

”Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett bypass system: observationer och modellering av förutsättningar för passage av kraftverksbyggnader”

Av

Hans ¹Lundqvist, Lars ²Bergdahl, Kjell ¹Leonardsson, Peter ¹Rivinoja och Jaan ²Kiviloog. ¹Vattenbruksinstitutionen, SLU, 901 83 Umeå, ²Chalmers, Vatten Miljö Transport, Chalmers, 412 96 Göteborg

Slutrapport projekt Dnr 5210P-01-1090 (projektnr 13569-1)
till ENERGIMYNDIGHETEN (2003-01-20)



CHALMERS

Chalmers University of Technology, Sweden





Energimyndigheten

Avd för Elproduktion

Håkan Heden

Box 310, 631 04 Eskiltuna

Umeå 2003-01-21

Översänder härmed slutrapport med ekonomisk redovisning för projektet "Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass" system: observationer och modellering av förutsättningar för passage av kraftverksbyggnader" (Beslut 2001-04-23, Dnr: 5210P-01-1090, Projnr, 13569-1) till EM's forskningsområde "Vattenkraft-miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

Slutrapporten behandlar frågeställningar kring flödesregleringars effekt på laxens lekvandring samt smoltvandring förbi Stornorrfors kraftverkskomplex i nedre Umeälven. I bilaga 2,4 samt 5-7 behandlas projektets biologiska del samt i bilaga 3 och 4 projektets hydrauliska del. Sammanfattning av projektet finns i bilaga 1.

Vi bedömer själva projektets verksamhet som lyckat och har nu ansökt om fortsatt anslag från ELFORSK för att gå vidare i Etapp 2 (Bilaga 9). Vi förbereder vetenskaplig presentation av delresultat när vissa kompletteringar av försöksverksamheten genomförts under 2003. Vi har följt den utstaka projektskrivningen. Extra finansiering från Vattenfall vattenkraft har möjliggjort ett aktivt internationellt samarbete med ffa NMFS (National Marine fisheries Service, Seattle, USA) och resulterat i en aktionsplan (Bilaga 5) för att effektivisera fiskvandringen i Umeälvens nedre del. En samrådsgrupp mellan SLU och industrin (Vattenfall AB & Swedpower) samt regionala aktörer (Vindelälvens Fiskeråd) har bildats och redovisar sitt ställningstagande i Bilaga 5.

Den ekonomiska redovisningen (Bilaga 8) för SLU's del visar i detalj hur kostnaderna i projektet fördelats för båda sökanden (Lundqvist/SLU samt Bergdahl/Chalmers). Anslaget har fördelats med 2 miljoner till SLU samt 1 milj till Chalmers enligt handläggarens och programrådets direktiv.

Med bästa hälsning

Hans Lundqvist

Professor, Vattenbruksinstitutionen, SLU,Umeå

Epost: hans.Lundqvist@vabr.slu.se

Kort sammanställning av projektet med hänvisning till Bilagor:
Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass" system: observationer och modellering av förutsättningar för passage av kraftverksbyggnader.

Vilda laxstammar i stora delar av världen riskerar utrotning (NRC 1996). Vår vilda Östersjölax och havsöring utgör inget undantag eftersom många svenska vildlaxbestånd har försvunnit då vandringsfiskens möjligheter att passera kraftverksbyggnader eller flödesreglerade områden omintetgjorts (Karlsson & Karlström 1994). I många flödesreglerade vattendrag har fisktrappor, etc., konstruerats utan att fiskens vandringar underlättats. Det föreligger alltså problem med många fiskvägars funktion (Rivinoja *et al.* 2001).

Detta projekt har identifierat fiskvandringens problem (bil 2 & bil 3 & bil 4) samt sökt lösningar till dessa problem (bil 5) i älvar som är utbyggda i sin nedre del men har kvarvarande lek- och uppväxtområden i övre delar. Umeälven som är utbyggd i sin nedre del och har stora kvarvarande lekområden i biflödet Vindelälven har utgjort modellvattendrag. Arbetet i projektet har i huvudsak skett i samarbete mellan SLU/Umeå och Chalmers/Göteborg. En samrådsgrupp bestående av SLU, Vindelälvens Fiskeråd samt Vattenfall AB (Vattenfall Vattenkraft samt Swedpower) och NMFS (National Marine Fisheries service, USA) har bildats och är knuten till projektet.

Studier av vandringen hos individmärkta lekvandrande lax samt utvandrande lax- öringungar har genomförts och relaterats till strömbilden vid olika flöden. Arbetet sammanfattas kort till följande tre delmål:

- Kartläggning av laxens lekvandring från älvmyrning till fisktrappan i Norrfors i relation till olika vattenflöden.
- Utvärdering av lax- öringungars (smoltens) utvandring från området ovan Norrfors mot dammen och kraftverket i Stornorrfors.
- Uppbyggnad av flödesmodeller i ovannämnda områden.

Arbetet kring "Laxens lekvandring i nedre Umeälven; Redovisning av telemetriförsök år 2001 och 2002" (bil 2) visar att märkta laxar starkt reagerar på flödesregleringar. Reaktionen i form av upp- eller nedströmssimning varierar beroende på laxens position i vattenområdet samt om vattenflödet ökar eller minskar. Ett ökat flöde i bypasskanalen stimulerar uppvandring från turbintunnelområdet medan stora flöden (>180 m³/s) i bypasskanalen hindrar uppvandring till fisktrappan. Andelen radiomärkt samt PIT-märkt lax som genomförde vandringen från älvsmynningen till fisktrappan under 2001 och 2002, var 18 % resp 49 %. Den i genomsnitt 70 procentiga förlusten av lekfisk i det kraftverkspåverkade området nedan fisktrappan (bil 2) förklaras av att laxens vilseleds av kraftverksvattnet. Resultaten förklaras inte av att lax från andra älvsstammar märkts och tillåtits vandra upp i älven då DNA-analys av vår märkta fisk uteslutande varit vild Vindelälvslox (bil 7). I bilaga 2 visas laxens sannolikhet för passage av kritiska områden från mynningen till fisktrappan. Frisläppta radiomärkta lax- och öringsmolt visade att de under sin utvandring mot havet följde den dominerande strömmen, vilket resulterade i turbinpassage (bil 4). Rutiner för modellering av strömningen i vattenvägar för bedömning av tekniska åtgärder för fiskpassage runt kraftverk/dammar (bil 3) har påbörjats och delvis validerats genom fältmätningar. Vi avser att utreda i vilka strömningsmönster fiskvandringen upp- och nedströms stimuleras. Projektets långsiktiga mål är att vetenskapligt bedöma effekter av kraftverk i älvars nedre del på vandringsfisks förmåga att långsiktigt upprätthålla livskraftiga bestånd samt föreslå åtgärder som kan förbättra villkoren för passage av kraftverksbyggnader för sådan fisk. I bilaga 6 redovisas en populationsmodell för vildlax som visar de långsiktiga positiva effekterna på beståndsnivå om vandringsvägen i tex Umeälvens nedre del kan förbättras. Vårt miljökvalitetsmål är alltså att vattenbyggnationer minimalt ska påverka fiskens vandringsvägar så att vattendragets biologiska mångfald, ekologiska funktion och framtida naturresurs inte skadas.

Referenser

- Karlsson, L. & Karlström, Ö. 1994. The Baltic salmon (*Salmo salar* L.): its history, present situation and future. *Dana* 10, 61-85.
- NRC. 1996. Upstream: salmon and society in the Pacific Northwest. Report of the committee on protection and management Pacific Northwest anadromous salmonids. National Academy Press, Washington D.C.
- Rivinoja, P., McKinnell, S. & H. Lundqvist. 2001. Hindrances to upstream migration of Salmon in a northern Swedish river caused by a hydro electric power-station. *Regulated river: Research and Management* 17, 101-115

Bilageförteckning

- Bilaga 1.* Svensk & engelsk sammanfattning av Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass" system: observationer och modellering av förutsättningar för passage av kraftverksbyggnader. Eng: The influence of flow-change on salmon migration in a "bypass" system: observations and modelling of factors of importance for passage of power stations
- Bilaga 2.* Laxens lekvandring i nedre Umeälven: redovisning av telemetriförsök år 2001 och 2002. SLU/Umeå-Arbeitsrapport P.Rivinoja, K.leonardsson och H.Lundqvist 2002-12-18
- Bilaga 3.* Förutsättningar för laxvandring vid Stornorrfors kraftverk: simulering av strömningsmönster och validering av dessa med fältmätningar. Arbeitsrapport Chalmers/Göteborg-L.Bergdahl och Jaan Kiviloog. 2002-12-18
- Bilaga 4.* Smoltens flödespreferens vid nedströmsvandring i området ovan Norrforsdammen, Umeälv år 2002.Arbeitsrapport P.Rivinoja, J. Kiviloog, Lars Brydsten, K.Leonardsson och H.Lundqvist 2002-12-18
- Bilaga 5.* Förbättring av Lax- och havsöringbestånden i Vindelälven- Ett åtgärdsförslag. Rapport fr Vindelälvens Fiskeråd. H.Sandström, KA Wallin, B.Svensson, S.Westbergh, och H.Lundqvist, 2002-03-23
- Bilaga 6.* Hur många fler laxar kommer upp i Vindelälven efter förbättringsåtgärder i de reglerade delarna i området nedströms Stornorrfors kraftverk ? Arbetsmaterial SLU/Umeå 2002-12-11.K.Leonardsson, H.Lundqvist, P.Rivinoja
- Bilaga 7.* Laxens lekvandring i Umeälvens nedre del; Genetiska aspekter. Jan Nilsson och Anti Vasemägi. Vattenbruksinstitutionen, SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet), 901 83 Umeå. 2003-01-21.
- Bilaga 8.* Budgetuppföljning för projektet: del 1 SLU's detaljerade projektbudget samt del 2 Chalmers ekonomiska projektrapport
- Bilaga 9.* Projektplan: Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass" system: observationer och modellering av förutsättningar för passage av kraftverksbyggnader.H Lundqvist, L Bergdahl, K Leonardsson, P Rivinoja och J Kiviloog. Vattenbruksinstitutionen, SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet), 901 83 Umeå, samt Chalmers, Vatten Miljö Transport, Chalmers, 412 96 Göteborg

Bilaga 1

***Svensk sammanfattning* Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass" system: observationer och modellering av förutsättningar för passage av kraftverksbyggnader.**

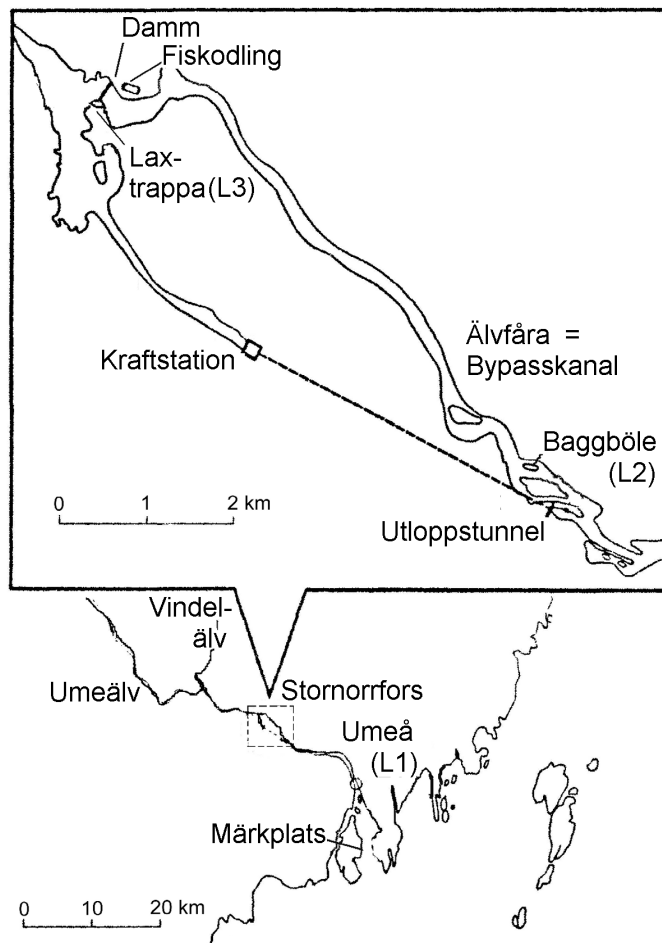
Vild vandringsfisk som Östersjölax är hotad pga människans påverkan av rinnande vattendrag, tex kraftverksbyggnader, flödesregleringar, etc. Den flödesreglerade Umeälven har kvarvarande lek- och uppväxtområden i de uppströmsliggande biflödena. Radiomärkning av lekvandrande lax samt utvandrande lax-öringungar visar att fisken starkt reagerar på flödesregleringar genom upp- eller nedströmssimning beroende på laxens position i förhållande till turbinvattenutloppet eller bypasskanalens utlopp. Andelen radiomärkta samt PIT-märkta vildlax från Vindelälven (genetiskt kontrollerade individer via DNA analys) som genomförde vandringen från älvsmyningen till fisktrappan under 2001 och 2002, var 18 % resp 49 %. Den i medeltal c. 70 procentiga förlusten av lekfisk i det kraftverkspåverkade området nedan fisktrappan förklaras av att laxens vilseleds av kraftverksvattnet. Frisläppta radiomärkta lax- och öringsmolt visar under sin utvandring mot havet att de följer den dominerande vattenströmmen, vilket generellt resulterade i turbinpassage. Rutiner för modellering av strömningen i vattenvägar för bedömning av tekniska åtgärder för fiskpassage runt kraftverk/dammar har påbörjats och delvis validerats genom fältmätningar för att utreda vilka strömningsmönster som stimulerar fiskens upp- och nedströms vandring. Projektets långsiktiga mål är att vetenskapligt bedöma effekter av kraftverk i älvars nedre del på vandringsfiskars förmåga att långsiktigt upprätthålla livskraftiga bestånd samt föreslå åtgärder som kan förbättra villkoren för passage av kraftverksbyggnader för sådan fisk. Vårt miljö kvalitetsmål är att vattenbyggnationer minimalt ska påverka fiskens vandringsvägar så att vattendragets biologiska mångfald, ekologiska funktion och framtida naturresurs inte skadas.

***English summary* The influence of flow-change on salmon migration in a "bypass" system: observations and modelling of factors of importance for passage of power stations.**

Wild migratory fish as the Baltic salmon is threatened caused by man made changes of many running waters, ie. building of power stations and dams, flowregulations, etc. The flowregulated river Umeälven has remaining spawning- and growing habitats in upstream located tributaries. We have identified 3 fish-passage problems: i) the upstream migration and passage of salmon through a flow controlled area, ii) the problems with fallbacks over damm after release, and iii) the passage of downstream migrating smolts of salmon & trout through the turbines or over damm. Radiotagged salmon on their spawning migration show a strong response on flow regulations by showing up- or downstream swimming depending on their positioning in relation to the tailrace water from the turbines or the outlet of the bypass area. The number of radio tagged and PIT (Passive integrated transponders) tagged wild salmon from the river Vindelälven (genetically checked via analyses of DNA) that successfully undertook their migration from the estuary and upriver to the fish ladder during 2001 and 2002, were 18 % and 49 %, respectively. We calculated an average loss of c. 70 % percent of the upstream migrating salmon in the flowregulated area below the fish ladder. This loss is explained in such a way that they are misled by the outflowing turbine water in the junction area where the water from the power station and the bypass area meets. Radiotagged smolts of salmon and trout released above the dam followed during their seaward migration the dominating water flow, which in general resulted in turbine passage. Routines for modelling of flows in water for final judgement of technical actions for fish passage through powerstation/dams have started and partly been validated through field measurements to solve under what flow regimes up- and downstream migration are stimulated. Our long-term goal is to scientifically judge the effect of flow regulations in the lower parts of flow regulated rivers on migratory ability to secure viable populations. Our environmental target is that flow regulation through buildings in running waters not should influence fish passage negatively so the biological diversity, ecological function and future natural resources is harmed. We aim at finding long-term solutions when problems have been observed.

Arbetsrapport

Laxens lekvandring i nedre Umeälven; Redovisning av telemetriförsök år 2001 och 2002.



Peter Rivinoja, Kjell Leonardsson och Hans Lundqvist

2002-12-18

Abstract

Upstream migration of Atlantic salmon (Salmo salar) in river Umeälv, results from radio tracking studies in year 2001 and 2002. By: Peter Rivinoja, Kjell Leonardsson & Hans Lundqvist. Department of Aquaculture Swedish University of Agricultural Sciences.

The study investigates the movement patterns and timing of spawning migrating Atlantic salmon with hydrological factors, eg. flow, velocity and temperature in the Swedish river Umeälven. The study area is in the lower reaches of the river, from the river mouth to the first hydroelectric complex Stornorrfors, located 32 km upstream from the sea. This hydropower station acts as a hindrance for fish migration and water from the forbay created by the dam Norrfors is directed to the power station and flows via a tunnel and outlet channel to the river. From the point of the tunnel's discharge into the river and upstream, the old riverbed acts as a bypass channel directing migrating fish to a fish ladder located at the base of the dam. The water discharge in the bypass channel is regulated on seasonal and weekly basis from the dam.

In year 2001 70 wild salmon with an average of length 86 cm (60 female and 10 male) were captured in the Umeälven estuary and radio tagged with uniquely coded tags. In year 2002, 83 fish were radiotagged and 409 fish was tagged with passive transponders, (Pit-tags), average length of all tagged fish 78 cm (124 female and 368 male). The upstream spawning migration of the radio tagged fish has been tracked both manually and with automatic loggers to locate fish daily, and the migratory response during different discharge volumes from the turbine and bypass flows have been tested. At the fish ladder the recaptures of the Pit-tagged has been registered.

Data from both years of the of the 153 radiotagged fish shows that an average of 78 % of these salmon has entered the river (17 km upstream) with an average of c. 4 days. After this most of the fish has arrived to the junction area between the power-station outlet and the bypass channel. To be able to continue their spawning migration the salmon have to locate the bypass channel, which is the correct route upstream. In year 2001 on average 73 % and in 2002 86 % of the salmon entered the bypass channel. Almost immediately in the bypass a waterfall (Baggböle-rapids) acts as a partial hindrance for upstream migration and in year 2001 only 65 % (26 of 40) of the salmon in the bypass passed upstream this first waterfall, in year 2002 the amount was and higher and 93 % (52 of 56) passed. 5-44 % of the salmon that entered Umeälven left the river after spending an average of 11 days within the river (15 days post tagging). These consist mainly of salmon that never entered the bypass however a few fishes that managed to pass the Baggböle-rapids have left the bypass channel later on and migrated downstream to the junction area. In year 2001 only 18 % of the tagged salmon (10 of 55) have migrated all the way in the bypass channel and passed the fish ladder at the dam. In 2002 the amount was much higher and 49 % of the tagged fish (188 of 384) passed the ladder. The migration time was similar both years and salmon spent an average of 44 days after tagging to swim all the way and pass the ladder. The migration time in the fishladder was 40 h year 2002.

Our main finding shows that salmon mainly enters the bypass channel when a higher amount of water (50-200 m³/s) than normally (19.6 m³/s) is diverted from the dam. However a high percentage of the fish starts to move downstream and leave the bypass channel when the spill water discharge decrease, so salmon respond by moving upstream or downstream depending on the current flow regimes. Fish seem to respond to increasing spill fast and enters the bypass c. 7 h after the discharge is increased.

	Tagged in estuary (N)	Entered the River	Found the bypass channel	Passed Baggböle	Passed the Ladder
2001	70	79 % (55 of 70)	73% (40 of 55)	47 % (26 of 55)	18 % (10 of 55)
2002	83+409	78 % (65 of 83)	86% (56 of 65)	80 % (52 of 65)	49 % (188 of 384)

1. Sammanfattning

Denna studie har undersökt vandringsmönstret för lekvandande vildlax i Umeälven från havet till Norrforsdammen. Målsättningen har varit att korrelera vandringsbeteendet med hydrologiska faktorer som flöde, strömhastighet och temperatur. Speciellt intresse har riktats till sammanflödesområdet mellan kraftverkets utlopp och den gamla älvfåran i samband med alternativa tappningar från dammen. Dessa tappningsförsök har skett i samråd med Fiskeriverkets utredningskontor i Luleå, Vattenfall och SLU och vattenflödet i torråran har varit högre än normalt helgspill (50 m³/s).

År 2001 märktes 70 st vilda laxar (med fettfena) i Umeälvens mynning ca 32 km nedströms Norrforsdammen med både individuellt kodade *aktiva* radiosändare samt *passiva* (Pit) radiomärken. År 2002 märktes 83 st laxar med bägge märkena enligt ovan samtidigt som 409 laxar märktes med endast Pit-märken. Märkningen år 2001 genomfördes mellan 25 juni-4 juli och mellan den 6 juni-26 juli år 2002, samtidigt togs prov för genetisk analys. Medellängd för samtliga fiskar var 86 cm respektive 78 cm de olika åren. Sammanlagt radiomärktes således 153 fiskar de bägge åren och dessa har positionerats manuellt 3-7 ggr i veckan, dessutom har 3 fasta pejlstationer nyttjats.

I genomsnitt har 80 % av radiomärkta laxar har vandrat upp i Umeälv och passerat Umeå stad ca 17 km från märkplats i genomsnitt ca 4 dagar efter märkning. Efter detta har fisken anlänt till sammanflödesområdet och år 2001 befann sig 73 % av dessa någon gång i gamla älvfåran, dvs. i den rätta vägen för att fortsätta uppströms, motsvarande siffra år 2002 var 86 %. Under år 2001 passerade 65 % (26 av 40) och under år 2002 93 % (52 av 56) av dessa uppströms Baggböleforsen som utgör ett partiellt vandringshinder nederst i den gamla älvfåran. År 2001 lämnade ca 44 % av laxarna älven helt efter ca 19 dagar medan endast 5 % lämnade älven 2002 efter ca 11 dagar. Sammanlagt för bägge åren noteras att 7 av fiskarna som passerat Baggböleforsen senare har vandrat ut från torråran nedströms till sammanflödesområdet. År 2001 passerade totalt 18 % (10 av 55) av laxarna fisktrappan i Norrfors medan andelen var betydligt högre år 2002 då 49 % av fiskarna passerade. Vandringstiden från märkning till passage av trappan var lika mellan åren och i genomsnitt tog detta 44 dagar för fisken. Analys av data från år 2002 visar att laxarnas vandringstid i trappan är ca 40 timmar.

Data från tappningsförsöken visar att laxen tydligt reagerar på flödesförändringar i torråran och ca 7 timmar efter en flödesökning återfinns flertalet av de märkta laxarna i torrårans nedre delar och söker sig uppåt mot Baggböleforsen. Vid kraftig flödesminskning vandrar dock de flesta ner och ut från torråran och endast enstaka individer passerar uppströms. Temperaturdata visar att det periodvis föreligger små skillnader (signifikanta) mellan vattnet i torråran och kraftverkets utloppskanal. I genomsnitt är vattnet från kraftverket ca 0.2-0.3 °C kallare än torrårans vatten och i torråran noteras dygnsvariationer på 2-3°C och i vattnet från kraftverket ca 0.5-1°C. Inga tydliga samband mellan temperatur ock fiskens vandringsbeteende har noterats.

	Antal märkta	Vandrat upp i Umeälv	Hittat torråran	Passerat Baggböleforsen	Passerat trappan
2001	70	79 % (55 av 70)	73 % (40 av 55)	47 % (26 av 55)	18 % (10 av 55)
2002	83+409	78 % (65 av 83)	86 % (56 av 65)	80 % (52 av 65)	49 % (188 av 384)

2. Inledning/Bakgrund

Ett flertal tidigare studier har visat på laxens komplexa vandringsbeteende i nedre delen av Umeälv (McKinnell *et.al.* 1994, Carlsson m fl 1996, Perä & Karlström 1996, Rivinoja *et.al.* 2001). Framförallt har det visat sig att laxen har svårigheter att hitta rätt väg från sammanflödet mellan kraftverksutloppet och den gamla älvfåran i Klabböle-Baggböle området. Fisken har relativt långa uppehållstider i detta område och uppvisar ett komplext vandringsbeteende med vandringar både nedströms och uppströms. Sannolikt är fiskens rörelser starkt beroende av flöde och en förändring i flödesmängd inverkar troligtvis på vandringens riktning.

Målsättningen med denna studie har varit att studera den vilda vindelälvslaxens lekvandring i Umeälven från mynningen i havet till Norrforsdammen. Speciellt intresse har riktats till laxens vandringsbeteende vid flödesförändringar i ovannämnda område. Tappningsförsök med alternativa spillmängder har skett vid totalt fem tillfällen under år 2001 och 2002 och fiskens vandringsmönster har relaterats till vattenföring och vattentemperatur.

3. Material och metoder

3.1 Laxmärkning

Lekvandrande lax ryssjefångades vid Långhalsudden i Umeälvens mynning ca 32 km nedströms Norrforsdammen, fällan vittjades dagligen och fångad vildlax med fettfena märktes med individuellt kodade radiosändare och Pit-tags, samtidigt mättes längden och fettfeneprovtogs för genetisk analys. Hanteringstiden för varje fisk var ca 1-3 minuter och ingen fisk sövdes under hanteringen, endast lax i god fysisk kondition märktes. Under år 2001 genomfördes märkningen vid 6 tillfällen från 25 juni t.o.m. 4 juli och under 2002 vid 28 tillfällen från 6 juni t.o.m. 26 juli. År 2001 märktes 70 individer varav de 64 första laxarna märktes av Vattenfalls odlingspersonal från Norrfors enligt metod beskriven av Rivinoja *et.al.* (2001), medan de 6 sista märktes på motsvarande sätt med vajer och brickor från ATS (Advanced Telemetry System). År 2002 märktes totalt 492 laxar med Pit-tags varav 83 fiskar även fick radiosändare. De 14 första märktes med sistnämnda metod och de efterföljande 69 med inre magmärken liknande metod som beskrivits av Smith *et.al.* (1998).

3.2 Radiopejlingsutrustning

Vandringen hos radiomärkt lax har följts med hjälp av radiotelemetri. Utrustningen som använts i denna studie finns tidigare beskriven av Rivinoja *et.al.* (2001). Manuella pejlingar från båt och bil har genomförts minst 3 ggr i veckan fram till 7 oktober med mottagare ATS RS 2100 (4-elements Yagi-antenn), samt Televilt RX 8910. Tre fasta pejlstationer, loggrar, har också nyttjats (LOTEK SRX-400, 9-elements Yagi). Logger 1 placerades i Umeå ca 17 km uppströms märkplatsen, logger 2 i Baggböleforsen vid torrfårans nedre del ca 24 km uppströms älven och logger 3 strax ovan Laxhoppet nära Norrforsdammen ca 31 km uppströms märkplats (figur på försättsblad).

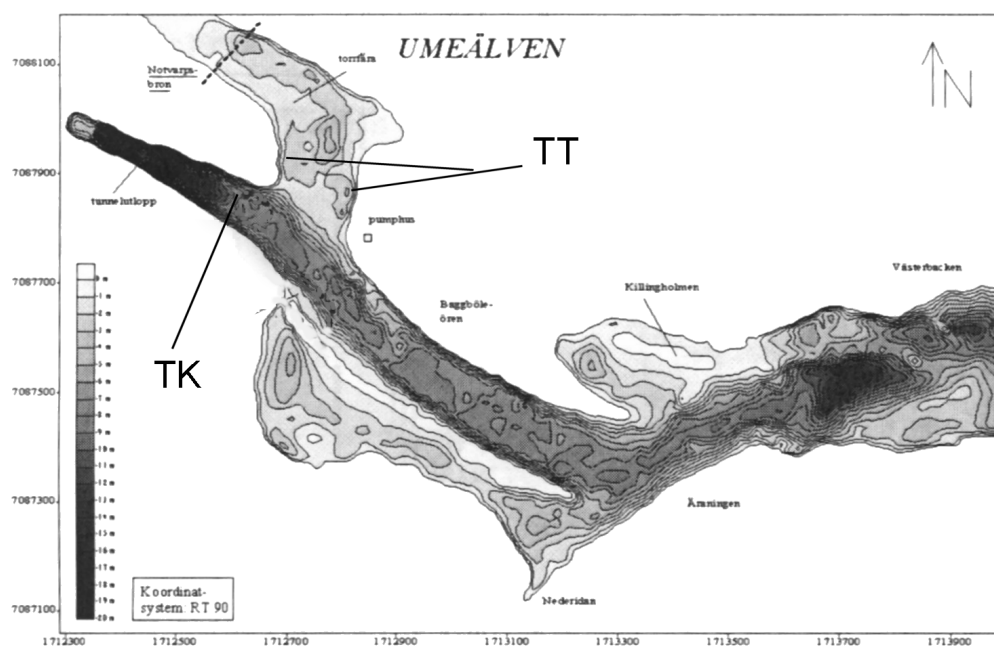
Tabell 1. Antal märkta laxar av olika kön samt deras medellängd och min-max värden i cm.

Kön	2001		2002	
	Antal	Längd cm (min-max)	Radio, Totalt	Längd cm (min-max)
Hona	59	86.2 (71-105)	42, 124	81.9 (57-107), 81.3 (53-107)
Hane	11	85.8 (82-98)	41, 368	74.2 (55-116), 61.1 (39-116)
Summa	70	86.2 (71-105)	83, 492	78.1 (55-116), 66.3 (39-116)

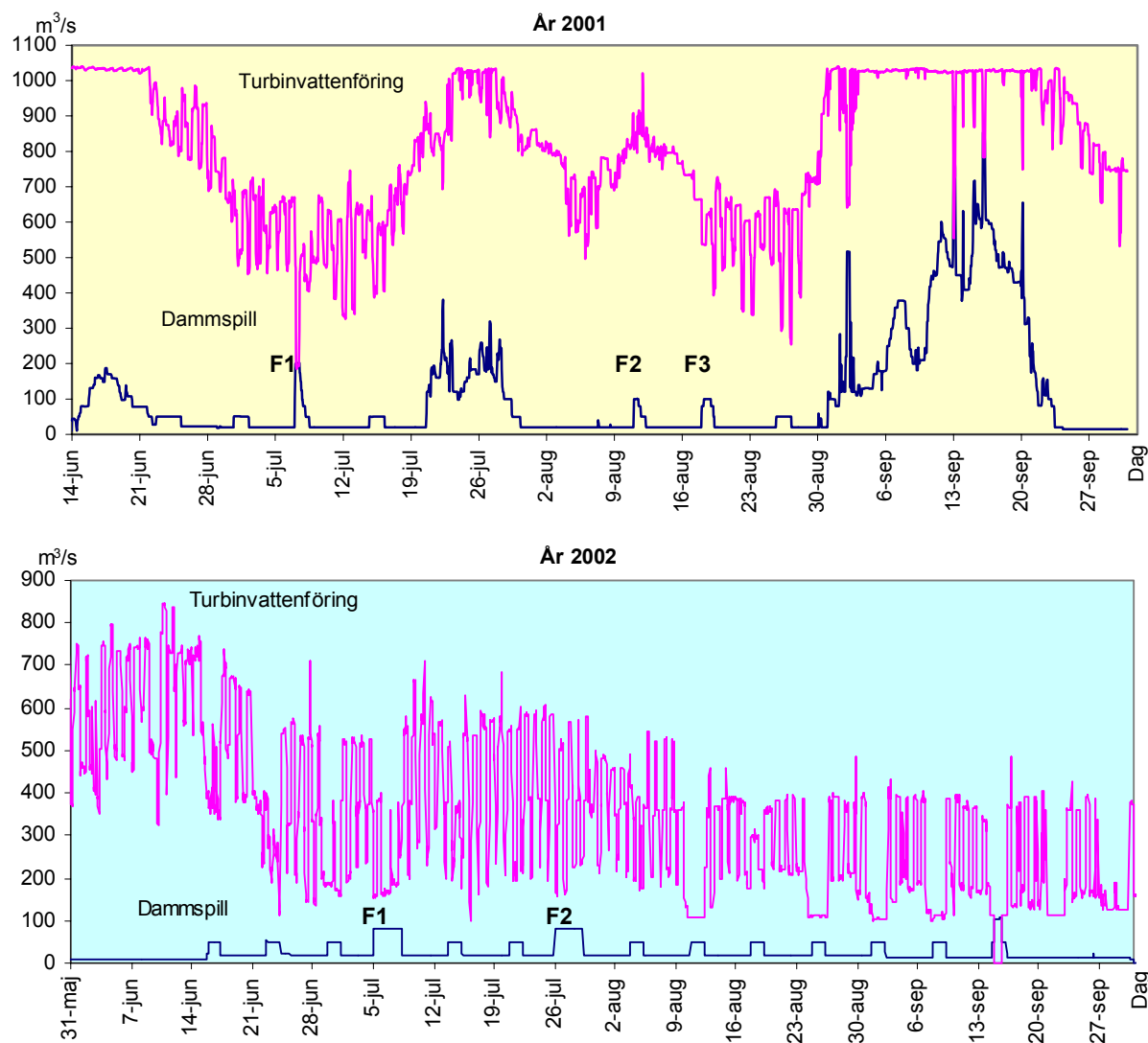
3.3 Områdesbeskrivning

Umeälven och biflödet Vindelälven som mynnar i Bottniska viken ($63^{\circ}50'N$ $20^{\circ}05'E$) har sina källflöden i fjällen ca 400 km från kusten. Vindelälven rinner ihop med Umeälven vid Vännäsby ca 40 km från mynningen. I den här studien har undersökningsområdet en total distans på ca 32 km och sträcker sig från fiskena märkplats i Umeälvens mynning (Långhalsudden) till laxtrappan i Norrforsdammen (figur på försättsblad). Området kan grovt indelas i 3 älvsträckor: 1) från märkplatsen i älvmynningen till logger 1 i Umeå (17 km), 2) från logger 1 till logger 2 i Baggböleforsen (7 km) innehållande sammanflödesområdet, samt 3) från logger 2 till logger 3 vid dammbyggnaden i Norrfors (8 km). Älvsträcka 1 uppvisar breda lungflytande partier av älven utan några egentliga forsar. Älvsträcka 2 är en relativt homogen älvsträcka med snabbt rinnande vatten utan markerade forspartier. I Klabböle mynnar vattnet från kraftverktunnelns utlopp och torråran samman. Detta sammanflödesområde utgörs av kraftverkstunnelns mynning som är ca 20 m djup och öppen kanal ca 350 meter lång, samt den naturliga, gamla, älvfåran den sk. torråran (figur på försättsblad och figur 1). Älvsträcka 3 utgörs huvudsakligen av den naturliga älvfåran med start i nedre delen av Baggböle (strax nedan logger 2) upp till dammbyggnaden i Norrfors (logger 3) och har en längd av ca 8 km, fallhöjden är 75 m varav laxtrappan utgör 25 m. Delsträckan har fyra forspartier, Baggböleforsen, övre och nedre delen av Kungsmofallet, samt Laxhoppet. I övrigt har den naturliga älvfåran flera mindre forsar och endast en liten del lugnflytande vatten i form av sel. I dammbyggnaden längst upp i torråran finns fisktrappan med en vattenföring på ca $1 \text{ m}^3/\text{s}$ från 20 maj till 1 oktober och under denna tid (laxens lekvandningsperiod) regleras vattenmängden till torråran.

År 2001 uppgick medelvattenföringen i Umeälvens nedre del till $898 \text{ m}^3/\text{s}$ totalt, varav $805 \text{ m}^3/\text{s}$ gick genom kraftverket och $93 \text{ m}^3/\text{s}$ spilldes över dammen. Dammspillet var högst under mitten av september och vattenföringen under denna period var osedvanligt hög medan resterande period uppvisar ett mer normalt flöde med veckoreglering (figur 2). Under år 2002 har vattenflödet varit betydligt lägre och uppgick totalt till $403 \text{ m}^3/\text{s}$ varav $378 \text{ m}^3/\text{s}$ gick genom kraftverket och $25 \text{ m}^3/\text{s}$ spilldes i torråran (figur 2).



Figur 1. Djupprofiler över sammanflödes-området i Umeälven (omarbetad från Brydsten & Abbing, 1997). Temperatur-loggrarna placerades vid punkt TT i torråran respektive TK i kraft-verkstunnelns utlopp



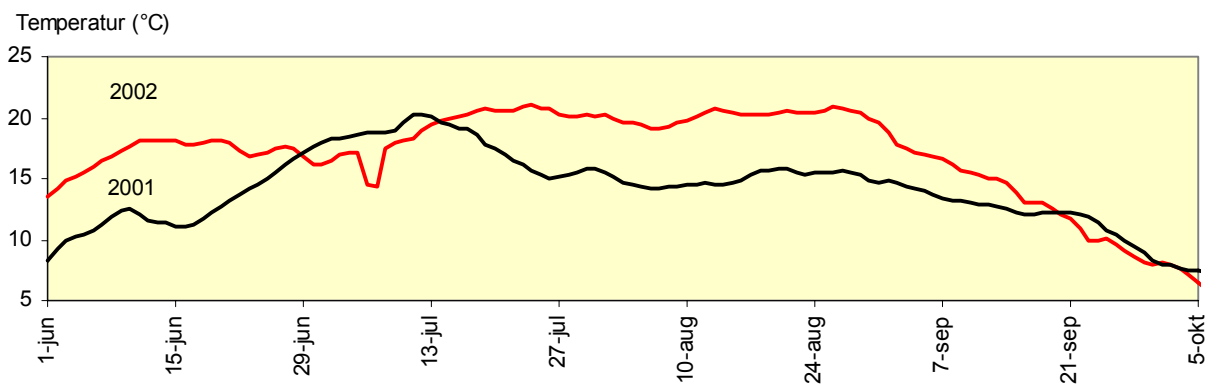
Figur 2. Umeälvens vattenföring under år 2001 och 2002 i torrflåran (Dammspill) samt genom kraftverket (Turbinvattenföring). Data är på timbasis och erhållet från Vattenfall AB.

Tabell 2. Dammspill i torrflåran under de fem försökstappningarna under år 2001 och 2002.

År 2001						
7-8 juli		Flöde	11-12 augusti		Flöde	
00.00-12.00	200 m³/s		00.00-01.00	19,6 m³ - 100 m³/s	00.00-00.30	50 m³/s
12.00-14.00	175 m³/s		00.00-12.00	100 m³/s	00.30-06.00	80 m³/s
14.00-16.00	150 m³/s		12.00-18.00	80 m³/s	06.00-24.00	100 m³/s
16.00-18.00	125 m³/s		18.00-06.00	50 m³/s	24.00-06.00	80 m³/s
18.00-20.00	100 m³/s		06.00-	19,6 m³/s	06.00-08.00	50 m³/s
20.00-02.00	80 m³/s				08.00-	19,6 m³/s
02.00-12.00	50 m³/s					
12.00-	19,6 m³/s					
År 2002						
5 juli 00.00 - 8 juli 07.00		Flöde	26 juli 00.00 - 29 juli 07.00		Flöde	
79 timmar		80 m³/s	79 timmar		80 m³/s	

De höga flöden som förekom under år 2001 har delvis begränsat möjligheterna att utföra tappningsförsök, likväl genomfördes försök med alternativa tappningar under tre tillfällen; helgerna den 7-8 juli, 11-12 augusti och 18-19 augusti enligt tabell 2. Under 2002 genomfördes tappningsförsök under två tillfällen dels 5-8 juli och 26-29 juli. Vid en jämförelse av vattenföring mellan år då radiotelemetrastudier av laxvandringen genomförts i Umeälven konstateras att år 2002 uppvisar signifikant lägst flöden i både kraftveket och torråran (ANOVA, Tukeys Post-Hoc, $p < 0.05$). Tappningen i torråran detta år är, med undantag av de två försökstappningarna och ett tillfälligt driftstopp i kraftverket den 15 september, det minimala föreskrivet av vattendomen, dessutom spilldes ingen ordinarie heltappning ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) helgerna kring den 21 och 28 september. Under år 2001 har det genomsnittliga spillet på $93 \text{ m}^3/\text{s}$ varit av samma storlek som år 1999 då genomsnittet var $91 \text{ m}^3/\text{s}$. Dessa båda år uppvisar signifikant högre spill än år 1997 då $66 \text{ m}^3/\text{s}$ tappades (ANOVA, Tukeys Post-Hoc, $p < 0.05$). Det genomsnittliga flödet på $805 \text{ m}^3/\text{s}$ genom kraftverket har varit högre under år 2001 (signifikant ANOVA, Tukeys Post-Hoc, $p < 0.05$) än tidigare år, 1999 gick $520 \text{ m}^3/\text{s}$ genom kraftverket och 1997 gick $620 \text{ m}^3/\text{s}$.

Temperaturutvecklingen under laxens lekvandringperiod visas i figur 3. Älvens temperatur har ökat från början av juni till ett högsta värde på ca 22°C i torråran i mitten på juli. Efter detta minskade temperaturen för att den 1 oktober vara ca 8°C . Inga stora skillnader i vattentemperatur mellan år 2001 och 2002 noteras även om temperaturen varit högre under längre tid år 2002. Temperaturen i torrårans nedersta del och kraftverkets utlopp uppmättes år 2001 med loggrar (Tinytag, Intab registrering 1/tim) enligt figur 1, och data visar att det periodvis föreligger små skillnader (t-test, $p < 0.05$) mellan vattnet i torråran och kraftverkets utloppskanal. I genomsnitt är vattnet från kraftverket ca $0.2\text{-}0.3^\circ\text{C}$ kallare än torrårans vatten. I torråran noteras samtidigt en högre dygnsvariationer på ca $2\text{-}3^\circ\text{C}$ medan temperaturen i kraftverkstvattnet varierar ca $0.5\text{-}1^\circ\text{C}$.



Figur 3. Medelvattentemperaturen vid sammanflödesområdet i Umeälven sommaren 2001 och 2002. Data är erhållet från temploggrar och från Norrfors Laxodling.

4. Resultat och diskussion

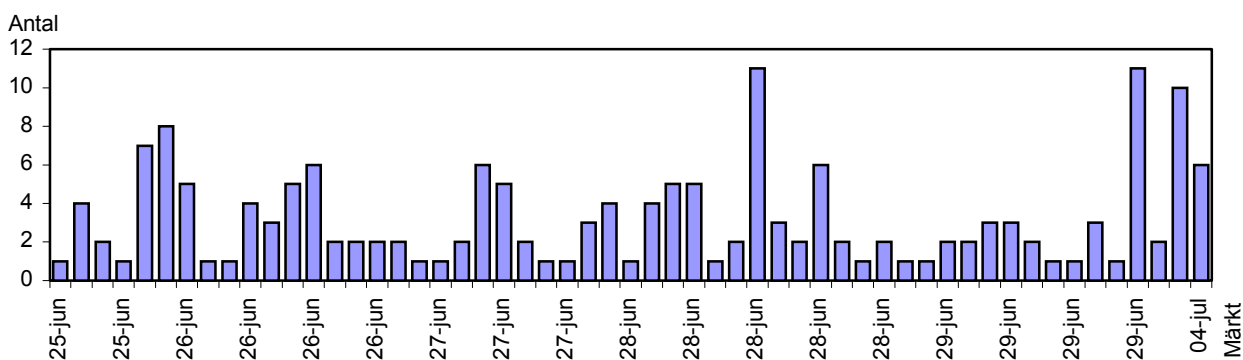
En majoritet, 78 %, av de radiomärkta laxarna (120 av 153) (tabell 3) vandrade relativt omgående från märkplatsen vid Långhalsudden uppströms Umeälven och registrerades på logger 1 i Umeå 17 km uppströms märkplatsen. Av de fiskar som ej registrerats i Umeå har vi information från fyra som fångats i laxfallor utanför Umeålvens mynning. Vid jämförelse med data från år 2001 och 2002 med tidigare telemetriundersökningar från 1997 och 1999 konstateras att andelen fisk som passerat uppströms Umeå är mycket lika olika år. 1997 passerade 84 % av de radiomärkta laxarna loggern i Umeå och år 1999 passerade 83 %.

4.1 Laxen vandring från mynningen till Umeå

Av de 120 radiomärkta laxar som vandrade uppströms älven bägge åren och registrerats på logger 1 i Umeå uppvisar honor och hanar lika beteende och inga skillnader mellan könen har noterats vad gäller andelen uppvandrande i älven eller vandringstid till Umeå stad. År 2001 noteras att 2 laxar som anlänt Umeälven inte simmade hela vägen till logger 1 men de fiskar som passerat Umeå torde med hög sannolikhet tillhöra Vindelälven. Dessa fiskar har passerat Umeå i genomsnitt ca 3,5 dagar efter märkning, min: 0,5, max: 46,6 (tabell 3). Vid jämförelse av motsvarande vandringstid från telemetriundersökningarna år 1997 och 1999 konstateras att vandringstiden är relativt lika de olika åren, 3 dagar både 1997 och 1999. I snitt registrerades ca 69 % (71% år 2001 och 68% år 2002) av fiskarna mer än en gång i Umeå och har således vandrat fram och tillbaka över loggerns sökområde. Inga generella samband avseende antalet passeringar över loggern för honor eller hanar har kunnat påvisas, inte heller någon relation avseende antal passeringar per fisk över loggern i förhållande till dag för märkning (figur 4). Under år 2002 antar vi att andelen fisk som vandrat upp i Umeälven är lika för alla märkta fiskar och således torde 384 st av de märkta fiskarna ankommit älven, 78 % av 492.

Tabell 3. Antal laxar som passerat Umeåloggern (L1) på sin vandring från märkning i Umeälvens mynningen samt det antal dagar denna vandring pågick.

År	Antal lax som registrerats i Umeälven	Antal dagar för passage av L1 (min - max)
2001	79% (55 av 60)	3.7 (0.6-12.1)
2002	78% (65 av 83)	3.3 (0.5-46,6)
Medel/summa	78% (120 av 153)	3.5 (0.5-46.6)



Figur 4. Antal registreringar år 2001 (n=174) tom 1 oktober för samtliga 55 individer som registrerats på logger 1 i Umeå i relation till fiskens märkdatum. 24 av fiskarna har passerat mer två gånger över loggern. Ett liknande mönster återfinns även år 2002.

4.2 Laxens vandring från Umeå till sammanflödesområdet

Efter att laxen passerat Umeå har de simmat snabbt till sammanflödesområdet som avgränsas av kraftverkstunnelns utlopp och den naturliga älvfåran. Majoriteten av dessa 120 laxar har registrerats i sammanflödesområdet samma dag eller dagen efter att de passerat Umeå. I detta område (dvs älvsträcka 2) kan laxen stanna och leka utan att vandra vidare alternativt välja ett eller flera av 3 olika vandringsbeteenden att:

- 1) vandra in till turbinvattenutloppet, eller
- 2) vandra tillbaka till havet, eller
- 3) vandra upp i älvsträcka 3 som leder till Baggböleforsen och fisktrappan

4.2.1 Laxens vandring till turbinvattenutloppet

År 2001 konstateras att 15 av de 55 laxar (27 %) som passerade Umeå har aldrig besökt torrån utan har i huvudsak uppehållit sig i sammanflödesområdet. 12 av dessa har endast registrerats under en kortare tid av 3.2 dagar i snitt i älven (min: 0.9 dagar, max: 6.4 dagar) och därefter vandrat nedströms mot havet. 5 av de 15 fiskar som aldrig registrerats i torrån har troligtvis avlidit i älven eller tappat radiosändaren då sändarna lokaliserats på samma plats i älven under lång tid vid slutet av undersökningsperioden. År 2002 var andelen som aldrig besökte torrån 14 % (9 av 65). Vid jämförelse av 2001-års data med 1999- och 1997-års studier noteras stora likheter med år 1997 då samma andel 27 % av fisken aldrig registrerats i torrån. Under år 1999 motsvarade andelen laxar som aldrig vistats i torrån endast 6 % av 50 laxarna som passerat Umeå. Att andelen lax som besökt Baggböleforsen var så pass hög under 1999 (94 %) förklaras troligtvis av ett högre spill från dammen under juli vilket medfört att laxen lättare lokaliserat vandringvägen upp i torrån. År 2001 spilldes visserligen en hög andel vatten men spillet kom sent under säsongen och gynnade då framförallt sent vandrande fisk (små laxhanar).

4.2.2 Laxens utvandring från sammanflödesområdet till havet

Av de 55 laxar som passerat i Umeå år 2001 har totalt 24 laxar (22 honor, 2 hanar) vandrat ut till havet och ej registrerats mot slutet av pejlperioden. Dessa fiskar vandrade till havet efter att de tillbringat i genomsnitt ca 19 dagar (min: 1, max: 78 dagar) i älven. 8 av dessa laxar har någon gång befunnit sig i torrån, 4 har dessutom passerat uppströms Baggböleforsen varav 2 befunnit sig i området kring Norrforsdammen de i översta delarna av torrån. Under år 2002 vandrade endast 3 (5%) laxar ut ur älven efter i genomsnitt ca 11 dagar i älven (min: 6, max: 16 dagar). I undersökning 2001 konstateras således att en hög andel 44 % (24 av 55) av laxarna lämnat Umeålv och vandrat ut till havet. Under 1997 års studie noterades att 22 % av laxarna lämnade älven medan andelen år 1999 endast var 10 %. Skillnaden mellan åren kan bero på flödesmönster under respektive år och en annan anledning kan vara fiskens kondition och en varierande smittograd av M74.

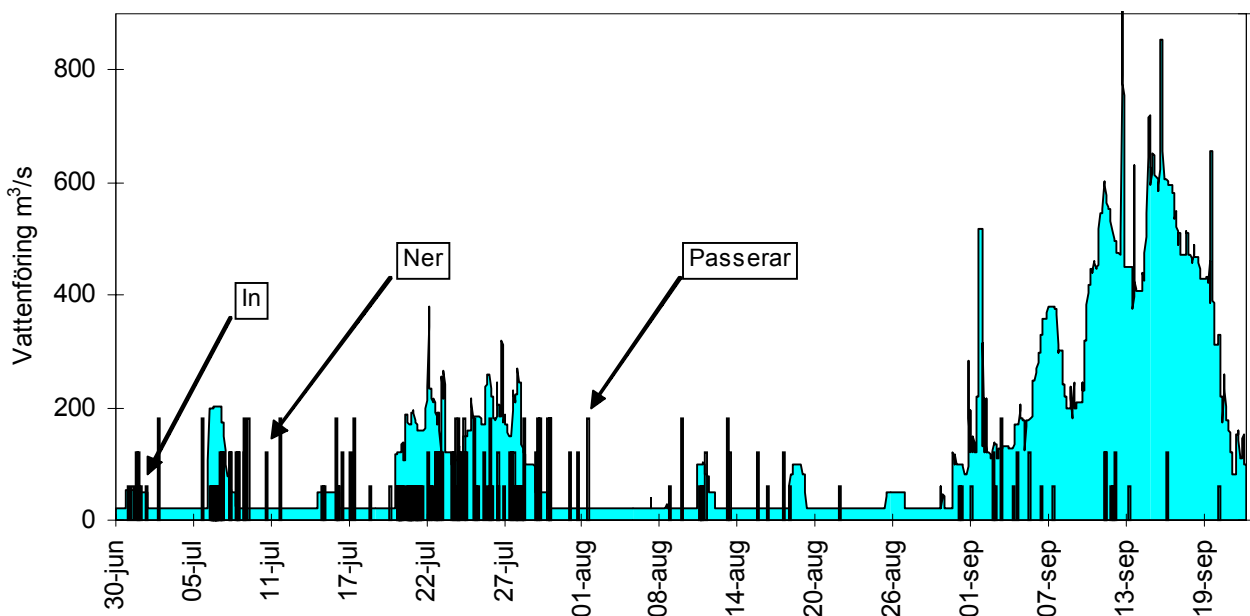
4.3 Laxens vandringar i Baggböleforsen

Analys av data från år 2001 av loggern i Baggböleforsen visar att 80 % (73 % år 2001 och 86 % år 2002) av de laxar som passerat Umeå någon gång besökt forsens och registrerats minst en gång, därmed har de också funnit vandringleden in i naturliga älven. Data visar att registrering av lax i huvudsak skett under perioder med högre dammspill än ordinarie veckotappning. Under år 2001 registreras majoriteten av fisken vid första försökstappningen och under det höga spillet från 20-30 juli och under år 2002 registreras fisk vanligtvis i samband med heltappningar och försökstappen. Från märkningsdagen räknat har det tagit i genomsnitt ca 15 dagar (18 dagar år 2001 och 12 dagar år 2002) till dess att laxen registrerats i Baggböleforsen. I 1997 och 1999 års studier skedde första registreringen av lax i Baggböleforsen i genomsnitt ca 13 dagar respektive 10 dagar efter märkning. Således noteras likheter mellan de olika åren och inga signifikanta skillnader i laxens genomsnittliga ankomsttid till Baggböleforsen mellan åren kan påvisas (ANOVA, Tukeys Post-Hoc, $p > 0.05$).

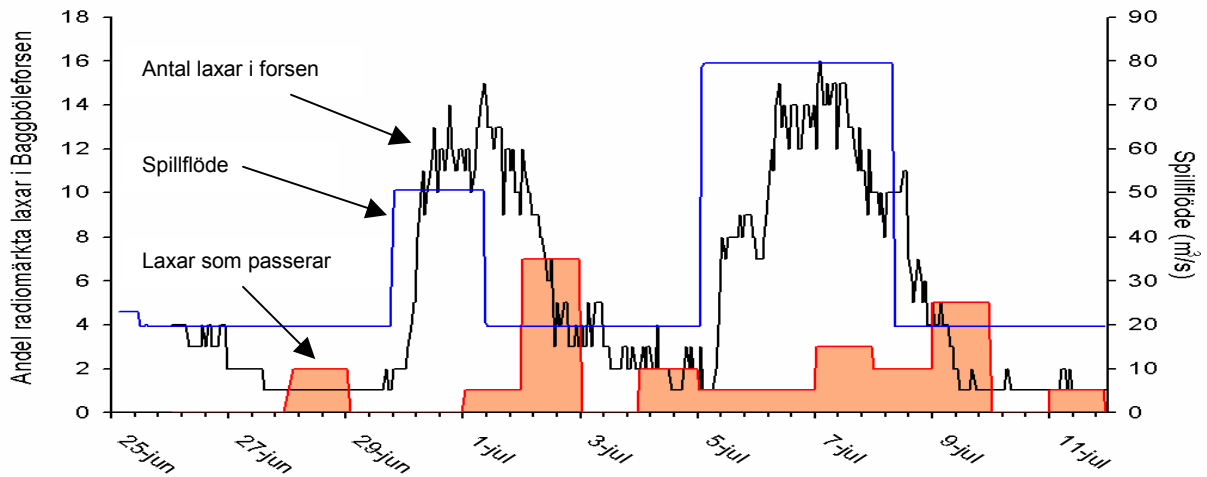
Registreringar i Baggböleforsen visar att den vilda laxen tillbringar ca 4 dagar i detta forsområde utan att passera forsens uppströms, vilket också är i likhet med tidigare års radiomärkningsstudier. Loggerdata från Baggböleforsen har jämförts med data från de manuella pejlingarna och genom detta har laxens rörelsemönster i torråns nedre del kartlagts. Flera större rörelser omfattande mer än 0.5 km som utgörs av att; 1) laxen anländer till Baggböleforsen nerifån, 2) laxen lämnar forsens och simmar nedströms och 3) laxen passerar forsens uppströms, har noterats. Vid den första försökstappningen år 2001 av 200 m³/s, då 28 märkta laxar befann sig i sammanflödesområdet, vandrade 13 upp i torrån. Av dessa

passerade dock endast 3 st uppströms Baggböleforsarna och vid minskning av flöde vandrade 10 av fiskarna successivt nedströms ut från torråran (figur 5a). Liknande resultat noteras även under övriga flödesförändringar och tyder på att laxen reagerar starkt på vattenföring. Under år 2002 var flödena i torråran betydligt lägre i torråran men också här noteras nedströms vandring av fisk från Baggböleforsen samtidigt som data tyder på att fisken passerar forsén uppströms vid ett minskande flöde (figur 5b). En flödesökning i torråran ger en anlockningen av fisk och en snabb minskning i vattenföring leder ofta till nedströmsvandring.

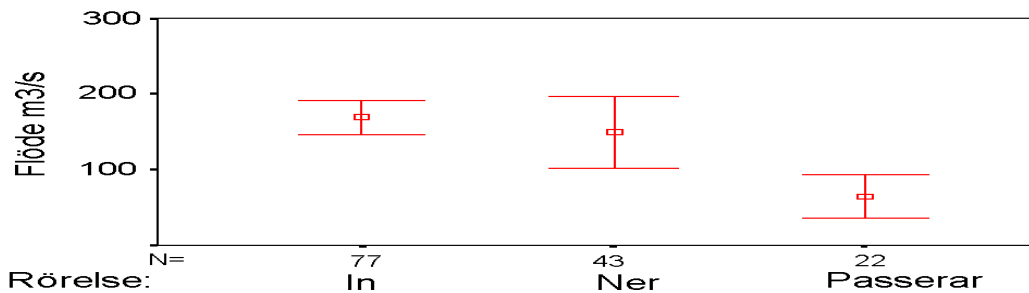
Efter att flödesregimen i torråran under sommarperioden 2001 korrelerats med dessa rörelser ser vi hur olika vattenmängder kan initiera vandring eller hindra fisken att vandra (figur 6). Medelflödet då fisken anländer till forsén är $169 \text{ m}^3/\text{s}$, då fisken går ner från forsén $149 \text{ m}^3/\text{s}$ och då fisken passerar forsén uppåt är signifikant lägre ($p < 0.05$) jämfört med flöden då fisk anländer in till, eller går ner från Baggböleforsén. Efter att fisken har anlänt till Baggböleforsén har den möjlighet att antingen passera forsén uppåt eller att simma nedströms. Dessa två valmöjligheter har korrelerats med flödesdata (figur 6) och analyserats med logistisk-regression. Resultatet visar att fiskens sannolikhet att passera uppströms Baggböleforsén ökar signifikant ($p < 0.05$) vid ett minskande flöde. Slutsatsen att laxen får svårigheter att passera Baggböleforsén vid höga vattenföringar i torråran överensstämmer i stort med observationer gjorda också under 1997 och 1999. Generellt kan vi än inte säga vilka flödesmängder i torråran som hindrar uppströmsvandring men det syns troligt att flöden understigande ca $100\text{-}150 \text{ m}^3/\text{s}$ möjliggör en snabb stigning av lax medan högre vattenföring ($> 150 \text{ m}^3/\text{s}$) i torråran verkar hämmande. Detta framgår också av figur 7 som sammanfattar genomförda telemetristudier 1995-2002 och visar att fisken tillbringar längre tid i forsén vid höga flödesvariationer.



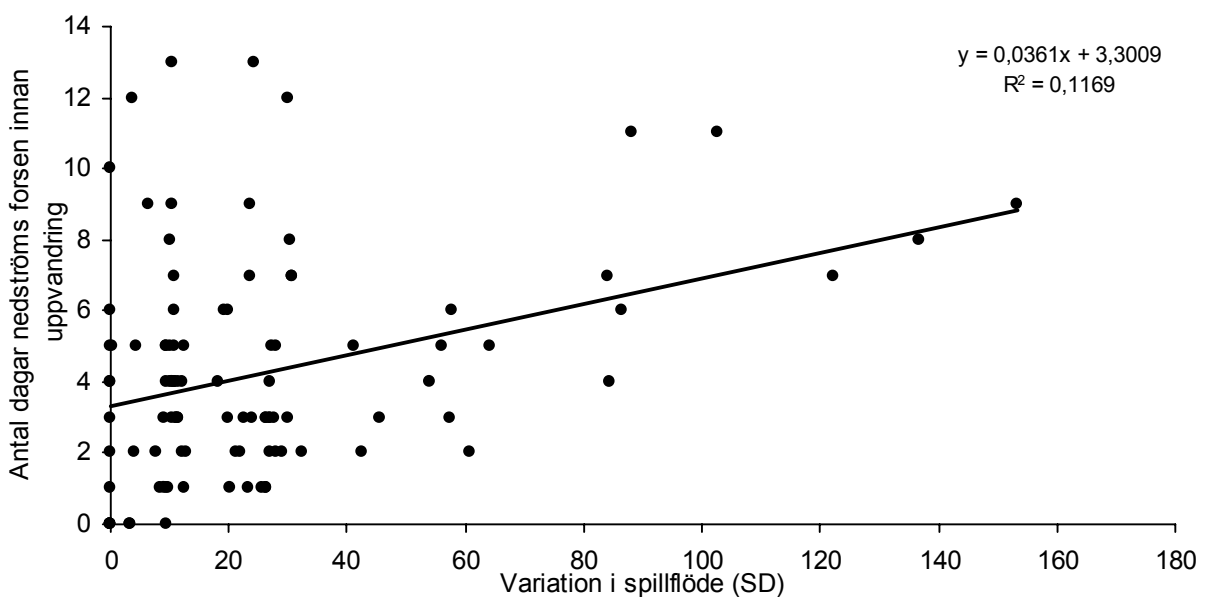
Figur 5a. Vattenflödet i Baggböleforsén samt registreringar på logger 2 i Baggböleforsén (markerade med staplar) från 30 juni tom 22 september 2001. Korta staplar visar när lax kommer in (uppströmsvandring) till loggernas avkänningsområde, mellanhöga staplar visar när lax går nedströms loggern, samt höga staplar när lax passerar loggern och vandrar uppströms. Vattenflödena är justerade med 2 timmar, dvs. den tid en tappningsförändring i dammen får effekt på Baggböleforsén 8 km nedströms. Den första laxen passerade uppströms Baggböleforsén den 3 juli kl 01:50 vid ett flöde av $19.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Majoriteten av lax passerade dock i slutet av utjämningsspillet i slutet av juli vid en period av minskande flöde.



Figur 5b. Vattenflödet i Baggböleforsen, samt antalet radiomärkta laxar i forsen, från 25 juni t.o.m. 12 juli år 2002. De skuggade områdena visar när lax passerar forsen uppströms.



Figur 6. Medelvärde av flöde (m^3/s) samt standardfelet (SEError, 95% konfidensintervall) vid laxens nedströms rörelser från, respektive passerande uppströms av Baggböleforsen år 2001. N anger antal observerade rörelser för respektive grupp.



Figur 7. Laxens uppehållstid vid vandring för passerande av Baggböleforsen under 1995-2002 års studier i förhållande till flödesvariationen m^3/s (SD standardavvikelsen, 95% konfidensintervall).

4.3.1 Laxens vandring i den naturliga älvfåran från Baggböleområdet till fisktrappan

Efter att de radiomärkta laxarna passerat Baggböleforsen simmade de med få undantag relativt snabbt uppåt och befann sig dagen efter passage av forsens i genomsnitt ca 5 km högre upp i älven (28.6 km). 2 dagar efter passage av Baggböleforsen återfanns vid våra manuella pejlingar majoriteten av fiskarna i området mellan Norrforsedan och Laxhoppet (ca 30-31 km uppströms märkplatsen). Analys av data från logger 3 vid Laxhoppet visar att fisken vid upprepade tillfällen simmat in i nedersta delarna av trappan utan att fortsätta uppåt. Detta beteende hos lax har även noterats vid studier i andra fisktrappor (Gowans *et.al.* 1999, Karppinen *et.al.* 2002). Data från logger 3 visar samtidigt att det tar det är stor variation i fiskens vandringshastighet från trappans mynning till vittjningen. Den snabbaste laxen passerade trappan på ca 4 timmar och den långsammaste på ca 160 timmar, medianvärdet för de 30 fiskar vi har data av är 35 timmar. Det finns en svag tendens att stora laxar simmar fortare genom trappan än små. År 2001 passerade den första radiomärkta laxen i trappan den 29 juli och hade då vandrat 31 dagar efter märkning. Under 2001 har totalt 10 av de märkta laxar, 7 honor och 3 hanar, dvs 18% av fisken som vandrat upp i Umeälven erhållits vid vittjningen av trappan.. En hane blev den sista laxen att passera trappan den 29:e augusti, ca 56 dagar efter märkning. År 2002 har totalt 188 märkta fiskar (32 med radiosändare) registrerats i trappan. Enligt tidigare antagande om att 384 st av de märkta fiskarna ankom Umeälven medför detta således att 49 % av alla märkta fiskar som tillhör Vindelälven passerade trappan år 2002. I genomsnitt har det tagit ca 44 dagar för laxen att vandra från märkplatsen i älvmyningen fram till vittjningen högst upp i laxtrappan. Vi kan inte se några samband mellan laxarnas vandringshastigheten och könen eller fiskens längd.

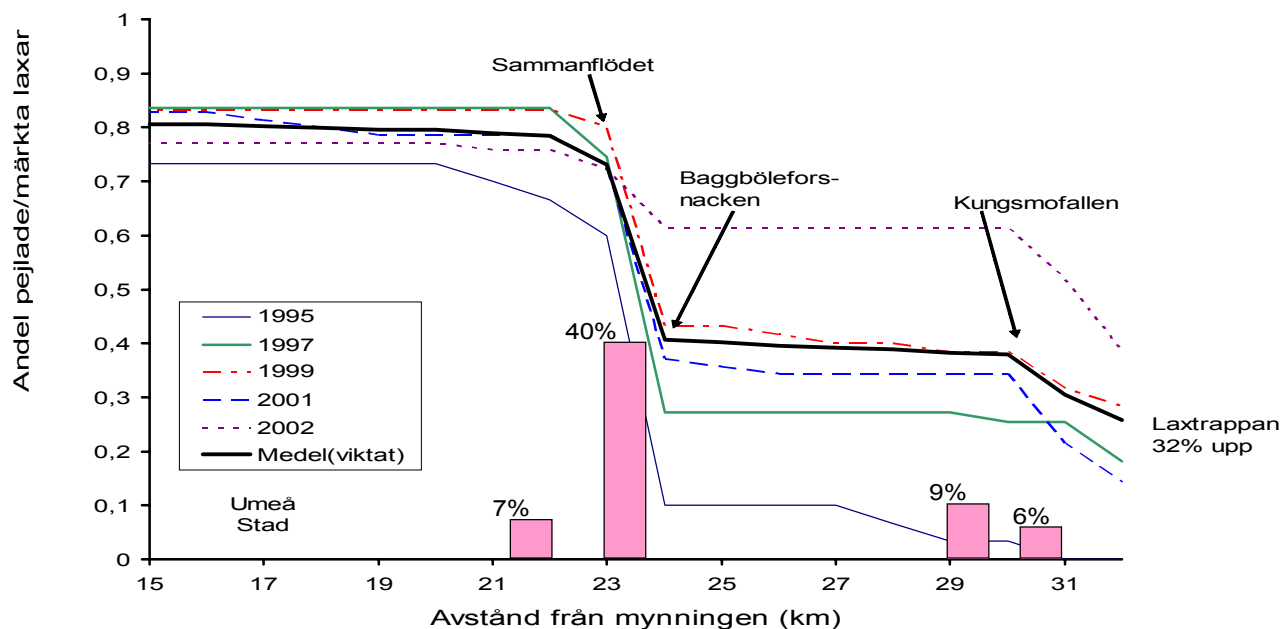
Vattentemperatur har korrelerat mot laxens vandringsmönster utan att visa några tydliga samband. Den temperaturskillnad på 0.2 °C som föreligger mellan torrfårans vatten och kraftverkstunneln är troligtvis för liten för att direkt påverka fiskens uppströmsvandring. Dock noteras att vattentemperaturen i älven varit relativt hög under sommarperioden. McKinnell et al (1994) kunde inte heller visa att vattentemperaturen hade betydelse för variationen i uppvandringstid mellan olika storleksklasser av lax. Data från Laxracet visar inte heller något samband mellan laxens vandringslängd i älven eller fart i vandring och älvstemperatur (Östergren 1998). Det är snarare så att den viktigaste abiotiska faktorn är vattenföringen så att fisk som vandrar mot en hög vattenföring går långsammare jämfört med lax som vandrar uppströms i en lägre vattenföring.

En sammanställning av data från 6 års märkningsstudier redovisas i tabell 4. Dessa data härstammar i huvudsak från telemetriundersökningar. Ur dessa data framgår att stora

*Tabell 4. Sammanställning av laxmärkningsstudier genomförda i Umeälven under 6 år. Data från år 1996 är från Fiskeriverkets brickmärkningsstudie (Perä & Karlström 1996) medan resterande data härstammar från radiomärkningsundersökningar genomförda av SLU. Förklaringar hon = honor, han = hanar, *= Procentandel omräknad efter metod av Rivinoja & Lundqvist 1997-2001.*

	1995	1996	1997	1999	2001	2002
Märkdatum	30jun - 17aug	3jun - 29aug	24jun - 3jul	16jun - 13jul	25jun - 4jul	6jun - 26jul
Totalt antal (st)	30	574	80	60	70	492 (409+83)
Vilda	20 hon, 10 han	328 hon, 157 han	53 hon, 2 han	34 hon, 26 han	60 hon, 10 han	124 hon, 368 han
Odlade	-	59 hon, 30 han	21 hon, 4 han	-	-	-
Längd (cm)	64	86	89	84	86	78
Pass. Umeå	73 %	-	84 %	83%	79 %	78 %
Dag till Umeå	7	-	3	3	4	3
Pass. trapp	0 %	17 % *	26 %	32%	18 %	49 %
Dag till trapp	-	52	52	44	45	44

likheter finns vad gäller antalet fisk som anländer från Umeälvens mynning upp i älven, ankomsttiden till Umeå stad samt antalet dagar som fisken tillbringat vid simning från mynningen till vittjning i trappan. Antalet laxar som simmat hela vägen från Umeå stad till passage av laxtrappan varierar dock stort mellan år (från 0% år 1995 till 49 % år 2002). Vid analys av telemetridata framgår att det största bortfallet av fisk, ca 40 %, sker i sammanflödesområdet och i övre delarna av torrffåran, sammanlagt 15 % (figur 8). I genomsnitt konstateras att ca 32 % av laxen som ankommit Umeälven passerar laxtrappan.



Figur 8. Sammanställning av telemetriundersökningar under 5 år. Figuren visar andelen pejlade laxar i olika partier av älven i förhållande till avståndet från märkplatsen som linjer under olika år. De genomsnittliga förlusterna i olika älvmråden är markerade med skuggade staplar.

5. Tackord

Vi tackar Bo-Sören Wiklund, Johan Östergren, Henrik Nilsson, Mathias Bylund, John Williams, John Ferguson, Ed Meyer, Nils Sjöström och Vattenfalls fiskodlings- och kraftverkspersonal för mycket gott samarbete. Denna undersökning är finansierad av Energimyndigheten och utgör samtidigt ett delprojekt i Fiskeriverkets utredning gällande laxens uppvandring i Umeälvens nedre del.

6. Referenser

- Andersson, T. 1988. Utveckling av Östersjöns laxbestånd under senare decennier. En utvärdering av laxkompensationsverksamhet. *PM Fiskeristyrelsen Utredningskontoret Härnösand*.
- Brydsten, L., K. Abbing. 1997. Utvärdering av metod för kvantifiering av laxbestånd med hjälp av ekolod. *Naturgeografiska Institutionen, Umeå universitet, Arbetsrapport 1997, 7 sidor*
- Carlsson, U., Lundqvist, H., Eriksson, T., Nilsson, J. 1996. Lekvandvandring hos vindelälvslox i Umeälvens nedre del: Redovisning av telemetriförsöken 1995. *Länsstyrelsen i Västerbotten, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Vattenbruk, PM 1996-01-28*.
- Gowans, A.R.D., Armstrong, J.D. and Priede, I.G. 1999. Movements of adult Atlantic salmon in relation to a hydroelectric dam and fish ladder. *Journal of Fish Biology (1999) 54, 713–726*
- Gönczi, A.P. 1992. Telemetrastudier av laxens (*Salmo salar* L.) beteendemönster invid fiskfällan i Bergforsen, Indalsälven och Viforsen, Ljungan. *Fiskeriverket Utredningskontoret Härnösand, Rapport 1992*.
- Karppinen, P., Mäkinen, T.S., Erkinaro, J., Kostin, V.V., Sadkovskij, R.V., Lupadin, A.J. and Kaukoranta, M. 2002. Migratory and route seeking behaviour of ascending Atlantic salmon in the regulated River Tuloma. *Hydrobiologia. Submitted manuscript*.
- McKinnell, S., Lundqvist, H., Johansson, H. 1994. Biological characteristics of the upstream migration of naturally and hatchery-reared Baltic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture and fisheries management 25, Suppl. 2: 46-63*.
- Perä, I., Karlström, Ö. 1996. Undersökning av laxuppvandringen till Ume älv-Vindelälven vid Stornorrfor kraftverk 1996. *Fiskeriverket Utredningskontoret i Luleå, Rapport 1996-12-23*
- Rivinoja, P., Lundqvist, H. 1998. Laxens lekvandring i nedre Umeälven; Redovisning av telemetriförsök år 1997. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Vattenbruk, Arbetsrapport 1998-01-25*.
- Rivinoja, P., McKinnell, S., Lundqvist, H. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish river caused by a hydro electric power-station. *Regulated Rivers Research & Management 17: 101-115*.
- Smith, G.W., Campbell, R.N.B., MacLaine, J.S. 1998. Regurgitation rates of intragastric transmitters by adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during riverine migration. *Hydrobiologia 371/372: 117–121*.
- Östergren, J. 1998. Lekvandring av vilda honor av östersjölox (*Salmo salar*) i Vindelälven. Examensarbete 20 p. 1998. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Vattenbruk*.
- Östergren, J. 1999. Lekvandring av vilda honor av östersjölox (*Salmo salar*) i Vindelälven. Arbetsrapport *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Vattenbruk. 1999-11-11*.

Förutsättningar för laxvandring vid Stornorrfors vattenkraftverk

Simulering av strömningsmönster och validering av dessa med
fältmätningar

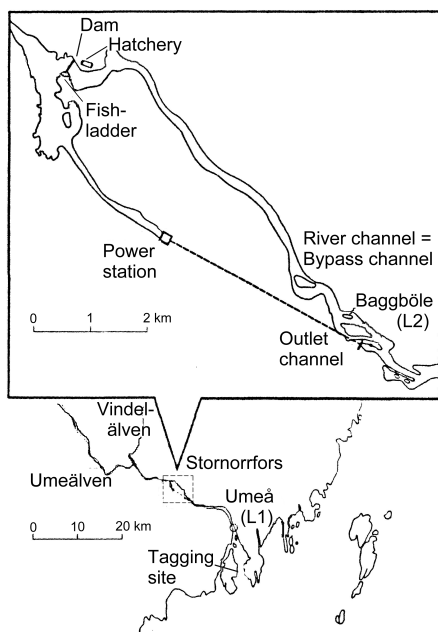
Lars Bergdahl och Jaan Kiviloog
Vatten Miljö Transport
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg

1 Inledning

Den omfattande utbyggnaden av vattenkraften i de svenska vattendragen har medfört många problem för lekvandrande fiskarter. Vid de tidiga utbyggnaderna spärrades ofta älvarna av helt för fisken och den naturliga reproduktionen ersattes av omfattande uppfödning och utsättning av utvandringsmogen ungfisk, smolt. Vid senare utbyggnader, i älvar där intakta lekområden funnits kvar uppströms, har ibland så kallade laxtrappor byggts för att möjliggöra den uppvandrande lekmogna fiskens uppvandring förbi kraftverkslägena.

I många älvar ligger kraftverken direkt i det gamla älvläget med en damm placerad över älven för att koncentrera fallhöjden. Flodutskoven och intagen till turbinerna ligger då ofta i direkt anslutning till dammen och turbinerna i dammen, vid låga fallhöjder, eller i berget under dammen, vid högre fallhöjder. Dessa vattenkraftverk kan kallas för strömkraftverk, och fiskens problem kan man då försöka lösa genom att bygga en trappa eller vandringsled direkt från turbinutloppen upp ovanför dammen. Utvandrande smolt kan avledas från huvudströmmen mot fisktrappans övre mynning.

I en del senare byggda kraftverk (efter cirka 1950) har man velat koncentrera större fallhöjder, och man har då torrlagt längre sträckor av älvarna. Intaget till turbinerna och avloppstunneln tillbaka till älven placeras då ofta parallellt den gamla älvfåran, vilket medför att huvudflödet i älven leds förbi ytutskoven till gamla älvfåran och ibland mynnar i en avloppskanal som ansluter till den ursprungliga älvfåran nedströms. Den uppvandrande laxen får då problem att hitta in till den naturliga älvfåran och går i stället in mot huvudströmmen i kraftverkets avloppskanal. Den utvandrande smolten kan drabbas på så sätt att den driver med huvudflödet mot turbinintagen och vidare genom turbinerna och genom tunnelsystem där dödligheten är stor, i stället för att ramla ut över ytutskoven eller ned i en laxtrappa. Dessa kraftverk kan sägas utgöra ”bypassystem”. Ett exempel är Stornorrfors i nedre delen av Umeälven. Se figur 1.



Figur 1. Stornorrfor kraftverk i relation till laxens vandringsled i Umeälvens nedre del (modifierad från Anderssonⁱ, 1988).

1.1 Problem

För strömkraftverk är problemet att konstruera och bygga väl fungerande laxtrappor i anslutningen till dammarna, se till att den uppvandrande fisken effektivt lockas till laxtrappan och att utvandrande smolt och öring avskiljs lokalt till utskovet eller laxtrappan.

För bypasssystemen är det övergripande problemet att få den uppvandrande fisken att gå ”rätt väg” så att den hittar in i de gamla älvfårorna vid sammanflödena av dessa och kraftverkens avloppskanaler och upp genom byggda vandringsleder eller laxtrappor. Laxtrapporna måste dessutom vara väl fungerande. För smolten gäller problemet att avleda den ur huvudströmmen mot ytutskov eller byggda vandringsleder. Avledningen måste ibland ske i sel långt uppströms turbinintagen och ibland ganska långt ifrån ytutskoven och laxtrappornas övre mynningar.

1.2 Tänkbara åtgärder

I exemplet Stornorrfor kan man hypotetiskt åstadkomma förbättringar genom att förändra strömningsmönstret med förändrad tappning under uppvandringssäsongen eller genom ombyggnad av vattenvägarna (kanalisering, byggande av murar med mindre öppningar, muddring) så att laxen söker sig ”rätt” väg spontant.

För den uppvandrande laxen föreslår Sandström m.fl.ⁱⁱ (2002) i stället att ett intag till en laxtrappa eller en fångstanordning byggs inne i avloppskanalen i anslutning till avloppstunneln, eftersom många laxar och öringar tycks gå in där mot huvudströmmens ”koncentrationspunkter”. Det bedöms att man då kan öka upppassagen till 90-95 % av de individer som kommer upp till sammanflödesområdet vilket skulle vara mycket betydelsefullt.

För nedvandrande smolt kunde man också se till att ytströmmen i magasinet (selet) ovanför kraftverket drev smolten mer bestämt mot ytutskoven och laxtrappans övre mynning som är belägna i ett sel till vänster om huvudfåran. Detta kunde t.ex. åstadkommas genom att förändra strömningsmönstret med ledvallar på botten. Sandström m.fl.ⁱⁱ (2002) förslår att man ska undersöka möjligheterna att bygga eller att under varje utvandringssäsong lägga ut någon form av ledarm med ”spjälgaller” ut från vänstra stranden vilka skulle ”skrämma” in smolten i sidoselet. Detta är en metod som ofta används med framgång vid strömkraftverk i nordvästra USA för att lokalt leda bort smolten från turbinintagen. (Sandström m.fl.ⁱⁱ, 2002). Det är tänkbart att komplettera en sådan skärm med en strömbildare, som skulle kunna generera en lokal ytström in mot selet.

1.3 Arbetsmetod

Målet för detta delprojekt är att utveckla rutiner för simulering av strömningen i vattenvägarna för bedömning av föreslagna tekniska åtgärder såsom kanaliseringar, tappningsändringar, placering av laxtrappor och design av lockvattenströmmar mm. Vandringsfiskens beteende och krav på strömningsmönster studeras av huvudansökaren Prof. Hans Lundqvist vid SLU, Umeå.

Till att börja med har därför valts att simulera strömningen vid Stornorrfors kraftverk i ett par valda områden uppströms och nedströms kraftverket. För att skapa underlag för validering av simuleringarna och indata till delmodellernas geografiska ränder har omfattande fältmätningar av hastighetsprofiler och vattennivåer genomförts vid olika tappningsförhållanden under åren 2001 och 2002. Validering genomförs nu för att kontrollera simuleringsresultatet, dvs. kontrollera hur väl strömningsmönster och hastighetsfördelningar modelleras i de numeriska modellerna. Detta ger underlag till viss justering av randvillkor och val av turbulensmodeller vilket skulle kunna finkalibrera simuleringen. Det storskaliga strömningsmönstret kommer dock att vara korrekt återgivet. Om vatten med avvikande temperatur kommer in i dammsjön kan man också lägga in densitetseffekter i den uppbyggda modellen.

1.4 Simuleringsmodellernas framtida användning i projektet

Simuleringsmodellerna ger som primärutdata hastighetsvektorer i alla beräkningsceller. Upplösningen kan t.ex. var 1m i vertikalled och 5 - 15 m i horisontalled. Ur datamängden kan man ta fram t.ex.

- kartor med hastighetsvektorer på olika nivåer eller i valda tvär- och längssnitt
- isoveler i horisontalplan och valda tvär- och längssnitt
- flöden integrerade över delsektioner

Genom att följa definierade vattenpaket (particle tracking) kan man kartlägga vilken väg ett viljelöst smolt skulle färdas utför älven från olika startpunkter antingen

- deterministiskt genom att partikeln följer medelhastighetsvektorn eller
- stokastiskt genom att i varje tidssteg lotta förflyttningen med hänsyn tagen till turbulensen

I det förra fallet kommer varje partikel som släpps i en punkt att gå samma väg, men i det senare fallet kommer man att få en spridning av transportvägarna. Se t ex Adamsson m.fl.ⁱⁱⁱ 2002.

2 Studieobjektet

2.1 Modellvattendraget: Umeälven nedre

Umeälven med biflödet Vindelälven mynnar i Bottniska viken (63°50'N 20°05'E). De har sina källflöden i vid norska gränsen ca 450 km från kusten. Vindelälven som är helt utbyggd rinner in i Umeälven i höjd med Vännäsby ca 40 km från mynningen och ca 8 km uppströms den nedersta dammen och kraftverket i Stornorrfors.

Umeälven som är helt utbyggd för kraftproduktion har inklusive Vindelälvens tillrinning en medelvattenföring i Umeälvens nedre del kring $583 \text{ m}^3/\text{s}$ under laxens lekvandringsperiod från den 20 maj till 1 okt (McKinnell et al^{iv} 1994). Fisktrappan i dammen i Norrfors möjliggör laxens vandring från havet till reproduktionsområden i Vindelälven fast den inte fungerar tillfredsställande.

Studiens undersökningsområde sträcker sig från strax nedströms sammanflödesområdet till och med selet uppströms Norrforsdammen, se figur 1 i kapitel 1.

Från och med 1 okt till 20 maj styrs huvuddelen av flödet genom dammen i Norrfors till turbinerna i Stornorrfors kraftverk. Vattnet återvänder till Umeälven via en 4 km underjordisk avloppstunnel (rak streckad linje i figuren), som avslutas med en 250 m lång och 20 m djup *avloppskanal*. Området ges då en 8 km öppen naturlig älvfåra, eller ”*torrfåra*” som under fiskens vandringsperiod fungerar som ”bypass channel” mellan damm och *sammanflödet* med kraftverkets avloppskanal.

Undersökningsområdet kan delas in i 3 älvsträckor:

- 1) Sammanflödesområdet, där kraftverkets avloppskanal återförenas med torrfåran
- 2) Torrfåran eller gamla älvfåran, med Baggböleforsen och laxtrappan i Norrforsdammen
- 3) Dammsjön eller selet uppströms, kraftverkets intagskanal och Norrforsdammen

2.2 Hydrologiska data

Torrfåran är vattenförande från 20 maj till 1 oktober. Fisktrappan i dammbyggnaden längst upp i torrfåran har en vattenföring på ca $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Genom dammen regleras vattenmängden i torrfåran enligt följande:

Datum	Vattenföring
	m^3/s
20 maj – 15 juni	10
16 juni – 31 augusti,	23 (måndag 07:00 till lördag 05:00)
16 juni – 1 oktober,	50 (helger)
1 september – 1 oktober,	15 (måndag 7:00 till lördag 05:00)
1 oktober – 19 maj	0,5

Under vårfloden kan vattenföringen vara betydligt högre beroende på överskottstappning genom dammutskoven. Från 1 okt till 19 maj sker normalt tappning till torrfåran

Vattenföringen genom Stornorrfors kraftverk varierar över dygnet och veckan. Den genomsnittliga vattenföringen genom turbinerna från 20 maj till 1 oktober (1997) är ca 552 m³/s och spillet 56 m³/s för en total vattenföring av 608 m³/s. Den maximala vattenföringen genom kraftverket är ca 1000 m³/s.

Temperaturutvecklingen i älven under fiskens lekvandningsperiod varierar mellan ca 10°C från början av juni till ett normalt högsta värde på c:a 19°C i månadsskiftet juli/augusti. Temperaturen minskar därefter för att fram till början av oktober vara c:a 9°C.

3 Andra strömningssimuleringsstudier inriktade på fiskvandring

Det finns numera möjligheter att genomföra tredimensionell (3D) numerisk modellering (CFD = Computational Fluid Dynamics) av hela älvsträckor med bottenformationer, större stenar etc. Detta har möjliggjorts genom den enorma utvecklingen av snabba datorer och programvaror för modellering av Reynolds' tidsmedelvärdesbildade Navier-Stokes' ekvationer^v. Under de senaste två åren har antalet CFD studier av fiskavledningssystem för nedströms vandrande fisk ökat markant. Studierna är främst inriktade på att förbättra strömningssmönster för avledning av passiv fisk samt för att minimera energiförlusterna där fiskavledningssystem ska byggas. Hittills har dock få studier genomförts där resultaten av 3D-simuleringar och positionsbestämning av vandrande fisk kombinerats i syfte att bestämma vad som styr fiskens vägval. För uppströmsvandrande fisk har vi inte funnit någon referens. Så detta är i fronten bland aktuella nya tillämpningar.

Crowder and Diplas^{vi} (2000) redovisar en beräkning i två dimensioner av hur block och stenar i en ström påverkar strömningssmönstret, skapar hastighetsgradienter och strömskydd för fiskar i en ström. Meselhe et al^{vii} (2000) redogör för en tredimensionell modellering av en sjukilometerssträcka av Columbiafloden för att studera fiskavledning. (Fish diversion). Därvid använder de olika skalor och nät av olika finlek lokalt där de tredimensionella effekterna är stora. Meselhe, E.A. et. al.^{viii} (1998) redogör även för en tredimensionell simulering av ett dammområde nedströms den ovan nämnda älvsträckan i Columbiafloden. I studien jämförs flödena med och utan en ytavledningskonstruktion (SAF) för fiskpassage. Man finner, efter validering mot en skalmodell, att den tänkta SAF:n har en negativ påverkan på attraktionen av fisk. Konstruktionens utformning kunde därefter förbättras på ett enkelt och billigt sätt, med ledning av implementering av nya lösningar i den numeriska modellen.

Vid konferensen Hydro Vision 2002 i Oregon USA redovisades ett flertal CFD-studier av olika dammområden med fiskavledningskonstruktioner i USA och Kanada. Konferensen var uppdelad i ett flertal parallella sessioner där några av dessa, helt eller delvis, behandlade CFD-studier av fiskpassager. Som exempel kan nämnas Lin et. al.^{ix} (2002) som redogör för en framgångsrik tredimensionell CFD-studie av ett fiskavledningssystem vid Hadley Falls, där en rörlig vattenyta använts.

Det finns även exempel på 3D-simuleringar av grunda vattendrag med ojämn botten. Nicholas et. al.^x (1999) redovisar resultaten från en simulering av en kortare sträcka av en grund å med förgrening. Resultaten visar på en god överensstämmelse, både kvalitativt och kvantitativt, med uppmätta hastighetsvärden.

I ett examensarbete vid Vatten Miljö Transport har Trumars och Warringer^{xi} (2000) modellerat en konstgjord sjö och bäck i det nya akvariet vid Universeum i Göteborg inför den slutliga detaljutformningen. Därvid har eftersträvat att skapa både områden som är lugna och områden med starkt strömmande vatten och anpassa hastigheter mm till de arter som skall hållas i akvariet.

4 Allmänt om CFD-modellering

CFD innebär lösning av främst strömnings- och värmetransportproblem, men även problem i andra närliggande områden, med datorbaserad modellering^{xii}. Möjligheterna samt användningsområdena är många. En av de största fördelarna, jämfört med experimentella försök, är att man kan få mycket detaljerade resultat.

CFD-programvaror består ofta av tre delar; preprocessor, lösare och postprocessor. I preprocessor bygger man upp geometrin för det system som ska modelleras. Denna används sedan för att skapa ett beräkningsnät. I preprocessor anges även de olika randvillkoren och fluidegenskaperna. I lösaren sker själva beräkningen av de olika ekvationerna. Ekvationerna diskretiseras och appliceras på kontrollvolymerna. I postprocessor sker behandling och visualisering av resultaten t.ex. med vektor- och konturplottar. Man kan även använda det framtagna hastighetsfältet för att göra sekundära beräkningar t.ex. partikelspårning (eng. particle tracking).

I denna studie har det använts ett kommersiellt programvarupaket från Fluent. De specifika delprogrammen är preprocessorn Gambit 2.0 och lösaren och tillika postprocessor Fluent 6.0 som bygger på finitavolymmetoden vilket är den vanligaste CFD tekniken. Flödesberäkningen baseras på massbalans och Newtons andra lag (samt Newtons första lag). Dessa grundläggande förutsättningar uttrycks med partiella differentialekvationer i kontinuitetsekvationen (1) och Navier Stokes ekvationer (2)^{xiii}, för inkompressibel fluid.

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j} + g_i \frac{\rho - \rho_r}{\rho_r} \quad (2)$$

För att simulera turbulenta flöden exakt krävs extrema datorresurser eftersom det krävs mycket god upplösning. Istället görs i regel alltid förenklingar genom användningen av Reynolds tidsmedelvärdesbildande (Navier Stokes) ekvationer. Detta innebär att man delar upp variablerna i en lösbar medelvärdesdel \bar{P} , \bar{U}_i och en modellerad fluktuerande del p , u_i , för tryck (3) och hastighet (4) enligt följande.

$$P = \bar{P} + p \quad (3)$$

$$U_i = \bar{U}_i + u_i \quad (4)$$

Nedan följer beskrivningar av utvalda viktiga delar i CFD-beräkningen, bl.a. hur turbulensen modelleras.

4.1 Turbulensmodeller

För att få ekvationssystemet att gå ihop efter införandet av Reynolds medelvärden krävs approximationer av de delar som innehåller de fluktuerande komponenterna. Dessa approximationer kallas turbulensmodeller. Det har genom åren tagits fram ett stort antal sådana. Det finns dock ingen universell turbulensmodell som passar i alla flödessammanhang.

De vanligaste modellerna tillhör kategorin linjära turbulentskositetsmodeller (eng. linear eddy viscosity models). Dessa bygger på antagandet om ett samband mellan hastighetsgradienter och turbulens via den turbulenta viskositeten. Den vanligaste av dessa är k-ε modellen som består av två ekvationer. Den ena beskriver genereringen

av turbulent kinetisk energi, k , och den andra dissipationen av denna, ε . Den vanligaste k- ε modellen är standard k- ε modellen. I ekvation (5) beskrivs sambandet mellan den turbulenta viskositeten ν_t , k och ε i standard k- ε modellen.

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

Vid nya tillämpningar bör valet av turbulensmodell bekräftas genom validering.

4.2 Randvillkor

Utfallet av en simulering är starkt beroende av vilka randvillkor man väljer. Vid simulering av kanalflöde behövs randvillkor för inlopp och utlopp samt vägg och/eller symmetriyta.

4.2.1 Vägg

Väggrandvillkoret avgränsar områden i modellen och bestämmer hur väggens friktion införs i modellen. Vanligt inom CFD är att sätta hastigheten vid väggen lika med noll, s.k. no slip. Om ytan inte är jämn och man tror att råheten kan ha effekt på flödet så kan råhetseffekten införas på randen. Detta görs med en empirisk formel (law-of-the-wall) där man anger en råhetsstorlek och råhetskostant. För icke ensartade ytor sätts råhetsstorleken lämpligen till medeldiametern hos råhetselementen. Några exakta riktlinjer för att bestämma ett lämpligt värde för råhetskostanten finns inte. Lämpligt värde kan provas fram eller hämtas från andra liknande studier men bör ligga mellan 0,5 och 1. Beräkningscellen närmast väggen bör inte göras mindre än råhetsstorleken. (Fluent Users Guide Html-version, avsnitt 6.13.1)

En ytterligare möjlighet är att ange friktionen direkt genom att ange skjuvspänningar i x-, y- och z-led. Vid användandet av väggfunktioner för turbulenta flöden används dock inga skjuvspänningsangivelser.

4.2.2 Symmetri

Man kan även få en modell utan påverkan av friktion, detta kan vara bra under de första iterationerna då man vill få ett bättre utgångsläge. Ett sätt att göra detta är att sätta symmetrirandvillkor på ”väggarna”. Symmetrirandvillkoret innebär att gradienten över randen är noll, vilket innebär att t.ex. hastigheten i randens normalriktning (vinkelrätt randen) är noll. Detsamma gäller även andra variabler.

4.2.3 Inlopp

I programvaran Fluent finns två lämpliga randvillkorstyper för inlopp till en flödesmodell av den typ som eftersträvas i detta projekt. Inloppen kan definieras med hastighetsangivelser eller med tryckangivelse. Dessutom kan skalärer anges för inflödet t.ex. turbulensegenskaper.

Om egenskaperna hos flödet från inloppet inte är helt kända bör man flytta inloppsrandvillkoret uppströms området av intresse så att dessa hinner ställa in sig.

4.2.4 Utflöde

Utflödet kan även det beskrivas med minst två olika slags randvillkor i Fluent. Det enklaste randvillkoret (Outflow) bygger på att diffusionen över utloppsranden är noll samt att massbalansen i modellen uppfylls. Om flera utflöden finns anges andelen av det totala flödet som ska ledas genom randen. Det krävs alltså inga uppgifter om tryck- eller hastighetsfördelning i förväg. Detta randvillkor placeras lämpligen i en del

av modellen där flödet är fullt utbildat. Om bakåtlöde uppstår kan konvergensen påverkas.

Det andra utflödesrandvillkoret kallas i Fluent ”Pressure outlet”. Här anges det statiska (över-) trycket (exklusive hydrostatiskt tryck) vid randen. Randvillkoret tillåter inflöde genom randen vilket även kräver att man anger rätt egenskaper för ett eventuellt bakåtlöde. Orimliga värden kan försvåra konvergensen och ge felaktiga resultat.

Det är lämpligt att förflytta utflödet en bit nedströms intresseområdet så att eventuella fel inte propagerar upp till detta område.

4.3 Fri vattenyta

Vattenytan kan modelleras som en låst yta med t.ex. symmetrirandvillkoret eller som rörlig. Metoderna för modellering av rörlig vattenyta kan delas i två klasser; metoder med rörligt nät, där man följer ytans rörelse och justerar beräkningsnätet därefter och metoder där beräkningsnätet är fast och där man istället följer vattenytans läge med partiellt fyllda celler.

En lämplig metod för beräkning av fri vattenyta i Fluent är VOF-modellen (Volume-of-Fluid), som tillhör den sistnämnda klassen. Här beräknas vattenytans läge genom att bestämma volymandelen av fluiderna i varje beräkningscell.

4.4 Konvergens

De ekvationer som används i CFD-sammanhang löses genom iteration. Vid varje beräkningssteg fås en lösning som innehåller ett visst fel. Vanligtvis minskar detta fel under beräkningens gång. Bedömning av lösningens konvergens kan göras på flera sätt:

Ett vanligt sätt är att beräkna summan av residualen för varje beräkningscell, dvs. höger- minus vänsterledet. Residualen för en viss storhet normeras sedan ofta för att bli mer jämförbar. Som normeringsfaktor kan t.ex. felet vid de första iterationerna användas eller det totala (mass-)flödet. För att en lösning ska betraktas som konvergerad används kriteriet att den normerade residualen ska vara mindre än ett värde som ofta sätts till mellan 0,01 och 0,0001. Vilket kriterium som ska ställas på konvergensen beror på vilka noggrannhetskrav man har på lösningen. Är man t.ex. endast intresserad av ungefärliga strömningsmönster kan en grov konvergens accepteras.

Man kan även använda massbalans över in- och utlopp som ett konvergenskriterium. Massbalansen för en konvergerad lösning ska bli noll. I de fall ”outflow” randvillkoret används fungerar dock inte detta eftersom massbalansen då alltid är uppfylld.

Ytterligare ett bra sätt att se om lösningen är konvergerad är att studera viktiga variabler vid utvalda punkter. När lösningen konvergerar planar värdena på variablerna ut och visar därmed på att en konvergerad lösning har uppnåtts med avseende på de utvalda variablerna.

5 Numerisk modellering

5.1 Geometribeskrivning

Indata för geometribeskrivning har främst erhållits från Lars Brydsten på Institutionen för biologi, miljö och geovetenskap vid Umeå universitet. För området ovan dammen vid Norrfors (se figur 2a) har detta material bestått av djupdata i punktform, både som originaldata från mätningarna med GPS och ekolod längs transekter samt även i ett strukturerat nät där punkterna interpolerats från originaldata. Interpolationen var gjord med Krigings metod.

För sammanflödesområdet (se figur 2b) finns en tidigare utförd bottenkartering^{xiv} (Lars Brydsten m.fl.,1997). Indata till geometribeskrivningen från denna mätning erhålls genom digitalisering då befintlig digital information saknas. Bottentopologin i torrfåredelen av sammanflödesområdet är utsatt för erosion och omlagring av bottenmaterial. För att kontrollera den tidigare bottenkarteringens överensstämmelse med nuvarande förhållanden samt pga. misstankar om kraftiga förändringar i vissa områden gjordes kompletterande mätningar under sommaren 2002. Dessa mätningar utfördes med mätkäpp och totalstation i samband med hastighetsmätningarna i området. Mer om utrustningen i kapitlet fältmätningar nedan.

Den komplexa geometrin i sammanflödesområdet och i selet skapar ett behov av en god upplösning hos den tredimensionella geometribeskrivningen för att kunna återge strömbilden på ett bra sätt. Arbetet med skapandet av modellgeometrin har fokuserats på att skapa en modell som beskriver områdena på bästa sätt utifrån tillgängliga mätdata. Programvaran som använts har olika interpolationsrutiner för att skapa ytor från punktdata, dock ingen som direkt kan läsa in en oregelbunden yta. Ytorna skapas t.ex. genom att först skapa linjer med interpolationsrutiner. Dessa kan sedan likt spanten på en båt användas för att skapa en yta. Problem uppstår dock t.ex. vid förgreningar och skarpa krökar. Vid krökarna bildas veck vilket leder till problem vid indelning i beräkningsceller, ”meshningen”. Som följd av detta uppstår negativa volymer som omöjliggör fortsatt beräkning.

Svårigheter har även uppstått som följd av de stora skillnaderna i skala i olika riktningar. Omskalning av djupvärdena underlättar visualiseringen men skapar istället problem t.ex. vid återgång till ordinarie skala.

För att slippa veck och oönskade ojämnheter har en ny metod tagits fram. I denna metod utnyttjas de interpolerade djupvärdena som erhållits från Lars Brydsten. Dessa värden är givna i en strukturerad form över de områden som normalt är vattentäckta. Istället för att, liksom den förra metoden, enbart interpolera "spant" i flödesriktningen så används istället interpolation i två riktningar. För att slippa veck mm behövs djupdata i en uniform struktur över ett firsidigt område med räta vinklar. Detta kan fås genom extrapolation av ovan nämnda djupdata till ett heltäckande rektangulärt område. Ett nät av linjer kan då skapas på samma sätt som "spanten" i den förra metoden och dessa kan i sin tur användas för att skapa en tredimensionell yta. För att slippa modellera hela ytan kan kanalformen skäras ut med linjer utefter strandkonturen.



a) Selet vid Norrforsdammen

b) Sammanflödesområdet vid Baggböle

Figur 2. Flygbilder över områdena där strömningen ska modelleras.

5.2 Simuleringar

Parallellt med arbetet att skapa geometrin prövades simuleringar på förenklade geometrier av området uppströms dammen. Detta främst för att i förväg möta och förbereda sig på de problem som kan komma att uppträda i de numeriska beräkningarna. Simuleringarna ger även en grov bild av hur strömfältet kan se ut och är därmed ett bra underlag vid arbete med modellering och mätning. Det har gjorts simuleringar för en tvådimensionell modell samt en tredimensionell modell med väl återgiven strandlinje, men med en förenklad bottenyta i 3D-fallet (prismatiskt tvärsnitt). I båda fallen har ett beräkningsnät av triangulära/tetraederformade celler använts.

Simuleringar med den bästa geometriåtergivningen kommer att inledas så snart modellen är färdigställd. Modelleringen av sammanflödesområdet har förskjutits i tiden då den befintliga bottenpografiska informationen visade sig var inaktuell.

Under fältmätningarna år 2002 kompletterades dock datamängden i områden där bottengeometrin förändrats.

Det modellerade området motsvarar en del av dammagasinet i Norrfors. Området kan beskrivas som en kanal med ökande tvärsnittsbredd och med en förgrening där ett delflöde leds till utskoven (se figur 2a). Området där strömbilden främst ska återges är förgreningsområdet och området strax uppströms detta. Dessutom riktas ett visst intresse till området mellan förgreningen och dammanläggningen. Inflödet och det ena utflödet i modellen har därför flyttats en bit ifrån dessa delar för att inte störa lösningen. Avgränsningen gjordes ca 700 meter uppströms förgreningen ovan ett område där kanalen kröker skarpt. Nedströms avgränsades modellen av utskovsdammen samt ett område ca 500 meter nedströms förgreningen.

5.2.1 Valda inställningar

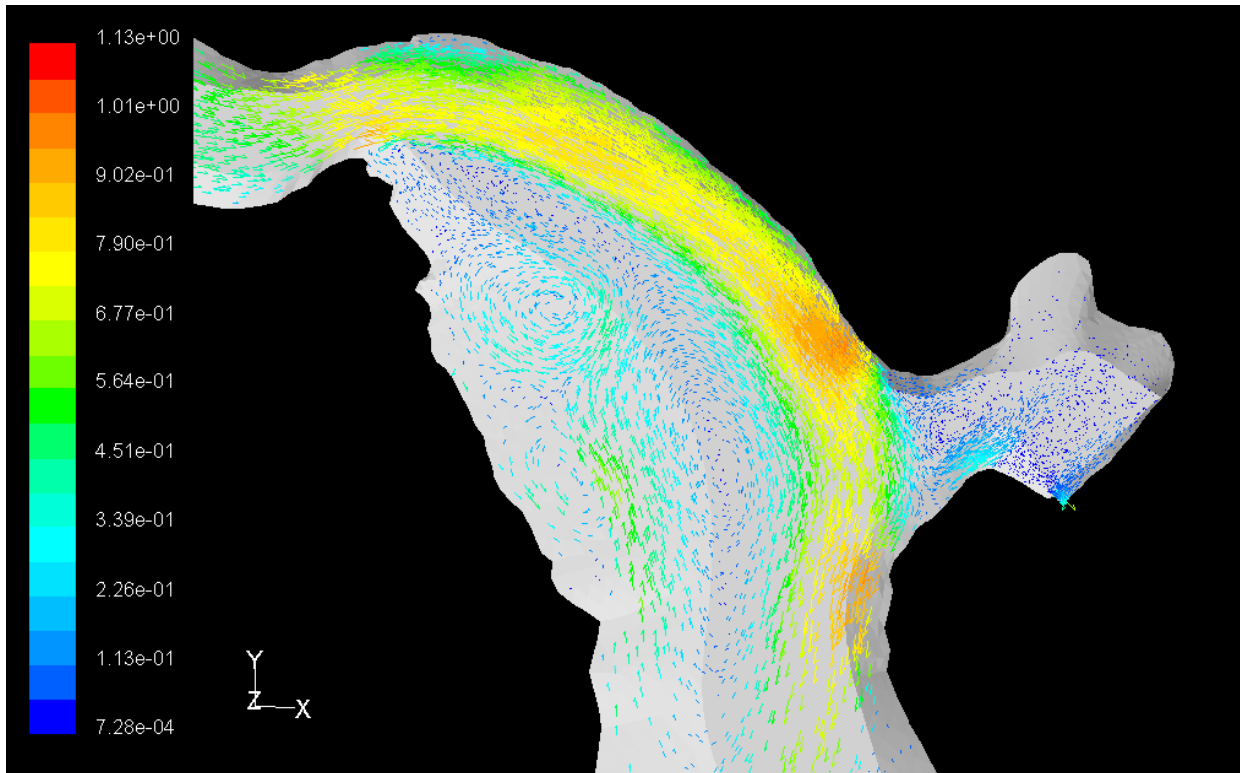
Vid den tredimensionella simuleringen användes randvillkoret Outflow vid båda utflödena. Simuleringar gjordes för två flödesfall där 10 respektive 3 procent av flödet leddes till utskovsdammen och där resterande flödet (90 och 97 %) gick vidare mot kraftverksintaget. Vid inflödesranden sattes en uniform hastighetsfördelning (0,8 och 0,4 m/s för respektive flödesfall) över hela tvärsnittet.

Botten modellerades med no slip-villkoret utan införande av eventuella råhetseffekter. Vattenytan sa med symmetrirandvillkoret. Turbulensen modellerades med standard k- ϵ modellen.

5.2.2 Numeriska problem och lösningar

Vi körningen av den förenklade 3D-modellen krävdes det metoder för att underlätta konvergensen. I inledningen skapades ett hastighetsfält oberoende av friktion med en ickeviskösa modell. Beräkningsnätet skalades också upp i vertikalled för att under beräkning med turbulensmodell kunna införa effekten av ränderna stegvis genom nedskalning. Skapandet av en initiell hastighetsfördelning underlättades också genom att växla mellan en transient och stationär lösare.

När ett godtagbart hastighetsfält skapats förfinades beräkningsnätet där hastighetsgradienterna var stora. Därefter kunde sedan en stationär lösning erhållas förhållandevis snabbt för olika flödesfördelningar. Ett visst bakåtlöde inträffade vid utflödet i huvudkanalen. För att undvika detta och förbättra konvergensen kan en prismatisk kanal med konstant tvärsnitt sättas i slutet på kanalen.



Figur 3. Vektorplott av resultatet från tredimensionell simulering av området ovan dambyggnaden i Norrfors (utskov i högra delen av bilden). Flödet till utskovet är 3 % av det inkommande flödet. Bottengeometrin är förenklad till ett prismatiskt tvärsnitt, vilket kan skönjas i figuren.

5.2.3 Resultat av simulering

Konvergerade lösningar erhöles förhållandevis enkelt vid simuleringen av flödet i den tredimensionella modellen med förenklad geometri efter att en godtagbar strömbild erhöles. Vid simulering med låst vattenyta i en tredimensionell modell med mer komplicerad bottengeometri kan fler skeva celler finnas vilket kan försvåra konvergensen. Detta kan dock lösas med anpassning av noderna i beräkningsnätet. Utöver detta kommer sannolikt inga nya problem att uppstå då allt i övrigt är lika.

De utförda simuleringarna har gett svar på hur strömbilden kan se ut i stort. Jämförelser av resultaten (figur 3) med uppmätta värden längs huvudfåran (figur 4) visar på en relativt bra kvalitativ överensstämmelse. Ytterligare resultat från simuleringen av damområdet visas i bilaga 1.

6 Fältmätningar

För att validera de numeriska modellerna behövs mätdata från modellförsök och/eller fältmätningar. I detta projekt har fältmätningar utförts, under våren och sommaren år 2001 och 2002. Målet med dessa har varit att bestämma strömhastighetsfältets utseende vid de två områdena av intresse, ovanför dammen samt vid sammanflödet. I ett fåtal fall har även mätningar gjorts utanför dessa områden då detta varit av intresse för SLU. Följande mätutrustning har använts respektive år:

Utrustning 2001: DGPS-system* (Unilogr DGPS-system bestående av bl.a. Ashtech G 12 GPS och Aztec RXMAR1 DGPS), totalstation (Wild TC 1000C), akustisk dopplerprofilerare (Nortek 1,5 MHz ADP)

Utrustning 2002: DGPS-system* (MicroLogr Pro, GPS och DGPS enligt DGPS-systemet år 2001), totalstation (Topcon GTS 212), akustisk dopplerprofilerare (Nortek 1,5 MHz ADP).

6.1 Mätning av hastighetsprofiler

Mätning av strömhastigheten har utförts punktvist och har nästan uteslutande skett i vertikalled. Det vanligast förfarandet har varit mätning från båt nedåt i vattenmassan. Även mätning från botten och uppåt samt i horisontalled i ytan har prövats dock endast vid ett tillfälle per metod. I de flesta fall har mätningarna genomförts längs en uppspänd lina eller befintliga vajrar.

Vid mätning från båt har ADP:n spänts fast på sidan av båten med de akustiska membranerna nedstuckna ca 5 cm i vattnet. Båtar av både aluminium och gummi har använts. Loggning av mätdata har skett parallellt i bärbar dator med programvaran NDPSA ver. 3.50. Vid fastställandet av mättiden har det eftersträvat tillräckligt långa mättider för att utjämna de turbulenta fluktuationerna, normalt 90-180 sekunder per profil.

Den använda ADP:n är utrustad med kompass och lutningsgivare vilket har möjliggjort direkt loggning av mätdata i önskad koordinatform, dvs. i nord- och östlig riktning samt i vertikalled. ADP:n har även inbyggd temperaturgivare för beräkning av aktuell ljudhastighet i vattnet.

ADP:n kan användas i två olika lägen, standard och högupplösning (HR). Mätlägena skiljer sig från varandra främst med avseende på mjukvarans datahantering och på vilket sätt de akustiska pulserna avges. Detta innebär även vissa skillnader i den praktiska hanteringen och i möjliga användningsområden; inställningskraven innan mätning, mätträckvidd, hastighetskrav på vattenflödet vid mätpunkten samt upplösningen av mätområdet.

Till skillnad från standardmätning krävs det vid mätning i HR-läge att vattendjupet samt den maximala medelhastigheten är känd i förväg. I de fall HR-mätning tillämpats har vattendjupet mätts med en graderad mätkäpp, vattenhastigheten har uppskattats från omgivande punkter och via provmätningar i standardläge. HR-mätning av strömhastigheter innebär även en begränsning av mätintervallet. Desto högre hastigheter desto mindre blir den maximala räckvidden. Fördelen med HR-mätning är, som namnet skvallrar om, att en betydligt bättre upplösning kan fås. Efter

*Från Cartesia plus

att de akustiska signalerna genererats från membranen krävs en viss återhämtningstid innan dessa kan användas för att registrera reflekterade signaler. Detta ger upphov till ett "blint" område närmast ADPns membran. Vid mätning i standardläge krävs minst en återhämtningstid som motsvarar ett blindavstånd på 0,4 m. Motsvarande siffra i HR-läge är endast 0,06 m. Skillnaden i maximal vertikal upplösning (minsta cellstorlek) är 25 cm för standardläget jämfört med HR-lägets 3 cm. Precisionen är för båda mätlägena ± 1 % av den uppmätta hastigheten $\pm 0,5$ cm/s. Under mätkampanjen sommaren 2002 användes högupplösningläget på ADPn endast vid de grundare ställena i sammanflödesområdet.

Det största antalet hastighetsmätningar gjordes vid sammanflödesområdet. Anledningen till detta var att flödesförhållandena i sammanflödesområdet är mer komplicerade än i området ovan dammen, vilket gör behovet av valideringsunderlag större. Dessutom har större delen av SLU:s pejlingsinsatser inriktats på den uppvandrande fisken, vilket gör sammanflödesområdet mer intressant. Totalt mättes dryga 700 hastighetsprofiler under år 2001 och 2002, varav ca 80 % i sammanflödesområdet.

6.2 Positionsbestämning

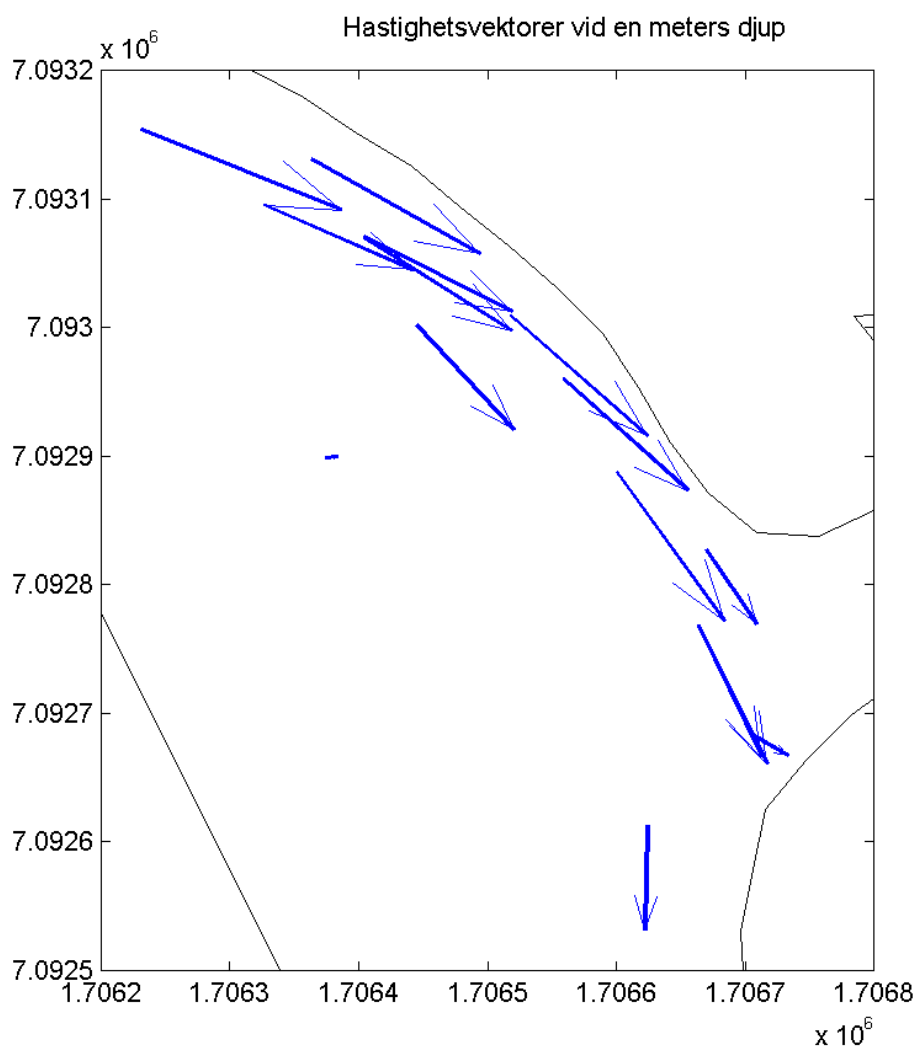
Koordinaterna för punkterna där strömhastigheterna har mätts bestämdes med totalstation och i några fall direkt med DGPS. Referenspunkterna för totalstationsmätningen bestämdes med DGPS.

Mätning av ADP:ns position med totalstation har skett från land med prismet placerat rakt ovanför ADP:n. Stationsbestämningen, dvs. bestämningen av totalstationens position har gjorts med metoden skärbindning eller med metoden inskränning utifrån referenspunkter. Nödvändiga beräkningar för positionsbestämning gjordes automatiskt i totalstationen och loggades i tillhörande fältdator.

6.3 Utvärdering av mätdata

För varje mätpunkt har en fil skapats ur vilken mätdata i efterhand har extraherats för bearbetning. Kvalitén på hastighetsmätningen ges bl.a. av signalbrusförhållandet som enligt rekommendation från ADP:ns tillverkare ska vara större än 5 dB för mätdata insamlad i standardläge. Vid HR-mätningar ges en korrelationsvärde för varje mätcell, denna bör vara större än 50%.

Behandlingen av mätdata har gjorts i ett eget Matlabprogram. Programmet innefattar extrahering, kvalitetsfiltrering och lagring samt visualisering. Även positionsmättningsdata kan läsas in i programmet och användas vid presentationen av data. I figur 4 visas ett exempel där detta utnyttjats för att plotta hastighetsvektorer på samma djup i olika positioner.



Figur 4. Uppmätta strömhastigheter vid Norrforsdammen. Värdena är tagna på en meters djup. Under mätningen var andelen flöde som spilldes ca 1% av det totala flödet.

7 Fortsatt arbete

7.1 Kartläggning av uppvandrande fiskens beteende

Genom att i nästa projektfas i detalj – i planet och i vertikalled – kartlägga hur enskilda fiskar vandrar genom systemet, får man möjlighet att lägga in deras väg direkt i vektorplottarna eller isovelplottarna för de tappningsförhållanden som rådde vid varje tillfälle. Då kan man se hur de har valt att vandra i förhållande till strömningsmönster och hastighetsfördelningar.

Om man ur detta kan ställa upp klara kriterier på hur strömningen skall vara beskaffad för att göra uppvandringen framgångsrik, kan man sedan med hjälp av den tredimensionella numeriska strömningssimuleringen utforma vandringsleder så att kriterierna uppfylls och vandringslederna fungerar på avsett sätt.

7.2 Fortsatt numeriskt arbete

Simuleringarna av sammanflödesområdet och området vid Norrfors kommer att valideras mot befintliga mätdata. Som följd av eventuella avvikelser samt för att optimera fortsatta simuleringar kommer känslighetstester att göras med avseende på randvillkor, diskretiseringsscheman och turbulensmodeller. Dessutom kommer känsligheten hos beräkningsnätets upplösning att studeras.

Om det vid fortsatta studier av smoltvandringen visar sig att smolten inte är helt passiva under sin utvandring kan man pröva olika beteendemönster genom att implementera egendefinerade funktioner vid tillämpning av ”particle tracking” på tidigare erhållna hastighetsfält. Dessa funktioner kan t.ex. baseras på hastighetsgradienter, accelerationer eller turbulens, se även 8.5.

7.3 Placering av intag till laxtrappa i kraftverkets avloppskanal

Simuleringar av intag till laxtrappa i kraftverkets avloppskanal skall genomföras. Först ska då inmätt strömningsmönster vid olika tappningar undersökas, och hypotesen är att laxtrappans intag skall läggas i en punkt vid vänstra stranden där huvudströmmen från avloppskanalen verkar träffa. Från fiskeundersökningen bör då ha bekräftats att fisken söker sig mot och förbi denna punkt. Därefter skall lockvattenmängd och –riktning simuleras, vid placering i denna punkt. Ett par andra placeringar bör också simuleras. Dessa simuleringar bör följas upp med fältförsök, t.ex. med hjälp av strömbildare eller kompletta fångstanordningar, vilka dels skulle bekräfta beräknat strömningsmönster, dels bekräfta att laxen verkligen lockas in.

7.4 Strömningsmönster i sammanflödesområdet vid olika tappningar

Simuleringar av strömningsmönster i sammanflödesområdet vid olika tappningar och vid ombyggd kanalisering av utloppet från gamla älvfåran kan genomföras för att se om man kan åstadkomma strömningsmönster som säkrare lockar in fisken. Det har t.ex. föreslagits att man skulle gjuta en betongmur med en eller två mindre öppningar för att då genom den ökade hastigheten i dessa skulle ge fisken starkare signaler i ytvattenströmmen. Ett annat tänkbart alternativ är någon form av kanalisering, fast kraftiga vårflöden brukar modellera om bottenpografien ganska radikalt, varför detta kan vara svårt.

7.5 Bekräftelse av att smolten driver med strömmen och inverkan av utskovstappningens storlek

Hypotesen att smolt i stort sett följer huvudströmmen (Rivinoja m.fl.^{xv} 2002)utför älven kunde bekräftas ytterligare genom att genomföra ”particle tracking” från

utsättningspunkterna vid de tappningsförhållanden som rådde vid utsättningarna och se om partiklar följer samma väg som den utvandrande smolten gjorde. Det går också att lägga in en viss ”vilja” i modellen av partiklarna, t.ex. att de simmar mot strömvektorn med en viss procentuell andel av vektorhastigheten (Adamsson et al.ⁱⁱⁱ, 2002). Inverkan av ytutskovstappningens storlek på smoltavledningen kan också modelleras med ”particle tracking”.

7.6 Utformning och längd på ”fångstarmar” för smolt

Med hjälp av ”particle-tracking” tekniken skulle man kunna bestämma nödvändig längd på eventuella fångstarmar. Genom att simulera byggda ändringar av botten (t.ex. bottenvallar) kunde man också undersöka hur strömningen eventuellt kan trängas in mer mot vänstra stranden av selet. En mer lokal simulering av fångstarmarnas utformning kunde också undersökas. Är det t.ex. möjligt att använda förankrade standardflytbryggor avsedda för småbåtshamna, förstärka effekten av armarna med strömbildare etc?

7.7 Tillbakafall av uppvandrad fisk

Strömningsmönstret uppströms laxtrappan då fisk faller tillbaka genom flodutskoven kommer också att simuleras för något fall då man konstaterat att lax fallit tillbaka över dammen efter passage av laxtrappan för att se hur övre mynningen av laxtrappan skall ändras.

8 Sammanfattning

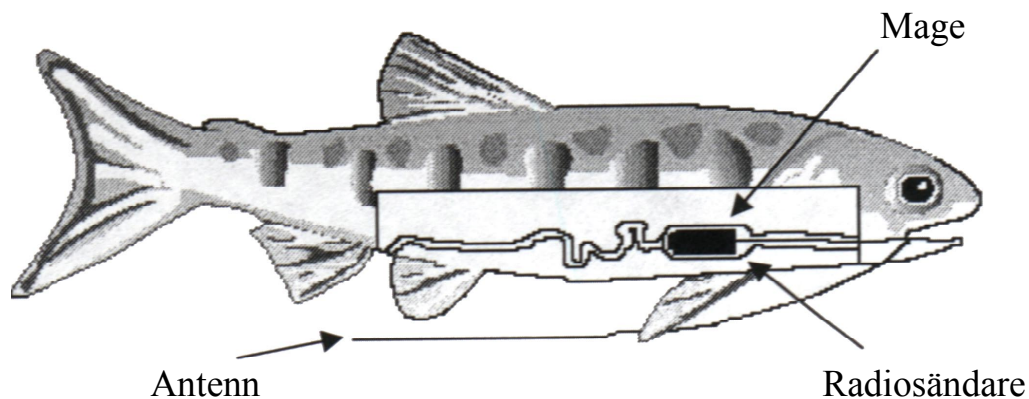
Målet med delprojektet om flödessimulering är att utveckla rutiner för simulering av strömningen i vattenvägarna för bedömning av föreslagna tekniska åtgärder för fiskpassage. Som modellvattendrag har Umeälvens nedre del valts. Här studeras förgreningsområdena uppströms och nedströms kraftverket vid Stornorrfors. Avsikten är att simulera strömningen i dessa områden för olika kända tappningar och jämföra strömningsmönstret vid de flödesfall då fisken vandrar rätt respektive fel. Som underlag för validering av simuleringarna finns omfattande data (ca 700 hastighetsprofiler) från hastighetsmätningar gjorda under år 2001 och 2002.

Modelleringen görs i en av de större och mest beprövade kommersiella CFD-programvarorna. Återgivningen av den relativt komplexa, naturliga, bottengeometrin i programvaran har emellertid visat sig innebära vissa svårigheter. I den inledande fasen har simuleringar gjorts på förenklade modeller i två och tre dimensioner. Dessa simuleringar ger en bra bild av det storskaliga strömningsmönstret vilket utgör ett bra underlag för fortsatt modelleringsarbete.

Referenser

- ⁱ Andersson, T. 1988. *Utveckling av Östersjöns laxbestånd under senare decennier. En utvärdering av laxkompensationsverksamhet*. PM Fiskeristyrelsen Utredningskontoret Härnösand.
- ⁱⁱ Sandström, H., K-A Wallin, B. Svensson, S. Westbergh och H. Lundqvist (2002) Förbättring av Lax- och Havsöringsbestånden i Vindelälven – Ett åtgärdsförslag, Rapport från Vindelälvens Fiskeråd, 2002-03-23
- ⁱⁱⁱ Adamsson Åsa, Virginia Stovin and Lars Bergdahl (2002): A bed shear stress boundary condition for storage tank sedimentation, Accepted by *ASCE Journal of Environmental Engineering*
- ^{iv} McKinnell, S., Lundqvist, H., Johansson, H. 1994. Biological characteristics of the upstream migration of naturally and hatchery-reared Baltic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture and fisheries management* 25, Suppl. 2, p.46-63.
- ^v Rodi, W.: Impact on Reynolds-average modelling in hydraulics. *Proc. R. Soc. Lond.*, Vol. 451, 1995, pp 141-164
- ^{vi} Crowder, D.W. and Diplas, P.: Using two-dimensional hydrodynamics models at scales of ecological importance, *Journal of Hydrology*, Vol. 230, Issues 3-4, 8 May 2000, pp 172-191
- ^{vii} Meselhe, E.A *et al.*: Numerical modeling for fish diversion studies, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 126, Issue 5, 2000, pp 365-374
- ^{viii} Meselhe, E.A. & Odgaard, A.J.: 3D Numerical Flow Model for Fish Diversion Studies at Wanapum Dam, *Journal of Hydraulic Engineering*. Nr 12, 1998, pp 1203-1214.
- ^{ix} CFD Lin, Fangbiao & Hecker, George E.: Evaluation of Hydraulic Conditions at a Fish Diversion System, *Hydro Vision* 2002. HCI Publications, Inc. USA, 2002.
- ^x Nicholas, A.P. & Sambrook Smith, G.H.: Numerical simulation of three-dimensional flow hydraulics in a braided channel. *Hydrological Processes*. Nr. 13, 1999, pp 913-929.
- ^{xi} Trumars, J. och Warringer, M.: *Strömningssimulering i sjöar och vattendrag för Universeum*, Examensarbete 2000:4, Vatten Miljö Transport, Chalmers, Göteborg
- ^{xii} Versteeg, H. K. & Malalasekera W. (1995): *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. Longman Group Ltd.
- ^{xiii} Rodi, W. (1993): *Turbulence Models and Their Application in Hydraulics, a State-of-the-Art review*. Rotterdam.
- ^{xiv} Brydsten, L. Abbing, K. 1997. Utvärdering av metod för kvantifiering av laxbestånd med hjälp av ekolod. Naturgeografiska Institutionen, Umeå universitet. Arbetsrapport 1997
- ^{xv} Rivinoja, P., Kiviloog, J., Brydsten, L, Leonardsson, K. och Lundqvist, H. (2002): Smoltens flödespreferens vid nedströmsvandring i området ovan Norrforsdammen, Ume älv 2002, Vattenbruk, SLU, Umeå.

Smoltens flödespreferens vid nedströmsvandring i området ovan Norrforsdammen, Umeälva år 2002.



Av: Peter Rivinoja¹, Jaan Kiviloog², Lars Brydsten³, Kjell Leonardsson¹ och Hans Lundqvist¹.

2002-12-18

¹ Institutionen för Vattenbruk, Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, 901 83 Umeå.

² Vatten Miljö Transport, Chalmers Tekniska Högskola, 412 96 Göteborg

³ Institutionen för Biologi Miljö och Geovetenskap, Umeå Universitet, 901 87 Umeå

Introduktion

Efter ett antal år i sötvatten genomgår anadrom lax (*Salmo salar*) och öring (*Salmo trutta*) ungar beteendemässiga, morfologiska och fysiologisk förändringar som medför nedströmsvandring (Hoar 1976, Thorpe 1994). Ett flertal yttre faktorer som t.ex. dagsljusets längd och vattentemperatur initierar denna förändring (Österdahl 1969; Eriksson & Lundqvist 1982) och åtskilliga studier har beskrivit de yttre faktorer som tidsmässigt påverkar fiskens migration (Jonsson & Ruud-Hansen 1985, Hvidsten *et al.* 1995). Dessa fiskar, som kallas smolt, bildar stim och vandrar nedströms mot havet under vår och försommar (Lundqvist *et al.* 1988). Många norrländsälvar har fortfarande en betydande smoltvandring men i reglerade älvar utgör kraftverk i nedre delar en mortalitetsfaktor. Dödligheten genom kraftverk är storleksberoende och stor fisk löper större risk att dödas, samtidigt ökar också dödligheten vid höga flöden genom kraftverk (Montén 1985). Norrländska kraftverk har normalt högst genomflöde under den markanta vårflod som vanligtvis förekommer i maj och juni, precis under den tid som smoltens förväntade nedströmsvandring sker. Detta leder sammantaget till att stor smolt som vandrar tidigt under vårfloden torde löpa störst risk att dödas i kraftverket om inte alternativa vägar för nedströmsvandringen finns. I Sverige har mycket få studier genomförts på utvandrande smolt och grundläggande biologisk kunskap kring nedströmsvandringen saknas. Denna kunskap krävs för att på sikt kunna förbättra överlevnaden i den reglerade miljön påverkad av dammar och turbiner.

Det primära målet med denna studie är att kartlägga lax- och öringsmoltens vandringsvägar mot Norrforsdammen eller Stornorrfors kraftverk. Vandringsvägen relateras till hydrauliska faktorer och bottenförhållanden. Genomförda hastighetsmätningar syftar till att erhålla hastighetsfördelningen i vertikalled under pågående smoltutvandringsstudier samt samla valideringsdata till en flödessimuleringsmodell. Med erhållet data om smoltens vandringar i förhållande till flöden kan man i framtiden förbättra smoltens överlevnad genom att styra dem i önskad riktning, antingen genom alternativa flödesregimer förbi kraftverk och damm eller via sk. smoltavledare i smoltens vandringsväg.

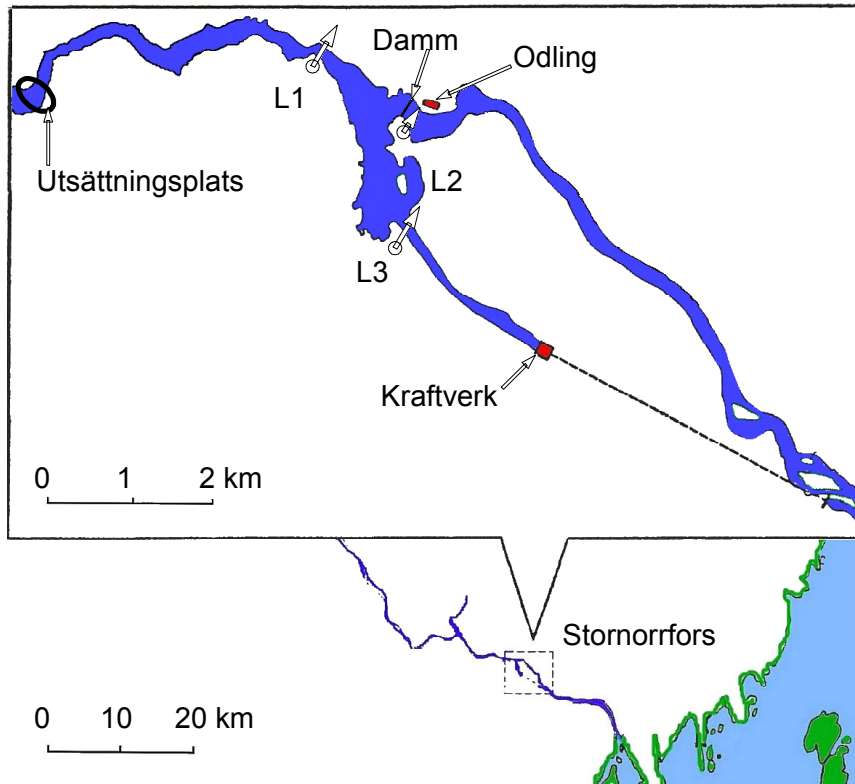
Material och metoder

Studieområdet

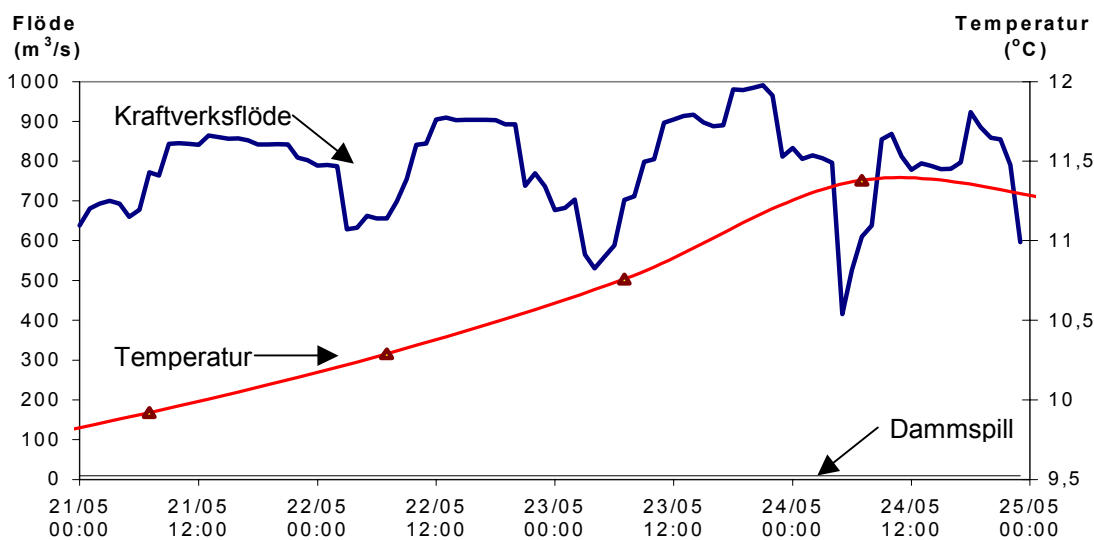
Umeälven och biflödet Vindelälven mynnar i Bottniska viken (63°50'N 20°05'E) och bägge vattendragen har sina källflöden vid norska gränsen ca 450 km från kusten. Vindelälven som är helt oreglerad rinner in i den för kraftproduktion helt nyttjade Umeälven ca 40 km från mynningen och ca 8 km uppströms den nedersta dammen i anslutning med kraftverket i Stornorrfors. En fisktrappa vid dammen i Norrfors möjliggör laxens vandring från havet till reproduktionsområden i Vindelälven. Normalt dirigeras huvuddelen av vattnet från Ume/Vindelälven till kraftverket för att senare flyta via en tunnel och utloppskanal tillbaka till Umeälven nedströms. En del vatten spills dock i den gamla älvfåran.

Området i denna studie utgörs av de reglerade delarna av Umeälven från Norrforsdammen och ca 5 km uppströms (figur 1). Denna sträcka utgörs av både kraftigt strömmande partier och stora sel. Högst upp, vid fiskens utsättningsplats, återfinns en 1,6 km lång fors med kraftigt strömmande vatten, denna sträcka efterföljs av ett 2 km långt selområde. Efter detta kommer ytterligare ett område med stark vattenström, ca 1 km långt, som sträcker sig ner mot Norrforsdammen. Älven bildar efter detta två grenar där ena grenen utgörs den gamla älvfåran nedströms Norrforsdammen och den andra grenen utgörs av en sjöliknande miljö med en sprängd kanal i nedersta delen mot Stornorrfors kraftverk. Under tiden för denna studie, från 21 t.o.m. 24 maj, spilldes 10 m³/s från dammen och det genomsnittliga flödet genom kraftverket uppgick till 789 m³/s (figur 2). Flödet över dammen var således det

minimala föreskrivet av vattendomen. Kraftverket uppvisar signifikanta skillnader i högre dagflöde med ett medel på 865 m³/s (tiden mellan 09:00-21:00) och lägre nattflöde, medel 714 m³/s (21:00 och 09:00). Under hela år 2002 har Umeälvens vattenföring varit låg och den normala vårfloden uteblev under tiden för denna studie. Inom försöksperioden har Umeälvens vattentemperaturen ökat från ca 9,6 °C till ett maximum på 11,4 °C.



Figur 1. Det studerade området ovan Norrforsdammen. Fisken sattes ut ca 4,8 km ovan dammen på bägge sidor av älven fördelade inom den markerade ringen. De tre automatiska pejlstationerna som nyttjats i studien (loggrarna) är markerade med L1-L3.



Figur 2. Hydrologiska data från Umeälven under försöksperioden. Vattenföringen är uppmätt på timbasis av Vattenfall AB. Daglig temperaturangivelse har erhållits från Norrfors fiskodling. Kraftverksflödet varierar över dygnet medan dammspillet är konstant.

Mätning av vattendjup och bottensediment

Mätning av vattendjup och bottensubstrat genomfördes i huvudsak under juni och juli år 2001. Den totala längden av det studerade området i älvens djupaste delar uppgick till ca 2,800 km och arean ca 1,15 km², av säkerhetsskäl mättes inte området närmast kraftverkets intag.

För mätningar av vattendjupet användes ett digitalt ekolod av typen Simrad EQ32 Mk 11 tillsammans med DGPS (Trimble Pro XR) positioneringssystem kopplad till bärbar dator (Itronix GoBook) med ESRI (ArcPad real time GIS) programvara. För varje mätning uppdaterades GPS-positionen (1 gång per sekund) och x- och y-koordinater (longitud och latitud) registrerades tillsammans med z-koordinat (vattendjup) från ekolodet. Totalt registrerades ca 11000 mätningar av vattendjupet. Dessa värden applicerades till GIS (Geografisk informationssystem) i ett separat lager. Värdena baserades i förhållande till strandlinjen (0 meters vattendjup) och höjden över havet efter nationella data, samtidigt antogs att vattennivån var konstant 75 m ö.h. under mätperioden. Samlade data transformerades efter metoden Ordinary Kriging interpolation med ArcView GIS och ett variogram ställdes upp efter ett rutnät med 10x10 meters rutor.

Vid analys av bottentypen användes ovannämnda ekolod tillsammans med en 200-kHz givare monterad på en aluminiumkapsel vilket medför bra upplösning för studier av bottensediment. Ekolodet kalibrerades över tidigare studerade områden i Umeälven. Mätningar genomfördes i transekter av 100 meter i nord-sydlig riktning och väst-östlig riktning och sedimenttyperna som registrerades genom variation i signalstyrka och baserades på GPS information lagrades i bärbar dator. Speciellt fem observerade karakteristiska var av vikt vid utformningen av ekogrammet: 1) grovleken på linjens yta, 2) linjens tjocklek, 3) linjens färg, 4) förekomsten av vit linje och 5) dubbeleko. Dessa karakteristiska skilde sig mellan sedimenttyper och fick utgöra grunden vid senare sedimenttypsbestämning.

Mätning av hastighetsprofiler

Då en fullständig kartläggning av hastigheterna mellan de två stationära loggrarna L1 och L3 ej var möjlig utfördes mätningarna istället i området uppströms förgreningen mot dammen. Vid tiden för mätningarna den 23 maj 2002 17:00-19:00 varierade flödet genom kraftverket mellan 890 m³/s och 980 m³/s. Följande mätutrustning användes: DGPS-system (MicroLogr Pro, bestående av bl.a. Ashtech G 12 GPS och Aztec RXMAR1 DGPS), akustisk dopplerprofilerare (ADP, Nortek 1,5 MHz). Mätningarna genomfördes från ankrad båt längs huvudfåran (figur 4) där den högsta strömmen förväntas. Mätaren, ADP:n användes nedåtriktad med de akustiska membranerna ca 5 cm i vattnet. Registrering av vattenhastighet lagrades i en bärbar dator med programvaran NDPSA ver. 3.50 samtidigt positionsbestämde platsen med DGPS. Vid mätningarna eftersträvades det långa mättider för att utjämna de turbulenta fluktuationerna, normalt 90-180 sekunder per profil. ADP:n som användes möjliggjorde direkt registrering av mätdata i önskad koordinatform, dvs i nord- och östlig riktning samt i vertikalled. ADP:n har även inbyggd temperaturgivare för beräkning av aktuell ljudhastighet i vattnet.

För varje mätpunkt har en fil skapats ur vilken mätdata i efterhand har extraherats för bearbetning. Kvaliten på hastighetsmätningen ges bl.a. av signalbrusförhållandet som enligt Nortek ska vara större än 5 dB för mätdata insamlad i standardläge.

Radiomärkning av smolt

Vid Norrfors fiskodling märktes 22 laxar och 22 öringar (tabell 1) med individuellt kodade inre radiosändare (ATS, modell F1410) den 21 maj. Varje enskild sändare väger 1 gram och är 7 mm i diameter och 15 mm i längd, batterilivslängden är 20 dagar. MS-222 användes för bedövning av fisk vid märkningen och sändaren applicerades försiktigt in i

fiskens mun och fördes in i magen enligt metod beskriven av Adams *et al.* (1998), se figur av radiomärkt smolt på försättsblad. Metoden anses inte påverka fiskens överlevnad eller vandringsbeteende negativt (Hockersmith *et al.* 2000). Samtliga fiskar mättes till närmaste mm i totallängd och hanteringstiden för varje fisk var ca 1-2 minuter. Den genomsnittliga längden för respektive fiskart redovisas i tabell 1.

Den 22 maj, ett dygn efter märkningen av öring, och den 23 maj, två dygn efter märkningen av lax, sattes fisken ut ca 4,8 km uppströms Norrforsdammen på bägge sidor av älven. Bägge utsättningarna gjordes kl. 18:00. Samtidigt med de märkta fiskarna sattes 50 omärkta fiskar ut vid respektive utsättningstillfälle. Totalt fördelades alltså 36 fiskar (11 märkta och 25 omärkta) på respektive sida av älven vid respektive tillfälle. Båtpejlingen med ATS RS 2100-radioenhet (4-elements Yagi-antenn) och Televilt RX 89104 påbörjades direkt efter fiskutsättning. Samtidigt med manuella pejlingar användes tre fasta automatiska pejlstationer sk. loggar (LOTEK SRX-400 med 9-elements Yagi). Utrustningen som använts vid radiopejling i denna studie finns tidigare beskriven av Rivinoja *et al.* 2001. Logger 1 placerades på en udde med kraftig ström ca 4 km nedströms utsättningsplatsen, logger 2 strax nedan Norrforsdammen ca 5 km nedströms utsättningsplatsen och logger 3 placerades strax utanför kraftverkets intagskanal ca 6 km nedströms utsättningsplatsen. Antennerna på logger 2 och 3 riktades så att man med god precision skulle kunna registrera fiskarna i de respektive sidogrenarna (gamla älvfåran eller kraftverkets intagskanal). Vid de manuella pejlingarna positionerades fisken till en precision av ca 5 x 5 m.

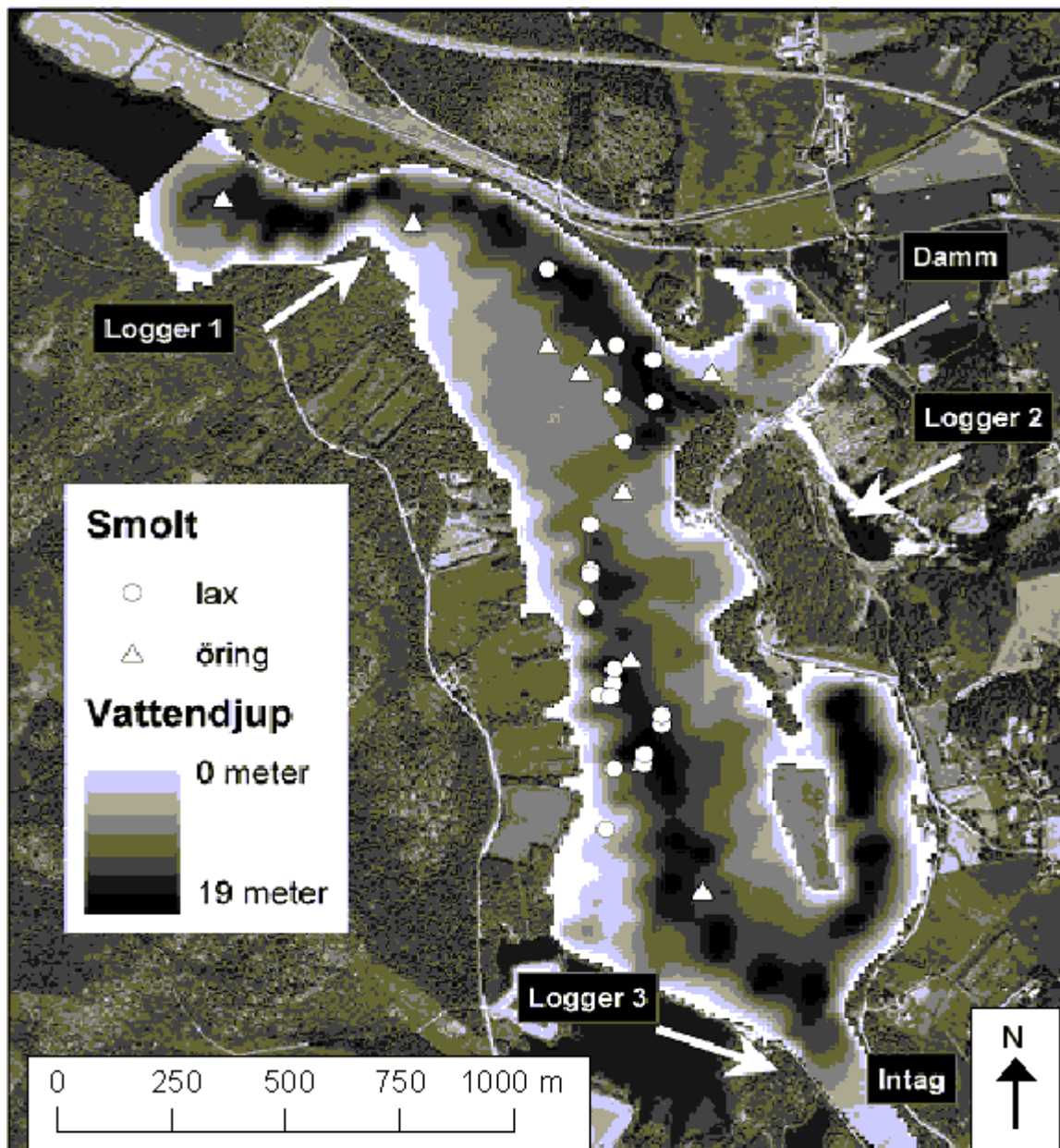
Tabell 1. De märkta fiskarnas längdfördelning visar att öringen är större än laxen (signifikant skillnad föreligger, $p < 0,05$).

Art	Antal	Medellängd, mm (min-max)
Lax	22	192 (175-218)
Öring	22	244 (217-286)

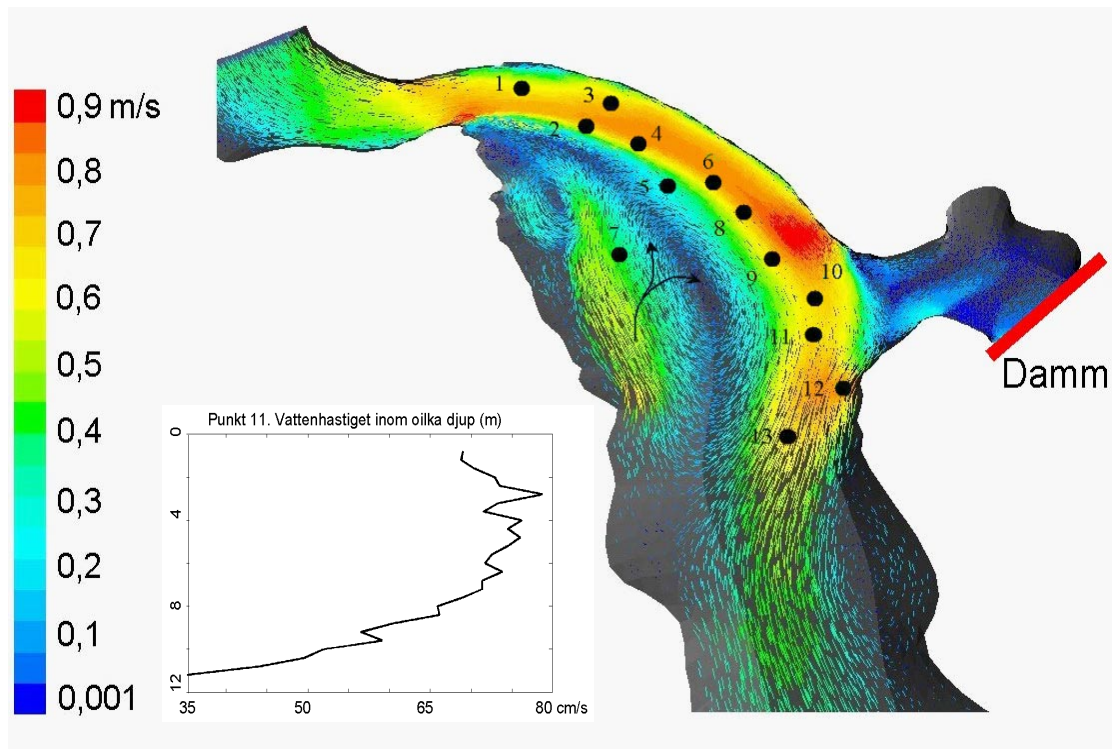
Resultat och diskussion

Efter att fiskarna satts ut i älven började de flesta vandra nedströms inom en relativt kort tid. Öringen upprätthöll sig något längre tid än laxen på utsättningsplatsen och färre öringar påbörjade en nedströmsvandring. Totalt 16 av 22 öringar och 21 av 22 laxar vandrade mer än 1 km nedströms. Fiskarna har vid ett flertal tillfällen positionerats manuellt inom en yta av 5x5 m (figur 3). Merparten av de nedströmsvandrande öringarna registrerades på logger 1 mellan 20:00-22:00, 12 st öringar ger medianvärdet 20:44. Efter detta registrerades 4 fiskar som anlände mellan 00:00-11:00. Efter att öringarna registrerats på denna logger simmade de mot kraftverket och registrerades på logger 2, också här noteras 2 grupper av öringar där första gruppen anlände 21:49 (median) och andra gruppen 06:35. Sammanfattningsvis konstateras alltså att den snabbaste gruppen av fisk vandrat nedströms med en hastighet av ca 0,4 m/s (1,5 km/tim) i den övre delen av älven och ca 0,6 m/s (2 km/tim) i nedre delen mot kraftverket. Motsvarande tider för laxen visar liknande resultat. De manuella pejlingarna i området kring dammen och kraftverket visar tydligt att fisken uppehåller sig kring huvudfåran vid nedströmsvandring. Om man jämför fisken simhastighet med uppmätta vattenhastigheter tyder det på att smoltens nedströmsvandring är passiv och att de sveper med huvudströmmen. För närvarande kan vi inte utvärdera fiskens position i djupled och således inte exakt visa om nedströmsvandringen är helt passiv eller om aktiv simning förekommer. En del studier har pekat på att nedströmsvandring av smolt huvudsakligen är passiv (Nothcote 1962) medan andra har visat att aktiv simning förekommer (Fängstam 1993). Den låga vattenföringen över

dammen innebar att inga av de radiomärkta fiskarna vandrade in mot dammens område utan samtliga fiskar som påbörjade vandring från utsättningsplatsen gick in i kraftverket. Vid ett högre spillflöde över dammen förväntas nedströmsvandrande fisk i högre grad nyttja denna vandringssväg, huruvida det finns ett minimum av spillflöde återstår dock att utreda. Smoltens vandringssväg skulle också kunna styras med sk. smoltavledare som placeras i älven och styr fisk i önskad riktning. Dessa studier genomfördes under den tid då Norrfors fiskodling släpper ut odlad smolt och sammanfaller troligtvis med den förväntad vandringstid för vild smolt och således förväntas samma utvandringssmönster för vild fisk.



Figur 3. Djupförhållandet inom det studerade området och fiskens positioner vid manuell pejling. Huvudfåran, som tydligt sammanfaller med uppmätta djupförhållanden, sveper i början av det uppmätta området mot nordöstra stranden varefter den byter sida mot sydvästra. I huvudsak har radiomärkta fiskar lokaliserat sig över de djupare områdena där huvudfåran återfinns, inga skillnader mellan lax och öring har noterats



Figur 4. Vattenflödesmodell av området kring Norrforsdammen. Huvudtrömmen följer ett område relativt nära älvgränsen mot dammen. Under studien uppmättes låg strömshastighet närmast dammen. I figuren visas mätpunkterna (nr 1-13) samt fartprofil för punkt 11. Maximal hastighet nås några meter under vattenytan.

Genomförda mätningar av bottenprofilen visar ett maximalt djup på ca 19 m, med stor djupvariation inom det studerade området (figur 3). Tydligt framgår att de djupaste områdena återfinns där huvudfåran går. Sedimentanalyserna uppvisar endast två olika typer av bottenstrukturer inom det studerade området, 1) grovsand och grus över 0,5 mm i storlek, samt 2) sand och partiklar under 0,5 mm i storlek. Fördelningen av sediment på botten visar att grövre partiklar (> 0,5 mm) i huvudsak förekommer i områden med högre vattenhastighet i huvudfåran och mot dammen. Silt och finare sand återfinns strandnära på områden med låg strömshastighet.

Mätningar av vattenhastigheten avslöjar att flertalet mätpunkter har hög och relativt konstant strömshastighet de översta metrarna (0 - 5 m) varefter den avtar med ett ökande djup. De högsta vattenhastigheterna återfinns i huvudfåran där maxhastigheterna varierar mellan ca 1,0 m/s i punkt 1 och 0,5 m/s i punkt 13 (figur 4). En typisk hastighetsfördelning utgörs av mätningen i punkt 11.

Tackord

Stort tack till Bo-Sören Wiklund för hans ovärderliga insatser och tekniska kunnande. Vi tackar också Vattenfalls fiskodlingspersonal för ett mycket gott samarbete och för lån av båt. Denna studie finansierades med bidrag från Statens Energimyndighet och Vattenfall.

Referenser

- Adams, N.S., Rondorf, D.W., Evans, S.D. and Kelly, J.E. 1998. Effects of surgically and gastrically implanted radio transmitters on growth and feeding behavior of juvenile chinook salmon. *Trans. Am. Fish. Soc. Vol. 127, no. 1: 128-136.*
- Eriksson, L.-O. and Lundqvist, H. 1982. Circannual rhythms and photoperiod regulation of growth and smolting in Baltic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture 28: 113-121.*
- Fångstam, H. 1993. Individual downstream swimming speed during the natural smolting period among young of Baltic Salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Zool. 71,9: 1782-1786.*
- Hoar, W.S. 1976. Smolt transformation: evolution, behaviour, and physiology. *J. Fish. Res. Board. Can. 33: 1234-1252.*
- Hockersmith, E.E., Muir, W.E., Smith, S.G. and Sandfjord, B.P. 2000. Comparative Performance of Sham Radiotagged and PIT-tagged Juvenile Salmonids. *US Army Corps of Engineers, Walla Walla District. Contract W66QKZ91521282. January 2000.*
- Hvidsten, N.A., Jensen, A.J., Vivaas, H., Bakke, Ø. and Heggberget, T.G. 1995. Downstream migration of Atlantic salmon smolts in relation to water flow, water temperature, moon phase and social interaction. *Nord. J. Freshwat. Res. 70: 38-48.*
- Jonsson, B., and Ruud-Hansen, J. 1985. Water temperature as the primary influence on timing of seaward migrations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 593-595.*
- Lundqvist, H., Clarke, W.C. and Johansson, H. 1988. The influence of precocious sexual maturation on survival to adulthood of river stocked Baltic salmon, *Holarctic Ecology 11, 60-69.*
- Montén, E. 1985. *Fisk och turbiner*, Vattenfall, 1985, ISBN 91-7186-243-9.
- Northcote, T.G. 1962. Migratory behaviour of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in outlet and inlet streams of Loon lake, British Columbia, *J. Fish. Res. Board Can. 19:201-270.*
- Rivinoja, P., McKinnell, S. and Lundqvist, H. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish river caused by a hydro electric power-station. *Regulated Rivers Research & Management 17: 101-115.*
- Thorpe, J.E. 1994. An alternative view of smolting in salmonids. *Aquaculture, 121: 105-113.*
- Österdahl, L. 1969. The smolt run of a small Swedish river. In Northcote, T.G. (ed.) *Salmon and trout in streams*. H.R. MacMillan Lectures in Fisheries, University of British Columbia Press, : 205-215.

Figuren på första sidan är omarbetad ur Hockersmith *et al.* 2000.



Förbättring av Lax- och Havsöringbestånden i Vindelälven- Ett åtgärdsförslag_____

Henrik Sandström, Kjell-Ali Wallin, Björn Svensson, Stig Westbergh
och Hans Lundqvist

Rapport från
Vindelälvens Fiskeråd
2002-03-23



VATTENFALL 



Förbättring av Lax- och havsöringbestånden i Vindelälven- Ett åtgärdsförslag

Henrik Sandström, Vindelälvens Fiskeråd, Gryningsvägen 25, 906 37 Umeå
Kjell-Ali Wallin, Vattenfall AB, Björkvägen 19, 960 30 Vuollerim
Björn Svensson SwedPower AB, P.O. Box 527, 162 16 Stockholm
Stig Westbergh, Vindelälvens Fiskeråd, Fäbodarna 11, 922 91 Vindelå
Hans Lundqvist, Vattenbruksinstitutionen, SLU (Sveriges
Lantbruksuniversitet), 901 83 Umeå

Vill du läsa rapporten direkt:

www-umea.slu.se/fisk/sve/information/

Förord

Föreliggande rapport syftar till att ge förslag till förbättringar som långsiktigt ska hjälpa vandringsfiskbestånd av lax och havsöring i Vindelälven att passera det komplexa kraftverkspåverkade området kring Stormnorfors i Umeälven. Laxen och havsöringen måste, som ni kanske redan vet, passera Umeälvens nedre del för att hitta sina lekplatser i det stora biflödet Vindelälven. Rapporten delger de hittillsvarande erfarenheterna över den fiskbiologiska forskningen och undersökningar som ligger till grund för en tydlig aktionsplan.

Vindelälvens Fiskeråd tillsammans med Vattenfall och SLU är ansvariga för rapportens Utformning. Rapporten har finansierats av Vattenfall AB.

Särskilt vill jag tacka våra amerikanska fiskforskare från National Marine Fisheries Service, Seattle, som med sina gedigna insatser möjliggjorde den här rapportens existens. Reidar Grande från Trondheim, Norge, har fungerat som nordisk expert.

Ann Salomonsson, som översatte den amerikanska slutrapporten gjorde ett mycket gott arbete i kraftverksterminologins djungler.

Jag hoppas att den här rapporten kommer att vara det redskap som får oss alla, fiskerättsägare, kraftproducenter, allmänheten och framförallt Vindelälvens vandringsfisk att tro på framtiden för kommande generationer av fisk. Jag vill tacka alla som deltagit i gruppens arbete och gett det positivta arbetsklimat som kännetecknats av ”informell och konstruktiv anda”.

Ordförande
Henrik Sandström
Vindelälvens Fiskeråd



Slutsatser och rekommendationer

På basis av det underlagsmaterial, som tagits fram under arbetets gång och de dokument och studier, som genomförts i Ume/Vindelälven och på andra håll, har arbetsgruppen kommit fram till följande slutsatser och rekommendationer.

Vi konstaterar att miljöförhållandena i nedre delen av Umeälven är väl beskrivna. Också havsöringens ekologi och beteende är väl kända, men när det gäller lokala förhållanden behövs viss kompletterande kunskap.

Frågeställningar, som rör vandringsfiskens förutsättningar i Ume/Vindelälven och potentiella lösningar för att underlätta dessa arters förflyttningar i vattendraget är kartlagda. Rapporten tar dock inte hänsyn till den ekonomiska nyttan av att genomföra fiskerelaterade förbättringar i det aktuella området, utan tar sikte på att över huvud taget bedöma vilka förbättringar, som skulle kunna öka tillgången på fisk i Vindelälven.

Den amerikanska rapporten (bilaga 1) innehåller konkreta förslag till insatser, vars syfte och utformning har konfirmerats av Reidar Grande (bilaga 2). Förslagen omfattas av arbetsgruppen. Arbetsgruppen anser att, med nuvarande situation för havsvandrande fiskar i Sverige och Östersjön, insatserna är nödvändiga om bestånden av lax och havsöring skall kunna öka och fisket i Vindelälven på dessa arter utvecklas. Vi bedömer att åtgärder som ökar uppvandringen av vuxen fisk till Vindelälven får störst nytta.

Studier av lax på sträckan Umeälvens mynning till fisktrappans vid Stornorrfors uppströmsdel har identifierat de platser där fisken kan begränsas i sin vandringsframgång. Störst betydelse får av allt att döma åtgärder, som kan underlätta laxens möjlighet att passera denna sträcka; i synnerhet området vid tunnelutloppet från kraftstationen.

Med tanke på att olika åtgärder kan utgöra alternativa lösningar på ett givet problem och att dessa åtgärder varierar i både omfattning och kostnad ser arbetsgruppen att det görs en kvantitativ bedömning av utfallet av en given åtgärd. För detta ändamål föreslår arbetsgruppen att det i Umeälvens mynningsområde sker en märkning av ett större antal fiskar än som hittills märkts, för att återfångstuppegifterna skall kunna leda till en bättre bedömning av uppvandningsframgången än den vi kan göra idag. Resultatet av tidigare märkningsförsök bör då ånyo analyseras.

Av särskilt stor betydelse när det gäller fortsatta studier är det förslag till utvidgade telemetriundersökningar, som beskrivs i bilaga 1.

Ett annat förhållande av betydelse för val av åtgärd är förekomsten av främmande fiskar i Umeälvens mynning. Också detta bör belysas ytterligare med hjälp av genetiska analyser av de fiskar som uppehåller sig vid tunnelutloppet. Denna studie bör utsträckas i tiden så att det temporära uppträdandet av olika typer blir fastställt. Skälet för detta är att möjligheten till insamling och upptransport av fiskar som permanent eller tillfällig åtgärd försvåras om det skulle öka risken att få en ytterligare uppblandning av Vindelälvens bestånd av lekfisk.

Arbetsgruppen fastslår att det ännu inte gjorts en tillfredsställande värdering av den nuvarande fisktrappans funktion. Detta bör också snarast göras.

Utöver fysiska hinder för laxfiskars uppvandring till Vindelälven vill arbetsgruppen också peka på att det kan finnas andra typer av hinder för framgången, t.ex. den effekt på vandringsförmågan, som förekomst av M74 kan innebära.

När det gäller smoltens utvandring och som underlag till beslut om eventuella åtgärder, som syftar till att avleda dessa fiskar från kraftstationens vattenvägar, behövs fördjupad kartläggning av smoltens beteende avseende vandringstider och vandringsvägar. Det är inledningsvis önskvärt att märkning av smolt uppströms dammen görs och att andelen smolt, som passerar genom gamla älvfåran, blir kvantifierade. Kvantifiering av smoltförlusterna av både lax och havsöring bör också göras.

Förekomsten av så kallade ”fallbacks” (dvs. frisläppt lax från fisktrappan, vilka faller över dammen vid spill) och möjligheten till åtgärder för att minska antalet sådana fiskar ges nu lägre prioritet jämfört med uppvandringen av vuxen fisk och smoltutvandringen.

Arbetsgruppen anser också att, till de förslag om vad som närmast bör göras, också skall fogas en analys av betydelsen av de differentierade spill, som studeras i särskild ordning.

De fortsatta undersökningar, som arbetsgruppen förordar, har ett så stort allmänt intresse, att en bred finansiering av deras genomförande är önskvärd.

Arbetsgruppen bedömer att förbättringar av fisket, på sätt som beskrivs i denna rapport och med erfarenhet av hur vårt arbete hittills bedrivits, effektivast sker om de genomförs i den informella anda som präglat denna grupps arbete.

Luleå 2002-03-22

Henrik Sandström (ordf.)
Vindelälvens fiskeråd Vindelälvens fiskeråd

Stig Westbergh

Hans Lundqvist
Sveriges Lantbruksuniversitet

Kjell-Ali Wallin
Vattenfall AB

Björn Svensson
SwedPower AB

INNEHÅLL

INLEDNING	7
UPPDRAGET	7
ARBETET	8
HISTORIK	9
DEN VILDA LAXENS OCH HAVSÖRINGENS STATUS I ÖSTERSJÖN/BOTTNISKA VIKEN MED TILLRINNANDE ÄLVAR	11
BESKRIVNING AV UMEÄLVENS NEDRE DEL	12
HYDROLOGI	13
STORNORRFORS OCH DEN VILDA LAXENS SITUATION I UME- VINDELÄLVEN	14
UMEÄLVENS ODLADE OCH VINDELÄLVENS VILDA LAX	16
SAMMANSTÄLLNING AV 5 ÅRS STUDIER GÄLLANDE LAXENS VANDRING I NEDRE DELEN AV UMEÄLVEN.....	17
GENETISKA ANALYSER AV LAX I UMEÄLVENS NEDRE DEL	18
Tunnelutloppet.....	18
Laxtrappan.....	19
LITTERATUR	20

BILAGA 1(a): Ferguson, J.W., Williams, J.G., and E.Meyer. Recommendations for improving fish passage at the Stornorrfor Power Station on the Umeälven, Umeå, Sweden. National Marine Fisheries service, Fish Ecology Division, Seattle, Wa, USA (43 pages)

BILAGA 1(b): Svensk översättning av Ferguson, J.W., Williams, J.G., och E.Meyer. Rekommendationer för förbättringar av fiskpassagen vid Stornorrfor kraftverk i Umeälven, Sverige, National Marine Fisheries service, Fish Ecology Division, Seattle, Wa, USA (41 sidor)

BILAGA 2: Grande, Reidar. Uttalelse fra R.Grande vedrørende gjennomgang av rapport Ferguson, J.W et al (12 mars 2002) (5 sidor) (på norska)

BILAGA 3: Lundqvist, H., Westbergh, S., Wallin, K-A., Svensson, B., och H. Sandström. Diskussion och litteratursammanställning kring tänkbare fiskvandring-lösningar för Stornorrfor kraftstation i Umeälven - rapport från studieresa längs Columbiafloden i maj 2001

Inledning

Vandringsfiskar är arter som tillbringar en del av sitt liv i sötvatten och en annan del i havet. Deras naturliga existens är beroende av obrutna vägar mellan de miljöer där olika livsstadier uppehåller sig. Många vandringsfiskar har haft stor betydelse för folkhushållet; är fortfarande högt värderade av fiskare och utgör viktiga inslag i praktisk naturvård.

Vattenkraftens utbyggnad har medfört många miljöförändringar och har haft särskilt stora konsekvenser för vissa vandringsfiskar såsom lax och havsöring. I flera älvar uppehåller man numera produktionen av unga vandringsfiskar genom odling. De flesta naturliga lekplatser är i sådana vattendrag försvunna på grund av överdämning eller torrläggning. Dammar och kraftstationer utgör dessutom i många fall definitiva vandringshinder.

Några få stora svenska älvar, som utnyttjas för kraftproduktion, hyser fortfarande bestånd av naturligt förökande vandringsfiskar. Dit hör den starkt reglerade Umeälven med sitt oreglerade biflöde Vindelälven. För att nå Vindelälven måste emellertid den lekmogna fisken ta sig förbi Stornorrfors kraftverk i Umeälvens nedersta del och yngel passera samma kraftverk på sin utvandring i havet. Det finns ett starkt intresse av att underlätta för fisken under dessa förflyttningar. Denna rapport analyserar hur kompletterande åtgärder till de som redan skett vid Stornorrfors skulle kunna utformas för att gynna i synnerhet laxbeståndet.

Uppdraget

Under hösten 2000 formerade Vattenfall AB, Vindelälvens Fiskeråd samt SLU en gemensam arbetsgrupp med uppdraget att analysera förutsättningarna och föreslå åtgärder för att ytterligare öka uppvandringen av lax till Vindelälven. Uppdraget begränsades till åtgärder i anslutning till Stornorrfors kraftverk i Umeälven. I uppdraget ingick också att etablera kontakt med internationella experter på laxvandring och att få deras syn på vilka åtgärder, som kan förbättra passagen av fisk vid Stornorrfors. För denna del av uppdraget kontaktades National Marine Fisheries Service (NMFS) i Seattle, USA, som bl a svarar för undersökningar och åtgärder kring stillahavslaxars vandring och reproduktion i Columbiafloden.

Arbetet inriktas på att bedöma och vid behov ange de tekniska och biologiska möjligheter / förutsättningar för att fisken skall uppvandras, fortplanta sig och utvandras enligt nedanstående punkter, så att det långsiktiga hållbara bevarandet och nyttjandet av fiskresursen om möjligt kan förbättras.

Det här presenterade förslaget är resultatet av en åtgärdsinriktad analys av problemen kring:

- Dödlighet hos utvandrande lax och öringsmolt vid passage av kraftverket i Stornorrfors, jämfört med tidigare och naturliga förhållanden.

- Förekomst av eventuell felvandring hos vuxen lekfisk av lax och öring nedanför kraftverkskanalens utlopp i Umeälvens nedre del och omfattningen av denna.
- Förekomst av s.k. "fallbacks", d.v.s. om lax som vandrat upp genom fisktrappan omedelbart följer spill i utskov och återbördas nerströms.

Rapporten beskriver fiskvandringen i Umeälvens nedre del och innehåller förslag till möjliga förbättringar. Den baseras på dokument och observationer av rådande miljöförhållanden; dock utan att göra anspråk på att heltäckande beskriva resultatet av alla tidigare studier inom området. Rapporten bedömer heller inte betydelsen av naturliga faktorer relativt av människan tillskapade förhållanden av betydelse för fiskvandringen. Den tar heller inte upp andra begränsningar, såsom tillgången på lämpliga lekområden, vilken också kan påverka laxbeståndets storlek. Rapporten försöker särskilt inte kvantifiera antalet upp- eller nerströmsvandrande laxar, som skulle ha passerat Stornorrfors om där inte fanns dammar eller andra vattenkraftsanordningar.

Arbetsgruppen har haft följande sammansättning:

Henrik Sandström (ordförande), Vindelälvens fiskeråd
 Kjell-Ali Wallin, Vattenfall AB
 Björn Svensson, SwedPower AB
 Stig Westbergh, Vindelälvens fiskeråd
 Hans Lundqvist, Vattenbruksinstitutionen, Sveriges lantbruksuniversitet

Arbetet

Arbetsgruppen har gjort en omfattande genomgång av vandringsfiskens situation i nedre Umeälven. En sammanfattning av de viktigaste observationerna och slutsatserna av vårt uppdrag redovisas nedan. I arbetet har också ingått ett studiebesök (maj 2001) till nordvästra USA (Columbiafloden) för att där diskutera gemensamma fiskvandringsproblem med ledande biologer och tekniker från framför allt NMFS under ledning av Dr. Michael Schiewe (Director Fish Ecology Division), NWFSC (National Marine Fisheries Science Center under ledning av Dr. Usha Varanasi, Science and Research Director), samt NWFSC (North West Fisheries Science Center under ledning av Dr. Brian J. Brown, Assistant Regional Administrator, Northwest region Hydro Program). Huvuddelen av diskussionerna genomfördes vid NMFS' huvudkontor i Seattle. Fältbesök företogs vid bl.a. kraftverk i Columbiaflodens nedre del (Bonneville Power Administration). Gruppens slutsatser av USA-resan med kopplingar till situationen i Umeälvens nedre del ges i bilaga 3. I bilaga 3 presenteras också principiella lösningar för problem som aktualiserats i Umeälven samt vetenskaplig litteratur som vi delgavs i USA.

Vid besöket i USA bjöd vi också in forskare från NMFS att besöka Umeälven. Gruppen från USA, förstärkt med Reidar Grande från Direktoratet for naturforvaltning i Trondheim, utgjordes av

John Ferguson (NMFS, NWFSC, Seattle)
 John Williams (NMFS, NWFSC, Seattle)

Ed Meyer (NMFS, NWFSC, Portland)

Den internationella gruppen genomförde sitt studiebesök i augusti 2001. Deras slutsatser och förslag, som bygger på både observationer i fält och skrivna dokument, redovisas i bilaga 1.

I samband med att arbetsgruppen inledde sin verksamhet hölls en serie av informationsträffar med dels berörda fiskerättsägare och deras lokala organisationer; dels med de berörda kommunernas företrädare.

Historik

I Lantbruks-Akademiens Tidskrift 1868, berättar Carl Byström ”Om fisket i Umeå elf och Skärgård”. Han blickar bakåt och nämner bl a ”att som bevis för fiskets godhet i forna dagar anföres att år 1824 erhöles i Öhns fiske 511 laxar på en dag, nemligen midsommarafon, samt ofta 3 a 400 laxar för dagen”. Laxtillgången i Umeälven under denna tid var så god att laxpriset var 83 öre per lispund (8,45 Kilo), dvs. nästan tio öre kilot. Av orsaker, som ännu inte är kartlagda fullt ut, uppvisar emellertid Östersjöns laxbestånd betydande fluktuationer. Beståndsstorleken varierar både mellan år och med stora svängningar över längre perioder ((Lindroth 1984)). När fisket, under senare delen av 1800-talet, inte erbjöd samma höga fångster i Umeälvens nedre del, hördes klagomål om det dåliga fisket och orättvisa skattesystem för fiskerättsinnehavarna. Laxfiskestatistik visar emellertid att laxtillgången idag (sedan 50-talet) är tillbaka på 1800-talets nivå. Största fångsterna av lax tas emellertid numera i havet och inte, som i forna dar, vid älvfiske.

Vandringsfisken har en lång historia i Umeälven. Kanske uppstod ett havsvandrande bestånd redan strax efter istiden för ca 8.500 år sedan. Vandringsfiskens betydelse för folkhushållet är uppenbar i vår historia. Gustaf Vasas regalrättsliga krav såg redan på 1540-talet till att Norrlands stora fisken hamnade under ”kronans” kontroll. De fiskarter som Gustav Vasa förbehöll kronan var i Norrland lax, sik, ål, nejonöga och strömming. ”Laxfiskena lågo i älvarnas nedre lopp (dit också befolkningen var koncentrerad) och vid kusten och var de mest ekonomiskt betydelsefulla”. Kronans inkomster av fisket har från medeltiden oftast varit stora och rapporter från 1539 visar betydande laxfångster i Norraforssa konungs fiske (Norrfors), Klaffwaböle (Klabböle) konungafiske, Södreforssa fiske (Sörfors) samt Brennlandet (Brännland) och Baggaböle (Baggböle). Senare tillkom också ytterligare fisken i kustnära lokaler såsom Holmöarna, Tafle, Täfteå och Bjurn. Exploateringen av vandringsfisk, främst lax och öring, i Umeälvens nedre del har varit stor men varierande.

Laxfiskefångsterna minskade i älven under 1800-talets senare del och Carl Byström (1868) skriver om flottningens påverkan, sjöars dämningar och om fisket att: ”Det vore derfore i min tanke önskligt att fisket med tinorna vid Norrfors och Söderfors så mycket som möjligt inskränkes, så att laxen lättare kunde öfvervinna äfven denna fors;.....desto lättare kan naturligtvis en och annan undgå människornas förföljelse och desto mera ostört förrätta sin lek”. Onekligen ett tidigt bevis för fiskevårdstänkande! Man insåg uppenbarligen redan då att vandringsfiskeresursen inte är obegränsad och att man inte bara kan ”skörda” utan också måste ”bevara”. När

fisket i Umeälven var intensivt var också uppstigningen av lax till Vindelälven låg (Andersson 1988).

Vattnet i Umeälvens nedre del började nyttjas för produktion av elström redan vid slutet av 1800-talet, då Klabböle kraftstation togs i bruk. Denna anläggning var lokaliserad till den södra stranden vid Klabböle och använde sig bara av ett delflöde av älvens vatten. Senare byggdes kraftstationen i Baggböle; även denna tog bara en liten del av älvens vatten i anspråk och var belägen på den norra stranden vid Baggböle herrgård. Man använde sig vid denna kraftstation av samma vattenintag som tidigare försörjt Baggböle såg.

Med byggandet av Norrfors kraftstation 1923, tillkom för första gången en damm, som överbryggade hela älven. Denna damm var placerad något uppströms den som finns idag. Norrfors kraftstation med sin enda turbin hade kapacitet att utnyttja ca. 85 m³/s. Resterande flöde fick alltså spillas via dammen. Tunnelutloppet från kraftstationen var beläget strax uppströms Sörforsbron. Dammen i Norrfors saknade till en början fiskväg. En sådan tillkom först 1932, nära 10 år senare. Under denna tid kunde alltså ingen vandringsfisk vare sig nå Umeälven uppströms Norrfors eller Vindelälven. Fisktrappan hade en lutning av 16 cm per längdmeter och var uppdelad i 15 fack. Nivåskillnaden mellan ingång till dammens övervattenyta var 6-7 meter. Då funktionen visade sig vara dålig byggdes denna fiskväg om 1934. Den förlängdes och blev på så sätt mindre brant.

Den nuvarande dammen och fisktrappan vid Norrfors uppfördes i samband med byggandet av Stornorrfors kraftstation 1952-1958. Kraftstationen hade inledningsvis 3 turbiner/aggregat med sammanlagd slukförmåga om ca. 750 m³/s. År 1984 kompletterades kraftverket med ett fjärde aggregat, varefter en sammanlagd högsta vattenföring om 1000 m³/s har kunnat utnyttjas för kraftproduktion.

I vattenmålet rörande Stornorrfors kraftstation, som startade med ansökan 1953, har slutlig dom ännu inte meddelats rörande fiskefrågorna. Vattenfall har ansett att prövotiden för fisket avslutades år 1968 och har därför sökt preskription av fiskefrågorna. Miljööverdomstolen har i en dom 2001 konstaterat att skadefrågan på det enskilda fisket i Vindelälven är satt på obestämd prövotid och att frågan därför inte kan preskriberas.

Med industrialisering och ökat välstånd minskade laxbeståndens betydelse för folkhushållet. Flottningsepoken och kraftutbyggnaderna kom då att spoliera många lek- och uppväxtområden för strömfisk. I dag är synen på naturen en annan. Ökad fritid har ånyo skapat intresse av att kunna bedriva sportfiske i strömmande vatten. Naturvårdsmål uppfordrar till att bevara vattendrag med lek av vandringsfisk och till att ge fiskynglen möjlighet till goda uppväxtbetingelser.

Efter det att regering och riksdag beslutat att Vindelälven skall undantas från kraftutbyggnad, anslogs år 1980 7,3 milj kr av statliga medel för att främja och utveckla fisket i Vindelälven-Laisälven. Förutom fiskevårdsåtgärder, såsom fiskutsättningar och biotopvård i älv och sidoflöden, satsades stora resurser på att organisera fisket. När projektet avslutades 1992 hade 26 fiskevårdsföreningar och 7 samfällighetsföreningar bildats. Ett samverkansorgan, Vindelälven-Laisälvens

Samarbetsråd bildades 1991 med uppgift att arbeta med fiskefrågor av övergripande karaktär. Detta samarbetsråd bytte 1993 namn till Vindelälvens Fiskeråd.

En av de största frågorna, som Fiskerådet arbetar med, är förbättring av uppvandringen av lax och havsöring till Vindelälven. Fiskerättsägare längs älven har under lång tid misstänkt att laxen har haft svårigheter att passera Stornorrfors. Under 90-talets senare hälft genomfördes ett antal studier av Länsstyrelsen, Fiskeriverket och SLU i samarbete med Vattenfall, som också tydde på detta. Senare forskning har tydliggjort förhållandena och ökat förväntningarna på att få till stånd åtgärder, som kan förbättra fiskvandringen mellan Vindelälven och havet. Därför föreslog Fiskerådet 1999 att en internationell expertgrupp skulle tillsättas för att analysera problemen kring fiskvandringen i Umeälvens nedre del. Efter ytterligare ett år inleddes en dialog mellan Vattenfall och Fiskerådet, om hur förhållandena för vandringsfisk bäst kunde analyseras och hur förslag till lösningar kunde tas fram.

Det skall nämnas att Fiskeriverket har ett uppdrag att utreda effekterna på fisket av tillkomsten av Stornorrfors kraftverk. I en deldom år 1960 fick fiskeriintendenten S.E. Berg uppdraget att utreda den samlade inverkan på enskilt fiske inom Stornorrfors skadeområde av anhängiga kraftverks- och regleringsmål i Umeälven. I skrivelse från vattenrättsdomaren året efter utsträcktes förordnandet att också gälla företagens inverkan på enskilt fiske i Vindelälven och dess biflöden ovanför uppströmsgränsen för inverkan av Stornorrfors kraftstation. Förordnandet har senare överförs till utredningskontoret i Luleå. Miljödomstolen har också uppdragit åt Fiskeriverkets utredningskontor i Luleå att årligen efter varje uppvandringssäsong redovisa vilka undersökningar som företagits och vilka resultat som undersökningarna givit.

Den vilda Laxens och havsöringens status i Östersjön/Bottniska Viken med tillrinnande älvar

Östersjölaxens (*Salmo salar*) och havsöringens (*Salmo trutta*) lekvandring har störts i många älvar runt Bottniska Viken och Östersjön. Vandringsfiskbeståndens lek- och uppväxtområden har eliminerats eller reducerats beroende på regleringar av flöden; konstruktion av dammar, kraftverk och andra vandringshinder, liksom flottledsrensningar, etc. (Christensen och Larsson 1979; Alm och Hamilton 1949; Karlsson och Karlström 1994). Genom insamling av avelsfisk, konstgjord befruktning av rom, samt uppdrivning och senare utsättning av smolt har vandringsfiskbestånden ändå kunnat behållas. Emellertid utgör numera vild lax mindre än 10 % av det totala beståndet i Östersjön (International Baltic Sea Fisheries Commission (IBSFC) 2001).

Vikande populationer av vild lax är ett globalt problem (Committee on Protection and Management of Pacific Northwest Anadromous Salmonids; Board on Environmental Studies and Toxicology, and Commission on Life Sciences 1996). Vildlaxbeståndens tillvaro är komplex och omfattar både ett liv i sötvatten och i havet. För de stadier, som är beroende av sötvatten, utgör vattenbyggnationer det största problemet, framför allt under fiskens vandring. Unga fiskar (smolt) omkommer vid passage genom turbiner och lekmogen äldre fisk stoppas av dammar och kraftverk. Stora ekonomiska

satsningarna för att hjälpa vuxen lax att nå sina lekplatser långt upp i floder och utvandrande smolt förbi kraftbyggnader sker idag på många håll. Dessa ansträngningar är särskilt omfattande i flera delstater kring Columbiafloden i USA.

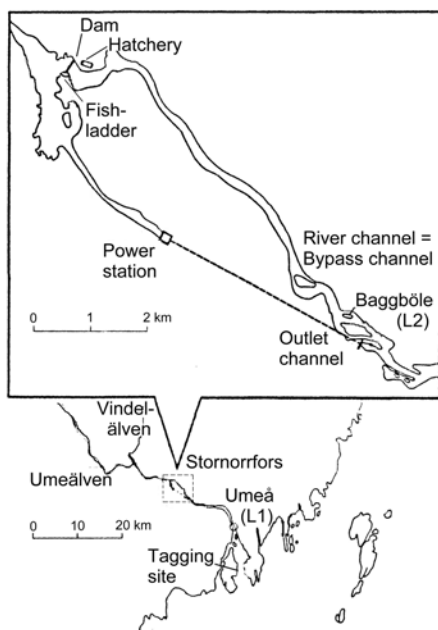
Förlust av lek- och uppväxtområden är inte alltid det största hotet mot den vilda laxen. Vildlax fångas intensivt i havet (McKinnell 1998) och sjukdomar som M74 - av allt att döma orsakad av vattenföroreningar - hotar de återstående vildlaxpopulationerna genom att skada fiskens reproduktion och öka dödligheten hos avkomman (Bengtsson, m fl. 1999).

Att behålla självföryngrande vandringsfisk är således en stor utmaning. Det bör redan ha framgått att det då är nödvändigt att ha en bred ansats. Att anlägga och underhålla fiskvägar i vattendrag med lax och havsöring är en uppenbar förutsättning för det långsiktiga skyddet av vikande bestånd av dessa långvandrande fiskarter (Linlökken 1993). Därför blir det också nödvändigt att utvärdera den kvantitativa betydelsen av fisktrappor vid vandringshinder i älvars nerströmsdelar. Mot bakgrund av den forskning och utveckling kring vandringsvägar för fisk, som sker utomlands men som inte längre pågår i Sverige, finns det anledning att uppdatera vår kunskap och ge situationen också i Sverige en förnyad genomlysning. Är det t ex möjligt att, i högre utsträckning än nu, anpassa flöden för att underlätta vandringen av vuxen fisk i kanaler förbi kraftverk eller för att minimera förluster av utvandrande ung fisk?

Beskrivning av Umeälvens nedre del

Umeälven med biflödet Vindelälven mynnar i Bottniska viken (63°50'N 20°05'E). Älvarna har sina källflöden i vid norska gränsen ca 450 km från kusten. Vindelälven, som bara har ett fåtal strömkraftverk i bivattendrag, rinner in i Umeälven i höjd med Vännäsby ca 40 km från mynningen och ca 8 km uppströms den nedersta dammen och kraftverket i Stornorrfors. Umeälven är starkt nyttjad för kraftproduktion. Flera stora regleringssjöar och kraftverk bidrar tillsammans till mer än 10 % av den samlade vattenkraftproduktionen i landet. Stornorrfors är landets största kraftstation med hänsyn till årlig elproduktion. Med Vindelälvens bidrag får Umeälvens nedre del en medelvattenföring av i genomsnitt 583 m³/s under laxens lekvandringsperiod från den 20 maj till 1 okt (McKinnell; Lundqvist och Johansson 1994). Fisktrappan i dammen i Norrfors möjliggör laxens vandring från havet till reproduktionsområden i Vindelälven. I Umeälven saknas numera lekplatser för lax ovanför Stornorrfors.

Studiens undersökningsområde har en längd av ca 32 km och sträcker sig från Umeälvens mynning (Långhalsudden), där laxar fångats och märkts, till laxtrappan i Norrforsdammen (Figur 1).



Figur 1. Stornorrfors kraftverk i relation till laxens vandringsled i Umeälvens nedre del (modifierad från Andersson, 1988).

Från och med 1 oktober till 20 maj styrs huvuddelen av flödet genom dammen i Stornorrfors till turbinerna i Stornorrfors kraftverk. Vattnet återvänder till Umeälven via en 4 km underjordisk tunnel (rak streckad linje i fig 1). Vid sidan av kraftverkets vattenväg återstår därmed en 8 km öppen naturlig älvfåra, som under fiskens vandringsperiod fungerar som förbipassage mellan damm och turbinvattenutlopp.

Hydrologi

Torråran är, bortsett från lokal tillrinning och tillflöde från fiskodlingen, vattenförande från 20 maj till 1 oktober. Från 1 oktober till 19 maj spillas inte vatten från dammen till torråran utan vattenföringen bestäms då av lokal tillrinning. Fisktrappan i dammbyggnaden längst upp i torråran har en vattenföring av ca 1 m³/s. Genom dammen regleras vattenföringen i torråran efter dom från år 2001 enligt följande:

20 maj – 15 juni	10 m ³ /s
16 juni – 31 augusti	19,6 m ³ /s
1 – 30 september	15 m ³ /s (från måndag 7:00 till lördag 17:00)
1 – 30 september	19,6 m ³ /s (från lördag 17:00 till måndag 07:00)

Spillet uppgår därmed till i genomsnitt 17 m³/s räknat under hela perioden från 20 maj till 30 september. En tidigare dom fastställde något högre tappning under samma period, nämligen i genomsnitt 23 m³/s. Skillnaden (6 m³/s) skall användas till tappningsförsök enligt anvisningar av Fiskeriverkets utredningskontor i Luleå.

Vattenföringen genom Stornorrfors kraftverk varierar över dygnet och veckan. Den genomsnittliga vattenföringen är ca 552 m³/s genom turbinerna från 20 maj till 1

oktober. Med spillet om i genomsnitt 23 m³/s blir alltså den totala vattenföringen 575 m³/s. Den maximala vattenföringen genom kraftverket uppgår till ca 1000 m³/s.

Temperaturutvecklingen i älven under fiskens lekvandring varierar mellan ca 10 °C från början av juni till ett normalt högsta värde på ca 19 °C i månadsskiftet juli/augusti. Temperaturen minskar därefter för att fram till början av oktober vara ca 9 °C.

Stornorrfors och den vilda laxens situation i Ume-Vindelälven

De svårigheter, som vandrande lax möter vid passage av Norrfors på väg till sina lekplatser i Vindelälven uppmärksammades redan av Byström (1868). Den komplicerade situation, som möter vandrande fisk i Umeälvens nedre del, erbjuder en omfattande provkarta på problem kopplade till vandringsvägar och flöden. Koncentrerade forskningsinsatser till detta område, som nu pågår utanför ramen för den här redovisade analysen, har förutsättningar att generera kunskap som bör kunna tillämpas för att lösa fiskvandringsproblem också i andra svenska vattendrag.

Vild lax startar sin lekvandring från kustområdet på våren och påbörjar sin lekvandring i älvarna på försommaren (Lundqvist; Clarke och Johansson 1988; Ökland, Heggberget och Jonsson 1995). Många norrlandsälvar har fortfarande en betydande laxvandring. Så är fallet i den reglerade Umeälvens nedre del och Vindelälven (Carlsson m fl., 1996), men där sistlidna sommar 5495 vilda laxar passerade fisktrappan (i fig. 2 är även uppvandringen av odlad fisk inkluderad).

Tidigare pilotstudier kring laxens vandringsmöjligheter förbi Stornorrfors till Vindelälven har visat på laxens komplexa vandringsbeteende i älvens nedre del (Carlsson m fl 1996, Perä och Karlström 1996. Se också detaljer nedan). Framförallt visar studierna att laxen har svårigheter att hitta rätt väg från området vid utloppskanalens mynning genom den gamla (naturliga) älvfåran till fisktrappan i Norrfors-dammen. Uppvandringen verkar störas av det höga vattenflödet ur kraftverkstunneln (Rivinoja och Lundqvist 1998). Det visade sig också att radiomärkt lax under sin lekvandring hade problem att passera i den gamla älvfåran. Radiomärkningen bekräftade också observationer, som gjordes före kraftverkets tillkomst, nämligen att uppehållstiderna vid partiella vandringshinder i två forsområden var anmärkningsvärt långa jämfört med andra älvar (Byström 1868). Vattenfall hade tidigare gjort åtgärder för att underlätta laxens passage av denna sträcka och 1998-1999 gjordes ytterligare insatser för att förbättra fiskvägarna. Vi vet emellertid ännu inte hur stort det kvarvarande problemet är. Försöken med märkning av lax, där bara ca. 25 % av dessa fiskar passerade fisktrappan är förbryllande (Rivinoja och Lundqvist 1998, 2000). Även vid tidigare försök med andra märkningsmetoder har det visat sig att många fiskar inte når trappan (Perä och Karlström 1996). Hur stora de verkliga förlusterna är går ännu inte att avgöra. All fisk, som passerar Stornorrfors, registreras i laxtrappan.

Ett annat förhållande, som nyligen uppdagats i Umeälvens fisktrappa (Rivinoja och Lundqvist 1998), är att en del laxar efter registrering och frisläppning från fisktrappan

faller tillbaka över dammen. Hur stort antal laxar detta berör årligen och om det orsakas av fiskens eget beteende efter frisläppning eller oregelbundenhet i dammspillet, har vi idag inte någon uppfattning om. Amerikanska undersökningar (Bjornn och Peery 1992) visar att en betydande dödlighet på lekvandrande fisk orsakas av att sk "fallbacks" inte tar sig tillbaka till fisktrappan.

Montén (1988) visade att ca 25 % av de vildfödda lax- och öringungarna dog på sträckan mellan dammen och tunnelutloppet vid Klabböle. Av dessa förolyckades 8% vid passage av turbinen. Många smolt förolyckades också vid passage av "torrfåran". Beräkningarna av denna förlust är osäker (Lundqvist, Clarck, Johansson 1998). Dagens situation, som den påverkar den vuxna laxens vandring har analyserats av (Rivinoja; McKinnell och Lundqvist 2001).

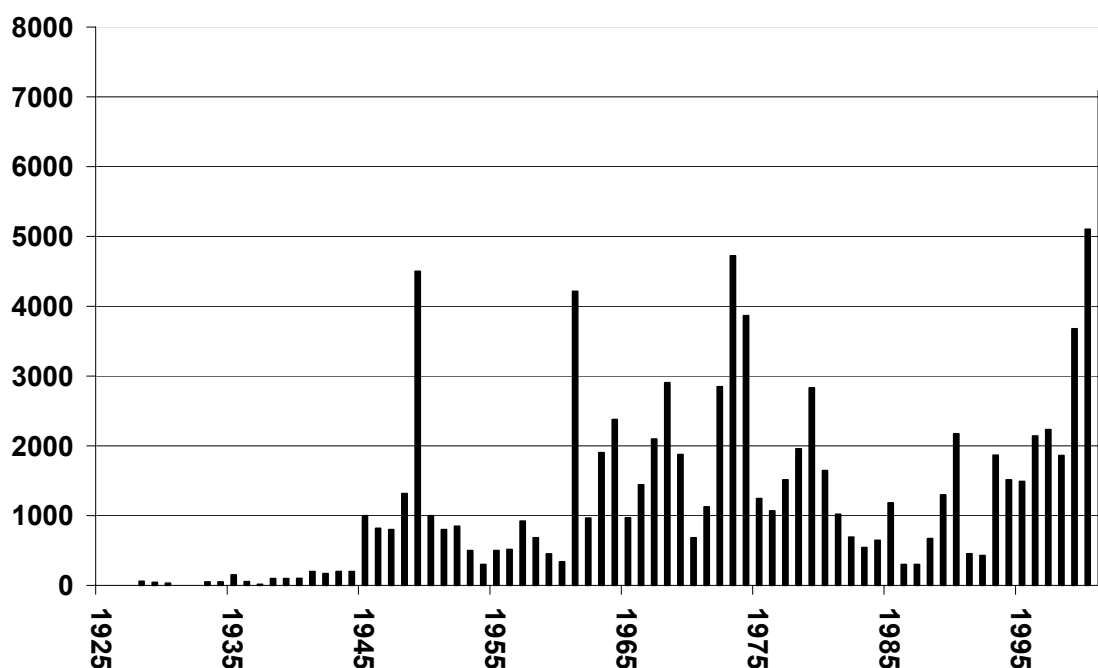
Just nu pågår värderingar av rekryteringen av lax i olika svenska älvar. Resultatet av dessa har inte kunnat göras tillgängliga för arbetsgruppen inom den tid vi har verkat. Det är emellertid viktigt att relatera åtgärder, som kan öka antalet uppvandrande lek-fiskar också till uppskattningar av den potentiella rekryteringen.

Den sammantagna bilden av problematiken vid Stornorrfors tyder på att det är åtgärder för att förbättra den vuxna fiskens uppvandring, som förefaller kunna åstadkomma de totalt sett bästa effekterna på Vindelälvens bestånd av lax.

Umeälvens odlade och Vindelälvens vilda lax

Umeälvens naturligt reproducerande laxbestånd försvann med tillkomsten av Norrforsdammen under 1920-1930. Efter utsättning av fisk och tillkomsten av kompensationsodlingen och fisktrappan i Norrfors fick älven ånyo ett vandringsfiskbestånd. Umeälvens huvudgren blev emellertid under 50-talet så kraftigt utbyggd att reproduktionen av lax där försvann helt. Den naturliga lax- och havsöringsreproduktionen har sedan dess främst upprätthållits i den oreglerade Vindelälven.

Smoltutsättningarna från Norrfors fiskodling (figur 1) är dimensionerade för att helt kompensera förlusten av naturligt producerad lax i Umeälven. Från 1970 har fettfenan klippts från alla odlade laxar varför den kan särskiljas från vild lax, som har intakt fettfena. I fisktrappan registreras sedan 1961 fiskens ursprung samt kön, längd, vikt, ankomsttid, mm innan de frisläpps för vidare vandring uppströms till Vindelälvens lekområden 50-300 km uppströms (Lundqvist; Östergren och McKinnell 1999). Före år 1961 användes en enklare registrering av vandrade fisk. Data från denna period har korrigerats av Lindroth (yttrande till vattendomstolen 1961). Den samlade uppvandringen av lax i Norrforsstrappan redovisas i Fig. 2.



Figur 2. Antalet laxar (vilda och odlade), som passerat fisktrappan i Norrfors under perioden 1925-2001. Data före 1961 härrör från Lindroth (1961); därefter sker årliga rapporteringar (<http://www-umea.slu.se/fisk/sve/trappa/norrfors/trappan/stat/statistik.cfm>). Mellan åren 1923 och 1931 saknades fisktrappa och den som 1932 (ombyggd 1934) byggdes anses inte ha fungerat tillfredsställande. Med tillkomsten av Stornorrfors kraftstation uppfördes 1960 den fisktrappa, som fortfarande är i drift. Av fiskar registrerade i trappan sedan 1974 är omkring 70% av vilt ursprung (McKinnell m fl., 1994).

Sammanställning av 5 års studier gällande Laxens vandring i nedre delen av Umeälven.

Under 5 år mellan 1995-2001 har laxens lekvandring studerats i Umeälven från havet till Norrforsdammen. Telemetristudier har gjorts av SLU och en bräckmärkningsstudie av Fiskeriverket genomfördes 1996. Det gemensamma för studierna är att lax fångats och märkts i Umeälvens mynning vid Obbola (Långhalsudden) under sommarperioden samtidigt som prov för genetisk analys tagits. Samma fångstmetod med ryssja och snarlika märkmetoder har nyttjats varje enskilt år. Både vild (med fettfena) och odlad fisk (klippt fettfena), samt honor och hanar har studerats. Vid telemetriundersökningarna har data erhållits från såväl manuella pejlingar som automatiska pejlstationer. Trappregistreringar av fisk har noterats av Vattenfalls fiskodlingspersonal. Den märkta fiskens rörelser i Umeälven har följts med hjälp av radiotelemetri (ATS); dels genom dagliga manuella pejlingar (båt, bil, mm) fram till 17 juli och därefter minst 3 ggr i veckan fram till 7 oktober; dels genom två fasta pejlstationer (LOTEK loggrar). Radiomärkenas design gör att varje märke ger en unik kombination av frekvens och puls så att radiomärkta laxar kan följas individuellt. Vid positionsbestämning av radiomärkt lax användes dels ATS (Advanced Telemetry System, Ohio, USA) radioenhet försedd med antenn (4-elements Yagi) samt Televilts mottagare RX 8910; dels LOTEK-loggrar (LOTEK SRX-400) (pejlstationer) med datalagringskapacitet och en 9-elements Yagi antenn, som placeras i Umeå (ca 17 km uppströms märkplatsen) och i Baggböleforsen i torrfårans nedre del (ca 24 km uppströms märkplatsen).

Radiomärkningstekniken har använts vid många fiskundersökningar och anses inte påverka fiskens simförmåga eller beteende (Heggberget, Hansen, och Naesje 1988; Arnekleiv och Kraaböl 1996). Under försöken år 1996 passerade emellertid ingen av de märkta fiskarna trappan trots att samtidigt ca 1500 omärkta registrerades där. Det visar att märknings/återfångst-studier behöver upprepas och omfatta ett större antal märkta fiskar än hittills. För identifiering av flaskhalsar under laxarnas vandring, dvs. hinder vid vilka laxen stannar upp eller retirerar, ger dock telemetristudierna värdefull information.

Gemensamma mönster visar att det tar ca 3-7 dagar för fisken att simma från märkplats i mynningen till Umeå stad ca 17 km uppströms (Tabell 1). I sammanflödesområdet mellan kraftverkets vatten och dammspillet har laxen svårigheten att hitta rätt väg uppströms och endast en liten del av fiskarna vandrar hela vägen upp till laxtrappan vid Norrforsdammen. Denna vandring tar mer än 40 dagar i snitt. Data tyder också på att odlad fisk ej är lika benägen som vild att vandra upp genom trappan. Telemetristudierna visar dessutom att ett antal fiskar vandrar ut till havet igen efter ett antal dagar i Umeälven.

	1995	1996	1997	1999	2001
Märkdatum	30jun - 17aug	3jun - 29aug	24jun - 3jul	16jun - 13jul	25jun - 4jul
Totalt antal	30 st 20 hon, 10 han	574 st 328 hon, 157 han	80 st 53 hon, 2 han	60 st 34 hon, 26 han	70 st 60 hon, 10 han
Odlade	-	59 hon, 30 han	21 hon, 4 han	-	-
Längd (cm)	64	86	89	84	86
Pass. Umeå	73 %	-	84 %	83%	83 %
Dag till Umeå	7	-	3	3	4
Pass. Trapp	0 %	17 % *	26 %	32%	17 %
Dag till trapp	-	52	52	44	45

Tabell 1. Upptäcksvandring av märkta laxar under 5 säsonger. Data härrör från Carlsson m fl. 1996, Perä och Karlström 1996, Rivinoja och Lundqvist 2000 och opubl., samt Rivinoja m fl., 2001. * Procentandelen är omräknad efter samma metod som använts av Rivinoja & Lundqvist (1998 och 1999).

Genetiska analyser av lax i Umeälvens nedre del

Vindelälvslox (numera bestående av ett blandbestånd, som härrör från flera älvar, jfr ovan) har en särpräglad sammansättning av mitokondrie DNA varianter (haplotyper) som gör att den avviker från andra stammar i Östersjön. Genom att analysera mtDNA i en samling laxar från Ume-Vindelälven kan eventuella felvandrande laxar därför upptäckas. Härstamning för individer kan inte med säkerhet avgöras men i en samling av laxar kan man påvisa att en andel inte kommer från Vindelälven.

Under åren 1996-2000 har genom Fiskeriverkets i Luleå försorg insamlingar gjorts av lax i utloppstunnelns från Norrfors kraftstation utlopp i syfte att detektera eventuell förekomst av främmande stammar. Insamlingar av lax har även skett vid Laxtrappan i Norrfors av fisk med fenskador av en typ som tyder på odlad ursprung. Insamlingarna som avses här från tunneln och trappan gäller enbart omärkt lax.

DNA prover från fisken har analyserats för mtDNA sammansättning och jämförts med referensdata från Vindelälven. Data från analyserna finns redovisade i tabell.

Tunnelutloppet

För åren 1996 och 1997 erhöles inga avvikelser mellan insamlat material och referenser. Undantaget var den grupp av lax med fenslitage som avvek signifikant från Vindelälvslox. Lax från 1999 avvek signifikant från Vindelälvslox vilket tyder på att bland dessa fanns en betydande inslag av lax från någon annan stam. Avvikelsen 1999 var av samma riktning som den som iaktogs för de fenskadade 1997. För år 2000 erhöles ingen statistiskt signifikant avvikelse men en tendens mot de avvikande värden som erhöles 1999 är ändå tydlig (se Tabell 1).

Laxtrappan

De fenskadade från laxtrappan visar sammantaget en sådan markant avvikelse från Vindelälvslox att de utan tvekan kommer från något annat älvsystem. Enbart det faktum att de har för odlad fisk typiska fenskador gjorde detta troligt och den genetiska typningen ger en entydig bekräftelse på detta.

De avvikelser från Vindelälvslox som observerats i laxtrappan är med stor sannolikhet inte desamma som erhållits vid tunnelutloppet. Detta innebär att minst två olika främmande stammar finns i betydande antal bland de provtagningar som gjorts i Umeälvens nedre del. Antalet fenskadade laxar som når laxtrappan är känt, med reservationen att en del lax som tillhör denna främmande stam möjligen inte har tillräckligt tydliga fenskador för att upptäckas. Hur många främmande laxar som funnits vid tunnelutloppet går inte att beräkna framförallt på att alla dessa prover insamlats i september, andelen under hela uppvandringssfasen går därför inte ens att grovt uppskatta.

När det gäller de åtgärder som vidtas för att lösa problemen med laxens uppvandring i Umeälvens nedre del bör förekomsten av främmande lax beaktas. Om en bieffekt av åtgärderna är att främmande laxar, utöver vad som kan anses vara naturlig felvandring, kommer upp i Vindelälven är det olyckligt då detta inte kan anses acceptabelt ur bevarandesynpunkt. Av denna anledning bör ytterligare utredning av förekomst av främmande lax göras, speciellt bör förekomsten av dessa under olika tider av uppvandringen klarläggas.

	Haplotyper			Antal	Test mot referens*
	AAAA	AABA	BBBB		
Tunnelutloppet					
1996	0.73	0.24	0.03	70	n.s.
1997	0.65	0.35	0.00	23	n.s.
1999	0.34	0.52	0.14	29	**
2000	0.50	0.39	0.11	38	n.s.
Tunnelutloppet, med fenslitage					
1997	0.36	0.54	0.09	22	**
Norrfors laxtrappa, med fenslitage					
1997+1998	0.10	0.56	0.34	41	***
1999+2000	0.09	0.57	0.34	56	***

Tabell 2. Haplotypfördelningar (frekvenser) för den mitokondriella ND1-regionen i prover från nedre Umeälven 1996-1999 av lekvandrande omärkt lax. *Vindelälven: **AAAA** 0.68, **AABA** 0.29, **BBBB** 0.03. n.s. – Icke signifikant skillnad.

Litteratur

- Alm, G. och Hamilton, H. (1949) Protection of fish and wildlife. U.N. (UNESCO) Scientific Conference on the Conservation and Utilization of Resources.: UNESCO; 18 pp.
- Andersson, T. (1988) Lax. Utveckling av Östersjöns laxbestånd under senare decennier. En utvärdering av laxkompensationsverksamhet. Härnösand: Fiskeristyrelsens Utredningskontoret; Promemoria (Del 2). 92 pp.
- Arnekleiv, J. V. och 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(1):39-49.
- Bengtsson, B.-E.; Hill, C.; Bergman, Å.; Brandt, I.; Johansson, N.; Magnhagen, C.; Södergren, A., och Thulin, J. (1999) Reproductive disturbances in Baltic fish: a synopsis of the FiRe project. *Ambio, Special Issue* 28(1):2-8.
- Bjornn, T. C. och Peery, C. A. (1992) A Review of Literature Related to Movements of Adult Salmon and Steelhead Past Dams and Through Reservoirs in the Lower Snake River. Moscow, Idaho, USA: US Army Corps of Engineers, Walla Walla District and Idaho Cooperative Fish and Wildlife Research Unit; Draft Technical Report, 92-1. 107 pp.
- Carlsson, U.; Lundqvist, H.; Eriksson, T., och Nilsson, J. (1996) Lekvandring hos vindelälvslox i Umeälvens nedre del. Redovisning av telemetriförsöken 1995. Umeå, Sweden: Länsstyrelsen i Västerbottens län; Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Vattenbruk; PM 1996-01-28.
- Christensen, O. och Larsson, P. O. (1979) Review of Baltic salmon research. *Coop.Res.Rep., International Council for the Exploration of the Sea (ICES)*. 1979(89):1-124.
- Committee on Protection and Management of Pacific Northwest Anadromous Salmonids; Board on Environmental Studies and Toxicology, and Commission on Life Sciences. (1996) *Upstream: Salmon and Society in the Pacific Northwest*. Washington DC, USA: National Academy Press; 472 pp.
- Heggberget, T. G.; Hansen, L. P., och Naesje, T. F. (1988) Within-river spawning migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 45:1691-1698.
- International Baltic Sea Fisheries Commission (IBSFC) (1994) *Salmon (Salmo salar)* [Web Page]. 2001 Nov 15; Accessed 2002 Mar 19. Available at: <http://www.ibsfc.org/>.
- Karlsson, L. och Karlström, Ö. (1994) The Baltic salmon (*Salmo salar* L.): its history, present situation and future. *Dana* 10:61-85.
- Lindroth, A. (1984) *De svenska laxsmoltutsättningarna i Östersjön*. Stockholm: Vattenfall; 46 pp.

- Linlökken, A. (1993) Efficiency of Fishways and Impact of Dams on the Migration of Grayling and Brown Trout in the Glomma River System, South-Eastern Norway. *Regulated Rivers Research and Management* 8(1-2):145-153.
- Lundqvist, H.; Clarke, W. C., och Johansson, H. (1988) The influence of precocious sexual maturation on survival to adulthood of river stocked Baltic salmon. *Holarctic Ecology*. 11:60-69.
- Lundqvist, H.; Östergren, J., och McKinnell, S. (1999) Tracking the upstream migration of wild salmon (*Salmo salar*) females; Submitted manuscript.
- McKinnell, S. M. (1998) Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) life history variation: Implications for the Baltic Sea fishery. Umeå, Sweden: Avhandling, Department of Aquaculture, Swedish University of Agricultural Science.
- McKinnell, S.; Lundqvist, H., och Johansson, H. (1994) Biological characteristics of the upstream migration of naturally and hatchery-reared Baltic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture and Fisheries Management* 25(Suppl 2):45-63.
- Montén, E. (1988) Fiskodling och vattenkraft - en bok om kraftutbyggnadernas inverkan på fisket och hur man sökt kompensera skadorna genom främst fiskodling. Stockholm: Vattenfall; 245 pp.
- Perä, I. och Karlström, Ö. (1996) Undersökning av laxuppvandringen till Ume älv-Vindelälven vid Stornorrfors kraftverk. Luleå, Sweden: Fiskeriverket, Utredningskontoret; Rapport 1996-12-23.
- Rivinoja, P. and Lundqvist, H. (1998) Laxens lekvandring i nedre Umeälven: Redovisning av telemetriförsök år 1997. Umeå, Sweden: SLU, Vattenbruksinstitutionen.
- (2000) Laxens lekvandring i nedre Umeälven: Telemetriförsök år 1999. Umeå, Sweden: SLU, Vattenbruksinstitutionen.
- Rivinoja, P.; McKinnell, S., och 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 and Management* 17(2):101-115.
- Ökland, F.; Heggberget, T. G., och Jonsson, B. (1995) Migratory behaviour of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during spawning. *Journal of Fish Biology* 46:1-7.

BILAGA 1(a): Ferguson, J.W., Williams, J.G., and E.Meyer. Recommendations for improving fish passage at the Stornorrfors Power Station on the Umeälven, Umeå, Sweden. National Marine Fisheries service, Fish Ecology Division, Seattle, Wa, USA (43 pages)

Recommendations for improving fish passage at the Stornorrfors Power Station on the Umeälven, Umeå, Sweden

***Fish Ecology
Division***

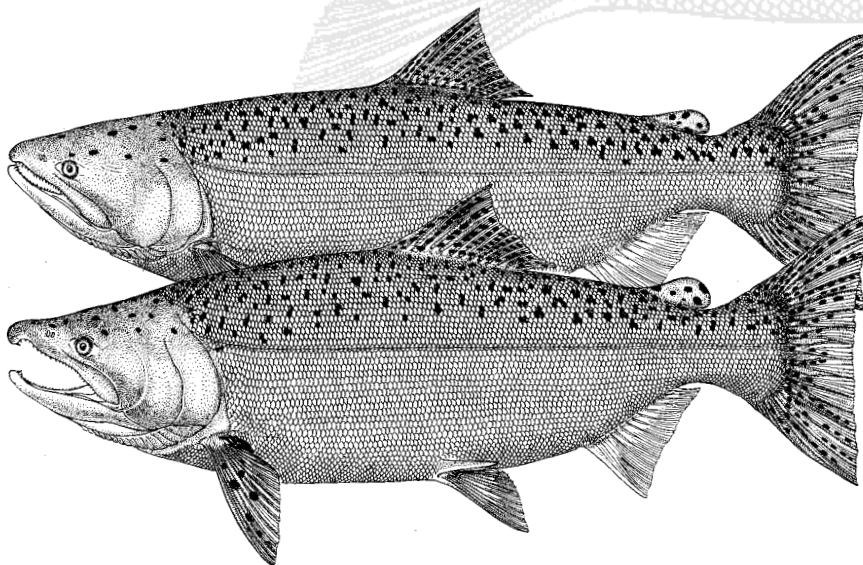
***Northwest Fisheries
Science Center***

***National Marine
Fisheries Service***

Seattle, Washington

by
John W. Ferguson,
John G. Williams,
and Ed Meyer

February 2002



Recommendations For Improving Fish Passage at the Stornorrfor's Power Station on the Umeälven Umeå, Sweden

John W. Ferguson and John G. Williams

U.S. Department of Commerce
National Marine Fisheries Service
Northwest Fisheries Science Center, Seattle, Washington, U.S.A.

Ed Meyer
U.S. Department of Commerce
National Marine Fisheries Service
Northwest Regional Office, Portland, Oregon, U.S.A.

Report submitted to the Vindel River Fishery Advisory Board
Umeå, Sweden

February 2002

BACKGROUND

Representatives from Vattenfall AB, the Vindel River Fishery Advisory Board, the Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), and the U.S. Department of Commerce, National Marine Fisheries Service (NMFS) began a series of information exchanges in 2001. The purpose of these exchanges was to develop ways to improve passage conditions for juvenile and adult Baltic Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) at the Stornorrfor Power Station and Norrfors Dam near Umeå, Sweden. The Swedish representatives traveled to Seattle, Washington, in May 2001 and presented information on project structures, layout, and fish passage data to fishery scientists and fish passage engineers from NMFS. The Swedish representatives toured various fish passage facilities in Washington and Oregon and observed designs and techniques implemented to solve juvenile and adult passage issues for Pacific salmon (*Oncorhynchus spp.*).

This visit concluded with NMFS representatives providing preliminary thoughts and observations on potential solutions to the fish passage problems at the Stornorrfor Power Station and Norrfors Dam, based on information provided by the Swedish delegation. However, these powerhouse and dam structures are unique and produce complicated hydraulic conditions and channel structure, which made it difficult for NMFS representatives to provide detailed recommendations. Therefore, the Swedish delegation felt that NMFS representatives needed to tour the project in person and observe the site-specific conditions directly prior to developing final recommendations on potential solutions to fish passage problems.

NMFS representatives visited Umeå, Sweden from 19 to 23 August 2001 to view fish passage conditions on the Umeälven associated with the Stornorrfor Power Station and Norrfors Dam. The NMFS representatives were Dr. John Williams (supervisory research fishery biologist) and Mr. John Ferguson (supervisory research fishery biologist) from the Northwest Fisheries Science Center, Seattle, Washington, and Mr. Ed Meyer (fish passage engineer) from the Northwest Region, Hydropower Branch, Portland, Oregon. During this visit, discharge through the powerhouse was approximately 550 m³/s and flow through the bypass (old river) channel was approximately 20 m³/s. NMFS representatives observed the adult collection facility and forebay outfall pipe, spillway, adult fish ladder and entrance, and auxiliary attraction water supply system at Norrfors Dam. They also viewed the bypass channel downstream from the dam to its confluence with the turbine discharge channel, including the Laxhoppet Rapids, original powerhouse area (Klabböle Power Station), and Baggböle Rapids. Finally, NMFS representatives visited the Stornorrfor Power Station forebay, entrance tunnels, generator area, and the turbine discharge tunnel-exit site and open channel downstream to where it joins the bypass channel.

The Stornorrfor Power Station and Norrfors Dam are located on the Umeälven approximately 15 km west of the city of Umeå, Sweden. The power station was completed in 1958, has a head of 75 m, four turbine units (5.2-m runner diameter), and the capacity to discharge 1,000 m³/s of water and produce 600 MW of power. Flow exiting the turbine draft tubes passes into a submerged tunnel that is approximately 4 km long and 11 m wide; free water surface is limited to the uppermost 1.75 km of the tunnel. The tunnel terminates downstream

from the old Klabböle power station approximately 200 m upstream from a junction with the bypass channel (the old river bed), at which point the turbine discharge becomes open channel flow.

A 280-m fish ladder was constructed at the Norrfors Dam and has been in use since 1960. The ladder is a pool-weir design, with 75 weirs and 7 resting pools spaced throughout, and is located on the right bank (looking downstream) adjacent to the spillway. The ladder has a 1:10 slope and a total elevation gain of 26.5 m. Each weir has one orifice approximately 1.0 m wide by 0.82 m high. We calculate that discharge through the ladder is approximately 1.7 m³/s. Attraction flow from the forebay of 19 m³/s is delivered to an area below the first ladder weir via an adjacent channel. The spillway is comprised of 4 spillbays controlled by radial arm gates and has a normal discharge capacity of 3,200 m³/s.

Existing information on migration timing, run size, migration patterns, and survival of both adult and juvenile fish through the project area is limited compared to similar sites in the United States. Montén (1985) tagged 32,000 hatchery salmon in 1967 with Carlin tags and released them at five locations throughout the project area and one near the mouth of the Umeälven to estimate survival; all turbine releases were made at full load (233 m³/s). Results were based on adult recaptures in the salmon fishery (river, coast, and sea) through 1971. Montén estimated that mortality was 8, 19, and 25% through the turbines, discharge tunnel, and combined turbine and tunnel, respectively. Spillway mortality was estimated at 16% during 289 m³/s spill. Mortality through the bypass channel downstream of the spillway to below the Baggböle Rapids was estimated at 23% with flow of 590 m³/s down the channel. Overall mortality from the forebay through the spillway and bypass channel to below the Baggböle Rapids was estimated at 35%. These tests were not repeated in other years. Lundqvist et al. (1988) released ca. 41,000 Carlin-tagged smolts between 1977 and 1979. They found no difference in adult returns between fish released at the Norrfors Hatchery and those released at the lower end of the bypass channel near the Baggböle Rapids, suggesting the survival of juveniles through the bypass channel is high.

Evaluations of adult fish migrating above Norrfors Dam were conducted in 1995, 1996, 1997, 1999, and 2001. Reports covering the work in 1995 (radio-telemetry work by Carlsson, Lundqvist, and Eriksson of the County Council of Vasterbotten and SLU), 1996 (Carlin-tagged fish by Perä and Karlstrom of the Fishery Board of Sweden, Luleå), 1999 (radio-telemetry work by Rivinoja and Lundqvist of SLU), and 2001 (radio-telemetry work by Rivinoja and Lundqvist of SLU) are in Swedish. The 1997 radio-telemetry work was published in English (Rivinoja et al. 2001). A summary of the results from these studies is presented below (data from the Swedish reports, Hans Lundqvist, SLU, Pers. commun., January 2002).

	1995	1996	1997	1999	2001
Number of tagged adult fish (type of tag)	30 (radio)	574 (Carlin)	80 (radio)	60 (radio)	70 (radio)
Percentage of tagged fish passing the ladder	0	17	26	32	17
Median number of days to pass the ladder from time of tagging	52	not determined	52	44	45

These data indicate adult fish are not successfully passing the dam. For example, Rivinoja et al. (2001) tagged 55 wild and 25 hatchery salmon. Approximately 85% of the tagged fish made it to the confluence of the bypass and turbine discharge channels. However, only 26% of the wild fish and none of the hatchery fish passed the dam. The hatchery fish may not have passed because the adults may have returned to where they were released as juveniles in the pool below the ladder/hatchery. Nonetheless, the low conversion rate for wild fish was alarming and significantly influenced our approach.

Rivinoja et al. (2001) evaluated a fourth turbine added to the powerhouse in 1986 and found no apparent effect on the run timing of wild salmon migrations based on ladder counts.

The Swedish representatives also reported that radio-telemetry studies indicate adult fish tagged near the city of Umeå migrate upstream rather rapidly to the confluence of the bypass and the turbine discharge channels. However, a high percentage of the radio-tagged fish hold downstream from the bypass channel in the main river on the shore opposite from the confluence or migrate into the turbine tunnel outlet. When higher flows exist in the bypass channel as a result of increased spill many fish move into the bypass channel and hold below the Baggböle Rapids, and some fall back downstream when spill is decreased. Some fish that migrate past the Baggböle Rapids hold in the pool below the fish ladder entrance and take up to 6 days to pass the ladder. Rivinoja et al. (2001) found that more fish passed the ladder on week days than weekends, coincident with lower spill. This suggests that higher spill levels may either push fish downstream from the holding pool below the ladder or decrease the ability of fish to find the ladder entrance. Although fish consistently required nearly 2 months to pass Norrfors Dam during these studies, similar passage times were observed in the 1860s before any dams were constructed on the river (Rivinoja et al. 2001).

During the earlier tracking studies, fish exiting the adult trap at the Norrfors ladder were observed to fall back through the spillway. The exit to the ladder was subsequently modified by installing a pipe to extend the outfall release point upstream approximately 75 m. This modification has not been evaluated to determine if fallback still exists.

This report provides broad recommendations to improve fish passage in the lower reach of the Umeälven associated with the Stornorrfor Power Station and Norrfors Dam. These recommendations are based on observations during the site visit, the existing biological information, and our knowledge of fish passage facilities that successfully pass Pacific salmon, and they are provided with following caveats: We do not attempt to determine what overall impacts the man-made structures have had on the size of fish stocks, nor to determine absolute benefits that might accrue from making changes to existing conditions. Further, estimates of design and construction costs and potential impacts to power production and revenues are not provided. These will depend on many design, site, and labor and materials cost variables specific to the site and not available to NMFS.

RECOMMENDATIONS

1. Prioritize adult passage improvements over juvenile passage improvements.

Based on the biological information available, we believe improving adult upstream passage conditions has considerably more potential for increasing fish populations above the dam than does improving conditions for downstream juvenile migrants. Effective upstream passage facilities should pass >95% of the adult fish that migrate upstream to the site in a safe and rapid manner. Even if improved passage facilities pass only 90% of adult fish, that would still be an improvement of >300% in the number of fish ascending the ladder and continuing their migration to the spawning grounds in the upper reaches of the Vindelälven, when compared to the apparent 26% that now pass successfully. This increase is many times higher than the potential 25% increase in juvenile survival from the installation of a screen- or louver-system to guide juvenile fish away from turbines, into a bypass conduit, and back to the river below the Stornorrfor Power Station.

2. Construct a pumped or gravity-flow adult attraction system and ladder, with loading, and hauling facilities in the powerhouse tunnel outlet.

Short of a major re-direction of flow from the powerhouse to the bypass channel, the best option for improving adult fish passage problems at the Stornorrfor Power Station and Norrfors Dam is to construct a pumped- or gravity-flow fish attraction system between the turbine discharge tunnel outlet and the confluence of the bypass channel (Fig. 1). This system should include one or two entrances that allow fish to enter a ladder leading to holding and transportation facilities, or in the long term, to a ladder leading either back to the bypass channel upstream from the Baggböle Rapids or above the Norrfors Dam.

The high construction costs of a permanent ladder and the uncertainty associated with any new design for attracting fish in large rivers suggest that the most prudent first step is to construct the attraction flow system, entrance, and ladder leading to a holding facility. From the

holding facility, fish are netted or lifted in water and transferred into a tanker truck for transportation to the selected release site. Also, the holding and transportation option is the most cost-efficient and effective means of verifying that the attraction system is designed and placed properly and that it passes a high percentage of fish over the dam. Numerous such facilities have operated successfully over long periods in the Pacific Northwestern U.S. Although initially less expensive than a complete fish ladder, a “trap and haul” system has the disadvantage of higher annual maintenance and operating costs to ensure the mechanical equipment and systems work properly during the entire fish passage season.

If a high percentage of fish are successfully attracted into the ladder, then replacement of the holding facilities and haul operation with a permanent fish ladder should be considered. Two ladder alignments or routes that may be feasible are discussed below:

1) Route a ladder to above the old Klabböle Power Station. Adding additional flow at the concrete wall at the upper end of the headrace would provide a flow net to lead fish through the headrace to the existing small ladder at the upstream end of the headrace. This small headrace channel ladder appears well constructed, but the shallow area at its entrance and immediately downstream may require deepening (Fig. 2). Exiting the ladder, fish would reenter the bypass channel above the Baggböle tunnel Rapids and continue upriver to the Norrfors Dam ladder.

2) Route the ladder to an exit point above Norrfors Dam or into the bottom of the existing adult ladder at the dam). A ladder to above the Norrfors Dam would place fish directly above the dam, although this would require higher construction costs. In either case, the existing grade line of the log chute is a potential alignment for a ladder. If the log chute grade is selected, it might be advantageous to place the ladder entrance(s) along the right bank of the powerhouse tunnel outlet.

We believe the primary cause of poor adult conversion over Norrfors Dam results from attraction of fish to the high flow-volume and water velocity in the Stornorrfors Power Station turbine outlet channel. Greater than 95% of the flow in the lower Umeälven comes from the powerhouse discharge during non-spill periods, providing attraction cues to adult fish that are greater than those provided by the flow in the bypass channel. We observed many adult salmon circling and milling in the turbine tunnel outlet. This observation and the behavior observed during recent radio telemetry studies, suggest that few fish choose to enter the bypass channel. Upstream-migrating fish in most cases seek out areas with higher velocities and flows. This is possibly an evolved behavior that provides high spawning success, since fish attracted to the highest flows and velocities tend to follow the main branches of rivers to the spawning grounds. Since the powerhouse outlet provides a natural source for adult attraction but no upstream passage options, it appears an excellent location for siting facilities to improve passage.

Successful adult attraction systems designed for Pacific salmon utilize entrance locations and attraction-flow volumes that complement the innate behaviors of adult salmon. It is difficult to attain successful passage rates when fish must move across rivers or into channels with low flow volume or velocity. Therefore, we believe the first and most important step to improving

adult passage past the Norrfors Dam is to design solutions that utilize the animal's natural inclination to enter the channel with the highest flow. Our focus is on using the powerhouse discharge to attract fish to the tailrace channel and using auxiliary attraction flow placed in the powerhouse discharge channel to attract fish to a ladder entrance. We believe the combination of appropriate attraction flow volume, velocity, and placement will lead a higher percentage of fish to enter the ladder. The many adults presently entering the tunnel outlet likely represent a high percentage of the total number of adults migrating upstream.

Preliminary engineering analysis: Our preliminary engineering analysis is provided in Appendix A. Three options for the amount of attraction flow and overall sizing of the facilities are discussed. The first option is based on criteria we use for Pacific salmon to successfully attract fish into the ladder. We recommend a fish ladder entrance flow of 3% of the turbine discharge or 30 m³/s and two 3.05-m-wide fish ladder entrances that produce an entrance jet velocity of 3.0 m/s when operated at a head differential of 0.458 m. One entrance should be located parallel to the shoreline and one angled at approximately 45 degrees into the tailrace.

While we are fairly confident that application of the criteria developed for Pacific salmon will work successfully, we also recognize that the Stornorrfors Power Station site is very unique. For example, all flow from any operating turbine exits the tunnel at one point, enters the tailrace from deep below, and discharges into a small and narrow area. These conditions, when combined with the milling and migration behavior of adult salmon, suggests to us that successful fish ladder entrance flow volumes may be less than those typically required in the Columbia River. In Appendix A we discuss the second and third options, which would produce entrance flows of one-half and one-quarter the 30 m³/s we would typically recommend. We do not recommend one entrance volume option over another. Rather, we believe local representatives are best informed about the amount of benefit people are willing to forego in relation to facility construction costs.

3. Modify the hydraulic conditions at the bottom of the Norrfors Dam fish ladder where the auxiliary water is supplied to the ladder.

The current auxiliary water supply (AWS) design does not take enough energy out of the attraction water, and AWS overwhelms the lower end of the ladder, thus the attraction water is extremely turbulent and aerated.

Approximately 19 m³/s flow is provided from the spillbay adjacent to the ladder for AWS via a small spill gate and separate channel adjacent to the ladder. The gate can release water either from the surface or at depth (top or bottom opening gate). Flow comes down a channel and enters an undersized stilling area where it is then fed into the lower 2 or 3 pools of the ladder. The weirs for these lower pools do not appear to contain orifices. AWS water is introduced into the ladder in the 3rd pool up from the base (entrance) of the ladder, however, it is not clear whether a floor or wall diffuser is used. Water velocity and turbulence in these lower weirs is quite high; too much flow appears to exit from the ladder (Fig. 3). This is a concern

because good ladder passage occurs under conditions of little aeration and turbulence. Another concern is whether the elevation change in this lower area of the ladder (ca. 1 m) is larger than the 1:10 slope found in the rest of the ladder (and is typical of ladders that successfully pass Pacific salmon). We observed many fish in the large pool below the ladder, which may result from poor hydraulic conditions at the entrance to the ladder caused by the AWS to the lower weirs. However, it is also possible that some fish terminate their upstream migration in this pool because they are of hatchery origin and were released into the pool as juveniles.

Preliminary engineering analysis: Our preliminary engineering analysis is contained in Appendix B. We developed three potential solutions to the poor hydraulic conditions and potential delay problems in this area. Our preferred option is to completely rebuild the lower sections of the ladder. By this we mean that the location and manner in which the AWS is delivered to the lower portion of the ladder needs complete redesigning. A new system is needed to integrate diffuser location, sizing, and water volume and velocity, with the weirs and orifices to improve hydraulic and fish passage conditions in this area. This is our preferred option because completely redesigning and modifying the lower end of the ladder would address the poor hydraulic conditions in this area. However, this is potentially a costly alternative.

Therefore, our recommended option is to reduce AWS flow into the ladder and divert excess discharge to the spillway and to maintain bypass channel flow. This is relatively easy to test by reducing AWS flow and evaluating fish passage using radio-telemetry. We initially recommend reducing AWS flow into the ladder to approximately 4.25 m³/s. This will require a reconfiguration of the weirs in the lower pools such that flow over the top of each weir is maintained at 0.305-0.458 m. The fish ladder entrance should also be deeper than wide, so that fish are not forced to leap into the ladder. Also, water diverted to the spillway should not create false attraction to migrating adults. The width of the spillway is potentially sufficient to create a relatively shallow, low-velocity flow that would not attract adults into the spillway area. Alternately, the diverted flow could be re-introduced adjacent to the fish ladder in such a manner as to attract adults to the fishway entrance without creating a false attraction away from the ladder. This could perhaps be accomplished by creating a velocity barrier dam across the entrance to the spillway, or a sheet flow across the spillway mouth with a 0.61- to 0.91-m drop, creating shallow conditions that fish could not leap. There are a number of other possibilities to achieve this condition, and local experts who understand the site, water sources, hydraulics, and fish passage are best qualified to come up with a final configurations to achieve the proper attraction flow if this option is implemented.

A third option is to extend the ladder downstream and align AWS flow adjacent to the ladder extension. This option would eliminate the lower open weirs and extend the existing ladder downstream along the rock wall on the right bank. This would move the ladder entrance downstream into the pool area, and would utilize the adjacent AWS attraction flow. This design is commonly used at spillway entrances at Columbia River dams where large volumes of spill are adjacent and parallel to the flow coming from the ladder entrance. However, since AWS flow is roughly 10 times ladder flow, hydraulic conditions would need to be evaluated and the facility carefully designed so that the AWS flow parallel to the rock wall does not hit,

overpower, or occlude the ladder entrance. Currently, the small rock shelf along the right bank downstream of the ladder entrance may obscure the attraction jet into the ladder and require fish following the jet to swim up and over a shallow shelf (Fig 4). Conditions in this area under flood spill might require additional or alternative entrances to the fish ladder. Also, false attraction into the AWS would have to be considered and addressed through use of a diffuser or velocity barrier. Therefore, while potentially feasible, this option would require careful hydraulic design and possibly hydraulic modeling.

4. Reduce flow in the Norrfors Dam fish ladder.

While viewing the ladder from the top of the spillway, we noticed that hydraulic conditions in the pools were turbulent which indicated that flow volume down the ladder is too high (pools appear too small for the amount of flow).

Peter Rivinoja commented that some fish lost their radio tags in the ladder and that tagged fish took 2 to 4 days to successfully pass the ladder. The observations of high turbulence, combined with tag loss in the ladder, initially indicated to us that fish are struggling to get through the ladder and supported our observation that excess flow down the ladder is leading to turbulent conditions in each weir pool. However, later in the tour we were informed that the radio tags were attached externally to the fish, which was perhaps the cause of the tag loss. This non-hydraulic explanation for possible tag loss, combined with the apparent strong swimming capabilities of Atlantic salmon, suggests they can handle the existing hydraulic conditions in the ladder. However, based on our experience with Pacific salmon, we believe that with a total head of 26 m fish should take 12 hours or less to migrate up this kind of pool/weir ladder. Unless there is a problem with the hydraulic conditions, a blockage in the ladder, or a behavioral or physiological cause of delay, they should readily pass through the ladder. One potential problem with ladder passage times may relate to operation of the collection facility, discussed below under Additional Passage Concerns.

Preliminary engineering analysis: Our preliminary engineering analysis is contained in Appendix B; three potential solutions to the poor hydraulic conditions and delay problems in the ladder pools are presented. We recommend reducing ladder flow to approximately 1.34 m³/s to meet the maximum energy dissipation criteria of 19.5 m·kg/s/m³ (4 ft·lbs/s/ft³). The depth of flow over each weir should be maintained at 0.305 m and the width of the submerged orifice should be reduced from 1.01 m to approximately 0.76 m.

5. Develop an integrated adult fish passage system and evaluate increased flow in the bypass channel.

We recommend, above, that solutions to the existing ladder and false attraction into the powerhouse discharge are needed. We believe the majority of fish migrating upstream are

entering the powerhouse tunnel outlet, especially during non-spill periods. However, there are a number of reasons to not lose sight of the need to address the level of flow in the bypass channel. For example, fish will likely continue to enter the bypass channel, particularly during periods of spill. Also, there are existing problems with passage through the bypass channel at current flow levels, discussed below under Additional Passage Concerns. Further, adult hatchery fish may choose to enter the bypass channel due to olfactory cues from the hatchery. Also, if the attraction and collection entrance recommended for the turbine tunnel outlet does not perform as expected, establishing a constant flow through the bypass channel that provides good attraction and passage conditions is even more important.

Therefore, flow volume in the bypass channel should be reevaluated and possibly increased above the existing 20 m³/s to attract fish. Such an increase may also improve passage conditions through the channel, so that fish can move effectively through the channel, rapids, and existing ladder. Experimentation and biological evaluations will be required to determine the best flows for effective fish passage.

We recommend that regardless of which passage improvements are selected for implementation, the elements be viewed as a system, not as separate components. For example, if the Norrfors Dam ladder is redesigned and performs well at the current bypass channel flow of 20 m³/s, the ladder entrance may be impacted under higher bypass channel flows unless redesigned for these higher flows. Also, if a gravity-flow source above the old powerhouse is used for attraction flow to the powerhouse collection facility, spillway discharge will have to be increased to maintain 20 m³/s flow down the bypass channel. In summary, the selected passage systems and flows should work together and be complementary.

6. Conduct additional research on fine-scale fish behaviors.

The behavior of fish under present conditions should be better understood before designing means to improve fish passage. For example, radio-telemetry studies of fine-scaled fish behavior in the powerhouse tunnel outlet would greatly improve knowledge of movement patterns in this area. Installation of additional underwater antennae in the turbine discharge and bypass channels would help determine where to locate entrance(s) to the fish ladder and holding facility. Antennae placed in the first weir of the Norrfors Dam ladder would provide data to determine if apparent delays in the high ladder passage are occurring in the lower weirs or in the ladder itself. This would assist in deciding whether to rebuild the entrance, the ladder weirs themselves, or both to reduce passage times to reasonable levels. Although estimating median passage time provides a good measure of overall ladder effectiveness, it is also important to look at the range of passage times, since some fish may hold for extraordinarily long periods. Reports of passage time for the 10th, 50th, and 90th percentiles for both adults and grise under existing flow conditions may provide indications of a relationship between size of fish and passage time. If passage time is long, re-test after reducing flows in the ladder and over each weir, or set up a blocked study design of existing and reduced flow volumes, using the 10th, 50th, and 90th percentiles of time-to-pass as measures for comparison.

We suggest doubling, and preferably tripling the present plans to tag 70 adult fish for radio tracking in 2002. Given the low rates of conversion upstream, this would provide a much better sample size of fish in the area below and through the fish ladder. Furthermore, we recommend using gastric/esophageal tag implantation to reduce the potential for tag and data loss. We do not know what impact the external tagging had on results obtained to date, but we note that Rivinoja et al. (2001) found that 8 of the 12 wild fish that successfully passed the ladder had lost their external tags.

We also recommend that any modification in flow regimes and facilities be evaluated for 2-3 years to evaluate performance. A number of evaluation techniques are available. In this case, we recommend use of radio telemetry and ladder counts to compare the migration timing of fish passing into the new ladder and holding facility to historic records of abundance and timing.

ADDITIONAL PASSAGE CONCERNS

During our visit a number of other areas of potential concern were noted. Here we identify and discuss these areas because solutions to these areas would likely provide additional, incremental benefits to migration passage success and adult escapement.

1. Fish ladder collection facility

The upper-most pool of the ladder is used as a holding pool where fish are collected. The floor of the pool has a sloped braille that is raised to crowd fish to the downstream end to facilitate netting (Fig. 5). According to Vattenfall AB personnel, the pool may contain as many as 300-400 fish (mostly grilse) at one time. Fish are hand-netted, weighed, and sorted. Wild fish are released from the collection facility into a pipe that outfalls approximately 75 m upstream where the adults can resume their migration. Hatchery fish are placed in a tank trailer for transportation to the Norrfors salmon breeding station. Fish in the collection facility are handled without anesthetic.

We did not observe any provisions for allowing fish to go straight through the collection facility system and into the lake upstream. The collection facility is rudimentary in that all fish are stopped by the collection facility, the fish are handled without anesthesia or water-to-water transfer, and high numbers can enter the trap at one time (Fig. 6). We are concerned that all fish are crowded, netted, and measured in air and without anesthesia. Effects of these procedures on successful migration to the spawning grounds and pre-spawning mortality are unknown. If the facility and collection process is meeting the needs of the fishery managers we would not place a high priority at this time on reconstructing the collection facility. However, if not and if funding were available in the future, we recommend considering redesigning the collection facility and installing an adult handling and sorting facility for hands-off sorting of hatchery and wild fish,

and if needed, anesthetization for handling. Examples would include the facility on the Cowlitz River, Washington that we toured in May 2001, or on a smaller scale, the adult facility at 3-Mile Dam at Umatilla River, a tributary to the Columbia River near Umatilla, Oregon. If handling is required, we recommend the installation and use of anesthetic (MS 222 or clove oil) and recovery tanks to minimize stress and injury during collection and sorting. A note of caution: at Columbia River dams we have observed that any human odor in collection facilities can cause fish to delay. For example, a worker's hand in the ladder for a few minutes can stop adult migrations in the ladder for hours. Thus, the netting procedure may cause delay if human odor is passed into the ladder water from the netting and handling procedures.

Additional Information Needed: None at this time. However, if a permanent ladder is installed from the powerhouse tunnel tailrace to the top of the spillway dam, a new adult collection and handling facility could be considered at that time.

2. Potential fallback from the Norrfors Dam fish ladder collection facility outfall pipe

Fish selected from the collection facility to continue upstream are returned to the forebay via a 0.3 m gravity pipeline with flushing flow. The pipe outfall is located near a point along the right bank of the spillway inlet that divides the main flow to the powerhouse from the flow to the spillway. The outfall is located about 75 m upstream from the ladder exit (Fig. 7). The drop from the end of the pipe to the lake surface is not significant (25 to 50 cm). Based on surface water currents, it appears an eddy exists off the point of land that sweeps by the end of the outfall along the shore. This should give positive guidance to fish moving upstream from the outfall pipe. However, fish moving upstream after exiting the outfall pipe may follow the shoreline of the island and turn back downstream and follow the bulk flow toward the powerhouse. Since the powerhouse is a significant distance downstream, these fish may search the forebay and reorient to currents and resume upstream migration. When spilling, water velocity and direction past the pipe outlet should provide a positive flow net for upstream guidance, however, we did not observe the outfall conditions during spill. The primary issue regarding the pipeline outfall location is the potential for fallback over the spillway during periods of spill.

If radio-telemetry studies identify fallback through the powerhouse or spillway as a problem during spill periods, one solution might involve hauling adults trapped at the collection facility during periods of spill to a point upstream on the left bank (looking downstream) above the spillway inlet. When standing at the outfall pipe, we viewed a point of land along the main arm of the lake apparently accessible from the Road E79 that might make a good release point. Currents at this location appeared strong and positive, such that fish could orient to the left bank and proceed upstream through the impoundment to the free-flowing Vindelälven. We do not consider physically extending the ladder or running a pipe to the left bank upstream from (and across) the spillway as a viable option, due to high construction costs and limited available head.

Additional Information Needed: An evaluation of the behavior of adults exiting the existing outfall with and without spill is needed. Radio tags can be used to document whether fallback through the powerhouse or spillway is occurring, and if so, under what operational conditions. The evaluation should require small numbers of test fish because fallback will occur immediately if there is a problem. A range of river flows and spillway operations should be tested to determine whether fallback behavior is continuous or episodic. Interpreting acceptable rates of fallback is difficult. On the Columbia River we consider >5-10% fallback unacceptable, although we often see levels higher than this. The relationship between fallback and subsequent survival and pre-spawning mortality has not been rigorously defined in our region. If fallback only occurs during short periods of high spill, no action may be warranted.

3. Spillway survival

The spillway channel is rough, unfinished, and comprised of solid rock. There is no stilling basin or downstream pool for dissipating spillway jet energy. The spillway stilling basin is old river bed rock and concrete, and this may account for much of the juvenile mortality measured through the spillway by Montén (1985). The rough surface will produce high turbulence and increase the probability that juveniles will strike the substrate, causing injury and mortality. The nearest place with sufficient water depth for energy dissipation is downstream near the entrance to the fish ladder (Fig. 8). We did not observe spill during our site visit.

We do not recommend the spillway as a preferred route of passage for juveniles or adults because of the rough channel substrate immediately below the spillway, lack of energy dissipation pools or structures, and the potential for fish injury through these shallow and turbulent areas. High-energy jets meeting channel roughness will cause turbulence and increase the probability of fish striking substrate and injury. We are not aware of any adult spillway survival data. However, our concern is supported by juvenile survival data collected by Montén (1985), who reported ca. 16% smolt loss through the spillway (from the forebay to the base of the ladder).

This is extremely high mortality on juvenile fish for a spillway. For example, Muir et al. (2001) found that estimated relative survival at Columbia River dams was highest through spill bays without flow deflectors (98.4-100%), followed by spill bays with flow deflectors (92.7-100%), juvenile bypass systems (95.3-99.4%) and (Kaplan) turbines (86.5-93.4%). This concern is also supported by R2 Resource Consultants, Inc. (1998). They found that fish injury and mortality in spillway stilling basins is related to high pressure changes and shear zones in the margins of the jet, deceleration forces, and fish impact with solid objects or substrate in the stilling basin.

If significant numbers of juvenile or adult fish use the spillway as a route of passage, decreasing mortality would likely require lining the spillway channel with concrete and removing major protrusions from the pathway of the discharge. Another possible solution would involve construction of a weir or barrier dam at the downstream end of the channel to form a

spillway tailrace-stilling basin. This would require hydraulic model studies to design weir or barrier placements that optimize hydraulic conditions in the basin under varying flows. Construction costs for this solution are likely very high.

While little is known about smolt outmigration timing, we presume that since most river flow passes through the powerhouse, most juveniles also pass through the powerhouse. However, juveniles will pass via the spillway during the flood events in June and July from forest and mountain snowmelt when river flows exceed powerhouse hydraulic capacity and involuntary spill occurs. Hypothetically, if juvenile mortality through the spillway was eliminated, then based on Montén's data, juvenile salmon survival through the spillway would increase from 84 to 100%. However, increases in survival for the overall juvenile population would not increase proportionately, as many juveniles likely pass through the powerhouse turbines.

4. Area below the ladder - Laxhoppet Overlook

This area of natural falls and chutes has been modified many times over the years to improve passage in the bypass reach under conditions of reduced flow. Strategically placed weirs channel the flow to create two or possibly three passage routes (Fig. 9). Further modifications to this area are best left to local passage experts who are familiar with the hydraulic conditions in the area and can observe fish behavior over long periods of time under various flow conditions.

Additional Information Needed: Visual observations of passage behavior under a variety of flow conditions are needed. Documentation of delay in the area using radio telemetry may also be advisable.

5. Bypass channel and powerhouse discharge channel junction area

During our visit total powerhouse flow was approximately 550 m³/s while flow in the bypass channel was 20 m³/s. The tailrace exit from the powerhouse channel is relatively narrow, and water velocity and volume in the exit are high compared to the mouth of the bypass channel (Fig. 10). Thus, it is not surprising that the majority of adult salmon are not choosing the bypass channel.

A weir placed across nearly the entire mouth of the bypass channel could potentially shape existing bypass channel flows and increase velocities, which might improve fish attraction into the bypass channel. However, this solution would likely also require construction and maintenance of a channel upstream from the weir to transport fish through the slack water to the base of the Baggböle Rapids. Unless the river channel above the weir and below the Baggböle Rapids is reconfigured, we believe low velocities upstream from the weir would affect fish movement. Fish moving from areas of high to low velocity, would sense this and move back

downstream over the weir and into the main river/tailrace channel. Thus, even if a transportation channel was constructed above the weir, passage problems associated with the Baggböle Rapids would still exist. Furthermore, maintaining the channel might prove difficult and costly given the size and amount of material required to preserve a channel configuration in a river this size. A channel placed on one bank would soon fill in with substrate material, and the river would develop another channel. In addition, most fish appear to move along the right bank (looking downstream) of the main river, based on radio telemetry data.

As discussed above in Recommendation 5, one solution involves providing higher base flows through the bypass channel. The actual level of flow needed for good attraction into the bypass channel is unknown. However, it may take a substantial increase in bypass channel flow to provide attraction velocities and volumes that compete with those in the powerhouse tailrace channel. Such an increase in flow would also increase velocity in the area between the weir and the Baggböle Rapids.

In summary, after looking at the confluence between the bypass and powerhouse discharge channel and in contrast to what we recommended when the Swedish delegation visited Seattle, we believe it would be nearly impossible to design a weir across the mouth of the bypass channel to successfully attract fish into the channel under the existing conditions of 20 m³/s flow.

6. Passage through the Baggböle Rapids

The rapids are located in the bypass channel approximately 1 km upstream from the confluence with the powerhouse tailrace channel. Based on radio-telemetry studies, the rapids may hinder fish passage at low (20 m³/s bypass flow) and high (>200 m³/s) flows. We discussed the possibility that passage may be optimal at 150 m³/s. However, it is not apparent what level of flow through the bypass channel is needed to provide the best passage times and conditions. The rapids have been modified to improve passage by forming channels into stepped (ladder-like) channels to help move fish upstream past the many chutes and shallow areas. Delay or obstruction to fish passage through the Baggböle Rapids under conditions of 20 m³/s flow through the bypass channel is likely a result of shallow, high velocity sheet flow through the lower part of the rapids. This type of flow creates adverse conditions for adult passage (Fig. 11). Under higher flows, these sheet-flow areas are likely mitigated because numerous side channels will reform, creating more passage routes and opportunities, thus improving fish passage.

We recommend that efforts to remove iron bars from the substrate/rock of the rapids continue. This will eliminate possible sources of fish injury. The Baggböle Rapids is a complicated site because of high variation in passage conditions at the rapids. Since we observed hydraulic conditions in the rapids under one flow only, we cannot make recommendations on the best flows or an optimal configuration of the area for fish passage. We suggest that further modifications to the rapids are best left to local experts. However, we offer two possibilities: 1) blast the substrate of the rapids, and terrace the lower section to decrease

water velocities and create pools for velocity refuges, resting, and depth for jumping; or 2) increase base flows through the bypass channel (Fig 12).

Additional Information Needed: We fully understand the difficulty of determining the appropriate level of bypass channel flow, both from the standpoint of flow availability and determining the best level of flow for improved fish passage. We have no suggestions or perspectives *a priori* as to appropriate levels. This would require visual observations of passage conditions and radio-telemetry data on behavior and passage success through the rapids under various flow regimes. The use of video to document areas of interest at various flow levels might provide valuable observations on fish passage conditions. Outside passage experts unable to observe the site in person could view the tapes and communicate their observations on which flow levels look best for passage through the bypass channel and rapids.

7. Passage at the old powerhouse

We observed a number of possible bypass routes around the Baggböle Rapids that utilized small channels near the old powerhouse. The number, shape, and flow volumes in these channels varies with bypass channel flow. On the day we observed the area, flow of 20 m³/sec provided a number of routes, chutes, and stepped jumps between rock formations, boulders, and areas of soil and trees (Fig. 13). These generally led to a notch in the wall of the headrace channel to (and upstream from) the old powerhouse (Fig.14). Once in the headrace channel to the old powerhouse, fish can migrate upstream and re-enter the old bypass channel above the Baggböle Rapids by using the small ladder in the concrete wall (Fig. 2). At the flow level we observed, it appeared that passage through this route was feasible. With some minor modifications to a few of the narrow chutes, these small channels would offer alternative routes around the Baggböle Rapids.

Increased flows through the bypass channel may improve conditions in this area as well, because flow volume and depth through the various chutes would increase. This could reduce the need for channel modifications at key points to eliminate blockages. However, we did not observe the channel under higher flow conditions and can only speculate as to these benefits. This site is highly complex due to the interactions between flow and the chutes and rock formations. We suggest that further modifications of this area are best left to local experts.

Additional Information Needed: Visual and radio-telemetry observations through the channel under various flow regimes are needed.

8. Juvenile salmon passage through the Stornorrfor's Power Station

The headrace into the Stornorrfor's Power Station is an open channel until the last approximately 75 m, where it becomes a horizontal tunnel blasted through rock. At the end of the channel, a tainter gate controls flow into each vertical-axis Francis turbine. The turbine

intakes are approximately 7-8 m wide by 17 m deep, and velocity through the intakes is approximately 2-3 m/s. A total of four turbine units are located in the powerhouse, 3 with a discharge capacity of 220 m³/s and 1 with a capacity of 340 m³/s. Total powerhouse capacity is 1000 m³/s.

From an engineering standpoint, two types of bypass systems to intercept juveniles prior to their entering the turbines are potentially feasible:

1) a vertical louver screening system in the open headrace channel upstream from the rock tunnels that lead to each turbine intake (Fig. 15).

2) individual screening systems placed in the rock tunnels upstream from the tainter gates for each turbine unit, such as an Eicher screen (inclined, 100% floor screen), or possibly an angled louver screen (partial, behavioral screen).

Either system will require a means to divert fish out of the powerhouse and back to the bypass channel. This may require routing diverted fish and flow through the tainter gate and bulkhead wall. Also, cleaning the screen system is a concern; Eicher screens tilt and are self cleaning, but a louver screen would require some means to keep debris from building up on the vanes or members. Additionally, ice will be a problem for any screens located in the forebay. A system for screen removal and storage or a means to handle the ice will be needed and should be addressed during the design process.

We generally consider that a juvenile collection/bypass system is successful if it intercepts >95% of the downstream migrants before they reach the turbine. Systems that rely on the behavioral response of fish are not 100% effective, and similarly, we would not expect a behavioral guidance device, such as a vertical louver, to meet this criterion. However, it is likely that an inclined screen system would be more effective in terms of guidance, because 100% of the intake area is screened. A successful guidance system should also cause little delay or injury, and should provide nearly 100% survival of fish routed to the tailrace. Thus, a successful juvenile bypass system installed at the Stornorrfor Power Station should increase juvenile survival to nearly 100% from the current survival of approximately 75% (Montén 1985). If this translates directly to adult returns and if there are no increases to survival at other life-history stages, then a 25% increase in adult returns would occur.

On the Columbia River turbines are operated within 1% of peak unit efficiency. There is some data suggesting that juvenile salmonid survival is highest within this range. However, the relationship has not been rigorously documented, and this information pertains to Kaplan turbines. We are not aware of any similar information for Francis turbines; however, a small improvement in juvenile survival may be achieved by running turbines at peak efficiency during the juvenile fish passage season.

In summary, it appears feasible to install a screen guidance system in each turbine intake, although a route to divert fish safely to the bypass channel must be planned carefully. Placement of a screen or louver guidance system in the forebay intake canal might provide a feasible

alternative to an intake screen. However, such a system would require means to remove and store the system prior to winter and the ability to handle debris during the operating season.

9. Downstream passage of kelts

We did not observe kelts migrating downstream. If the Vindelälven produces significant kelts, potentially the subsequent return of large, fecund females will play an important role in rebuilding the overall population. If so, consideration of measures to ensure kelt survival is important.

The probability of striking a turbine runner is a function of fish length, the number of turbine blades or runners, the volume of flow passing the turbine, and the turbine shaft rotation speed. Estimates of adult Pacific salmon survival through Kaplan turbines are limited, but suggest mortality as high as 40%. The Stornorrfor's Power Station has Francis turbines, and we would expect higher mortality through Francis than Kaplan turbines. Installation of a screen bypass system for juveniles would also provide a means to divert kelts away from turbines and route them safely back to the bypass channel.

The spillway is the other possible route of passage for kelts. Our concerns with kelt passage through the existing spillway are similar to the concerns we outlined for smolts and adults passing through this route.

CONCLUSIONS

Based on observations during our site visit and the existing biological information, we believe that improving adult upstream passage conditions has considerably more potential for increasing fish populations in the river upstream from the dam than improving conditions for downstream juvenile migrants. Effective upstream passage facilities should easily produce passage rates of 95%. Even if a new adult passage facility produced only 90% passage of adult fish, it would still provide a >300% increase in fish spawning in the upper reaches of the Vindelälven, compared to only 26% that apparently spawn there now. This increase would be many times higher than the maximum 25% increase that is possible by increasing juvenile survival.

We recommend construction of an adult collection facility in the powerhouse discharge channel. We believe such a facility has the potential to attract and pass a large percentage of adult fish moving up the lower Umeälven. This facility would include a pumped or gravity-attraction flow source; entrance(s); a ladder; and initially, an adult holding facility. In the short-term, we recommend transporting collected fish by truck to a site above Norrfors Dam, or to a site just above the old Klabböle Power Station. In the long-term, construction of a fish ladder would provide a more effective permanent solution.

Efforts to improve passage at the present fish ladder are also needed. Hydraulic conditions in the ladder and at the ladder entrance need modification to reduce air entrainment and turbulence, which may contribute to passage delay. We also suggest a review of the amount of flow provided for the bypass channel. A constant flow level that provides good attraction flow into and passage through the channel during periods of no spill might improve adult passage to above the dam. Increasing bypass channel flow above current levels may entice more fish to move upstream via this route and successfully pass the Norrfors Dam via the ladder. However, this would require evaluation of potential modifications to the ladder entrance, to the Baggböle Rapids, to the Laxhoppet area, and to the channels around the old powerhouse so that adult passage through these areas will be rapid and safe under the higher flow regime.

We stress the need to view the individual improvements as components of an integrated system, and the need for additional research prior to and after construction to finalize engineering designs and to evaluate the effectiveness of completed facilities and operations.

A number of additional concerns with adult and juvenile salmon passage past the project may merit future consideration for further improvement to fish passage. These include the adult collection facility at the top of the ladder, location of the collection facility outfall pipe, potential for injury to adults and juveniles passing through the spillway, potential for adult delay through the Laxhoppet area and Baggböle Rapids, development of the braided channels around the old powerhouse as a potential alternative route for adult passage at the Baggböle Rapids, and juvenile and kelt mortality through the existing powerhouse. Improvements in these areas should provide protection and increased adult escapement over the Norrfors Dam to augment the recommendations listed above. Alternatively, they may provide improved protection for adult and juvenile salmon migrating past the project if the recommendations listed above do not perform as expected.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Hans Lundqvist of the Swedish University of Agricultural Sciences for his special efforts to provide answers to our many questions and requests for additional fish passage information. We especially wish to thank members of the Vindel Fishery Advisory Board for this opportunity to review fish passage conditions at the Stornorrfors Power Station and Norrfors Dam. It has been a tremendously challenging and rewarding experience for us to develop these observations and recommendations and we sincerely hope they are helpful.

REFERENCES

- Lundqvist, H., W.C. Clarke, and H. Johansson. 1988. The influence of precocious sexual maturation on survival to adulthood of river stocked Baltic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Holarctic Ecology* 11:60-69.
- Montén, Erik. 1985. Fish and turbines; fish injuries during passage through power station turbines. 111 p. (available from Vattenfall AB, Stockholm, Sweden).
- Muir, W. D., S. G. Smith, J. G. Williams, and B. P. Sandford. 2001. Survival of juvenile salmonids passing through bypass systems, turbines, and spillways with and without flow deflectors at Snake River dams. *North American Journal of Fisheries Management* 21: 135-146.
- Rivinoja, P., S. McKinnell, and H. Lundqvist. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish River caused by a hydroelectric power-station. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* 17: 101-115.
- R 2 Resource Consultants, Inc. 1998. Annotated bibliography of literature regarding mechanical injury with emphasis on effects from spillways and stilling basins. Contract DACW57-96-D-0007, Task Order No. 03. Report to Portland District, U. S. Army Corps of Engineers. (Available from U. S. Army Corps of Engineers, P.O. Box 2946, Portland, OR. USA. 97208)

Appendix A: Preliminary Engineering Analysis for Adult Salmon Attraction, Holding, and Transportation Facilities at the Powerhouse Tunnel Outlet

General:

These analyses are based on criteria we use for adult Pacific salmon. We have recommended a general design based on the approach we take when reviewing passage facilities. We present preliminary calculations of facility sizes and capacities we believe are needed to meet the fish passage goals, but recognize the need to address site specific issues during the design process. We stress the need to work closely with a fish passage engineer during the actual design process, especially one familiar with the local site and Atlantic salmon.

We recommend locating the entrance to the ladder on either shore of the tailrace and adjacent to, or slightly upstream of the discharge boil from the turbine tunnel outlet. For example, the Swedish team will remember how close the fishway entrances were to the powerhouses at Bonneville Dam on the Columbia River. Locating the entrances on either shore appears possible, and the selected location will depend on construction constraints and detailed information gathered on fish behavior from radio-telemetry studies. This would include whether one bank is preferred by the fish for their first approach and their milling behavior.

Space to place the pump facilities, entrance(s), ladder, and holding and loading facilities is a constraint due to the narrow, steep-banked tailrace channel. We see two possible options:

- 1) Center the holding pools, transport hopper, transport loading facilities, and auxiliary water pumps in the area directly above the tunnel discharge. If this is structurally feasible, it would allow for a relatively short ladder and a transport channel with long pools to move fish into the holding facility (similar to the North Fork Project on the Clackamas River, Oregon that we toured). Installation of either a gantry crane, tram, or cable-way are possible means to lift fish from a transport hopper to the truck loading facility at the top of the embankment. Although this option is likely more cost effective, it does not allow for easy conversion to a full-length ladder if that alternative is desired in the future.
- 2) Locate the facilities on top of the embankment above the tailrace. This will require construction of a ladder from the fishway entrance pool up the steep bank at a 10% slope to the holding, sorting, and truck/trailer loading facilities located on level ground. This option would require locating the auxiliary water pump station along the tailrace but away from the ladder entrance so that the pumps do not disturb fish entering the ladder. Based upon the drawings received, this would require a ladder that rises approximately 15.2 m. If built in one direction, it would extend for nearly 152.4 m. A possible option is to build a circular ladder that rises nearly vertically from the tailrace to the top of the embankment.

Run Timing, Run Size, and Average Fish Weight:

Sizing adult facilities requires information on average adult weight, the maximum number of fish expected to pass the ladder in one day, maximum facility holding capacity, and the escapement trend projected over the design period of the project. Since we do not know these specific details or sources for this information, Hans Lundqvist (Hans Lundqvist, SLU, Pers. commun., February 2002) provided information we used to develop the following design guidelines:

Maximum individual fish passing per day: 1,250

Average fish weight at peak passage times: 3 kg (large grilse component)

Maximum total fish biomass on peak day of passage: 3,750 kg

Maximum peak passage timing: late-July to mid-August

River Criteria:

River surface elevation: 0.5 m mean sea level at 600 m³/s discharge

Elevation of the area surrounding the turbine tunnel outlet: 15 m mean sea level

Powerhouse discharge capacity: 1,000 m³/s

Fishway Entrance Flow:

The fishway entrance (attraction) flow has to compete with the powerhouse discharge. The amount of flow required for successful attraction depends on site conditions and competition from the powerhouse discharge, and may require more entrance flow when conditions are less than ideal or there is competition from other flow sources. For example, at the Bonneville Dam Second Powerhouse on the Columbia River, the four main fishway entrances each discharge approximately 28.32 m³/s to compete with a maximum powerhouse discharge of approximately 3,982 m³/s or about 3 % of the powerhouse flow. When designing fish attraction systems for Pacific salmon, we recommend a fishway entrance flow of 3 to 5% of powerhouse discharge, and even higher flows are preferred (5 to 10%). Our criteria are designed to provide attraction to entrances that will cause minimal delay at a dam for adult migrants (preferably less than 24 h). For this project where maximum powerhouse discharge is 1,000 m³/s, this criteria equates to 30 to 50 m³/s attraction flow. Based on these criteria, it will require flows of at least 30 m³/s for the fishway entrances and auxiliary water system.

The criteria of 3 to 5% minimum attraction flow is designed for situations where the attraction flow has to compete with a large volume of powerhouse discharge spread across a wide area. For example, at the Bonneville Dam Second Powerhouse discussed above, fish ladder attraction flow competes with discharge from 8 turbine units spread across 275 m of tailrace. However, the Stornorrfor's Power Station tunnel outlet is uniquely configured compared to most

power station outlets. All discharge from the 4 turbines exits a common point located deep in the tailrace, the channel is narrow and “U” shaped, no side-channels enter the area, and the majority of adult fish enter this area. These unique site conditions, when combined with the surface-oriented behavior and strong swimming capability of adult Atlantic salmon, suggest the feasibility of other designs that would require less attraction flow, if the facility is designed properly. Volume, location, and velocity are all important criteria in a properly designed and successful attraction system. We offer two possible alternatives to the facility:

- 1) A pump system to provide 15 m³/s flow, and operation of one attraction entrance at full opening; or
- 2) A pump system to provide 7.5 m³/s flow, and operation of one attraction entrance at a partial opening.

While there is uncertainty with these lower volumes because they are outside our normal criteria, we believe they have a high likelihood of success at considerably reduced construction costs. We believe the final decision is best left to local fish passage, power, and fishery board representatives who are better qualified than we to make judgements and trade-offs between cost, risk, and how much passage delay associated with location and size of fishway entrances is acceptable.

The volumes and dimensions for the full-flow option are provided below.

Auxiliary Water: 29.45 m³/s assumes ladder flow is 0.57 m³/s

Pumps:

- a) For ladder flow - one primary and one backup pump capable of providing 0.57 m³/s flow to the top of the ladder.
- b) For attraction flow- a number of large pumps capable of providing 29.45 m³/s flow for the auxiliary water supply (AWS) system.

The pumps will require an intake structure and fine trashrack (a clear opening of ca. 1.27 cm). Locate them away from the fishway entrance so the pumps do not disturb fish entering the ladder. The fine trashrack is recommended to protect the pumps but also to reduce the amount of trash entrained on the AWS diffuser panels, increasing the difficulty and cost of maintenance.

Note: Water from upstream of the old powerhouse could possibly feed the AWS, ladder and holding facility if a gravity delivery system is used. However, it is important to ensure that water quality from this area matches that of the tailrace so fish do not reject the new ladder. Also, this would reduce the amount of flow down the bypass channel, unless a volume equal to the attraction flow was spilled.

Entrance Pool:

Entrance gate(s): We recommend use of two, 3.05 m wide downward opening gates (telescoping weir gates). One gate should discharge parallel to shore facing downstream and the second should angle approximately 45 degrees downstream (so that fishway attraction flow carries across the channel). The gates are sized to carry the full AWS flow during the operation of a single gate or half the AWS flow if both gates are operated. Gate size and submergence will determine the depth of the entrance pool. When only one entrance is in use, we recommend use of the entrance angled at 45 degrees.

Table 1. Calculated submergence below tailwater for a 3.05 m wide gate based upon head differential.

Head differential Δd	Entrance velocity $V^2=\Delta d/2g$	Submergence below tailwater	
		Both gates open	One gate open
		$Q = 14.9 \text{ m}^3/\text{s}$ per gate	$Q = 29.7 \text{ m}^3/\text{s}$ per gate
0.305 m	2.44 m/s	2.62 m	4.58 m
0.458 m	3.00 m/s	2.26 m	3.88 m
0.610 m	3.46 m/s	1.99 m	3.36 m

Note: This assumes a 0.61 m high sill at the bottom of the gate. Submergence is measured from tailrace water surface level to gate crest. Head differential is defined as the water surface differential from the entrance pool to the tailrace. We suggest providing a minimum of 0.305 m of head, but 0.458 m head is preferred.

Gate discharge calculations are based upon:

$$Q=W*D*C*(2*g*\Delta d)^{1/2}$$

Where

Q = gate discharge (m³/s)

W= gate width (m)

D= Gate submergence below tailwater (m)

C= Discharge coefficient (≈ 0.72 to 0.86) (depends on submergence and crest elevation above the floor)

g = acceleration due to gravity (9.8 m/s^2)

Δd = difference in water surface elevation between entrance pool and tailrace (m)

If the system is operated at one-quarter capacity initially, we recommend operating only one gate because operating two 3.05 m gates would create a relatively wide but shallow

entrance. Under this operation, we recommend modifying the top leaves of the telescoping weir gates to create a narrower entrance. An entrance gate narrowed to 1.83 m creates a gate submergence of approximately 1.89 m at 0.46 m of head (with an entrance velocity of 2.99 m/s at a discharge of approximately 7.42 m³/s).

Note: The design of the entrance gates should include provisions for installation of stoplogs to allow dewatering for maintenance.

Entrance Pool Depth: Based on the gate submergence calculations in Table 1, a minimum depth of 4.57 m below minimum tailwater level would allow for a submergence of 3.35 m on an entrance gate when operated alone based upon the required submergence calculated above (3.35 m submergence below the tailwater + 0.61 m of head across the entrance + 0.61 m of sill).

Entrance Gate(s) Design Head: 0.305 to 0.61 m with 0.46 m preferred.

Note: Locate staff gages in the entrance pool and tailrace to monitor the head differential across the entrance gates.

Entrance Velocity: 2.43 to 3.44 m/s; 2.99 m/s preferred

Maximum Diffuser Velocity: 0.305 m/s for wall diffusers and 0.153 m/s for floor diffusers.

Diffuser Clear Openings: Maximum of 2.54 cm

Auxiliary Water System Diffuser in Entrance Pool: Place the entrance pool diffusers on the floor, walls, or both. However, wall diffusers are easier to keep clean. A flow of 30 m³/s requires a wall diffuser opening of 98.53 m² (excluding major structural members) to meet the velocity criteria if 0.305 m/s velocity through the diffuser. The top of the wall diffuser should be approximately 0.305 m below the minimum water surface level of the pool to reduce the potential for fish to leap at the surface disturbance. A 4.26 m high opening would require approximately 23.08 linear m of wall diffuser. Since the floor diffuser flow velocity criteria is 0.153 m/s area required for a floor diffuser is double that of a wall diffuser.

Note: The AWS diffusers in the entrance pool should be designed so flow from the diffuser leads fish from the entrance gates to the ladder.

Ladder:

Flow: The amount of flow depends on ladder design, but generally 0.57 to 0.85 m³/s is used. We assumed a ladder flow of 0.57 m³/s. Locate a staff gage in the ladder to monitor head over the weirs.

Type: Ladder types available include the “Ice Harbor” style, “Half Ice Harbor” style, and a pool-and-weir with an orifice if the tailrace water level is fairly stable during the fish passage season. If tailrace water level varies significantly, use a vertical-slot design. For the purposes of this document, we recommend and assume the use of a “Half Ice Harbor” style. The “Half Ice Harbor” style of ladder is a pool and weir/orifice ladder. The walls between the pools consist of a non-overflow section with a short wing-wall projecting upstream adjacent to the overflow weir. Locate the overflow weir along either side of the fishway. The orifice is located along the floor of the fishway and generally centered under the overflow weir. The dimensions for this style ladder are taken from Bell (1991). The various types of ladders are also described in Clay (1995).

Orifice size: 0.46 m high by 0.38 m wide

Overflow weir length: Approximately 0.85 m

Non-overflow section: 1.58 m (based upon a ladder width of 2.43 m)

Head drop between pools: 0.305 m ± 2.54 cm

Minimum pool depth: 1.83 m

Maximum energy dissipation per pool: Energy dissipation calculations in the pool are based on the following:

$Qh\gamma/\text{pool volume} \leq 19.5 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{s}/\text{m}^3$, where

Q = flow down the ladder (m^3/s)

h = head drop between pools (m)

γ = specific gravity of water ($1,000 \text{ kg}/\text{m}^3$)

Minimum pool size: We assume each pool is 1.83 m deep, 2.43 m wide, and 3.05 m long. This produces an energy dissipation of $12.7 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{s}/\text{m}^3$ based on $0.57 \text{ m}^3/\text{s}$ ladder flow.

Maximum slope of fish ladder: 10%

Transport channel velocity (if a transport channel is needed): 0.61 to 1.22 m/s. Transport channels are essentially low velocity flumes that allow fish to swim easily from one area to the next with a minimum of elevation change.

Trap and Haul Facilities (potentially for interim use only):

Holding pool at top of ladder: Fish should swim into the holding pool. The entrance to the holding pool should have a V-picketed lead with 2.54 cm maximum clear opening on the legs of the picket lead and a maximum opening at the apex of 12.7 cm so fish cannot back out of holding pool. Provide a means to block the V-picket so fish cannot enter the holding pool during crowding. Locate the entrance to the holding pool on the sidewall and upstream from the crowder, which is parked along the back wall. Make the upstream apex of the V-picket flush with the wall of the holding pool so it will not interfere with crowding operations and also not create a sanctuary where fish can avoid the crowder.

Holding pool volume: In the Pacific Northwest we assume the average holding volume required for an adult chinook salmon is 0.23 m^3 , which may compare favorably to the early run of Atlantic Salmon in the Umeälven. We assume steelhead have an average required holding volume of 0.07 m^3 , which may compare well with the later run of grilse salmon. Based on the maximum number of 1250 fish per day, a holding pool 2.4 m deep by 2.6 m wide by 9.1 m long could hold about 1440 smaller-sized fish (assuming 0.07 m^3 is required/fish) or 450 larger-sized fish (assuming 0.23 m^3 required/fish). These pool dimensions assume the facility is operated once per day. A smaller holding pool is needed if the trap is operated more than once per day, and a larger pool is needed if operated less than once per day.

Flow through the holding pool: Size the flow through the holding and braille pool at $0.57 \text{ m}^3/\text{s}$, the same as the ladder. We base this recommendation on experience with holding facilities for hatcheries. Use a diffuser so that flow into the head of the holding pool has a maximum velocity of 0.15 m/s. Limit diffuser openings to a maximum of 2.54 cm.

Crowder: Ensure that the crowder is smooth and free of any projections that might injure fish. Limit screen mesh or bar openings to 2.54 cm. Size them to resist deformation by large fish when crowding them into the braille/sorting pool. When not in use, the crowder should retract to the back wall and have seals that prevent fish from swimming behind it.

Braille/sorting pool: Provide a means to close the braille pool from the holding pool. Recess the braille into the floor and provide seals so that fish cannot get behind or under it. Ensure the braille is smooth and free of any projections that might injure fish. Construct the braille of aluminum bars spaced with clear openings of 2.54 cm and sides that slope to a floor that in turn slopes to the transport hopper. Installation of a removable work platform would provide personnel the ability to easily reach fish during manual sorting. Use water-to-water transfer (for example, a sanctuary dip net) to transfer fish into the transport hopper, return them to the holding pool, or place them in a second hopper or smaller holding pool for later transport. We recommend a braille pool with dimensions of approximately 3.7 m by 3.7 m.

Additional: Size the ladder pool just downstream from the holding pool to hold the number of fish expected to pass the ladder in 60 to 90 minutes, the time required to operate the crowder and trap. Assuming a maximum of 1250 fish/day and 90 minutes to complete one operation, we would expect approximately 160 fish to accumulate in this area during operation of the trap. Based upon the holding volume required for grilse-sized fish ($0.07 \text{ m}^3/\text{fish}$), a pool approximately 1.8 m deep by 2.4 m wide by 4.6 m long should provide an adequate holding volume. Note: The 4.6 m length includes the V-picket at the entrance to the holding pool.

Operation: Prior to operation of the trap, the V-picket is closed so no additional fish enter the holding pool. The entrance to the braille pool is opened (so fish have access to this area) and the crowder is slowly moved forward from the back wall of the holding pool to crowd fish up to the braille area through another V-picket. When the braille pool has sufficient fish for sorting, the crowder is stopped, the gate to the braille pool is closed, and the crowder is backed up slightly to reduce stress to fish still in the holding pool. The braille is then raised slowly so fish are gently crowded. When not sorting, monitor the number of fish entering the hopper and close it when fish capacity is reached. Transfer fish from the hopper to the truck or trailer via a water-to-water transfer. After fish are loaded into the truck or trailer tank, return the hopper and repeat the cycle until all fish in the braille pool are safely loaded. The gate to the braille pool is then opened again and the crowder used to move more fish into the braille pool. The cycle is repeated until all fish are removed from the holding pool. The hopper, braille, and crowder are then returned to their parked position and the V-picket opened to allow fish to again enter the holding pool.

Sorting: Once the fishery management requirements for sorting have been identified, a comprehensive design for the facilities needed can be developed. Here we describe the basic options and associated facilities. If fish sorting is done manually, we recommend the use of anesthetic, particularly if tagging, sampling, measuring, and weighing occurs. This requires the installation of an anesthetic tank and a recovery tank to revive fish prior to release. Alternatively, sorting of fish could occur automatically if hatchery fish were coded-wire-tagged. In this case, install a false weir that all fish leap. The fish would then enter a transport flume or pipe, pass through a coded-wire-tag detector, and the detector would trigger a gate, diverting tagged (hatchery) fish to a separate holding pool. This would require construction of two holding pools and separate transportation of hatchery and wild fish.

Transport hopper: Transport hoppers typically hold approximately 3.785 m^3 . The bottom is solid, and the walls are partially solid and slotted above a point to allow excess water to drain off when lifted until the minimum amount of water and all fish remain. The bottom typically has a special gate and seal that mates to the transport truck or trailer so fish transfers from the hopper to the truck or trailer tank are made water-to-water. The size of hopper selected will depend on the density of fish typically used by local experts, the number of fish moved per transfer, average fish size, and how many times per day fish are transported. In the Pacific Northwest we typically use hoppers that are 2.44 m long by 2.44

m wide by 0.91 m deep and place about 120 smaller-sized individual fish in the hopper at one time. This number would probably work well later in the season when fish are mostly grisle; earlier in the season when large females are migrating the number in each hopper transfer would involve fewer fish.

Transport truck or trailer: Designs for truck or trailer tanks that safely haul fish are commonly available and we can provide documents describing these design details when needed.

Release location: For wild fish collected in the holding facility, we recommend transporting them above the slack water in the reservoir. This would limit the likelihood that they would swim back downstream and pass through turbines or spill.

References:

Bell, Milo. 1991. Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. U.S. Army Corps of Engineers, Northwestern Division, P.O. Box 2870, Portland, Oregon, U.S.A., 97208-2870.

Clay, Charles H. 1995. Design of fishways and other fish facilities. CRC Press, Inc., 2000 Corporate Blvd., N. W., Boca Raton, Florida, U.S.A. 33431. 248 p.

Appendix B: Preliminary Engineering Analysis of the Adult Salmon Ladder and Auxiliary Attraction Water System at Norrfors Dam

THE UPPER LADDER

Physical Characteristics of the Upper Ladder:

The ladder is a standard pool/weir/orifice design with bottom deflectors downstream of each orifice. All dimensions and volumes are approximate.

Reported flow down the ladder:	1 to 1.5 m ³ /s
Elevation drop between each pool:	0.3 m
Fishway slope:	10%
Pool width:	3.5 m
Pool length:	3.0 m
Pool depth:	2.0 m
(This assumes 0.3 m over the weir)	
Pool volume:	21 m ³

Note: Pool size varies. Every 8 to 10 pools a larger pool was constructed that was probably designed as a fish resting pool and to meet energy dissipation guidelines.

Weir

Width:	1.0 m
Depth:	0.5 m

Orifice

Width:	1.0 m
Height:	0.82 m

A floor-mounted deflector is located downstream of each orifice, the top of which is approximately 25.8 cm above the invert of the orifice.

Calculated Flow Down the Ladder:

Assuming a depth over the weir of 0.305 m (this is typical of the design depth of flow in these types of ladders) and a 0.305 m drop between pools (also typical), flows through the ladder are calculated as follows:

Weir flow	0.30 m ³ /s
Orifice flow	1.37 m ³ /s
Total flow	1.68 m ³ /s

If the reported ladder flow of 1.5 m³/s is correct, then flow depth over the weir is less than

the 0.305 m assumed in the calculations. Field measurements of the water surface differential between pools and depth of flow over the weirs would enable better estimates. Also, dimensions of the pools (length, width and normal depth) and weir orifices we developed from the drawings should be verified.

Calculation of Ladder Pool Energy Dissipation:

Assuming ladder flow is 1.68 m³/s, the energy dissipated in each pool is based on the following formula:

$$Qh\gamma/\text{pool volume} \leq 19.5 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{s}/\text{m}^3, \text{ where}$$

Q = flow down the ladder (m³/s)

h = head drop between pools (m)

γ = specific weight of water (1,000 kg/m³)

The existing ladder has an energy dissipation value of 24.4 m·kg/s/m³ which is approximately 5.0 m·kg/s/m³ the maximum criteria for the design of fish ladders we use. This means there is too much flow down the ladder (or the ladder is too small for the given flow) given current fishway design criteria. The result is excessive turbulence in the ladder that can potentially delay fish. This excessive energy is probably what we observed during our site visit in some pools that seemed excessively turbulent. For a totally new ladder of similar length and height, we would set the energy dissipation level at 18.0 to 18.3 m·kg/s/m³. However, a new ladder is much more costly than reconfiguration of the existing ladder to meet the maximum energy dissipation criteria of 19.5 m·kg/s/m³. Therefore, we developed three options for reducing the amount of energy dissipated per pool to meet the criteria: 1) reduce the flow in the ladder; 2) reduce the water surface drop between the pools; or 3) increase the volume of the individual pools.

Energy Dissipation Option 1: Reduce ladder flow to meet criteria

Given the current ladder configuration, and assuming a 0.305 m drop between pools and the depth of the pools remains about the same, a reduction of flow by approximately 20% to 1.34 m³/s is required. This is approximately the amount of flow that presently passes through the orifices. However, weir flow tends to disperse the orifice flow so that excessive energy does not carry down the ladder from one pool to the next. Without water flowing over the weir, it is not clear that the existing floor deflector alone could accomplish this same dispersion of energy. If the deflector alone was not sufficient (the weir component of flow was required to aid in the dissipation of the orifice jet) then reduction of the width of the orifice from 1.01 m to approximately 0.76 m would provide approximately 0.305 m of flow over the weir.

Energy Dissipation Option 2: Reduce head drop between pools

It is probably not practical to reduce the water surface drop between pools since this would require the addition of a number of pools in the ladder. Based on a ladder flow of $1.68 \text{ m}^3/\text{s}$, the water surface drop between each pool needs reduction to 0.24 m to achieve the criteria. This 20% reduction in head would require approximately 20% more pools in the ladder.

Energy Dissipation Option 3: Increase pool volume

Pool volume could be adjusted by raising the water surface level of each pool to meet the criteria. Based on ladder flow of $1.68 \text{ m}^3/\text{s}$ and a 0.305 m drop between pools, pool volume would have to be increased to approximately 26.05 m^3 . Since the width and depth of each pool is basically fixed and only the depth can be varied, the pool depth would have to increase by 0.49 m to a total depth of 2.50 m. This would overtop the weirs and most likely the walls of each pool. This option is not practical unless the weirs and walls heights are also raised.

Upper Ladder Recommendation:

We recommend reduction in flow down the ladder to approximately $1.34 \text{ m}^3/\text{s}$ to meet the maximum energy dissipation criteria of $19.5 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{s}\cdot\text{m}^3$. Also, we recommend maintaining the depth of flow over each weir at 0.305 m. This will require reducing the width of the submerged orifice by 1.01 m to approximately 0.76 m.

THE LOWER LADDER AND FISHWAY ENTRANCE AREA

Physical Characteristics of the Lower Ladder:

(Note: All dimensions and volumes are approximate)

Ladder flow: (From the analysis of the upper ladder)	assume $1.68 \text{ m}^3/\text{s}$
Auxiliary water supply (AWS) (Reported information)	$19 \text{ m}^3/\text{s}$
AWS channel width	3.5 m
AWS channel slope	1:23 (4.34 %)
Calculated depth	0.56 m
Calculated velocity of AWS flow	9.6 m/s

Note: The energy in this flow is probably dissipated to some extent through a hydraulic jump in the AWS chamber. We cannot calculate the amount of energy reduction that occurs here and whether this is sufficient to provide uniform flow through the diffuser system and into the ladder.

Physical Characteristics of the Pools Just Upstream of the AWS Diffuser:

Length	3.0 m
Width	3.5 m

Little information is provided in the drawings we reviewed on the weirs in this section of the ladder. They are apparently constructed of stop logs inserted in the guide slots between the fishway pools. Depending on the pool, the weirs are either 2.0 or 3.0 m wide. The height of the weir depends on the number of stop logs inserted to raise the water surface level. This section of the fish ladder apparently does not contain orifices. Based upon our analysis of the upper portion of the ladder, these pools are undersized by approximately 20 to 25%.

AWS Diffuser Pool:

The diffuser pool is apparently located between the 3rd and 4th weir from the bottom of the ladder in an irregularly shaped trapezoidal pool. The AWS water enters the pool via orifices or vertical slots, the dimensions of which are unclear. A small orifice opening from the AWS to the ladder would create relatively high velocities into the fish ladder, false attraction of fish to the AWS system, and passage delay. It is not clear from the drawings whether diffuser gratings are provided to prevent adults from entering the AWS system. No diffusers are apparent in the rock (or possibly concrete) floor. This pool is 14.6 m long and approximately 4.35 m wide.

Diffuser Requirements:

Based upon our current design guidelines, the present amount of flow in the AWS would require approximately 62.3 m² of wall diffuser (excluding major structural members) to meet a maximum velocity through the diffuser of 0.305 m/s (excluding major structural members). Assuming a depth of 4.5 m in this area, it would require approximately 13.87 linear meters of wall diffuser to meet the guidelines. A floor diffuser in this area would have to have approximately 124.4 m² of area based upon a maximum diffuser velocity guideline of 0.152 m/s. In either case, the diffuser grating should have a maximum clear opening of 2.54 cm to prevent smaller salmon and grilse from becoming gilled in the diffuser. Given the velocity of the AWS flow into the diffusion chamber, we also recommend installation of baffling in the AWS system to reduce the amount of energy transferred to the fish ladder.

Pools located just downstream of the AWS diffuser:

Length	6.0 m
Width	5.5 m
Depth	3.13 m (assumed)
Volume	90.4 m ³

The weirs between the pools have a 4.0 m wide by 2.30 m high opening, the height of which is adjusted by the installation of stop logs. Flow in this section of ladder is approximately 20.7 m³/s (a combination of ladder plus AWS flow). Assuming a 0.305 m drop in water surface level between pools and no stoplogs in the weir opening, approximately 20.1 m³/s flows through the opening. The flow level over the weir adjacent to the opening is approximately 0.38 m. Currently, due to the amount of flow, limited pool size, and arraignment of the overflow weirs, there is a significant amount of energy carried from the upper to the lower pools, creating turbulent conditions that may adversely affect fish passage.

Discussion:

Three options exist for resolving the design of the bottom weirs and entrance area to the existing ladder:

Option 1: Completely rebuild the lower end of the ladder

This is our preferred option. It involves completely redesigning and reconstructing the lower portion of the ladder (including the AWS system, diffuser pool, lower three pools of the ladder, and the entrance pool and gates) to accommodate the current level of flow. This design would be very similar to the design for the new trap and haul facility for the tunnel outfall described in Appendix A. However, this is most likely the most expensive option.

Option 2: Reduce AWS flow into the ladder and discharge excess into spillway

This is our recommended option since it is the easiest to implement and test. If it doesn't work as well as desired, little costs are incurred and the other options are still available. This option reduces the amount of AWS flow into the ladder to approximately 4.25 m³/s and puts the remaining 15.0 m³/s flow into the spillway to maintain bypass channel flows. This will require reconfiguration of the weirs in the lower pools to accommodate the reduced flow. Design the fish ladder so that its entrance is deeper than wide so that fish are not forced to leap into the ladder. We recommend using radio-tagged fish to evaluate changes in ladder passage time and success. If the changes improve fish passage, we recommend introducing the 15.0 m³/s spill back into the river channel without creating a false attraction to migrating adults. Potentially, the width of the spillway is sufficient to create a relatively shallow, low velocity flow that would not attract adults into the spillway area. Alternately, this flow could be introduced adjacent to the fish ladder in such a manner as to attract adults to the fishway entrance without creating a false attraction away from the ladder. There are a number of other possibilities to achieve this

condition. Local experts who understand the site, water sources, hydraulics, and fish passage are best qualified to come up with a configuration to achieve the proper attraction flow conditions to the ladder under this test condition.

Option 3: Extend the ladder downstream and align AWS flow adjacent to it

This option has potential but would require careful hydraulic design and possibly hydraulic modeling. It involves removing the lower open weirs and extending the existing ladder with additional pools and weirs, as necessary, downstream to a point adjacent to the rock wall on the right bank. It would also require extending downstream the existing channel for the AWS flow to a discharge point adjacent (and parallel) to the ladder entrance which is now located in the pool area. It might also require deepening the bottom of the pool immediately downstream of the ladder entrance. This type of design is commonly used at spillway entrances at Columbia River dams, where large volumes of spill are adjacent and parallel to the flow coming from the ladder entrance. The local hydraulic conditions would need evaluation and the facility designed so the AWS flow does not occlude the ladder entrance, and prevent fish from entering. Also, the AWS flow might require a diffuser or velocity barrier to avoid false attraction of adults.

And finally, if bypass channel flows are increased above the current level of 20 m³/s, then all options will need reconsideration to determine how they work under the higher flows. Additional design changes in the ladder and spillway area may be required so the ladder entrance performs well under the flow volume selected for the bypass channel.



Figure 1. Stornorrfors Powerhouse tunnel tailrace, looking downstream (east).



Figure 2. Small dam and ladder at the upper end of the old powerhouse headrace.



Figure 3. Norrfors Dam fish ladder entrance in upper left of photo and auxiliary water supplied to weirs downstream of the ladder entrance showing aerated, turbulent flow.



Figure 4. Pool and rock ledge downstream from the Norrfors Dam fish ladder entrance.



Figure 5. The adult collection facility is located in the top pool of the fish ladder. The pool is used to collect and hold fish, and the floor has a sloped brail that is raised to crowd adults for netting.



Figure 6. All adult salmon are held, netted, and sorted in the adult collection facility without pre-anesthesia.



Figure 7. Fish from the adult collection facility return to the forebay via a gravity-flow, 0.3 m pipeline with flushing flow, located an estimated 75 m upstream from the Norrfors Dam. The pipe outfall is located in the area shown along the right bank of the peninsula that divides the powerhouse and spillway forebays.



Figure 8. Spillway channel is comprised of rough, unfinished bedrock. The first energy-dissipating basin is downstream by the fish ladder entrance.



Figure 9. Laxhoppet area of natural falls and chutes has been modified to improve passage in the bypass reach under reduced flow conditions. Strategically placed weirs create 2 or 3 routes for fish passage.



Figure 10. Confluence of the bypass channel (right) and powerhouse outflow channel (left). Water velocities and flow volume at the mouth of the bypass channel are low compared to the powerhouse outflow channel.



Figure 11. Baggböle Rapids with $20 \text{ m}^3/\text{s}$ flow. Adult delay may result from shallow, high velocity sheet flow over the bedrock substrate in portions of the rapids.



Figure 12. Lower end of the Baggböle Rapids (foreground) and bypass channel (background) under $20 \text{ m}^3/\text{s}$ flow. Increasing base flows through the bypass channel might improve passage conditions in the rapids and channel. The confluence of the bypass channel and powerhouse outflow channel is in the far background.



Figure 13. Approximately 20 m³/sec flow down the bypass channel provides a number of routes, chutes, and stepped jumps between rock formations, boulders, and potential areas of passage around the Baggböle Rapids near the old powerhouse.



Figure 14. Notch in the wall of the headrace channel just upstream of the old powerhouse that provides an alternative route around the Baggböle Rapids.



Figure 15. Stornorrfors Power Station intake channel where a juvenile salmon louver bypass system could potentially be installed. Flow between the rocks leads to each turbine.

BILAGA 1(b): Svensk översättning av Ferguson, J.W., Williams, J.G., och E.Meyer. Rekommendationer för förbättringar av fiskpassagen vid Stornorrfors kraftverk i Umeälven, Sverige, National Marine Fisheries service, Fish Ecology Division, Seattle, Wa, USA (41 sidor)

Rekommendationer för förbättringar av fiskpassagen vid Stornorrfors kraftverk i Umeälven, Umeå, Sverige

John W. Ferguson och John G. Williams

U.S Department of Commerce
National Marine Fisheries Service
Northwest Fisheries Science Center, Seattle, Washington, U.S.A

Ed Meyer
U.S. Department of Commerce
National Marine Fisheries Service
Northwest Regional Office, Portland, Oregon, U.S.A

Rapport överlämnad till Vindelälvens Fiskeråd, Umeå, Sverige

Februari 2002

BAKGRUND

Representanter från Vattenfall AB, Vindelälvens Fiskeråd, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och U.S. Department of Commerce, National Marine Fisheries Service (NMFS) började utbyta information under 2001. Syftet med detta informationsutbyte var att hitta vägar för att förbättra förhållandena för ung och vuxen atlantlax (*Salmo salar*) när de passerar Stornorrfors kraftverk och Norrforsdammen i närheten av Umeå, Sverige. De svenska representanterna reste till Seattle, Washington i maj 2001 för att presentera projektets organisation och planer samt uppgifter om fiskpassagen för fiskforskare och tekniker vid NMFS. De svenska representanterna besökte olika fiskpassager i Washington och Oregon för att studera hur de utformats och vilken teknik som använts för att underlätta vandringen av ung och vuxen stillahavslax (*Oncorhynchus spp*). På basis av den svenska delegationens uppgifter delgav NMFS-representanterna sina tankar och iakttagelser angående möjliga lösningar på problemet med fiskpassagen vid Stornorrfors kraftverk och Norrforsdammen. Eftersom dessa anläggningar är unika och har komplicerade hydrauliska förhållanden och tunnelkonstruktioner var det svårt för NMFS-representanterna att komma med detaljerade rekommendationer. Därför tyckte den svenska delegationen att NMFS-representanterna borde göra ett personligt besök och på plats studera de lokala förhållandena innan de utvecklade de slutliga rekommendationerna för tänkbara lösningar på problemet med fiskpassagen.

Representanterna från NMFS besökte Umeå den 19-23 augusti 2001 för att studera förhållandena där fisken passerar Umeälven i anslutning till Stornorrfors kraftverk och Norrforsdammen. NMFS-representanterna var Dr. John Williams (rådgivande forskare och fiskeribiolog) och John Ferguson (rådgivande forskare och fiskeribiolog) från Northwest Fisheries Science Center, Seattle, Washington och Ed Meyer (fiskpassagetekniker) från Northwest Region, Hydropower Branch, Portland, Oregon. Under besöket var vattenföringen i maskinstationen ca. 550 m³/s och flödet i den gamla älvfåran var ca. 20 m³/s. NMFS-representanterna studerade laxtrappan (ingången, själva trappan och fiskfällan), fördammens utlopp, utskovet samt tillflödet av lockvatten till Norrforsdammen. De tittade även på gamla älvfåran nedströms från dammen till sammanflödet med kraftverkets utloppskanal vilket inkluderade Laxhoppet, gamla kraftverket vid Klabböle och Baggböleforsarna. Slutligen besökte NMFS-representanterna fördammen till Stornorrfors kraftverk där de studerade intaget, generatorområdet, platsen där utloppstunneln mynnar samt den öppna utloppskanalen nedströms fram till platsen där turbinvattnet möter den gamla älvfåran.

Stornorrfors kraftverk och Norrforsdammen ligger i Umeälven cirka 15 km väster om Umeå stad. Kraftverket som stod färdigt 1958 har en fallhöjd på 75 m, fyra turbinenheter (5,2 meters löphjulsdiameter), en kapacitet på 1000 kubikmeter vatten per sekund med en effekt på 600 MW. Vattnet som går ut från turbinernas sugrör passerar en underjordisk bergtunnel som är ca 4 km lång och 11 meter bred. En fri vattenyta finns bara i den översta 1,75 km av tunneln. Utloppstunneln slutar strax nedanför det gamla kraftverket vid Klabböle, ca 200 m före den plats där gamla älvfåran mynnar, där den övergår till att vara en öppen kanal.

En 280 meter lång fisktrappa byggdes vid Norrforsdammen och den har varit i bruk sedan 1960. Trappan är av tröskel-bassäng-modell med 75 trösklar och 7 vilobassänger och är belägen på den högra älvstranden (när man tittar nedströms) i närheten av utskovet. Lutningen på trappan är 1:10 och höjden 26,5 m. Trösklarna har en mynning som är 1 meter bred och 0,82 meter hög. Vi beräknade att vattenflödet genom trappan är ca. 1,7 m³/s. Tillförseln av lockvattnet från fördammen är 19 m³/s och vattnet mynnar ut i ett område nedanför trappans första tröskel via en närliggande kanal. Utskovet består av fyra sektioner som kontrolleras av radiära luckor och det har en normal tappningskapacitet på 3200 m³/s.

Befintlig information om laxvandringens tidpunkt och omfattning, vandringsmönster och överlevnad av vuxen och ung fisk i det aktuella projektområdet är begränsad i jämförelse med liknande områden i U.S.A. År 1967 märkte Montén (1985) 32000 odlade laxar med Carlinmärken. De märkta laxarna släpptes ut på fem lokaler inom det aktuella området och på en lokal nära Umeälvens mynning för att kunna uppskatta överlevnad. Laxutsläpp genom turbinerna gjordes vid full vattenföring (233 m³/s). Resultaten baserades på återfångst av vuxna laxar av fiskare (älv, kust och hav) under 1971. Montén uppskattade dödligheten till 8, 19 och 25 % för passage genom turbinerna, utloppstunneln respektive turbiner i kombination med utloppstunneln. Dödligheten vid utskovet var 16% vid ett spillflöde av 289 m³/s. Dödligheten vid passage genom gamla älvfåran nedströms utskovet och förbi Baggböleforsarna uppskattades vara 23 % vid ett vattenflöde på 590 m³/s. Den totala dödligheten från fördammen genom utskovet och gamla älvfåran förbi Baggböleforsarna beräknades till 35 %. Dessa tester upprepades inte under något annat år. Lundqvist m.fl. (1988) släppte cirka 41000 Carlin-märkta laxsmolt mellan åren 1977-1979. De hittade inga skillnader i återkomst (vuxen fisk) mellan fisk som släppts vid Norrfors laxodling och de som släppts vid slutet av gamla älvfåran i närheten av Baggböleforsarna. Detta tyder på att smoltöverlevnaden genom gamla älvfåran är hög.

Utvärderingar av vuxna laxars vandring ovanför Norrforsdammen gjordes 1995, 1996, 1997, 1999 och 2001. På svenska finns rapporter från 1995 (radiotelemetri-arbeten av Carlsson, Lundqvist och Eriksson för Länsstyrelsen i Västerbotten och SLU), 1996 (Carlin-märkt fisk av Perä och Karlström för Fiskeriverket i Luleå), 1999 (radiotelemetri-arbeten av Rivinoja och Lundqvist för SLU) och 2001 (radio-telemetriarbeten av Rivinoja och Lundqvist för SLU). 1997 års radiotelemetri-arbete är publicerat på engelska (Rivinoja m fl 2001). En sammanfattning av resultaten från dessa undersökningar presenteras nedan (data från svenska rapporter gavs av Hans Lundqvist personligen i januari 2002).

	1995	1996	1997	1999	2001
Antal märkt vuxen fisk (typ av märkning)	30 (radio)	574 (Carlin)	80 (radio)	60 (radio)	70 (radio)
Andel (%) märkt fisk som passerat laxtrappan	0	17	26	32	17
Medianvärdet för antal dagar det tar att passera trappan från märkningstillfället	0	52	52	44	45

Dessa resultat indikerar att vuxen fisk inte framgångsrikt passerar dammen. Till exempel märkte Rivinoja m. fl. (2001) 55 vilda och 25 odlade laxar. Av dessa märkta fiskar klarade ungefär 85% av att ta sig till platsen där gamla älvfåran och utloppskanalen möts. Endast 26 % av den vilda fisken och ingen odlad fisk lyckades passera dammen. Orsaken till att den odlade fisken inte passerade dammen kan vara att den vuxna fisken återvänt till den plats från vilken de blev släppta som smolt, nämligen poolen nedanför laxtrappan och fiskodlingen. Icke desto mindre var den låga andelen återvändande vild lax alarmerande vilket i hög grad påverkade vårt angreppssätt.

Rivinoja m. fl. (2001) gjorde en utvärdering av den fjärde turbinen som installerades i maskinstationen 1986. Han fann inga effekter på den vilda laxens vandringstid, baserat på räkningar i laxtrappan.

De svenska representanterna berättade att radio-telemetriska undersökningar visar att vuxen fisk som märkts i närheten av Umeå stad ganska snabbt vandrar upp till platsen för sammanflödet av gamla älvfåran och utloppskanalen. Men en stor andel av den radiomärkta fisken blir stående nedströms gamla älvfåran i huvudälven, vid stranden mitt emot sammanflödet, eller vandrar upp i tunnelutloppet. När vattenflödet i gamla älvfåran är stort, till följd av ökat spill, förflyttar sig många fiskar in till gamla älvfåran och blir stående nedanför Baggböleforsarna och när spillet minskar drar sig några tillbaka nedströms. En del fiskar som vandrar genom Baggböleforsarna blir stående i poolen nedanför laxtrappans ingång och tar upp till 6 dagar på sig för att passera trappan. Rivinoja m. fl. (2001) fann att mer fisk passerade trappan under veckodagarna än under helgerna, vilket sammanfaller med mindre spill. Detta tyder på att högre spillvattensnivåer antingen trycker bort fisken från poolen nedanför trappan eller försvårar för fisken att hitta trappans ingång. Även om fisken genomgående behövde 2 månader på sig för att passera Norrforsdammen under denna studie så har motsvarande tider observerats på 1860-talet, d.v.s. innan dammen ens byggts i älven (Rivinoja m. fl. 2001).

I tidiga spårningsstudier observerade man att fisk som tagit sig genom laxtrappan förlorades genom utskovet. Därför modifierades laxtrappans utgång genom att sätta dit ett rör som förlängde utgångens utsläppspunkt uppströms med ca 75 meter. Denna förändring har inte utvärderats med avseende på förlust av fisk genom utskovet eller turbinerna.

Denna rapport ger allmänna rekommendationer för att förbättra fiskpassagen i Umeälvens nedre sträcka, den som är associerad med Stornorrfors kraftverk och Norrforsdammen. Dessa rekommendationer baseras på egna observationer under studiebesöket, befintlig biologisk information och vår kännedom om anlagda fiskpassager som framgångsrikt leder upp stillahavslax. Rekommendationerna ges med följande förbehåll: vi försöker inte fastställa vilken påverkan människans konstruktioner har haft på fiskbeståndets storlek, och inte heller fastställa vilka fördelar som tillkommer efter förändringar av de befintliga förhållandena.

REKOMMENDATIONER

1 Prioritera förbättrad passage av vuxen fisk (lekfisk) framför förbättrad passage av smolt

Med utgångspunkt från den biologiska information som finns att tillgå tror vi att förbättrade förhållanden för den vuxna fiskens passage uppströms ger en betydligt större potential för att öka fiskpopulationen ovanför dammen än förbättrade förhållanden för ung fisks vandring nedströms. En effektiv anordning för passage uppströms bör på ett säkert och snabbt sätt leda igenom 95% av den vuxna fisken som vandrar uppströms. Även om en förbättrad anordning för passage endast leder igenom 90% av vuxen fisk, så är detta ändå en förbättring med 300% i antal fiskar som går upp i trappan och fortsätter sin vandring mot lekområdena i Vindelälvens övre sträcka (jämfört med de 26% som passerar i dag). Denna ökning är många gånger högre än vad åtgärder för att förbättra ung fisks vandring nedströms skulle ge. Att montera nät eller galler för att leda bort ung fisk från turbinerna, vidare genom en sidoränna och tillbaka till älven nedanför Stornorrfors kraftverk skulle öka överlevnaden av ung fisk med endast 25%.

2. Konstruera ett lockvatten- och trapps-system med pumpat eller naturligt fallande vatten och en uppsamlingbassäng och transportanordning vid tunnelutloppet

I avsaknad av ett stort återflöde av vatten från maskinstationen till gamla älvfåran, är det bästa alternativet för att förbättra passagen för vuxen fisk vid Stornorrfors kraftverk och Norrforsdammen att konstruera ett locksystem mellan tunnelutloppet och sammanflödet med gamla älvfåran (Figur 1).



Figur 1. Utloppskanalen från Stornorrfors kraftverk, sett uppifrån (öster).

Systemet bör inkludera en eller två ingångar som tillåter fisken att gå in i en trappa som leder till en uppsamlingsbassäng och transportanordning eller, på lång sikt, till en trappa som i sin tur leder fisken tillbaka till gamla älvfåran uppströms Baggböleforsarna eller leder förbi Norrforsdammen.

De höga anläggningskostnaderna för en permanent trappa samt osäkerheten med varje ny lösning för att locka fisk i stora älvar talar för att det klokaste första steget är att konstruera lockvattenssystemet, ingången samt trappan som leder till uppsamlingsbassängen. Från bassängen håvas fisken, eller lyfts i vatten, och förs över till en tankbil för transport till den utvalda utsläppsplatsen. Alternativet med uppsamlingsbassäng och transport är det mest ekonomiska och effektiva sättet för att kontrollera att locksystemet är utformat och placerat på rätt sätt, och att det leder igenom en stor andel fisk förbi dammen. Ett antal sådana anläggningar har varit i drift under lång tid i nordvästra U.S.A. Även om detta uppsamlings- och transportsystem initialt är mindre kostsamt än en fullständig laxtrappa så är de årliga kostnaderna högre för underhåll av utrustningen och drift av systemet under vandringsäsongen.

Om en hög andel fisk framgångsrikt lockas upp i trappan så bör man överväga att byta ut uppsamlingsbassängen och transportförfarandet mot en permanent laxtrappa. Här nedan diskuteras två lämpliga sträckningar för trappkonstruktioner:

1) Leda en trappa förbi gamla kraftstationen i Klabböle. Ett ytterligare flöde vid betongväggen i övre delen av det gamla inloppet skulle skapa ett nettoflöde som lockar fisken genom inloppet till den befintliga lilla trappan överst i inloppet. Denna lilla trappa vid inloppskanalen tycks vara välkonstruerad men grundområdet vid trappans ingång, och strax nedanför, kan behövas göras djupare (Figur 2). När fisken kommer upp ur trappan kan den återgå till gamla älvfåran ovanför Baggböleforsarna och fortsätta till laxtrappan vid Norrforsdammen.



Figur 2. Liten bassäng och trappa vid den övre delen av det gamla kraftverkets inlopp.

2) Leda trappan till en plats ovanför Norrforsdammen eller till början av den befintliga laxtrappan vid dammen

En trappa som slutar ovanför Norrforsdammen skulle placera fisken direkt ovanför dammen, även om detta skulle medföra högre anläggningskostnader. I vilket fall, så skulle flottningsrännans befintliga grund vara en möjlig placering för en trappa. Om flottningsrännans läge väljs kan det vara en fördel att lägga ingången(arna) till trappan längs den högra stranden av tunnelutloppet.

Vi tror att den viktigaste orsaken till den låga andelen återvändande lax över Norrforsdammen beror på att laxen lockas av det höga vattenflödet (både volym och strömhastighet) i Stornorrfor kraftverks utloppskanal. Under perioder utan spill kommer mer än 95 % av flödet i nedre Umeälven från kraftverkets utlopp vilket utövar en större dragningskraft på laxen än flödet i gamla älvfåran. Vi kunde observera lax som cirkulerade vid utloppstunnelns mynning. Dessa observationer och de observationer på laxens beteende som gjorts i de senaste radiotelemetri-studierna talar för att få fiskar väljer att gå upp i gamla älvfåran. Uppvandrande fisk söker sig oftast till områden med höga vattenflöden och strömhastigheter. Detta är troligen ett evolutionärt utvecklat beteende som ger hög lekframgång eftersom den fisk som attraheras av de högsta flödena och strömhastigheterna tenderar att följa älvarnas huvudfåror mot lekområdena. Då kraftverkets utlopp tillhandahåller en naturlig källa som lockar vuxen fisk men inte ger möjligheter till passage, så verkar detta vara en utmärkt lokalisering för åtgärder som förbättrar passagen.

Väl fungerande system för att attrahera vuxen stillahavslax har ingångar och lockvattensflöden som kompletterar det medfödda beteendet hos laxen. Det är svårt att uppnå hög vandringsframgång när fisken måste korsa älvarna eller gå in i kanaler med låga flöden och strömhastigheter. Därför tror vi att det första och viktigaste steget mot att förbättra möjligheterna för fisken att passera bortom Norrforsdammen är att göra lösningar som utnyttjar fiskens naturliga benägenhet att gå in den kanal som har högst flöden. Vårt fokus ligger på att använda turbinvattensutflödet för att locka fisken till utloppskanalen och att tillsätta lockvatten i utloppskanalen för att få fisken att gå till trappans ingång. Vi tror att en kombination av lämplig lockvattensvolym, strömhastighet och placering kommer att leda en stor andel fisk till trappan. Det stora antalet vuxna laxar som för närvarande går in i tunnelutloppet utgör förmodligen en stor andel av det totala antalet vuxen lax som vandrar upp.

Preliminära tekniska analyser: Våra preliminära tekniska analyser finns att läsa i Appendix A. Tre alternativa lösningar vad gäller mängden lockvatten och anläggningarnas storlek diskuteras. Det första alternativet bygger på de kriterier vi använder för att locka stillahavslax in i trappan. Vi rekommenderar ett flöde vid ingången till trappan som är 3% av turbinutloppets, eller 30 m³/s, och att trappan har två ingångar som är 3,05 meter breda vilket ger en strömhastighet på 3,0 m/s när höjdskillnaden är 0,458 meter. En ingång bör ligga parallellt med strandlinjen och en annan i 45° vinkel in mot utloppet.

Medan vi är ganska övertygade om att kriterierna som är utvecklade för stillahavslax också går att tillämpas här, så är vi också medvetna om att Stornorrfor kraftverksområde är mycket unikt. Till exempel så lämnar allt turbinvatten tunneln vid en punkt, kommer in i utloppskanalen djupt underifrån och mynnar sedan ut i ett

litet och smalt område. Dessa förhållanden, i kombination med den vuxna laxens vandringsbeteende, säger oss att en framgångsrik fisktrappa kan ha en lägre volym och mindre flöde vid ingången än vad som normalt behövs i Columbia River. I Appendix A diskuterar vi det andra och tredje alternativet vilka skulle producera flöden vid ingången som är hälften och en fjärdedel så stora som de 30 m³/s vi normalt skulle rekommendera. Vi rekommenderar inte den ena alternativa ingångsvolymen framför någon annan. Snarare tror vi att de lokala representanterna har den bästa informationen om hur mycket man är beredd att pruta på funktionen i relation till anläggningskostnaderna.

3. Förändra de hydrauliska förhållandena på botten av Norrforsdammens laxtrappa där trappan förses med lockvatten.

Den befintliga utformningen för tillförsel av lockvattnet utnyttjar inte hela attraktionskapaciteten eftersom vattnet översvämmar den nedre änden av trappan och gör lockvattnet extremt turbulent och syresatt.

Ungefär 19 kubikmeter lockvatten per sekund kommer från trottelventilerna närmast och far vidare genom en separat kanal bredvid trappan. Porten kan släppa antingen yt- eller djupvatten (topp- eller bottenluss). Vattnet rinner nedför en kanal som slutar i ett underdimensionerat lugnvattensområde och vidare ut till trappans nedre 2 eller 3 trösklar. Trösklarna i dessa nedre trappbassänger verkar inte ha någon öppning. Lockvattnet kommer in i trappan i den tredje trappbassängen nerifrån räknat, men det är oklart huruvida det finns någon spridare på golv eller väggar. Strömhastigheten och turbulensen är ganska hög i dessa nedre trösklar och alltför mycket vatten verkar försvinna från trappan (Figur 3).



Figur 3. Ingången till Norrforsdammens laxtrappa i bildens övre vänstra del och lockvattenstillförseln till trösklarna nedtröms trappans ingång som visar det syrerika och turbulenta flödet.

Detta är bekymmersamt därför att en bra passage genom trappan sker när både turbulens och syresättning är liten. Ett annat problem är huruvida höjdskillnaden i trappans nedre del (ca. 1 meter) är större än den 1:10 lutning som råder i resten av trappan (något som är typiskt för trappor som framgångsrikt leder upp stillahavslax). Vi såg många fiskar i den stora poolen nedanför trappan vilket kan bero på att lockvattnet till de nedre trösklarna har orsakat dåliga hydrauliska förhållandena vid ingången till trappan. Det är också möjligt att en del fiskar slutar sin uppströms vandring i denna pool därför att de är av odlat ursprung och släppta här som unga.

Preliminära tekniska analyser: Våra preliminära tekniska analyser finns att läsa i Appendix B. Vi utvecklade tre potentiella lösningar för de dåliga hydrauliska förhållandena och de eventuella problemen med fördröjningar i området. Vi föredrar alternativet med en fullständig ombyggnad av den nedre delen av trappan. Med detta menar vi att platsen, och på det sätt lockvattnet levereras till den nedre delen av trappan, behöver göras om. Ett nytt system behövs för att integrera lokaliseringen av spridaren, dimensionering, vattenvolym och strömhastighet med trösklarna och dess öppningar så att hydrauliken och förhållandena vid fiskpassage förbättras. Vi föredrar detta alternativ därför att en fullständig ombyggnad av den nedre delen av trappan skulle åtgärda de dåliga hydrauliska förhållandena i området. Tyvärr är detta troligen ett dyrt alternativ.

Vi rekommenderar därför att tillförseln av lockvattnet till trappan minskas och att överskottsvattnet leds till utskovet för att upprätthålla flödet i gamla älvfåran. Detta är relativt enkelt att testa genom att minska tillförseln av lockvattnet och sedan utvärdera fiskpassagen genom att använda radio-telemetri. I början rekommenderade vi en minskning av lockvattensflödet i trappan till cirka $4,25 \text{ m}^3/\text{s}$. Detta kräver en ombyggnad av trösklarna i de nedre trappbassängerna så att djupet på flödet över kanten av trösklarna hålls på 0,305-0,458 m. Ingången till fisktrappan borde också vara djupare än bred, så att fisken inte tvingas att hoppa in i trappan. Dessutom bör inte överskottsvattnet som avletts till utskovet kunna utöva falsk attraktion på uppvandrande lax. Bredden på utskovet är potentiellt tillräcklig för att skapa ett relativt grunt flöde med låg strömhastighet som inte lockar fisken in till utskovsområdet. Alternativt kan det avledda vattnet återinföras i närheten av fisktrappan på ett sådant sätt att det lockar den vuxna fisken till trappans ingång, utan att lura bort den från trappan. Detta kan kanske åstadkommas genom att skapa en barriär och fördämning tvärs över ingången till utskovsområdet eller ett grunt flöde tvärs över utskovsområdets mynning med ett fall på 0,61 – 0,91 meter, något som skapar så grunda förhållanden att fisken inte kan hoppa. Det finns ett antal andra möjligheter för att uppnå detta. Lokala experter som känner platsen, vattnet, hydrauliken och fiskpassagen har de bästa kvalifikationerna för att ta fram en slutlig lösning för att få till ett bra lockvattensflöde, om detta alternativ kommer att tillämpas.

Ett tredje alternativ är att förlänga trappan nedströms och rikta lockvattensflödet till trappans förlängning. I det här alternativet försvinner de nedre öppna trösklarna och trappan fortsätter istället nedströms längs bergväggen på högra stranden. Detta skulle flytta trappans ingång nedströms till poolområdet och skulle nyttja det närliggande lockvattensflödet. Denna design används vanligen för dammar i Columbia River där stora volymer spills i närheten av, och parallellt med vattenflödet från trappans ingång. Då lockvattensflödet är 10 gånger högre än trappans flöde så måste de

hydrauliska förhållandena utvärderas och anläggningen utformas noggrant så att lockvattensflödet parallellt med bergväggen inte träffar eller täpper till ingången till trappan. För närvarande kan den smala klipphyllan längs högra stranden nedströms trappans ingång försvaga lockströmmarna in mot trappan och istället få fisken att följa strömmen och simma upp och över den grunda klipphyllan (Figur 4).



Figur 4. Pool och klipphylla nedströms ingången till Norrforsdammens laxtrappa.

Förhållandena i detta område under spillperioder kan kräva nya eller förändrade ingångar till trappan. Den falska dragningskraften till spillvattnet måste övervägas och åtgärdas med en spridare eller fördämning. Det här alternativet är potentiellt genomförbart men kräver en noggrann hydraulisk design och kanske även hydraulisk modellering.

4. Minska flödet i Norrforsdammens trappa

När vi tittade på trappan från kanten av utskovet noterade vi att vattnet i trappbassängerna var turbulent, vilket tyder på att flödesvolymen nedför trappan är för hög (bassängerna verkar vara för små för den aktuella vattenmängden). Peter Rivinoja kommenterade att en del fiskar tappade sina märken i trappan och att märkt fisk tog 2-4 dagar på sig för att passera trappan. Våra observation av turbulens, tillsammans med de förlorade märkena i trappan, fick oss från början till att tro att fisken fick kämpa sig genom trappan vilket stöddes av observationerna på den stora flödesvolymen som ger turbulens i varje trappdamm. Senare under besöket fick vi veta att radiomärkena fästes utanpå fisken vilket kan ha bidragit till att de lossnade. Denna icke hydrauliska förklaring till att märkena lossnade och det faktum att atlantlax är mycket duktiga simmare talar för att fisken klarar av de hydrauliska förhållanden som råder i trappan. Men, med utgångspunkt från våra erfarenheter med stillahavslax tror vi att med en total fallhöjd på 26 meter borde fisken behöva 12 timmar, eller mindre, på sig för att vandra uppför den här typen av trappa. Sätillvida det inte finns problem med de hydrauliska förhållandena, hinder i trappan eller

beteendemässiga eller fysiologiska orsaker till fördröjningen borde fisken lätt passera uppför trappan. Ett möjligt problem med tidsåtgången vid passage kan kanske sättas i samband med fiskfällan och hur den sköts, något som diskuteras längre fram under *Andra bekymmer med passagen*.

Preliminära tekniska analyser: Våra preliminära tekniska analyser finns i Appendix B som presenterar tre möjliga lösningar på problemet med dåliga hydrauliska förhållanden och fördröjningar vid trappassagen. Vi rekommenderar att vattenflödet i trappan reduceras till cirka 1,34 m³/s för att tillgodose kriteriet för maximal energidämpning som är 19,5 m·kg/s/m³ (4 ft·lbs/s/ft³). Vattenflödets djup, när det rinner över kanten på varje tröskel, bör hållas på 0,305 meter och bredden på den nedsänkta öppningen bör minskas från 1,01 meter till 0,76 meter.

5. Utveckla ett integrerat system för fiskpassage och utvärdera ett ökat flöde i gamla älvfåran.

Vi har tidigare rekommenderat att det är nödvändigt att lösa problemen med den befintliga trappan och med den falska attraktionen in till utloppskanalen. Vi tror att majoriteten av den uppvandrande fisken går till tunnelutloppet, särskilt under perioder utan spill. Det finns dock flera anledningar till att inte bortse från behovet att åtgärda flödesnivåerna i gamla älvfåran. Fisken kommer förmodligen även fortsättningsvis att gå upp i gamla älvfåran, särskilt under spillperioder. Det finns också problem med passagen genom gamla älvfåran under rådande flödesnivåer, vilket diskuteras framöver under *Andra bekymmer med passagen*. Vuxen odlad fisk kan också välja att gå upp i gamla älvfåran på grund av luktsignaler från laxodlingen. Om det rekommenderade systemet med lockvatten, trappa och uppsamlingsbassäng vid utloppstunneln inte fungerar som förväntat är det ännu viktigare att etablera ett konstant flöde genom gamla älvfåran som lockar och skapar goda förhållanden för passage.

Flödesvolymen i gamla älvfåran bör därför omprövas och möjligen ökas till mer än 20 m³/s för att fisken skall lockas dit. En sådan ökning skulle också kunna förbättra förhållandena vid passagen så att fisken kan röra sig effektivt genom gamla älvfåran, forsarna och den befintliga trappan. Experiment och biologiska utvärderingar kommer att krävas för att kunna bestämma vilka flöden som ger de bästa förutsättningarna för en effektiv fiskpassage.

Oavsett vilka förbättringar som görs så rekommenderar vi att de olika elementen betraktas som ett system, inte som enskilda komponenter. Om till exempel trappan vid Norrforsdammen byggs om och fungerar väl med det rådande vattenflödet (20 m³/s) i gamla älvfåran kan ett ökat vattenflöde i fåran påverka trappans funktion. Om till exempel naturligt fallande vatten används som lockvatten till uppsamlingsbassängen vid utloppskanalen måste utskovet ökas för att upprätthålla ett flöde av 20 m³/s i gamla älvfåran. Sammanfattningsvis så måste de valda alternativen för förbättrad fiskpassage fungera tillsammans och komplettera varandra.

6. Genomför ytterligare beteendeforskning i liten skala.

Innan åtgärderna för förbättrad fiskpassage planeras och utformas bör kunskapen om fiskens beteende förbättras. Radiotelemetriska beteendestudier i liten skala vid tunnelutloppet skulle till exempel öka kunskapen om fiskens rörelsemönster i området. Installation av undervattensantennerna i turbinutloppet och gamla älvfåran skulle underlätta bedömningar av var ingången(arna) till trappan och var uppsamlingsbassängen bör ligga. Antenner placerade i Norrforsdammens första trapptröskel skulle ge underlag för att bedöma om förseningar under passagen i trappan sker i den första tröskeln eller i själva trappan. Detta skulle underlätta beslut om huruvida en ombyggnad skall göras av trappans ingång, trappans trösklar eller både och så att tidsåtgången vid passage minskar till rimliga nivåer. Även om uppskattningar av mediantiden för passage ger ett bra mått på trappans effektivitet så är det också viktigt att titta på hur mycket det sprider i tidsåtgång vid passage eftersom en del fiskar kan stanna extremt långa perioder. Uppgifter på tidsåtgång vid passage för den 10:e, 50:e och 90:e percentilen för både vuxen fisk och grilse under rådande vattenflöden kan indikera om det finns något samband mellan fiskstorlek och tidsåtgång vid passage. Om tidsåtgången är stor görs en ny test med minskade flöden i trappan och över varje tröskel, eller också görs ett försök med blockdesign där rådande respektive minskat flöde och de tre nämnda percentilerna jämförs med avseende på tidsåtgång.

Vi föreslår att det planerade programmet med att radiomärkta och följa 70 vuxna fiskar under 2002 fördubblas eller tredubblas. Då återvandringen är så låg skulle ett utökat program ge betydligt bättre provstorlek i området nedanför samt genom trappan. För att minska risken med att märkena lossnar rekommenderar vi också att använda radiomärken som implanteras i fisken (mage/tarm). För närvarande vet vi inte vilken påverkan de yttre märkena har haft på de tidigare resultaten men noterar att Rivinoja m. fl. (2001) fann att 8 av 12 vilda fiskar som passerat trappan hade förlorat sina märken.

Vi rekommenderar också att varje förändring i flödesregim och anordning utvärderas efter 2-3 år för att bedöma resultatet. Ett antal utvärderingsmetoder finns tillgängliga. I detta fall rekommenderar vi att radiotelemetri och fiskräkning i trappan används för att jämföra fiskens vandringstid och passage genom den nya trappan och uppsamlingsbassängen med historiska uppgifter på antal och vandringstid.

ANDRA BEKYMMER MED PASSAGEN

Under vårt besök noterade vi andra potentiella problemområden. Här identifierar och diskuterar vi även dessa eftersom lösningar inom dessa områden förmodligen kommer att öka framgången för passerande och vandrande vuxen lax.

1. Fisktrappans befintliga fiskfälla

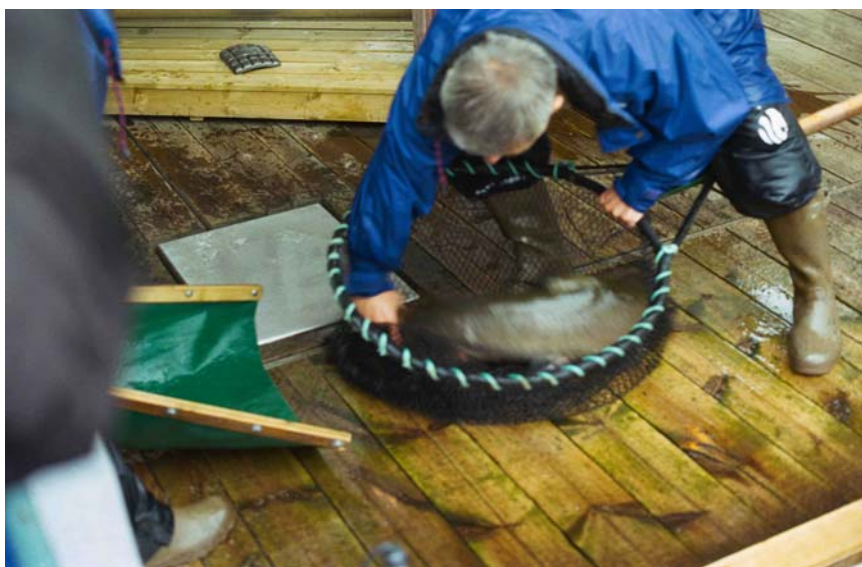
Den översta avsatsen i trappan används som förvaringsbassäng där fisken också fångas. Golvet i dammen har ett sluttande galler som lyfts upp för att samla ihop fisken i nedre änden och för att underlätta håvning (Figur 5).



Figur 5. Fiskfällan i laxtrappans översta bassäng. Bassägen är en sk fångstbassäng med gallergolv som kan lyftas för att tränga ihop fisken innan håvning.

Enligt personalen vid Vattenfall AB kan bassängen innehålla så många som 300-400 fiskar (mest grilse) vid ett tillfälle. Fisken håvas för hand, vägs och sorteras. Vild fisk släpps ut från fällan via ett rör som utmynnar ungefär 75 meter uppströms där fisken kan fortsätta sin vandring. Odlad fisk placeras i en tankbil för transport till Norrfors laxodling. Fisken i fällan hanteras utan föregående bedövning.

Vi såg inget hjälpmedel som lät fisken gå rakt genom fällan ut i fördammen ovanför. Fällan är primitiv såtillvida att all fisk stoppas av den, hanteringen av fisken sker utan bedövning eller utan kontinuerlig vattenmiljö och ett stort antal fiskar kan gå in i fällan samtidigt (Figur 6).



Figur 6. All lax samlas, håvas och sorteras i fällanordningen utan bedövning.

Vi är bekymrade över att fisken trängs ihop, håvas och mäts på land utan bedövning. Hur detta förfaringssätt påverkar den fortsatta vandringen till lekområdena och dödligheten efter leken är inte känt. Om fällan och hanteringsmetoderna uppfyller fiskeintressenternas behov skulle vi inte prioritera en ombyggnad av fiskfällan just nu. Om de däremot inte svarar mot behoven, och om det i framtiden finns ekonomiska resurser, så vill vi rekommendera en omfattande ombyggnad av fällan samt att en anordning installeras så att vild och odlad fisk kan hanteras och sorteras utan att de vidrörs, och vid behov även under bedövning. Som exempel kan nämnas anordningen i Cowlitz River, Washington vilken vi besökte i maj 2001 eller den mer småskaliga fällan som finns vid 3-Mile Dam i Umatilla River, ett biflöde till Columbia River nära Umatilla i Oregon. Om fisken måste hanteras rekommenderar vi installation och användning av bedövnings- (t. ex. MS222) och återhämtningstankar för att minimera stress och skador under fångst och sortering. En varning: vid Columbia River-dammen har vi sett att bara lite människodoft i fällan kan leda till att fisken försenas. Till exempel kan en hand i trappans vatten under några minuter hindra uppvandringen i flera timmar. Därför kan håvningsrutinerna orsaka förseningar om människodoft kommer ner i trappans vatten när fisken håvas och hanteras.

Ytterligare behov av information: Inget för tillfället. Men om en permanent trappa anläggs från tunnelutloppet till toppen av utskovsdammen kan en ny uppsamlingsbassäng och andra hanteringsmetoder tas i beaktande samtidigt.

2. Eventuella fiskförluster från utsläppsröret vid Norrforsdammens fisktrappa

Fisk som valts ut i fällan för vidare vandring uppströms återvänder till fördammen via ett 0,3 meter brett sluttande rör med vattenspolning. Röret mynnar ut i närheten av en plats längs den högra stranden av utskovets intag som separerar huvudflödet till kraftverket från flödet till utskovet. Utloppet ligger 75 meter uppströms trappans utgång (Figur 7).



Figur 7. Fisk från fällan återvänder till fördammen via ett rör (Ø 0,3m) med vattenspolning, cirka 75 meter uppströms Norrforsdammen. Rörets utlopp är beläget i området som syns längs den högra stranden av udden som delar kraftstationens och utskovets fördammar.

Fallet från slutet av röret ner till sjön är inte så stort (25-50 cm). Med utgångspunkt från de ytliga vattenströmmarna verkar det som om det finns en strömvirvel utanför udden vilken sveper förbi utloppet längs stranden. Detta bör ge en positiv signal för fisken att simma uppströms och bort från utloppet. Men fisk som simmar uppströms efter att ha lämnat utloppsröret kan också följa öns strandlinje och vända tillbaka nedströms och följa med vattenmassan mot kraftverket. Eftersom kraftverket är beläget betydligt längre nedströms kan fisken kanske söka sig till fördammen och sedan orientera sig mot strömmarna och fortsätta vandringen. När vatten spills borde vattenhastigheter och strömriktningar vid utsläppsrörets utlopp skapa ett positivt nettoflöde som vägledning för vandring uppströms. Vi kunde dock inte observera utloppet under spill. Det primära vad gäller placeringen av utsläppsrörets utlopp är risken för att fisken förloras i utskovet under spillperioder.

Om radiotelemetri-studier visar att fisk far tillbaka och förloras via kraftverket eller utskovet kan en lösning vara att under spillperioder flytta vuxen fisk som fångats i fällan till ett ställe på vänstra stranden (sett nedströms) ovanför utskovets intag. När vi stod vid utsläppsrörets utlopp såg vi en udde efter sjöns huvudarm som uppenbarligen kan nå från väg E79 och som skulle kunna vara bra utsläppspunkt. Strömmarna där verkade vara starka och positiva så att fisken kan orientera sig mot den vänstra stranden och fortsätta uppströms genom fördämningen till den fritt rinnande Vindelälven. Vi anser inte att en fysisk förlängning av trappan, eller att dra utsläppsröret mot den vänstra stranden uppströms (och tvärsöver) utskovet är ett hållbart alternativ, p.g.a. höga anläggningskostnader och begränsad höjd.

Ytterligare behov av information: Det är nödvändigt att utvärdera den vuxna fiskens beteende när den lämnar röret under perioder med eller utan spill. Radiomärkning kan användas för att dokumentera huruvida fisk förloras genom kraftverket eller utskovet, och i så fall under vilka omständigheter. Utvärderingen skulle kräva ett litet antal testfiskar eftersom fisken far tillbaka med en gång, om det finns sådana problem. För att bestämma om förlusten är kontinuerlig eller episodisk bör man testa olika manipulationer av vattenflöde och spillvatten. Det är svårt att tolka vad som är en acceptabel förlust. För Columbia River anser vi att en förlust på >5-10% är oacceptabel, även om nivåerna ofta är högre. Förhållandet mellan fiskförlust och överlevnad och dödlighet före leken är inte väldefinierat i vår region. Om förlusten endast sker under korta perioder med stort spill är det inte motiverat med några åtgärder.

3. Utskovsöverlevnad

Utskovskanalen är grov, obearbetad och består av berggrund. Det finns ingen lugnvattensbassäng nedströms som dämpar spillvattnets rörelseenergi. Utskovets lugnvattensbassäng består av cement och den gamla älvfårans berggrund vilket kanske kan förklara mycket av den unga fiskens dödlighet som Montén (1985) mätte genom utskovet. Det råa ytan skapar hög turbulens vilket ökar sannolikheten att

fisken träffar substratet och skadas eller dör. Det närmaste platsen som har tillräckligt djup för att dämpa rörelseenergin är längre ner, i närheten av trappans ingång (Figur 8). Vi såg inget spill under vårt besök här.



Figur 8. Utskovskanalen består av grov, obearbetad berggrund. Den första dämpningsbassängen ligger nedströms laxtrappans ingång.

Vi rekommenderar inte att utskovet utgör en passage för ung eller vuxen fisk på grund av det grova substratet i kanalen omedelbart nedanför utskovet, avsaknaden av pool eller strukturer som dämpar rörelseenergin och med tanke på skaderisken när fisken passerar genom dessa grunda och turbulenta områden. När strömmar med hög rörelseenergi träffar kanalens grova yta skapas turbulens vilket ökar sannolikheten att fisken träffar substraten och dör. Vi känner inte till några uppgifter på hur stor överlevnaden för vuxen fisk är genom utskovet. Vår uppfattning stöds dock av uppgifter från Montén (1985) som rapporterar att ca. 16 % av smolten försvinner vid passage genom utskovet (från fördammen till trappans slut). Detta är en extremt hög smoltdödlighet för ett utskov. Exempelvis uppskattade Muir m. fl. (2001) att den relativa överlevnaden vid Columbia River-dammen var högst genom utskovsportar som saknade deflektorer (98,4-100%), följt av utskovsportar med flödesdeflektorer (92,7-100%), system med sidopassage för ung fisk (95,3-99,4%) och (Kaplan) turbiner (86,5-93,4%). Den här uppfattningen stöds också av R2 Resource Consultants, Inc. (1998). De fann att fiskeskada och fiskdöd i utskovets lugnvattensbassäng är relaterade till höga tryckförändringar, gränsområden i kanten av vattenströmmen, bromsande krafter och när fisken stöter ihop med fasta objekt eller bottensubstratet i lugnvattenområdet.

Om en större mängd ung eller vuxen fisk använder utskovet för passage är det antagligen nödvändigt att klä utskovskanalen med cement och att rensa den från större utskjutande delar för att minska dödligheten. En annan möjlig lösning skulle kunna vara att skapa en lugnvattensbassäng genom att bygga en tröskel eller dammbarriär nedströms utskovskanalens slut. Detta skulle kräva hydrauliska modellstudier för att hitta den bästa placeringen för tröskeln eller barriären vilken ger optimala hydrauliska

förhållanden i bassängen under olika vattenflöden. Anläggningskostnaderna för denna lösning är troligen mycket höga.

Eftersom det finns lite kunskap om smoltens utvandringstid och då större delen av älvens vattenflöden passerar maskinstationen så antar vi att merparten av den unga fisken också passerar denna. Den unga fisken kommer dock att passera utskovet under perioder med högvatten i juni och juli då snösmältningen i skogslandet och fjällen orsakar vattenflöden som överskrider maskinstationens kapacitet och då vatten måste släppas. Om man hypotetiskt sett skulle kunna eliminera dödligheten för ung fisk när den passerar utskovet skulle, enligt Monténs uppgifter, överlevnaden av ung lax genom utskovet öka från 84% till 100%. Överlevnaden för hela populationen av ung fisk skulle däremot inte öka proportionellt, eftersom många troligen passerar genom maskinstationens turbiner.

4. Området nedanför trappan – Laxhoppet

Detta område med naturliga fall och rännor har förändrats många gånger under årens lopp för att förbättra passagen i den gamla älvfåran under låga flöden. Strategiskt placerade trösklar kanaliserar flödet så att två, eller möjligen tre, passagevägar skapats (Figur 9). Ytterligare förändringar inom detta område görs bäst av lokala experter som känner områdets hydrauliska förhållanden och som kan observera fiskens beteende över en längre tid vid olika flödesregimer.



Figur 9. Området kring Laxhoppet med naturliga fall och rännor har förändrats för att förbättra passagen i gamla älvfåren under reducerade flöden. Strategiskt placerade trösklar skapar 2 eller 3 vägar för fiskpassage.

Ytterligare behov av information: Visuella observationer av beteende under passagen under olika flödesregimer är nödvändiga. En dokumentation av fördröjningar i området med hjälp av telemetri är också tillrådligt.

5. Området där den gamla älvfåran möter kraftverkets utloppskanal

Under vårt besök var den totala vattenföringen genom maskinstationen ungefär 550 m³/s medan flödet i gamla älvfåran var 20 m³/s. Turbinvattnets utgång från utloppskanalen är ganska smal och hastigheten och volymen på vattnet är hög i jämförelse med vattnet i gamla älvfåran (Figur 10). Det är därför inte förvånande att majoriteten av den vuxna laxen inte väljer att gå upp i den gamla älvfåran.



Figur 10. Sammanflödet av gamla älvfåran (höger) och kraftstationens utloppskanal (vänster). Vattnets strömhastigheter och flödesvolymen vid älvfårans mynning är låg i jämförelse med utloppet från kraftstationens utloppskanal.

En tröskel placerad tvärs över nästan hela mynningen på gamla älvfåran skulle troligen omforma älvfårans vattenflöde och öka strömhastigheten på ett sätt som skulle kunna öka attraktionen in till älvfåran. Detta skulle förmodligen också innebära att det krävs en konstruktion och underhåll av en kanal uppströms tröskeln för att transportera fisken genom det långsamma vattnet till Baggböleforsarna. Om inte älvfåran ovanför tröskeln och nedanför Baggböleforsarna omkonstrueras tror vi att de låga strömhastigheterna uppströms tröskeln skulle påverka fiskens förflyttning. Fisk som rör sig från områden med låg till hög strömhastighet skulle känna av detta och dra sig tillbaka nedströms över tröskeln och in till utloppskanalen. Även om en transportkanal byggs ovanför tröskeln så kvarstår problemen i anslutning till Baggböleforsarna. Att underhålla kanalen kan visa sig vara svårt och dyrt med tanke på den mängd material som behövs för att bevara en kanalkonstruktion i en så stor älv som denna. En kanal som är placerad vid en strand kommer snart att fyllas av material och älven skulle ta sig nya vägar. Telemetri-resultaten har dessutom visat att merparten av fisken rör sig utefter huvudälvens högra strand (sett nedströms).

Som vi tidigare har nämnt i rekommendation 5, skulle en lösning kunna vara att hålla ett högre grundflöde genom den gamla älvfåran. Det är okänt vilken flödesnivå som faktiskt krävs för att framgångsrikt locka fisken upp genom gamla älvfåran. Men det måste till en ordentlig ökning av flödet i den gamla älvfåran för att åstadkomma

attraktiva strömhastigheter och vattenvolymer som kan konkurrera med utflödet från utloppskanalen. En sådan flödesökning skulle också öka strömhastigheten mellan tröskeln och Baggböleforsarna.

Sammanfattningsvis, efter att ha tittat på området där utloppskanalen möter den gamla älvfåran, och i motsats till de rekommendationer vi gav den svenska delegationen vid deras besök i Seattle, tror vi att det är näst intill omöjligt att konstruera en tröskel tvärsöver den gamla älvfårans mynning för att framgångsrikt locka upp fisken i älvfåran under rådande vattenflöden $20\text{m}^3/\text{s}$.

6. Passage genom Baggböleforsarna

Forsarna ligger i den gamla älvfåran cirka 1 km uppströms det ställe där den flyter samman med utloppskanalen. Radiotelemetriska undersökningar har visat att forsarna kan hindra fiskpassage vid låg ($20\text{ m}^3/\text{s}$) respektive hög ($>200\text{ m}^3/\text{s}$) vattenföring. Vi har diskuterat möjligheten att en optimal passage kan ske vid ett flöde på $150\text{ m}^3/\text{s}$. Men det är inte uppenbart vilka flödesnivåer som krävs för att få bästa tidsåtgång och förhållande vid passage. För att förbättra passagen har forsarna modifierats genom att kanaler gjorts om till trappliknande kanaler som underlättar fiskens förflyttning uppströms förbi de många rännorna och grundområdena. Fördröjning av fiskpassagen genom Baggböleforsarna vid ett flöde på $20\text{ m}^3/\text{s}$ är troligen ett resultat av ett grunt flöde med kraftiga ytliga strömmar i den nedre delen av forsarna. Den här typen av flöde ger upphov till ogynnsamma förhållanden för vuxna fiskars passage (Figur 11). Vid högre vattenföring dämpas dessa kraftiga ytliga flöden genom att sidokanalerna omvandlas och skapar fler möjligheter och vägar för fisken att passera, något som förbättrar fiskpassagen.



Figur 11. Baggböleforsarna med $20\text{ m}^3/\text{s}$ vattenföring. Den vuxna lekfishens försening kan bero på att delar av forsarna har grunda flöden med hög strömhastighet.

Vi rekommenderar ett fortsatt arbete med att ta bort järnstänger från berggrunden i forsarna. Detta kommer att minska skaderisken för fisken. Baggböleforsarna är ett

komplexerat område på grund av stora variationer i förutsättningarna för fiskpassage. Eftersom vi bara kunde studera forsarnas hydrauliska förhållanden under en flödesregim så kan vi inte heller rekommendera det bästa flödet eller den optimala utformningen av området. Vi förslår att de lokala experterna får avgöra fortsatta förändringar i forsarna. Vi erbjuder dock två möjligheter: 1) spräng bottenstrukturer i forsarna, gör terrasser i den nedre sektionen för att öka strömhastigheterna och skapa pooler med lugnvatten för vila och med djup för hoppen; 2) öka basflödet genom den gamla älvfåran (Figur 12).



Figur 12. Nedre delen av Baggböleforsarna (i förgrunden) och gamla älvfåran (i bakgrunden) vid 20 m³/s vattenföring. En ökning av grundflödet genom älvfåran kan förbättra förutsättningarna för fiskpassage genom forsarna och älvfåran. Sammanflödet av gamla älvfåran och kraftstationens utloppskanal syns längst ner.

Ytterligare behov av information: Vi är fullt medvetna om svårigheterna med att bestämma de lämpligaste flödesnivåerna genom gamla älvfåran, både med utgångspunkt från tillgången på vatten och att avgöra vilket flöde som förbättrar fiskpassagen. Vi har inga förslag eller perspektiv på lämpliga nivåer. Detta skulle kräva visuella observationer av passagen och radiotelemetriska uppgifter på fiskens beteende och dess framgång vid passage genom forsarna under olika flödesregimer. Videodokumentation av intressanta områden under olika flödesnivåer skulle kunna ge värdefull information om förutsättningarna för fiskpassage. Experter utifrån, som inte personligen kunnat göra observationer på plats, kunde titta på videobanden och meddela vilka flödesnivåer de anser vara de bästa för passage genom forsarna och älvfåran.

7. Passage vid den gamla kraftstationen

Vi såg ett antal möjliga sidovägar runt Baggböleforsarna som nyttjade små kanaler nära den gamla kraftstationen. Antalet, formen och flödesvolymerna i dessa kanaler varierar med flödet i gamla älvfåran. Den dag vi studerade området skapade flödet på

20 m³/s flera leder, rännor och trappformiga hopp mellan klippor, block och områden med jord och träd (Figur 13).



Figur 13. Ett flöde på ungefär 20 m³/s nedanför gamla älvfåran skapar ett antal vandringsleder, rännor och stegvisa hopp mellan bergformationer, stenblock och eventuella passager kring Baggböleforsarna i närheten av det gamla kraftverket.

Dessa ledde i allmänhet till en öppning vid väggen på inloppskanalen till (och uppströms) den gamla kraftstationen (Figur 14).



Figur 14. Öppningen i väggen på inloppskanalen strax uppströms det gamla kraftverket som skapar en alternativ väg runt Baggböleforsarna.

När fisken väl kommit till den gamla kraftstationens inloppskanal kan den vandra uppströms och återgå till den gamla älvfåran ovanför Baggböleforsarna via den lilla trappan i cementväggen (Figur 2). Vid de flödesnivåer som vi såg verkar denna passage vara en lämplig rutt. Med några smärre förändringar av några smala rännor skulle dessa kanaler erbjuda alternativa vägar runt Baggböleforsarna.

Ett ökat flöde genom den gamla älvfåran skulle förbättra förutsättningarna också i detta område eftersom volymen och djupet i de olika rännorna skulle ökas. Detta kunde även minska behovet av att förändra kanalen vid vissa nyckelpunkter för att eliminera blockeringar. Vi observerade inte kanalen vid hög vattenföring och kan bara spekulera om dessa fördelar. Området är mycket komplext på grund av samverkan mellan flöde, rännor och bergformationer. Vi föreslår att fortsatta förändringar av detta område lämnas åt lokala experter.

Ytterligare behov av information: Visuella och radiotelemetriska observationer genom kanalen under olika flödesregimer.

8. Unga laxars passage genom Stornorrfors kraftstation

Inloppet till Stornorrfors kraftstation är en öppen kanal fram till de sista cirka 75 metrarna där den övergår i en horisontell tunnel som är nedsprängd i berget. Vid slutet av kanalen kontrollerar en "tainterport" flödet in till varje vertikalaxlad Francis-turbin. Turbinernas intag är ungefär 7-8 meter breda och 17 meter djupa, och strömhastigheten genom intagen är cirka 2-3 m/s. Totalt finns det fyra turbiner i maskinstationen, tre av dem har en tappningskapacitet på 220 m³/s, och en har en kapacitet på 340 m³/s. Maskinstationens totala kapacitet ligger på 1000 m³/s.

Från en teknisk synvinkel finns det två möjliga lösningar för att avleda och hindra den unga fisken att följa med vattnet in i turbinerna:

- 1) ett system av vertikala spjälgaller i den öppna inloppskanalen uppströms bergtunneln som leder till turbinintagen (Figur 15)
- 2) enskilda nätsystem som är placerade i bergtunneln framför varje turbins "tainterport", t. ex ett "Eichernät" (lutande, 100% golvnät) eller ett vinklat spjälgaller (partiellt, beteendegaller)



Figur 15. Inloppskanalen till Stornorrfors kraftverk där ett gallersystem för avledning av ung lax kan anläggas. Flödena mellan klipporna leder till de olika turbinerna.

Varje system kräver en åtgärd som leder fisken bort från maskinstationen och vidare tillbaka till den gamla älvfåran. Detta kan innebära att fisk och vatten leds genom "tainter"porten och skottväggen. Gallersystem måste också rengöras; Eichernät är vickbara och självrengörande men spjälgaller behöver något som förhindrar att skräp fastnar. Dessutom kommer is att ställa till problem för varje galler som placeras i fördammen. Det är viktigt att redan från början planera för förvaring och borttagande av gallren eller åtgärder som hanterar isen.

Vi anser generellt att ett system för att avleda / samla in ung fisk är framgångsrikt om det tar hand om >95% av den nedvandrande fisken innan de når turbinerna. System som förlitar sig på fiskens beteende är inte 100% effektivt, och därför förväntar vi oss inte att denna typ av anordningar, såsom ett vertikalt spjälgaller, motsvarar detta kriterium. Det är däremot möjligt att ett system med sluttande nät skulle vara effektivare när det gäller att vägleda fisken därför att nätet täcker 100% av intagets yta. Ett bra avledningssystem bör också orsaka så liten fördröjning eller skada som möjligt och resultera i 100% överlevnad hos fisken som letts till utloppet. Sålunda bör ett installerat system för avledning av ung fisk vid Stornorrfors kraftstation öka överlevnaden från cirka 75% (Montén 1985) till nästan 100%. Om detta direkt överförs till återuppvandring av vuxen fisk, och om överlevnaden inte ökar under några andra livsstadier, så borde den överlevnaden för vuxen fisk ökas med 25%.

Turbinerna i Columbia River körs inom 1% från sin maximala effekt ("peak unit efficiency"). Det finns data som pekar på att överlevnaden för ung lax är som högst då, men detta har dock inte dokumenterats noggrant och uppgifterna gäller för Kaplan-turbiner. Vi känner inte till om motsvarande information finns för Francisturbiner, men en liten förbättring av den unga fiskens överlevnad kan kanske uppnås genom att köra turbinerna med maximal effekt ("peak efficiency") under säsongen då ung fisk passerar.

Sammanfattningsvis verkar det vara lämpligt att installera ett nätsystem vid varje turbinintag för att avleda fisken. En utvandringsled som säkert för fisken till gamla älvfåran måste planeras noga. Att placera ett nät- eller gallersystem i fördammens inloppskanal kan vara ett lämpligt alternativ till intagsnäten. Men ett sådant system kräver att gallren tas bort och förvaras över vintern och att skräp som fastnar kan hanteras.

9. Nedströms passage av vraklax

Vi såg ingen vraklax som vandrade nedströms. Om Vindelälven producerar mycket vraklax så kan återvändande stora köns mogna honor spela en potentiellt viktig roll för populationens återuppbyggnad. I så fall är det viktigt att fundera på åtgärder som säkrar vraklaxöverlevnaden.

Sannolikheten att träffa turbinens löphjul är en funktion av fiskens längd, antal turbinblad eller löphjul, volymen och flödet genom turbinen och turbinaxelns rotationshastighet ("turbine shaft rotation speed"). Uppskattningar på stillahavslaxens överlevnad genom Kaplanturbiner är begränsade men pekar på dödligheter så höga som 40%. Stornorrfors kraftverk har Francisturbiner och vi förväntar oss högre dödlighet genom Francisturbiner än genom Kaplanturbiner. Att installera nät- och avledningssystem för ung fisk skulle också bidra till att vraklax leds bort från turbinerna och tillbaka till gamla älvfåran.

Utskovet är en annan möjlig väg för vraklax. Vår oro för vraklax när den passerar genom det befintliga utskovet är likadana som de vi beskrev för smolt och vuxen lax.

SLUTSATSER

Med utgångspunkt från egna observationer vid besöket och från befintlig biologisk information tror vi att åtgärder som förbättrar den vuxna fiskens passage uppströms har betydligt större potential att öka fiskpopulationen i älven än genom förbättrade förhållanden för nedvandrande ung fisk. Anordningar som ger en effektiv passage uppströms skulle lätt resultera i att 95% av fisken passerar. Även om en ny fiskpassage skulle resultera i att 90% av den vuxna fisken passerar så ökas fiskeleken ändå med >300% i den övre delen av Vindelälven, jämfört med de 26% som för närvarande leker där. Denna ökning bör vara många gånger högre än den maximala ökning på 25% som är möjlig att uppnå med åtgärder som ökar överlevnaden av ung fisk.

Vi rekommenderar att en uppsamlingsenhet konstrueras i maskinstationens utloppskanal. Vi tror att en sådan anordning har potential att locka och leda igenom en stor andel av den vuxna fisk som kommer upp från nedre delen av Umeälven. Denna anordning bör inkludera: 1) ett lockvattenssystem med pumpat eller naturligt fallande vatten, 2) en fisktrappa, 3) en eller flera ingångar, och initialt 4) en uppsamlingsenhet. På kort sikt rekommenderar vi att uppsamlad fisk transporteras i tankbil till en plats ovanför Norrforsdammen, eller till en plats strax ovanför gamla kraftverket i

Klabböle. På lång sikt skulle en fisktrapps konstruktion vara en mer effektiv permanent lösning.

Insatser måste också göras för att förbättra passagen i den befintliga laxtrappan. De hydrauliska förhållandena i trappan och nedanför trappans ingång behöver förändras för att reducera syresättning och turbulens, faktorer som kan bidra till förseningar när trappan passeras. Vi föreslår också en översikt av flödesmängderna till gamla älvfåran. En konstant flödesnivå som skapar ett bra lockvattensflöde in till, och genom gamla älvfåran under perioder utan spill skulle kunna förbättra den vuxna fiskens passage förbi dammen. Att öka flödet i gamla älvfåran över nuvarande nivåer kan locka mer fisk att gå den här vägen och framgångsrikt passera Norrforsdammen via laxtrappan. Men detta kräver utredningar om eventuella förändringar av trappans ingång, av Baggböleforsarna, av området vid Laxhoppet och av kanalerna vid gamla kraftverket i Klabböle, så att vuxna fiskar kan passera dessa områden på ett snabbt och säker sätt under höga flödesregimer.

Vi betonar vikten av att betrakta individuella förbättringar som komponenter i ett integrerat system och av behovet av ytterligare forskning före och efter uppbyggnad för att slutföra den tekniska utformningen och för att bedöma anläggningarnas effektivitet och funktion.

Andra problem med vuxna och unga laxars passage har framkommit under projektet vilka kan vara värda att fundera på för att ytterligare förbättra fiskpassagen. Dessa omfattar: 1) fällan i den befintliga laxtrappan, 2) placering av utsläppsröret från laxtrappan, 3) skaderisken för vuxen och ung fisk när de passerar utskovet, 4) eventuella förseningar när vuxen fisk passerar området vid Laxhoppet och Baggböleforsarna, 5) utveckla ett nät av kanaler och rännor kring det gamla kraftverket som en eventuell alternativ rutt för fiskpassage förbi Baggböleforsarna, och 6) dödlighet för ung fisk och vraklax genom maskinstationen. Förbättringar på dessa punkter skulle ge skydd och öka antalet vuxen fisk som tar sig över Norrforsdammen vilket förstärker effekten av ovan nämnda rekommendationer. Alternativt kan de ge ett bättre skydd för unga och vuxna laxars vandring om inte de nämnda rekommendationerna fungerar som förväntat.

ERKÄNNANDE

Vi tackar Hans Lundqvist vid Sveriges lantbruksuniversitet för hans särskilda insats med att svara på våra många frågor och önskemål om tilläggsinformation angående fiskpassage. Vi vill också särskilt tacka medlemmarna i Vindelälvens fiskeråd för möjligheten att undersöka förhållandena vid Stornorrfors kraftverk och Norrforsdammen. Det har varit en kolossal utmaning och givande erfarenhet för oss att utveckla våra iakttagelser och ta fram dessa rekommendationer och vi hoppas verkligen att de är till hjälp.

REFERENSER

- Lundqvist, H., W.C. Clarke, and H. Johansson. 1988. The influence of precocious sexual maturation on survival to adulthood of river stocked Baltic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Holarctic Ecology* 11:60-69.
- Montén, Erik. 1985. Fish and turbines; fish injuries during passage through power station turbines. 111 p. (available from Vattenfall AB, Stockholm, Sweden).
- Muir, W. D., S. G. Smith, J. G. Williams, and B. P. Sandford. 2001. Survival of juvenile salmonids passing through bypass systems, turbines, and spillways with and without flow deflectors at Snake River dams. *North American Journal of Fisheries Management* 21: 135-146.
- Rivinoja, P., S. McKinnell, and H. Lundqvist. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish River caused by a hydroelectric power-station. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* 17: 101-115.
- R 2 Resource Consultants, Inc. 1998. Annotated bibliography of literature regarding mechanical injury with emphasis on effects from spillways and stilling basins. Contract DACW57-96-D-0007, Task Order No. 03. Report to Portland District, U. S. Army Corps of Engineers. (Available from U. S. Army Corps of Engineers, P.O. Box 2946, Portland, OR. USA. 97208).

Appendix A: Preliminära tekniska analyser angående attraktion av vuxen lax samt fäll- och transportanordning vid kraftstationens tunnelutlopp

Allmänt

Dessa analyser baseras på de kriterier som vi använder för vuxen stillahavslax. Vi har rekommenderat en generell lösning som grundar sig på det angreppssätt vi har när vi undersöker anordningar för fiskpassage. Vi presenterar preliminära beräkningar på anordningarnas dimensioner och kapaciteter vilka vi tror är nödvändiga för att uppfylla målet med fiskpassagen, men understryker behovet av att ta itu med platsspecifika frågor under planeringsprocessen. Vi betonar behovet av att planeringsarbetet sker i nära samarbete med en fiskpassagetekniker, särskilt någon som är bekant med lokalen och atlantlax.

Vi rekommenderar att trappans ingång placeras vid någon av stränderna i tunnelutloppet och i närheten av, eller strax ovanför grytan där turbinvattnet mynnar ut. Det svenska teamet kommer till exempel ihåg hur nära varandra fiskpassagens ingång och maskinstationen låg i Bonneville-dammen i Columbia River. Med en placering vid någon av stränderna kommer valet av plats att vara beroende av konstruktionsbegränsningar och detaljerade uppgifter om fiskens beteende från radio-telemetriska studier. Detta kommer att inkludera vilken strand fisken föredrar när den först närmar sig och deras sätt att söka efter strömriktningen.

Utrymme för placering av pumpar, ingång(ar), trappa och förvarings- och transportanordningar begränsar valet eftersom stränderna vid utloppets stränder är branta och smala. Vi ser två möjliga alternativ:

1) Samla uppsamlingsbassäng, transporttratt ("transport hopper"), transportanordning, och vattenpumpar i ett område strax ovanför tunnelutloppet. Om fysiskt möjligt, medger detta en relativt kort trappa och en transportkanal med en lång bassäng för förflyttning av fisken till uppsamlingsanordningen (liknande den i North Fork-projektet i Clackamas River, Oregon som vi besökte). Det är möjligt att installera en stor kran ("gantry crane"), spårvagn eller en linbana som lyfter fisken från en transporttratt till en anordning som lastar fisken i en tankbil på toppen av strandbanken. Fastän detta alternativ förmodligen är det mest kostnadseffektiva, så begränsas möjligheterna att i framtiden bygga om det hela till en full-längds-trappa.

2) Lokalisera anläggningen på toppen av strandbanken ovanför utloppet. Detta kommer att kräva en trappkonstruktion som löper från poolen där fisken står, via den branta (10% lutning) strandbanken upp till en förvarings- sorterings- och pålastningsanläggning på jämn mark. Detta alternativ skulle innebära att vattenpumpstationen placeras längs utloppet, men bortom ingången till trappan så att pumparna inte stör fisken när de ska in i trappan. Med utgångspunkt från de skisser vi fått skulle detta också kräva en trappa som höjer sig 15,2 meter. Om den byggs i en riktning skulle sträckan bli 152,4 meter. Ett möjligt

alternativ är att bygga en cirkulär trappa som reser sig upp nästan lodrätt från utloppet till toppen av strandbanken.

Vandringstid, omfattning och fiskens medelvikt

För att dimensionera anordningen rätt krävs information om fiskens medelvikt, maximalt antal fiskar som förväntas passera trappan, den maximala förvaringskapaciteten och den beräknade vandringstiden under planeringsperioden. Då vi inte känner till detaljerna kring detta, eller är bekanta med källmaterialen, har följande riktlinjer utarbetats utifrån den information som Hans Lundqvist (Hans Lundqvist, SLU, muntlig kommunikation, februari 2002) tillhandahållit.

- * Maximalt antal fiskar som passerar varje dag: 1250.
- * Fiskens medelvikt under perioder med maximal fiskpassage: 3 kg (stor andel grilse).
- * Maximal fiskbiomassa under dagen för maximal fiskpassage: 3750 kg.
- * Tidpunkt för maximal fiskpassage: slutet av juli – mitten av augusti.

Älvkriterier

- * Höjning av älvens vattenyta: 0,5 m.ö.h vid vattenutsläpp på 600 m³/s
- * Höjning av vattenytan i området kring tunnelutloppet: 15 m.ö.h
- * Maskinstationens tappningskapacitet: 1000 m³/s

Flödet vid passagens ingång

Flödet av lockvatten vid ingången till passagevägen måste konkurrera med flödet från maskinstationen. Det vattenflöde som behövs för att framgångsrikt locka fisken beror på de lokala förhållandena och på konkurrensen från maskinstationens utflöde. Det kan innebära att flödet vid ingången måste ökas när förhållandena är mindre gynnsamma, eller när det finns konkurrens från andra vattenflöden. Till exempel vid Bonneville-dammens andra maskinstation i Columbia River så är vattenflödet i ingångarna till de fyra största fiskpassagerna cirka 28,32 m³/s vardera, vilket konkurrerar med ett maxflöde på ungefär 3982 m³/s, eller cirka 3 % av flödet från maskinstationen. När lockvattenssystem skall utformas för stillahavslax rekommenderar vi ett flöde vid ingången till fiskpassagen som ligger mellan 3% och 5% av kraftstationens utsläpp, även om högre flöden (5-10%) är att föredra. Våra rekommendationer är framtagna för att ge minimal fördröjning av den vuxna fiskens passage vid dammen (helst 24 timmar). I det här fallet när den maximala tappningskapaciteten ligger på 1000 m³/s, skulle detta kriterium innebära ett lockvattenflöde på 30-50 m³/s. Enligt kriteriet krävs alltså ett flöde av minst 30 m³/s i ingången till passagen och i gamla älvfåran.

Kriteriet på ett minimalt lockflöde på 3-5% har tagits fram för situationer där lockflödet måste konkurrera med stora vattenvolymer från maskinstationen som sprids över ett större område. Till exempel så konkurrerar fisktrappans lockvattenflöde vid Bonneville-dammens andra maskinstation med utloppsvattnet

från 8 turbiner vilket fördelas över en 275 meter lång utloppskanal. Utloppskanalen från Stornorrfors kraftverk har emellertid en unik utformning jämfört med de flesta andra kraftverksutlopp. Allt vatten från de 4 turbinerna utmynnar vid samma ställe djupt ner i avloppskanalen, kanalen är smal och U-formad, inga sidokanaler kommer in i området och majoriteten av all fisk vandrar hit. Dessa unika förhållanden i kombination med atlantlaxens goda simförmåga och ytorienterade simbeteende tyder på att lösningar med mindre lockvattensflöden kan vara gångbara om dessa utformas på rätt sätt. Volym, placering och strömhastighet är centrala kriterier för utformningen av ett bra lockvattenssystem. Vi föreslår två möjliga alternativa anordningar:

- 1) Ett pumpsystem som upprätthåller flöden på 15 m³/s samt drift av en attraktiv ingång vid full öppning; eller
- 2) Ett pumpsystem som upprätthåller flöden på 7,5 m³/s samt drift av en attraktiv ingång vid partiell öppning.

En viss osäkerhet finns med dessa små vattenvolymer eftersom de ligger utanför våra normala kriterier, men vi tror att de med stor sannolikhet kommer fungera väl vid betydligt lägre anläggningskostnader. Vi tror att det slutgiltiga beslutet ska fattas av lokala representanter som har bättre kunskap än vi om fiskpassagen, kraftverket och fiskerifrågor för att väga kostnader mot risker och bedöma hur stora fördröjningar man kan acceptera för olika placeringar och dimensioner av trappans ingång.

Volym och dimensioner för alternativ 1, drift med full flöde, anges nedan:

Lockvatten: 29,45 m³/s under förutsättning att trappflödet är 0,57 m³/s.

Pumpar:

- a) För trappflödet – en huvudpump och en reservpump med en kapacitet att upprätthålla 0,57 m³/s vattenflöde i början av trappan.
- b) För lockvattnet – ett antal stora pumpar med en kapacitet att upprätthålla 29,45 m³/s flöde för lockvattnet.

Pumparna kräver en intagskonstruktion med finmaskig grind (galler/masköppningar på cirka 1,27 cm). Placera pumparna en bit bort från trappans ingång så att de inte stör fisken när den ska gå upp. En finmaskig grind rekommenderas för att skydda pumparna och för att minska mängden skräp som fastnar i vattenspridaren ("diffuser"), något som kan försvåra och fördyra underhållet.

Notera: Vattnet ovanför det gamla kraftverket kan användas som lockvatten till trappan och till uppsamlingsbassängen om ett system med naturligt fallande vatten tillämpas. Det är då viktigt att försäkra sig om att vattenkvaliteten i detta område matchar kvaliteten i utloppsvattnet så att fisken inte vägrar gå in i trappan. Vattenflödet genom den gamla älvfåran skulle då minska, om inte lockvattensflödets volym kompenseras med ökat spill.

Ingångspoolen:

Ingång(arna): Vi rekommenderar att två, 3,05 meter breda portar som öppnar sig nedströms används (ihopskjutbara "telescoping" tröskelportar). En portöppning bör utmynna parallellt med stranden och den andra i 45% vinkel (så att lockflödet går tvärsöver kanalen). Portarna dimensioneras för att kunna föra ett fullt flöde av lockvatten när endast en port är i drift, eller halva lockvattensflödet när båda portarna är i drift. Portens storlek och nedsänkning bestämmer djupet på poolen. När endast en port är i bruk rekommenderar vi att den med öppningen i 45% vinkel används.

Tabell 1. Beräknad nedsänkning under utloppskanalens vattenyta för en 3,05 m bred port baserad på fallhöjd.

Fallhöjd Δd	Strömhastighet vid ingången $V^2 = \Delta d / 2g$	Nedsänkning under utloppskanalens vattenyta	
		Båda portarna öppna	En port öppen
		$Q = 14,9 \text{ m}^3/\text{s}$ per port	$Q = 29,7 \text{ m}^3/\text{s}$ per port
0,305 m	2,44 m/s	2,62 m	4,58 m
0,458 m	3,00 m/s	2,26 m	3,88 m
0,610 m	3,46 m/s	1,99 m	3,36 m

Notera att detta förutsätter en 0,61 m hög bottensyll i porten. Nedsänkningen är mätt från utloppskanalens vattenyta till portens krön. Fallhöjden definieras som skillnaden i höjd mellan ingångspoolens yta och utloppskanalens yta.

Beräkningarna på vattenflödet i porten baseras på:

$$Q = W * D * C * (2 * g * \Delta d)^2$$

Där

Q = vattenflöde i porten (m^3/s)

W = portbredd (m)

D = portens nedsänkning under utloppskanalens yta (m)

C = utloppskoefficient (0,72 till 0,86, beroende på nedsänkning och portkrönets höjd ovan golvet)

g = acceleration p.g.a. gravitationen ($9,8 \text{ m}^3/\text{s}$)

Δd = nivåskillnad mellan ingångspoolen och utloppskanalen (m)

Om systemet används med en fjärdedels kapacitet i början så rekommenderar vi att endast en port används eftersom två 3,05 m breda portar skulle skapa en relativt bred men grund ingång. Vid en sådan användning rekommenderar vi att den översta delen ("top leaves") av de ihopskjutbara trösklarna modifieras för att skapa en smal ingång.

En ingång som reducerats till 1,83 m bredd ger en nedsänkning av cirka 1,89 m vid en fallhöjd på 0,46 m (med en strömhastighet på 2,99 m/s vid ett utsläpp på cirka 7,42 m³/s).

Notera att utformningen av ingångsportarna även bör inkludera förberedelser för att kunna installera stoppstockar för avvattning och underhåll.

Djupet på ingångspoolen: Enligt beräkningarna i Tabell 1 skulle ett minsta djup på 4,57 m under utloppskanalens miniminivå kunna medge en portsänkning med 3,35 m, när endast denna är i bruk (3,35 m nedsänkning under kanalens yta + 0,61 m fallhöjd över öppningen + 0,61 m bottensyll).

Utformning av fallhöjden på ingångsporten: 0,305 till 0,61 m där 0,46 m är att föredra.

Notera: Placera en nivåmätare ("staff gage") i ingångspoolen och utloppskanalen för övervakning av fallhöjden tvärsöver ingångsportarna.

Strömhastighet i ingången: 2,43 till 3,44 m/s där 2,99 m/s är att föredra.

Maximal spridarhastighet: 0,305 m/s för spridare på väggen och 0,153 m/s för spridare på golvet.

Vattenspridarnas öppningar: Maximalt 2,54 cm.

Spridning av lockvattnet i ingångspoolen: Placera ingångspoolens spridare på golvet och/eller väggen. Spridare i väggen är lättast att hålla ren. Ett flöde på 30 m³/s kräver att en väggspredare har en öppning på 98,53 m² (exklusive större "structural members") så att strömhastighetskriteriet på 0,305 m/s genom spridaren kan uppfyllas. Toppen på väggspredaren bör ligga cirka 0,305 m under poolens minimivattennivå för att minska risken att fisken hoppar vid den brutna vattenytan. En 4,26 m hög öppning skulle kräva 28,08 löpmeter väggspredare. Eftersom kriteriet för spridare i golvet är 0,153 m/s så behövs en dubbelt så stor yta jämfört med väggspredare.

Notera: Spridningen av lockvattnet i ingångspoolen bör utformas så att flödet från spridaren leder fisken till trappans ingångsportar.

Fisktrappa:

Flöde: Flödesmängden beror på trappans utformning, men i allmänhet används 0,57 till 0,85 m³/s. Vi förutsätter ett trappflöde på 0,57 m³/s. Placera en nivåmätare ("staff gage") i trappan för övervakning av trösklarnas fallhöjd.

Typ: Befintliga trapp typer inkluderar "Ice Harbor", "Half Ice Harbor" och en bassäng- och- tröskel med undervattensöppning, om utloppskanalens vattennivå är någorlunda stabil under fiskvandningsperioden. Om kanalens vattenyta varierar kraftigt används en vertikal springa. För detta projekts ändamål rekommenderar vi och förutsätter användningen av en "Half Ice

Harbor"-modell. "Half Ice Harbor"- modellen är en bassäng -och- tröskeltrappa (med undervattensöppning). Väggarna mellan bassängerna består av sektioner som inte översvämmas vilka har en kort, uppströms riktad, vingvägg ("wing-wall") i närheten av översvämningströskeln. Placera översvämningströskeln längs någon av fisktrappans sidor. Öppningen placeras längs trappans golv och oftast mitt under översvämningströskeln. Dimensionerna för denna trappmodell är tagen från Bell (1991). De olika trappmodellerna finns även beskrivna i Clay (1995).

Undervattensöppningens storlek: 0,46 m hög och 0,38 m bred.

Översvämningströskelns längd: Ungefär 0,85 m.

Icke översvämmande sektion: 1,58 m (baserat på en trappbredd av 2,43 m).

Fallhöjd mellan bassängerna: 0,305 m ∇ 2,54 cm.

Minimalt bassängdjup: 1,83 m.

Maximal energidämpning ("energi dissipation") per bassäng:

Beräkningarna av energidämpning baseras på följande:

$$Qh\gamma/\text{bassängvolym} <^* 19,5 \text{ m}\cdot\text{kg/s/m}^3 \text{ där}$$

$$Q = \text{flödet nedför trappan (m}^3/\text{s)}$$

$$h = \text{fallhöjd mellan bassängerna}$$

$$\gamma = \text{vattnets specifika vikt (1000 kg/m}^3\text{)}$$

*) I originaltexten står #; översättaren tolkar att det skall vara <

Minimal bassängstorlek: Vi antar att varje bassäng är 1,83 m djup, 2,43 m bred och 3,05 m lång. Detta ger en energidämpning på 12,7 m·kg/s/m³ när trappflödet är 0,57 m³/s.

Fisktrappans maximala lutning: 10%.

Transportkanalens strömhastighet (om en transportkanal behövs): 0,61 till 1,22 m/s. Transportkanaler är i princip rännor med låg strömhastighet som låter fisken simma från ett område till ett annat utan några större nivåskillnader.

Trapp- och fångstanordningar (tänkbart för provisorisk användning)

Uppsamlingsbassäng vid slutet av trappan: Fisken bör simma in till uppsamlingsbassängen. Uppsamlingsbassängens ingång bör ha ett V-formade spjälstaket ("V-picket") där armarna har en maximal spjälöppning av 2,54 cm och där öppningen i spetsen är maximalt 12,7 cm. Då kan inte fisken backa ut från uppsamlingsbassängen. Gör så att V-staketet kan stängas av så att fisk inte går in i uppsamlingsbassängen vid trängsel. Placera uppsamlingsbassängens ingång på sidoväggen och uppströms 'trängaren'

(”crowder”) vilken är placerad längs bakväggen. Gör så att spetsen på V-staketet är i jämnhöjd med uppsamlingsbassängens vägg så att den inte kommer i vägen för arbetet med att tränga ihop fisken och inte skapar en skyddad plats där fisken kan undvika ’trängaren’.

Uppsamlingsbassängens volym: I nordvästra U.S.A. räknar vi med att den genomsnittliga volymen som behövs för att rymma en vuxen kungslax är $0,23 \text{ m}^3$, vilket också kan gälla för tidigt uppvandrande atlantlax i Umeälven. Vi räknar också med att havsvandande regnbåge har ett genomsnittligt behov av $0,07 \text{ m}^3$ vilket kan gälla för sent uppvandrande grilse. Med utgångspunkt från ett maximalt antal fiskar på 1250 per dag skulle en uppsamlingsbassäng som är 2,4 m djup, 2,6 m bred och 9,1 lång kunna hålla cirka 1440 mindre fiskar (d.v.s. $0,07 \text{ m}^3 / \text{fisk}$) eller 450 större fiskar (d.v.s. $0,23 \text{ m}^3 / \text{fisk}$). Denna bassängdimension utgår från att uppsamling sker en gång per dag. En mindre uppsamlingsbassäng räcker om fällan töms mer än en gång per dag, och en större bassäng behövs om den töms mer sällan än en gång per dag.

Flödet genom uppsamlingsbassängen: Ha samma flöde genom uppsamlingsbassängen och fångstbassängen som i trappan, d.v.s. $0,57 \text{ m}^3/\text{s}$. Dessa rekommendationer utgår från våra erfarenheter med odlingsbassänger i fiskodlingar. Använd en spridare så att flödet in i bassängen har en maximal strömhastighet av $0,15 \text{ m/s}$. Begränsa öppningarna i spridaren till maximalt 2,54 cm.

’Trängare’ (”crowder”): Se till att ’trängaren’ är jämn och fri från utskjutande delar som kan skada fisken. Begränsa nätmaskorna eller galleröppningarna till 2,54 cm. Dimensionera ’trängarna’ så att de inte deformeras när större fisk trängs in till fångstbassängen. När ’trängaren’ inte används ska den dras tillbaka mot väggen och ha packningar så att fisk inte kan simma bakom den.

Fångstbassäng (”braile pool”): Gör så att fångstbassängen går att stänga till mot uppsamlingsbassängen. Konstruera en håv (”braile”) med aluminiumstänger med 2,54 cm mellanrum och med sidor som sluttar mot ett golv som i sin tur sluttar mot en transporttratt. Sänk ner håven i golvet och använd packningar så att fisken inte kan komma bakom eller under den. Se till så att den är slät och utan utskjutande delar som kan skada fisken. Installera en rörlig arbetsplattform som underlättar för personalen att nå fisken vid manuell sortering. Använd vatten-vatten överföring (t. ex en skyddad sänkhåv ”sanctuary dip net”) när fisken förs över till transporttratten, återförs till uppsamlingsbassängen eller placeras i en annan tratt eller mindre bassäng för senare transport. Vi rekommenderar att fångstbassängen är i storleken $3,7 \text{ m} \times 3,7 \text{ m}$.

Övrigt: Dimensionera trappans sista bassäng (den som är strax nedströms uppsamlingsbassängen) så att den rymmer lika många fiskar som förväntas passera trappan under 60-90 minuter, vilket är den tid det tar att sköta ’trängaren’ och fånga fisken. Om det passerar maximalt 1250 fiskar/dag och det tar 90 minuter att genomföra en ’fångstomgång’ då kan man förvänta sig att ungefär 160 fiskar kommer att samlas i den sista trappbassängen. Fiskar i

grilsestorlek behöver 0,07 m³/fisk vilket innebär att en lämplig storlek på trappbassängen bör vara 1,8 m djup, 2,4 m bred och 4,6 m lång. *Notera:* Längden på 4,6 m inkluderar V-staketet vid ingången till uppsamlingsbassängen.

Drift: Innan fångstarbetet påbörjas stängs V-staketet så att inga fler fiskar går in i uppsamlingsbassängen. Ingången till fångstbassängen öppnas och 'trängaren' förflyttas sakta framåt från uppsamlingsbassängens bakvägg så att fisken trängs mot fångstområdet via ett annat V-staket. När det finns tillräckligt med fisk i fångstbassängen att sortera, stoppas 'trängaren', grindarna stängs och 'trängaren' backas en aning så att kvarvarande fisk inte stressas i uppsamlingsbassängen. Sedan höjs håven i fångstbassängen sakta så att fisken försiktigt trängs ihop. Om ingen sortering sker kan antalet fiskar som går in i transporttratten övervakas och när den är full stängs den. För över fisken från tratten till tankbilen via en vatten-vatten överföring. När fisken lastats i tanken förs tratten tillbaka och momentet upprepas till all fisk i fångstbassängen har lastats. Grindarna mellan fångst- och uppsamlingsbassängen öppnas igen och 'trängaren' används för att flytta mer fisk till fångstbassängen. Momenten upprepas till uppsamlingsbassängen är tömd. Tratten, håven och 'trängaren' parkeras i sina utgångslägen och V-staketet öppnas för att släppa in ny fisk i uppsamlingsbassängen.

Sortering: När fiskeintressenternas behov av fisksortering har identifierats kan arbetet med att utforma de nödvändiga anordningarna börja. Här beskriver vi grundalternativen med tillhörande utrustning. Om fisken sorteras för hand rekommenderar vi att den bedövas, särskilt om den märks, provtas, mäts och vägs. Då krävs att en bedövningstank och återhämtningstank installeras. Alternativt kan sortering ske automatiskt, om den odlade fisken har trådmärken. I så fall byggs en falsk tröskel som all fisk måste hoppa över. Därefter kan fisken gå in i en ränna eller ett rör, passera en detektor, vilken utlöser en port som leder märkt fisk till en särskild bassäng. Detta innebär att det behöver byggas två förvaringsbassänger och separata transportsystem för vild och odlad fisk.

Transporttratt: En transporttratt rymmer i allmänhet 3,785 m³. Botten är hel medan väggarna är något genomsläppliga och med springor ovanför en viss höjd så att överskottsvattnet rinner ut när den lyfts. Botten har oftast en särskild port och packning som passar i transporttanken vilket gör att fisken kan föras från tratten till tanken i vatten. Storleken på tratten bestäms av den fiskdensitet som brukar användas, antalet fiskar som överförs per omgång, fiskens medelstorlek och hur många gånger fisktransport sker. I nordvästra U.S.A. använder vi oftast trattar som är 2,44 m långa, 2,44 m breda och 0,91 m djupa och som rymmer cirka 120 mindre fiskar varje gång. Det här antalet kommer förmodligen att fungera bra senare på säsongen när det mest är grilse. Tidigare på säsongen, när stora honor vandrar upp, kommer antagligen färre fisk att rymmas per gång.

Tankbil: Det finns olika modeller på tankbilar för säker frakt av fisk och vi kan vid behov tillhandahålla detaljerade beskrivningar av dem.

Utsläppsställe: Vi rekommenderar att den vilda fisken som fångats i uppsamlingsbassängen transporteras till det lugna vattnet ovanför magasinet. Detta minskar risken för att de simmar tillbaka och passerar turbinerna eller utskovet.

Referenser

Bell, Milo. 1991. Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. U.S. Army Corps of Engineers, Northwestern Division, P.O. Box 2870, Portland, Oregon, U.S.A., 97208-2870.

Clay, Charles H. 1995. Design of fishways and other fish facilities. CRC Press, Inc., 2000 Corporate BLVD., N.W., Boca Raton, Florida, U.S.A. 33431. 248 p.

Appendix B: Preliminära tekniska analyser av laxtrappan och lockvattenssystemet vid Norrforsdammen

DEN ÖVRE TRAPPAN

Den övre trappans fysiska egenskaper:

Trappan är en typisk bassäng/tröskel/öppning-modell med golvklackar nedströms varje öppning. Alla dimensioner är ungefärliga.

Angivet flöde nedför trappan:	1 till 1,5 m ³ /s
Nivåskillnad mellan varje trappbassäng:	0,3 m
Trappans lutning:	10%
Bassängbredd:	3,5 m
Bassänglängd:	3,0 m
Bassängdjup:	2,0 m
(Detta förutsätter 0,3 m över tröskeln)	
Bassängvolym:	21 m ³

Notera: Bassängstorleken varierar. Var 8:e – 10:e bassäng gjordes större för att skapa en vilobassäng för fisken och för att uppfylla kriterier för energidämpning ("energy dissipation").

Tröskel

Bredd:	1,0 m
Djup:	0,5 m

Öppning

Bredd:	1,0 m
Höjd:	0,82 m

En golvklack är placerad nedströms varje öppning vars övre kant ligger cirka 25,8 cm över öppningens nedre kant.

Beräknat flöde nedför trappan:

Om djupet ovanför tröskeln är 0,305 m (ett typisk flödesdjup för denna trapptyp) och fallet mellan bassängerna är 0,305 m (också typiskt) beräknas flödet genom trappan enligt följande:

Tröskelns flöde:	0,30 m ³ /s
Öppningens flöde:	1,37 m ³ /s
Totalt flöde:	1,68 m ³ /s

Om det angivna flödet i trappan, 1,5 m³/s, är korrekt så är flödesdjupet över trösklarna mindre än de 0,305 m som antas i beräkningarna. Uppskattningarna skulle bli bättre

om mätningar av nivåskillnaderna mellan vattenytorna i bassängerna och på flödesdjupet kunde göras på plats. Dessutom bör våra beräkningar på bassängernas storlek (längd, bredd och normalt djup) och trösklarnas öppningar verifieras eftersom de gjordes utifrån skisser.

Beräkning av energidämpning i trappbassängerna:

Om trappflödet är $1,68 \text{ m}^3/\text{s}$ så baseras beräkningen av varje bassängs energidämpning enligt följande formel:

$$Qh\gamma/\text{bassängvolym} <^* 19,5 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{s}/\text{m}^3 \text{ där}$$

$$Q = \text{flödet nedför trappan (m}^3/\text{s)}$$

$$h = \text{fallhöjd mellan bassängerna}$$

$$\gamma = \text{vattnets specifika vikt (1000 kg/m}^3\text{)}$$

*) I originaltexten står #; översättaren tolkar att det skall vara <

Den befintliga trappan har ett energidämpningsvärde på $24,4 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{s}/\text{m}^3$ vilket är ungefär $5,0 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{s}/\text{m}^3$ över det maximala kriteriet vi använder när fisktrappor ska utformas. Det betyder att det är för mycket flöde nedför trappan (eller att trappan är för liten för flödet) enligt givna kriterier. Resultatet blir en alltför hög turbulens i trappan, något som kan fördröja fisken. Denna våldsamma energi är förmodligen vad vi såg i de bassänger som tycktes extremt turbulenta under vårt besök. För en helt ny trappa av samma längd och höjd skulle vi sätta nivån för energidämpningen på $18,0$ till $18,3 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{s}/\text{m}^3$. Att bygga en ny trappa blir dock mycket dyrare än att bygga om den befintliga så att den uppfyller kriteriet för maximal energidämpning, $19,5 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{s}/\text{m}^3$. Vi tog därför fram tre alternativ för att minska mängden energi som avges per bassäng enligt kriteriet: 1) minska flödet i trappan; 2) minska höjdskillnaden mellan bassängerna eller; 3) öka volymen i varje bassäng.

Energidämpning - alternativ 1: Minska trappflödet för att uppfylla kriteriet

Med utgångspunkt från trappans nuvarande konstruktion och att vi förutsätter ett $0,305 \text{ m}$ fall mellan bassängerna samt att bassängdjupet är oförändrat så måste flödet minskas till $1,35 \text{ m}^3/\text{s}$, d.v.s. med 20% . Detta är ungefär samma flöde som idag går igenom tröskelns bottenöppning. Flödet över tröskeln tenderar dock att lösa upp flödet genom öppningen så att överskottsenergin inte förs vidare genom trappan, från en bassäng till en annan. Det är inte klart huruvida bottenklacken ensam (d.v.s. i avsaknad av ett tröskelflöde) kan orsaka samma energiupplösning. Om det inte räcker med enbart bottenklacken (tröskeln behövs för att hjälpa till att dämpa strömmen genom öppningen) så skulle en minskning av öppningens bredd, från $1,01 \text{ m}$ till ungefär $0,76 \text{ m}$, ge ett flödesdjup på cirka $0,305 \text{ m}$ över tröskeln.

Energidämpning – alternativ 2: Minska fallhöjden mellan bassängerna

Det är förmodligen inte praktiskt att minska nivåskillnaden mellan bassängernas vattenytor eftersom detta skulle kräva att trappan byggts ut med fler bassänger. Om trappflödet är $1,68 \text{ m}^3/\text{s}$ måste nivåskillnaden mellan bassängerna i så fall reduceras

till 0,24 m för att kriterier skall uppfyllas. Denna 20% minskning i fallhöjd borde innebära att 20 % fler bassänger måste anläggas.

Energidämpning – alternativ 3: Öka bassängvolymen

Bassängvolymen kan justeras genom att höja vattennivån i varje bassäng för att uppfylla kriteriet. Om trappflödet är $1,68 \text{ m}^3/\text{s}$ och fallet mellan bassängerna är 3,05 m måste volymen ökas till ungefär $26,05 \text{ m}^3$. Eftersom djupet och längden är fast och endast djupet kan förändras bör detta ökas med 0,49 m till ett totalt bassängdjup på 2,5 m. Detta skulle nå över trösklarna och kanske även väggarna. Alternativet är inte praktiskt genomförbart om inte också höjden på trösklarna och väggarna ökas.

Rekommendationer för den övre trappan:

Vi rekommenderar att flödet nedför trappan minskas till ungefär $1,34 \text{ m}^3/\text{s}$ för att uppfylla kriteriet för maximal energidämpning, $19,5 \text{ m}\cdot\text{kg}/\text{s}/\text{m}^3$. Vi rekommenderar också att flödesdjupet över trösklarna hålls på 0,305 m. Detta innebär att bredden på öppningen måste reduceras från 1,01 m till 0,76 m.

DEN NEDRE DELEN AV TRAPPAN OCH OMRÅDET VID DESS INGÅNG

Den nedre trappans fysiska kännetecken:

(*Notera:* alla storlekar och volymer är ungefärliga)

Trappflöde: (trappan)	antag $1,68 \text{ m}^3/\text{s}$ (utifrån analyser av den övre trappan)
Lockvattensflöde:	$19 \text{ m}^3/\text{s}$ (enligt uppgift)
Lockvattenskanalens bredd	3,5 m
Lockvattenskanalens lutning	1:23 (4,34%)
Beräknat djup	0,56 m
Beräknad strömhastighet på lockvattnet	9,6 m/s

Notera: Energin i detta flöde dämpas förmodligen till viss grad av ett hydrauliskt hopp i lockvattenskammaren. Vi kan inte beräkna denna energiminskning och uttala oss om den är tillräcklig för att ge ett jämnt flöde genom spridningssystemet och i trappan.

Fysiska kännetecken på bassängen strax uppströms lockvattnets spridning:

Längd	3,0 m
Bredd	3,5 m

Ritningarna som vi studerade gav lite information om trösklarna i denna del av trappan. De är tydligen konstruerade med stoppstockar som är inpassade i öppningarna mellan trappbassängerna. Beroende på bassäng så är trösklarna antingen 2,0 m eller 3,0 m breda. Trösklarnas höjd beror på hur många stoppstockar som passats in för att höja vattennivån. Denna del av trappan har uppenbarligen inga öppningar vid botten. Utifrån våra analyser av den övre delen av trappan är dessa nedre bassänger underdimensionerade med ungefär 20-25%.

Bassängen där lockvattnet sprids

Spridningsbassängen är tydligen placerad mellan den 3:e och 4:e tröskeln, nerifrån räknat, som en oregelbundet utformad trapetsliknande bassäng. Lockvattnet kommer in i denna bassäng via en öppning vid botten eller via vertikala springor av okänd storlek. En liten bottenöppning från lockvattnet in till trappan skulle skapa relativt höga strömhastigheter in i fisktrappan, utöva falsk attraktion på fisken till lockvattnet samt fördröja fiskens passage. Det framgår inte av ritningarna om det finns ett galler som hindrar fisken från att gå in i lockvattensflödet. Inga spridare finns i golvet av berg (eller möjligen cement). Denna bassäng är 14,6 m lång och ungefär 4,35 m bred.

Krav på spridare ("diffuser"):

Med utgångspunkt från våra aktuella riktlinjer skulle det befintliga lockvattensflödet kräva en cirka 62,3 m² stor väggspidare (exklusive grövre "structural members") för att uppfylla spridarens maximala genomströmningshastighet, 0,305 m/s (exklusive grövre "structural members"). Om djupet i området är 4,5 m skulle det enligt riktlinjerna behövas cirka 13,87 löpmeter väggspidare. En golvspidare i detta område skulle behöva ha en yta på ungefär 124,4 m² om den maximala genomströmningshastigheten ska hållas på 0,152 m/s, och följa riktlinjerna. I vilket fall bör galleröppningarna i spridaren vara maximalt 2,54 cm för att hindra mindre lax och grilse från att fastna. Givet lockvattnets strömhastighet in i spridningsbassängen rekommenderar vi också att mellanväggar ("baffling") installeras i lockvattenssystemet för att minska mängden energi som överförs till fisktrappan.

Bassänger som ligger nedströms bassängen där lockvattnet sprids:

Längd	6,0 m
Bredd	5,5 m
Djup	3,13 m (antagande)
Volym	90,4 m ³ /s

Trösklarna mellan bassängerna har en 4,0 m bred och 2,30 m hög öppning. Höjden kan justeras med stoppstockarna. Flödet i denna del av trappan är cirka 20,7 m³/s (en kombination mellan trappan och lockvattnets flöde). Om höjdskillnaden mellan bassängernas vattenytor är 0,305 m och om det inte finns någon stoppstock i öppningen, skulle vattenflödet genom öppningen vara ungefär 20,1 m³/s. Höjden på flödet över tröskeln som är närmast öppningen är cirka 0,38 m. För närvarande, och

som en följd av flödet, gör den begränsade bassängstorleken och överflödeströsklarnas placeringar att det är en avsevärd mängd energi som förs vidare från den övre till den nedre bassängen. Detta skapar turbulenta förhållanden som kan ha motsatt effekt på fiskpassagen.

Diskussion:

Det finns tre alternativ för hur bottentrösklarna och ingångsområdet till trappan kan utformas:

Alternativ 1: Fullständig ombyggnad av trappans nedre del

Detta är det alternativ vi föredrar. Det innebär en fullständigt ny utformning och ombyggnad av trappans nedre del (inklusive lockvattenssystemet, spridningsbassängen, de tre nedre trappbassängerna samt ingångsområdet och porten) för att anpassa till den rådande flödesnivån.

Alternativ 2: Minska lockvattensflödet in till trappan och släpp ut överskottet till utskovet

Detta är det alternativ vi rekommenderar eftersom det är lättast att förverkliga och testa. Om det inte fungerar så bra som önskat så har kostnaderna varit små och det finns andra lösningar att tillgå. I detta alternativ minskas lockvattensflödet in till trappan till ungefär $4,25 \text{ m}^3/\text{s}$ och resterande $15,0 \text{ m}^3/\text{s}$ släpps till utskovet så att flödet i gamla älvfåran upprätthålls. Detta kräver att trösklarna i de nedre bassängerna byggs om för att anpassas till det reducerade flödet. Utforma fisktrappan så att ingången är djupare än vad den är bred, då tvingas inte fisken att hoppa in i trappan. Vi rekommenderar att radiomärkt fisk används för att mäta och utvärdera effekterna på tidsåtgången vid trappassage. Om förändringarna förbättrar fiskpassagen rekommenderar vi att spillet på $15,0 \text{ m}^3/\text{s}$ förs tillbaka till älvfåran utan att locka bort uppvandrande vuxen fisk. Utskovets bredd är potentiellt tillräckligt för att skapa ett grunt och långsamt flöde som inte lockar fisken in till utskovsområdet. Alternativt kan detta flöde släppas i närheten av fisktrappan på ett sådant sätt att vuxen fisk lockas till trappans ingång, och inte bort från den. Det finns ett antal möjligheter att skapa dessa förhållanden. Lokala experter som känner området, vattnen, hydrauliken och fiskpassagen har de bästa förutsättningarna att ta fram lösningar som ger lämpliga lockvattensförhållanden vid trappan under dessa försöksförhållanden.

Alternativ 3: Förläng trappan nedströms och rikta in lockvattensflödet mot den

Detta alternativ är möjligt men det kräver en noggrann utformning av hydrauliken och eventuellt också hydrauliska modelleringar. Alternativet innebär att trappans nedre öppna bassänger tas bort och att den befintliga trappan förlängs nedströms med nya bassänger och trösklar till en plats i närheten av klippväggen på högra stranden. Detta kräver i sin tur att även den befintliga lockvattenskanalen förlängs nedströms till en utmynningsplats nära (och parallellt med) trappans ingång vilken för närvarande är belägen i poolområdet. Botten på poolen omedelbart nedströms trappans ingång kan behövas göras djupare. Den här utformningen används vanligen för spillvattensingångar vid dammar i Columbia River där stora volymer spills nära (och

parallellt med) flödet som kommer från trappans ingång. De lokala hydrauliska förhållandena och anordningarna bör utvärderas så att lockvattensflödet inte täpper till ingången till trappan och hindrar fisken från att gå upp. Det kan kanske också behövas någon spridare eller strömbarriär i lockvattensflödet för att undvika falsk attraktion.

Om flödet i gamla älvfåran höjs över den aktuella nivån på 20 m³/s måste alla alternativ omprövas för att avgöra hur de fungerar vid dessa högre flöden. Ytterligare förändringar av trappan och utskovsområdet kan krävas så att ingången till trappan fungerar bra under de flöden som valts för gamla älvfåran.”

BILAGA 2: Grande, Reidar. Uttalelse fra R.Grande vedrørende gjennomgang av rapport Ferguson, J.W et al (12 mars 2002) (5 sider) (på norska)

UTTALELSE FRA

REIDAR GRANDE
VEDRØRENDE GJENNOMGANG AV RAPPORT:

Recommondations for improving
fish passage at the Stornorrfors Power Station
on the Umeälven, Umeå, Sverige

by
John W. Ferguson
John G. Williams
and Ed Meyer

February 2002

- * Uttalelsen bygger på ovennevnte rapport 44 sider inklusiv appendiks og foto.
- * Observasjoner fra befaringer og drøftinger 19 - 23 august 2001.
- * Reidar Grande utredning av desember 1997. - Vattenfall. Stornorrfors kraftverk, Umeälven.
- Forslag til tiltak for å bedre oppgangen av fisk på fallstrekningen.

Forord

Rapporten representerer et meget grundig stykke arbeid for å vurdere dagens situasjon og hvilke muligheter som foreligger for å bedre opp- og nedvandring av fisk i tilknytning til Stornorrfors kraftverk. Spesielt grundig er vurderingene når det gjelder eksisterende fasiliteter og mulighetene for å bedre oppgangsforholdene.

Forfatterne har omfattende og stor erfaring og kunnskap vedrørende Stillehavslaks. Undertegnede stiller likevel spørsmål om i hvilken grad laks fra vestkysten av Amerika kan sammenlignes med laks fra det nordlige Europa.

Jeg finner det vanskelig i en rubrisert form å samle mine synspunkter på de enkelte forslag i rapporten, da de fleste spørsmål som reises krever en utdyping for å kunne besvares. I det etterfølgende vil jeg kommentere hvert enkelt av rapportens punkter i den rekkefølge de er nevnt i rapporten. Endelig har jeg satt opp en prioritert rekkefølge for de tiltak jeg mener bør gjennomføres.

RAPPORTENS ANBEFALINGER

Pkt. 1. Prioritering.

Jeg kan uten tvil slutte meg til rapportens anbefaling om at det er mer å oppnå ved å bedre oppgangen av fisk, framfor tiltak med å bedre overlevelse av utvandrende fisk. Målsettingen med at 95 % av oppvandrende fisk skal kunne passere, kan synes optimistisk. Selv ved naturlige fall vil en passering med 90 % av fisken være et tilfredsstillende resultat. Her har vi med et regulert vassdrag å gjøre, med varierende vannføring mellom fallstrekningen i elva og utløpskanalen fra kraftverket. Etter min mening vil et resultat med passering av 80-85 % av

fisken, være en betydelig forbedring i forhold til dagens situasjon med 25 %. En slik målsetting rokker på ingen måte med konklusjonen om at en bedring av oppgangsforholdene er å foretrekke framfor andre tiltak.

Pkt. 2. Arrangement ved utløp av Stornorrfors kraftverk.

a. Generelt

Det synes klart at et samlesystem for oppvandrende fisk (med fisketrapp eller transportsystem) knyttet til utløpet fra Stornorrfors kraftverk er vanskelig å se bort i fra med den vannfordeling en i dag har i samløpet mellom det "gamle elveleie" og utløpskanalen fra kraftverket. Uansett hvilke forbedringer som gjennomføres for oppgang i det gamle elveleiet, vil den største del av fisken vandre inn mot avløpet fra kraftverket, så lenge det meste av vannet kommer fra kraftverket og det ikke er til stede hindringer for en slik vandring.

For å frambringe vann til et samlesystem for fisk kan dette gjennomføres på 2 alternative måter. Enten ved et pumpesystem med vann fra avløpskanalen eller ved en overføring med naturlig trykk fra avløpskanalen fra det gamle Klabbøle kraftverk. Jeg slutter meg til rapporten på dette punkt.

Det avgjørende punkt i et samlesystem for fisk er inngangen til systemet og at en lykkes med å trekke fisk inn i dette. Det er vanskelig å garantere en stor grad av virkning ved slike systemer på forhånd. Det er derfor fornuftig å utvikle slike systemer gradvis, gjennom en utprøving av ulike posisjoner for inngang av fisk, før en bestemmer den endelige løsning.

b. Vannføring

Rapporten tilrår bruk av en relativt stor vannmengde for å tiltrekke fisk til samlesystemet (3 % av totalvannføringen). Det er klart at dess større vannmengden er, dess lettere er det å tiltrekke fisk. På den annen side er det flere eksempler fra anlegg som er bygget, på at en selv med liten vannmengde har lyktes med å få fisk inn i systemene bare inngangen er i riktig posisjon.

Jeg er enig i prinsippet om å benytte en større vannmengde enn hva det er behov for i en fisketrapp alene, til å lokke fisk fram til et samlesystem. Men nødvendig mengde kan diskuteres. Ut fra erfaring med norske prosjekter mener jeg det med en vannmengde på 5 m³/s, burde være mulig å få fisk til å gå inn i et system ved utløpet av kraftverket. Det teoretiske grunnlaget som rapporten benytter har jeg ingen merknader til. Jeg vil imidlertid påpeke at Stillehavslaks i større grad vandrer opp i stim, mens Atlantisk laks forflytter seg mer individuelt og har dermed et noe annet søkemønster.

Vedlagt følger mitt foredrag ved fisketrappsymposiet på Island siste høst, hvor situasjonen ved Eid kraftverk i Bægna omtales, et elvekraftverk hvor vi har lyktes med å trekke fisk inn i en fisketrapp for ørret med bruk av bare 300 l/s.

c. Alternativt

Som et alternativ til løsningene omtalt under rapportens appendiks A, henviser jeg til vedlagte tegning hvor jeg har skissert en løsning som ivaretar en mer gradvis etablering og utprøving av et system enn hva rapporten påpeker.

Løsningen forutsetter innføring av en vannføring av 5 m³/s fra avløpskanalen til det gamle Klabbøle kraftverk til indre del avløpskanalen fra Stornorrfors kraftverk ved selvtrykk. Overføringen er tenkt gjennomført ved at det sprenges en tunnel mellom kanalene som framtidig kan benyttes til å anlegge fisketrapp, samtidig som lokkevann kan overføres

gjennom samme tunnel. Det synes klart at vann fram til avløpskanalen for Klabbøle kraftverk kan arrangeres ved en modifisering og tilpassing av eksisterende konstruksjoner. I avløpskanalen for samme kraftverk må det bygges en sperredam for å stenge avløpet til det gamle elveleiet.

Over utløpstunnelen for Stornorrfor kraftverk bygges en vegg på tvers av kanalen for å posisjonere vannstrømmen fra Klabbøle, slik at fisken søker inn i det basseng som er dannet innenfor vegg. Vegg utstyres med 3 overløpsåpninger for utprøving som kan reguleres i høyde slik at vannstrømmen føres ut i kanalen, delvis dykket og mot overflaten. I første omgang benyttes arrangementet til en utprøving av inngang av fisk og tilbygges senere fasiliteter med fisketrapp og/eller transportarrangement, når fiskeinngangen er tilfredsstillende. En unngår på denne måte å gjøre kostbare investeringer før en er sikker på å ha etablert en god fiskeinngang. Det ligger for øvrig vel til rette for å arrangere en oppgangsvei for fisk fra avløpet for Klabbøle kraftverk og opp gjennom fisketrappa i tilløpskanalen til dette kraftverk.

Pkt. 3. Lokkevann til trapp.

Jeg er enig i at innføringen av lokkevann i nedre del av fisketrappa gir for turbulente forhold og vannmasser med for mye luft som nedsetter fiskens svømmeevne, og har tidligere påpekt at tilføringen av vann bør reduseres til ca 10 m³/s (rapport av des. - 97). Etter min mening ville jeg vente med ytterligere tiltak eller endringer i denne del av trappa før en har vunnet erfaring med bruk av mindre mengde lokkevann.

Jeg vil også påpeke at en forsøksvis burde prøve med forskjellig vannslipp over dammen for å teste forholdene ved inngangen til fisketrappa. Lavere vannslipp enn det i dag pålagte, vil gi roligere forhold i kulpen hvor fiskeinngangen er plassert og dermed lettere for fisk å finne fisketrappa. Et lavere vannslipp i perioder burde gi grunnlag for høyere vannslipp i andre perioder, så lenge som det totale vannslipp i en ukeperiode er innen de rammer som er satt for vannslipp for fiskeoppgang i det tørrlagte elveleie. Det er rimelig at de ulike strekninger av elva gir optimale oppgangsforhold for fisk ved ulik vannføring. Det derfor av betydning at det praktiseres et fleksibelt vann slipp over dammen, som periodevis gir optimale forhold for de enkelte delstrekninger. Det er viktig at et slikt fleksibelt vannslipp gjennomføres med myke nedtrappinger av vannslippet.

Pkt 4. Vannmengde i fisketrappa.

Rapporten påpeker at turbulensnivået i trappa er høgt. Dette er jeg enig i og at en forsøksvis burde redusere vannstrømmen for å bringe fisken hurtigere gjennom trappa. Også andre tilnæringsmåter, hvor det anbefales at energiomsetningen ikke bør overstige 250 w pr. m³ vannvolum for hver kulp indikerer dette. Det er likevel mulig at tiden fisken bruker på å passere trappa beror på andre forhold (genetiske ?).

Pkt. 5. Minstevannslipp.

Det er viktig med et fleksibelt vannslipp, sml. pkt. 3. Det burde ellers være mulig å samkjøre behovet for vann til et arrangement i utløpskanalen fra Stornorrfor kraftverk og behovet for et fleksibelt vannslipp i det tørrlagte elveleiet.

Pkt. 6. Radiomerking av fisk.

Jeg har ingen merknader til det som er anført og kan slutte meg til at radiomerking og følging av fisk er et nødvendig hjelpemiddel for å lokalisere riktig plassering og utforming av en fiskeinngang knyttet til avløpet fra Stornorrfors.

ANDRE FORHOLD VEDRØRENDE OPPGANG

Pkt. 1. Drift av fiskefelle.

Til dette punkt har jeg ingen merknader. Etter det jeg observerte ved befaring ved dammen foregår veiing og registrering av fisken på en profesjonell måte, og oppholdstida for fisken over vannet var svært kort.

Pkt. 2. Tilbakefall av fisk.

Tilbakefall av fisk over dammen er i dag knyttet til perioder med tapping av flomvann over dammen. Arrangementet som er etablert med et 75 m langt rør for å sikre utslippstedet for fisken ovenfor dammens influensområde, synes for meg tilfredstillende. Bare ytterligere undersøkelser som rapporten påpeker, vil kunne dokumentere behovet for flere tiltak.

Pkt. 3. Overlevelse av smolt over dam.

Dødeligheten for utvandrende fisk over dammen synes å være for høy. Bygging av dempningsbassenger nedenfor dammen kan være et tiltak som vil bedre overlevelsen. Men tiltakene som er nødvendig vil være alt for omfattende til at slike løsninger er realistisk. Etter min vurdering er tapet av smolt et forhold som en må akseptere best kompenseres ved utsetting av fisk produsert ved settefiskanlegget.

Pkt. 4. Laxhoppet.

Ingen merknader til rapportens anførsler.

Pkt. 5. Samløp elv - kraftverkskanal.

En konsentrasjon av vannstrømmen fra det tørrlagte elveleiet i samløpet med utløpskanalen vil etter min vurdering gjøre det lettere å få fisk til å trekke opp i elva. Et eventuelt tiltak (terskel), skal kun ha til hensikt å konsentrere vannstrømmen ved mistevannslipp i elva. Terskelen som eventuelt måtte bygges ville i så fall være lav med et dypløp lokalisert til høyre elveside sett medstrøms, og skulle ikke i større utstrekning påvirke flomavledning. Hvordan tiltaket vil påvirke sedimentoppsamling oppstrøms er uklart, men en bedre markert elveseng vil være en fordel for den videre oppvandring gjennom elvebassenget.

Pkt. 6. Baggbøle.

Ved Baggbøle må det være riktig å konsentrere oppmerksomheten ved vannføringer som er innenfor rammene av det til enhver tid bestemte minstevannslipp. Hvilke ytterligere tiltak som kan være nødvendig utenom tersklene som er bygget, avgjøres best gjennom observasjoner på stedet i kombinasjon med radiopeilinger av fisk på oppvandring.

Pkt. 7. Oppvandring ved det gamle kraftverk.

Rapporten påpeker muligheten for å benytte kanalene og avløpssystemet fra Baggbøle kraftverk som alternativ oppgangsvei forbi Baggbøleforsen. Dette er jeg helt enig i, og er et forhold som undertegnede tidligere ikke har vurdert tilstrekkelig. Særlig kan en slik løsning være interessant i en kombinasjon med overføring av vann til et arrangement i avløpet fra Stornorrfors kraftverk.

Pkt. 8. Smolt gjennom Stornorrfors kraftverk.

Som det framgår av rapporten er det dokumentert at det er størst overlevelse av nedvandrende fisk når turbinene arbeider i området med høyest virkningsgrad. Det bør derfor tilstrebes en kjøring av flest mulig av turbinene slik at de oppfyller dette vilkår i den relativt korte perioden av våren når smolt er på nedvandring i vassdraget. I tillegg bør det eventuelt vurderes en løsning som leder utvandrende smolt mot turbinen i drift med høyest virkningsgrad. At smolt på utvandring søker i de øvre 2-3 m av vanddypet kan her være et utgangspunkt. Her viser jeg til vedlagte utdrag fra rapport om utvandring av smolt i elva Orkla i Norge. Sammenlignet med det relativt store tapet som er på smolt som passerer over damlukene, synes det å være en bedre strategi med en konsentrasjon av utvandrende smolt gjennom turbinene.

Pkt. 9. Fisk etter gyting.

Nedvandring av fisk etter gyting er et vanskelig problem å beherske. Den store størrelse på fisken gjør at en passering gjennom turbinene vil gi større tap enn en passering over flomlukene. Ved turbinpassage øker treffsannsynligheten med ledeapparatet til turbinen når størrelsen på fisken øker. Dessuten antar jeg at inntaksristene til kraftverket har en lysåpning mellom stavnene som er slik at stor fisk vil ha problemer med å kunne passere. Det synes derfor å være slik at nedvandring av fisk etter gyting best foregår over damlukene når vannføringen er stor om våren.

KONKLUSJONER

Undertegnede er i hovedsak enig i de konklusjoner rapporten inneholder og har satt opp følgende prioritert rekkefølge for de tiltak som bør gjennomføres for å bedre fiskevandringen:

1. Bygging av et arrangement for utprøving av fiskeinngang ved utløpet fra Stornorrfors kraftverk. I dette inngår overføring av vann ved selvtrykk gjennom tunnel fra avløpskanal ved Klabbøle kraftverk.
2. Utprøving og registrering knyttet til drift av pkt. 1.
3. Redusere vannføring i fisketrapp og lokkevannslipp til trapp ved Norrfors dam, og utprøve virkningen av dette.
4. Videreføre oppbygging av samlearrangement for fisk under pkt. 1 etter erfaringer fra pkt. 2, til et system for transport av fisk eller en fullstendig en fullstendig trappeløsning.
5. Vurdere og utprøve en mer fleksibel bruk av minstevannslippet i det tørrlagte elveleie.
6. Vurdere ytterligere tiltak i elveleiet, herunder terskel ved samløp elv/utløpskanal fra Stornorrfors kraftverk, for å bedre oppgangen i det tørrlagte elveleiet.

Trondheim 12. mars 2002.

Reidar Grande

BILAGA 3: Lundqvist, H., Westbergh, S., Wallin, K-A., Svensson, B., och H. Sandström. Diskussion och litteratursammanställning kring tänkbara fiskvandringar för Stornorrfors kraftstation i Umeälven - rapport från studieresa längs Columbiafloden i maj 2001

Diskussion och litteratursammanställning kring tänkbara fiskvandringslösningar för Stornorrfors kraftstation i Umeälven - rapport från studieresa längs Columbiafloden i maj 2001

Av

Hans¹ Lundqvist, Stig² Westbergh, Kjell-Ali³ Wallin, Björn⁴ Svensson och Henrik² Sandström

¹ Vattenbruksinstitutionen, SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet), 901 83 Umeå

² Vindelälvens Fiskeråd, Gryningsvägen 25, 906 37 Umeå

³ Vattenfall AB, Björkvägen 19, 960 30 Vuollerim,

⁴ SwedPower AB, P.O. Box 527, 162 16 Stockholm

BAKGRUND

Vilda laxstammar i stora delar av världen har minskat drastiskt och många är idag nära utrotning (NRC 1996). I Sverige bedöms att mindre än 10 % av Östersjöloxen har ett vilt ursprung. Skötseln av vilda laxstammar är ytterst komplex då deras långsiktiga överlevnad är beroende av förhållanden både i vattendragen (där leken sker och ynglen tillbringar första tiden) och havsfasen (där den största tillväxten äger rum). I USA, i t ex Columbiaflodens avrinningsområde (CRB = Columbia River Basin), likväl som i många nordiska länder, är förekomsten av vattenkraftsanläggningar ett huvudsakligt problem för vandringsfisk i sötvatten. Den unga fiskens utvandring blir problematisk vid denna typ av byggnationer genom att den fördröjs på vägen till havet. Smolten utsätts då för ökad predation samt ökad dödlighet vid passage genom kraftverkens turbiner (Ruggles m fl 1981). Svårigheterna för vuxna fiskars vandring inkluderar fördröjd tid till lek, spridning till andra älvsystem, falsk anlockning och motstånd att välja konstgjorda trappor och andra konstruktioner för fiskpassage.

Cirka 400 miljoner USD investeras årligen i Columbia-floden, som mynnar vid USA's nordvästra kust (J. Williams, muntligt meddelande), för att hjälpa vandrade laxbestånd och andra arter att hitta sina lekrområden uppströms olika dammar och kraftverk. Den federala amerikanska organisationen NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) med underorganisationerna NMFS (National Marine Fisheries Service) och NWFSC (Northwest Fisheries Science Center) i delstaterna Washington och Oregon är de huvudsakliga aktörerna, som arbetar med biologiska frågeställningar kring fiskvandringsproblematiken. Tillsammans med dessa statliga organisationer arbetar också "US Fish and Wildlife Service" och "Departments of Fish and Wildlife" i både Oregon och Washington State. Många lokala indianstammar deltar också i arbetet med att hjälpa de olika laxstammarna. Amerikanska ingenjörstrupperna (US Army Corps of Engineers) är en av de största aktörerna i USA med ansvar för design och konstruktion av vattenkraftsanläggningar samt byggnader för fiskvandringar. Kurs- och utbildningsmaterial, som t ex "Fish passage ways and Bypass facilities" av "U.S. Fish & Wildlife Service National Conservation Trai-

ning Center” (1999) summerar den aktuella kunskapen kring fiskpasserings problematiken i utbyggda vattendrag.

Det är uppenbart viktigt att arbeta med en bred ansats och flera alternativ för att hjälpa den vilda fisken att hitta sina lekområden i utbyggda älvar med intakta lek- och uppväxtområden. Tre olika fiskvandningsproblem har identifierats i Umeälvens nedre del: a) svårigheter för fisken att hitta rätt och att vandra i ”gamla älvfåran” till fisktrappan (Rivinoja m fl., 2001); b) lekfisk faller tillbaka över dammen (s k ’fallbacks’) efter att ha lämnat fisktrappan, och slutligen, c) lax- och öringungar dör vid passage av kraftverkets turbiner och turbinvattentunnel (Monten 1985).

Målsättningen med den Svenska arbetsgruppens besök hos amerikanska fiskforskare vid “US governmental agency NOAA samt NMFS och NWFSC”¹ var att diskutera gemensamma problem kring fiskvandningsfrågor och möjliga lösningar för att underlätta den vuxna lekfiskens vandringar och minska dödligheten i turbiner för den utvandrande unga fisken (smolten) i Umeälvens nedre del; allt som en del i en aktionsplan med syfte att minimera skador på vandringsfiskbeståndet i Umeälven. Besöket i USA inkluderade också studiebesök till kraftverksanläggningar i Columbiafloden och dess biflöden (sommiga av Umeälvens storlek) för att se hur fiskvandningsproblemen har lösts där.

RAPPORTENS MÅLSÄTTNING

Denna delrapport bär fokus på lösningar av fiskvandningsproblem, som kan vara av relevans i Umeälvens nedre del, och ger teoretiska aspekter på fiskens passage förbi Stornorrfors (i detalj beskriven i slutrapporten). Vårt mål med denna sammanställning och analys, är ytterst att formulera en realistisk och kostnadseffektiv aktionsplan för att underlätta vandringsfiskens passage av nedre delen av Umeälven upp till Vindelälvens mynning. I denna delrapport gör vi emellertid ingen bedömning av huruvida någon lösning är bättre än andra möjliga alternativ. Alla tre identifierade fiskvandningsproblem i Umeälvens behandlas. Rapporten presenterar också översiktligt den vetenskapliga litteratur inom om-

¹ Deltagare i möte mellan den svenska arbetsgruppen och representanter för NMFS i Seattle 2001-05-14

Björn Svensson bjorn.svensson@swedpower.vattenfall.se
Charles Morrill cfwdfw@aol.com
Doug Dey dough.dey@noaa.gov
Earl Prentice earl.prentice@noaa.gov
Ed Meyer ed.meyer@noaa.gov
Gary Sprague gary.sprague@dfw.wa.gov
Hans Lundqvist hans.lundqvist@vabr.slu.se
Henrik sandström henrik.sandstrom@yahoo.se
John Ferguson john.w.ferguson@noaa.gov
John Williams john.g.williams@noaa.gov
Kjell Isaksson kjell.isaksson@generation.vattenfall.se
Kjell-Ali Wallin kjell-ali.wallin@generation.vattenfall.se
Mary Moser mary.moser@noaa.gov
Rolland Oconnor rolland.oconnor@noaa.gov
Stig Westbergh stig.westbergh@swipnet.se

rådet som vi delgavs. Det kan redan här konstateras att ett gemensamt intryck av all erhållen information, innebär att lösningar, som möjliggör att lekmogen fisk i ökad utsträckning kan passera till sina lekplatser, bör ges högst prioritet.

PROBLEM OCH LÖSNINGAR

A) Vuxna fiskens lekvandring

1a) Alternativ 1

Modifiera ingången till gamla älvfåran

För den uppströmsvandrande lekfisken fokuserades diskussionerna på hur bypass-kanalen (gamla älvfåran i Umeälven) skulle kunna modifieras vid anslutningen till turbinvattenkanalens utlopp. Vi prioriterade ett alternativ med två ingångar för fisken till gamla älvfåran (c.150 meter nedströms tunnelutloppet); en på varje strandsida. En tvärgående låg betongtröskel byggs tvärs över bypasskanalens mynning med två öppningar - en på varje strand - där fisk kan passera. Bortsprängning av klipphällar i området kan ytterligare öka uppvandringen.

Den låga betongtröskeln skulle koncentrera den befintliga flödesmängden i gamla älvfåran så att flödet, i dagsläget omkring ca 20 m³/s exklusive spill, skulle styras mot de två öppningarna i tröskeln och skapa en hydraulisk miljö, som liknar den i en fisktrappa (ca 2 m/sek i vattenhastighet). Vid högre vattenflöde och efter dammspill skulle betongtröskeln kunna överspolas för att minimera dämningseffekter uppströms. Kostnaden bedöms relativt låg för denna insats.

Funktionen av denna konstruktion med två öppningar skulle kunna utvärderas genom att följa radiomärkt lekfisk när de anländer till området.

1b) Alternativ 2. Modifiera bypass-kanalens utlopp (ingång mot trappan)

Också möjligheten att använda sig av endast en ingång till bypasskanalen diskuterades. Ingångens placering skall då läggas där man kan dra fördel av fiskens rörelsemönster i utloppskanalen. Det föreslogs att ingången bör placeras på strandens vänstra sida och att stora stenar och stenväggar används för att förbättra bottenstrukturen och vattenflödet in i öppningen. Lockvattnet i bypasskanalens ingång riktas svagt nedströms istället för att ha en riktning vinkelrätt mot vattenflödet i utloppskanalen. Nyckeln till framgång i detta alternativ ligger i att styra vattenflödet från bypasskanalen så att det bildas en attraktiv ström med en hastighet liknande den som finns i fisktrappor, med väl avpassad flödesmängd. Förbättrad information om djupförhållanden och vattenhastigheter i turbinvattenkanalens utlopp i bypassområdet måste tas fram.

Diskussionerna kring detta alternativ utgick från kring "Obermeyer"-spärren (River Mill/Clackamas River) för att reglera spillet vid låga vattenföringar och hindra att ingången blir tillsluten.

2. *Modifiera bypasskanalen ingång*

Extra lockvatten leds till de invandringsöppningar, som är föreslagna under 1a. Detta flöde kan tillföras den ena eller den andra öppningen och forma detta flöde så att den skär över utloppskanalens område i sådan vinkel att öppningarna till bypasskanalen lätt kan hittas av lekvandrande fisk. En sådan lösning liknar Bonneville's andra kraftstation norra ände där flödet är vinklat in mot turbinvattenutloppet. Det ökade flödet, som då behövs, erhålls genom spill (spillvattnet kan driva en liten turbin). I Bonneville 2nd med ett totalt flöde om 2 ggr 20 m³/s per turbin, tas extra spillvatten från dammens uppströmssida eller genom pumpning från turbinvattenutloppet.

Kostnaden för detta arrangemang bedöms vara låg till medelhög. Funktionen kan utvärderas med hjälp av radiotelemetri.

3. *Fångst och upptransport av fisk fångad i turbinvattenutloppet*

En fisktrappa (3-4 trappsteg) lokaliseras på vänster strand strax utanför tunnelutloppet för att fånga uppströmsvandrande fisk. Anordningen görs oberoende av vattenståndsfuktuationer orsakade av olika varierande körning av kraftstationen.

Det finns fördelar med detta system även om det idag bedöms som mindre intressant. Wayne och Asce (1961) beskriver anordningar, som kan nyttjas för uppsamling och transport av fångade uppströms- och nedströms-simmande fiskar. Beroende av var utsättningen sker kan det finnas ett behov av en enkel "vandringssväg" tillbaka till gamla älvsfåran.

4. *Fisktrappa som leder till och förbi Klabböle gamla kraftstation*

En fisktrappa byggs från utloppskanalens utlopp och förbi gamla kraftverksmuseet. Vandringfisken leds därefter tillbaka till gamla älvsfåran.

5. *Galler vid utloppskanalen*

Alternativ 1 och 2 enligt ovan kan möjligen förbättras ytterligare genom att man utanför ingången till fisktrappa/bypasskanal gjuter en betongtröskel med "spjälgaller" tvärs över sammanflödesområdet. Denna tröskel fungerar därmed som en ledarm för fisken mot ingången. Ledarmarna nyttjas under vandringstid, men kan utformas så att de kan avlägsnas utanför denna tid. Kostnaderna bedöms som medelhöga med relativt höga årliga underhållskostnader. Under studieresan såg vi "saw picketed leads", dvs. ledarmar som leder fisk till en fiskräkningsenhet. Bredden på denna fiskväg kan vara så liten som 0.5 m för att medge visuella observationer av vandringen, samt fotografering och räkning av antalet passerande fiskar. Denna typ av anordning tillåter också att vild fisk sorteras från odlad lax (kan vara av värde att kunna göra vid vissa typer av beståndsvård).

Under studiebesöket såg vi inte exempel på installationer med ledarmar som sträckte sig över ett helt vattendrag. Användning av barriärer för att styra fiskvandring till biflöden har

ifrågasatts (Hevlin & Rainey, manuskript). Författarna redovisar olika barriärtyper och fallor och beskriver ett antal oönskade bieffekter på fiskbestånden.

Radiotelemetri kan också här komma till användning för utvärdering.

6. *Andra vandringspärrear*

Man kan också tänka sig andra typer av fiskspärrear vid tunnelutloppet, t ex. av samma typ som vid Mayfield/Mossyrock i Cowlitz River med ett elektriskt staket på toppen av en betongtröskel. Kostnaderna bedöms också här vara höga och förväntas skapa minskning av fallhöjden genom kraftverket. Komplettering med en fisktrappa/fångstanordning för lekfisk (som vid t ex Mayfield/Mossyrock; White River; Clackamas River) kan göras.

Användning av elektriska spärrear, som placeras tvärs över utloppskanalen, blev föremål för en del diskussioner. Det bedömdes att sådana spärrear inte är effektiva även med ny teknologi, och problem kan uppstå för djur och människor som råkar vara i närheten.

B) Passage av utvandrande smolt

1. *“Louver system” vid kraftverkets intagskanal*

Ett “louver-system” kan styra 60-80% av den naturligt producerade smolten från turbinintaget. Ett sådant avledningssystem för utvandrande fiskungar måste demonteras innan vinterperioden då det lätt utsätts för isbildning under vintern. Kostnaderna bedöms ligga i området mellan till högt.

För att ordna smoltens vidare befordran till bypasskanalen eller något annat transport-system behövs ett separat bypassflöde av 10 m³/s. Då kan 9 m³/s användas som lockvatten för den vuxna lekfisken. Ett system som syftar till att avleda smolten för vidare transport eller frisläppning i gamla älvfåran kräver ett stort underhåll. Det behövs också information om topografi och strömhastigheter i kraftverkskanalens inloppsområde samt från det dämnda området ovan kanalinloppet. Det behövs också radiomärkningsstudier på lax- och öringmolten för att reda ut tiden för utvandring och hur stor andel av smolten, som vandrar via dammspillet och genom turbinerna. Det är önskvärt att få bättre kunskap om smoltens allmänna uppträdande i inloppskanalen till kraftstationen (hur lång tid för passage i olika delområden) och deras olika storleksfördelning (både för lax- och öringmolten). Flödes hastigheten i turbinvägarna är viktig att veta för att kunna förstå Monténs (1988) resultat. Det är i nuläget också oklart hur turbinerna (av Francis-typ) i Stornorrforss påverkar olika storlekskategorier av fisk. Montén (1985) analyserade inte den storleksberoende dödligheten för smolt (lax och öring) vid sina tester i Stornorrforss på 60-talet.

2. *Vertikal väggskärm (vertical wall screen) vid turbinvattenintaget*

Ett sådant system skulle leda 100 % av fiskungarna undan turbinerna, men till en mycket hög kostnad (90-100 miljoner USD). Fiskungar leds då i ett separat $10 \text{ m}^3/\text{s}$ flöde (också detta lockvatten kan få en dubbel användning genom att $9 \text{ m}^3/\text{s}$ flöde används till lockvatten för den vuxna fisken) via ett mindre bypass-system till en mer storskalig bypasskanal eller en andra väggskärm. Systemet måste plockas bort under vintern och har en hög underhållskostnad. Det bör poängteras att kraftstationen i Stornorrfors har ett flöde som är betydligt högre än något biflöde i Columbiafloden där ”väggskärmar” används.

3. *Roterande skärmar placerade under vatten vid turbinvattenintag*

Sådana system förväntas avleda 60-80 % av alla fiskungar. $10 \text{ m}^3/\text{s}$ flöde avsätts till bypasskanalen eller sekundär ”fiskskärm”. Kostnad bedöms bli mycket hög och intaget till turbinvattenkanalerna i Stornorrfors måste då sannolikt modifieras. därtill kommer höga underhållskostnader och att fiskskärmerna måste tas bort under vinterperioden.

4. *Vinklat smalspaltigt galler (angled bar rack-course louver)*

Denna teknik beräknas avleda 60-80 % av fiskungarna till en kostnad som bedöms jämförbar med ”Louver”-alternativet. Bypassflöde ($>10 \text{ m}^3/\text{s}$) som leder till ny bypasskanal eller annan sorteringsenhet. Ca. $>9 \text{ m}^3/\text{s}$ kan då användas som lockvatten till lekfisken. Frågor uppkom kring möjligheten att nyttja en mindre Louver-enhet försedd med ledarmar, vilken skulle kunna vara billigare.

5. *Andra tekniker för att leda fisk i önskad riktning*

Infraljud kan användas men rekommenderas inte pga de stora vattenvolymer det handlar om i Umeälven (Vanderwalker 1967). Vi diskuterade också möjligheten att använda ljussignaler för att leda eller attrahera fisk till och genom öppningar i en tröskel eller för att styra förflyttningar i ett bypass-system. De här teknikerna har visat sig bra om man vill attrahera fisk till öppningar i trappor men kan inte användas för att leda fisk längre sträckor i stora vattenvolymer där fisken beteende styrs av medfödda signalsystem som reagerar på vattenflöde, mm.

C) Fall över damm samt utlekt fisks överlevnad (”Fallbacks and Kelts”)

För utlekt fisk skulle ett Louver system eller spjälgallersystem som utformats för smolten också kunna leda all utlekt fisk från turbinvattenintaget.

Problemet med ”fallbacks” löser man rent allmänt genom att frisläppa fisken långt från dammluckan. Eventuellt kan fisk hållas i separat bassäng innan detta sker.

Radiotelemetri kan användas också för att studera hur fisk rör sig ovan dammen.

ÖVRIGA ASPEKTER

Diskussioner handlade också om möjligheter att köra kraftverket med annan tappningsregim. Pulsera flödet till bypasskanalen för att bättre attrahera lekfisk till bypasskanalen eller att alternera lockvatten med varierande spill mellan 23-50 m³/s. Öka spillet kontinuerligt så att god attraktion fås i relation till bypasskanalens utseende och ingångsöppning. Testa spill vid 23 m³/s och vid högre spill (75 m³/s, 100 m³/s eller 200 m³/s). Reducera turbinvattenflödet och öka spillet under perioder då smolten vandrar.

Funderingar fanns också kring skillnader i vattentemperatur mellan olika delflöden. Är vattnet i bypass-kanalen varmt och turbinvattnet kallt? En temperaturskillnad mindre än en grad är önskvärd. Vuxna lekvandrande laxar undviker ibland bypasskanaler om det medför att de måste vandra till en varmare vattenmiljö, de stannar alltså i turbinvattenutloppet kallare vatten.

I nordvästra Stillahavsregionen har man ibland diskuterat möjligheten att radikalt förbättra fiskvandring genom att riva dammar. I dag är ett sådant alternativ inte realistiskt i Stornorrfor.

För studier av smoltöverlevnad i vattenvägar kan en ny märkningsteknik (Balloon tags) komma till användning. Kanske skulle metoden tillåta uppskattning av överlevnad när fisk passerar både turbinerna och den 4000 m långa bergstunneln i Stornorrfor.

Fakta kring "Radio-telemetri"

Den huvudsakliga och rekommenderade utvärderingsmetoden vid fiskvandringsstudier är radiotelemetri. Matter (2001) jämförde vandringshastigheten hos radio- och PIT-märkta lekvandrande stillahavslax (Chinook) genom Columbiaflodens vattenbyggnadssystem och fann ingen skillnad i tid för lekvandring mellan radiomärkta och PIT-märkta fiskar. Radiomärkningstekniken är den mest ansedda och tillförlitliga tekniken att använda i denna typ av studier. Radiomärken kan appliceras som yttre märken strax bakom ryggen eller som inre märke och placeras då i fiskens mage (i studier med fisk i Columbiafloden används alltid radiomärken som inre märken och placeras i fiskens mage). Radiomärken medger en unik kodning så att individuella fiskar kan spåras. Radiomärkningstekniken säljs av ett antal olika bolag: ATS (Advanced Telemetry System, Ohio, USA) och Lotek (Canada). Heggberget et al. (1988) och Arnekleiv and Kraabøl (1996) har också visat att radiomärkningstekniken på vuxen lax inte påverkar fiskens simförmåga eller skapar andra beteendeproblem i samband med lekvandringen. Radiomärkt fisk kan följas genom aktiv spårning då man använder olika typer av antenner (s k Yagi-antenn), som kopplas till en mottagare/logger där märkets unika kod kan registreras och läsas/lagras. Fasta data-loggrar kopplade till en Yagi-antenn kan automatiskt detektera, avläsa eller lagra på data filer olika radiomärkens frekvenser under dygnets alla timmar hela vandrings säsongen (Rivinoja et al 2001). Märkta laxars positioner kan lokaliseras i vattendraget med en precision av ca. 5 x 5 m.

Fakta kring PIT märken och märkning

Ett viktigt märkningsredskap vid fiskvandningsstudier är sk Passiva Integrerade Transpondrar (PIT-märken) (Prentice et al 1990). Destron/IDI 400 KHz (eller 134 KHz system) eller TROWAN systemets transpondrar är t ex. flitigt använda i fiskbiologiska studier. Märket är glaskapslat, 12 mm långt och 1.5 mm i diameter och nästan viktslöst i vatten. Det kan med lätthet injiceras i den bedövade fiskens bukhåla med särskild märkutrustning. Dödligheten hos fisk där denna märkning använts är försumbar. Monitoring system kan registrera, samla och lagra den unika PIT-koden tillsammans med tid för registrering i datoruppkopplade enheter. Monitoring enheterna är möjliga att få i en mängd olika utförande. Till skillnad mot aktiva radiomärken som finns i ett telemetrisystem (och möjliggör läsning på stort avstånd > 1000 meter) så aktiverar PIT-läsutrustning det passiva PIT märket varför den märkta fisken måste komma i närheten (<0.5 meter) av läsutrustningen.

Fakta om Fisk separerings tekniker (screens)

För flera av de amerikanska tekniska begreppen känner vi inte motsvarande svenska terminologi (om sådan alls finns) och vi blandar därför när det gäller detta svenska och amerikanska uttryck.

En effektiv fisksepareringsanordning (olika typer av skärmar) har som målsättning att separera fisk (av alla storlekar) från dess omgivande vatten (Thompson & Paulik, 1967). Olika kriterier för ”Skärm” eller separationsenheternas prestanda sätts oftast utifrån fiskens eller fiskarnas simförmåga (Gregory & Fields 1962). NMFS (1995) listar i sin rapport ”Juvenile fish screen criteria” ett antal sk ”screen criteria” beroende på fiskart och storlek av fisk. Detta innefattar bl a olika typer av spaltöppningar (resp håltagning) i skärmväggar som syftar till att separera vatten och fisk. Ruggles & Hutt (1984) rapporterar ett antal tekniker för separation av vatten och fisk som mycket lovande, t ex roterande undervattensskärmar (submersible traveling screen), Eicher tryckskärm (Eicher pressure screen), fasta separations-skärmar (horizontal fixed screen), lutandeplansskärmar (inclined plane screen), louvre-skärmar (louver fish screens), ytavskärmning (surface discharge). En ”Eicher screen” (liknar en sluss nedsänkt i vatten som patenterats av George Eicher), som separerar fiskungar från turbinvattenintagets vatten har testats i fält nära Elwha dam där man mätt fisk och ytvattenströmhastigheter (Engineering Hydraulics, 1991). Skärmen är en lutande skärm, som installerats i ett turbinvattenintag med 2,7 m diameter. Den dirigerar fiskungar till ett bypassrör i toppen av turbinvattenintaget (Matthews & Taylor, 1995). Den hydrauliska designen av skärmen gör att strömhastigheten bibehålls jämn och förhållandevis parallell med skärmsidan, och med minimala fallförluster.

LITTERATUR (Se också slutrapportens referenslista)

- Anonymous. (2001) Northwest Fisheries Science Center: About the Center. NOAA (national Oceanic and Atmospheric Administration, 2725 Mountlake Boulevard East, Seattle, Washington 98112. (<http://www.nwfsc.noaa.gov>))
- Cederholm, C.J., D.H.Johnson, R.E.Bilby, L.G.Dominguez, A.M. Garrett, W.H.Graeber, E.L.Greda, M.D. Kunze, B.G. Marcot, L.F.Palmisano, R.W.Plotnikoff, W.G.Pearcy, C.Asimenstad, and P.C.Trotter. (2000) Pacific salmon and Wildlife-Ecological contexts, Relationships, and implications for management. Special edition Technical report, Prepared for D.H.Johnson and T.A.Oneil (managing directors), Wildlife-Habitat Relationships in Oregon and Washington. Washington Department of Fish and Wildlife, Olympia, Washington.
- Chenoweth, D.L. (1999) Bonneville Lock and Dam: Meeting the challenges of a new century. Special report. Hydro review special report. U.S.Army Corps of Engineers, Bonneville.
- Engineering Hydraulics, Inc. (1991) Final report: Prototype velocity measurements in the Eicher screen at the Elwha hydroelectric project. Stone & Webster Engineering corporation, July 1991.
- Prentice, E.F., T.A. Flagg, C.S. McCutcheon, D.F. Brastow, D.C. Cross. (1990) Am. Fish. Soc. Symp. 7, 335.
- Gregory, R.W. and P.E.Fields. (1962) Discrimination of low water velocities by juvenile Silver and chinook salmon. Technical report to US.Army corps of Engineers , No. 52. Seattle, Washington.
- Hevlin, W., and S.Rainey. (odaterat manuskript) Considerations in the use of adult fish barriers and traps in tributaries to acheieve Management objectives. Manuscript (National marine fisheries Service, 911 N.E. 11th Avenue, Room 620, Portland, OR 97232.
- Lindroth, A. (1963) 'Salmon conservation in Sweden', Trans.Am. Fish. Soc. 92, 286-291.
- Matter, A.L. (odaterat manuskript) A comparison of migration rates of Radio- and PIT-tagged Adult Chinook Salmon through the Columbia river Hydropower System. NFSCS, Seattle, Washington.
- Matthews, J Graeme and John W Taylor. (1995) Design and and construction of Eicher penstock fish screens. The BC Professional engineer, BC Hydro, Canada.
- Monten, E. (1988) Fiskodling och vattenkraft, Vattenfall, Sverige. 139 pp.

- NMFS. (1995). Juvenile fish screen criteria. Manuscript. NMFS Environmental and technical services Division Engineering staff at ++ 503-230-5400 (William Stelle, Director)
- NMFS. (2001) Juvenile salmon acoustic tracking system specification. NMFS, Northwest fisheries Science center, fish ecology division. USA
- Perry, R., Adams, N.S., and D.W. Rondorf. (2001) Buoyancy compensation of juvenile chinook salmon implanted with two different size dummy transmitters. Transactions of the American Fisheries Society 130: 46-52
- Ruggles, C.P., and R.Hutt. (1984) Fish Diversionary Techniques for Hydroelectric Turbine Intakes. Prepared by the Montreal Engineering Company, Limited, Halifax, Nova Scotia. Canadian Electrical Association, Research and development, Suite 580, One Westmount square, Montreal, Quebec, H3Z 2P9
- Ruggles, C.P., Collins, N.H. and R.H. Thicke. (1981) Fish passage through hydraulic turbines, Report presented to Canadian Electrical association, spring 1981 meeting in Toronto, Canada.
- Stein, C., D.Marvin, J.Tenney and K.Shimajima. (2001) 2001 PIT-tag Specification Document. Columbia River Basin PIT Tag Information system. Pacific states Marine fisheries commission for the PITTag steering committee.
- Thompson, J.S., and G.J.Paulik. (1967) An evaluation of louvers and bypass facilities for guiding seaward migrant salmonids past Mayfield dam in Western Washington. State of Washington, Dept of Fisheries. Research division. Manuscript sept 1967
- U.S. Fish & Wildlife Service. (1999) Fish Passageways and Bypass facilities, report. December 6-10, Redding, Ca., United states of the Interior, Fish & Wildlife service, National Conservation Training Center, 1, Route 1, Box 166, Shepherdstown, WV 25443
- Vanderwalker, J.G. (1967) Response of salmonids to low frequency sound. Marine Bio-acoustics, volume 2 (Proceedings of the second symp. On Marine Bio-Acoustics held at the American Museum of Natural History, New York, april 13-15, 1966. Pergamon Press, New York 1967.
- Wayne, W.W., and M.Asce. (1961) Fish handlings facilities for Baker river project. Journal of the Power Division, Proceedings of the American Society of Civil engineers (ASCE).

BILAGA 6

Hur många fler laxar kommer upp i Vindelälven efter förbättringsåtgärder i de reglerade delarna i området nedströms Stornorrfors kraftverk?

Arbetsmaterial

2002-12-11

Kjell Leonardsson, Hans Lundqvist, Peter Rivinoja

Institutionen för Vattenbruk

SLU

UMEÅ

En viktig frågeställning att försöka besvara inför eventuell förbättring av laxuppvandring till laxtrappan i Stornorrfors är - vilka effekter kan förväntas på antalet uppvandrande laxar? I dagsläget vandrar endast ca 30% av den anländande vindelälvs laxen upp i laxtrappan. Den direkta effekten utgörs självklart av den förbättring som kan erhållas. Det vill säga, om uppvandringsandelen ökar från 32% till 50% så kommer ca 56% fler laxar att kunna vandra upp i Vindelälven. Det finns dock möjligheter till en ännu större effekt på längre sikt. Den effekten bygger på ökad reproduktion i älven vilket på sikt ger fler laxar i Östersjön. Under förutsättning att laxfisket i Östersjön inte förändras i termer av sannolikhet för fisken att överleva havsfasen, går det att göra en uppskattning av den positiva respons som ökad reproduktion skulle ge på antalet uppvandrande laxar. Vi presenterar här en preliminär analys givet det ovan beskrivna scenariot.

Vi har valt att använda en matrismodell med åldersstruktur för att belysa problemet. Antagandena i modellformuleringen bygger på att laxpopulationen i dagsläget fullständigt regleras av yrkesfisket i Östersjön. Vi antar i analysen att överlevnadssannolikhet för laxen i havet förblir oförändrad jämfört med i dagsläget.

Modellformuleringen (Figur 1) inbegriper endast honor, men antalet uppvandrande laxar kan räknas om med en omräkningsfaktor för att inkludera hanarna. Anledningen till att vi uteslutit hanarna i modellen i nuläget är att deras livshistoria är mycket mer komplicerad och vi saknar idag kunskap för att kunna definiera antalet avkomma per hane i olika åldrar/storlekar. För honoras utgång vi från antalet ägg per hona (f), vilket är nära kopplat till storleken (och därmed åldern) på honan. Modellen hanterar honoras livshistoria från det att de föds i älven och deras överlevnad i älven de tre första åren ($p[0]$ - $p[2]$). En separat överlevnadsterm har definierats för utvandrande smolt ($p[3]$). Denna överlevnadsterm inkluderar överlevnaden under såväl älv-, utvandnings- (dödlighet orsakad av turbinerna), som havsfasen. För de havslevande individerna är överlevnaden i havet främst beroende på intensiteten i yrkesfisket och därmed beroende av åldern (storleken). Uppgifter om detta har vi tagit från ICES beräkningar. För varje åldersklass i havet har vi definierat en sannolikhet att återvända till älven (u). Den sannolikheten är i dagsläget mer en intelligent gissning snarare än baserat på faktisk kunskap. Vi har justerat denna sannolikhet för att matcha andelen av respektive uppvandrande åldersklass. När laxen väl kommer till älven har den en viss sannolikhet att ta sig upp till laxtrappan i Norrfors (px). Samtliga parametervärden som använts i modellen anges i Tabell 1.

För att underlätta analyserna av uppvandringsförändringarna har vi antagit att fisket i havet förblir oförändrat under den tidsperiod analysen avser. För att stabilisera antalet (hålla konstant i analysen) uppvandrande laxar innan förbättringsåtgärden genomförs har vi kört

modellen med 32% uppvandringssannolikhet under en längre period och justerat smoltöverlevnaden för att erhålla en konstant populationsnivå. Därefter har vi extraherat antalet uppvandrande honor ur resultaten under en 10-årsperiod som referens till de resultat som extraheras efter ökning av uppvandningsandelen (px). Modellberäkningarna efter åtgärden täcker i nuläget en 20-årsperiod (Figur 2a, b).

Sammanfattande resultat

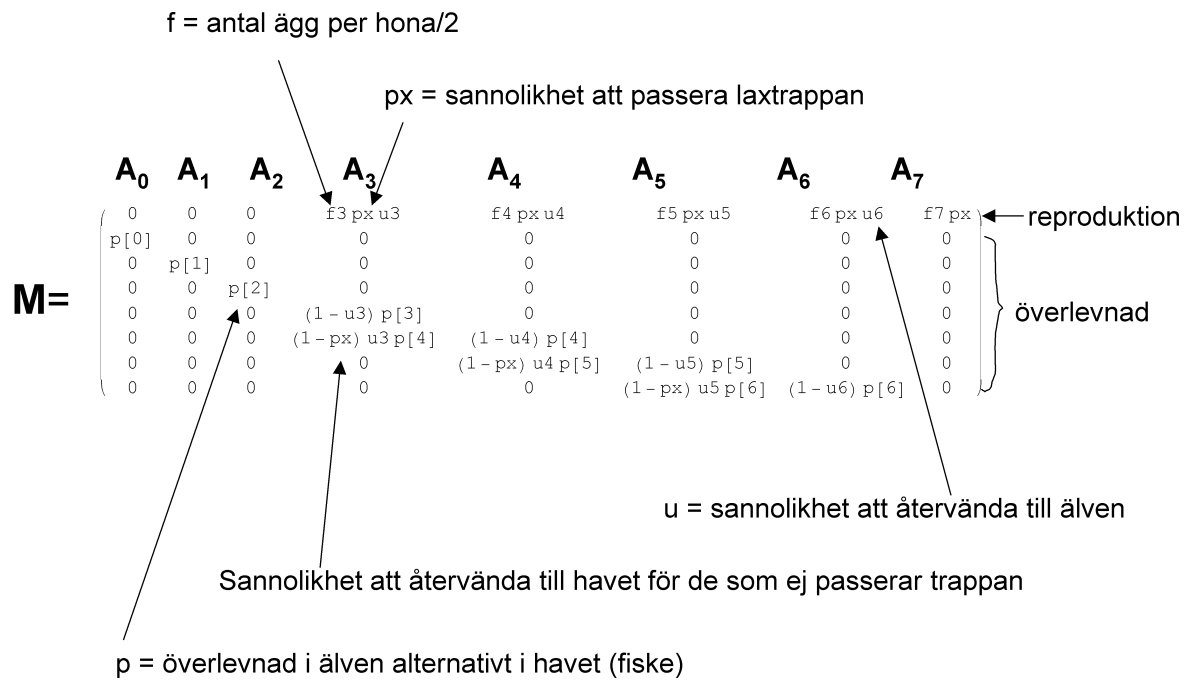
Den fördröjda effekten via rekryteringen förväntas vida överstiga de direkta effekterna av förbättringsåtgärder i samband med uppvandring av lax i Vindelälven. En förbättring från 32% till 50% ökad uppvandring ger en direkt effekt med 56% ökad uppvandring. Den återkoppling som sker via ökad reproduktion beräknas ge en ökning i antalet uppvandrande på flera hundra procent redan inom en 10-15 årsperiod. Om förbättringsåtgärderna leder till 75% uppvandring istället för de 32% vi har idag blir den positiva responsen ännu mera påtaglig och ökningen i antalet uppvandrande går avsevärt mycket snabbare. Det råder dock en viss osäkerhet vad gäller dessa höga uppvandningsberäkningar då vi inte haft tillräckligt med kunskap för att kunna lägga in täthetsberoende rekrytering i modellen.

Referenser

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

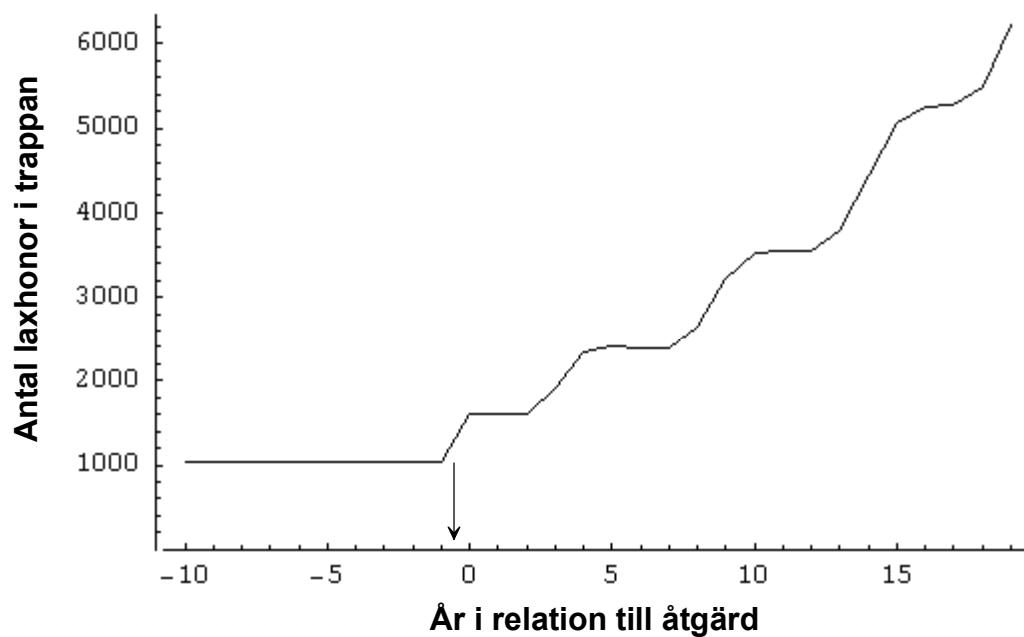
Tabell 1. Beskrivning av parametrar i modellen.

Parameter	Numeriskt värde	Beskrivning
p[0]	0.1	Utläknings och yngelöverlevnad
p[1]	0.45	Överlevnad i älven år 1 till 2
p[2]	0.45	Överlevnad i älven år 2 till 3
p[3]	0.1777461331	Överlevnad i samband med utvandring och i havet år 3-4
p[4]	0.25	Överlevnad i havet år 4-5
p[5]	0.044	Överlevnad i havet år 5-6
p[6]	0.01	Överlevnad i havet år 6-7
f3	0	Antalet ägg/2 per hona 3 år
f4	1000	Antalet ägg/2 per hona 4 år
f5	2500	Antalet ägg/2 per hona 5 år
f6	4000	Antalet ägg/2 per hona 6 år
f7	6000	Antalet ägg/2 per hona 7 år
u3	0.05	Andel 3-åriga honor som återvänder till älven
u4	0.45	Andel 4-åriga honor som återvänder till älven
u5	0.85	Andel 5-åriga honor som återvänder till älven
u6	0.99	Andel 6-åriga honor som återvänder till älven, äldre u=1
px	0.32	Andel som når laxtrappan
n0	1036501	Initialt antal individer åldersklass 0
n1	103650	---"---, 1
n2	46643	---"---, 2
n3	20989	---"---, 3
n4	3544	---"---, 4
n5	666	---"---, 5
n6	52	---"---, 6
n7	4	---"---, 7

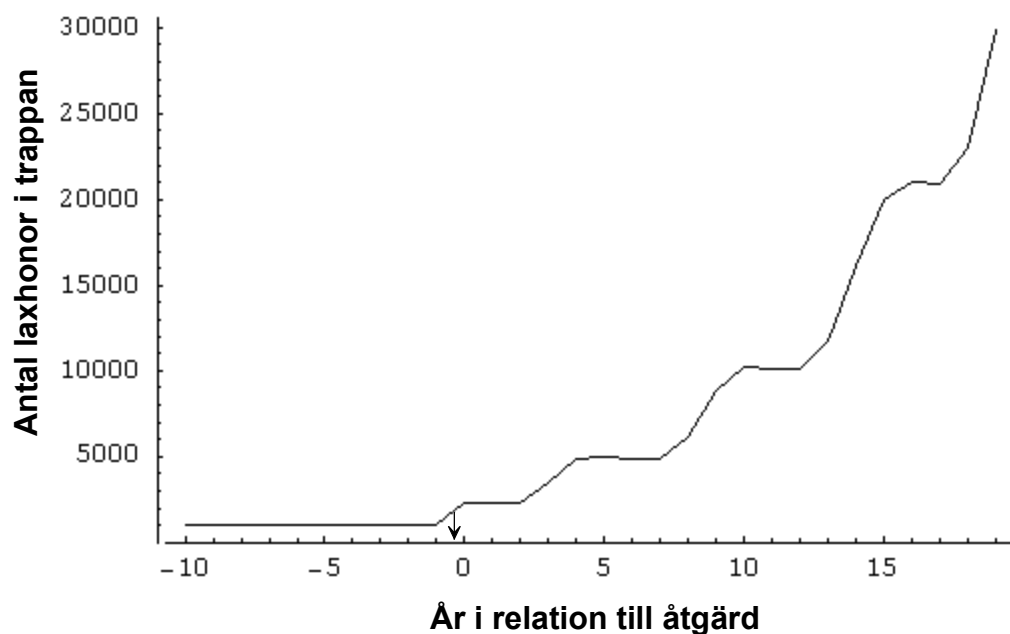


Figur 1. Matrismodellformulering för att beräkna populationsutvecklingen för laxhonor med de förutsättningar som råder i Vindelälven och Östersjön. För att erhålla populationsutvecklingen multipliceras matrisen (M) med en populationsvektor där de enskilda elementen i vektorn utgörs av antalet honor i respektive åldersklass.

A) Förändring i uppvandringsprocent från 32% till 50%



B) Förändring i uppvandringsprocent från 32% till 75%



Figur 2. Förändring av antalet uppvandrande laxhonor till följd av förbättringsåtgärder som vidtas nedströms Stornorrfors mellan år -1 och 0. Två olika scenarier redovisas, förbättring av andel uppvandrande från 32% till 50% (A) och från 32% till 75% (B)



Institutionen för Vattenbruk

BILAGA 7

Arbetsrapport
**Laxens lekvandring i Umeälvens nedre del;
Genetiska aspekter**

Jan Nilsson
Anti Vasemägi

2003-01-20

Postadress
90183 Umeå

Besöksadress
Petrus Laestadius väg

Telefon
090-7867676

Telefax
090-123729

Inledning

Avsikten med denna sammanställning har varit att utröna om den genom telemetristudier upptäckta ansamling av lax nedströms torrfåran i Umeälven är orsakad av älvsfrämmande lax som går in i älven men stannar vid tunnelutloppets mynning. Är detta fallet så kan ansamlingen vid tunnelutloppets mynning bero helt eller delvis på andra faktorer än svårigheter med passagen genom torrfåran. En möjlighet att belysa hypotesen om älvsfrämmande lax är att genomföra genetiska analyser av uppvandrande lax och utnyttja de genetiska skillnader som förekommer mellan laxstammar. En fördel med vindelälvs laxen i detta sammanhang är att den har en särpräglad sammansättning i sitt mitokondriella DNA (mtDNA ND1 genen) som gör att inslag av främmande stammar relativt lätt kan detekteras. Den höga frekvensen av AAAA haplotypen hos Vindelälvs lax, ca 70%, saknar motstycke hos annan lax i Bottenhavet-Bottenviksområdet. I de andra stammarna förekommer denna haplotyp i betydligt lägre frekvenser (< 20 %) (Nilsson et al 2001). Avvikelse från kända Vindelälvsdata, som påvisats i prover tagna i Ume- Vindelälven, indikerar därigenom med hög sannolikhet närvaro av älvsfrämmande lax. Enskilda individers ursprung kan däremot inte avgöras, bedömningar gäller endast för en samling individer. För att bestämma från vilken annan älv eller älvar eventuell främmande lax kommer måste mtDNA analyserna kompletteras med analys av andra markörer exempelvis av mikrosatellitDNA.

I denna del redovisar vi en jämförelse mellan lax från älvmyningen som använts vid telemetri och märkningsförsök och insamlingar från laxtrappan i Norrfors. Utgörs den i mynningen fångade laxen till betydande del av älvsfrämmande lax som stannar upp vid utloppstunnelns mynning bör detta avspeglade sig i genetiska skillnader mellan denna lax och lax som passerat torrfåran och nått laxtrappan. Om hypotesen om älvsfrämmande lax stämmer bör 1) lax fångad i Obbola ha lägre frekvens av haplotypen AAAA än referensmaterial från Vindelälven och 2) lax fångad i trappan ha en frekvens av AAAA som stämmer överens med referensdata för Vindelälvs lax. Förutom test av denna hypotes redovisas resultat från höstfisken i tunnelutloppet samt en specifik studie över härkomst av felvandrad lax, identifierade genom förekomst av typiska odlingskador.

Material och metoder

Analyser av mtDNA variation i ND1 genen har genomförts enligt Nilsson et al, 2001.

De referensdata för vindelälvslox som använts här utgörs av publicerade uppgifter vilka är baserade på 1995 års uppvandring och elfiskat material i huvudsak från älvens övre delar. Analyser av senare elfisken i Vindelälven har verifierat dessa referensdata och någon mellanårsvariation avseende genetisk variation i Vindelälven har ej påvisats. Analyser av elfiskat material från älvens olika delar har inte kunnat belägga existens av några genetiskt skilda delpopulationer. Likaså har prover från uppvandringen inte gett några skillnader mellan tidig, medel och sent stigande lax. De olika provtagningstillfällena inkl. lokal, år och antal framgår av tabell 1 och 2. För några av åren finns inte prover från båda lokaler. Lax från Obbola och trappan har provtagits i samband med märkning och därigenom i ett tidigt skede av uppvandringen. Prover från tunnelutloppet kommer från lax som provtagits på hösten när tappningen genom torrfåran upphört.

Resultat

Obbola och laxtrappan

I tabell 1 och 2 redovisas frekvenser för de tre haplotyperna som förekommer bland östersjölox (AAAA, AABA samt BBBB) Avvikelser från referensdata för Vindelälven erhöles för lax fångad 1999 i Obbola och i trappan. Avvikelsena i mynningen och trappan var likartad och ingen signifikant skillnad mellan de två lokalerna förelåg. För år 1995 var provstorlekarna låga men den höga frekvensen AAAA tyder klart på att ingen älvsfrämmande lax fanns i proverna. Åren 1996, 1997, 1998 och 2002 erhöles resultat från mynning och laxtrappa som överensstämde med referensdata. Medelfrekvenserna över tidsperioden för de två lokalerna visar små och icke signifikanta skillnader.

Tabell 1. Haplotypfördelningar (frekvenser) för mtDNA NDI hos lax från nedre Umeälven 1995-2002 av lekvandrande lax.

Obbola	Haplotyper			n	Chi2-test
	AAAA	AABA	BBBB		
1995 (radiomärkta)	0.93	0.00	0.07	15	-
1996 (utr kont)	0.73	0.23	0.04	116	n.s.
1997 (radiomärkta, utr.kont)	0.68	0.30	0.02	56	n.s.
1999 (radiomärkta)	0.48	0.45	0.07	58	**
2002 (radiomärkta)	0.70	0.30	0.00	43	n.s.
medelvärde	0.704	0.256	0.040		
Laxtrappan					
1995 (radiomärkta)	0.81	0.19	0.00	16	-
1997 (radiomärkta)	0.70	0.28	0.02	53	n.s.
1998 (radiomärkta)	0.70	0.25	0.05	64	n.s.
1999 (radiomärkta)	0.53	0.42	0.04	62	*
medelvärde	0.685	0.285	0.028		

Referensdata för Vindelälven: AAAA 0.68, AABA 0.28, BBBB 0.04 (Nilsson et al, 2001)

Tunnelutloppet

För lax från tunnelutloppet erhöles för åren 1996 och 1997 värden som inte avvek signifikant från Vindelälvslox. I likhet med lax från Obbola och trappan avvek år 1999 däremot signifikant. För år 2000 erhöles resultat, dock ej signifikanta, som kan tyda på en avvikelse.

Tabell 2. Haplotyppfrekvenser för mtDNA ND1 hos lekvandrande laxar fångade under höstfisken av vid tunnelutloppet till Norrfors kraftstation i Umeälven

Tunnelutloppet					
1996	0.73	0.24	0.03	70	n.s.
1997 (utr k)	0.65	0.35	0.00	23	n.s.
1999	0.34	0.52	0.14	29	**
2000	0.50	0.39	0.11	38	n.s.

Slutsatser

Den genomgående överensstämmelsen i haplotyppfrekvenser mellan trappan och Obbola tyder på att förekomst av främmande lax inte påverkat uppvandningsfrekvensen i torrfåran. För alla år utom 1999 erhöles haplotyppfrekvenser från lax i Obbola och trappan som låg mycket nära Vindelälvs laxens vilket tyder på att det inte fanns någon detekterbar mängd av främmande lax bland de provtagna. För år 1999 fanns en avvikelse som tyder på att älvsfrämmande lax kan ha förekommit bland de uppvandrande. Då denna avvikelsen förelåg bland lax från Obbola såväl som bland lax som nått trappan ger det ingen indikation på att eventuell främmande lax varit mindre benägen att passera torrfåran.

Från tunnelutloppet visade resultaten inte på någon främmande lax 1996 och 1997. Däremot finns anledning att misstänka att 1999 och möjligen 2000 års provtagning vid tunnelutloppet innehöll betydande andelar lax som ej härstammar från Vindelälven.

Referens: Nilsson, J. et al. 2001. Matrilinær phylogeography of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Europe and postglacial colonization of the Baltic Sea area. *Molecular Ecology* 10, 89-102.

Analys av felvandrare i Ume-Vindelälven

För att få en uppfattning om ursprung för felvandrare i Ume-Vindelälven har en särskild analys genomförts m h a mikrosatellitDNA och två statistiska metoder: individual assignment resp. Mixed Stock Analysis (MSA). Med felvandrare avses här

sådan lax som av personalen vid odlingen i Norrfors klassificerats som främmande p g a förekomst av odlingsskador på lax som ej varit fettfeneskuren. Vi har analyserat 127 sådana som insamlats under åren 1997 till 2000. Dessa har analyserats m a p 8 st mikrosattelitDNA loci och resultaten har testats mot kända frekvenser för dessa loci för 9 odlade laxstammar vilka tillsammans svarar för nära 90% av all odlad smolt som kommer ut i Bottenhavet-Bottenviken. Tillförlitligheten hos metoderna har utvärderats genom simuleringar baserade på baseline data.

De båda testmetoderna visar att de största bidragen utifrån kommer från Ångermanälven samt Luleälven (Tabell 3). Bland de misstänkta felvandrarerna återfanns, enligt båda metoderna, ca 18% Umeälvslox. Orsakerna och konsekvenserna av felvandringen bör utredas vidare.

Referens: Pella, J & Masuda M. 2001. Bayesian methods for analysis of stock mixtures from genetic characters. Fish. Bull. 99, 151-167.

Tabell 3. Klassificering av andelen (%) felvandrare i Ume-Vindelälven till 9 referenspopulationer enligt Individual Assignment (WHICHRUN 4.1) samt Mixed Stock Analysis (BAYES, Pella and Masuda 2001).

Population	Assignment	Mixed Stock Analysis	
	%	%	St. dev
Torne	1.6	0.2	0.6
Iijoki	2.4	0.2	0.5
Oulujoki	6.3	0.4	1.0
Luleälven	18.1	31.6	8.2
Skellefteälven	14.2	0.8	1.8
Ume-Vindelälven	18.1	18.7	5.5
Ångermanälven	18.9	39.6	8.6
Indalsälven	8.7	2.3	3.0
Ljusnan	11.8	6.3	4.0



FISKERIVERKET

Energimyndigheten **ELFORSK**

Ansökan om forskningsanslag VATTENKRAFT- Miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten, ETAPP 2 (2003- 2005)

Ankomststämpel

OBS! Ansökningsblanketten kan hämtas för ifyllnad i word på www.vattenkraftmiljo.nu

Sökande organisation			
SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet)			
Postadress (institution och ev avdelning)			
Vattenbruksinstitutionen, SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet), 901 83 Umeå			
Projektledare (efternamn, förnamn, titel och institution)			
Lundqvist, Hans, Professor, Vattenbruksinstitutionen, SLU			
Telefon	Telefax	E-mail	Organisationsnummer
090-786 76 75	090-123729	hans.lundqvist@vabr.slu.se	20 21 00-2817
Medsökande (efternamn, förnamn, titel och institution)			
Berghdahl, Lars, Prof. Chalmers: Leonardsson, Kjell, Docent, Vattenbruksinst: Rivinoja, P., doktorand, Kiviloog, J., doktorand			
Ansökan avser nytt projekt <input type="checkbox"/>			
Ansökan avser fortsättning på pågående projekt <input checked="" type="checkbox"/>			
Projekttitel Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bvnass" svstem: observationer och modellering av passage av kraftverksbyggnader			
Nyckelord			
Flödesreglering, laxvandring, bypasssystem, kraftverk, radiomärkning, smolt			
Project title The influence of flowchange on salmon migrations in a bvnass svstem: observations and modelling of conditions for fish passage at hydro-power plants			
Projektsammanfattning (Mål, metod, max 150 ord)			
Laxens lekvandring i flödesreglerade svenska vattendrag har skadats beroende på kraftverksbyggnationer. Vi fokuserar på fiskvandringens problematiken i större utbyggda vattendrag nära kraftverk. Hur lekvandrar fisk i en stor vattenmassa och hur finner och passerar de en liten mängd "lockvatten" i ett bypass område (alt fisk trappa el kanal) för att undvika vattenkraftsbyggnader? Modellvattendraget Umeälven är reglerad i sin nedre del vilket ger vild lax uppvandring till Vindelälvens reproduktionsområden. Laxens lekvandring i tunnelutloppets stora rumsliga miljö (3D), tillsammans med smoltens (fiskungar) passage av Norrforsdammen studeras då radiomärkta (både aktiva och passiva tekniker) individer positioneras i sin upp- el nedströmsvandring genom ett bypass system. Fiskens positioner i tid och rum relateras till flödesförhållanden, vattenhastigheter och bottenpografi. Fältmätningar ovan Norrforsdammen och nedströms turbinutloppet har kartlagt flödes hastigheter och mönster för kombinationer av tappningar genom kraftverket alt via gamla älvfåran. Dessa data validerar CFD-modellerna (FLUENT) av flödesmönstren. Modellerna kombineras med 3-D spårningsarbetet av laxens rörelser i sammanflödesområdet och identifierar individuella fiskars vandring i relation till verkliga strömfältet. Senare bestäms bästa placeringen av fisktrappa till mynning och lockvatten. Lokalt flödesmönster simuleras för något fall med dokumenterat tillbakafall av lax över dammen, och vi undersöka vilka åtgärder man kan vidta för att avleda smolten från turbinerna. Validering av beräknade flödesförhållandena och uppvandringseffekten av den föreslagna fisktrappan görs i fältförsök.			
Tidplan	Projektstart	Licentiatexamen	Doktorsexamen
2003-2005	2003-02-01		2005-12-10
			Projektslut
			2005-12-31
Kostnader (kk) (spec delbudget för SLU & Chalmers i bil 1)	År 1	År 2	År 3
Lönekostnad, doktorand	630	681	695
Lönekostnad forskare, projektledare	175	175	175
Lönekostnad övrig personal	178	178	178
Verkstadskostnad			
Datorkostnad (licenskostnad FLUENT & tunga beräkningar)	58	58	58
Utrustning/material (radiomärken, Simrad EK60, PIT-tags, Switch board,	705	275	275
Köpta tjänster (Yrkesfiskare lax-Obbola, Märkare- Norrfors fiskodling	130	130	130
Resor (t ex för nätverksbildning/samverkan mellan projekt inom programmet, workshops, kursutbud och internationellt utbyte)	60	60	70
Övriga kostnader	20	39	35
Ev. förvaltningskostnader*	461	489	496
Summa sökta medel	2417	2085	2112

* Högscolas omkostnadspåslag, lokalkostnad, institutionsgemensamma kostnader etc särredovisas.

Detta projekt <input type="checkbox"/> i sin helhet lika med projekt för vilket ansökan ingivits till <input type="checkbox"/> i vissa delar lika med projekt för vilket ansökan ingivits till	
Medel som erhållits från annan källa	
Sökt bidrag för dyrbar utrustning (VR, Wallenbergstiftelsen e.d.) Nej	
Industriell relevans; behov/vision, potentiella effekter, förutsättningar och möjligheter, hinder och begränsningar Projektet kräver samarbete med Vattenfall (Norrfors Fiskodling samt Stornorrfor Kraftverk) samt Fiskeriverkets lokalkontor i Luleå. Samverkansgrupp med Vattenfall Vattenkraft/Swedpower (Kjell Isaksson/Luleå, Kjell-Ali Wallin/Voullerim, Björn Svensson/Stockholm) finns nu etablerad. GIS-applicering av strömbild och bottenförhållande tills med FD. Lars Brydsten (Naturgeografi, Umeå Universitet). Diskussioner om fou-samverkan kommer att inledas med Vattenfall utveckling AB, Älvkarleby (Patrik Andreasson, Tel: 026-83545). Något konkret samarbete finns ännu inte.	
Kontaktperson/referens(er) ang. industriell relevans (företag, telefon) Kjell Isaksson Vattenfall Vattenkraft Luleå Kjell-Ali Wallin, Vattenfall AB Voullerim 0703277917, 097677917	
Nationellt samarbete (industriellt, akademiskt och samarbete med pågående projekt inom programmet) Projektet är förankrat hos regionala och nationella fiskeriaktörer i norrlandsälvarna (Lst i Vb-län), Vattenfall vattenkraft Luleå, Fiskeriverkets utredningskontor i Luleå/Härnösand samt Vindelälvens fiskeråd (Henrik Sandström) som förväntas engageras i projektet på olika sätt.	
Internationellt samarbete (t ex genom att en period av doktorandutbildningen genomförs utomlands, ange forskargrupp, företag etc) Statistikern Dr. Skip McKinnell, PICES, Victoria, B.C., Kanada samt Earl Prentice, John Williams, Ed Meyer and John Ferguson vid National Marine Fisheries Service, Seattle, USA. Vi avser att knyta doktorand Rivinoja (SLU) närmare denna gruppering som arbetar med liknande frågor i Columbia floden.	
Förteckning över bilagor 1. Projektplan: 2. Telemetriförsök år 2001/02: 3. Simulering/validering av strömningsmönster: 4. Smoltens vandring ned-ströms 2002: 5. Förbättring av Lax- och havsöringbestånden i Vindelälven- Ett åtgärdsförslag: 6. Modellering av laxens uppvandring i Vindelälven efter förbättringsåtgärder nedan Stornorrfor kraftverk?: 7. Curriculum Vitae samt ekonomisk kalkylmodell för projektet.	
Datum och behörig firmatecknares (pref motsv)	Datum och projektledarens underskrift
Namnförtydligande, titel och telefonnr Hans Lundqvist, Prefekt/Professor 090-7867675	Namnförtydligande och titel Hans Lundqvist, Prefekt/Professor

Bilaga 9

Projektplan till Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass" system: observationer och modellering av förutsättningar för passage av kraftverksbyggnader

Hans ¹Lundqvist, Lars ²Bergdahl, Kjell ¹Leonardsson, Peter ¹Rivinoja och Jaan ²Kiviloog.

¹Vattenbruksinstitutionen, SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet), 901 83 Umeå

²Chalmers, Vatten Miljö Transport, Chalmers, 412 96 Göteborg

Problemområdet

Den svenska vattenkraftsutbyggnaden gav stora ekologiska förändringarna i älvarna: älvar spärrades av för lekvandrande fisk, lekområden- och tillväxtområden överdämdes eller torrlades. Vid senare utbyggnader, i älvar där intakta lekområden funnits kvar uppströms, har sk fisktrappor byggts (Monten 1988) för att möjliggöra lekvandring förbi kraftverk. Vid framtida omprövningar av vattendomar i samband med effektutbyggnad, upprustning och renovering finns möjlighet att förbättra eller återskapa vandringsmöjligheter för vattenorganismer, speciellt fisk. Det är viktigt både för samhället och kraftproducenterna att vandringsfisk, där det är möjligt, kan behållas som naturresurs.

I många strömvattenkraftverk har fiskens vandring möjliggjorts genom att bygga en vandringsled direkt från turbinutloppen upp ovanför dammen. I andra kraftverk nyttjas större fallhöjder med torrlagda sträckor i älvarna. Intaget till turbinerna och avloppstunneln tillbaka till älven placeras då ofta parallellt med den gamla älvfåran. Huvudflödet i älven leds då förbi ytutskoven till gamla älvfåran och mynnar ibland i en avloppskanal som ansluter till den ursprungliga älvfåran nedströms. Dessa kraftverk kan sägas utgöra "bypassystem". Ett exempel är Stornorrfor i nedre delen av Umeälven. Vid utvärdering av vandringsbenägenheten i den typen av system har det visat sig att lekvandrande fisk har problem att hitta den naturliga älvfåran. De går i stället mot huvudströmmen in i kraftverkets avloppskanal (Bilaga 2: Slutrapport Energimyndigheten Etapp I). Utvandrande smolt simmar oftast med huvudflödet mot turbinintagen och vidare genom turbiner/tunnelsystem där dödligheten är stor (Monten 1988).

Både nationellt och internationellt föreligger en mängd problem med att behålla vandringsfisk som självföryngrande naturresurs. Vilda laxpopulationers utsatthet är också ett internationellt problem (NRC 1996). Östersjöaxens och havsöringens lekvandring har skadats i många älvar i Bottniska Viken och Östersjön. Idag utgör vild lax mindre än 15 % av det totala beståndet av Östersjöax (ICES, 2001). Förlust av lek- och uppväxtområden är inte enda hotet mot den vilda laxen. Vildlax fångas intensivt i ett blandfiske i havet (McKinnell 1998) och miljösjukdomar som M74 hotar de återstående vildlaxpopulationerna genom att skada fiskens reproduktion och öka dödligheten hos avkomman (Bengtsson et al. 1999, ICES 1994). Förbättringar av fiskvägar i sötvattenssystem (Linløkken, 1993) är i dagsläget ett effektivt sätt att bevara långvandrande fiskarter. Stora ekonomiska satsningarna för att hjälpa lekvandrande fisk uppströms och utvandrande fiskungar (smolt) förbi kraftbyggnader sker också idag i flera delstater kring Columbiafloden (Earl Prentice, National Marine Fisheries Service, Seattle, USA) likväl som i övriga nordiska länder och inom EU (Karpinnen 2002, Gowans et al. 1999a, 1999b, Laine et al. 2002, Ökland et al. 2001, Arnekleiv & Kraabol 1999, MS). Det är av stort samhällsligt värde att vandringsfisk som lax- och havsöring ges möjlighet till reproduktion, till gagn för miljövården och människans långsiktiga nyttjande av resursen. Generellt har det visat sig att många vandringsvägar, sk "bypasskanaler" eller "laxtrappor", inte fungerat tillfredsställande vilket lett till att vandringsfiskbestånden har eliminerats eller reducerats (Christensen and Larsson 1979, Karlsson and Karlström 1994). Det är därför viktigt att utvärdera den kvantitativa betydelsen av fisktrappor vid kraftverk i älvars nedre del som hinder för passage till kvarvarande reproduktionsområden uppströms.

Rivinoja et al. (2001) visade svårigheterna för lekvandrande fisk att passera Stornorrfor kraftverk i Umeälvens nedre del medan Monten (1988) visade att ca 25 % av de vildfödda lax- och öringungarna under sin utvandring till havet dog efter passage av Stornorrfor kraftverk och tunnelutloppet. Problematiken med fiskvandringen i Umeälven nedre belyser på ett bra sätt kraftverksbyggnaders påverkan på fiskars vandring i större vattendrag och ny kunskap om förhållandet i detta område kommer att ge viktig information om hur man kan lösa fiskvandringens problematik också i andra vattendrag. Motsvarande anläggningar i mindre vattendrag i t ex Skottland (Gowans et al 1999a) tycks däremot fungera bra. Vad skillnaderna består i är inte helt klarlagt. I vårt modellvattendrag Umeälven finns en något så när fungerande laxtrappa i kraftverksdammen men det har visat sig att 70 % av laxen "går vilse" (Bilaga 2: Slutrapport Energimyndigheten Etapp I) i sammanflödet mellan kraftverkets avloppskanal och huvudflödet och hittar alltså inte laxtrappan. Se tex Bilaga 5: Sandström m.fl. (2002) för en närmare beskrivning av vandringsfiskens problemen i Umeälvens nedre del samt alternativa förslag till förbättringar. Sammantaget leder den nuvarande vetenskapliga erfarenheten kring fiskvandringar i reglerade vattendrag till det mer generella problemet: *Vilka miljösignaler krävs för att vandringsfisk i en större vattenmassa skall lockas upp i ett mindre vattenflöde(lockvatten) som leder till en bypass-kanal eller en fisktrappa?*

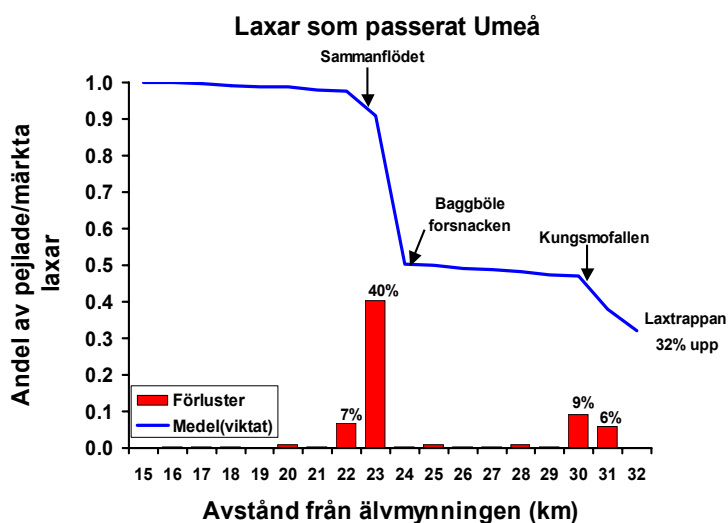
Mot bakgrund av den forskning och utveckling kring vandringsvägar för vandringsfisk som ägt rum internationellt men inte nationellt är det angeläget att området får en förnyad genomlysning också i Sverige. Är det tex möjligt att i högre utsträckning anpassa flödena för att underlätta lekvandringen för vuxen fisk via sk "bypass" kanaler förbi kraftverk eller att minimera turbinförluster av utvandrande ung fisk? För strömkraftverk gäller problemet att laxtrappor i dammarna effektivt ska locka den uppvandrande fisken. Problemet för "bypassystemen" är att få den uppvandrande fisken att, från den stora vattenmassan i sammanflödet av dessa och kraftverkens avloppskanaler, "hitta" den betydligt mindre "lockvattenmängden" som ska leda fisken till och upp genom byggda vandringsleder/fisktrappor. För smolten gäller problemet att avleda den ur huvudströmmen mot ytutskov eller byggda vandringsleder.

För att finna svaren på dessa frågor vill vi använda moderna radiomärkningstekniker för att följa laxens vandring samt ny ekolodsbaserad hydroakustisk teknik tillsammans med tredimensionell (3D) numerisk modellering (CFD = Computational Fluid Dynamics) av hela älvsträckor med bottenformationer, större stenar, etc., som kraftfulla verktyg. De rumsliga positionerna för den vandrande fisken kan då kombineras med resultaten av 3D-simuleringar i syfte att utvärdera vad i strömmiljön som "triggar" fiskens vägval till gamla älvsfåran med sitt lilla vattenflöde. CFD-studier riktade mot att förbättra strömningsmönster för avledning av passivt nedströmsvandrande fisk samt minimera energiförluster har inletts. Meselhe och Odgaard (1998) visade med en 3D-simulering av ett dammområde i Columbiafloden att en tänkt ytavledningskonstruktion (SAF) för fiskpassage hade en negativ påverkan på attraktionen av fisk. Vid konferensen Hydro Vision 2002 i Oregon USA redovisades flera CFD-studier av olika dammområden med fiskavledningskonstruktioner i USA och Kanada, tex visade Lin et al. (2002) en framgångsrik tredimensionell CFD-studie av ett fiskavledningssystem där en rörlig vattenyta använts. 3D-simuleringar kan även göras av grunda vattendrag med ojämn botten (Nicholas et al. 1999).

Kombinering av detaljstudier av fiskvandringen med flödesmätning och modellering för att lösa vandringsfiskproblem i samband med salmoniders lekvandring har inte genomförts tidigare varför tillämpningen kan bedömas vara i fronten för denna typ av undersökningar. Resultaten kan tex användas för att bestämma var en ev trappa i tunnelutloppet ska placeras, samt hur smolt ska avledas för att undvika turbinpassage. Genom att i detalj kartlägga hur enskilda fiskar vandrar genom systemet, får man möjlighet att lägga in deras väg direkt i strömningsområden för de tappningsförhållanden/vattenhastigheter som rådde vid varje tillfälle.

Sammanfattande projektrapportering från Etapp 1 (2001-2002)

Vild lax påbörjar sin lekvandring i älvarna på försommaren (Økland et al 1995). I Umeälvens reglerade nedre älvssträcka har laxen ett komplext lekvandringsbeteende och har svårt att passera utloppet från Stornorrforfs kraftverk (Carlsson et al. 1996, Perä and Karlström 1996, Rivinoja et al. 2001). Våra studier visar förlust av leklax från mynningen till fisktrappan. Invandringen till denna vandringsled (gamla älvsfåran) verkar störas av kraftverksutloppets höga vattenflöde. I bilagd slutrapport (bilaga 2 samt figur 1 nedan) visar våra resultat att cirka 70 % av den märkta laxen missar "sammanflödesområdet" och når således inte fisktrappan. I figur 1 nedan redovisas den procentuella förlusten av lekvandrande lax till olika delområden i Umeälvens nedre del från Umeå till fisktrappan, en distans på ca 32 km.



Figur 1: Sannolikheten (medel) för laxens uppvandring i nedre Umeälven samt områden där förluster sker.

Ett sådant stort svinn av lekmogen lax får negativa återverkningar på rekryteringen. Det är därför viktigt att hitta en lösning som gör det möjligt för en större andel av laxen att hitta rätt.

Vi redovisar också våra inledande radiomärkningsstudier på utvandrande lax- och öringsmolt i bilaga 4. Sammantaget ger fiskungarnas passage av kraftverket stora dödligheter på den årliga produktionen av vilda laxsmolt.

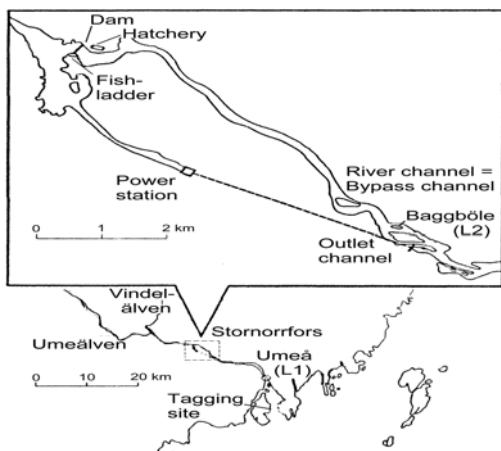
Mål

Projektets överordnade mål är att förbättra vandringsfiskars passage av vattenkraftverk, regleringsdammar och andra vandringshinder. Projektet är åtgärdsinriktat och ska bli ett underlag för åtgärder som möjliggör förbättring av vilda vandringsfiskars (lax och havsvandrande öring) upp- och nedvandring via fisktrappor eller smoltavledning förbi kraftverk. Denna kunskap är viktig för att långsiktigt uppfylla de nationella miljömålen om skydd av hotade vandringsfiskar. Ansökan fokuseras mot fyra generella frågeställningar:

- 1) Vilka miljövariabler får leklax i en större vattenmassa (3D) att hitta och lockas upp i en mindre flödeskälla som kan fungera som vandringsled (sk bypass) förbi kraftverks- och damm-konstruktioner? Denna frågeställning inkluderar även delmålet hur vandringsfisk hittar och vandrar i tex en fisktrappa
- 2) Hur, när och var i vattenmassan utvandrar lax- och öringsmolt generellt i våra flödesreglerade vattendrag (ex. området ovan Norrfors dammen, Umeälven, samt ovan Sikfors kraftverk, Piteälven)?
- 3) Simulering av strömningsmönster och validering av dessa med fältmätningar för att modellera leklaxens och laxungarnas förmåga att vandra förbi vattenkraftverk eller dammar? Utifrån de validerade modellerna vill vi testa om vi kan styra laxens vandring utifrån modellförutsägelser.
- 4) Att kvantifiera laxens lekvandring från fisktrappan vid olika flödesregimer för att utreda om laxen faller tillbaka över dammen, samt att sammanställa erfarenheter av FoU gällande effekten av kraftverksbyggnationer i andra norrländska älvar på laxfiskars lekvandring och förmåga till passage (tex Piteälven, mm).

Modellvattendraget

Umeälven med biflödet Vindelälven mynnar i Bottniska viken (63°50'N 20°05'E). Vindelälven rinner in i Umeälven ca 40 km från mynningen och ca 8 km uppströms den nedersta dammen och kraftverket i Stornorrfor. Umeälven har med Vindelälvens tillrinning en medelvattenföring i sin nedre del kring 583 m³/s under laxens lekvandringsperiod från den 20 maj till 1 okt (McKinnell et al. 1994). Fisktrappan i dammen i Norrfors möjliggör laxens vandring från havet till lekområdena i Vindelälven. Vårt undersökningsområde, ca 32 km, sträcker sig från märkplats i Umeälvens mynning till laxtrappan i Norrforsdammen (figur 2). Vattnet återförs till Umeälven via en 4 km underjordisk tunnel (rak streckad linje i figuren). Området ges då en 8 km öppen naturlig älvfåra (*torrfåran*) som under fiskens vandringsperiod fungerar som "bypass channel" mellan damm och turbinvattenutsläpp. Följande begrepp har använts: *vandring* avser den adulta fiskens vandring uppströms. *Tunnelutloppet* utgörs av en 250 m lång och 20 meter djup kanal nedströms den 4 km långa *turbinvattentunneln* (streckad linje). *Sammanflödesområdet* är området där vattnet från tunnelutloppet och den naturliga älvfåran möts. *Fisktrappan* är vandringsled till Norrfors damm. *Spillvatten* kontrolleras genom dammluckorna i dammen i Norrfors. Vattenföringen i torrfåran ges i Tabell 1. Vattenföringen genom Stornorrfor kraftverk varierar över dygnet och veckan. Den genomsnittliga vattenföringen (m³/s) över turbinerna från 20 maj till 1 oktober (1997) ca 552 m³/s och spillet 56 m³/s för en total vattenföring av 608 m³/s. Den maximala vattenföringen genom kraftverket kan vara ca 1000 m³/s.



Figur 2 visar Stornorrfor kraftverk i relation till laxens vandringsled i Umeälvens nedre del (modifierad från Andersson, 1988)

Tabell 1. Minimiflödesnivåer i torrfåran enligt nedan. Fisktrappan har en vattenföring på ca 1 m³/s.

Datum	m ³ /s
20 maj – 15 juni	10
16 juni – 31 augusti,	23 (måndag 07:00 till lördag 05:00)
16 juni – 1 oktober,	50 (helger)
1 september – 1 oktober,	15 (måndag 07:00 till lördag 05:00)
1 oktober – 19 maj	0,5

Umeälvens vilda Vindelälvslox samt passiva- och aktiva radiomärkningstekniker

Umeälvens naturligt reproducerande laxbestånd försvann vid vattenkraftsbyggnationer under 50-talet, medan Vindelälven fortfarande har produktion av vild lax och havsöring. Smoltutsläppningar från Norrfors fiskodling kompenserar förlusten av naturligt producerad umeälvslox. Från 1970 har fettfenan klippts från alla odlade laxar för att särskiljas från vild lax med intakt fettfena. I fisktrappan har sedan 1961 fiskens ursprung samt kön, längd, vikt, ankomsttid, mm registrerats innan de frisläpps för vidare vandring uppströms till Vindelälvens lekområden 50-300 km uppströms (Lundqvist et al. 1999). Under 1974-1998 har 31073 vilda vs odlade laxar registrerats i fisktrappan. Omkring 70% är av vilt ursprung (McKinnell et al. 1994).

Mål, metodik och analysmetod

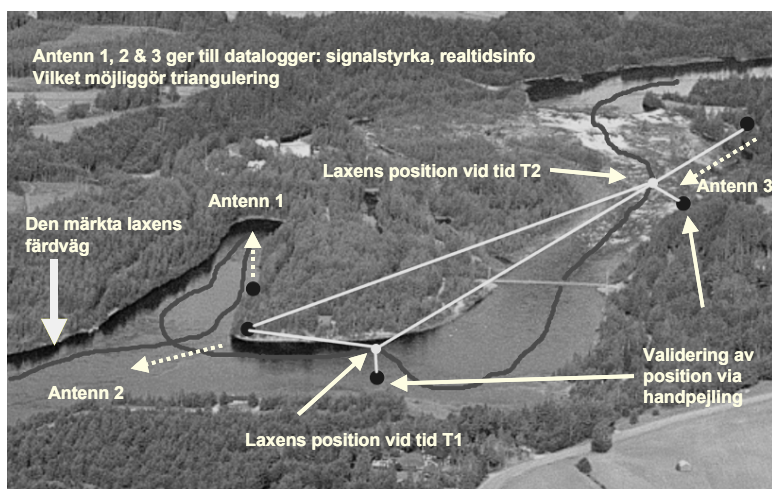
Projektet har som yttersta målsättning att förbättra laxens och havsöringens lekvandring till kvarvarande fortplantningsområden i älvar där dammar och kraftverk utgör vandringshinder. Arbetet avser i en inledande fas att ske i modellvattendraget Ume/Vindelälvens avrinningsområde. För att öka kunskapen om flödesförhållandets betydelse som ”signal” till fisken att påbörja och genomföra uppströmsvandringen mäter och modellerar vi strömbilden vid olika tappningsregimer (gm Prof Lars Bergdahl, Chalmers, se bilaga 3)

Mål 1: Vilka miljövariabler får leklax i en större vattenmassa (3D) att hitta och lockas upp i en mindre flödeskälla som kan fungera som vandringsled (sk bypass) förbi kraftverks- och damm-konstruktioner?

Denna frågeställning inkluderar även delmålet hur vandringsfisk hittar och vandrar i tex en fisktrappa

Genomförande: Kartläggning av a) radiomärkta (Vindelälvslox) laxars lekvandring från Umeälvens mynning till fisktrappan i Norrfors, samt b) rumsligt bestämma omärkta laxars position i sammanflödesområdet (kanalutloppet) i relation till rådande reglering. Strömbilden mäts (gm Chalmers i Mål 3 nedan) för att analysera under vilka strömningsförhållanden laxen vandrar upp i ”bypass kanalen”. Lekvandrande ryssjefångad lax under juni-juli radiomärks i mynningen med aktiva inre radiosändare (ATS, 70 st) samt med passiva radiomärken (sk PIT-tags; Trovan, Digital Angel-Destron, c. 500 st). Prover för genetisk analys av stamtillhörighet tas. Vidare noteras längd och kön. Vandringer i Umeälven följs enligt tidigare beprövat system genom manuella pejlingar (båt, bil, mm) dagligen alt 3 ggr i veckan fram till 7 oktober samt genom fasta pejlstationer (LOTEK loggrar). Radiomärkena ger en unik kombination av frekvens & puls så att märkta laxar kan följas individuellt. Radiomärkningstekniken påverkar inte fiskens simförmåga eller beteende (Arnekleiv and Kraab 1996, Heggberget *et al.* 1988).

De märkta laxarna följs för att kartlägga fiskens vandringsväg i sammanflödesområdet. Fiskens exakta rörelsemönster kan inte erhållas med hög tidsupplösning via manuell pejling. Under 2003 placerar vi därför tre antenner (med loggrar) på strategiska platser i sammanflödesområdet för att registrera den märkta laxens ”elektriska” spår i området. Loggrarna registrerar signalstyrkan i det radiomärke som laxen är märkt med. Detta system ger möjlighet till triangulering av fiskens 2D-position i älven då vi analyserar logger indata (realtidsklocka, signalstyrka hos märket) och de tider laxen passerar olika områden som tunneln, Baggböleforsen, mm. Vi validerar resultaten från loggern med manuell pejling (figur 3).



Figur 3. Exempel på hur triangulering av ”signalstyrka” ger den radiomärkta laxens ”elektriska” spårstämpel

Signalen på loggrarna förändras inbördes (ökande el minskande) när laxen passerar sammanflödet eller forsen (upp- eller nedströms). Triangulering av märkt fisk gör fiskens rörelsemönster tydligt och data visar när laxen stiger från huvudflödet in i torråran. Laxens uppehållstid i olika delar av sammanflödesområdet och torråran nedströms Baggböleforsen erhålls också. Data om fiskens rörelsemönster och uppehållstider med hög geografisk upplösning länkas och utgör grund för väl genomtänkta försökstappningar. Med flödesdata från Chalmersgruppen svarar vi på frågor: Vilka flödesregimer är optimala för att locka upp laxen i torråran och stimulera den att fortsätta förbi Baggböleforsen? En viktig delfråga är alltså vilka flödessignaler som får laxen att hitta och simma in i gamla älvsåran. Området som är veckoreglerat ger flödeshöjning under helgerna vilket stimulerar laxens invandring i bypasskanalen av vilka en del passerar Baggböleforsen när flödet sänks. För att svara på frågan vilken flödesregim i spillflödet som maximerar uppvandringens responsen behöver vi en hög upplösning (tre-dimensionellt) på rörelsemönstret hos laxen samt möjlighet att manipulera flödet i torråran.

Det finns olika tekniska lösningar för 3D-positionering av fisk i sammanflödesområdet. Vi har valt en ny hydroakustisk teknologi som baseras på ekolod/sonar från SIMRAD (EK 60). Systemet har utvecklats vid Oslo universitet (Inst för Fysik) av Balk & Lindem (2002). Här finns speciellt framtagen mjukvara för lagring och analys av fiskdata från älvar och sjöar. Med denna teknologi får vi ett avsevärt större dataunderlag för säkrare

statistiska analyser än den individbaserade tekniken ger. Möjligheten att följa enskilda fiskar under längre tid är dock begränsad. Systemet kommer även att användas för registrering av utvandrande fiskungar.

I kombination med djuppositionering av laxen i sammanflödesområdet får vi alltså även en bild av var laxen uppehåller sig djupmässigt och om den vandrar in i tunneln och i så fall hur länge den uppehåller sig där. Vi får även veta var i området laxen uppehåller sig i relation till strömningsbilden i sammanflödesområdet. Den informationen är viktig för att kunna gå vidare och definiera potentiella områden för placering av ingång till en eventuell fisktrappa. Under tredje året vore det även önskvärt att kunna simulera ingången till en fisktrappa (pengar för detta söks på annat håll) genom att skapa en strömningsbild som motsvaras av den som erhålls från en tilltänkt fisktrappa. Ett sådant försök med några olika placeringar och vinklingar på den utgående vattenströmmen görs i samarbete med Chalmersgruppen, där de står för flödesmätningar och modellvalideringen medan vår gruppering undersöker hur laxens positioneras i området beroende på ändringar i strömbilden, samt när och var laxen tar sig in i den mindre bypasskanalen.

Utvärderingen i Mål 1 ska ligga till grund för en generell bedömning av vilka faktorer som styr fisken att påbörja en uppvandring i bypass kanalen samt ge underlag för var en fisktrappa ska placeras i tunnelutloppet alt olika vattentappningsregimer. Våra resultat diskuteras med referensgrupp av internationella fiskvandringsexperter (ffa forskare från västra USA).

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

Genomförande: Vi följer radiomärkt laxsmolt (odlade fr Norrfors ca. 60 gram i storlek) som frisläpps i närheten c. 4 km uppströms dammen (2 x 20 ind) under den naturliga smoltvandringen (förslagsvis 28 maj och 5 Juni 2003) för att kvantifiera smoltens utvandringssväg (över damm eller genom turbiner). Målet är alltså att utvärdera smoltens utvandring från Vindelälven mot dammen och kraftverket i Stornorrfors vid olika dammspill. Ett sådant försök presenteras i bilaga 4 men kommer att kompletteras (2003) så att fiskungarna får passera dammområdet när det även spills över dammen. Allt arbete sker i samråd med Vattenfalls fiskodlingspersonal. Märkta laxungar positioneras ett antal ggr per dygn så att deras vandringsbeteende ovan dammbyggnaden kan identifieras. Fasta loggrar placeras ovan dammen samt vid kraftverkskanalens inlopp för att erhålla exakta tider för laxungarnas utvandring. Det är viktigt att mäta strömbilderna ovan dammen i olika turbinvattenföringar/ dammspill under den naturliga smoltvandringssperioden då laxsmoltens utvandring sannolikt påverkas av dessa förhållanden. Denna information är också ett måste om man planerar att leda bort smolt från kraftverket i en framtid. Chalmers genomför flödesmodellerna. Vi redovisar data i en GIS-applikation (visande bottentyper, djupförhållanden, strömmiljöer i vertikalled) så att området ovan dammen kartläggs för att kunna bedöma smoltens utvandringssväg. År 2004 genomförs kompletterande studier beroende på utfall år 1. Ev åtgärder 2005.

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

Genomförande: vi vill utveckla metoder för bedömning av föreslagna tekniska åtgärder för förbättring av vandringsfiskens passage (tex kanalisering, tappningsändringar, placering av laxtrappor och design av lockvattenströmmar mm.). Vi simulerar strömningen i vattenvägar kring vattenkraftverk med hjälp av tredimensionella datorbaserade strömningsberäkningar (Computational Fluid Dynamics, CFD) och validerar simuleringarna mot fältmätningar. Data kring fiskens positioner (3D) i de olika vattenmassorna kombineras med de validerade strömningsmodellerna för att fastställa hur fisken vandrat i olika strömningskikt. I sista steget kommer modellerna att användas för att simulera utformningen och effekten av åtgärder som föreslagits (bilaga 5). Vi börjar med att simulera strömningen i ett par valda områden uppströms och nedströms Stornorrfors kraftverk. Indata till delmodellernas geografiska ränder har delvis genomförts 2001/2002 via fältmätningar av hastighetsprofiler och vattennivåer vid olika tappningsförhållanden. Validering genomförs nu för att kontrollera simuleringens resultat, dvs. kontrollera hur väl strömningsmönster och hastighetsfördelningar modelleras i de numeriska modellerna. Detta ger underlag till justering av randvillkor och val av turbulensmodeller vilket skulle kunna finkalibrera simuleringen. Det storskaliga strömningsmönstret kommer dock att vara korrekt återgivet. Vandringssvagens beteende och krav på strömningsmönster studeras i mål 1 & 2 ovan (SLU, Umeå). Simuleringsmodellerna ger som primärutdata hastighetsvektorer i alla beräkningsceller. Lämplig upplösning kan t.ex. vara 1 m i vertikalled och 5 - 15 m i horisontalled. Ur datamängden kan man ta fram t.ex.

- kartor med hastighetsvektorer på olika nivåer eller i valda tvär- och längssnitt
- isoveler i horisontalplan och valda tvär- och längssnitt
- flöden integrerade över delsektioner
- Genom att följa definierade vattenpaket (particle tracking) kan man kartlägga vilken väg en viljelös smolt skulle färdas utför älven från olika startpunkter antingen deterministiskt genom att partikeln följer medelhastighetsvektorn eller stokastiskt genom att i varje tidssteg lottas förflyttningen med hänsyn tagen

till turbulensen. I det förra fallet kommer varje partikel som släpps i en punkt att gå samma väg, men i det senare fallet kommer man att få en spridning av transportvägarna. Se t ex Adamsson m.fl. (2002a).

Målet är att bli utvecklade rutiner för simulering av strömningen i vattenvägarna för bedömning av föreslagna tekniska åtgärder som placering av laxtrappor i tunnelutloppet och design av lockvattenströmmar mm. Vi avser att göra simuleringar av intag till laxtrappan i kraftverkets avloppskanal för att se om strömningsmönster som säkrare lockar in fisken kan åstadkommas. Inmätta strömningsmönster vid olika tappningar undersöks. Vår grundhypotes är att laxtrappans intag skall läggas i en punkt vid vänstra stranden där huvudströmmen från avloppskanalen verkar koncentrerad. Parallella fiskvandringstudier bekräftar fiskens 3D position (dvs att de finns i detta område). Därefter skall lockvattenmängd och –riktning simuleras, vid ett antal olika placeringar. Dessa simuleringar bör följas upp med fältförsök, t.ex. med hjälp av strömbildare eller kompletta fångstanordningar, vilka dels skulle bekräfta beräknat strömningsmönster, dels bekräfta att laxen verkligen lockas in.

Hypotesen att smolt följer huvudströmmen utför älven kan bekräftas med ”particle tracking” från utsättningspunkterna vid de tappningsförhållanden som rådde vid utsättningarna och se om partiklar följer samma väg som den utvandrande smolten gjorde. Här kommer också nya rekommendationer att göras för ev utformning och längd på ”fångstarmar” för avledning av smolt från kraftverksintaget. Genom att simulera byggda ändringar av botten (t.ex. bottenvallar) kunde man också undersöka hur strömningen eventuellt kan trängas in mer mot vänstra stranden av selet mha tex förankrade flytbryggor, strömbildare, etc? Vårt långsiktiga mål är att ställa upp klara kriterier på hur strömningen i en vandringsled ska vara beskaffad så kan man med hjälp av tredimensionell numerisk strömningssimulering kan utforma fungerande vandringsleder kring en vattenkraftsanläggning.

Mål 4: Vi ska kvantifiera laxens lekvandring från fisktrappan vid olika flödesregimer för att utreda om laxen faller tillbaka över dammen, samt att sammanställa erfarenheter av FoU gällande effekten av kraftverksbyggnationer i andra norrländska älvar på laxfiskars lekvandring och förmåga till passage (tex Piteälven, mm).

Genomförande: Amerikanska undersökningar av Bjornn & Peery (1992) visar att en betydande dödlighet på lekvandrande fisk orsakas av att sk "fallbacks" inte tar sig tillbaka till fisktrappan. Dessa aspekter har hittills ej utvärderats i Sverige. Genom märkning (PIT-tags och aktiva radiomärken) av lax som frisläpps från trappan i olika spillvattenmängder och senare mäta förekomsten av till trappan återvandrande lekfisk (aktiva radiomärken) kan problemet belysas och kvantifieras. Vi avser också att utvärdera och sammanställa fiskeriverkets datasamlingar (Luleå, Härnösand) över vandringsfisk för att utreda omfattningen av ovan beskrivna problem i andra älvar bla Piteälven. Detta moment förutsätter samarbete med internationell nordamerikansk expertis eftersom den samlade svenska erfarenheten är jämförelsevis liten.

Projektets nyhetsvärde

Nyhetsvärdet i det föreslagna delprojektet är främst kopplingen mellan den tredimensionella spårningen av fisken och den tredimensionella bilden av strömningsmönstret i omgivningen där fisken förflyttar sig. Detta ger unika möjligheter att koppla fiskens beteende kvantitativt till strömningen och använda denna kunskap för att planera önskvärt strömningsmönster, föreslå konkreta åtgärder och simulera dessa i den numeriska modellen. I tidigare studier har man ofta nöjt sig med att kartlägga strömningsmönstret och modifierat detta på olika sätt men den direkta kartläggningen av fiskens tredimensionella förflyttning har saknats.

Genom de omfattande fältmätningarna av flödeshastigheterna och flödesmönstret kommer simuleringarna att var väl validerade vilket inte är vanligt. Projektet är problemlösande och direkt tillämpbart då alla resultat som ger ny kunskap om hur vandringsvägar ska konstrueras för att underlätta vandringsfiskens möjligheter att nå sina reproduktionslokaler ovan kraftverk/ dammar i älvens nedre del kan nyttjas. Projektet kan komma att bli kostnadsbesparande då förståelsen av samverkan mellan flöden och åtgärder kan användas för optimering av resursanvändning.

Industriell relevans till programmet och referens

Vårt miljö kvalitetsmål är att vattenbyggnationer minimalt ska påverka fiskars vandringsvägar så att vattendragets biologiska mångfald, ekologiska funktion och framtida naturresurs bevaras. Projektet ligger väl inom programmets prioriterade målområde ”Förbättrade förutsättningar för vattenorganismers vandring förbi vattenkraftverk, dammar och andra vandringshinder”, då vi vill utveckla kunskap om hur naturligt förekommande vandringsfiskbestånd som lax och havsöring med intakta lek- och uppväxtlokaler ovan kustnära kraftverk kan tryggas i en framtid. Genom det föreslagna projektet hoppas vi kunna bedöma hur ”generella” vandringsleder för vandringsfisk ska konstrueras i relation till vattenföringar/strömningsbild för att fungera så effektivt som möjligt. Resultaten kan användas praktiskt då dessa ger möjlighet att genomföra ombyggnader eller tillbyggnader av vandringsleder på ett rationellt och ekonomiskt sätt med avseende på anläggningskostnad och driftskostnader. Projektet genomförs i samverkan med kraftindustrin (Vattenfall AB). En samrådsgrupp finns etablerad mellan

Vattenfall AB (Stornorrfors Kraftverk, samt Kjell-Ali Wallin, Vuollerim, Björn svensson, Swedpower), Vindelälvens fiskeråd (ordf Henrik Sandström) och Sveriges Lantbruksuniversitet (Hans Lundqvist).

Samrådsgruppens rapport (bilaga 5) som finansierats externt av Vattenfall AB (Kjell Isaksson) tillsammans med Energimyndigheten visar på betydelsen av en laxtrappa i anslutning till kraftverkets avloppstunnel. Kan denna konstrueras (förslag finns nu framme hur den kan byggas via Kjell Ali Wallin, Vattenfall AB). Våra modellerade förväntningar (bilaga 6) på effekten av en fungerande trappa i tunnelutloppet på antalet uppvandrande laxar är stor. I dagsläget vandrar endast ca 30% av den lekvandrande vilda laxen upp i laxtrappan. Den direkta effekten utgörs självklart av den förbättring som kan erhållas. En förbättring från 32% till 50% ökad uppvandring ger en direkt effekt med 56% ökad uppvandring. Den återkoppling som sker via ökad reproduktion beräknas ge en ökning i antalet uppvandrande fisk på flera hundra procent redan inom en 10-15 årsperiod. Bilaga 5 redovisar också betydelsen av att leda lax- och öringungarna från kraftverkets turbiner.

Detta projekts kostnadseffektivitet bedöms i separata projekt där kostnaderna för åtgärder att förbättra uppvandringen av lax ställs mot vinsterna av att beståndet kommer samhället och älvdalen till nytta. CMF (Centrum för Miljövetenskaplig forskning, Umeå universitet) har tilldelat 1,2 miljoner till projektet "Managing the River Ume/Vindelälven resource: A resource for energy or fish, or both?" genom ny doktorandtjänst till Cecilia Håkansson, Handledare Bengt Kriström, Skogsekonomi, SLU. Vårt Elforsk projekt kommer att leverera data/modeller till nationalekonomerna.

Publicering/Resultatspridning

Resultaten kommer att spridas via internationell och nationell publicering i renommerade tidskrifter som t.ex. Journal of fish biology, Canadian Journal of Aquatic & Fisheries Sciences, Regulated rivers: Research & Management, samt ASCE Journal of Environmental Engineering. Resultatspridning sker också via nationella och internationella konferenser t.ex. Hydro Vision och genom licentiatrapport och/eller doktorsavhandling (våra två doktorander i projektet P. Rivinoja och J. Kiviloog).

Projektets kostnadsplan

I ansökan finns en gemensam kostnadsbudget. Specificerade delbudget för SLU och Chalmers visas nedan. Kalkylmodellen för projektet finns i bilaga 7 som redovisar förvaltningskostnaderna samt alla anställdas verksamhet i projektet. Vi har valt denna redovisningsform så att det lätt redovisas hur det sökta anslaget fördelas till de två samarbetsparterna. Medel söks inte från någon annan finansör. Utrustning/material (Kostnad för ett komplett system Portable 120 kHz splitbeam system, Laptop processor, inkl.EK60 och Sonar 4+5 med transducer ligger kring 450 kkr samt radiomärken/PIT märken) tillsammans med datorkraft och köpta tjänster motsvarar totalt 1.8 miljoner av hela projektets kostnadsbudget. Om den totala kostnadsvolymen bedöms alltför hög finns kanske möjligheten att Vattenfall AB kan exterfinansiera del av ansökan.

Kostnadsplanen kan i nuläget inte göras exaktare utan bygger på prisuppgifter som nyttjas vid tidigare försöksverksamhet i älven. Utrustningskostnaderna följer dollarkurserna och kan variera. Märkesupphandling, dvs. beställning av radiomärken från ATS måste göras minimum 6-8 veckor innan första fiskmärkning kan ske.

Kostnader kkrSLU's del	År 1	År 2	År 3	Totalt
Lönekostnad doktorand 100 %	334	334	334	1 002
Lönekostnad forskare, projektledare (8 %)	150	150	150	450
Lönekostnad övrig personal	178	178	178	534
Köpta tjänster(fiskare Obbola, Norrfors odl)	130	130	130	390
Datorkostnad				
Utrustning	705	275	275	1 255
Material				
Resor (konferenser & internat samarbete)	50	50	50	150
Övriga kostnader				
Förvaltningskostnader	298	298	298	894
Summa sökta medel	1 845	1 415	1 415	4 675

Kostnader kkr Chalmers del	År 1	År 2	År 3	Totalt
Lönekostnad doktorand (85 %)	296	347	361	1 004
Lönekostnad forskare, projektledare (3 %)	25	25	25	75
Lönekostnad övrig personal				
Verkstadskostnad				
Datorkostnad (licenskostnad FLUENT och datorkostnad tunga beräkningar)	58	58	58	174
Utrustning				
Material				
Resor (för samarbetet och konferenser)	10	10	20	40
Övriga kostnader (Fältmättningskostnader)	20	39	35	94
Förvaltningskostnader	163	191	198	552
Summa sökta medel	572	670	697	1939

Tidplan

Projektet startar 1 feb 2003 och avslutas 31 dec 2005. Lägesrapporter ges helårsvis i dec för resp år. Lägesrapport för placering av laxtrappa, avledning av smolt, tillbakafall ges 31 jan 2005. Slutrapport 2005-12-31 samt ekonomisk redovisning 2006-03-15

Målsättning	2003	2004	2005	Kommentar
Mål 1	Radiomärkning lekvandrande fisk			Test av åtgärd 2005
Mål 2	Radiomärkning smolt		Kompletteringar smoltvandringar	
Mål 3	Fältnätningar/validering modell		Modellering åtgärdsförslag	
Mål 4	Studier "Fallbacks" över Norrforsdammen			2 disputationer dec 2005

Referenser

- Adamsson Åsa, Virginia Stovin and Lars Bergdahl (2002a): A bed shear stress boundary condition for storage tank sedimentation, Accepted by ASCE Journal of Environmental Engineering
- Andersson, T. 1988. Utveckling av Östersjöns laxbestånd under senare decennier. En utvärdering av laxkompensationsverksamhet. PM Fiskeristyrelsen Utredningskontoret Härnösand.
- Arnekleiv, J.O. and Kraabøl, M. 1996. 'Migratory behaviour of adult fast-growing Brown trout (*Salmo trutta*, L.) in relation to water flow in a regulated Norwegian river', Regul. Riv., 12, 39-49.
- Arnekleiv, J.V., and M.Kraabøl. 1999. Opp- og nedvandring av örret ved hunderfossen kraftverk. Ms
- Balk, H. and T.Lindem. 2002. Fish detection in rivers with split-beam sonars. Scandinavian Symposium on Physics Acoustics Ustaoset 27-30 January 2002. address: University of Oslo, Department of Physics, Pb 1048 Blindern, 0316 Oslo, Norway. Email: helge.balk@fys.uio.no
- Bengtsson, B.-E., Hill, C., Bergman, Å., Brandt, I., Johansson, N., Magnhagen, C., Södergren, A. and Thulin, J. 1999. 'Reproductive Disturbances in Baltic Fish: A Synopsis of the FiRe Project'. AMBIO. Special Issue 28,1, 2-8.
- Bjornn & Peery, 1992. A Review of Literature Related to Movements of Adult Salmon and Steelhead Past Dams and Through Reservoirs in the Lower Snake River, 1992. US Army Corps of Engineers, Walla Walla District. Technical Report, 92-1.
- Carlsson, U., Lundqvist, H., Eriksson, T., Nilsson, J. 1996. Lekvandvandring hos vindelälvslox i Umeälvens nedre del: Redovisning av telemetriförsöken 1995. Länsstyrelsen i Västerbotten, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Vattenbruk, PM 1996-01-28.
- Christensen, O. and Larsson, P.-O. 1979. Review on Baltic salmon research. ICES Coop. Res Rep. No. 89, 124 p.
- Gowans, A.R.D., J.D.Armstrong and I.G.Priede. 1999a. Movements of adult Atlantic salmon in relation to a hydroelectric dam and fish ladder. Journal of Fish Biology 54, 713-726.
- Gowans, A.R.D., J.D.Armstrong and I.G.Priede. 1999b. Movements of adult Atlantic salmon through a reservoir above a hydroelectric dam: Loch Faskally. Journal of Fish Biology 54, 727-740.
- Heggberget, T.G., Hansen, L.P. and Næsje, T.F. 1988. 'Within-river spawning migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*)', Can. J. Fish. Aquat. Sci., 45, 1691-1698.
- ICES CM 2001/ACFM:14. Report of the baltic salmon and trout assessment working group. Pärnu, Estonia 28 March–6 April 2001.
- ICES. 1994. 'Report of the Working Group on Baltic salmon and sea trout', ICES C.M. 1994.
- Karlsson, L. and Karlström, Ö. 1994. 'The Baltic salmon (*Salmo salar* L.): its history, present situation and future', Dana 10, 61-85.
- Karpinnen, P., T.S.Mäkinen, J.Erkinaro, V.V.Kostin, R.V.Sadkovskij, A.I. Lupandin & M.Kaukoranta. 2002. Migratory and route seeking behavior of ascending Atlantic salmon in the regulated River Tuloma. Hydrobiologia 00:1-8
- Laine, A., T.Jokivirta, and C.Katopodis. 2002. Atlantic salmon, *Salmo salar*, and sea trout, *Salmo trutta*, passage in a regulated northern river - fishway efficiency, fish entrance and environmental factors. Fisheries management and Ecology 9, 65-77
- Lin, Fangbiao & Hecker, George E.: Evaluation of Hydraulic Conditions at a Fish Diversion System, Hydro Vision 2002. HCI Publications, Inc. USA, 2002.
- Linløkken, A. 1993. 'Efficiency of fishways and impact of dams on the migration of Grayling and Brown trout in the Glomma river system, south-eastern Norway', Regul. Riv. 8, 145-153.
- Lundqvist, H., Östergren, J., and McKinnell, S. 1999. 'Tracking the upstream migration of wild salmon (*Salmo salar*) females', Submitted manuscript.
- McKinnell, S. 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar* L) life history variation: implications for the Baltic Sea fishery. Ph.D.- Thesis, Department of Aquaculture, Swedish University of Agricultural Science, Umeå 1998
- McKinnell, S., Lundqvist, H., Johansson, H. 1994. Biological characteristics of the upstream migration of naturally and hatchery-reared Baltic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture and fisheries management 25, Suppl. 2, p.46-63.
- Meselhe, E.A et al.: Numerical modeling for fish diversion studies, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 126, Issue 5, 2000, pp 365-374
- Meselhe, E.A. & Odgaard, A.J.: 3D Numerical Flow Model for Fish Diversion Studies at Wanapum Dam, Journal of Hydraulic Engineering. Nr 12, 1998, pp 1203-1214.
- Monten, E. 1988. Fiskodling och vattenkraft, Vattenfall, Sverige. p. 139. (In Swedish).
- Nicholas, A.P. & Sambrook Smith, G.H.: Numerical simulation of three-dimensional flow hydraulics in a braided channel. Hydrological Processes. Nr. 13, 1999, pp 913-929.
- NRC. 1996. Upstream: salmon and society in the Pacific Northwest anadromous salmonids.' National Academy Press, Washington, D.C.
- Økland, F., Heggberget, T.G. and Jonsson, B. 1995. Migratory behaviour on wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during spawning. J. Fish. Biol., 46, 1-7.
- Økland, F., J.Erkinaro, K.Moen, E.Niemela, P.Fiske, R.S. McKinely and E.B.Thorstad. 2001. Return migration of Atlantic salmon in the river Tana: phases of migratory behaviour. Journal of Fish Biology 59, 862-874.

- Perä, I., Karlström, Ö. 1996. Undersökning av laxuppvandringen till Ume- Vindelälven vid Stornorrfors kraftverk 1996. Fiskeriverket Utredningskont. (Luleå), Rapport 1996-12-23
- Rivinoja, P., McKinnell, S. and H. Lundqvist. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish river caused by a hydroelectric power-station. *Regulated rivers: Research & Management* 17:101-115
- Sandström, H., K-A Wallin, B. Svensson, S. Westbergh och H. Lundqvist. 2002. Förbättring av Lax- och Havsöringsbestånden i Vindelälven – Ett åtgärdsförslag. Rapport från Vindelälvens Fiskeråd, 2002-03-23