



## Laxens nedströmsvandring mot fiskavledare till Stornorrfors fisktrappa i Umeälvens nedre del

---

Hans Lundqvist<sup>1</sup>,  
Kjell Leonardsson<sup>1</sup>, Dan-Erik Lindberg<sup>1</sup>, Stig Westbergh<sup>2</sup>, Åke Forssén<sup>3</sup> och J.  
Gunnar I. Hellström<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institutionen för vilt, fisk & miljö,  
Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU)  
901 83 Umeå

<sup>2</sup>Ume- Vindelälvens Fiskeråd, Vindelvägen 3, 920 70 Sorsele

<sup>3</sup>Vattenfall Vattenkraft AB, Västra Norrfors 125, 905 93 Umeå

<sup>4</sup>Avd för strömningslära och experimentell mekanik, Luleå tekniska universitet, 971 87 Luleå



---

Sveriges Lantbruksuniversitet  
Institutionen för Vilt, Fisk och Miljö

Rapport 1

Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Umeå 2014

---

Denna serie rapporter utges av Institutionen för Vilt, Fisk och Miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå med början 2011. Serien publiceras endast elektroniskt på institutionens hemsida [www.slu.se/viltfiskmiljo](http://www.slu.se/viltfiskmiljo) .

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

E-post till ansvarig författare  
*E-mail to responsible author*

Hans.Lundqvist@slu.se

Nyckelord  
*Key words*

Norrfors, ledarm, kammartrappa, nedströmsvandring, PIT, smolt, telemetri, Vindelälven, Umeälven

Ansvarig utgivare  
*Legally responsible*

Hans Lundqvist

Adress  
*Address*

Institutionen för Vilt, Fisk och Miljö  
Sveriges lantbruksuniversitet  
901 83 Umeå

*Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies  
Swedish University of Agricultural Sciences  
SE-901 83 Umeå  
Sweden*

## Förord

Denna slutrapport om laxungarnas nedströmsvandring sammanställer data från ett flertal undersökningar genomförda för att hjälpa nedströmsvandrande lax- och öringssmolt att mer riskfritt undkomma kraftverkets turbiner. Den visar våra arbeten med att skapa en fungerande fiskavledning för nedströmsvandrande fisk vid Stornorrfors kraftverkskomplex i Umeälven. Den visar även på verksamheter som nyttjats vid planering och utvärdering av gjorda åtgärder. Åtgärder i fisktrappan, fiskavledare och utrustning för registrering av PIT-tags har möjliggjorts genom finansiering av Europeiska Fiskefonden, Havs- och Vattenmyndigheten, Umeå kommun, Vattenfall AB och SLU. Arbetena har genomförts som två pilotprojekt (3b Nedströmsvandring Stornorrfors 2009-2010 och 3b2 Nedströmsvandring Stornorrfors 2011-2013).



Vild laxsmolt i sin kryptiska färgteckning innan de anländer till havet för tillväxt (foto: B-Sören Wiklund)



**VATTENFALL**



## Innehåll

<b>1.0 SAMMANFATTNING</b> .....	<b>4</b>
<b>2.0 BAKGRUND</b> .....	<b>6</b>
<b>3.0 VINDELÄLVEN SOM RESURS FÖR VILDLAXEN</b> .....	<b>7</b>
<b>4.0 PROJEKTETS SYFTE OCH MÅL</b> .....	<b>7</b>
<b>5.0 MATERIAL OCH METODER</b> .....	<b>8</b>
5.1 Umeälvens problemområde & ny fisktrappa.....	8
5.2 Strömningslinjer via ADCP-mätningar i relation till ledarens placering.....	12
5.4 Pittag- registrering .....	15
5.5 Märkning av fisk .....	17
<i>Tabell 1. Laxsmolt fångade, märkta(PIT-tag) och frisläppta samma dag som fångst under 2009-2013. Dessa märkta fiskar har senare ingått i utvärderingen av ledarens funktion.</i> ....	18
<b>6.0 RESULTAT OCH DISKUSSION</b> .....	<b>20</b>
6.1 Fiskavledaren .....	20
6.2 Strömningsbild i området runt fiskavledaren .....	23
6.3 Första fiskvandring försöket mot avledaren och i fisktrappan .....	25
6.4 Nedströmsvandring hos vuxen lax.....	32
6.5 PIT-antennernas funktion .....	32
6.6 Fiskavledarens funktion och avledningseffektivitet.....	33
<b>7.0 TACKORD</b> .....	<b>35</b>
<b>8.0 REFERENSER</b> .....	<b>36</b>
<b>9.0 APPENDIX - MODELLERING AV STRÖMNINGSBILDEN VID FISKAVLEDAREN</b> .....	<b>36</b>

## 1.0 Sammanfattning

Rapporten sammanfattar våra arbeten med målsättning att skapa en fungerande fiskavledning för nedströmsvandrande fisk i vid Stornorrfor kraftverkskomplex i Umeälven. Rapporten visar även på verksamheter som nyttjats vid planering och utvärdering av gjorda åtgärder. Åtgärder i fisktrappan, fiskavledare och utrustning för registrering av PIT-tags har möjliggjorts genom finansiering av Europeiska Fiskefonden, Havs- och Vattenmyndigheten, Umeå kommun, Vattenfall och SLU. Arbetena har genomförts som två pilotprojekt (3b Nedströmsvandring Stornorrfor 2009-2010 och 3b2 Nedströmsvandring Stornorrfor 2011-2013).

Vilda lax- och öring bestånd i våra älvar är viktiga naturresurser för människan och ekosystemet. Vindelälvens naturliga fiskproduktion av lax- och havsöring ungar är betydande för Östersjöns laxbestånd. De senaste åren har mer än 10 000 lax årligen vandrat uppströms för lek i älven. Många föräldrafiskar (Kelt, vraklax, besa, mm) överlever leken och vill vandra tillbaka till havet. Laxens naturliga avkomma, smolten, strävar också att ta sig till födoområdena i Östersjön. I flödesreglerade vattendrag som Umeälven med sitt unika laxbestånd i biflödet Vindelälven finns problem med dödlighet då kelt och smolt på sin nedströmsvandring ska passera Stornorrfor kraftverk. I Umeälvens nedre del färdigställdes en ny fisktrappa i Norrfor 2010 som utrustats med en "fiskavledare". Projektets mål var att bygga och ansluta fiskavledaren till nya fisktrappan och utvärdera dess funktion/effektivitet. Det mätbara målet för den planerade anläggningen vid Stornorrfor utskovsdamm sattes till att 75 % av den utvandrande vilda smolten och minst 50 % av den övervintrande keltens skulle avledas till nya fisktrappan för vidare vandring till havet. Detta mål kunde inte uppnås. Den nya fisktrappan skulle alltså fungera som ett klassiskt "omlöp" förbi kraftverket. Vild smolt har märkts med Passiva Integrerade Transpondrar (PIT) eller aktiva Radiomärken (RT) och senare skannats vid passage i fisktrappsområdet (PIT + RT-märkt fisk) eller vid intaget till Stornorrfor kraftverk (RT-märkt fisk).

SLU's utvärdering av ledarmens funktion och fiskens vandring nedströms har visat att fiskavledarens funktion varit mycket svår att kontrollera då ledarmen inte fungerat som tänkt i den tuffa strömmiljön ovan fisktrappans område mellan 2010-2012. Avledningseffektiviteten kunde med visst förtroende endast värderas vid 2013 års försök med PIT-märkt fisk (n=1749 fiskar) som släpptes dagligen efter fångst i Vindelälven (INDEX Spöland) när flödet var < 800 m<sup>3</sup>/s i älven. Den totala avledningseffektiviteten visade sig vara 4,5 %. Begränsande för utvärderingen har varit att stora grupper smolt periodvis inte kunnat fångas och märkas på grund av höga flöden i Vindelälven. Effektiviteten i ledarmen har varierat mellan 0 och 100 % under säsongen. Väldigt få Kelt av lax kunde avledas. Höga turbinflöden tycks ha en positiv inverkan på ledarmens funktion.

Smoltens passage nedströms i och genom fisktrappan verkar fungera utan större problem. Via PIT-märkt fisk och videofilmning i flera delförsök kunde vi visa på en lyckad genomfart där laxsmolten passerar fisktrappan inom några timmar till 2-3 dagar.

Flödesmätning och modellering av strömningen runt fiskavledarens område mot ingången till nya fisktrappan visar att ledarmen borde ökas till ca 150 meters längd istället för dagens 110 meter. Flödesmodelleringar visar då att en större del av ytströmmen kan styras in mot fisktrappans ingång. Försöken med fångst, märkning, utsättning och återfångst har fungerat bra och PIT-märkningstekniken bedöms överlägsen andra märktekniker för detektering av fisk om detekteringsutrustning installerats. Detta kan utvecklas vidare inom ramen för indexälvsvksamheten (ICES-DCF) som nu bedrivs i Vindelälven. Sverige bör fortsätta att ta ansvar för den här typen av utveckling då det finns samordningsvinster mellan indexvattendrag, fiskavledning och utvärdering av fisktrappan för lekvandrande fisk. Lyckas man avleda den naturligt producerade avkomman av lax och öring i reglerade vattendrag med unika bestånd finns mycket att vinna för att etablera långsiktigt hållbara bestånd av vandringsfisk.

Den typ av fiskavledare som nu prövats har tidigare inte prövats i Europa varför detta pilotprojekt är unikt. Arbetet som nu avslutats har varit ett samverkansprojekt mellan Europeiska Fiskerifonden, Havs- och Vattenmyndigheten, vattenkraftsägare, lokala och nationella fiskeriadministratörer samt forskare i fiskbiologi och hydraulik.

## 2.0 Bakgrund

En stor del av Sveriges större rinnande och lax/öring förande vattendrag är idag flödesreglerade varför lax och havsvandrande öring har svårt att upprätthålla säkra bestånd. Älvar har reglerats, dammar hindrar vandrigen, lekområden har överdämts och uppväxtplatser för ynglen har försvunnit. Situationen har ytterligare förvärrats då få föräldrafiskar tillåts vandra hem på grund av hårt fisketryck i havet. Östersjölax och havsvandrande öring överlever ofta lek i älven och vill återvända till havet. En nedströmsvandring som sker under höst, vår eller försommar. Dessa fiskar kallas kort för "Kelt" (sv vraklax, överståndare, besa, mm) (Jonsson & Jonsson 2011).

Vilda nedströmsvandrande lax- och öringungar som börjar sin älvsvandring, från uppväxtområden i sötvatten till havet, inom ett relativt snävt tidsfönster (under ca 2-4 veckor vid en vattentemperatur av ca 8 C) under vår och försommar benämns smolt. En resa som normalt pågår under några veckor i maj till juni om fisken finns i norra Sverige. Vilda smolt vandrar nedströms från uppväxtområdena i älven till havet vid en ålder av 2-3 år och vid en storlek av ca 12-14 cm. De simmar då i större grupper ytnära och följer vattenströmningen.

I flödesreglerade vattendrag som Umeälven är dödligheten efter turbinpassage av sådana fiskar, både kelt och smolt, storleksberoende så att större fisk dör i högre omfattning. Montén (1988) visade bl.a. i Stornorrfors kraftstation att c. 25 % av laxsmolten dog efter turbin- och tunnelpassage. När det gäller överlevande lekfisk, s.k. "kelts" visar Östergren (2006) i en mindre studie i Stornorrfors att dödligheten för Kelts vid passage av turbiner och tunnel kan vara så hög som 75 %. Naturliga andragångslekare i flödesreglerade älvar är sällsynta trots att kanske så mycket som 50 % av den lekvandrande och utlekta laxen skulle kunna återvända till havet och återkomma ytterligare gånger för lek i älven. Sammantaget leder detta naturligtvis till en svår situation för lax- och havsöring i Ume/Vindelälven och i andra flödesreglerade älvar med vilda laxbestånd.

När Vattenfall AB 2010 färdigställt ny fisktrappa fanns förutsättningar att också tänka på nedströmsvandrande fisk och det beslutades i samråd med andra intressenter (kommuner, Länsstyrelsen och SLU) att i projektform pröva möjligheterna att utveckla fisktrappans funktion också för nedströmsvandrande fisk. Tekniken har inte prövats tidigare i Sverige eller Europa. Om avledning av nedströmsvandrande fisk för säker återväg till havet skulle lyckas visade Lundqvist, Leonardsson & Rivinoja (2005) att det kan få positiva effekter på laxpopulationen inom ett decennium. Detta projekt med fiskavledare i Stornorrfors kan ge nya kunskaper för hur vi ska hantera liknande situationer i framtiden. Målsättningen med fiskavledaren är alltså att leda fiskarna på sin nedströmsvandring till och via fisktrappan vidare mot sitt tillväxtområde i havet med ett minimum av dödlighet.

HaV (Havs och Vattenmyndigheten) beslutade 2009 att inrätta Ume/Vindelälven som indexvattendrag för fjällälvar inom ICES assessment område 2 i Bottniska Viken. Detta gör att fiskavledningen kan komma att fungera för en mängd viktiga funktioner i den framtida beståndsvården av laxbestånd. Sammantaget bedömdes möjligheterna att bedriva långsiktig monitoring av upp- och nedströmsvandrande fisk via räkning av antalet vandrare och biologisk kontroll av vandrare individer (kön, storlek, genetik, mm) som mycket goda. Konceptet om långsiktig hållbarhet av älvbestånd av lax är vägledande för det arbete som lagts ned inom ramen för detta projekt som starkt kopplats till den indexälvsvärksamhet som genomförts i Vindelälvens nedre del (Spöland) under ett antal år. Projektet visar tydligt att samarbete mellan olika aktörer kan fungera om målet är att gemensamt arbeta för långsiktigt hållbara laxbestånd på älvdsnivå.

### 3.0 VINDELÄLVEN SOM RESURS FÖR VILDLAXEN

Fjällälven Vindelälven är den tredje största producenten av vilda laxungar till Östersjöns laxbestånd. Älven är ca 450 km lång och rinner i sydostlig riktning från fjällen i väst ner till mynningen vid Vännäsby, där älven rinner ihop med Ume älv. Cirka en mil nedströms sammanflödet ligger Stornorrfor kraftverk (Sveriges största energiproducerande vattenkraftverk) som färdigställdes 1958 och då ersatte Norrfors gamla kraftverk som varit i drift sedan 1926. Vindelälven som inte är utbyggd har ett vilt lax- och havsöringbestånd som påverkas starkt av damm- och kraftverksbyggnaderna i Stornorrfor (Rivinoja 2005, Lundqvist et al 2008). Vindelälven är sedan 1974 skyddad från framtida utbyggnad av vattenkraft.

Förutom utbygganden av vattenkraften har Vindelälvens miljö påverkats negativt av flottningen. Från 1800-talets mitt och drygt 100 år framåt i tiden strukturerades älv och biflöden om till transportleder för timmer. Detta skedde genom byggande av flottledsdammar, rensningar av forssträckor och kanalisering av vattendragen. Under de senaste decennierna har stora restaureringsprojekt i älven och biflöden genomförts för att återskapa den "ursprungliga" älvbiotopen.

### 4.0 Projektets Syfte och Mål

Projektet har arbetat med ny teknik för främjandet av ett uthålligt och hållbart fiske då nya fisktrappan utrustats och anpassats så att individmärkt nedströms vandrande lax och havsöring kan registreras och den totala överlevnaden ökas. SLU:s uppdrag i överenskommelsen gällande fiskvandring i Stornorrfor var att utvärdera effekten på nedströmsvandrande smolt av den fiskavledare som byggdes och installerades av Vattenfall AB vid nya fisktrappan övre del i Stornorrfor (Umeälven) sommaren 2010. Fiskavledaren ska förhoppningsvis förmå styra nedströmsvandrande fisk som ankommer i de två översta metrarna av älven, till fisktrappan vattenintag i sin övre del för fortsatt vandring nedströms genom den gamla älvfåran. Nedströms vandrande fisk skulle då via nya fisktrappan kunna erbjudas en relativt säker väg till havet för att fullfölja sin livscykel. Det långsiktiga syftet med projektet är att utarbeta ett koncept för fiskavledning som skall trygga utvandring av fisk i stora flödesreglerade vattendrag.

Målet för projektet var att bygga och ansluta fiskavledaren till nya fisktrappan, installera registreringsutrustning i fisktrappan och att SLU skulle utvärdera dess funktion/effektivitet. Genom att studera strömningsbilden i området via en simuleringsmodell kan erfarenheter vinnas för att konstruera fiskavledare som tar hänsyn till mer lokala förhållanden vid vattenkraftstationer. Det mätbara målet för den planerade anläggningen vid Stornorrfor dammen sattes till att 75 % av den utvandrande vilda smolten och minst 50 % av den övervintrande kelten skulle avledas till nya fisktrappan för vidare vandring till havet.

**SLU's utvärderingen av ledarens funktion och fiskens vandring nedströms har fokuserat på tre olika frågeställningar;**

1. *Hur fungerar fiskavledaren? Detta har genomförts genom att följa nedströmsvandrande fisk som individmärkts med passiva PIT-märken eller aktiva telemetrimärken och registrera om, när och hur de anländer till fisktrappans övre del.*
2. *Hur uppträder smolt under passage nedströms genom fisktrappan? Vi registrerade med webbkamera och automatiska läsare av PIT (passiva radiosändare) märkta fiskars rörelser för att utvärdera denna del. Att fisken kan passera nedströms genom fisktrappan är en central del i funktionen av ett fungerande sk omlöp för nedströmsvandringen i själva fisktrappan.*
3. *Slutligen frågar vi oss hur strömningsbilden ser ut i det område som laxen måste passera för att hitta ingången till nya fisktrappan.*

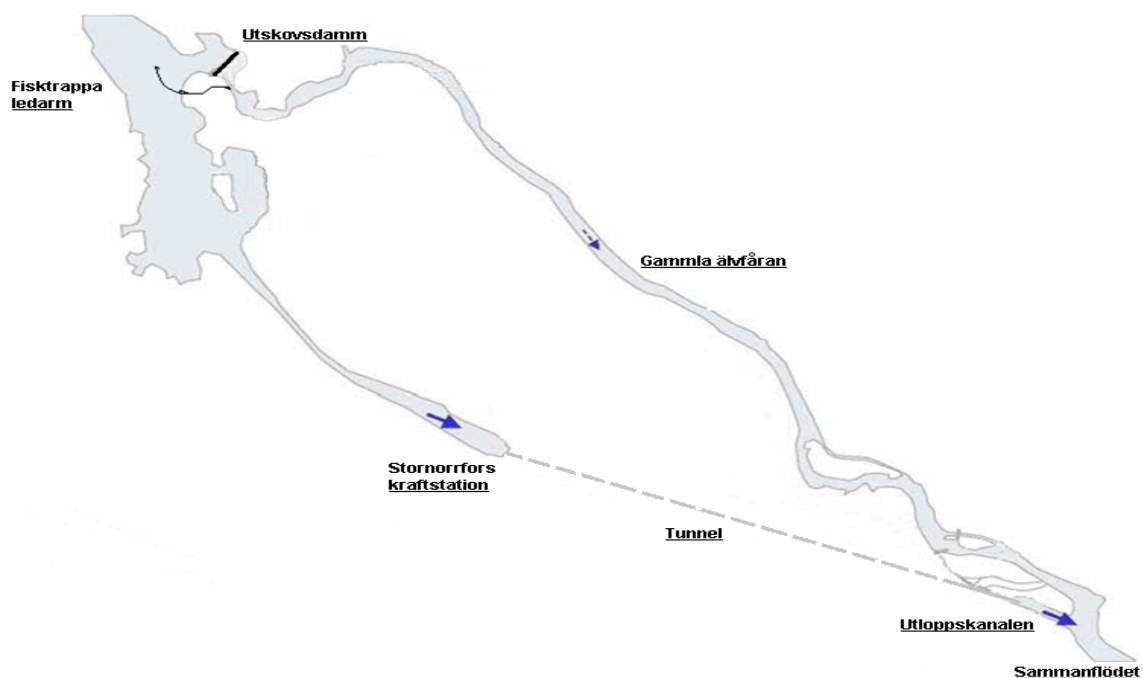
## 5.0 Material och Metoder

### 5.1 Umeälvens problemområde & ny fisktrappa

Umeälven med biflödet Vindelälven mynnar i Bottniska viken, Norra Sverige (63°50'N 20°05'E). Vindelälven rinner in i Umeälven ca 40 km från mynningen och ca 10 km uppströms Stornorrfor kraftverk med tillhörande regleringsdamm och fisktrappa. Fisktrappan möjliggör att lekvandrande lax och havsöring kan passera dammen. Efter att fisken passerat fisktrappan har de fri tillgång till lek- och uppväxtområden på en sträcka av ca 400 km i Vindelälven.

Vårt undersökningsområde i detta projekt sträcker sig från märkplatsen i Spöland (Vindelälven) till laxtrappan vid dammen i Norrfors (figur 1). Vid normala flödesförhållanden (<1000m<sup>3</sup>/s) passerar allt vatten, utöver den minimitappning som är avsedd för den gamla älvfåran (spillfåra) genom kraftstationen. Vattnet återförs därefter till älven via en 4 km lång underjordisk tunnel (rak streckad linje i figuren). Den gamla älvfåran som är 8 km lång fungerar under fiskens vandringsperiod som "Bypass Channel (eller omlöp)" mellan damm och utloppstunnels mynning. Följande begrepp används: *Sammanflödesområdet* är det område där vattnet från gamla älvfåran återförensas med vattnet från kraftstationen. *Tunnelutloppet* är den 250 meter långa och 40 meter djupa kanalen nedströms den 4 km långa utloppstunneln (*streckad linje*). *Nedströmsvandring* avser den utlekta adulta fiskens (Kelt) samt de vilda nedströms simmande laxungarna (smolt). *Fisktrappan* är den vandringsled som möjliggör fiskens passage upp- eller nedströms förbi dammen i Norrfors utan att de behöver passera via kraftstationen. *Spillvatten* kontrolleras genom dammluckorna i dammen i Norrfors.

Vattenföringen i gamla älvfåran ges i Tabell 1. Vattenföringen genom Stornorrfor kraftverk varierar över dygnet och veckan. Den typiska genomsnittliga vattenföringen (m<sup>3</sup>/s) via turbinerna från 20 maj till 1 oktober (1997) var ca 552 m<sup>3</sup>/s och spillet 56 m<sup>3</sup>/s för en total vattenföring av 608 m<sup>3</sup>/s. Den maximala vattenföringen genom kraftverket uppgår till ca 1000 m<sup>3</sup>/s.



Figur 1. Stornorrfor kraftverk och laxens vandringsled i Umeälvens nedre del.

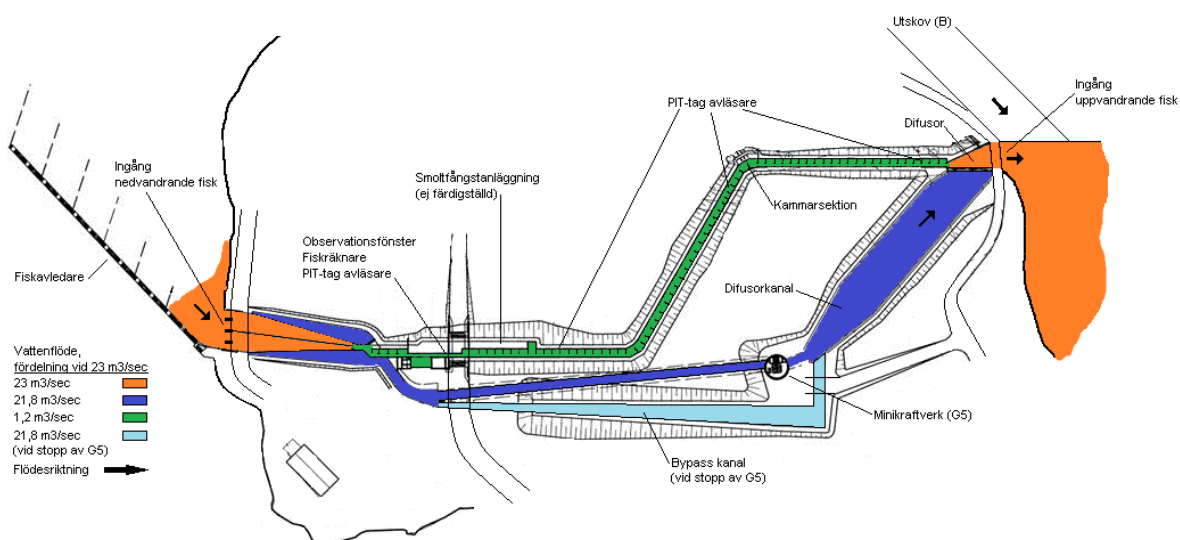
Tabell 1. Minimiflödesnivåer i gamla älvfåran enligt nedan. Fisktrappan skulle enligt uppgift ha en vattenföring på ca 1,2 m<sup>3</sup>/s men de mätningar som gjorts i trappan tyder snarare på 0.6-0.7 m<sup>3</sup>/s.



Under prövotider efter 2010 har andra minimitappningar (upp till 50 m<sup>3</sup>/s) använts i syfte att attrahera laxen uppströms.

Datum	m <sup>3</sup> /s
20 maj – 15 juni	10
16 juni – 31 augusti,	23 (måndag 07:00 till lördag 17:00)
16 juni – 30 september,	50 (lördag 17:00 till måndag 07:00)
1 september – 30 september,	15 (måndag 07:00 till lördag 17:00)
1 oktober – 19 maj	0,3

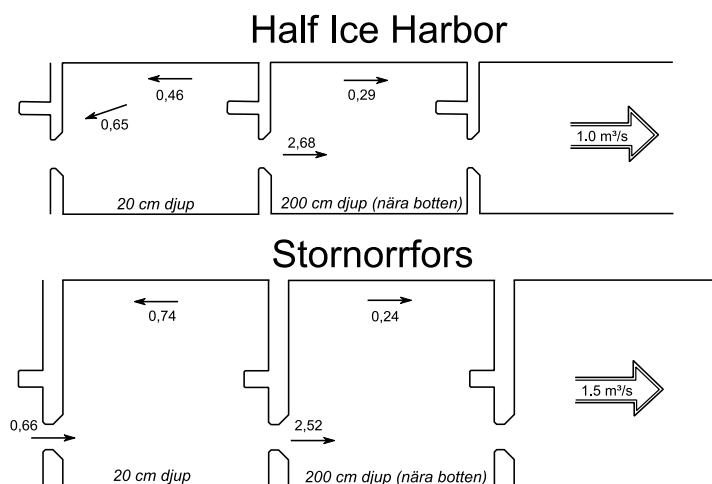
Bygget av nya fisktrappan i Norrfors stod färdigt 2010 och ersatte då den betydligt enklare fisktrappa som varit i drift sedan 1960. Den nya fisktrappan är den tredje i ordningen sedan 1932 och är 350 meter lång, har 77 steg och en fallhöjd på 22 meter (+53+75) Anläggningen har konstruerats för ett totalt flöde om 23 m<sup>3</sup>/s varav trappan skall kunna svälja 1,2 m<sup>3</sup>/s. Överskjutande vattenmängd skiljs av inne i trappans intag och leds vidare till minikraftverket (G5) eller bypasskanalen för att därefter återföras till trappa via diffusorn (Figur 2). Vattenståndet ovan dammen har regleringsamplitud ±1 meter under fiskvandringssäsongen (20 maj – 30 sep).



Figur 2. Grundprincipen för nya fisktrappan i Norrfors (Umeälven). I trappan finns antenner monterade för registrering av individmärkta laxar som passerar upp- eller nedströms. Med fiskavledaren som illustreras till vänster i bild vill man avleda nedströmsvandrande fisk från kraftverkets intag för att istället passera nedströms via fisktrappan för att sedan nå gamla älvfåran som leder till havet.

Den nya modellen på fisktrappa togs fram under 1960-talet vid Ice Harbor i ett biflöde till Columbia-floden, USA (Figur 3). De väsentligaste skillnaderna mot den tidigare trappan är följande:

- Möjlighet för nedströmsvandring
- Automatisk fiskräkning
- Automatisk reglering av vattennivån i trappan (±1cm)
- Infrastruktur för avläsning av PIT-tag märkt fisk
- Saknar vilopooler
- Större diffusor
- Två större observationsfönster



Figur 3. Skalenlig jämförelse av bassängerna i den ursprungliga "Ice Harbor"-trappan delad i mitten (övre) och fisktrappan i Stornorrforss (nedre). Strömhastigheter i meter per sekund, med strömriktning i mätpunkterna med pilar. Den huvudsakliga strömriktningen (och smoltens simriktning) med stora pilar till höger.

Det fanns ett övergripande önskemål att man samtidigt med bygget av en fisktrappa etablerade ett forskningsbaserat skötsel- och bevarandeprogram för hotade vandringsfiskarter i området. Fisktrappan utrustades via anslag från DCF programmet (HaV= Fiskeriverket, numera Havs- och vattenmyndigheten) och SLU initialt med teknisk infrastruktur för läsning av märkt fisk så att det skulle finnas möjlighet att övervaka och fastställa "kvaliteten" på det lekvandrande beståndet. Därför är det idag möjligt att på individnivå övervaka de arter och antal fisk som passerar och om den är vild eller odlad samt bestämma kön och storlek. Alla viktiga parametrar för att göra populationsskattningar. En 110 meter lång ledarmsstruktur med syfte att leda nedströmsvandrande fisk till havet via trappan byggdes i toppen av fisktrappan. I fisktrappan finns nu också en icke färdigställd samplingsenhet för nedströmsvandrande fisk som på sikt ska möjliggöra bättre bedömningar av sambandet mellan älvens lekvandring och dess yngelproduktion.

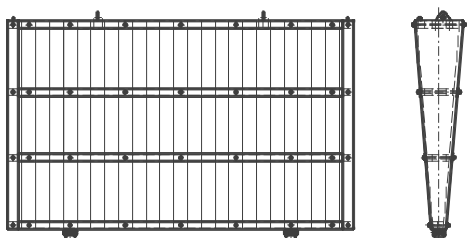
## 5.2 Fiskavledaren

Att leda smolt och kelt förbi kraftverksstationer i stora vattendrag som Ume/vindelälven är inte lätt. Dammen i Stornorrforss blockerar den gamla älvsfåran medan fisktrappans ingång för nedvandring ligger ca 200m från dammen och ca 2000 m uppströms kraftverksintaget.

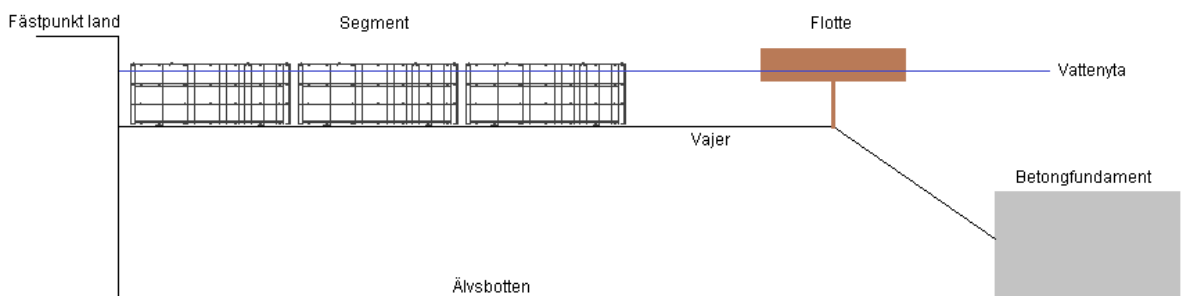
Förstudier gällande passage av radiomärkt lax i området ovan fisktrappan inleddes redan 2003-2004 då bl.a. odlad laxsmolt frisläpptes ovan dammen i Norrfors under den tid i maj-juni då vilda fiskar normalt vandrar nedströms. Vi ville veta smoltens utvandringssväg (över damm eller genom turbiner) vid olika dammspill. Radiomärkta laxungar positioneras då under sin nedströmsvandring via fasta loggrar som placerats längs älven så att smoltens vandringsbeteende ovan dammbyggnaden kunde identifieras. Under samma period mättes också strömbilderna uppströms dammen i olika turbinvattenförlingar/dammspill då laxsmoltens utvandring sannolikt påverkades av dessa förhållanden. Med denna information kunde fiskens vandringsväg identifieras i stort. Sammanfattningsvis simmade smolten ytnära och följde i huvudsak de dominerande strömmarna i området. Det bedömdes genomförbart att initiera ett projekt för att avleda smolt och kelt från kraftverket i och med att nya fisktrappan skulle byggas. Chalmers och sedermera LTU (Prof. Staffan Lundström, Luleå Tekniska Universitet) har genomfört flödesmodelleringar i området som en GIS-applikation (visande botten typer, djupförhållanden, strömmiljöer i vertikalled) så att området ovan dammen kartlades för att kunna bedöma smoltens utvandringssväg (Rivinoja 2005). Här simulerades också strömningen i vattenvägar kring vattenkraftsbyggnaden (dammen) med hjälp av

tredimensionella datorbaserade strömningsberäkningar (*Computational Fluid Dynamics, CFD*) som senare validerades mot fältmätningar. Dessa strömningsmodeller och den radiomärkta fiskens positioner ledde till rekommendationer för utformning och längd på "ledarmen" (se text nedan) för avledning av smolt innan de når kraftverksintaget. Avancerade ekolod (Simrad) användes för att studera bottenprofilen i älven där ledarmen kunde hamna. Genom simulering av olika flödesmodeller undersökte man var flytbryggor, fästordningar etc. behövde förankras för att kunna styra strömningen mot älvens vänstra strand (sedd från uppströmssidan). Vårt långsiktiga mål var att utreda vilka strömningskriterier som borde gälla i den här typen av vandringsled för att kunna utforma fungerande fiskvandringsleder kring en vattenkraftsanläggning.

Fiskavledaren som är 110 meter lång och har 22 segment, 5 m breda och 1.8 m djupa. Konstruktionen består av ett skelett i rostfritt stål klätt med impregnerad träplank längs långsidorna (Figur 4). För att erhålla rätt (ca 1 decimeter över vattenytan) flytförmåga har segmenten invändigt fyllts med cellplast och ballast(stål) har använts för att hålla dem i vertikal position. Segmenten är sammankopplade med en vajer som löper genom två fästpunkter i underkant på varje segment vidare till ett betongfundament på älvens botten där vajern är förankrad (Figur 5). Mellan sista segmentet och betongfundamentet har en flotte placerats med uppgift att hålla vajern på ca 2 meters vattendjup.



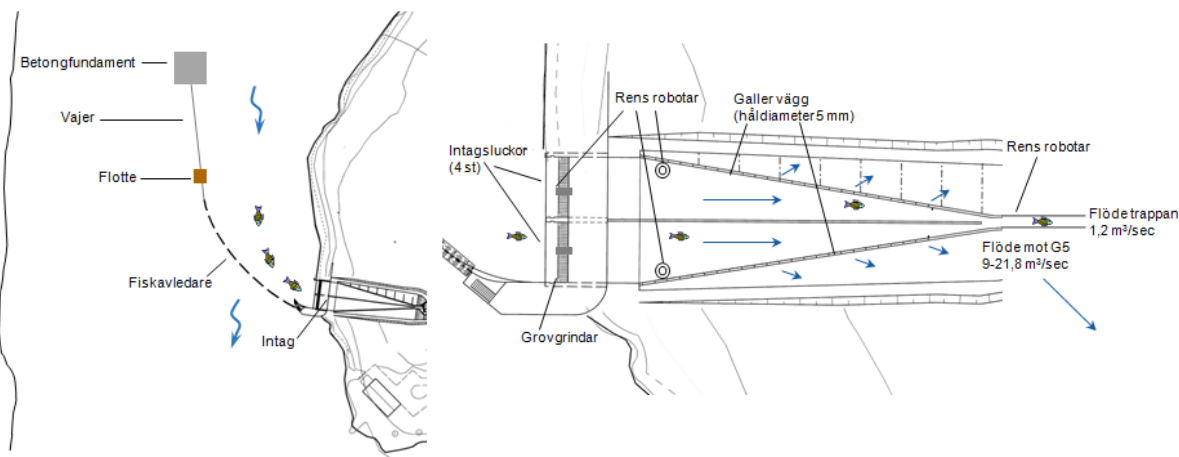
Figur 4. Längd och tvärsnitt av ett ledarmssegment



Figur 5. Principskiss av hur fiskavledaren är förankrad

Fiskavledarens yttre ände placerades uppströms fisktrappan, och vinklad mot strömmen skapar ledarmen en strömbildning mot fisktrappans övre del för att leda fisk i rätt riktning (Figur 6 vänster). Erfarenheter från USA säger att utvandrande smolt undviker strömmar som dyker under s.k. behavior guidance screens (BGS) och tenderar istället att följa dem som strandlinjer förutsatt bland annat att avvikelser från strömningsriktningen inte blir för stora. Telemetristudier av märkt smolt i området (Rivinoja 2005, Östergren 2007), har lagt till grund för placering av den nya fisktrappans intag. Genom dessa studier vet vi också att smolten bör kunna fångas upp av en ledarm och dirigeras in mot trappan. Fisk som leds av och passerat genom fisktrappan på sin nedströmsvandring kommer slutligen att nå den gamla älvfåran nedströms dammen i Norrfors. Från detta område är det en relativt säker transport till havet. Tidigare studier av märkta laxsmolt som utvandrar från detta område visar små förluster av fisk i detta ca 8 km långa område innan de når älven i sin fulla bredd nedströms turbinvattenkanalens utlopp i det sk. sammanflödesområdet. Efter detta område är det ca 22 km till älvens mynning i Bottniska Viken.

Intaget till fisktrappan är 45 meter långt, 16,5 meter brett och har 4 st. intagsluckor samt 5 st. rensrobotar. Det maximala flödet som kan passera genom intaget är  $23 \text{ m}^3/\text{sec}$  varav trappan kan svälja  $1,2 \text{ m}^3/\text{sec}$ , överskjutande vattenmängd (lockvatten) skiljs därför av genom två perforerade väggarna (Figur 6 höger) som har till uppgift att hindra fisk och drivgods att åka ner i minikraftverket (G5).



Figur 6. Skiss på fiskavledarens placering och intagsanordning för nedströmsvandrande fisk i nya fisktrappan (vänster) samt hur vattnet och fisken separeras i fisktrappans övre del (höger).



Figur 7. Intagsområdet i fisktrappans uppströmsdel (utan ledarmssektion).

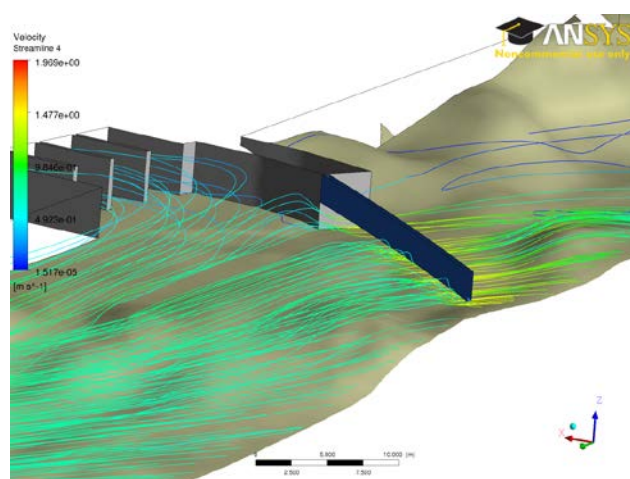
### 5.3 Strömningslinjer via ADCP-mätningar i relation till ledarmens placering

Vattenflödet runt fiskavledaren vid fisktrappan i Stornorrfors har varit föremål för relativt intensiva strömmätningar. Då varje element av fiskavledarens totalt 22 element är förankrad i sin botten del med en stålvaier som löper (i princip) parallellt med vattenytan gör detta att elementen kan vika undan individuellt om det kommer träd eller annan bråte flytande med strömmen. Under sommaren 2012 visade det sig att fiskavledarens element viks ned inte bara av bråte utan även av höga vattenflöden. Detta var uppenbart när flödet genom turbinerna ökat över ca  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ . Eftersom perioden när både smolt och kelt vandrar nedströms karaktäriseras av höga flöden är det viktigt att elementen inte trycks ned under vattenytan av vattenflödet, även under högre vattengenomströmning. När elementen viks ned kan fiskarna passera över avledaren, vilket gör att den kanske helt mister sin funktion. Därför utvärderades vattenströmmarna i området runt fiskavledaren, så att förbättringar kan göras i konstruktionen. En ADCP (*Acoustic Doppler Current*

*Profiler*) användes för att mäta upp vattenhastigheter i området innan fiskavledaren placerades ut. Sedan mättes även vattenhastigheter både uppströms och nedströms fiskavledaren efter att den placerats ut. ADCP:n som användes vid mätningarna var en Workhorse Riverboat, tillverkad av Teledyne RD Instruments.

För att få en tydlig representation av flödet har mätcellerna grupperats och hastigheterna som visas är genomsnittet av 10 närliggande mätningar i transekterna, vilket motsvarar en bredd på ca 1-2 m. Genom att använda genomsnitt istället för faktiska mätvärden visas flödet på ett tydligare sätt, utan det brus som uppkommer från virvlar i vattnet. I Appendix i slutet av denna rapport visas vad Modellering av strömningsbilden vid fiskavledaren anger för information.

SLU har vid ett flertal tillfällen mätt strömningsbilden mellan fisktrappan och ledarmen för att utreda strömmens förhållande vid olika flödesmängder i området. Smolt rör sig i stort sett passivt med strömmen (Rivinoja 2005), så LTU (Luleå Tekniska Universitet) gjorde en 3D-modell med hjälp av CFD för att studera flödessituationen runt fiskavledaren (figur 8). CFD-modellen visar att huvuddelen av strömmen går under fiskavledarens yttre delar, där avsikten med fiskavledaren är att fiskarna skall reagera med flyktbeteende som styr dem in mot trappans ingång utan att konkurrera med huvuddelen av flödet som således fortfarande går till turbinerna. Som förberedelse för installationen av fiskavledaren utförde Luleå Tekniska Universitet flödesberäkningar i en CFD-modell av området. Modellen använde fiskavledaren som en fast vägg från ytan ned till två meters djup, där det då framgick att vattenhastigheten under fiskavledaren var ca 1.5 meter per sekund men innan avledaren kommer vattnet in med ca 0.7 meter per sekund (figur 8).



*Figur 8. Genomsörningsbild med 3D strömlinjer runt fiskavledaren och ingången till fisktrappan från CFD-modellering. Den numeriska simuleringen indikerar hur fiskavledaren bör vinklas för att ge bästa strömning för utvandring via fisktrappan då man vill undvika att nedströmsvandrande fisk hamnar i turbinerna. (T. Staffan Lundström, Division of Fluid Mechanics, LTU, SE-971 87 Luleå)*

SLU genomförde strömmätningar vid Norrfors damm den 13 juni 2012 via en relativt enkel körning med ADCP för att se hur stora vattenhastigheter som påverkar ledarmen. Under mätningarna kunde vi konstatera att i princip hela ledarmen var nedpressad av vattnet och låg platt på botten. Den största effekten av ledarmen borde alltså ha varit turbulens i vattnet. I figurerna (Figur 9 a,b,c) nedan visas vattendjupet i området för att förklara att vattenhastigheten minskar i mitten av mätningsområdet där det är en djupare kanal (Figur 9 a) medan Figur 9 b visar vattenhastigheten i hela vattenkolumnen, från yta till botten. Här syns det ganska bra hur huvudströmmen rör sig som en båge förbi avledaren. Figur 9 c visar medelvärde (användes inte inför planeringen av att sätta ut ledarmen) av vattenhastigheten från ytan till 2 meters djup, dvs det djup som ledarmen borde verka inom och där den mesta smolten förväntas att simma. De strömmar som verkar direkt på ledarmen är i vilket fall ca 1.5-1.7 m/s som mest, genomsnittet ligger nära 1 m/s

(gult i bilden). Vår bedömning var att denna mätning var förenad med ca. 1000 m<sup>3</sup>/s flöde genom turbinerna och 400 m<sup>3</sup>/s genom spill-luckorna.

Ledarmens slutliga placering och längd begränsades så att ledarmen precis når ut mot huvudströmmen genom dammområdet (framgår av figur 9b). Tidigare försök med telemetri (Rivinoja et al 2004) har visat på att smolten till stor del följer denna huvudström. Men en viktig observation från mätningarna av strömningsbilden är att vattenhastigheten i ytvattnet (0-2 m där smolten huvudsakligen rör sig) inte alls ger samma mönster som om man tittar på hela vattenkolumnen. Ser man endast på ytvattnet är det till och med så att största strömhastigheterna återfinns vid sidan om huvudströmmen; utanför ledarmens räckvidd (figur 9b). Den CFD-modellering som genomfördes av LTU antyder att ledarmen kan orsaka en förändring i ytvattnets strömmar (jämför i Appendix figur A3 utan avledare och figur A11 med avledare); dvs den studie som gjorts på smoltbeteende tidigare (Rivinoja 2004) kanske inte är giltig längre. Om det visar sig att väldigt få smolt tar sig in i fisktrappan kan sålunda ledarmen förbättras genom att den förlängs ut över en större del av området; helst från strand till strand.



Figur 9 a. Djup i området (vitt = 0 m, ..., Mörklila = 18 m).



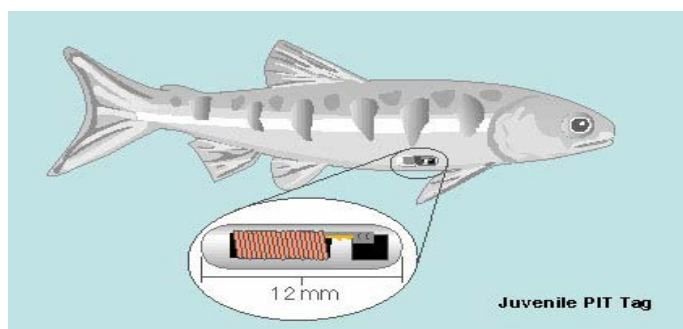
Figur 9 b. Vattenhastigheter i hela vattenkolumnen (yta till botten). Skalan till vänster i bild anger 0 m/s (blått) till 1.5 m/s (rött).



Figur 9 c. Vattenhastigheter i ytvattnet (0-2 m djup). Skalan till vänster i bild anger 0 m/s (blått) till 1.5 m/s (rött). Det röda partiet (höga strömhastigheter) över ledarmen borde vara det ställe där ett element saknades. Notera att intaget till trappan (blått) är nästan stillastående vatten i förhållande till vattnet utanför (grönt-gult-rött).

#### 5.4 Pittag- registrering

Identifieringen och läsningen av märkt fisk kan ske på olika sätt i nya fisktrappan, via installerade "läsare", dvs loggrar med tillhörande antenner, kan PIT och telemetrimärkt upp- eller nedströmsvandrande fisk identifieras. Via ett sk VAKI system kan bilder tas automatiskt av uppströmsvandrande fisk. Detekteringen av PIT-märkt fisk som passerar antennerna i fisktrappan blir avlästa genom en relativt sinnrik konstruktion. Ett märke med Passiv Integrerad Transponder (PIT) innehåller en spole av koppartråd runt en järnkärna (Figur 10). En sådan spole producerar elektricitet om den befinner sig i ett elektromagnetiskt fält; dvs funktionen följer samma princip som en vanlig transformator. När det elektromagnetiska fältet är tillräckligt starkt kommer en ström i märket att generera ett nytt elektromagnetiskt fält som påverkar amplituden i det förstnämnda enligt ett mönster som är förprogrammerat i märket. På så vis kan man läsa av märken och lagra deras unika identifikationssignal genom att bygga aktiva antenner med starkt magnetfält.



Figur 10. Nedströmsvandrande laxungar fångades och märktes med ett unikt PIT-märke (12 mm i längd) i fiskens bukåla. Märkt fisk återutsattes direkt efter märkning.

Vid fisktrappan i Norrfors består varje PIT-antenn (Biomark Inc., USA) av en spole där koppartråd lindats tätt ihop i ett plan (6-8 varv). På utsidan av antennen, på kort avstånd från spolen, finns en metallsköld som absorberar elektromagnetiska signaler från utsidan som kan störa antennens funktion (t.ex. andra antenner eller elektriska motorer och generatorer). Två antennstorlekar används i fisktrappan; stora antenner för överfallspassager (ca 160 x 80 cm) och mindre antenner för bottenpassager (ca 80 x 80 cm). En överfallsantenn och en bottenantenn är monterad på var och en av de sex mellanväggar som övervakas. Övervakning vid sex mellanväggar ansågs i förstudien vara ett minimum för att kunna garantera att alla fiskar som simmar genom fisktrappan registreras vid minst ett tillfälle. Mellanväggarna valdes ut för att möjliggöra övervakning av individuella beteenden över hela fisktrappans längd. Sålunda finns antenner vid mellanväggar nummer 3, 5, 33, 35, 62 och 64, räknat från fisktrappans ingång för lekfisk. Antalet mellanväggar är totalt 70 stycken. Dessutom har nyligen två till antenner installerats vid de två fiskräknarna nära fisktrappans utgång.

Varje antenn är ihopkopplad med en mottagare. Vid Norrfors fisktrappa använder vi Biomark FS-2020 som mottagare, och alla mottagare är synkroniserade med varandra via signalkabel. Mottagaren sänder ut en stark bärvåg på 134,2 kHz. När ett märke passerar genom en antenn så är den här bärvågen tillräckligt stark för att generera ström i märket så att en amplitudmodulerad (AM) signal kan läsas av i mottagaren. Mottagaren har en AM-demodulerare som kan känna av förändringar i amplituden, och vid en sådan förändring filtrera bort bärvågen och omformar AM-signalen till en frekvensmodulerad (FM) signal med 4 kHz förskjutning från bärvågens frekvens. FM-signalen kan sedan tolkas av en integrerad krets till en binär sekvens motsvarande märkets ID-nummer. ID-numret skickas sedan seriellt till en dator där det kan lagras.

Kommunikationslösningen vid fisktrappan i Norrfors består av optiska enheter som vidarebefordrar den seriella signalen från varje PIT-läsare till en centraldator. När datorn tar emot ett ID-nummer från ett märke så lagras detta tillsammans med tid (i millisekunder) och ett referensnummer för vilken antenn som märket registrerades på. Denna information kan sedan användas för att analysera fiskarnas rörelser genom fisktrappan (figur 11).



*Figur 11 visar fisktrappans övre del med tvärställda PIT-antenn (vänster bild)(sedd från uppströms) samt fisktrappans difusor område där uppströmsvandrande lax vandrar in (bild i mitten). Till höger i bild ses placeringen för PIT-antenn i en av kammarrappans fack för övre och nedre öppningsdel.*

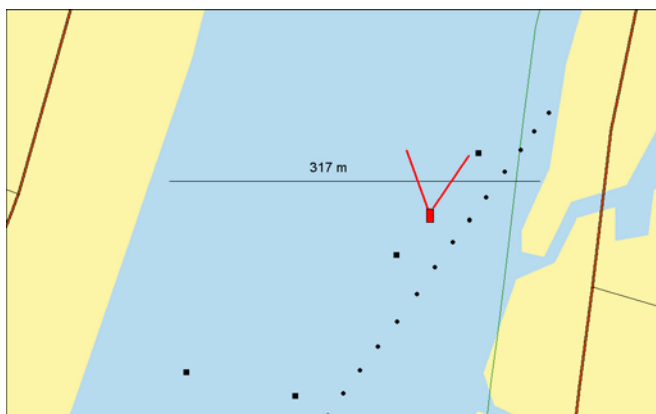
Innan det nu installerade PIT-antenn systemet installerades byggdes fyra RFID-antenn av 50 mm PVC-rör och placerades i fisktrappan; en antenn per öppning för två olika mellanväggar. Detta upplägg garanterade att en fisk måste passera förbi minst två antenner. I denna rapport har vi valt att numrera poolerna i fisktrappan nerifrån och uppströms. Om den mellanvägg som skiljer diffusorn från första poolen i trappan är mellanvägg nr 1 så monterades antennerna på mellanväggarna nr 3



och nr 5. Orsaken till att dessa mellanväggar valdes är att de förberetts för antenmmontage vid trappans konstruktion genom att man använt icke-magnetisk armering i betongen.

## 5.5 Märkning av fisk

Funktionskontrollen av den ledarm som nu byggts och kopplats till fisktrappans övre del påbörjades redan 2010 och fortsatte till 2013, med blandad framgång. Under alla år fångades, märktes och frisläpptes smolt i Spöland inom ramen för det indexälvprojekt som löpt kontinuerligt i Vindelälven (Figur 12). Ekonomiskt stöd till detta har getts från Havs- och vattenmyndigheten inom sitt ordinarie DCF program (Data Collection Framework). Dåvarande Fiskeriverket (numera HaV) beslutade alltså 2009 att etablera Vindelälven som indexvattendrag för monitoring av lax- och öring-smolt. Vindelälven utsågs alltså som referensälv för Sveriges fjällälvar för bedömning av smoltproduktionen i avrinningsområdet. Vindelälvens Fiskeråd har sedan under 5 år (2009-2013) drivit fällverksamheten (Tabell 2). Arbetet med att sätta ut fällan sker årligen i början av maj månad när isen i älven har släppt så att inte fällan riskerar att raderas av isflak och drivgods. Ett 60-tal stolpar sätts ut för att hålla fälla och stängarmar på plats. Varje stolpe är sju meter långa och består av järn med en diameter på 22 mm. Varje enskild stolpe som väger ca 35 kg drivs ned ca 1.3 meter i bottenstratum. Stängarmarnas längd är ca 70 meter och djupet på dessa nät är ca 3 meter. Ryssjans öppning är ca 60 meter, att jämföra med älvens botten på det aktuella stället som är 317 m. Innanför raden av stolpar som stängarmarna fästes på sätts det upp en rad med stöd Stolpar vars uppgift är att hålla stängarmarna på plats. Stöd Stolparna säkras i sin tur med ankare.



Figur 12. Fällan skalentligt inlagt på kartbild över det älvavsnitt i Spöland, Vindelälvens nedre del, där verksamhet med fångst, märkning och utsättning av laxungar (smolt) skett 2009-2013.

Fällan sätts normalt ut under 3-4 dagar och får sedan underhållas så att den varje dag fiskar så effektivt som möjligt. Fällan vittjas direkt på morgonen då stängarmarna lossas och själva ryssjedelen (fångsthuset) lyfts upp från botten (Figur 13). När detta är gjort kan den lyftas in i båten och tömmas på fisk. När fisken hävats in i ett transportkärl körs den in till labbet och sumpas. Resterande del av förmiddagen ägnas åt att rensa stängarmar och fälla från skräp av "sjögräs", grenar och trädstammar. När rensning är avslutad stängs fångsthusets öppning och fällan är aktiverad. Oftast märks fiskarna direkt efter fångst och sumpning. All laxsmolt skannades efter tidigare insatta PIT-tags innan ytterligare registrering av data eller märkning genomfördes. Endast fisk i god kondition märktes. All fisk räknas och registreras avseende art. När det gäller lax och öring så tas genprov, fjällprov, vikt och längd på de 5 första dagligen och de 200 första lax- och öring-smolten förses med PIT-sändare. Efter märkning av fisk placeras de i transportkärl och körs med båt ca 4 km uppströms till Vännforsen där de återutsätts.

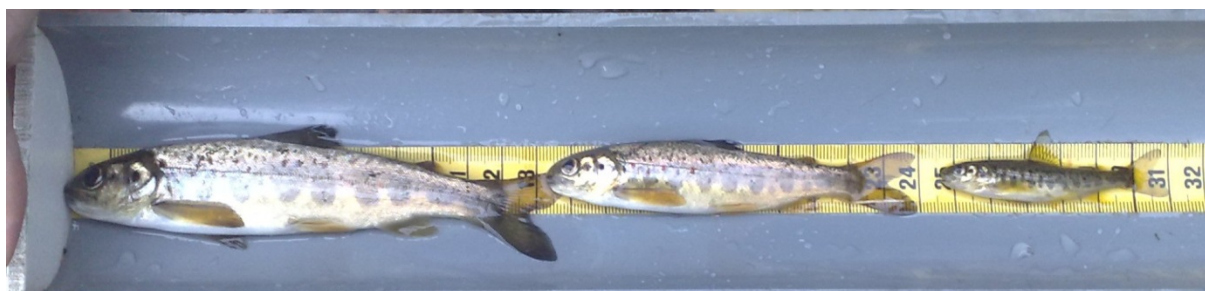
Det är inte helt lätt att i en så stor älv som Vindelälven stänga av delar av ytan med relativt finmaskigt nät (8-22 mmm garnmaskor). När skogs- eller fjällfloden kommer med höga flöden och skräp blir det självklart ännu svårare. För verksamheten i Spöland har detta inneburit att det årligen

funnits perioder då fälla och stängarmar måste tas upp på grund av för höga flöden. Som längst kunde ett sådant avbrott vara 10 dagar. Då säsongen startar ligger flödena i regel på ca 150 m<sup>3</sup>/s. Flödena stiger sedan sakta och har som mest legat på 1 300 m<sup>3</sup>/s. Erfarenhetsmässigt har vi nu kunnat konstatera att flöden över 700 m<sup>3</sup>/s är omöjliga att hantera. Då blir vattentrycket mot fällan så högt att hela konstruktionen riskerar att rämna. Då vi samtidigt kunnat konstatera att det är på stigande flöden som den mesta laxsmolten kommer är detta faktum olyckligt, då förmodligen väldigt mycket fisk passerar när fällan är inaktiv. Arbetet med uppsättning och rensning av fällan och stängarmar är fysiskt tungt.

År 2010 började man märka fisk med inre passiva sändare, sk. PIT-tags med hjälp av skalpell (2009-2012) eller PIT-pistol (2013) (MK-25 Rapid Implant Gun). Smolten som märkts i Spöland samt återutsatts ca 4 km uppströms Spöland passerar efter en distans på ca 15 km förbi Stornorrforssområdet på sin vandring mot havet. Totalt har ca 12 000 smolt infångats varav ca 8 000 smolt har märkts med passiva sändare (Tabell 2 och figur 14). All märkning har skett av utbildad personal från SLU eller Vindelälvens fiskeråd innan utsättning.

Tabell 2. Laxsmolt fångade, märkta (PIT-tag) och frisläppta samma dag som fångst under 2009-2013. Dessa märkta fiskar har senare ingått i utvärderingen av ledarmens funktion.

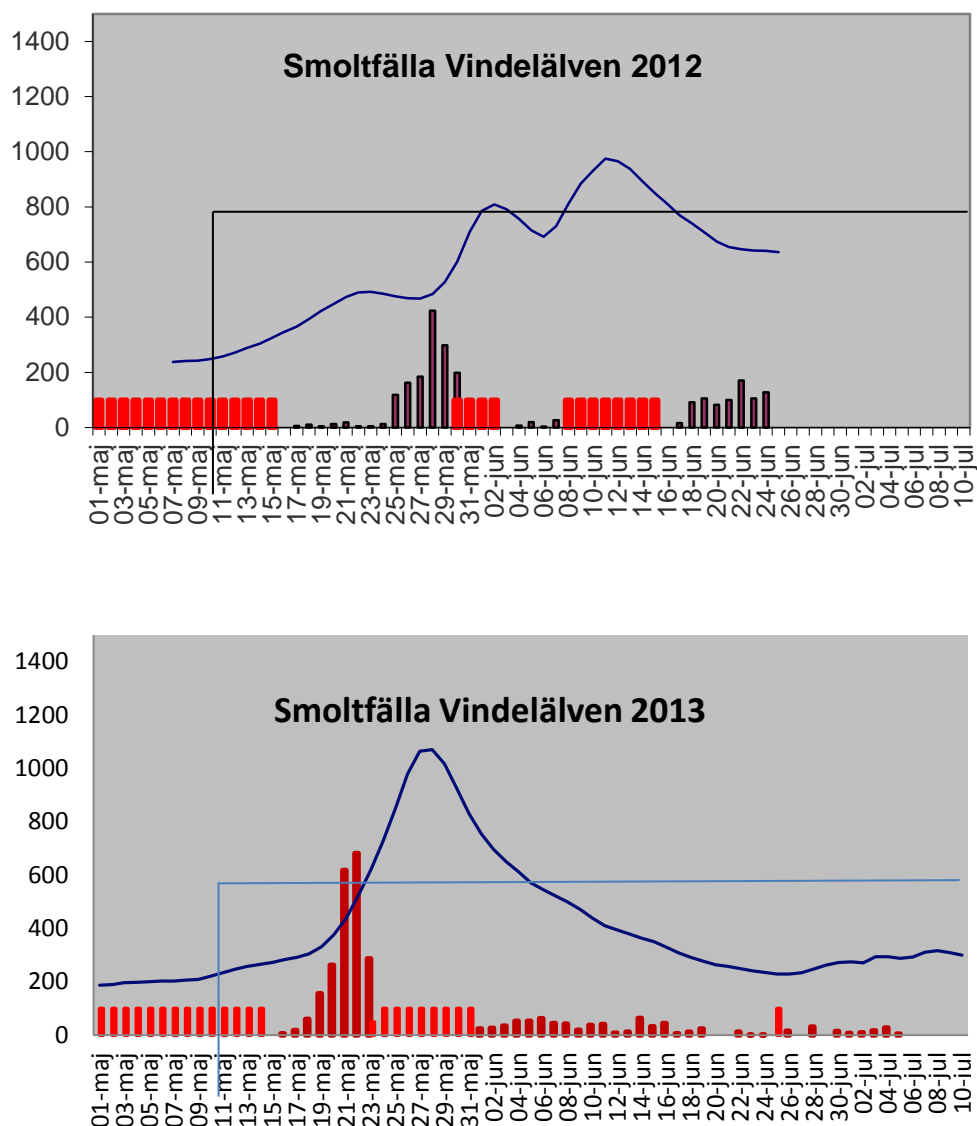
	2009	2010	2011	2012	2013	s:a
Fångad smolt	2 293	1 647	2 498	2 636	2 885	<b>11 959</b>
Märkt med pittag		1 474	2 187	2 626	1 750	<b>8 037</b>



Figur 13. Visar hur nedströms vandrande smolt (nedre bild) fångades i fällan (övre bild vänster och mitten) i Spöland (Vindelälven) dagligen räknades, sumpades (övre bildrad höger) och märktes innan frisläppning uppströms fångstplatsen.

Smolt med sin unika ID märkningen (märkta med PIT-tags eller aktiva telemetri märken) simmar nedströms från märkområdet och kommer inom ett dygn ned till det överdämda området ovan dammen, fisktrappan och kraftverket (se figur 1). I detta område har smolten valet att följa fiskavledaren in i fisktrappan och registreras av trappans PIT-antennor eller undvika fiskavledaren och passera genom turbinerna i kraftverket. Eftersom PIT-märkena är biologiskt inerta och har en oändlig livslängd erhålls från dessa märkning också data på fisk som märkts som smolt och senare återvänder för lek. Hanteringstiden av återfångad märkt smolt uppgick till ca 2 minuter innan återutsättningen, som skedde på fiskfällans utsida för att minimera risken för återfångst. Under alla

dessa år är det bara under 2013 som det varit möjligt att göra en ordentlig (men icke fullständig) funktionskontroll av ledarens avledningseffektivitet med hjälp av smolt som märkts i Spöland (Figur 6). Förutom PIT märkning av lax har en del försöksgrupper också märkts med aktiva radiomärken under 2013.



Figur 14. Exempel på dagliga smoltfångster i fällan i Spöland (Vindelälven) 2012-2013. Vattenflöde ( $m^3/s$ ) i Vindelälven visas i blå linje och dagar då fällan inte varit aktiv (röda staplar) samt den dagliga fångstmängden av smolt (Lila staplar).

Vid två tillfällen i juni/juli månad (2010 och 2013) telemetrimärktes en del av fångsten och frisläpptes. Vårt första försök med radiomärkt fisk genomfördes 2010 och det andra 2013 då smolt märktes med gastriska radiomärken (F1835 w/BOTTLE SHAPE) enligt beprövad metodik (Rivinoja *et al.* 2005). Automatiska loggrar (specialbyggda av NOAA för 30 MHz) placerades ut i slutet av maj för att kunna registrera den telemetrimärkta fiskens passage nedströms. Loggrar kopplade till luftantennor med en räckvidd av ca 200 meter innebar att alla fiskar som passerade vissa avsnitt av älven kunde registreras. Loggrar med luftantennor placerades ut (jämför tabell 3): 100 meter uppströms fiskavledaren, 100 meter nedströms fiskavledaren, vid intaget till kraftverkets turbiner,

vid Laxhoppet ungefär 300 meter nedströms fisktrappan, vid sammanflödet två antenner som täckte både torrfårans utlopp och turbinernas utlopp, vid Volvo-verken, samt slutligen en antenn vid Gimonäs båtklubb. Dessutom placerades undervattensantennerna med en räckvidd av ca 20 meter vid fisktrappans vattenintag (2 st), mitt i fisktrappan, samt slutligen vid fisktrappans ingång för uppströmsvandrande fisk (nära diffusorn).

Tabell 3. Loggrar (NOAA) med antenner som varit utplacerade längs Umeälven under försök med radiomärkt smolt under studieperioden(2010 och 2013).

Loggernamn	Antal meter från älvmyrning	Koordinater (SWEREF99)	Antenntyp
Dammen uppströms	32100	7093334, 746147	Luftantenn
Fisktrappans ingång	32000	7093283, 746099	Undervattensantenn
Turbinintaget	30000	7090938, 747252	Luftantenn
Laxhoppet	31100	7093047, 746554	Luftantenn
Sammanflödet omlöp	22700	7088663, 752118	Luftantenn
Sammanflödet turbinutlopp	22700	7088627, 752066	Luftantenn
Volvoverken	20800	7087763, 756220	Luftantenn
Gimonäs båtklubb	17700	7084294, 761344	Luftantenn

År 2010 märktes 704 odlade ettåriga smolt med 12 mm full duplex PIT-tags sista veckan i juni. 397 av dessa smolt var öring och resterande 307 var lax. Märkningen genomfördes efter att smolten bedövats (MS-222) och ett litet hål gjorts med skalpellstick där märket trycktes in, i enlighet med kraven för fiskmärkning med PIT-tags. Efter märkning lämnades smolten i en stor bassäng i en vecka där vi kunde bevaka att ingen märkt smolt dog efter märkningen. Senare under sommaren märktes ytterligare ca 150 laxsmolt från odlingen.

Samtliga öringsmolt släpptes i trappan den 28:e Juni. De första 300 laxsmolten släpptes i trappan den 29:e Juni, och sedan 150 ytterligare den 13:e Juli. Utsläppningslokalerna var pooler efter hela trappans längd. Vi släppte både öring och lax i pool nr 10, 25, 37, 52 och 66. Dessutom släppte vi mindre grupper av lax både vid vattenintaget till trappan och vid strandkanten 30 meter uppströms trappan. Då smolt släpptes vid strandkanten uppströms trappan kunde vi inom knappt 5 minuter observera hur två smolt blev uppätta av gäddor. Mängden smolt var 40 st per utsättningslokal, utom för laxsmolt i trappans intag (30 st) och vid strandkanten (30 st). I pool 66 släpptes alla smolt som var kvar efter övriga utsättningar, dvs 237 öringsmolt och 87 laxsmolt. Den sista utsättningen av ca 150 laxsmolt gjordes endast i pool 25.

Tid för passage per bassäng har beräknats utifrån den tid det tog från det att fisken släpptes i trappan till första registreringen vid antennerna dividerat med antal bassänger som fisken hade att vandra. Förutom antennerna för registrering av PIT-tags användes fyra olika undervattenskameror för att observera och dokumentera smolt i trappan. Videoupptagningarna spelades in på band och några

## 6.0 Resultat och diskussion

### 6.1 Fiskavledaren

Våren 2010 lades fiskavledaren ut första gången och under de fyra säsongerna den nu varit i drift har ett flertal olika problem dykt upp med konstruktionen, som i grunden haft med ledarens flytförmåga att göra. Varierande vattenflöde mellan åren har försvårat arbetet att anpassa flytförmågan rätt med följd att den tekniska funktionen varit svår att uppnå de första tre åren. Vi har

valt att i följande stycke redovisa en sammanfattning av den historik kring ledarmen som vi brottats med under de gångna åren och som på ett betydande sätt påverkat möjligheten att genomföra utvärderingen av ledarmens funktion att avleda kelt och smolt.

**2010**, fiskavledaren byggdes och färdigställdes inom ramen för delprojekt 3b. Utläggningen skedde först i slutet av juni månad då SLU kunde genomföra ett första försök med radiomärkt smolt. Vid den tidpunkten var smoltutvandringen i systemet nästan över. Senare under hösten visar det sig att ledarmssegmenten fick sämre flytkraft och slutligen sjönk. Orsaken var att trävirket i konstruktionen sugit i sig mer vatten än man beräknat samt att sand som transporteras naturligt i älven hade trängt in i segmenten. En följd av detta blev att vajern som håller ihop alla segment skadades. Hela konstruktionen lyfts upp för ombyggnad, segmenten tillförs mer flytkraft samt funktion för att justera ballasten under drift.

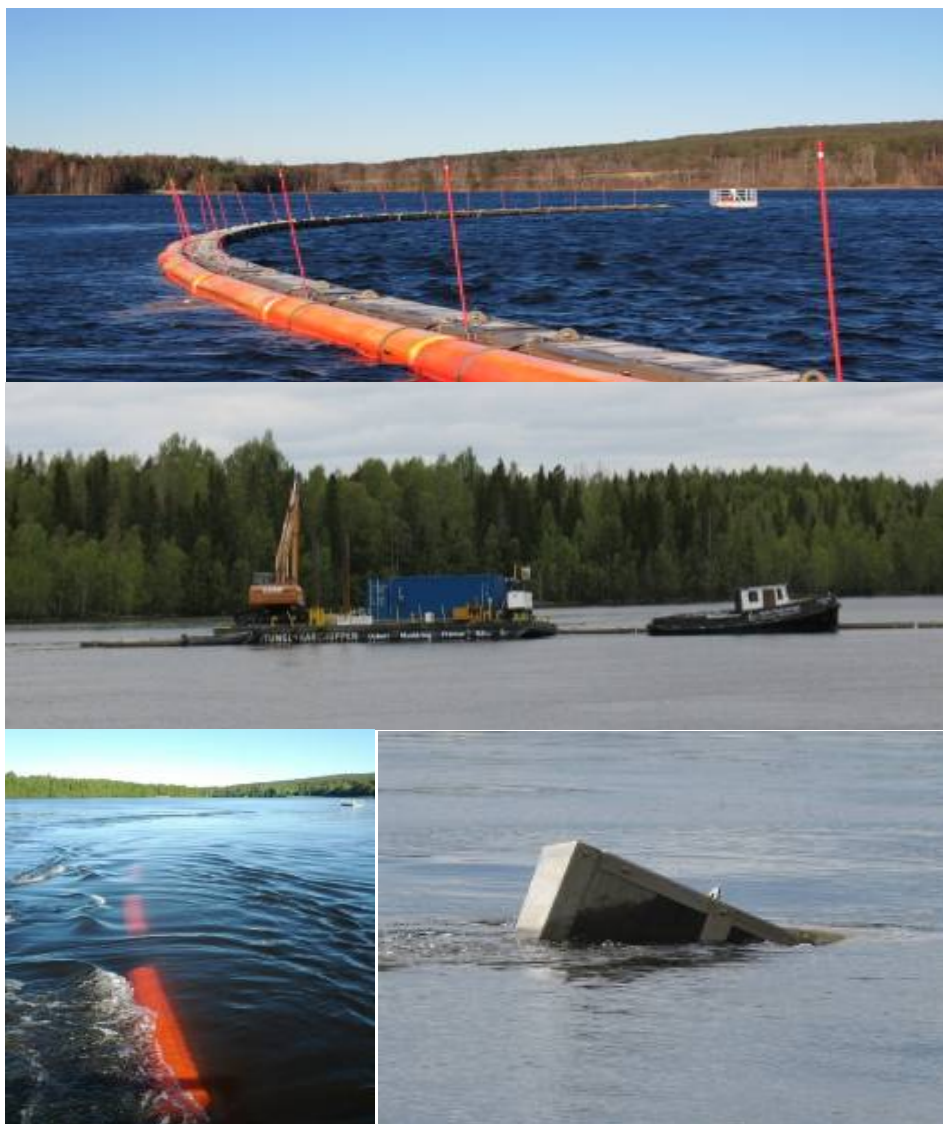
**2011**, ny vajer monterats och ledarmen läggs ut under maj månad. Den ligger stabilt upp till säsongens max flöde på ca 800 m<sup>3</sup>/s. Ingen utvärdering kan genomföras då det är svårigheter att få tag i vild smolt på grund av hög skogs- och fjällflod i Vindelälven men visuella observationer görs av nedvandrande smolt i trappans observationsfönster. Större mängder smolt sågs ovanför trappans intag men tycktes inte vilja gå igenom intagsgrindarna (figur 15). Genom att stänga en av de fyra intagsluckorna ökades vattenströmningen genom gallren och smolten började passera genom. Efter säsongen fälldes ledarmssegmenten ner under vattenytan för vinterförvaring under isen.



Figur 15. Hoppande laxsmolt framför fisktrappans intag

**2012**, ledarmen fälldes upp från sitt vinterläge den 3 maj och en mindre skada upptäcktes på vajern, eftersom vattenflödet var ökande genomfördes ingen reparation. Den 21 maj brister vajern och ett omfattande arbete utfördes för att reparera den. I början av juni ökar flödet till >800 m<sup>3</sup>/s och ledarmen börjar pendla upp och ned genom vattnet. En följd av detta blir att den 8 juni lossnar ett segment (delvis) för att infästningen nöts sönder mot älvsbotten. Det skadade segmentet demonteras från vajern och den 12 juni monteras extra flytelement längs hela ledarmen för att motverka svängningarna. Kort därefter ökar flödet upp mot 1000 m<sup>3</sup>/s och vajern brister återigen den 14 juni. Under slutet av sommaren tas alla segment återigen upp för reparation och ombyggnad under vintern. Segmentens flytkraft ökas på ytterligare genom att bl.a. montera ett extra flytelement på nedströmssidan av vart segmenten som ska motverka tiltning. Vajerinfästningar på undersidan av segmenten byggs om då det fanns misstanke om att de skadat vajern, infästningen för vajern på ledarmspiren modifieras för att klara att ledarmen lämnas i under vintern.

**Säsongen 2013**, vajern byts och ledarmen läggs ut under maj månad. Tekniskt sett, efter alla ombyggnationer, var 2013 det enda år då ledarmen fungerat som avsetts och kunde flyta i flöden upp till maxflödet på ca 1 000 m<sup>3</sup>/sec. Avseende vinterförvaring så kommer Vattenfall att prova att låta fiskavledaren ligga kvar i vattnet över vintern. Att förvara den under vattnet anses inte fungera och att lyfta upp den medför osäkerhet om utläggning i tid p.g.a. isförhållande och vattenflöde samt stora kostnader. (Figur 16. visar exempel på vad som hänt ledarmen).



*Figur 16. Olika faser i ledarmens historia. Överst syns den finala utformningen som fungerade 2013. I mitten ses arbete med att reparera vajern 2012. Nederst till vänster ses det segment som delvis lossnade 2012.*

De erfarenheter som detta projekt gett oss utöver att det är kostsamt är framförallt svårigheterna att arbeta med den här typen av lösningar i större vattendrag och speciellt under perioder med stora flöden ( $> 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Att justera in segmentens och ledarmens flytkraft i denna variabla strömmiljö var inte lätt. Framförallt har det varit tidskrävande att få till en bra lösning då flödet varierat stort mellan åren och att när skogs- och fjällfloden sammanfaller ett visst år har det uppstått stora problem. Utläggning av ledarmen efter vinterförvaring på land i samband med reparationer har varit mycket resurskrävande och få entreprenörer har utrustning för att utföra den här typen av arbete i starkt strömmande vatten. Enbart att transportera fram dykfirmans utrustning har krävt fem långtradare. Vidare är det mycket svårt att genomföra arbete på ledarmen under smoltvandringsperioden då vattenflödet ofta är högt utan att tvingas begränsa flödet kraftigt genom stationen och därmed vid ledarmen. Vattnet får i detta fall istället spillas via den gamla älvfåran. Det är vidare relativt kort tid mellan islossningen och skogsfloden varför det är viktigt att ledarmen går att sätta ut snabbt, alltså ligga ute året runt. Det ansamlas också mycket skräp och drivgods på intagsgallret (Figur 17) till fisktrappa som leds in av fiskavledaren. För en bra funktion krävs att gallren hålls rena så att fisk kan passera och tidvis kan detta vara mycket arbetskrävande.

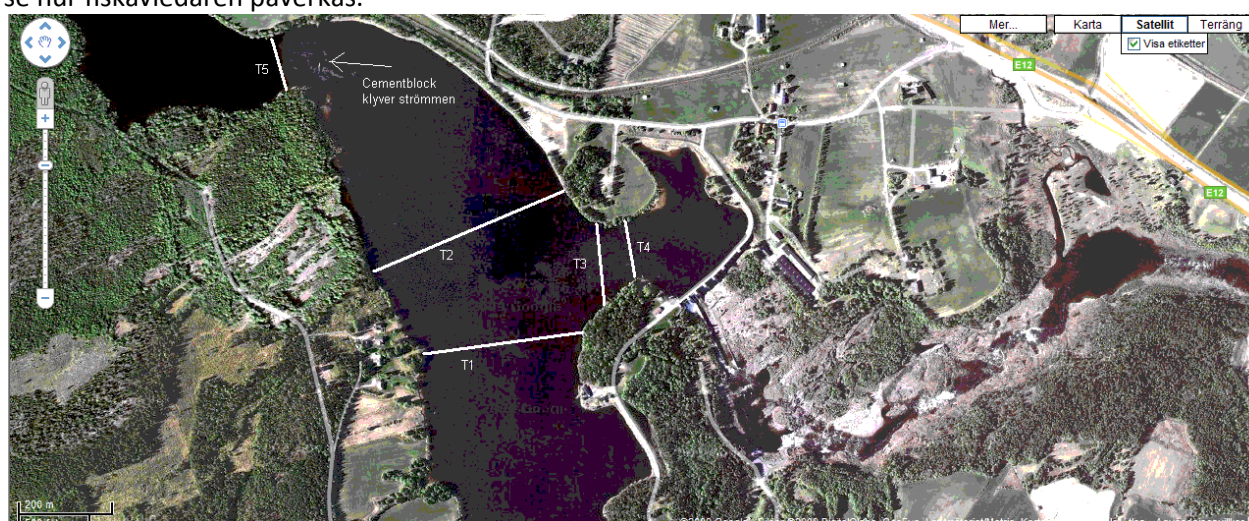
Sammantaget medför detta också att den årliga driften bedöms relativt kostsam. Enligt uppgift bedöms Vattenfalls nedlagda kostnader utöver bidragsfinansieringen till projektet motsvara ca 15 MSEK. Hittillsvarande extra kostnader för fiskavledaren har fördelats på tillsyn, rensning av drivgods, byte och reparationer av flytelement och vajer vid två tillfällen samt övrigt underhåll. Till detta kommer kostnaderna för återkommande dykbesiktning, förebyggande byte av vajer samt justering av fisktrappans intagsluckor i förhållande till flödet för att anlocka den nedvandrande smolt och kelten.



Figur 17. Som komplement till rensroboten behövs manuell hjälp med rensning av fisktrappans intagsgallret vilket är tidskrävande då ledarmen också tidvis leder in stora mängder skräp och drivgods till fisktrappan.

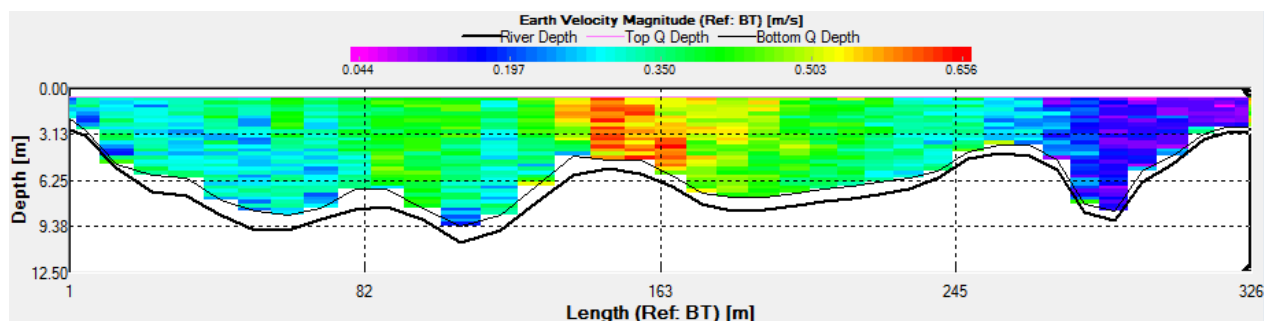
## 6.2 Strömningsbild i området runt fiskavledaren

Den första strömmätningen utfördes den 2009-06-01. Totalflödet var ca  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  varav ca  $23 \text{ m}^3/\text{s}$  släpptes som spill innan resterande vattenflöde passerade området där fiskavledaren skulle installeras. Fem transekter kördes (figur 18), varav kanske framförallt T1 och T2 är intressanta för att se hur fiskavledaren påverkas.

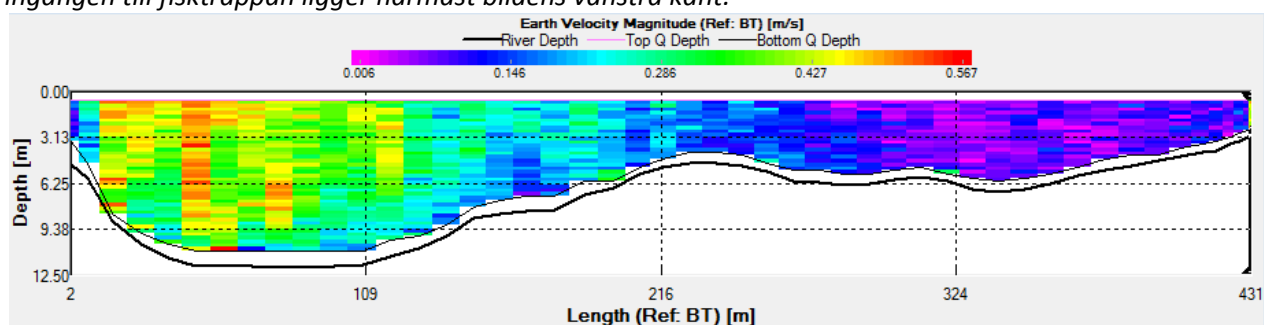


Figur 18. Transekter som kördes med ADCP den 2009-06-01 vid  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  totalflöde.

Mätningen från 2009 visar att vattenhastigheten vid 600 m<sup>3</sup>/s totalflöde som mest uppgår till ca 0.6 meter per sekund. Det verkar finnas en tydlig huvudström där den högsta vattenhastigheten återfinns, och utanför den är hastigheten i princip halverad eller lägre (figur 19a och 19b).



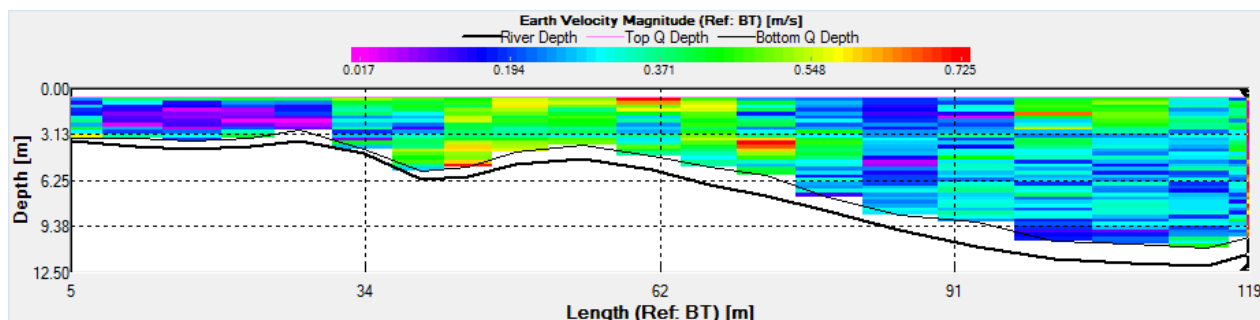
Figur 19a. Transekt T1 från ADCP-mätningen den 2009-06-01. Bilden är riktad nedströms, där ingången till fisktrappan ligger närmast bildens vänstra kant.



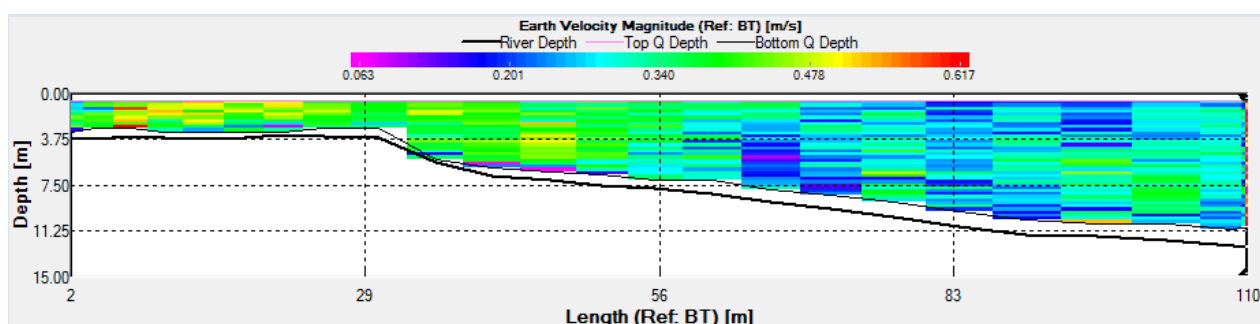
Figur 19b. Transekt T2 från ADCP-mätningen den 2009-06-01. Bilden är riktad nedströms, där intaget till spill-luckorna ligger närmast bildens vänstra kant.

Mätningen från 2010 visar att vattenhastigheten vid 725 m<sup>3</sup>/s totalflöde (utan spill) inte skiljer sig särskilt mycket från mätningarna 2009 vid 600 m<sup>3</sup>/s. Det är ändå viktigt att notera att vi bara mätte flödet förbi själva fiskavledaren under 2010, vilket inte var mer än 150-200 m<sup>3</sup>/s dvs ca 20 % av totalflödet gick förbi fiskavledaren. Det är inte helt säkert att totalflödet från strand till strand var 725 m<sup>3</sup>/s under mätningarna eftersom totalflödet aldrig mättes upp utan vi förlitar oss på flödesuppgifter från turbinoperatörerna. Flöde genom turbinerna var 725 m<sup>3</sup>/s från 07:13 till 07:54 och transekterna är gjorda vid 07:34 (figur 19c) och 07:52 (figur 19d). Vi vet inte hur stor fördröjning det är innan totalflödet vid fiskavledaren är samma som totalflöde genom turbinerna efter en förändring, men när vi satt i båten verkade förändringen vara relativt momentan. Totalflödet förbi själva avledaren var dessutom relativt konstant under hela mätperioden, så länge som flödet genom turbinerna var konstant.





Figur 19c. Transekt strax nedströms fiskavledaren den 2010-10-01. Flödet karakteriseras av stark virvelbildning. Totalflöde  $725 \text{ m}^3/\text{s}$  varav ca  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  gick förbi själva avledaren. Bilden är riktad nedströms, med strandkanten och fiskavledarens infästning till vänster i bild.



Figur 19d. Transekt strax uppströms fiskavledaren den 2010-10-01. Vattenhastigheterna är högst där djupet är minst, men i övrigt ganska jämnt fördelat ca 0.5 meter per sekund.

Under mätningarna observerade vi att element från ca 30 meter till ca 70 meter från stranden var nedvikta på grund av vattentrycket från flödet. Efter mätningarna sänktes flödet till ca  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , och då flöt samtliga element upp till ytan igen.

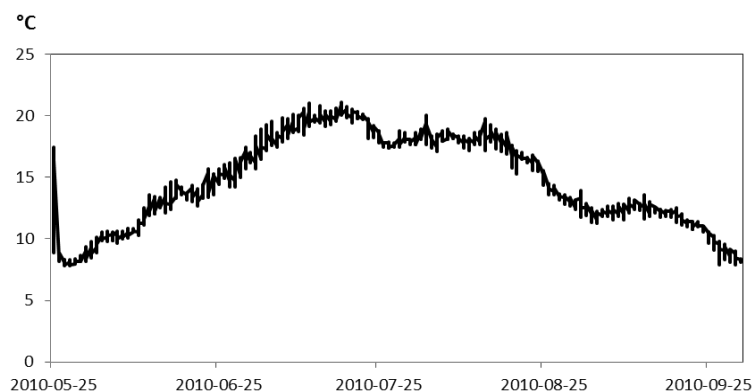
Det syns tydligt i transekten nedströms fiskavledaren (figur 19c) vilka element som varit nedtryckta av flödet. Uppströms fiskavledaren var flödet jämnt fördelat, men nedströms avledaren går huvuddelen av flödet precis där vi såg att elementen var nedtryckta. Flödet följer alltså inte botten, som i CFD-modellen LTU gjorde, utan rinner över fiskavledaren ungefär som en damm som spruckit. Där elementen fortfarande står upp mot ytan liknar flödet mycket mer CFD-modellen där huvuddelen av flödet kommer under 2 meters djup. Förträngningen av flödet gör också att hastigheten nedströms fiskavledaren är något högre ( $< 0.7$  meter per sekund) än hastigheten uppströms fiskavledaren ( $< 0.6$  meter per sekund).

För att elementen inte ska vika sig för vattenflödet måste antingen trycket minskas mot varje enskilt element, eller också måste elementen konstrueras om för att tåla högre vattenflöde utan att sjunka. En utgrävning av botten för att öka vattendjupet skulle göra att vattnets rörelse sprids ut över en större yta, vilket skulle sänka vattenhastigheten. Om man istället vill öka elementens tålighet för höga vattenflöden kan man låta en del vatten passera rakt genom elementen, enligt Louver-systemet som används framgångsrikt i andra fiskavledare.

### 6.3 Första fiskvandningsförsöket mot avledaren och i fisktrappan

Installationen av fiskavledaren gick inte som planerat för säsongen 2010 då den kom i vattnet först den 3 juli (planerad sjösättning var 20 maj). Detta under en period då vattentemperaturen uppgick till c.  $17^\circ \text{C}$  (figur 20) och den vilda smoltutvandringen avstannat. Telemetrimärkning av fisk fick därför skjutas upp gång på gång i väntan på att fiskavledaren skulle finnas på plats. När fiskavledaren till slut var installerad hade vattentemperaturen stigit avsevärt. Den höga vattentemperaturen leder

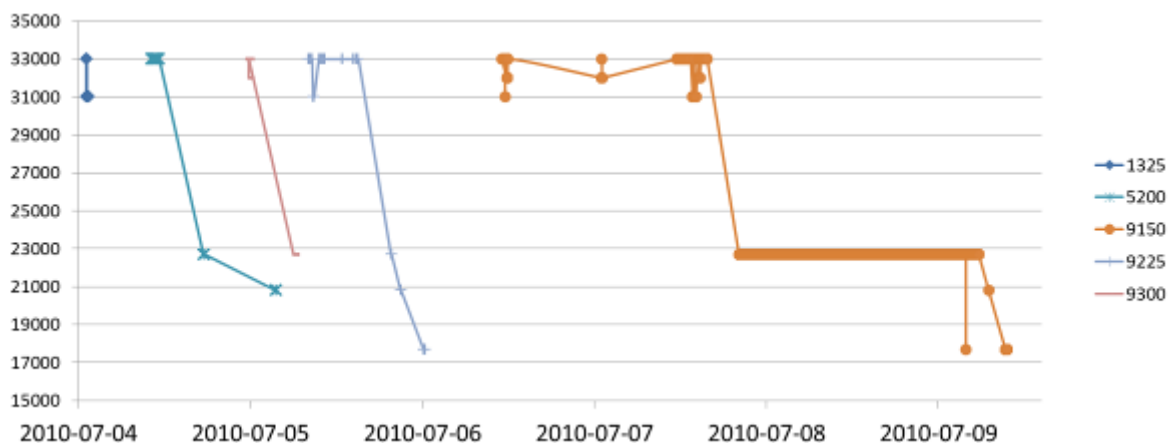
till två problem för fiskarna; dels kan de desmoltifiera (dvs sluta vandra nedströms och ta position i älven ett år till) men det är även mycket högre risker associerade med bedövning och märkning av fisk med högre dödlighet som följd. Vi beslöt att försöka genomföra studien trots dessa problem eftersom det kändes viktigt att få fram resultat inför nästa år, ifall några modifieringar av fiskavledaren skulle behövas.



Figur 20. Vattentemperatur i dammen utanför fiskodlingens avelsbassäng.

Av de 22 fiskar som släpptes den 2:a (n=11) respektive 4:e (n=11) juli i Spöland kunde bara fem registreras på loggrarna vid dammen och längre nedströms (figur 21). Fisk nr 1325 registrerades först uppströms fiskavledaren, men den omkom förmodligen i turbinerna eftersom den inte återfinns på någon av loggrarna längre nedströms. Fisk nr 5200 registrerades först uppströms fiskavledaren och sedan nere i sammanflödet, vilket tyder på att den gick genom turbinerna. Fisken överlevde den färden eftersom den även registreras på loggern vid Volvo senare. Fisk nr 9300 registrerades också på ett sådant sätt att den ser ut att ha gått genom turbinerna, men kunde inte detekteras nedströms sammanflödesområdet vilket troligen innebär att den dog i turbinerna eller blev offer för predation strax nedanför sammanflödet. Fisk nr 9225 verkar också ha gått genom turbinerna, men har registrerats både vid Volvo och Gimonäs båtklubb vilket innebär att den borde ha nått ut till havet. Loggrarnas registreringar av fisk nr 9150 ger en motsägelsefull tolkning. Nr 9150 har nämligen först registrerats nedanför trappan vid laxhoppet, och sedan uppströms trappan igen. Det kan bero på att bakloben på någon av antennerna har ett större upptagningsområde än vi trott vid kalibrering. Eller också har fisken blivit uppäten vid laxhoppet av en uppströms vandrande fisk som sedan gått nedströms igen ut till havet, men den tolkningen är ganska osannolik. Slutsatsen för fisk 9150 är att vi inte vet om den gått via turbinerna eller via fisktrappan, men det är den enda fisk som kan ha gått via fisktrappan. Därefter har den upphållit sig under en ovanligt lång tid vid sammanflödesområdet där den registrerats kontinuerligt under två dagar. En grafisk representation av fiskvandringen finns i figur 21.

Vi genomförde även omfattande manuell pejling från båt längs hela sträckan från Spöland till fisktrappan. Dessutom gick vi till fots längs en stor del av omlöpet och körde resten av sträckan längs älvstranden med bil. Inga fiskar kunde registreras under någon del av den manuella pejlingen. Orsaken till detta är förmodligen att älven är så bred att de antenner som användes för manuell pejling inte hade tillräckligt långt upptagningsområde för att täcka av det område som smolten rörde sig på. Båten framfördes huvudsakligen mitt i strömfåran och övrig pejling skedde från strandkanten.



Figur 21. Tider och loggerposition (meter från älvmyningen) där fiskar registrerats från telemetri (jämför tabell 3). Fem fiskar passerade dammen under studieperioden.

Eftersom få fiskar nådde fram till området runt fiskavledaren kan vi inte säga något om fiskavledarens effektivitet. Vi vet inte heller hur stor predationen är mellan Spöland och trappan, för trots att vi förlorat 17 fiskar som släpptes i Spöland kunde vi inte få in några signaler från dessa sändare genom manuell pejling, så vi vet inte om de överhuvudtaget lämnat området där de släpptes. Eftersom den fisk som faktiskt verkar ha gått genom gamla älvfåran nedanför fisktrappan uppvisade ett oväntat beteende i sammanflödesområdet kan vi inte heller dra några direkta slutsatser från denna fisk.

Nästa telemetristudie på smolt bör genomföras med annan teknik än 30 MHz som underlättar manuell pejling av fisken och där antennerna påverkar fisken i så låg grad som möjligt.

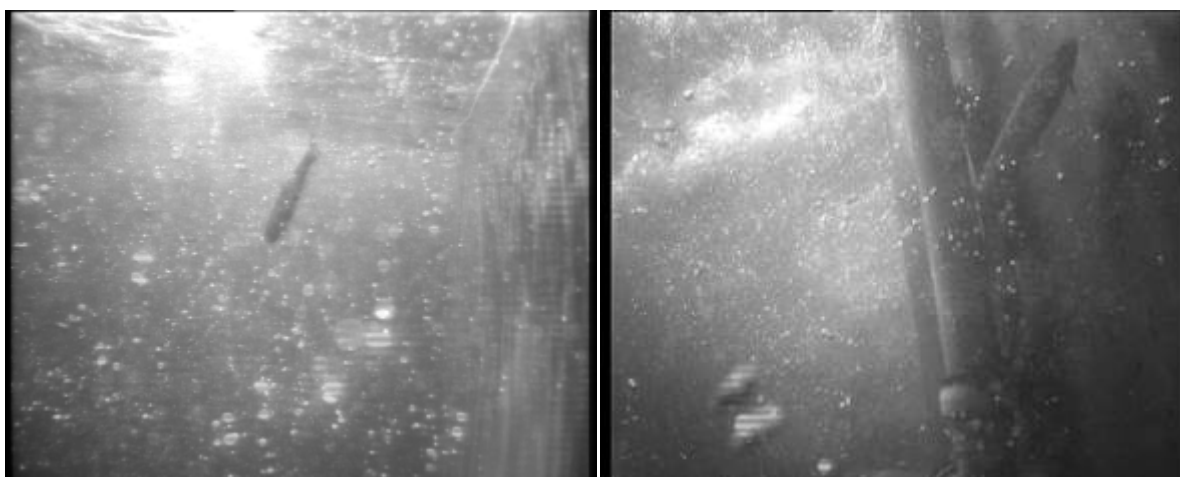
Den tydligaste bilden av smoltens beteende i fisktrappan kom från de inspelningar som gjordes med undervattenskameror (figur 22-24). Vår bedömning av videobilderna är att de RFID-antennerna som installerats i trappan påverkade hydrologin i bassängerna i så stor utsträckning att smolten ändrade beteende i dessa bassänger.

I de bassänger där det inte fanns några antenner kunde vi ofta se smolt samlas i mitten av bassängen. Dessutom spred smolten ut sig längs kanterna på den sida av bassängen där vattenhastigheten var lägst. I de bassänger där antennerna var installerade sågs smolten nästan alltid i närheten av antennen vid bottenhållet. En öringsmolt kunde dessutom ses 5-15 cm från antennen vid överfallet, där den också spelades in av RFID-loggern under 22 timmar i sträck.

Det verkade som att smolten aktivt letar efter områden med lägre vattenhastighet och sedan ställer sig där för att vila. I de bassänger där antennerna var installerade uppmättes områdena med lägst vattenhastighet närmare antennerna jämfört med i bassänger utan antenner (figur 25 och 26). Detta är ett problem, för RFID-utrustningen registrerar bara den fisk som är närmast antennen, vilket innebär att om en smolt står nära en antenn kan andra fiskar passera förbi antennen utan att registreras alls.



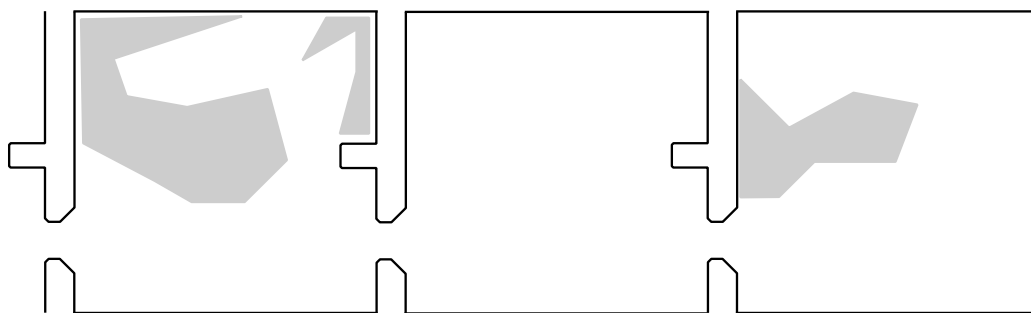
Figur 22. Öringmolt i bassäng 7, där smolten tog position en bit ifrån bottenhålet och även inne vid hörnet och mot väggen längs sidan (vänster). Öringmolt vid bassäng 5, där smolten tagit position närmare bottenhålet – förmodligen på grund av att antennen skapar en mer gynnsam hydrologi (höger).



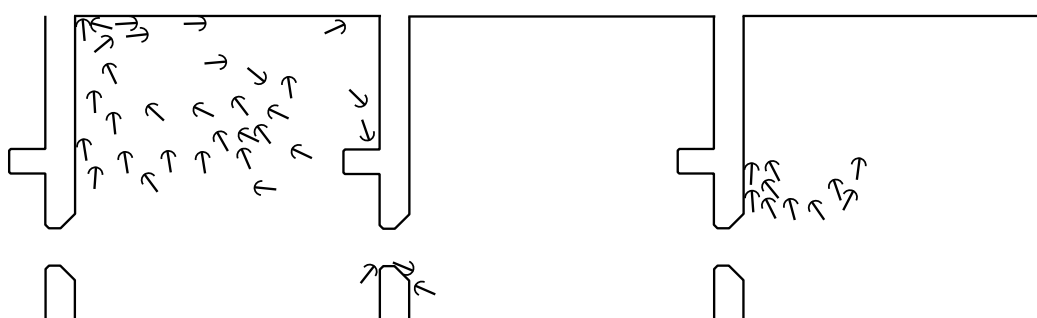
Figur 23. Laxsmolt i bassäng 1 nära ytöverfallet, där den simmade förbi på ett par sekunder och sedan dök ut ur bild (vänster). Öringmolt vid ytöverfallets antenn i pool 3, där den stannade under minst 22 timmar efter en i övrigt relativt snabb passage genom fisktrappan (höger).



Figur 24. Smolt från bassäng 6 (vänster bild) och bassäng 1 (höger bild) där smolten tagit position i mitten av bassängen. Det observerades i flera bassänger att smolt valde att stå nära botten i mitten.



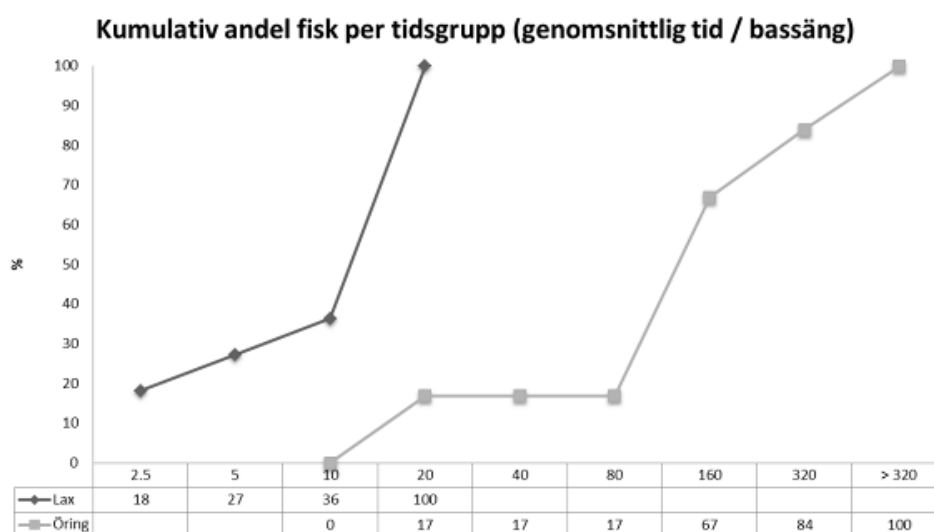
Figur 25. Visualisering av smoltens huvudsakliga uppehållsområden i bassängerna: Skillnader mellan bassäng utan antenner (till vänster) och med antenner (till höger). Det grå området avser var smolten verkade spendera mest tid (0 – 40 cm från botten) utifrån videoinspelningar.



Figur 26. Exempel på simriktningar för smolt från videoinspelningar i fisktrappan. Skillnader mellan bassäng utan antenner (vänster) och med antenner (höger).

Totalt 17 fiskar blev registrerade av RFID-antennernas loggrar. De laxsmolt som registrerats spenderade mellan 10 minuter och 3 timmar i fisktrappan. Öringssmolt som registrerats spenderade mellan 2.5 timmar och 190 timmar (9 dagar) i fisktrappan.

Genomsnittstiden per pool varierade mellan 24 sekunder och 17 minuter för laxsmolt medan öringssmolt spenderade som minst 5 minuter per pool (figur 27). Sju av elva laxsmolt var snabbare än den snabbaste öringssmolten.



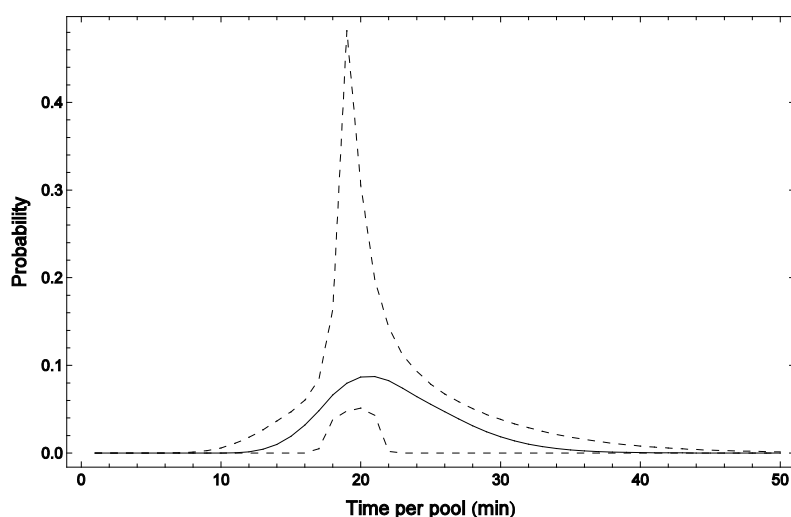
Figur 27. Kumulativ andel smolt av lax respektive öring som i genomsnitt spenderat det antal minuter per bassäng som anges i den översta tabellraden.

Tid per bassäng har beräknats från det att fisken släpptes i trappan till första registreringen vid antennerna. Flera fiskar, framförallt öringar, spenderade en längre tid vid antennerna än i bassänger utan antenner. Videofilmning med undervattenskameror vid antennerna visade att smolten utnyttjade det lugnare vattnet som skapades i anslutning till antennkonstruktionerna för att hitta stånd/viloplats. Antennernas PVC-rör med 50 mm diameter skapade en gynnsam miljö med lägre vattenhastigheter närmast antennen där flera fiskar valde ståndplats. Som längst registrerades en öring vid antennerna 22 timmar i sträck.

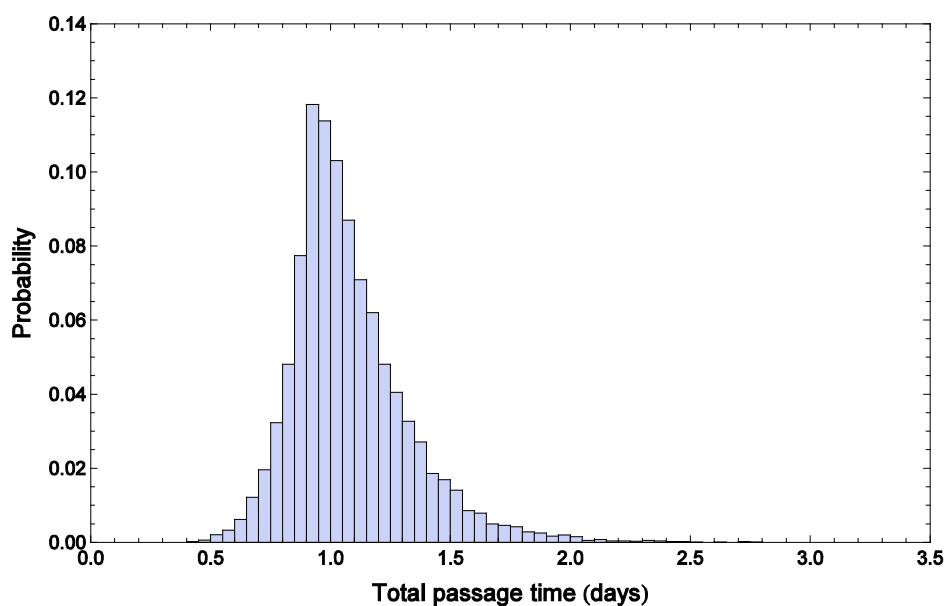
Vi hade stora problem med strömförsörjning till PIT-tag-läsarna. Problemen bestod i att transformatorn från växelström till likström fungerar enligt samma princip som en RFID-antenn, vilket gör att transformatorn sänder ut mängder av radiovågor som störde ut läsarna. Vi försökte placera läsarna i en Faraday-låda för att skärma dem från strålning, men det hjälpte inte. Resultatet blev att vi bara har haft fungerande antenner under kortare perioder, det har inte varit någon sammanhängande registrering av fisk som passerar. Senare justeringar under hösten visade att det var jordningen av Faraday-lådan som var problemet, och med bättre jordning fungerar utrustningen utan problem.

Fiskarna som uppehöll sig precis bredvid antennerna skapade också problem för lagring av data. Antennerna fungerar så att när det finns mer än en PIT-tag vid antennen så registreras bara den tag som är närmast. Eftersom de fiskar som tog position vid antennerna befann sig 5-10 cm från antennen blockerade de därför registrering av andra fiskar som kan ha passerat.

För att räkna ut hur fiskarna kan ha vandrat genom trappan använde vi genomsnittlig vandringstid per pool. Vi vet att vi hade minst åtta laxsmolt av totalt 40 som släpptes i bassäng 10 som passerade antennerna inom tre timmar. Sedan utgår vi från att av totalt 87 som släpptes i pool 66 hade ingen passerat antennerna inom dessa tre timmar. Genom att anpassa Log-normalfördelningar till passagetiderna kunde vi beräkna hur lång tid fiskarna spenderade i varje bassäng. Figur 28 sammanfattar resultaten från 2700 olika fördelningar som passar in på de givna premisserna (minst 8 från pool 10 men ingen från pool 66 inom tre timmar). Många kurvor som passar in på det data vi har gav en tydlig topp runt 20 minuter per bassäng (vilket syns på percentilerna i figur 28). Ett slumpmässigt urval från detta resultat ger den förväntade fördelningen för fiskarna att passera hela trappans längd (figur 29). Det visar sig då att samtliga fiskar borde ha passerat trappan inom ca 3 dagar.



Figur 28. Sannolikhetsfördelning från 2700 olika scenarier över hur laxsmolten från sommarens (2010) försök skulle kunna vara fördelade (2.5:e samt 97.5:e percentil streckade linjer). X-axeln anger genomsnittlig tid per bassäng för varje laxsmolt och y-axeln anger hur stor sannolikhet det är att en fisk använder så mycket tid per bassäng. Kurvorna är modeller baserade på det data vi fått.



Figur 29. Förväntad total tid för passage genom fisktrappan, baserat på ett stort slumpmässigt urval från modellen i figur 28.

Det data vi samlat in (figur 22-24) visar att alla inspelade laxsmolt spenderar mindre än 20 minuter per bassäng. Men enligt modellen för hur lång tid det är sannolikt att fiskarna spenderar i varje bassäng med utgångspunkt från insamlade data så kommer de flesta fiskar att spendera runt 20 minuter per bassäng och många fiskar spenderar mer än 20 minuter per bassäng. Att vi inte spelat in fler fiskar runt 20 minuter per bassäng beror förmodligen på att våra loggrar stängts av redan 3 timmar efter att fisken släpptes.

Förväntad effekt för vandring genom hela trappan syns i figur 29. Ungefär hälften av alla smolt har passerat inom 24 timmar och efter tre dagar kan man säga att i princip alla smolt hunnit gå igenom. Då utgår vi ifrån att varje individ har samma hastighet genom hela trappan, med en genomsnittstid per bassäng enligt figur 28. I den här modellen finns det alltså vissa individer som generellt sett är långsamma och andra som är snabba.

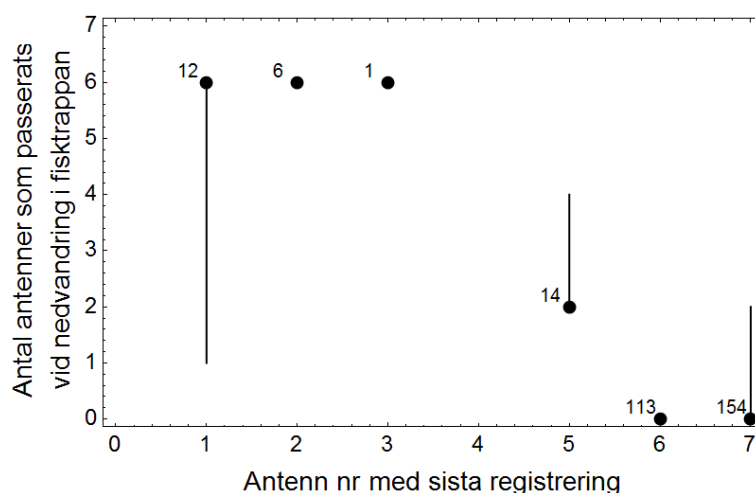
Vid kommande studier kan man alltså förvänta sig att nästan alla smolt passerat fisktrappan inom 2-3 dagar, förutsatt att de är fullt smoltifierade. För öringsmolt är det betydligt svårare att göra några förutsägelser eftersom de har ett annat vandringsbeteende än laxsmolt. Öringsmolten är mycket mer benägen att stanna upp och ta position ett tag innan de sedan fortsätter vandra nedströms. **En av våra slutsatser blir därför att smoltens passage genom trappan verkar fungera bra för lax**, trots att försöken genomfördes i slutet av vandrings säsongen, och att det därför förmodligen inte behövs någon särskild smoltträna för att transportera smolten förbi fisktrappan. Däremot är det osäkert hur öringsmolt betar sig när den kommer till trappan under naturliga förhållanden, vilket vanligtvis inträffar tidigare under säsongen jämfört med tidpunkten för våra studier.

Under 2013 när fångst, PIT-märkning och utsättningen fungerade i Spöland kunde märkt laxsmolt sättas ut dagligen i relativt stor mängd. Flera PIT-märkta fiskar registrerades också i fisktrappan. Passertiden för nedströmsvandrande smolt i fisktrappan från antenn 6 till antenn 1 var 3.7 timmar (median, n=15). Den individ som passerade hela fisktrappan på kortast tid gjorde det på 43 minuter. Tiden att passera en enskild sektion i fisktrappan var 5.3 minuter (median, n=51), vilket uppräknat till hela trappan blir ca 6.2 timmar. Skillnaden mellan dessa två tider kan hänföras till skillnader i antalet observationer och den något längre passertiden baserat på en enskild sektion torde därför vara mer korrekt eftersom den baseras på fler individer. En komplett nedströmspassage på mindre än drygt 6 timmar för hälften av smolten får betraktas som godkänt, även om enstaka individer tog upp till 9-12 timmar på sig att passera enskilda sektioner i fisktrappan.

## 6.4 Nedströmsvandring hos vuxen lax

Ingen PIT- eller tidigare radiomärkt kelt registrerades i fisktrappan under 2013. Däremot återvände flera av de leklaxar som simmat upp i fisktrappan ned igen, för att senare återvända upp eller lämna fisktrappan för att inte återkomma. Endast en liten andel av de individer som passerade fisktrappan hade tidigare vänt nedströms i fisktrappan. Det omvända förhållandet gällde för de individer som vid något eller några tillfällen varit upp i fisktrappan men sedan lämnat trappan nedströms. Dessa individer hade passerat 7 antenner (median) i samband med nedströms simmande i fisktrappan.

Tiden för laxarna att ta sig ned från antenn 7 vid VAKI-systemet till antenn 1 vid diffusorn var; median=26 dygn, 1a kvartil=16 dygn, 3e kvartil=39 dygn, n=6 (figur 30). Dessa individer tycks i stor utsträckning ha uppehållit sig lång tid strax nedströms VAKI-systemet eftersom nedströmsvandringstiderna från antenn 6 till antenn 1 var betydligt kortare; median=2.2 h, 1a kvartil=1.7 h, 3e kvartil=7.3 h, n=110. Möjligheten för vuxen lax, exv. kelt, att passera trappan nedströms får därför betraktas som god vad gäller tidsaspekterna. Däremot kan innevarande och föregående års studie inte klargöra om den vuxna fisken kan skadas i samband med passage via de undre öppningarna mellan sektionerna i fisktrappan. Det faktum att få av de "jojande" fiskarna passerade fisktrappan under säsongen kan vara ett tecken på att de skadas i samband med passage via de undre öppningarna där strömhastigheten är hög (> 2 m/s och sannolikt >4 m/s).



Figur 30. Summering av antalet antenner (median  $\pm$  kvartiler) som PIT-märkt vuxen vild lax passerat i samband med nedströmssimmande i fisktrappan. Antennerna har inte nödvändigtvis passerats i samband med en enstaka nedströmsvandring utan är den ackumulerade effekten till följd av eventuellt jojo-beteende. Antennen där individerna sist registrerades i fisktrappan ger en fingervisning om fisken passerade uppströms eller lämnade trappan nedströms för att inte återvända. Antalet individer anges intill medianvärdena. Den största risken för missade registreringar är när fisken passerar nedströms via den under öppningen mellan sektionerna i fisktrappan eftersom vattenhastigheten där är mycket hög.

## 6.5 PIT-antennernas funktion

Tre av antennparen, 1, 2 och 4, registrerade nästan all PIT-märkt fisk som passerade (Tabell 4). Antennpar 3 och 7 hade betydligt lägre detektionseffektivitet, kring 60 %, medan antennparen 5 och 6 låg mellan 85 och 90 % effektivitet. Det är oklart vad den låga detektionseffektiviteten på



antennpar 7 berodde på, men konsekvensen blir att man inte kan filtrera enbart på registreringar på antenn 7 för att avgöra om PIT-märkt fisk passerat fisktrappan eller inte.

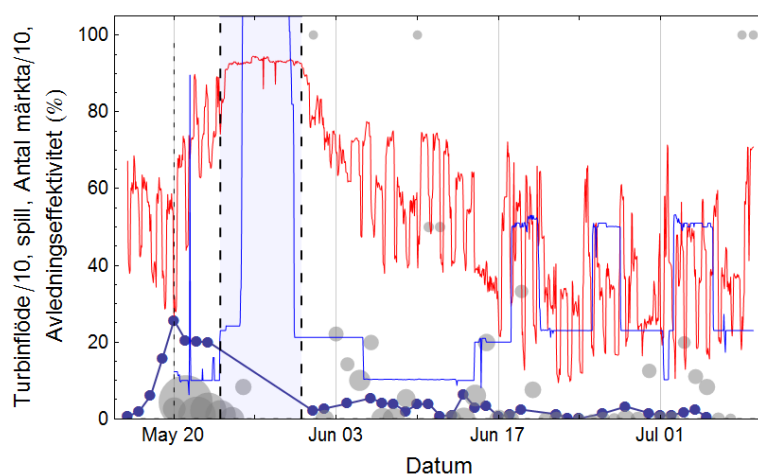
*Tabell 4. Sannolikheter för de sju antennparen att registrera PIT-märkt vuxen fisk i samband med uppvandring i fisktrappan. NKI och ÖKI avser nedre respektive övre gränserna för 95 % konfidensintervall.*

Antennpar	Median	NKI	ÖKI	N
1	1.00	0.99	1.00	375
2	1.00	0.99	1.00	351
3	0.57	0.52	0.63	362
4	0.99	0.98	1.00	352
5	0.86	0.83	0.89	403
6	0.88	0.83	0.93	156
7	0.63	0.57	0.69	258

## 6.6 Fiskavledarens funktion och avledningseffektivitet

Förutom PIT märkning av lax har en del försöksgrupper också märkts med aktiva radiomärken under 2013. I Spöland märktes den 4-6 juni (2013) 96 smolt (medellängd: 14.3 cm, medelvikt: 22,7 gram) med inre magmärken. Av dessa 96 vandrade 48 % (n= 46 smolt) ned till edan ovan dammen. Av dessa 46 fiskar gick 44 individer via turbinerna (46,5 %) och 2 individer in i fisktrappan (4,3 %). Cirka 16 % av den smolt som passerade turbinerna dog och kom inte ut ur tunnelområdet. Det tog ca 2-3 dagar för fisken som passerat kraftstationen att nå loggern i Gimonäs 13 km nedströms turbinvattenkanalens utlopp i Umeälven.

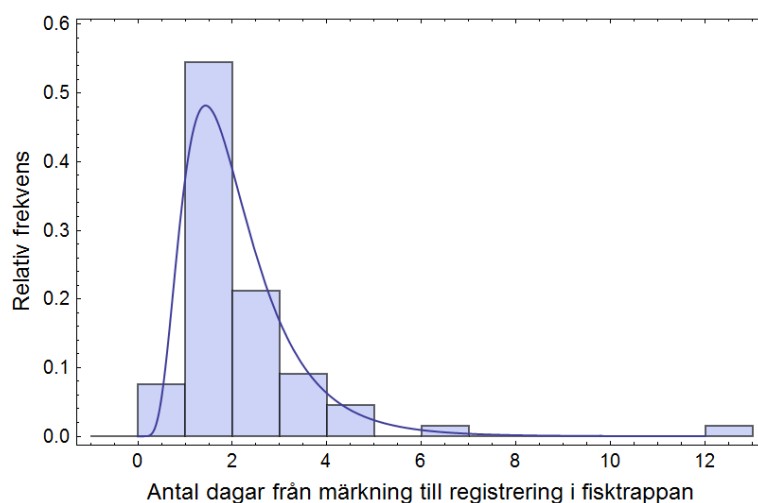
Den studie som vi mest kan förlita oss på i bedömningen av fiskavledarens funktion är de PIT-märkningar som genomfördes i Spöland 2013. Märkningen av smolt i Spöland påbörjades den 16 maj (2013) och 223 individer märktes och återutsattes före den 20 maj, dvs det datum fisktrappan öppnades. Av de totalt 1749 smolt som PIT-märktes fram till vandringsäsongens slut den 5 juli registrerades 66 individer vid minst en antenn i fisktrappan (Figur 31). Hälften av dessa individer hade registrerats på minst 5 av de 6 antennparen i fisktrappan. Smoltfångsten avbröts under perioden 24 till 31 maj på grund av högt flöde i Vindelälven. Under en del av den perioden spilldes det även via utskovet, som mest 341 m<sup>3</sup>/s. Det innebär att en del av de märkta smolten kan ha passerat nedströms via utskovet.



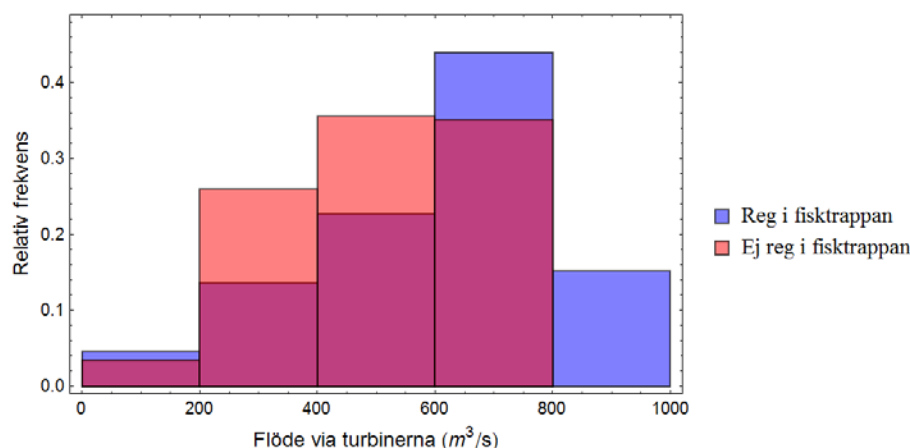
*Figur 31. Förhållanden som rådde i anslutning till smoltfångsten i Spöland 2013. Röd linje=flöde via turbinerna i Stornorrfors (m<sup>3</sup>/s), blå linje=spillflöde (m<sup>3</sup>/s), mörkblå fyllda cirklar sammanbundna med linje=antal fångade och märkta smolt i Spöland, grå fyllda cirklar=avledningseffektivitet (%) för smolten.*

ledarmen vid fisktrappan där storleken på cirklarna motsvarar antalet PIT-märkt smolt som registrerades i fisktrappan, tunn streckad linje=öppning av fisktrappan, svart fet streckad linje med ljusblått färgfält=period när ryssjan i Spöland var upptagen pga högt flöde. Spillflöden över  $105 \text{ m}^3/\text{s}$  visas ej i figuren för bättre visualisering av övriga variabler. Högsta spillfödet var  $341 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tidsfördröjningen från dess att smolten märktes tills de registrerades i fisktrappan varierade mellan noll och 12 dygn. Den största andelen registrerades mellan ett och två dygn efter märkning. I och med att nedvandringshastigheten inte var konstant samtidigt som märkningen påbörjades innan fisktrappan öppnades går det inte att beräkna en exakt avledningseffektivitet (Figur 32). Av samma anledning går det inte heller att få exakta mått på hur stor andel som avleddes i samband med olika flödesförhållanden. Om man räknar bort smolt som märktes mer än ett dygn innan fisktrappan öppnades blir den totala avledningseffektiviteten ca 4 %. För att få en uppfattning om hur flödessituationen påverkade avledningseffektiviteten kan man dock använda en sannolikhetsfördelning som beskriver tidsfördröjningen från märkning till första registrering i fisktrappan. Med hjälp av den funktionen kan sedan antal förväntade märkta smolt vid ledarmen respektive datum skattas. I denna beräkning har medianvärdena av 1000 slumpningar per märkdag använts för att representera antalet förväntade märkta smolt vid ledarmen per dag. De dygnsspecifika avledningseffektiviteterna som beräknades utifrån dessa värden åskådliggörs i Figur 31. Och där framgår att avledningseffektiviteten tycks ha varierat mellan 0 och 100 % under säsongen. Den totala avledningseffektiviteten beräknat från detta underlag blir ca 4.5 %. Avledningseffektiviteten för hela smoltutvandringen, dvs inklusive de som inte märktes, kan ha varit något högre i och med att turbinflödet och spillet var högt under den period ryssjan var upptagen. Dessa flödeskombinationer och speciellt de höga flödena via turbinerna tycks ha haft en positiv inverkan på ledarmens funktion (Figur 33).



Figur 32. Tidsfördröjning från att smolten märkts och återutsatts till registrering i fisktrappan. Den heldragna linjen motsvarar bästa anpassning av en log-normalfunktion.



Figur 33. Frekvensdiagrammet visar de relativa frekvenserna för märkt smolt som registrerades respektive inte registrerades i fisktrappan i relation till de flöden som passerade via Stornorrfors kraftstation vid den tidpunkt smolten förväntades vara vid ledarmen. För den registrerade fisken användes tidpunkten för den första registreringen i fisktrappan.

Sammanfattningsvis finns det starka kopplingar mellan utvärderingen av fiskavledaren och etableringen av Ume/Vindelälven som Indexvattendrag samt utvärderingen av den nya fisktrappan med tillhörande ledarm för avledning av fisk. Vi bör se utvecklandet av en modell för att leda nedströmsvandrande fisk förbi ett kraftverkskomplex i flera steg. I det första steget och inom ramen för detta projekt, sker modelleringar och anläggande av anordningar som krävs för att avskilja smolt (och kelts) från lockvattnet vid fisktrappans intag. Den fiskavledare som nu utvecklats och testas kan visa sig fungera bättre än de 4,5 % laxsmolt som den här studien visat med flera olika metoder. Frågan som kvarstår och som flödesmodellerna till del visar (Appendix i denna rapport) är om det finns förutsättningar att öka längden på ledarmen till ca 150 meter istället för dagens 110 meters längd. Flödesmodelleringar visar då att en större del av ytströmmen kan styras in mot fisktrappans ingång. De planerade fångst och återfångst försöken fungerar bra som utvärderingsmetod. Problemet är att när det sannolikt går som mest smolt i älven är det för höga flöden för att fånga nedströmsvandrande fisk varför det uppstår luckor i tidserien. PIT-märkningstekniken är överlägsen alla andra märktekniker för detektering av fisk om detekteringsutrustning finns installerad. Detta kan utvecklas vidare inom ramen för indexälvsverksamheten (ICES-DCF) då det bedöms att ca. 8-10 tusen smolt (omärkta) passerade i trappan 2013. Sverige borde fortsätta att ta ansvar för den här typen av utveckling då det finns samordningsvinster mellan indexvattendrag, fiskavledning och utvärdering av nya fisktrappan för den lekvandrande fisken. Lyckas man avleda den naturligt producerade avkomman av lax och öring i reglerade vattendrag med unika bestånd finns mycket att vinna för att etablera långsiktigt hållbara bestånd av vandringsfisk för bla kommande generationer.

## 7.0 Tackord

Fiskavledaren vid Stornorrfors fisktrappa installerades för att trygga utvandringen av smolt och kelt av lax (*Salmo salar*) och öring (*Salmo trutta*). Bygget av fiskavledaren ingår i projektet "Från kust till fjäll", som finansieras av Fiskeriverket, Europeiska fiskerifonden, Umeå kommun, Vindelns kommun Vattenfall AB samt SLU. Personalen vid Vattenfall AB's fiskodling i Norrfors tackas speciellt för utmärkt samarbete för att genomföra denna studie. Fiskmärkningen i detta försök har godkänts av försöksdjursetiska nämnden (Dnr A38-09).

## 8.0 Referenser

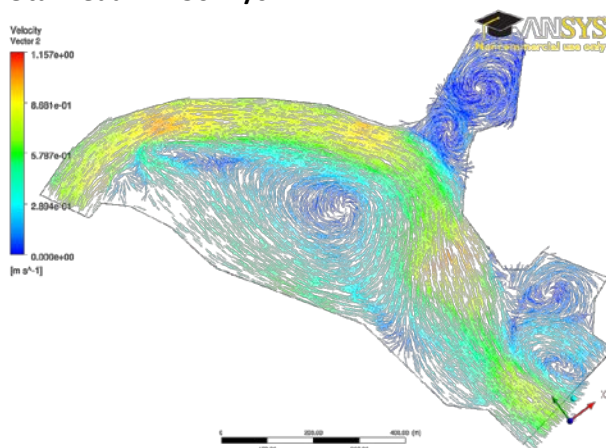
- Jonsson & Jonsson (2011) Ecology of Atlantic salmon and Brown trout: Habitat as a template for life histories. In Fish & Fisheries series, Volume 33, Springer. DOI 10.107978-94-007-1189-1
- Lundqvist, H., Rivinoja, P., Leonardsson, K. & McKinnell, S. 2008. Upstream passage problems for wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a flow controlled river and its effect on the population. *Hydrobiologia* 602:111–127. DOI 10.1007/s10750-008-9282-7
- Lundqvist, Leonardsson & Rivinoja (2006). Konsekvensanalys av åtgärder för att förbättra leklaxens uppvandringen till Vindelälven. PM 2006-05-05/SLU, Umeå, *Vattenbruksinstitutionen, SLU, 901 83 Umeå*.
- Monten, E. 1988. Fiskodling och vattenkraft, Vattenfall, Sverige. p. 139. (In Swedish).
- Östergren, J. 2006. Migration and Genetic Structure of *Salmo salar* and *Salmo trutta* in Northern Swedish Rivers. Doctoral thesis. Department of Wildlife, Fish, and Environmental studies, SLU (Swedish University of Agricultural Sciences), Faculty of Forest Sciences, Umeå.
- Rivinoja, P., Östergren, J., Leonardsson, K., Lundqvist, H., Kiviloog, J., Bergdah, L. & Brydsten, L. (2004) Downstream migration of *Salmo salar* and *S. trutta* smolts in two regulated northern Swedish rivers. Proceedings, Fifth International Symposium on Ecohydraulics, Madrid, Spain
- Rivinoja, P. 2005. *Migration Problems of Atlantic Salmon (Salmo salar L.) in Flow Regulated Rivers*. Doctoral thesis. Department of Aquaculture, SLU (Swedish University of Agricultural Sciences), Faculty of Forest Sciences, Umeå. ISSN: 1652-6880. ISBN: 91-576-6913-9.

## 9.0 APPENDIX - Modellering av strömningsbilden vid fiskavledaren

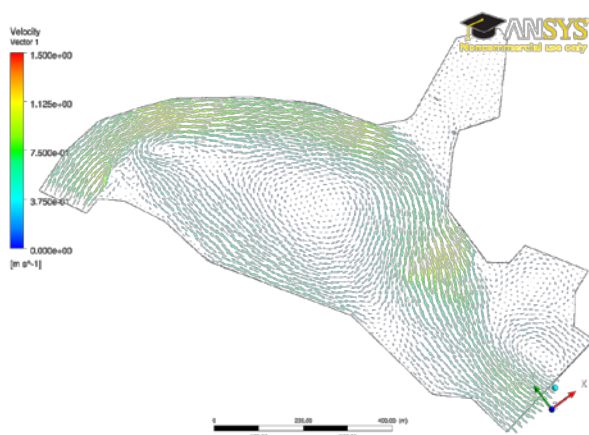
Olika strömningsscenarios har modelleras beroende på den nya fiskavledarens vinkling och längd mot strömriktningen så att strömningsförhållandet mot intaget till fisktrappan kan optimeras för minimal teoretisk störning av nedströmsvandrande fisk. Vid LTU (Luleå Tekniska Universitet) studerar man "Flödes design för Strukturer för nedströmsvandrande fisk" så att fisk kan vandra ut via spillucka och inte via turbinerna. I Stornorrfors har strömningsbilden utan (kontroll) och med nuvarande längd på fiskavledare modelleras under olika flöden till kraftverket (750 och 1021 m<sup>3</sup>/s) och strömlinjer har angetts i 3D, strömningslinjer i planet på 1 meters djup, Vortex core region, Turbulent kinetisk energi på 1m djup, samt med ledarm förlängd 1/3 (1021 m<sup>3</sup>/s). Detta gjordes för att få information om optimal strömning i området inom strandlinjen och fiskavledarens mekaniska struktur. Detta ska ske så att ytvattnet (och smolten) leds mot fisktrappans intag utan att påverkas av ändrad strömningsbild och att nedströmsvandrande smolt beteendemässigt rör sig med strömmen nedströms och befinner sig relativt ytnära (c. 0-2 meters djup). Andra faktorer som kan ha betydelse är relaterade till vattnets acceleration och konstruktionens begränsningar i förhållande till skiljeväggen.

Ett antal modelleringar av design på fiskavledarens vinkling mot strandlinjen måste definieras för att erhålla ett optimalt läge där flödet styrs på rätt sätt mot intaget. Figurerna nedan visar ganska tydligt att ledarmen borde vara längre än de 110 meter den är idag för att nå optimal strömsättning till fisktrappan så att nedströmsvandrande smolten kan styras i de givna vattenmängderna.

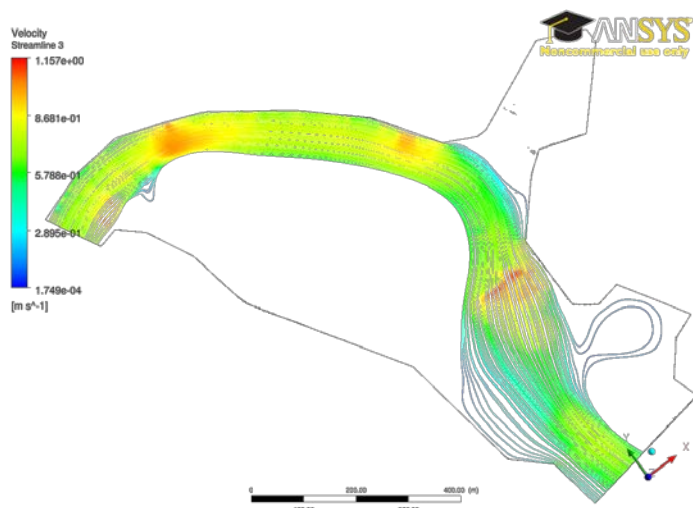
### Utan ledarm 750m<sup>3</sup>/s



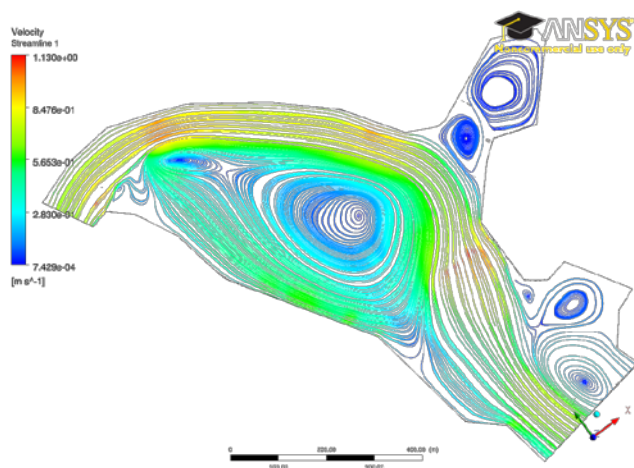
Figur A1. Vektorer i 3D



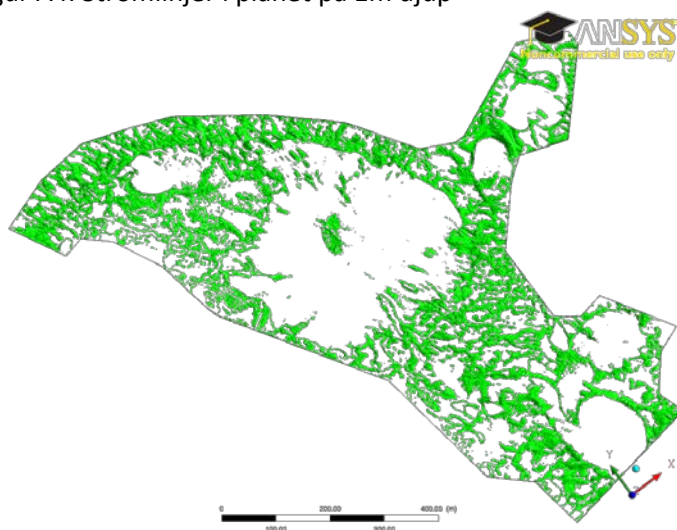
Figur A2. Vektorer i planet på 1m djup



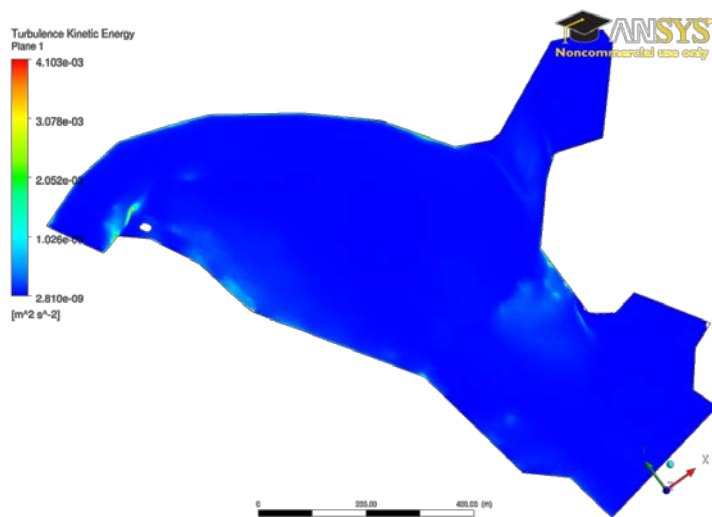
Figur A3. Strömlinjer i 3D



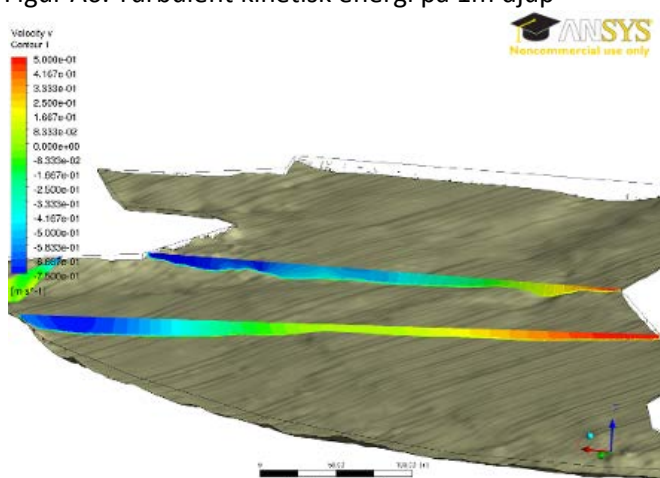
Figur A4. Strömlinjer i planet på 1m djup



Figur A5. Vortex core region Swirling strength

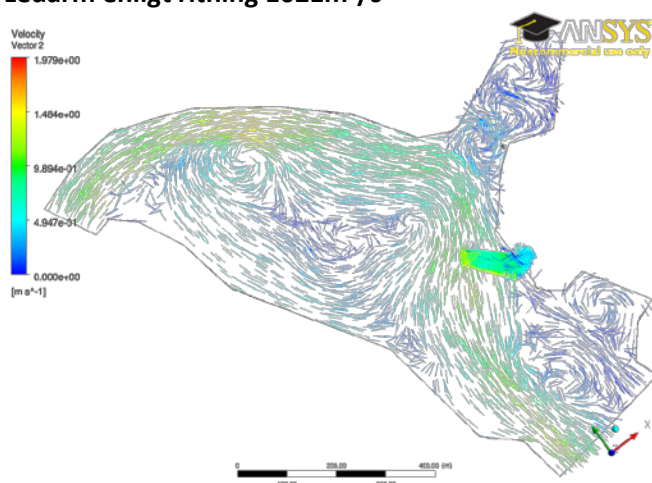


Figur A6. Turbulent kinetisk energi på 1m djup

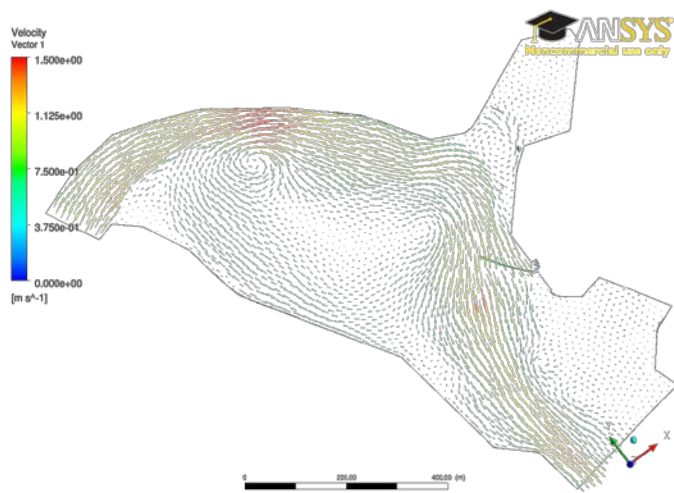


Figur A7. Hastighetsnitt T1 & T2, nordliga hastighetskomponenten

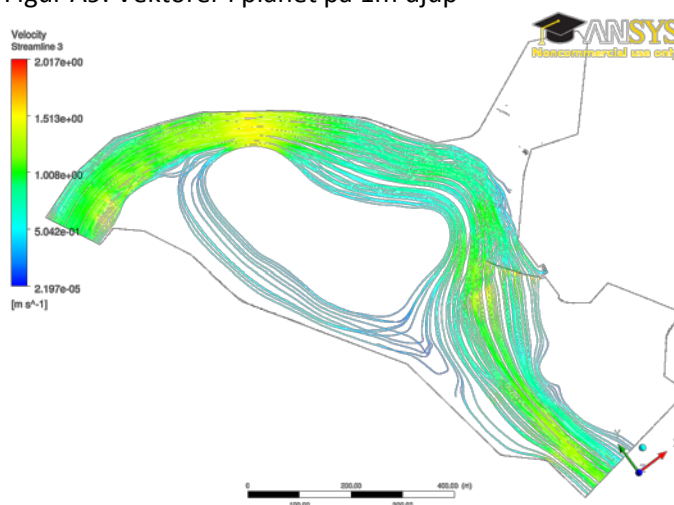
Ledarm enligt ritning 1021m<sup>3</sup>/s



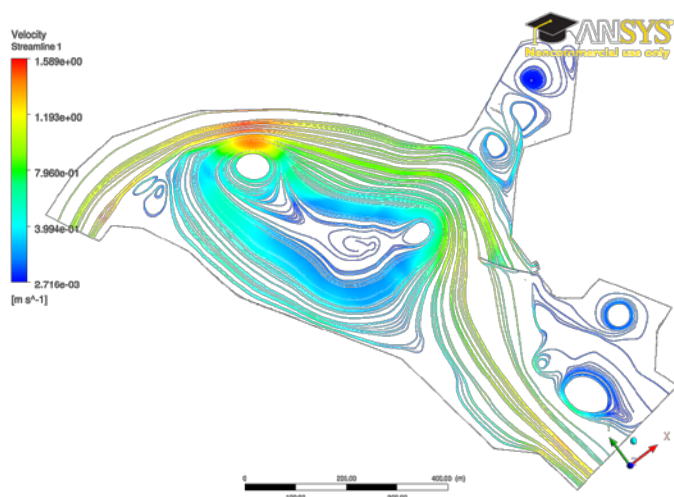
Figur A8. Vektorer i 3D



Figur A9. Vektorer i planet på 1m djup



Figur A10. Strömlinjer i 3D

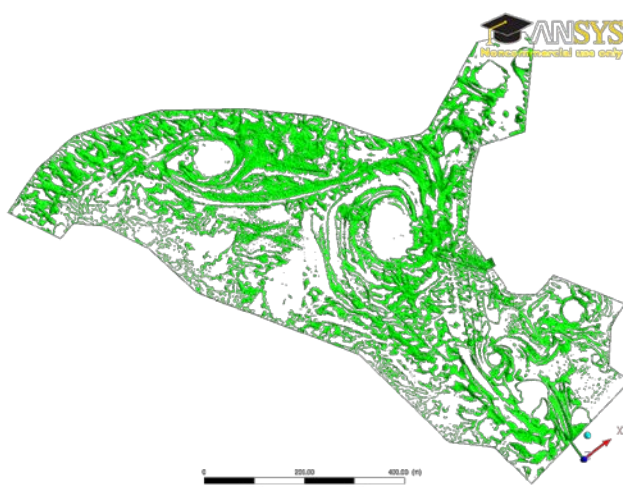


Figur A11. Strömlinjer i planet på 1m djup

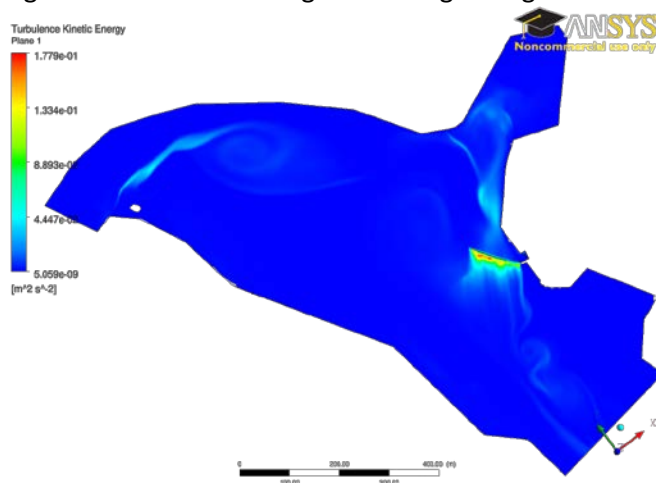




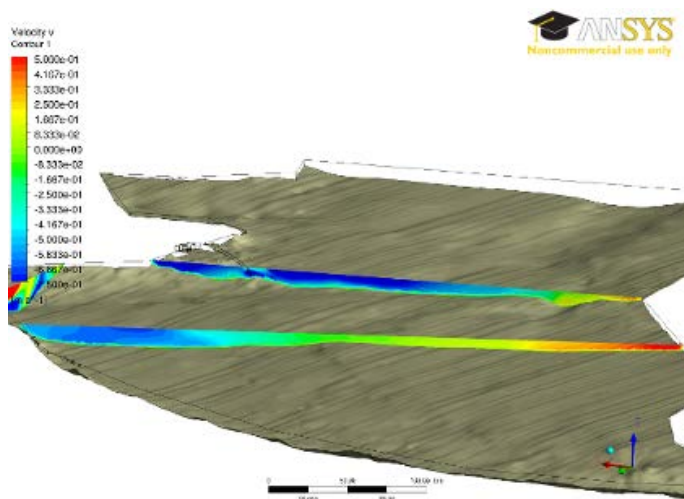
Figur A12. Strömlinjer som går till fisktrappen



Figur A13. Vortex core region Swirling strength

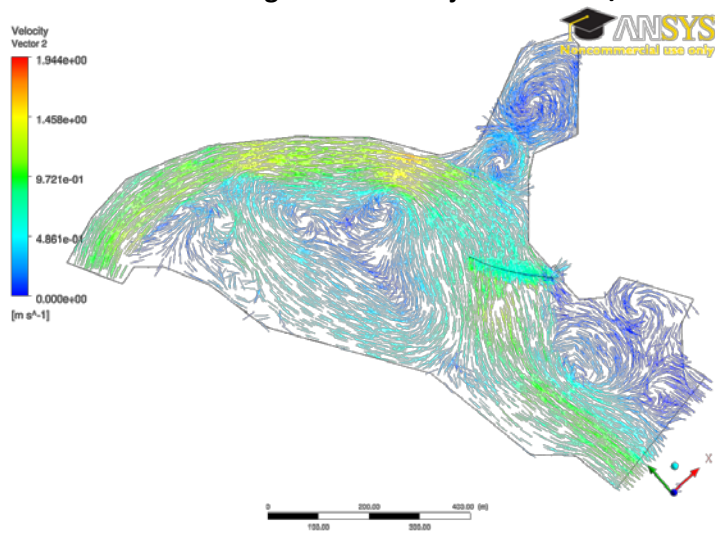


Figur A14. Turbulent kinetisk energi på 1m djup

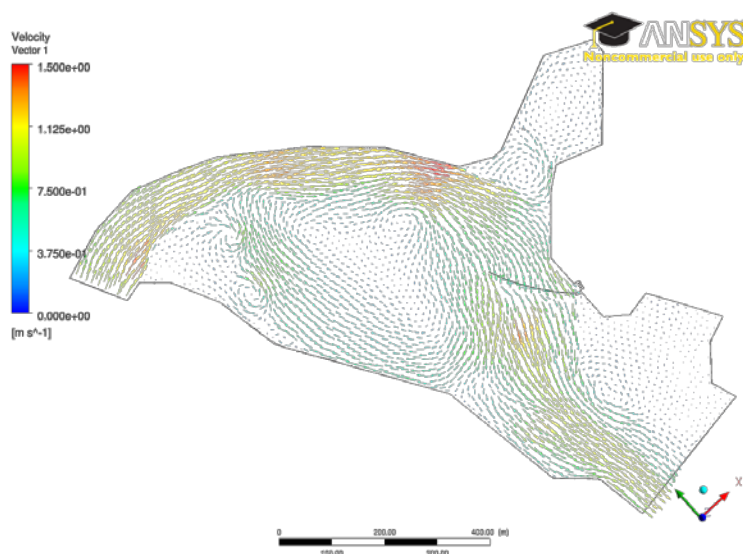


Figur A14. Hastighetsnitt T1 & T2, nordliga hastighetskomponenten

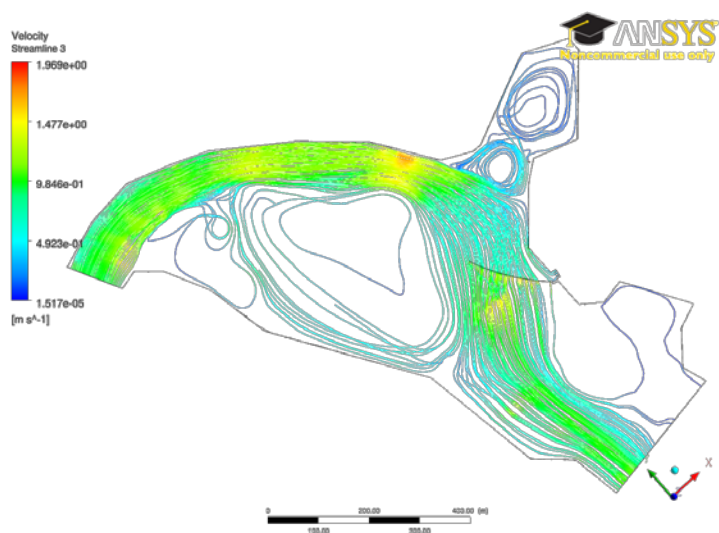
Ledarm som är förlängd med en tredjedel  $1021\text{m}^3/\text{s}$



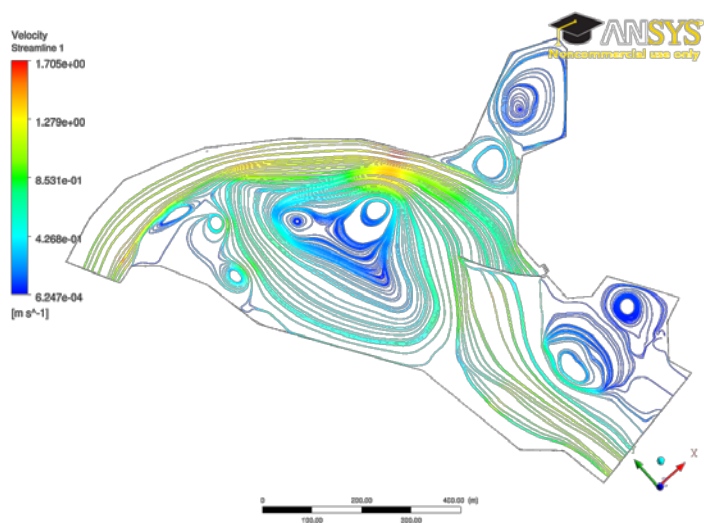
Figur A15. Vektorer i 3D



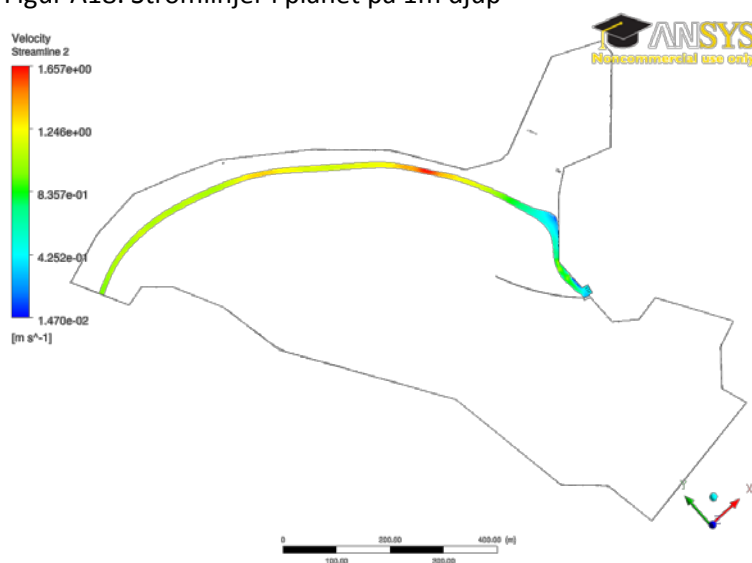
Figur A16. Vektorer i planet på 1m djup



Figur A17. Strömlinjer i 3D



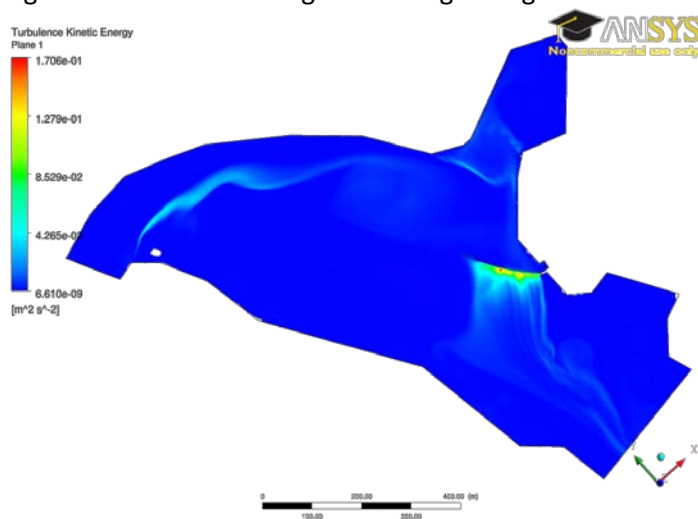
Figur A18. Strömlinjer i planet på 1m djup



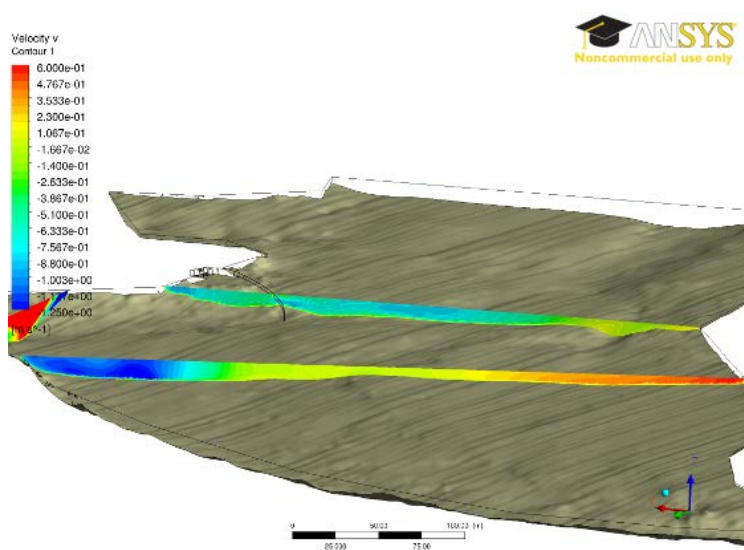
Figur A19. Strömlinjer som går till fisktrappen



Figur A20. Vortex core region Swirling strength



Figur A21. Turbulent kinetisk energi på 1m djup



Figur A22. Hastighetsnitt T1 & T2, nordliga hastighetskomponenten