http://stud.epsilon.slu.se>

Keywords: Atlantic Salmon, migration, telemetry, flow regime, Umeälven

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Faculty of Forest Science
Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Abstract

The expansion of hydroelectric power has negatively affected the Baltic stock of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*). To enable spawning migration of salmon in flow controlled rivers with intact wild stocks, bypass channels and resting pools with smaller flows are constructed to help salmonids in their migration upstream. Some of these restoration actions to help migrating fish are seen in the old river bed in the lower part of river Umeälven where this study was undertaken. Previous research indicates a large loss of potential spawning salmon due to problematic migration routes and slow migration through the old river bed. These migratory problems are assumed to limit the population growth of salmon in the river. This study describes the Baltic salmon migration through the old river bed, from the confluence area to the fish ladder downstream of the dam in Norrfors, when they pass man made constructions in the river aimed to help them upstream.

In the summer of 2013 (June-July) 148 salmon (60-116 cm) was tagged with radiotransmitters at the mouth of river Umeälven, and followed on their upstream migration in the old river bed. I focussed on how an increase and change in flow regimes (by changing the spill flow) affected the salmon migration behavior on this section.

The restoration of the new pool area in Baggböle rapids enabled salmon to reside in the area and not immediately return downstream due to a change in the spill flow. 99 % of all salmons from the confluence area was registered at some time in Baggböle. A higher spill flow attracted salmon into the old river bed to reach a constructed holding pool, while lower flow attracted salmon to swim past the top of Baggböle rapids. Ninety percent of the salmons that entered the study site left the confluence area or entered the Baggböle rapids in high flow. Subsequently, 70 % swam upstream from Baggböle in low flow. The passage past Kungsmo has become faster and with higher success since the restoration of this site, but spill flow, or flow changes, could not be observed to be important for the fish to pass this stretch. The overall results of the upstream migration through the old river bed from this year are better than in previous year's studies. Eighty five percent of the salmons made it from the confluence area up to the bottom of the fish ladder in Stornorrfors. This shows that regulated spill changes together with man made constructions can highly affect salmon migration in regulated rivers positively.

Sammanfattning

Utbyggnaden av vattenkraftverk har påverkat den baltiska populationen av atlantlax (*Salmo salar L.*) negativt. För att möjliggöra för laxarnas lekvandring finns emellertid bypasskanaler (omlöp) med mindre flöden förbi dessa hinder. Ett sådant exempel är gamla älvfåran i nedre delen av Umeälven. Tidigare forskning visar på en stor förlust av lekmogen lax i området p.g.a. svåra vandringsvägar samt lång vandringstid genom gamla älvfåran för att nå fisktrappan ca 8 km uppströms så att de kan nå sina lekområden i Umeälvens största bidlöde Vindelälven. De svåra uppvandringförhållanden i gamla älvfåran begränsar populationen av lax i Vindelälven. Den här studien beskriver östersjöloxens vandring genom gamla älvfåran, från sammanflödesområdet till fisktrappan nedströms dammluckorna i Norrfors, Umeälven.

Under sommaren (juni-juli) 2013 radiomärktes 148 laxar (60-116 cm) vid Umeälvens mynning och deras uppströmsvandring i gamla älvfåran studerades. Fokus riktades mot att analysera hur en ökning och sänkning av spillflödet inverkar på laxens vandringsbeteende på denna sträcka. En andra delfråga låg i att studera effekten av två ombyggnationer av problematiska forspartier längs samma sträcka. I Baggböleforsen har en pool skapats och i Kungsmofallet har forsens delats upp i fler sektioner, likt en stor trappa.

Restaureringen av nytt poolområde i Baggböleforsen möjliggjorde att laxen kunde uppehålla sig i området och att den inte vandrade nedströms på grund av flödesändringen eller spillflödet. Nittionio procent av laxen i sammflödet registrerades någon gång upp i Baggböle. Ett högre flöde lockade in laxen i gamla älvfåran medan lägre flöde attraherade laxen att simma förbi övre delen av Baggböleforsen. Nittio procent av laxen i sammanflödet, simmade uppströms eller kom till Baggbölepoolen vid högt flöde. Av dessa simmade 70% vidare vid lågt flöde. Passagen förbi Kungsmo har blivit bättre sedan ombyggnationen men spillflödet eller flödesförändringarna betydelse förbi denna sträcka har liten betydelse. Årets uppvandringresultat genom gamla älvfåran är bättre än i tidigare år studier. 85 % av alla laxar i sammanflödet tog sig upp till fisktrappan i Stornorrfors. Denna studie visar att förändrat spillflöde och mänskligt byggda konstruktioner till stor del kan påverka laxvandring i reglerade älvar positivt.

Inledning

En välmående laxpopulation behöver fria vandringsvägar, god vattenkvalité och passande habitat för reproduktion och tillväxt (Armstrong, *et al.*, 2003; Hendry & Cragg-Hine, 2003). Östersjöloxen, eller den baltiska populationen av atlantlax (*Salmo Salar L.*) i svenska älvar, är negativt påverkad av förstörda habitat när vattendrag kanaliseras under flottsperioden, försämrade vattenkvalité från utsläpp, få lekvandrar genom hög exploatering i havsfisket och från vattenkraftens utbyggnad (Hendry & Cragg-Hine, 2003; Lundqvist, *et al.*, 2008; Mannerla, 2011). I vilken grad dessa faktorer inverkar negativt på östersjöloxens olika stammar är svårt att säga då det inte finns några populationsskattningar gjorda för östersjöloxen utan mänsklig påverkan (Parrish, *et al.*, 1998). I de fall tätheter anges finns en stor osäkerhet i data vilket gör skattningarna svårbedömda (McKinnell & Karlström 1993). De vilda laxstammarna har minskat drastiskt eftersom de flesta av de stora laxförande vattendragen i landet nu regleras för vattenkraftsändamål vilket lett till att laxbeståndet i östersjön i stor utsträckning uppehålls via laxodlingar och utsättning av laxsmolt (Eriksson & Eriksson, 1993; McCormick, *et al.*, 1998; McKinnell & Karlström, 1999).

Det senaste decenniet har forskare studerat laxens vandringsbeteende, både uppströms och nedströms för att utvärdera migrationsproblematiken runt vattenkraftsutbyggnader i reglerade vattendrag. Ett sådant exempel är laxens vandringsproblem kring Stornorrfor vattenkraftverk i Umeälven. Tidigare studier (Rivinoja, 2005; Lundqvist, *et al.*, 2008; Rivinoja, *et al.*, 2009) visar på leklaxens svårigheter att passera det flödesreglerade område kring kraftverket för att nå sina lekområden i biflödet Vindelälven. Detta har naturligtvis begränsat populationens möjligheter till tillväxt. Detta i kombination med en problematisk vandringsväg genom gamla älvfåran, en bypasskanal förbi kraftverket, har lett till långa vandringstider och låg passageeffektivitet något som anses förbruka laxens energireserver och försämma dess reproduktiva förmåga (Rivinoja, 2005; Caudill, *et al.*, 2007; Scruton, *et al.*, 2007; Lundqvist, *et al.*, 2008; Rivinoja, *et al.*, 2009). Vid högre spillflöden i gamla älvfåran tycks fler laxar hitta från sammanflödesområdet in i gamla älvfåran (Rivinoja, 2005; Rivinoja, *et al.*, 2009). Flödesförändringar via spill framkallar dock ett ändrat simbeteende, ett s.k. ”jojo-beteende” vilket tros bidra till långa vandringstider förbi Norrfors, som enligt Rivinoja, *et al.* (2009) uppgår till 44 dagar i medeltal. Lundqvist *et al.* (2008) menade att laxen drog sig tillbaka ner från gamla älvfåran vid sänkningar av flödet vilket påverkade både uppvandringseffektiviteten och uppehållstiden i bypasskanalen avsevärt. Sedan 1995 har radiomärkt lax registrerats och positionerats i relation till olika spillflöden när de simmat genom gamla älvfåran och genom dessa studier har den kumulativa förlusten av lax längs sträckan i gamla älvfåran visats och tydliggjort sammanflödesområdet, Baggböleforsen, Kungsmofallet, Laxhoppet och laxtrappan som problemområden (Lundqvist, *et al.*, 2008).

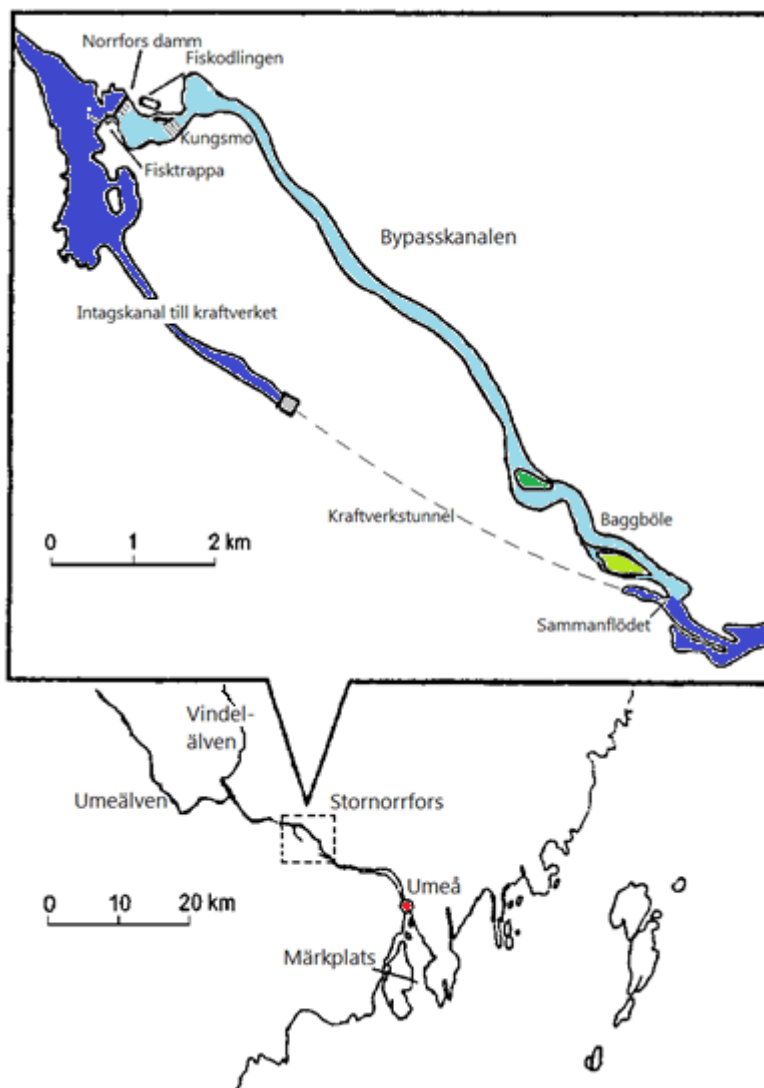
För att förbättra villkoren för uppströmsvandrande lax i Umeälven har Vattenfall genom åren restaurerat olika problematiska passageområden längs gamla älvfåran. Inför vandringsäsongen 2012 stod två ombyggnationer i Baggböle och i Kungsmo färdiga. Förväntningarna av dessa ombyggnationer var att minska andelen jojo-förflyttningar och erhålla en högre passageeffektivitet. Det övergripande målet för arbetet med fiskvandringsstudierna i Umeälvens nedre del har varit att uppnå en så naturlig laxvandring som möjligt till Vindelälven. Med avseende på den nya flödesregimen och de nya ombyggnationerna var syftet med min studie:

- Att analysera effekten av ändringar i spillflöde på laxens vandring i gamla älvfåran.
- Att diskutera de potentiella effekter som ombyggnationerna i Kungsmofallet och Baggböleforsen fått på laxvandringen i relation till tidigare studier

Material and Metod

Undersökningsområde

Umeälven i norra Sverige mynnar i Bottenhavet mellan den 63:e och 64:e breddgraden. Med Vindelälven som största biflöde har Umeälven ett årligt medelflöde på ca 450 m³/s. Umeälven och Vindelälven går samman 47 km uppströms från kusten vid Vännäsby. Vindelälven är oreglerad medan Umeälven är fullt utbyggd av vattenkraft. Stornorrfors vattenkraftverk, nedströms sammanflödet vid Vännäsby är Umeälven största kraftverk och har en kapacitet på 590 MWe och en genomsnittlig elproduktion på 2298 GWh. Kraftverket har en maximal kapacitet på ca. 1 000 m³ s⁻¹. Vid höga flödestoppar eller driftsstopp spillts vatten i gamla älvfåran. Gamla älvfåran fungerar även som en naturlig bypasskanal för uppströmsvandrande lax. Kanalen är 8 km lång och går från sammanflödesområdet upp till fisktrappan intill dammluckorna i Norrfors.



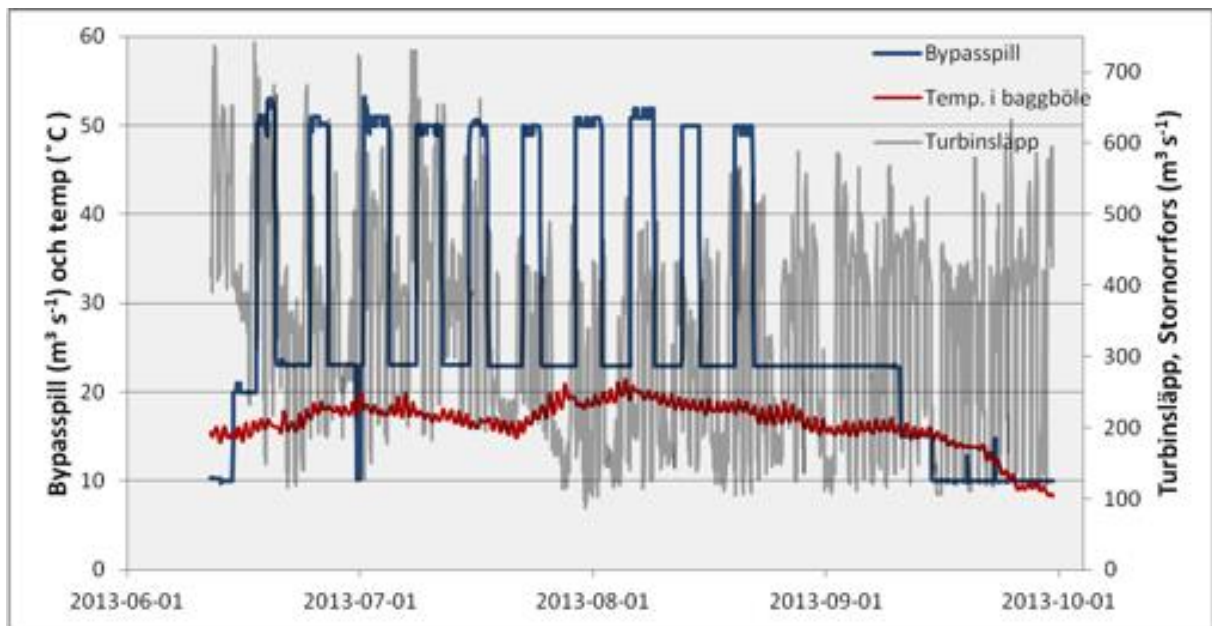
Figur 1. Karta över Umeälvens nedre del. Vatten leds genom intagskanalen mot kraftverket och strömmar därefter genom en underjordisk tunnel ut i tunnelviken, sammanflödet. Uppvandrande lax måste simma genom den gamla älvfåran som fungerar som en bypasskanal, för att ta sig förbi vattenkraftverket mot leklokalerna i Vindelälven.

Under normala flödesförhållanden i Umeälven passerar allt vatten, utöver minimitappningen som är avsedd för fisktrappan och den gamla älvfåran genom Stornorrfors kraftstation. Vattnet återförs därefter till älven via en 4 km lång underjordisk tunnel (rak streckad linje i figur 1). I sammanflödesområdet återförenas det med vattnet från gamla älvfåran.

Vattenföringen genom Stornorrfors kraftverk varierar över dygnet och veckan. Den genomsnittliga vattenföringen genom turbinerna från 20 maj till 1 oktober (1997) var $552 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ genom turbinerna och då låg spillet i gamla älvfåran på $56 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Något som motsvarar en typisk vattenföring i nedre delen av Umeälven.

Cirka 600 meter upp från sammanflödesområdet börjar Baggböleforsen (Baggböle i figur 1). Efter ombyggnationerna som gjordes 2012 är den uppdelad i en övre- och en nedre del. Den övre delen är kortare än den nedre, men smalare och har en högre fallhöjd. Kungsmofallet (Kungsmo i figur 1) är ytterligare 6 km upp längs gamla älvfåran. Nedre delen av fallet är relativt brant och forsaktigt medan övre delen - efter ombyggnationerna delats upp mindre bassänger genom gjutna cementvallar.

Normalt ankommer laxen till älvmynningen för lekvandring i maj-augusti och kan till första oktober passera gamla älvfåran, därefter spillas inget vatten. I figur 2 kan man se flödet (blå linje, vänster y-axel) som spilldes i gamla älvfåran under perioden som våra de märkta laxarna befann sig i systemet, från mitten av juni fram till första oktober 2013. Flödet i gamla älvfåran varierade i huvudsak mellan 50 och $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. I figuren redovisas även vattentemperaturen i Baggböleforsen under samma period (röd linje, vänster y-axel) och flödet genom turbinerna i Stornorrfors (grå linje, höger y-axel) vid sammanflödet.



Figur 2. Vattenspill i bypasskanalen (blå linje) och vattentemperatur i Baggböleforsen (röd linje) under perioden 12 juni -1 oktober. Turbinsläppet (grå linje) anses vara den faktor som i högst grad försvårar laxvandringen i sammanflödesområdet.

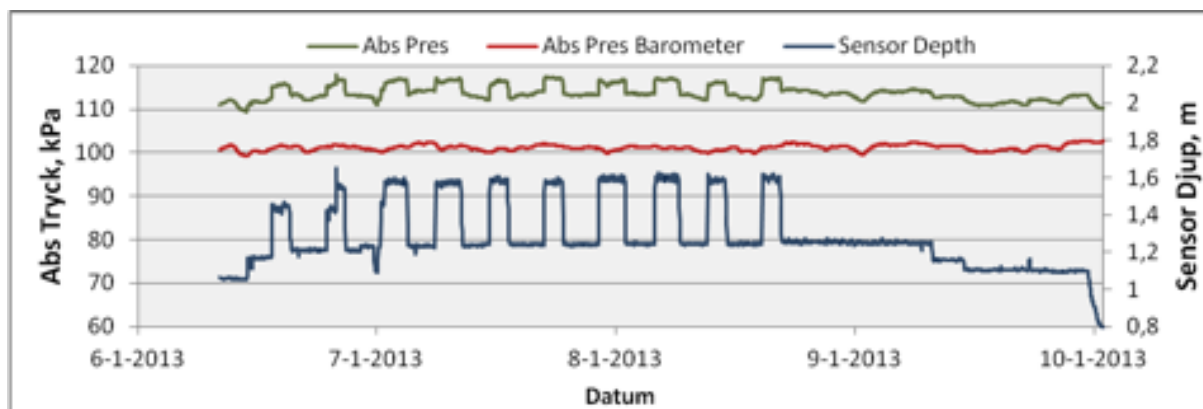
Flödesregimen i gamla älvfåran

Under sommaren 2013 har vattnet i gamla älvfåran tappats enligt en förbestämd flödesregim. Spillschemat framgår av tabell 1. För laxen innebar denna regim högt flöde ($>50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) under 10 tillfällen och lågt flöde ($<23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) under 11 tillfällen. Perioderna för höga flöden varierade mellan $\sim 2,5$ till $3,5$ dygn, medan perioderna för lågt flöde varierade mellan $\sim 3,5$ och $4,5$ dygn.

Tabell 1. Flödet i gamla älvfåran och flödesförändringarnas tidpunkter. Ljusblå färg markerar etappvisa neddragningar av flödet från 50-23m³ s⁻¹. Mörkblå markeringar visar snabba neddragningar av flödet.

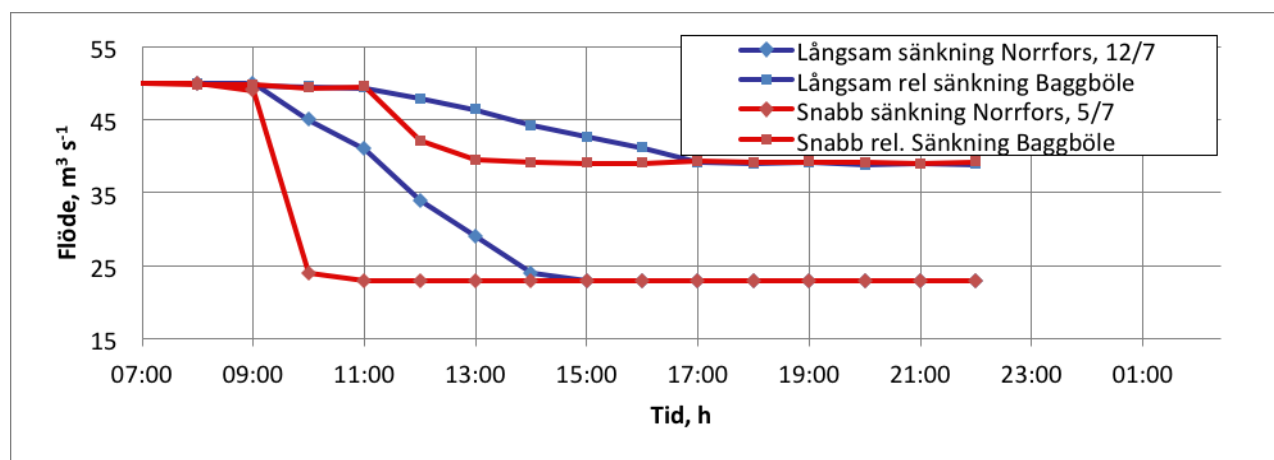
Datum	Spill
14 jun 23:00 - 18 jun 03:00	23 m ³ s ⁻¹
18 jun 03:00 -20 jun 13:00	50 m ³ s ⁻¹
20 jun 13:00 -25 jun 03:00	23 m ³ s ⁻¹
25 jun 03:00 -27 jun 13:00	50 m ³ s ⁻¹
27 jun 13:00 -02 jul 03:00	23 m ³ s ⁻¹
02 jul 03:00 -05 jul 13:00	50 m ³ s ⁻¹
05 jul 03:00 -09 jul 10:00	23 m ³ s ⁻¹
09 jul 03:00 -12 jul 10:00	50 m ³ s ⁻¹
12 jul 10:00 -16 jul 03:00	23 m ³ s ⁻¹
16 jul 03:00 -18 jul 10:00	50 m ³ s ⁻¹
18 jul 10:00 -23 jul 03:00	23 m ³ s ⁻¹
23 jul 03:00 - 25 jul 12:00	50 m ³ s ⁻¹
25 jul 12:00 - 30 jul 03:00	23 m ³ s ⁻¹
30 jul 03:00 - 02 aug 13:00	50 m ³ s ⁻¹
02 aug 13:00 - 6 aug 03:00	23 m ³ s ⁻¹
06 aug 03:00 -09 aug 10:00	50 m ³ s ⁻¹
09 aug 10:00 -13 aug 03:00	23 m ³ s ⁻¹
13 aug 03:00 -15 aug 10:00	50 m ³ s ⁻¹
15 aug 10:00 - 20 aug 03:00	23 m ³ s ⁻¹
20 aug 03:00 -22 aug 10:00	50 m ³ s ⁻¹
22 aug 10:00 -10 sep 21:00	23 m ³ s ⁻¹
10 sep 21:00 -15 sep 00:00	15 m ³ s ⁻¹
15 sep 00:00-1 okt 00:00	10 m ³ s ⁻¹

Två tryckmätare i närheten av sammanflödet - en undervattensmätare i baggbölepoolen och en luftbarometer i sammanflödet har registrerat vatten- och lufttryck varannan minut under sommaren. Tryckförändringen under vattnet i Baggböle kunde sedan korrigeras mot förändringen av lufttrycket i sammanflödet (en sträcka på 650 meter, höjdskillnad på 3 meter) varpå vattennivån i Baggböle kunde utläsas (Figur 3). Även om sensordjupet inte gav exakt beskrivning av djupet i baggbölepoolen så gav det en noggrann tidsangivelse när en flödesförändring i Norrfors damm märktes av i Baggböle.



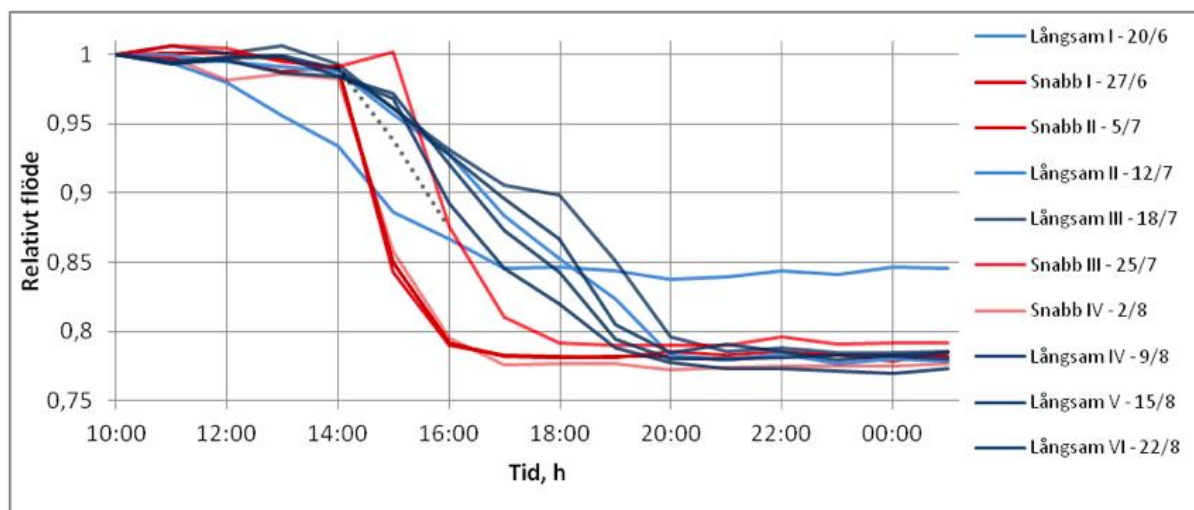
Figur 3. Tryckskillnad i Baggbölepoolen under säsongen. Grön linje är undervattenstrycket mätt i kPa på y-axeln, röd linje är lufttryck mätt i kPa på y-axeln, och blå linje är förändringen i vattendjup mätt i meter på x-axeln.

Genom att analysera dessa data kunde även effekterna av snabba respektive långsamma flödesneddragningar i spillfåran urskiljas. Vid snabba neddragningar stängdes luckan i Norrfors på direkten medan den under långsamma neddragningar stängdes etappvis, ca. 5 m^3 i timmen. I figur 4 kan man se vilken effekt en stängning av dammluckorna i Norrfors fick på flödet i Baggbölepoolen. I figur 4 är sänkningarna synkroniserade för att göras mer överskådliga. Mörkröd linje visar en snabb sänkning från $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ till $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ och mörkblå linje visar en långsam (etappvis) sänkning från $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ till $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Effekten av sänkningen, den relativa sänkningen av flödet i Baggbölepoolen, visas med den ljusare röda respektive blå linjen.



Figur 4. Skillnad på en snabb och en etappvis neddragning av spillflödet i Norrfors och deras relativa sänkning av vattennivån (flödet) i Baggböle. En sänkning från 50 till $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ i Norrfors blir märkbar i Baggbölepoolen ungefär 2 timmar senare.

I figur 5 ses de relativa utfallen på flödet i Baggbölepoolen efter sänkning i Norrfors damm. De röda linjerna är snabba sänkningar och de blå linjerna är långsamma sänkningar. Under sommaren gjordes 10 sänkningar av flödet från 50 till $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Fyra av dessa var snabba sänkningar och sex var långsamma sänkningar (figur 5). Den 25:e juli stängdes dammluckan med 10 m^3 i timmen, istället för 5 m^3 , varpå flödesförändringen i Baggböle följer samma mönster som de snabba flödesförändringarna om än en timme förskjutet (figur 5, snabb III 25/7). Därför har jag klassat den som en snabb flödesförändring i min studie.



Figur 5. Relativ flödesförändring i baggbölepoolen efter snabba och långsamma sänkningar i Norrfors. Under sommaren gjordes fyra snabba sänkningar och sex etappvisa sänkningar. I figuren är alla sänkningar synkroniserade till samma klockslag för att bli mer överskådliga.

Ombyggnationer i gamla älvfåran

För att underlätta vandringen förbi Baggböleforsen och Kungsmofallet gjordes två ombyggnationer som stod färdiga till vandrings säsongen 2012. Poolen som sprängts och grävts i Baggböle är två meter djup under lägsta vattennivå (vid $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ flöde) och har en betongvall nedströms vilket skapar en tvär avslutning på poolen (figur 6). Dessa två avslutningar är något som man tror ska hålla kvar fisken uppströms jämfört med ett forsparti där man inte har någon riktig barriär nedströms. Det gjöts även små betongsteg i Baggböleforsen uppströms poolen för att göra denna forssträcka mer passervänlig vid lägre flöden. Ombyggnaden i Baggböle förväntades därför fungera som en vilopool för uppvandrande lax vid höga vattenflöden innan flödessänkning.



Figur 6. Till vänster ses övre delen av Baggböleforsen före ombyggnation. Till höger ses den grävda poolen med en gjuten betongvall längst ner, som var klar till vandrings säsongen 2012. Poolen grävdes nedströms det nedre fallet i bilden till vänster.

I övre delen av Kungsmofallet sprängdes den mest svårpasserade delen av forsens varefter cementvallar gjöts. Genom detta lyckades man höja vattennivån i varje steg och göra forsens mer uppdelad med möjlighet till vila för laxen mellan trappstegen. Till vänster i figur 7, ses den övre delen av Kungsmofallet före restaurering. Till höger ses de fisktrappslänkande betonggjutningarna efter att ombyggnationen stod klar. De tvära cementvallarna förväntas

också hindra laxen från att vända nedströms. Under $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ öppnades även en alternativ väg runt Kungsmofallet, laxen kan då simma till höger om forsen förbi restaureringen.



Figur 7. Till vänster, i vänster bild, ses övre delen av Kungsmofallet, sett ovanifrån innan ombyggnation. Till höger ses de gjutna betongstegen efter ombyggnationen som var klara till vandringsäsongen 2012.

Märkning och spårning av lax

Lekmogen migrerande östersjölax fångades i en nätryssja, vid älvsmyningen utanför Obbola (WGS 84 decimal (lat, lon)63.68996, 20.32545) från den 12 juni till den 17 juli. Totalt märktes 148 laxar med kodade aktiva radiosändare (av inre typ F1820, ATS, USA) och PIT-tags (Passive Integrated Transponders). Meddelängden för dessa fiskar var 91 cm (60-116, min-max) fördelat på 90 honor (medellängd 93 cm, min-max: 74-105) och 58 hanar (medellängd 88 cm, min-max 60-116). Antalet märkta per datum anges i tabell 2. För att få en så representativ bild av laxpopulationen från Vindelälven som möjligt märktes laxar av båda könen och olika längder, vid 14 tillfällen under säsongen. Varje lax plockades upp ur nätryssjan och lades i en vattenvagga i båten. Huvudet täcktes av ett plasthölje för att lugna fisken och därefter märktes de gastriskt (Rivinoja, *et al.*, 2006), som tillsammans med andra referenser redogör för att märkningen inte påverkar laxens simbeteende. Hantertiden per fisk var 1-2 minuter, varpå de återutsattes för vidare uppströmsvandring. Två märkta individer återfångades i fällan och hamnade tyvärr i kustfiskarens fångst utan att märkningen upptäcktes (pers. komm. Nils-Erik Sjöström, Obbola).

Tabell 2. Datumtillfällen för märkningen samt antal märkta laxar fördelat på kön under sommaren. Totalt märktes 90 honor och 58 hanar med en medellängd på 93 respektive 87 cm.

	Hane	Hona	Tot.
12-jun	1	6	7
17-jun	5	11	16
19-jun	3	14	17
24-jun	5	10	15
26-jun	3	5	8
28-jun	3	9	12
01-jul	2	11	13
03-jul	5	7	12
05-jul	5	8	13
08-jul	9	3	12
10-jul	10	2	12
12-jul	2	2	4
15-jul	3	1	4
17-jul	2	1	3
Antal	90	58	148
Medellängd	93 cm	88 cm	91 cm

Utöver de radiomärkta laxarna PIT-märktes 245 laxar för andra syften, bl.a. för utvärdering av laxtrappan. Alla laxar som märktes i studien kontrollerades på följande sätt:

- Skannades på förekomst av PIT-märken från tidigare studier.
- Bedömdes på sin hälsostatus och kön.
- Ursprungsbestämdes, (vild eller odlad).
- Mättes, total längd (cm).
- Radiomärktes (enligt Rivinoja, *et al.*, 2006).
- PIT-märktes i ryggfettet, (två olika märkesstorlekar användes, 12 mm eller 23 mm för utvärdering av läsbarhet hos PIT-märkena).
- Fjällprov och en mindre stump av ryggsfenan sparades. Dessutom märktes fettfenan med ett litet hål, vilket förblev det enda yttre synliga signalementet för märkt fisk. Fjällprovet kunde ange åldern på märkt fisk och fenbiten analyserades genetiskt på SLU i Umeå för att detektera stamtillhörighet.

Signalerna från de radiomärkta laxarna fångades upp av luft- och undervattensantennerna när de simmade uppströms längs Umeälvens nedre del och i Vindelälven. I figur 8 och 9 ses placeringarna för luft- (ljusblå) och undervattensantennerna (röd) i studien. Luftantennerna i Umeälvens nedre del har varit placerade i Backen, Sammanflödet, Baggböleforsen, Kungsmofallet, Laxhoppet, Björkudden uppströms fisktrappan och i Spöland.

Registreringarna på nedersta antennen i Backen visade hur lång tid laxen använde för att simma från märkplatsen till och förbi Umeå stad. Förekomsten av ”jojo-simningar” mellan sammanflödet och ner mot Backen registreras också på denna antenn. I sammanflödet placerades sju luftantennerna för att kartlägga laxens vandringsbeteende i mer detalj. I gamla älvfåran placerades antenner på valda platser som använts vid tidigare års studier, för att kunna jämföra vandringsdata från denna studie med studier från tidigare år.

Undervattensantennerna med högre precision inom ett mindre område var placerade i

Sammanflödet, Baggböleforsen, Kungsmofallet, Laxhoppet och Diffusorn med samma syften som luftantennerna. Undervattensantennerna i gamla älvfåran placerades ungefär i höjd med luftantennerna, och kopplades till samma ”logger” för att kunna följa laxens uppströmsvandring då de först kommer in på luftantennen med svag signal och därefter ger starkare signal när den simmar uppströms mot luftantennen. I närheten av luftantennen kommer den sedan in på undervattensantennen, samtidigt som signalerna på luftantennen är som starkast. När laxen lämnar undervattensantennen avtar signalstyrkor på luftantennen i takt med att de passerar uppströms.



Figur 8. Antennplaceringar i Backen, Sammanflödesområdet och Baggböle. Ljusblå streck visar placering och riktning på luftantenner och röda streck visar placering och riktning på undervattensantenner.



Figur 9. Antennplaceringar i Kungsmo, Laxhoppet och utanför Diffusorn. Ljusblå streck visar placering och riktning på luftantenner och röda streck visar placering och riktning på undervattensantenner.

Telemetry

De radiosändare jag använde mig av sände signaler med en frekvens av 30 MHz. Varje radiosändare hade ett unikt sändarnummer som bestod av bandnummer och kodnummer. Dessa utgjordes av en fyrsiffrig kod, t.ex. 7100. Där bandnumret är 7, och kodnumret är 100. Generellt kan radiomärkt fisk med aktiva radiosändare detekteras på längre avstånd (aktiva märken ≤ 300 meter). I bilaga 1 redovisas hur data hanterats och kvalitetssäkrats. För att utvärdera de gjorda ombyggnationerna undersöktes laxens passageeffektivitet förbi de aktuella områdena och jämförde resultatet med tidigare studier. Jag studerade även laxens uppehållstider i dessa områden och laxens vandringsbenägenhet i relation till olika flöden och flödesförändringar.

Resultat

Av de 122 radiomärkta laxar som registrerats i sammanflödesområdet lyckades 104 stycken simma genom hela bypasskanalen och upp mot fisktrappans ingång innan den 1 oktober (Tabell 4). Mediantiden för att passera detta område för alla märkta fiskar var ca 9 dagar (min 2,4 max 62,8), vilket motsvarade tiden från första registreringen på undervattensantennen i Baggbölepoolen till första registreringen på undervattensantennen utanför diffusorn. Laxen hade störst problem med nedre delen av gamla älvfåran – sträckan mellan sammanflödet och övre delen av Baggböleforsen, där drygt 7 % inte lyckades passera. Även ett jojo-beteende kunde urskiljas på denna sträcka, om än i mindre grad än tidigare år.

Tabell 4. Passageeffektiviteten, andelen lax som lyckades passera de olika delsträckorna i gamla älvfåran sommaren 2013.

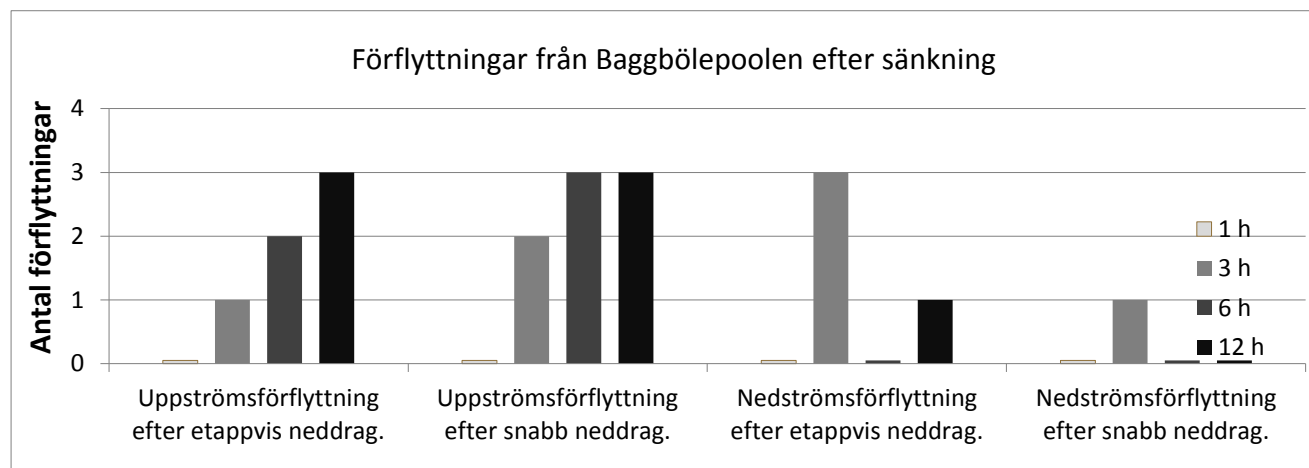
	Antal	%
Till sammanflödesomr.	122	100
Till Baggbölepoolen	121	99,2
Från Baggbölepoolen	112	91,8
Till Kungsmofallet	110	90,2
Från Kungsmofallet	106	86,9
Till Laxhoppet	106	86,9
Till Diffusorn	104	85,2

90 % av laxen lämnade sammanflödet eller kom till Baggböleforsen vid $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ flöde. Majoriteten av den laxen (ca 70 %) simmade också vidare från Baggböle, uppströms, vid ett spill av $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Av de laxar som lämnar Baggböle uppströms vid lågt flöde, simmade 92 % vidare vid samma flöde som när de kom till den gjutna vilopoolen eller efter första sänkningen från högt till lågt flöde. Åttiofva procent av laxarna som simmar vidare uppströms från Baggböle har varit i poolen vid ett tillfälle och mediantiden de stannar i poolen är nästan 3 dygn (95 %-igt K.I. 49 – 78 h). Under flödessänkningarna 5e, 12e och 18e juli har så många som 26, 21, resp 19 stycken av den märkta laxen befunnit sig i poolen. Detta ger en antydning om poolens kapacitet att fungera som vilopool för laxen i Baggböleforsen.

I övre delen av gamla älvfåran, från Kungsmo till Diffusorn, har nästan alla laxar passerat. Att döma av passageeffektiviteten är denna sträcka nu inget problem för uppströmsvandrande lax i gamla älvfåran. Mediantiden förbi Kungsmofallet är 32 h (95 %-igt KI 28:40,5 h). Några enstaka laxar befann sig dessutom i systemet den 1 oktober och har därför inte hunnit registreras vid alla loggar. Av de 121 laxar som simmat upp i fåran finns även tre troliga

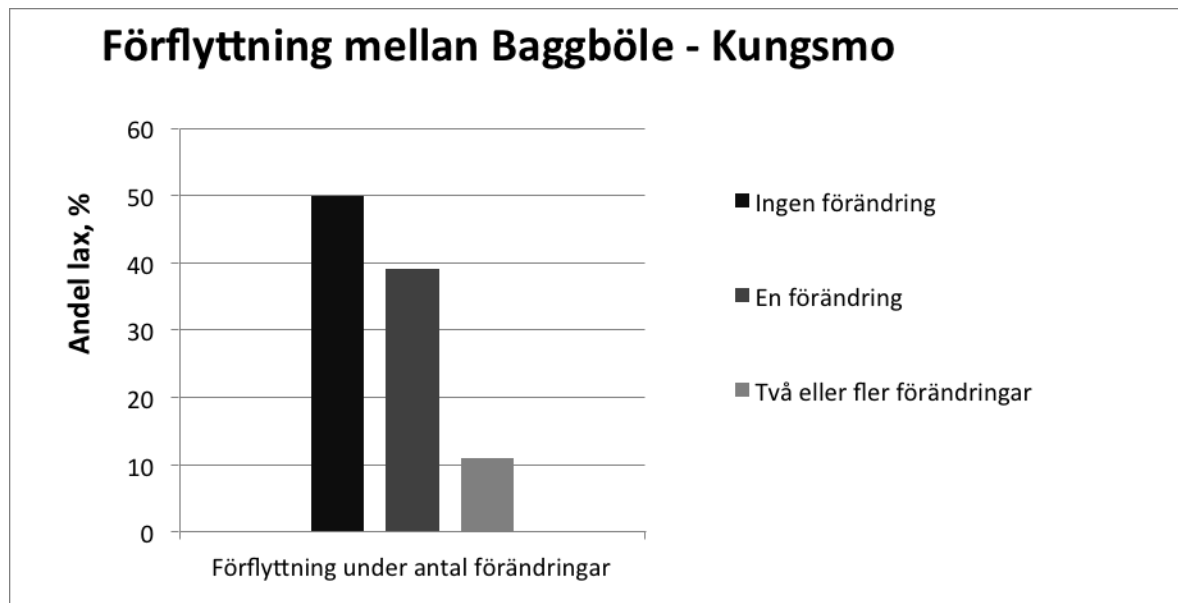
dödsfall och två sändartapp, varav laxarna med sändartapp lyckats spåras med hjälp av PIT-tagsmärkena.

Flödesneddragningarna hade ingen negativ påverkan på laxens uppvandningsbeteende. Endast fem förflyttningar gjorde nedströms inom 12 h efter sänkning under de 10 flödesneddragningarna. 102 laxar registrerades sammanlagt i Baggböle före neddragningarna, 59 stycken vid snabba neddragningar och 43 stycken vid etappvisa neddragningar. Av dessa förflyttade sig 19 laxar inom 12 h efter sänkning och 83 laxar fanns kvar i poolen. 14 stycken simmade uppströms och 5 laxar simmade nedströms. 4 stycken av dessa var efter etappvisa neddragningar och en var efter en snabb neddragning (figur 12).



Figur 12. Effekten av etappvisa resp. snabba flödesneddragningar i Baggbölepoolen. Innan snabba neddragningar fanns sammanlagt 59 laxar i poolen, vid etappvisa neddragningar fanns 43 laxar. Totalt 14 laxar simmade uppströms och totalt 5 laxar simmade nedströms efter sänkning. Antalet förflyttningar för långsamma resp. snabba sänkningar inom 1, 3, 6 resp 12 h efter sänkning framgår av tabellen.

Av de laxar som rört sig mellan Baggböle och Kungsmofallet simmade majoriteten, 89 stycken (81 %) under ingen eller en flödesförändring (figur 13). Endast två laxar vänder nedströms på sträckan mellan Baggböle och Kungsmo (tabell 4). Detta ger en antyndan om att flödesförändringar (både ökat- och minskat spill) inte påverkar laxvandringen negativt på denna sträcka.



Figur 13. 81 % av laxarna förflyttade sig sträckan mellan Baggböle och Kungsmo under ingen eller en flödesförändring (höjning eller sänkning av spill).

Av laxen som simmade sträckan Baggböle till Kungsmo under en höjning eller sänkning (39 %), simmade laxen snabbare under en sänkning. Skillnaden är dock inte signifikant. Mediantid 45 h vid sänkning mot 57 h vid höjning (n=16 resp. 23, 1000 simulationer) 95 %-igt KI (29:50 h resp. 42:71h). För lax som rörde sig under en snabb sänkning (n=10) var mediantiden 47 h (K.I. 29:65 h) för sträckan medan mediantiden för laxen som rörde sig sträckan under en etappvis sänkning (n=6) var 37 h (K.I. 24:54).

Diskussion

2013 års laxvandring i Umeälven resulterade i att fler laxar tog sig upp genom gamla älvfåran än i tidigare års studier samt att passagetiden har blivit kortare (Lundqvist et al 2008). I 2013 års studie simmade 85 % av laxen vidare från sammanflödesområdet upp till diffusorn, något som i tidigare års studie legat på ca 30 % i medeltal (Lundqvist et al 2008). I 2013 års studie var mediantiden för att passera gamla älvfåran 9 dagar. I tidigare års studier låg mediantiden på 44 dagar från första registrering nedströms sammanflödesområdet upp till laxtrappan i Norrfors (Lundqvist et al 2008).

Spillvolymens betydelse

Mina resultat visar att spillvolymen har störst betydelse för laxens beteende i den nedre delen av gamla älvfåran. Laxen attraheras från sammanflödet till gamla älvfåran vid relativt högre spill. Nittio % av laxen simmade från sammanflödet eller antrade baggbölepoolen vid $50\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ flöde under deras första besök i poolen. Detta vittnar om ”lockvattnets” betydelse för uppströmsvandrande lax i Umeälven. Lundqvist et al (2008) påvisade att laxen generellt simmade upp i gamla älvfåran vid relativt höga dammspill, något som överensstämmer med mina resultat. Ferguson et al, (2002) menade att uppströmsvandrande fisk följer huvudströmmen för att öka sin chans till reproduktion, varför ett högre spill i gamla älvfåran borde attrahera fler laxar. I en liknande studie gjord på lax i andra bypasskanaler diskuterades att ett lågt vattenspill troligtvis är den högst bidragande orsaken till låg passageeffektivitet (Thorstad, et al., 2005).

Att laxen simmar upp i gamla älvfåran vid högre flöden men passerar Baggböle vid lägre flöden är en viktig detalj vid all framtida hantering av vandringsproblematik för reglerade älvssträckor. I oreglerade vattendrag finns naturligt flödesvariationer p.g.a. vårflood, nederbörd m.m. men att de skulle ge samma fluktuationer som flödesförändringarna i gamla älvfåran är inte tänkbart. Laxens benägenhet att passera olika forspartier under olika flöden finns beskrivet i tidigare studier gjorda i övre delen av Vindelälven, men även specifikt för Baggböleforsen (Rivinoja, 2005; Lundqvist, *et al.*, 2006). Den lägre flödesvolymen kan alltså ses som en starkt bidragande orsak till laxens benägenhet att passera övre delen av Baggböleforsen. Mina data visar inget mönster att flödesvolymen påverkade laxens benägenhet att passera delsträckor från kungsmofallet upp till diffusorn. Av de sex fiskar som inte tog sig från Kungsmo till Diffusorn kan inte flödesdata urskiljas som någon orsakande faktor.

Effekten av ändring i spillflöde på laxvandringen i gamla älvfåran

Då laxen hellre simmar uppströms från Baggböle vid låga flöden är det inte förvånande att fler förflyttningar är uppströms efter sänkning. Men att dra någon slutsats om detta beror på sänkningen i sig och/eller typen utav sänkningen är svårt att uttala sig om. T.ex. gjordes ingen förflyttning direkt (< 1 h) efter sänkning. Med endast fem nedströmsförflyttningar på tio flödesneddragningar i Baggbölepoolen anser jag att neddragningarna inte inverkar negativt på uppströmsvandrande lax som befinner sig i poolen.

Inte heller påverkades lax på den ”naturliga” sträckan mellan Baggböle och Kungsmofallet under flödesneddragningar. Om laxen hade påverkats negativt av sänkningarna hade laxarna mellan Baggböle och Kungsmo spenderat mer tid på sträckan och därmed varit med om fler flödesförändringar. Att laxarna dessutom rör sig sträckan snabbare vid en sänkning stärker det antagandet att flödesneddragningen inte påverkar dem negativt. Mediantiden för laxen som rör sig under en etappvis sänkning är dock kortare än för lax som rör sig sträckan under en snabb sänkning (37 h mot 47 h). Dock är skillnaden inte signifikant.

Eftersom inte flödesneddragningarna i sig inverkat negativt på laxens uppströmsbeteende är det svårt att se någon skillnad mellan långsamma och snabba neddragningar. En anledning till skillnaden mellan neddragningarna inte varit så stor kan vara att en snabb stängning av dammluckan i Norrfors resulterar i en relativt utdragen sänkning av flödet i gamla älvfåran. Sommarens långsamma neddragningar fick däremot andra negativa konsekvenser då lax lyckades ta sig upp på utskovet i Norrfors vid etappvisa neddragningar vilket kan orsaka stress och skador, och även försämrade chanser till att lyckas passera fisktrappan.

Ombyggnationernas effekter på uppströmsvandrande lax

Effekterna av ombyggnationerna i Baggböleforsen med skapandet av Baggbölepoolen har fått goda resultat och lett till en högre passageeffektivitet genom forsens samt färre besök i Baggböle för uppströmsvandrande laxar. Nittiotvå av de 112 laxar som simmat förbi Baggböle har bara varit i poolen vid ett tillfälle. Detta stödjer hypotesen om att en ombyggnation med ett tvärt avslut blir effektivare för att hålla kvar laxen i Baggböle. Att endast en liten mängd (5%) simmade nedströms från poolen inom 12 h efter flödesneddragning stärker också detta antagande. Då 92 % av laxarna i min studie, som simmar vidare från poolen vid lågt flöde, antingen simmar vidare direkt vid lågt flöde eller efter första sänkningen bekräftar poolens nytta vid flödesförändringar. Att 21, 17 och 16 % av våra laxar befann sig i poolen vid sänkningarna i juli vittnar också om dess kapacitet att hålla lax om man känner till att den totala vandringen av lax och havsöring förbi Stornorrfors i sommar uppgick till 17 220.

Även om mina resultat fokuserar på lax som tagit sig upp till poolen kan de emellertid visa att genomfarten förbi Baggböleforsen inte är helt bekymmerfri. Nio laxar har inte lyckats passera forsens och 20 laxar har besökt poolen vid mer än ett tillfälle, d.v.s. de har varit ner till sammanflödet mellan besöken i poolen. En anledning som kan ligga till grund för nedströmssimmandet av lax i Baggböleforsen kan som tidigare diskuterats, bero på den mindre mängd vatten som spills där jämfört med det vatten som kommer ur turbintunneln (Rivinoja, 2005; Rivinoja, *et al.*, 2009). Liknande beteenden har påvisats i andra älvar där radiomärkt lax vänt tillbaka nedströms och uppvisat långsamma simhastigheter efter att de anträt bypasskanaler med mindre flöden (Thorstad, *et al.*, 2005). Liknande nedströmssimmande beteende har även setts hos havsöring som kan bero på att den söker bättre vandringsvägar eller väntar på bättre förhållanden (Aarestrup, *et al.*, 2003). Den stora omställningen från hundratals kubik i sammanflödet till ett grunt blockigt parti med mindre flödesvolym är troligtvis orsaken.

Även ombyggnationen i Kungsmo har lett till en högre passageeffektivitet. På sträckan finns nu möjligheter till att dela upp passeringen utav Kungsmofallet. Laxen har därför möjlighet att vila i mer lugnflytande vatten i sin vandring genom fallet. Enligt Beamish (1978) kan ”prolonged” simhastighet – vilket är den simhastighet som krävs för laxen att simma genom forspartier, hållas mellan 20 sekunder och ca 200 minuter. Då passeringen utav Kungsmofallet vanligen sträcker sig över ett dygn för våra radiomärkta laxar, anser jag att dessa ”vilopooler” är nödvändiga för återhämtningen och en bidragande orsak till den ökade passageeffektiviteten. Att Kungsmofallet vid $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ får fler alternativa vandringsvägar ökar möjligheten för passage av detta område ytterligare. Det kan också vara så att en varierad flödesregim lämpar sig bättre för lax av olika storlekar i gamla älvfåran. Ökland *et al* (2001) visade t.ex. att mindre laxar i regel spenderade färre dagar nedanför två forsar innan passage i jämförelse med större lax. Detta undersöktes dock inte i denna studie.

Förslag på åtgärder

Enligt Lundgren (2006) ska låga vattenflöden och många flödesförändringar leda till fler jojo-förflyttningar, mindre passageeffektivitet och längre passagetider. Efter årets resultat med de ombyggnationer som är gjorda för att underlätta för laxens vandring av forspartier borde en mer frekvent flödesregim kunna inverka positivt på laxvandringen.

Om man dessutom skulle kunna bredda övre delen av baggböleforsen och på så vis skapa fler alternativa vandringsvägar samt sänka det relativa flödet, skulle man kunna locka fler laxar att simma upp från poolen vid höga flöden. Det skulle kunna förkorta tiden för laxen som simmar genom Baggböle, i synnerhet för de laxar som spenderar mer än tre dagar i poolen. Eftersom laxen mest troligt påverkas negativt av att simma ner till sammanflödesområdet igen, kan det vara värt att få laxen i Baggböle att simma snabbare uppströms. Från Baggböle och uppströms är dessutom andelen laxar som inte klarar av att simma sträckan avtagande. Man ska dock vara medveten om att detta skulle kunna medföra att en ny ”propp” bildas längre upp i systemet. Det är sedan tidigare känt att en stor del av laxen blir ståendes nedanför fisktrappan, men kan man lösa den problematiken finns potential för ännu högre passageframgång till Vindelälven.

Tack till..

Mina handledare Hans Lundqvist och Kjell Leonardsson på institutionen för vilt, fisk och miljö, för support, vägledning och databearbetning genom detta arbete. Peter Rivinoja och Robert Karlsson för ett gott samarbete med utrustning, märkning och övrigt fältarbete. Bosse

Wiklund, Dan–Erik Lindberg och John Niklasson för fältarbete som gjort denna studie möjlig. Samt Vattenfall som bidragit med information och samarbete kring Stornorrfor's vattenkraftverk. Tack till min examinator Anders Alanära. En drös andra exjobbare som uppehållit sig i datarummet på institutionen, och slutligen min sambo Sofia Lilja som peppat och gett energi genom hela arbetet.

Referenser

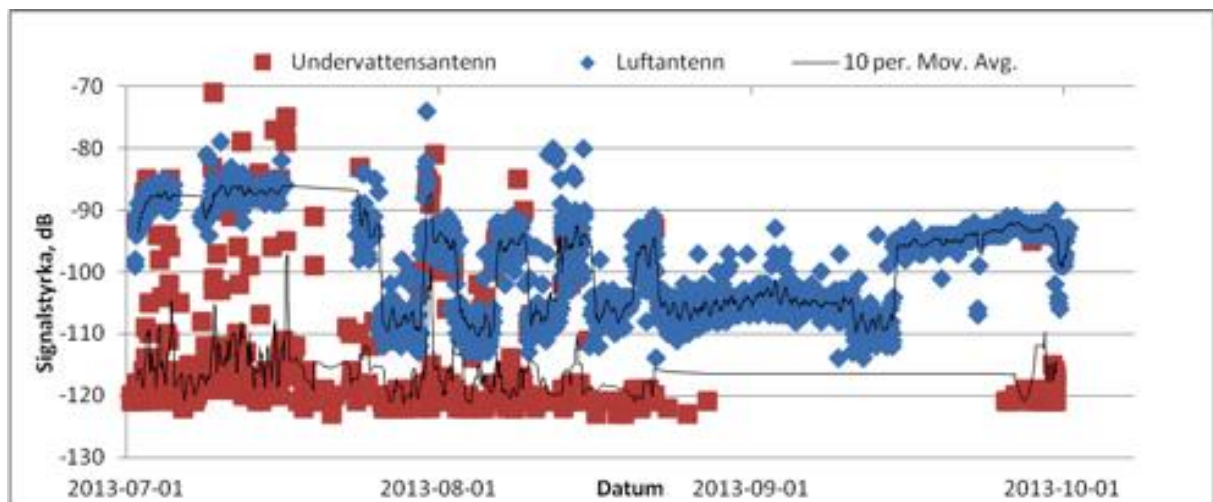
- Aarestrup, K., Lucas, M. & Hansen, J., 2003. Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry.. i: Ecology of freshwater fish. u.o.:u.n., pp. 160-168.
- Aarts, B. G. W., Van den Brink, F. W. B. & Nienhuis, P. H., 2004. Habitat loss as the main cause of the slow recovery of fish faunas of regulated large rivers in Europe: the transversal floodplain gradient. River research and applications, 20(1), pp. 3-23.
- Armstrong, J. o.a., 2003. Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. Fisheries Research, Volym 62, pp. 143-170.
- Beamish, F., 1978. Swimming capacity. i: W. Hoar & D. Randall, red. Fish Biology, vol VII. London: Academic Press, pp. 101-187.
- Caudill, C. C. o.a., 2007. Slow dam passage in adult Columbia River salmonids associated with unsuccessful migration: delayed negative effects of passage obstacles or condition-dependent mortality?, u.o.: u.n.
- Cederholm, J. C., Kunze, M. D., Murota, T. & Sibatani, A., 1999. Pacific Salmon Carcasses. Fisheries management, 24(10).
- Colavecchia, M. o.a., 1998. Measurement of burst swimmin performance in wild atlantic salmon (*salmo salar* l.) using digital telemetry. Regulated rivers: research & management, 14, pp. 41-51.
- Eriksson, T. & Eriksson, L.-O., 1993. The status of wild and hatchery propagated Swedish salmon stocks after 40 years of hatchery releases in the Baltic rivers. Fisheries Research, Volym 18, pp. 147-159.
- Fleming, I., 1996. Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution.. i: Fish biology and fisheries. u.o.:u.n., pp. 379-416.
- Floyd, T. A., Macinnis, C. & Taylor, B. R., 2009. Effects of artificial woody structures on atlantic salmon habitat and populations in a nova scotia stream. River research and applications, Issue 25, pp. 272-282.
- Gisler, N., 1951. Rön om Laxens natur och fiskande i de Norrländska Älfvarna., u.o.: u.n.
- Hendry, K. & Cragg-Hine, D., 2003. Ecology of the Atlantic Salmon.. Conserving Natura 2000 Rovers Ecology Series No. 7, pp. 1-36.
- Hindar, K. o.a., 2007. Fisheries Exploitation. i: The Atlantic Salmon, Genetics, Conservation and Management. u.o.:u.n., pp. 299-301.
- Johnsen, B. o.a., 1998. The use of radiotelemetry for identifying migratory behaviour in wild and farmed Atlantic Salmon in the Suldalslågen river in southern Norway. i: M. Jungwirth, S. Schmutz & S. Weiss, red. Fish migration and fish bypasses. Oxford: u.n., pp. 55-68.
- Karlsson, L. & Karlsson, Ö., 1994. The Baltic salmon (*Salmo salar* L.): its history, present situation and future. Dana, pp. 61-85.
- Klemetsen, A. o.a., 2003. Altantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. i: Ecology of Freshwater Fish. u.o.:u.n., pp. 1-59.
- Leonardsson, K., Belyaev, Y., Rivinoja, P. & Lundqvist, H., 2005. Modelling upstream migration of Atlantic salmon as a function of environmental variables, Umeå, Sweden: Department of Aquaculture, Swedish University of Agricultural Sciences.

- Lundgren, J., 2006. Störs laxens vandring i en kraftpåverkad älvssträcka?, u.o.: u.n.
- Lundqvist, H., Östergren, J. & McKinnell, 2006. Interannual variation in distance of spawning migration of radio tagged wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) females, u.o.: u.n.
- Lundqvist, H., Rivinoja, P., Leonardsson, K. & McKinnell, S., 2008. Upstream passage problems for wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a regulated river and its effect on the population. *Hydrobiologia*, pp. 111-127.
- Malmqvist, B. & Rundle, S., 2002. Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental Conservation*, 29(2), pp. 134-153.
- Mannerla, M. e. a., 2011. Salmon and sea trout populations and rivers in the Baltic Sea: HELCOM assessment of salmon (*Salmo salar*) and sea trout (*Salmo trutta*) populations and habitats in rivers flowing to the Baltic Sea. *Baltic Sea environment proceedings*, Volym 126A, pp. 1-79.
- McCormick, S. D., Hansen, L. P., Quinn, T. P. & Saunders, R. L., 1998. Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fisheries and Aquatic Science*, 55(1), pp. 77-92.
- McKinnell, S. M. & Karlström, Ö., 1999. Spatial and temporal covariation in the recruitment and abundance of Atlantic salmon population in the Baltic Sea.. *ICES Journal of Marine Science*, pp. 433-443.
- NASCO, 2008. Interim Report of the Socio-Economics Working Group, Edinburgh: North Atlantic Salmon Conservation Organization.
- NPPC, 1986. Compilation of information on salmon and steelhead losses in the columbia river basin, Portland, Oregon: u.n.
- Ökland, F. o.a., 2001. Return migration of Atlantic salmon in the River Tana: phases of migratory behaviour.. *Journal of Fish biology*, Issue 59, pp. 862-874.
- Palm, D. o.a., 2007. The influence of spawning habitat restoration on juvenile brown trout (*Salmo trutta*) density.. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Volym 64, pp. 509-515.
- Parrish, D. L. o.a., 1998. Why aren't there more Atlantic salmon (*Salmo salar*)?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(1), pp. 281-287.
- Richter, B. D., Braun, D. P., Mendelson, M. A. & Master, L. L., 1997. Threats to Imperiled Freshwater Fauna. *Conservation Biology*, 11(5), pp. 1081-1093.
- Rivinoja, P., 2005. Migration Problems of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Flow Regulated Rivers. Faculty of forest sciences department of aquaculture, Umeå.
- Rivinoja, P., Leonardsson, K. & Lundqvist, H., 2006. Migration success and migration time of gastrically radio-tagged v. PIT-tagged adult Atlantic salmon., Umeå: *Journal of Fish Biology* (2006) 69, 304–311.
- Rivinoja, P. o.a., 2009. Upstream passage of salmon and seatrout in the regulated part of River Umeälven (Sweden)., Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Scruton, D. A. o.a., 2007. Conventional and EMG telemetry studies of upstream migration and tailrace attraction of adult Atlantic salmon at a hydroelectric installation on the Exploits River, Newfoundland, Canada, u.o.: u.n.
- Sibatani, A., 1996. Why Do Salmon Ascend Rivers?. *Selected Papers On Entropy Studies*, Volym 3, pp. 1-12.
- Smith, G., Smith, I. & Armstrong, S., 1994. The relationship between river flow and entry to the Aberdeenshire Dee by returning adult Atlantic salmon. *Fish Biology*, Issue 45, pp. 953-960.
- Thorstad, E. B. o.a., 2005. Upstream migration of Atlantic salmon in three regulated rivers. i: M. Spedicato, G. Lembo & M. G, red. *Aquatic telemetry: advances and applications*. Rome: FAO/COISPA, pp. 111-121.

Thorstad, E., Heggberget, T. & Ökland, F., 1998. Migratory behaviour of adult wild and escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., before, during and after spawning in a Norwegian river.. *Aquacult Res*, Issue 29, pp. 419-428.

Bilaga 1

Signalernas framkomlighet och styrka var beroende av yttre omständigheter som temperatur, luftfuktighet, riktning på sändare och antenn, storlek på fisk, andra hinder (t.ex. stenar, vegetation m.m.). Dessutom fanns en variation mellan sändarna där sändare på lika avstånd från antennerna kunde skicka signaler med olika styrka. Därför gjorde egna rangetester där antennernas upptagningsområden skattades i grova drag för varje delområde. Utanför baggbölepoolen, cirka 10 meter nedströms betongvallen i mitten av älvfåran, placerades även en sändare för att undersöka hur signalerna kunde variera över säsongen. I figur 10 ses signalstyrkan (blå och röda prickar, dB på y-axeln) för perioden 1:a juli till 2:a oktober. Lägre värde på y-axeln motsvarar svagare signaler. I figuren kan man se att inga signaler har skickats till luftantennen från mitt på dagen den 5:e juli till mitt på dagen den 8:e juli. Inte heller har några signaler registrerats från eftermiddagen den 16:e juli till mitt på dagen den 23:e juli. För undervattensantennen har inga signaler registrerats från slutet på augusti till slutet på september. Varifrån dessa störningar kommer är inte känt. Det kan vara naturligt brus som kan dyka upp p.g.a. väderlek, tågtrafik, flyg etc eller via strömavbrott. För analys av laxens vandringsmönster i Baggböle har signaler inkomna på undervattensantennen använts. Eftersom alla laxar i studien passerat Baggböle med inkomna signaler på undervattensantennen påverkar släckningen inte resultaten. Vid jämförelse med figur 2 som visar den relativa vattentrycksförändringen i Baggbölepoolen under samma period som sändaren låg i området, så kan man se att vattenflödet i gamla älvfåran har stor betydelse för signalstyrkan som följer dess fluktuationer. De mindre förändringarna i styrka som ses på luft- och undervattensantennen (figur 10) följer vattentemperaturens (och således även lufttemperaturens) dygnsförändringar.



Figur 10. Signaler inkomna från referenssändaren placerad i Baggböle. Blå och röda prickar motsvarar ca en signal i timmen, inkommen på luft- resp. undervattensantennen i Baggböle från 1:a juli - 2:a oktober. Den svarta linjen motsvarar ett 10-punkters medelvärde av dessa signaler för respektive antenn. I figuren ses även de släckningar som varit under sommaren under juli månad för luftantennen och under september månad för undervattensantennen.

Datahantering

Alla automatiska telemetriorlograr (NOAA-loggrar) som varit kopplade till antennerna har tömts på data 1-2 gånger i veckan under sommaren. Eftersom radiosignaler sänds ut från all elektromagnetisk utrustning, mobiltelefoner, tv, radio, gräsklippare, andra maskiner m.m. registrerades andra signaler utöver de från våra kodade sändare i våra loggrar. Detta tillsammans med stor variation i signalstyrka under olika väderlekar och andra

omständigheter gjorde datahanteringen i studien omfattande. Datahanteringen utfördes i Microsoft Access och Excel. I början av datahanteringen raderades alla inkomna signaler som inte kodade för de märken vi använde, vilket troligen uppgick till fler signaler än de från våra märken. Därefter summerades alla registreringar inkomna från samma märke under en minut ihop och visades istället som antalet registreringar per minut för det märket. Under perioden 12:e juni till 2:a oktober har signaler från våra sändare registrerats vid nästan 6 miljoner minuter för alla loggrar. I tabell 3 kan man se ett exempel på hur inkomna signaler såg ut efter att registreringarna slagits ihop för varje märke och minut.

Tabell 3. Exempel på hur inkomna signaler såg ut. I tabellen ses inkomna signaler sorterade efter tid från den 30:e juni 04:24 - 04:28. Lax 3375 och 6235 har befunnit sig inom upptagningsområdet för luftantennerna (= antennnummer. 1). Då 6235 inte fanns med bland våra sändare raderades den från datasetet, liksom andra felkodade signaler som återfanns i datasetet.

Sändar Nr.	DatumTid	Område	Avst.Fr. Obbola	Logger Namn	Logger Nr.	Antenn	Pwr	Reg.PerMinut
3375	2013-06-30 04:24	Baggböle	23,5	CAT	2	1	-81	14
3375	2013-06-30 04:25	Baggböle	23,5	CAT	2	1	-82	12
6235	2013-06-30 04:25	Kungsmo	30	CU2	3	1	-126	1
3375	2013-06-30 04:26	Baggböle	23,5	CAT	2	1	-81	11
3375	2013-06-30 04:27	Baggböle	23,5	CAT	2	1	-79	8
3375	2013-06-30 04:28	Baggböle	23,5	CAT	2	1	-81	9

Studierna av laxarnas vandring fokuserades till områdena runt Baggböle och Kungsmo. Generellt kunde ett mönster i luftantennernas större upptagningsområden jämföras med undervattensantennernas mindre. Undervattensantennerna verkade registrera mindre skräp från annan utrustning jämfört med luftantennerna.

Kriterier sattes för att göra datasetet mer överskådligt. Genom visuella analyser av 15 slumpvis valda laxar ”lärd jag känna” laxarnas vandringsbeteende genom gamla älvfåran. Efter att ha provat mig fram genererades de kriterier som används i denna studie. De första kriterierna som sattes i Access för att erhålla säkrare signaler var att för luftantennerna – sortera bort alla signaler svagare än (-120) dB och signaler innehållande färre än 6 registreringar per minut. För undervattensantennerna sattes kriteriet att alla signaler måste innehålla fler registreringar än två stycken per minut. Med dessa kriterier kunde en hel del osäkra signaler och även en del inkomna signaler från annan utrustning kodade med samma band och kod som våra radiosändare raderas (ungefär 5-15%, beroende på variation mellan märkena). Kriterierna gav ett relativt brett upptagningsområde för märkena, vilket lämpade sig bra för märkt fisk som skulle komma att passera en längre sträcka, t.ex. Baggböleforsen eller Kungsmofallet.

För datahanteringen användes också grafiska analyser av laxarnas vandring genom gamla älvfåran. Dessa kunde jämföras med registreringar i tabellform, vilket gav ytterligare kriterier (nu i Excel) för signaler som klassades som otänkbara. Dessa liksom tidigare osäkra signaler markerades och togs i de flesta fall bort. De nya kriterier som användes var:

- En sändare måste börja registreras vid den nedersta loggern innan den kan registreras längre upp i systemet. Som tidigast kan den registreras i sammanflödet 6 h efter märkning.
- En radiomärkt lax får inte ha rört sig snabbare än 2 m s^{-1} från en logger till en annan.

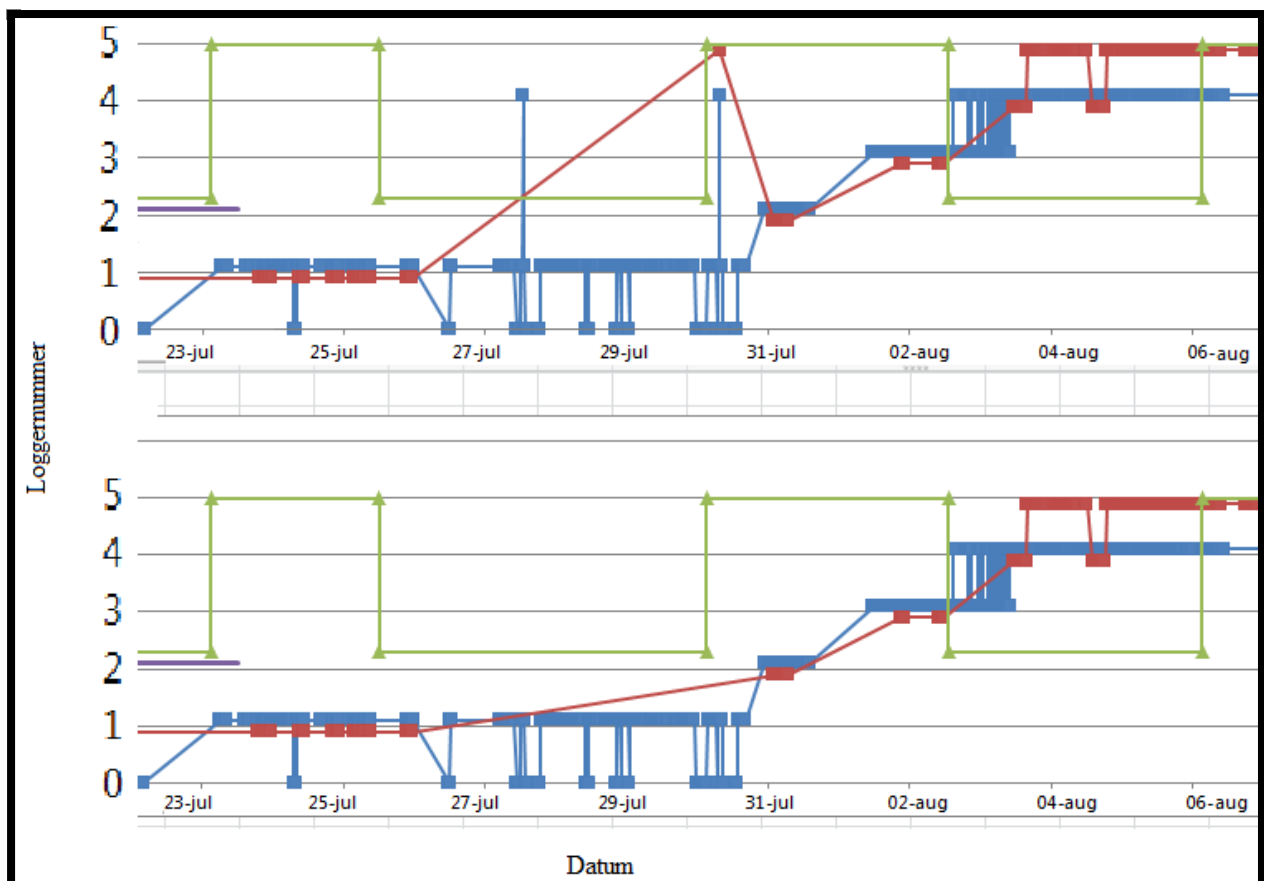
- Signaler får inte registreras vid en logger mer än två loggrar upp/ner i gamla älvfåran, utan att ha kommit in på loggrarna emellan.
- En registrering vid en ny logger måste ”läsas” i mer än två minuter.

Utöver dessa kriterier användes ett *sista kriterium* som fått inverka på datasetet då radiomärkt lax trots tidigare filtreringar uppvisat ett onaturligt vandringmönster.

- Inkomna signaler som inte uppvisar ett ”naturligt vandringmönster” hos lax eller som av oförklarliga skäl inte uppvisar något logiskt mönster, trots de tidigare kriterierna, används ej.

Detta kriterium tillförde en subjektiv bedömning till studien. I de fall kriteriet användes var det oftast självklara bedömningar, men det finns enstaka fall som kunnat diskuteras, 3-4 stycken bedömningar. Dock tror jag inte att mina bedömningar påverkade slutresultatet i någon riktning. Motiven till varför jag satt de senare kriterierna i Excel återfinns i bilaga 2.

Ett ofiltrerat dataset kan se en aning rörigt ut men om man granskar det noggrannare och sätter upp använda kriterier, är det lättare att förstå laxens vandring genom gamla älvfåran. I figur 11 kan man se ett exempel på en radiomärkt lax som simmat från backen/sammanflödet upp till diffusorn. På x-axlarna finns datum och på y-axlarna är loggrarna nummerade från 0-5 där 0 är loggern i Backen och 5 är loggern vid diffusorn utanför laxtrappan. I övre delen av bilden har de första kriterierna (signalstyrkan och antal registreringar/minut) använts och i den nedre delen av bilden har de senare kriterierna använts. De blå linjerna är registreringar som kommit in på luftantennerna och de röda linjerna är registreringar som kommit in på undervattensantennerna. De gröna linjerna är hur flödet varierade, mellan 50 och 23 m³ s⁻¹ under perioden laxen befann sig i gamla älvfåran. Den lila horisontella linjen vid loggnummer två markerar under vilken period släckningen på luftantennen i Baggböle infann sig.



Figur 11. Registreringar från en radiomärkt lax inkomna på loggernummer 0-5 på y-axeln och datum för dessa på x-axeln. Loggernummer 0 = Backen, 1 = Sammanflödet, 2 = Baggböle, 3 = Kungsmo, 4 = Laxhoppet, 5 = Diffusorn. Signaler på undervattensantenn i rött och på luftantenn i blått. Upptill ses alla registreringar efter de första kriterierna (signalstyrka och antal registreringar/minut) använts. Och nertill ses laxens vandring från Backen till diffusorn efter att de senare kriterierna använts. Gröna linjer markerar hur flödet varierade mellan högt (loggernummer 5 = $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) och lågt (loggernummer 2 = $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Den lila horisontella linjen markerar var släckningen på luftantennen 16-23 juli i Baggböle infann sig.

Mina grafiska analyser och mina uppsatta kriterier för osäkra signaler hjälpte mig att förstå vandrigen hos varje märkt individ från att laxen kom in i systemet vid sammanflödet till att den närmade sig diffusorn. De analyser jag gjort grundar sig i vandringsdatat för varje enskild fisk. Genom summering av närvaro vid antenner och differenser mellan olika antenner jämfört med tabelldata för flödesschemat i gamla älvfåran har jag kunnat besvara min frågeställning. Vandringstider är redovisade som medianvärden och konfidensintervall för att beskriva spridningen inom populationen.

För att undersöka laxens beteende vid flödesneddragningar i Baggböle och Kungsmo undersöktes ifall laxen befann sig inom upptagningsområdet för respektive antenn innan, före och efter flödesneddragningen. Sträckan nedströms övre Kungsmofallet skulle fungera som en naturlig referenssträcka mot Baggbölepoolen, men då det visade sig att laxen passerade den nedre delen av Kungsmofallet relativt snabbt fanns för få individer för att dra någon slutsats om flödesförändringens påverkan i detta område. Därför undersökte jag antalet flödesförändringar laxarna spenderade på den ”naturliga” sträckan mellan Baggböle och Kungsmo. Om lax spenderat lång tid på denna sträcka skulle det kunna bero på att den störs av flödesförändringarna i sin uppströmvandring. På denna sträcka kunde jag också jämföra vilken skillnad långsamma och snabba neddragningar fick på laxens vandringsbeteende.

Bilaga 2

Motiv till varför jag satt de olika kriterierna.

Motiv till varför jag satte kriteriet - *En sändare måste börja registreras vid den nedersta loggern innan den kan registreras längre upp i systemet. Som tidigast kan den registreras i sammanflödet 6 h efter märkning:*

Av någon anledning brukade laxar med sändare i närheten av Backenantennen samtidigt, just före eller just efter gå in på loggern i Baggböle, trots det långa avstånd som finns emellan. Detta utan att däremellan registreras i Sammanflödet. Det är högst otroligt att en lax kommer mot- och passerar sammanflödet utan att registreras på någon logger. Detta påverkade laxens tid från havet till sammanflödet, antalet gånger i baggböle m.m. vilket gjorde att jag tog bort dessa signaler.

Motiv till varför jag satte kriteriet - *En radiomärkt lax får inte ha rört sig snabbare än 2 m s^{-1} från en logger till en annan:*

En laxs maximala simhastighet delas utav Beamish (1978) upp i *sustained, prolonged* och *burst speed*. Där *sustained speed* å ena sidan, är den hastighet som kan hållas över längre sträckor, i mer än 200 minuter, och *burst speed* är den hastighet som kan hållas kortare sträckor, över hinder m.m. i endast ett fåtal sekunder (Beamish, 1978). P.g.a. laboratoriebegränsande möjligheter är simhastigheter över längre avstånd svåra att mäta men *burst speed* för lax har i labmiljö uppmäts till ca. 4 m s^{-1} något som troligtvis är högre i naturlig miljö (Colavecchia, *et al.*, 1998). Den maximala simhastigheten över längre heterogena sträckor begränsade jag därför schablonmässigt till 2 m s^{-1} , något som även används i datahanteringen för Rivinoja *et al*'s (2009) studie. Därför raderas registreringar som förflyttats till en ny logger snabbare än 2 m/s . Med detta kriterium kunde jag snabbt ta bort de signaler som felaktigt registrerades på en antenn t.ex. längre uppströms, samtidigt som sändaren skickade sammanhängande signaler till antennerna i sammanflödet.

Motiv till varför jag satte kriteriet - *Signaler får inte registreras vid en logger mer än två loggrar upp/ner i gamla älvfåran, utan att ha kommit in på loggrarna emellan:*

En lax kan under olika omständigheter passera en logger utan att registreras. Dessa omständigheter kan vara att laxen väljer en annan vandringsväg än den förbi antennerna, vilket kan ske på flera ställen i gamla älvfåran vid högre flöden, eller att signalen från en sändare störs/blockeras utav annan utrustning, högt vattenflöde, temperatur, luftfuktighet m.m. och inte kommer fram till antennen. I mitt dataset tar jag hänsyn till lax som passerat en logger utan att ha registreras, men inte mer än så. Detta kriterium tog bort en del utav de signaler som kom in oförklarligt långt upp eller ner i gamla älvfåran för att vara en simmande lax.

Motiv till varför jag satte kriteriet - *En registrering vid en ny logger måste gå in i mer än två minuter:*

En lax som befinner sig i närheten av en antenn registrerades oftast minutvis i timal. Trots de tidigare kriterierna förkom enstaka registreringar vid nya antenner. T.ex. kunde en fisk som registrerades på flera antenner i sammanflödet vara borta ett tag och sedan registreras under 2 minuter uppe i kungsmo, för att sedan registreras minutvis nere i sammanflödet igen. En förflyttning på 13 km tur och retur, med en snitthastighet på under 2 m s^{-1} kändes inte så trolig. Dessutom gjorde mina tidigare kriterier, 1.1. och 1.2, att fisk inom upptagningsområdet oftast gick in under flera minuter.

Motiv till varför jag satte kriteriet - *Inkomna signaler som inte uppvisar ett "naturligt vandringsmönster" hos lax eller som av oförklarliga skäl inte uppvisar något logiskt mönster, trots de tidigare kriterierna, får raderas:*

Det sista kriteriet kan kännas en aning vidsträckt och svävande. Det finns dock fall bland de grafiska analyserna där inkomna signaler inte uppvisar något logiskt mönster, utan att tidigare ha raderats ur datasetet. Efter att ha studerat inkomna signaler i rangetester, testsändare som legat ute, studerat uppströmsvandrande lax på rådatanivå och med olika kriterier har jag bildat mig en uppfattning om vad som är ett "logiskt mönster" i detta fall. Kriterium 2.5. kan kännas en aning vidsträckt och svävande. Det finns dock fall bland de grafiska analyserna där inkomna signaler inte uppvisar något logiskt mönster, utan att tidigare ha raderats ur datasetet. Efter att ha studerat inkomna signaler i rangetester, testsändare som legat ute, studerat uppströmsvandrande lax på rådatanivå och med olika kriterier har jag bildat mig en uppfattning om vad som är ett "logiskt mönster" i detta fall. Kriterium 2.5. tillför en subjektiv bedömning av datat och gör därmed att studien är omöjlig att återupprepa på pricken för utomstående. Nedan kommer exempel på fall då jag använt mig utav kriterium 2.5.

Detta kan t.ex. vara en lax som lämnar båda antennerna i Baggböle, som sedan kommer in på luftantennen i Kungsmo (med större upptagningsområde än undervattensantennen) men försvinner igen. För att sedan komma in på, och passera både luft- och undervattensantennen i Kungsmo. Dem var inte många men en typisk signal som sorteras bort pga kriterium 2.5 är de signaler som kommer in från undervattensantennen i sammanflödet under tiden den tillfälligt är borta från luftantennen i Kungsmo. En sådan lax har "mest troligt" kommit in mot nedre kungsmofallet, möts utav forsen eller av hundratals andra laxar stående nedströms forsen och därför glidit tillbaka nedströms till sjön nedströms Kungsmofallet. Efter att den vilat upp sig eller då laxtrycket nedanför forsen minskat kan laxen försöka passera kungsmo på nytt. Enligt mig finns det ingen logisk förklaring att den tillfälligt skulle ha kommit in på undervattensantennen i sammanflödet under fyra minuter för att sedan simma vid kungsmoantennen lite senare. När den dessutom inte har registrerats någonting på loggern i baggböle eller på någon luftantenn i sammanflödet är det för mig en självklar felregistrering p.g.a. skräp eller annat. Andra registreringar som filtrerats bort pga detta kriterium är signaler som likt de som kommer in på baggböleloggern i samband med att laxen är på väg mot backenantennen. Till skillnad från dem så registrerades signaler av mer förklarliga skäl på laxhoppet- och diffusorantennen då en lax närmade sig kungsmoantennen (kortare avstånd). Av någon anledning lyckades signaler från nedströms kungsmo nå de övre loggrarna precis innan de registreras på kungsmologgern.

Ytterligare signaler som föll bort p.g.a. detta kriterium är signaler som kom in på baggböleloggern då laxen simmade upp och ner mellan sammanflödet och backen. Som nämnt tidigare registrerades signaler på baggböleloggern då laxen befann sig i närheten av backenantennen. Alla signaler likt dessa exempel, m.fl. har raderats från datasetet för att göra laxens vandring genom gamla älvfåran mer överskådlig.

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2015:5 Local stakeholders' willingness to conduct actions enhancing a local population of Grey Partridge on Gotland – an exploratory interview study
Författare: Petra Walander
- 2015:6 Synchronizing migration with birth: An exploration of migratory tactics in female moose
Författare: Linnéa Näsén
- 2015:7 The impact of abiotic factors on daily spawning migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in two north Swedish rivers
Författare: Anton Holmsten
- 2015:8 Restoration of white-backed woodpecker *Dendrocopos leucotos* habitats in central Sweden – Modelling future habitat suitability and biodiversity indicators
Författare: Niklas Trogen
- 2015:9 BEYOND GENOTYPE Using SNPs for pedigree reconstruction-based population estimates and genetic characterization of two Swedish brown bear (*Ursus arctos*) populations
Författare: Robert Spitzer
- 2015:10 Hot, hungry, or dead: how herbivores select microhabitats based on the trade-off between temperature and predation risk
Författare: Kristina Vallance
- 2015:11 Habitat diversity and composition among growing wild boar (*Sus scrofa L.*) populations in Sweden
Författare: Sebastian Olofsson
- 2015:12 Evaluating lake charr (*Salvelinus namaycush*) temperature use in a mountain lake using acoustic telemetry
Författare: Johan Leander
- 2015:13 Hormonbehandlade mårhundstikar – En framtida förvaltningsmetod för att förhindra en storskalig etablering av mårhund i Sverige?
Författare: Erika Bergmark
- 2015:14 Hunting dogs in Sweden: Are the abundances of hunting dog breeds influenced by the population sizes of game species?
Författare: Linnea Aronsson
- 2015:15 The effect of migratory fish on freshwater ecosystem nutrient dynamics
Författare: Magnus Enbom
- 2015:16 Restoration of natural disturbances: impact on distribution and performance of dominant ants (*Formica spp.*) by fire and gap dynamics
Författare: Rebecca Larsson
- 2015:17 Life History Trade-offs in Anadromous Burbot *Lota Lota* (*Linnaeus 1758*) from Rickleån and Sävarån, Northern Sweden
Författare: Mikael Sandberg