

# Radiotelemetriundersökning av ålens passage av vattenkraftverk i Motala ström

Slutrapport

Elforsk rapport 14:34



Johan Östergren, Simon Karlsson, Kjell Leonardsson, Anna Eriksson,  
Håkan Wickström och Olle Calles

2014-09-11

**ELFORSK**

# **Radiotelemetriundersökning av ålens passage av vattenkraftverk i Motala ström**

Slutrapport

Elforsk rapport 14:34

## Förord

Denna rapport är en slutrapport för projektet Radiotelemetriundersökning av ålens passage av vattenkraftverk i Motala ström.

Projektet utfördes huvudsakligen av Johan Östergren, Sveriges Lantbruksuniversitet, Akvatiska resurser, Institutionen för akvatiska resurser, Drottningholm som också är författare till rapporten. I projektgruppen ingick de personer som finns namngivna på rapportens framsida.

Projektet har bedrivits inom ramen för programmet Krafttag ål. Uppdragsgivare var Havs- och vattenmyndigheten, E.ON Vattenkraft Sverige AB, Fortum Generation AB, Holmen Energi AB, Karlstads Energi AB, Sollefteåforsen AB, Statkraft Sverige AB, Tekniska Verken i Linköping AB samt Vattenfall Vattenkraft AB.

Programmet Krafttag ål har letts av en styrgrupp:

|                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Erik Sparrevik                    | Vattenfall Vattenkraft AB (ordf.) |
| Niklas Egriell                    | Havs- och vattenmyndigheten       |
| Johan Tielman                     | E.ON Vattenkraft Sverige AB       |
| Marco Blixt                       | Fortum Generation AB              |
| Jan Lidström                      | Holmen Energi AB                  |
| Angela Odelberg                   | Statkraft Sverige AB              |
| Ola Palmqvist/Katarina Ingvarsson | Tekniska Verken i Linköping AB    |
| Sara Sandberg                     | Elforsk (programledare, adj.)     |

Stockholm, oktober 2014



Sara Sandberg  
Programområde vattenkraft  
Elforsk

## Sammanfattning

I denna studie märktes 100 blankålar med radiosändare och frisläpptes i anslutning till två kraftverk i Motala ström; Skärblacka och Fiskeby, hösten 2013. Ålarnas vandringsbeteende i sötvatten, vägval och kraftverkens påverkan i form av fördröjd vandring och ökad dödlighet, studerades. Vid båda kraftverken varierades vattenflödet så att ålarna hade möjlighet att vissa dagar vandra via tappningar motsvarande ca 10 % av totala vattenföringen förbi kraftverken.

Studien pågick fram till våren 2014. Totalt vandrade ca hälften av alla ålar nedströms från utsättningsplatserna och anlände till kraftverken. Av dessa ålar passerade 90 och 85 % Skärblacka respektive Fiskeby. En kontrollstation längre nedströms vid Holmens kraftverk noterade passager av nio fiskar (53 % av de som passerat Fiskeby) varav två hade satts ut uppströms Skärblacka och resterande sju uppströms Fiskeby. Av samtliga ålar som passerade kraftverken Skärblacka och Fiskeby valde av 23 % att passera via tappning. I Skärblacka hade 39 % ( $n = 7$ ) möjlighet att passera tappningsvägen, av dessa valde 57 % den vägen. Samtliga "tappningsålar" besökte turbinen, vände uppströms och ut genom den alternativa vägen, medan endast hälften av "turbinålar" besökte tappningen. I Fiskeby vandrade 38 % ( $n = 3$ ) via tappning av de ålar som hade möjlighet att passera den vägen.

De flesta ålarna hade korta uppehållstider (median: 11,1 min) vid kraftverkspassagen (alla kraftverk), även om tiden från utsättning till passage var mycket lång ( $> 1,5$  månader) för några individer. Totalt dog fyra ålar som en direkt följd av kraftverkspassagen. Tre av dessa fiskades upp och tydliga slag av turbinblad noterades. Detta innebar en total dödlighet som följd av passage via turbiner om 7 och 21 % för Skärblacka respektive Fiskeby. Detta värde är lägre än den förväntade andelen turbindödade ålar vid den aktuella driften enligt ett modellverktyg för beräkning av passageförluster vid respektive kraftverk. Dödligheten är också betydligt mindre än ålförvaltningsplanens antagande om 70 % passageförlust, som är ett medelvärde för svenska vattenkraftverk.

Även om antalet "passageålar" var lågt, var andelarna som vandrat via tappning när så var möjligt i linje med tidigare studier som föreslagit att mer än hälften kan hitta en tappningsväg när 10 % av vattenföringen släpps via tappning. Den nyvunna detaljkunskapen kan användas för att förbättra bedömningarna av den kraftverksinducerade dödligheten genom att modellera ett val där väg via tappning finns. Mätningar och partikelsimulering kan vara ett bra komplement till telemetriundersökningar eller annan information om ålars beteende vid kraftverkspassager.

Det är viktigt med fortsatta studier av ålars kraftverkspassage, speciellt eftersom varje kraftverk har specifika förhållanden. Det går dock att dra generella slutsatser om kunskapsunderlaget är stort. Att tappa en liten del vatten verkar kunna locka en stor del ålar att passera via tappning med hög överlevnad som följd, dock är det möjligt att exempelvis fingaller och andra fysiska avledare i vissa fall är en mer kostnadseffektiv åtgärd för att hjälpa ålarna förbi kraftverken.

## Summary

In this study, 100 silver eels were tagged with radio transmitters and released upstream of two power plants; Skärblacka and Fiskeby, in the river Motala Ström in the autumn 2013. The eels' migration behavior in freshwater, route choice and impact of the power plants in terms of delayed migration and increased mortality were studied. At both power plants, the eels had the opportunity to pass through spill gates with approximately 10% of the total water flow.

The study continued until the spring of 2014. In total, about half of all eels migrated downstream from the release sites, and arrived at the power plants. Of these eels, 90 and 85% passed Skärblacka and Fiskeby, respectively. A control station further downstream at Holmen power plant registered passages of nine fish (53% of those who passed Fiskeby), of which two had been released upstream Skärblacka and the remaining seven upstream Fiskeby. Of all eels that passed the plants 23% choose to pass through the spill gates. In Skärblacka, 39% ( $n = 7$ ) had the possibility to pass the spill gates, i.e. these eels were arriving when water was spilled. Of these fish, 57% chose the spill gates. All of "spill-gate eels" visited the turbine intake, and turned upstream before passing through the spill gates, while only half of the "turbine eels" visited the spill gates before entering the turbine intake. In Fiskeby, 38% ( $n = 3$ ) of eels that had the possibility to pass the spill gates chose that way.

Most eels had short residence times (median all stations: 11.1 min) at power plant passage, although the time from release to passage was very long ( $> 1.5$  months) for some individuals. A total of four eels died as a direct result of the power plant passage. Three of these were fished up and obvious marks of turbine blade strikes were noted. The turbine-induced mortality was 7 and 21% respectively for Skärblacka and Fiskeby. This figure was lower than expected according to a modeling tool for the calculation of passage losses at each power plant. Mortality is also significantly less than Ålförvaltningsplanens assumption of 70% passage loss, which is an average for Swedish hydropower impact. Although the number of "passage eels" was low, the proportions that passed through spill gates were in line with previous studies which suggested that more than half of radio-tagged eels can find an alternative route when 10% of the water flow is released that way. The detailed knowledge from this study can be used further to improve estimates of the hydropower-induced mortality by adding a route choice to the model. Detailed hydrological measurements and particle simulation can be a great complement to studies of this kind, helping to understand eel behavior at power plant passages.

It is important with additional studies of eel behavior, choice of migration routes, turbine mortality, etc, to be able to draw more general conclusions about power plant impact. It seems like a small amount of water through spill gates potentially attract a large proportion of eels, with high survival as a result. However, it is possible that for example physical screens and other constructions in some cases might be a more cost effective measure to help eels past the power plants.

## Innehåll

|          |                                                                      |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduktion</b>                                                  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Ålens vandring i älv, beteende, samt turbinpassage - mortalitet..... | 2         |
| 1.2      | Modeller.....                                                        | 2         |
| 1.3      | Syfte, målsättning.....                                              | 3         |
| <b>2</b> | <b>Material och Metod</b>                                            | <b>4</b>  |
| 2.1      | Studieområde.....                                                    | 4         |
| 2.2      | Ålrekrytering – förväntad utvandring .....                           | 4         |
| 2.3      | Skärblacka kraftstation .....                                        | 5         |
| 2.4      | Fiskeby kraftstation .....                                           | 5         |
| 2.5      | Försök med alternativ vandringsväg – tappning .....                  | 5         |
| 2.6      | Radiomärkning och pejling .....                                      | 6         |
| 2.7      | Miljöparametrar .....                                                | 12        |
| 2.8      | Dataanalys .....                                                     | 13        |
| <b>3</b> | <b>Resultat</b>                                                      | <b>17</b> |
| 3.1      | Skärblacka .....                                                     | 17        |
| 3.2      | Fiskeby .....                                                        | 20        |
| 3.3      | Holmen .....                                                         | 24        |
| 3.4      | Resultat över alla kraftverk .....                                   | 25        |
| 3.5      | Modellvalidering - Observerad och beräknad överlevnad .....          | 27        |
| 3.6      | Miljöparametrar .....                                                | 28        |
| 3.7      | Återfångster och fångster efter studiens slut .....                  | 29        |
| <b>4</b> | <b>Slutsatser och diskussion</b>                                     | <b>30</b> |
| <b>5</b> | <b>Referenser</b>                                                    | <b>34</b> |

## Introduktion

Den europeiska ålen (*Anguilla anguilla* L.) föds i Sargassohavet och följer sedan havsströmmar mot Europa där den når kusterna som glasål (Tesch 2003). Efter etablering vid kusten vandrar en del av de små ålarna upp i sötvatten för tillväxt. Efter ett antal år, i Sverige ca 10-15 år (Dekker m.fl. 2011), förbereds ålarna för en lång vandring till havs. De genomgår en anpassning till havet och blir så kallade blankålar. De startar sedan sin vandring från sötvatten ut mot havet för att återvända till lekområdet i Sargassohavet (Tesch 2003, Westerberg m.fl. 2014). Den naturliga rekryteringen av glasål har minskat med >90% sedan tidigt 1980-tal (Dekker 2003). Utsättning av glasål inom Europa har pågått i ca 100 år (Dekker & Beaulaton in prep.). I Sverige gjordes de första utsättningarna av importerad glasål redan 1910 men det var först med den kraftigt minskande rekryteringen i slutet av 1980-talet som utsättningar av glasål direkt i sötvatten/sjöar ökade markant och genomförs i stor mängd idag (Dekker & Beaulaton in prep.; Wickström & Dekker 2014). Utsättningarna sker i många fall uppströms vattenkraftverk (Dekker m. fl. 2011), kraftverk som ålarna alltså måste passera på sin väg mot leklokalerna.

Det minskade ålbeståndet medförde även att EU år 2007 beslutade om en förordning (EG 1100/2007) som innebar att alla medlemsländer måste upprätta en nationell ålförvaltningsplan. Målet för varje nationell förvaltningsplan skall vara att minst 40 % av biomassan av blankål med stor sannolikhet tar sig ut i havet, i förhållande till en skattning av utvandringen utan mänsklig påverkan på ålbeståndet. Sveriges ålförvaltningsplans fyra huvudsakliga åtgärdsområden är 1) inskränkningar i fisket, 2) minskad turbiditet (vattenkraftverk), 3) stödutsättningar av glasål och 4) kontroll av yrkesfisket.

I mars 2010 tecknades en frivillig avsiktsförklaring mellan sex vattenkraftföretag och Fiskeriverket. Avsikten var att nå målet 40 procent överlevnad vid utvandring på fem års sikt efter den nationella ålförvaltningsplanens ikraftträdande år 2009. "Krafttag ål" initierades 2011 som ett verktyg för att ta nästa steg med avsiktsförklaringen. I detta arbete gjordes en lista på de elva mest prioriterade vattendragen, där effekter av åtgärder förväntades vara som störst (Anonymous 2008).

Motala ström är ett av de prioriterade vattendragen. I dess avrinningsområde finns sjöarna Sommen, Roxen och Glan, alla med utsättningar av ål och även en historisk naturlig invandring av ål. I avrinningsområdet finns ett stort antal (~31 st; <http://vattenkraft.info/>) vattenkraftverk, av vilka nio finns i själva Motala ström. Endast i några få finns möjligheter för ålen att vandra fritt förbi kraftverken via tappningsvatten.

## 1.1 Ålens vandring i älv, beteende, samt turbinpassage - mortalitet

Ålens vandring i sötvatten sker normalt sett vid ökade vattenflöden under vår och höst (ex. Acou m.fl. 2008; Stein m. fl. 2013; Fjälling opubl. data). Både tiden och omfattningen av ålvandringen kan variera, både mellan år och mellan vattendrag. Det finns få studier av ålars vandring i naturlig miljö, vilket innebär att faktorer som ålens position, följer de vattendragens kanter, vandrar de i mitten, vilket djup, hur de reagerar på störningar, etc. är dåligt kända.

Det finns dock ett antal studier som studerat ål vid kraftverkspassager, ofta som en utvärdering av en åtgärd för att avleda ålar med någon form av avledare/fingaller (ex. Calles och Bergdahl 2009; Calles m.fl. 2010; Travade m.fl. 2010; Calles m. fl. 2013). Calles m. fl. (2014) presenterade en sammanställning av olika typer av avledare och galler, hur dessa bör utformas för god funktion och hur de kan appliceras på kraftverk i de två vattendragen Göta älv och Motala ström. För detaljerad information om olika avledare hänvisas därför till den rapporten. Generellt kan nämnas att det är viktigt med utformning av alternativa vandringsvägar. Fel utformade galler kan i sig innebära ökad dödlighet av passerande ålar då de kan fastna på gallren. Där avledare och fingaller saknas vandrar ål ofta i turbinen vid kraftverkspassage. Detta får ofta som följd att många dör (Montén 1985; Larnier & Travade 1999; Calles m. fl. 2010; Calles & Christiansson 2012)

Den direkta dödligheten sker vid slag från turbinblad och även en fördröjd dödlighet kan ske på grund av skador som uppkommit vid passagen. Skaderisken vid turbinpassage är relaterad till bl. a. kroppslängd, dvs. ju längre kropp desto större risk att bli träffad av turbinens rörliga delar (Montén 1985). Skaderisken är även kopplad till turbinens utformning i kombination med bl. a. drift, slukförmåga och varvtal (ex. Leonardsson 2012, med referenser). Ålarna kan dessutom bli fördröjda vid passagen, dvs. störda i sin vandring av artificiella hinder som vattenkraftverken är. Olika typer av biologiska avledare med elektrisk ström, ljus och ljud har provats, men några ekonomiskt eller biologiskt effektiva lösningar har inte hittats (Hadderigh och Baker 1998, Hadderigh m. fl. 1999, EPRI 2001, Amaral m.fl. 2003). Ett alternativ är att tappa vatten vid sidan av turbinintag för att locka ålen förbi kraftverken. Det har visat sig fungera tämligen väl i Frankrike (Travade et al 2010), där man genom att studera radiomärkt ål kunde konstatera att mer än hälften av ålar verkar kunna hitta tappningsvägar redan då ca 10 % av vattenföringen tappas. För att kunna öka möjligheten för ål att passera kraftverk, t. ex. genom att utveckla effektiva avledare måste förståelsen för ålars vandring och beteende både i naturliga vatten och vid kraftverk ökas.

## 1.2 Modeller

För att kunna göra teoretiska skattningar av dödligheten vid en rad olika vattenkraftverk i Sverige utvecklade Leonardsson (2012) ett modellverktyg, främst för att bättre kunna prediktera turbindödligheten. Liknande modeller har även utvecklats och de bygger alla på samma principer (Leonardsson 2012, med referenser). Leonardssons modell är parameteriserad med data från Kaplan-turbiner, och i mindre andel från Francis-turbiner. Modellen tar

främst hänsyn till den direkta dödligheten, och kan utvecklas till att även ta hänsyn till ålens vägval. Det finns dock mycket få data från svenska förhållanden som kan användas dels för validering av modellen, samt för en utveckling av en mer robust modell som även kan ta hänsyn till ålens val av alternativa vandringsvägar, om sådana finns.

### 1.3 Syfte, målsättning

Syftet med denna studie var att i Motala ström, studera radiomärkta blankålars nedströmsvandring förbi två vattenkraftverk, Skärblacka och Fiskeby. Projektets mål var att studera kraftverksöverlevnaden av nedströmsvandrande blankål vid passage av kraftverk i Motala ström. Ett delmål var att klargöra vilken väg som ålarna tar vid passage av kraftverken när en alternativ väg presenteras (här kallad tappning). Ett andra delmål var att erhålla sådana data så att validering av ett verktyg för beräkning av ålförluster vid vattenkraftverk möjliggörs (Leonardsson 2012).

# Material och Metod

## 1.4 Studieområde

Motala ström rinner mellan Motala och Norrköping där den mynnar ut i Bråviken i Östersjön. Huvudproduktionsområdet för ål i Motala ström består bl.a. av sjöarna Roxen, Glan och Sommen. Vättern har, trots sin storlek, inte haft någon betydande ålproduktion till följd av låg temperatur, näringsfattighet, samt att dess batymetri, dvs. terrängens fysiska form under vatten, inte är optimal som ålhabitat (Håkan Wickström, SLU, muntligen). De ålyngel som samlas upp i Norrköping sätts därför ut i Roxen och Glan (Fig. 1). På sträckan från huvudproduktionsområdet till havet ligger fyra kraftverk i åns huvudfåra: Älvås och Skärbläcka mellan Roxen och Glan, samt Fiskeby och Holmen mellan Glan och havet. Det är oklart vilken ålproduktion som sker i delavrinningsområdena uppströms de två sjöarna, dvs. Finspångsåarna, Svartån (med Sommen) och Stångån, vilket bedöms som angeläget att fastställa. Satellitbilder i rapporten är tagna av Lantmäteriet och med medgivande från Metri AB levererade genom Eniro.

## 1.5 Ålrekrytering – förväntad utvandring

SLU och tidigare Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium har under många år följt uppvandringen av ål till olika avrinningsområden runt om i Sverige. Utifrån denna information har rekryteringsindex tagits fram. Från Motala ström finns uppgifter om uppvandringen vid kraftverket Bergsbron/Havet i Norrköping sedan 1937. Ålarna fångas där i en ålyngelsamlare och transporteras upp i Motala ström, normalt och i nutid till sjön Glan. Det har även satts ut importerad glasål i systemet. Det har inte gjorts några egentliga beståndsuppskattningar i systemet, men den senaste beräkningen över vad som produceras i form av blankål (totalt inklusive utsättningar) i Motala ströms avrinningsområde ger en siffra på omkring 26 ton år 2013 (Willem Dekker, SLU, muntl. medd.).

För att bedöma grad av mognad, av hur blank och vandringsmogen en ål är har olika index tagits fram. Pankhurst ögonindex som bygger på att ålögats area ökar i förhållande till kroppslängden under mognadsprocessen, är idag det vanligast använda måttet (Pankhurst 1982). Ett gränsvärde om 6,5 används normalt, dvs. ålar med ett högre index än 6,5 betraktas som blankålar enligt Pankhurst (1982). Durif m.fl. (2005, 2009) har utvecklat en liknande modell där utöver ögats storlek även bröstfenans längd samt ålens längd och vikt (dvs. kondition) beaktas. Durifs index, som det kallas, klassar ålarna efter en femgradig skala från rena gulålar till väl utvecklade migranter. Normalt uppskattar man även graden av blankhet subjektivt utifrån ögats storlek, färg och kontrast längs kroppssidorna, sidolinjens utveckling och bröstfenornas längd och färg. Dessa tre olika skattningar ger olika utfall, där Durifs index är det mest konservativa, dvs. ger lägst skattning av andelen blanka ålar. Om man däremot inkluderar klassen "premigranter" enligt Durifs modell och gruppen "halvblanka" enligt den subjektiva klassningen tycks alla tre metoderna ge ungefär samma resultat (Wickström 2014).

## 1.6 Skärblacka kraftstation

Kraftverket utnyttjar en fallhöjd på 9 m och har två turbiner, försedda med intagsgaller med 110 mm spaltvidd, med en slukförmåga på 150 m<sup>3</sup>/s. Turbinerna av rör-kaplantyp har en diameter på 3,5 m och roterar med 142,5 rpm (Calles och Christiansson 2012). Normal drift följer i huvudsak naturlig vattenföring så att vattendom uppfylls. Det finns en vattendom som reglerar vattentappning i en sidofåra ca 160 meter uppströms intaget till turbinerna (Fig. 2 & 4). Vattentappningen är 0,5 m<sup>3</sup>/s dygnet runt och släpps genom ett rör (Fig. 2 & 4), samt ytterligare 4 m<sup>3</sup>/s som släpps under en timme per dag genom botten tappning i en dammlucka. Kraftverket finns även beskrivet i Calles och Christiansson (2012).

## 1.7 Fiskeby kraftstation

Kraftverket utnyttjar en fallhöjd på 2,5 m och har fem turbiner, försedda med intagsgaller med 111 mm spaltvidd. Turbin 1, 3 och 5 går antingen på eller av (propellertyp), med max 35 m<sup>3</sup>/s (Fig. 3 & 5). Turbin 2 och 4 (S-Kaplantyp) tar mellan 12 och 37 m<sup>3</sup>/s och är variabla för att balansera den naturliga vattenföringen. Samtliga turbiner har en diameter på 2,9 m och roterar med 100 rpm (Calles och Christiansson 2012). Driften bestäms på veckobasis. Det finns spetluckor på nordvästra sidan av turbinintagen som normalt är stängda, men kan erbjuda tappningsmöjligheter (Fig. 3). I anslutning till kraftverket finns ett vattenintag till vattenverket, Norrköping vatten (Fig. 5) som tar in 5 m<sup>3</sup>/s i normalfallet. Vid vattenflöden över Fiskeby kraftverks slukförmåga (170 m<sup>3</sup>/s) tas ytterligare 5 m<sup>3</sup>/s. Fiskebybruk har ett litet vattenintag som tar in 0,37 m<sup>3</sup>/s. Ett fingaller om 18 mm spaltvidd finns vid intaget. Kraftverket finns även beskrivet i Calles och Christiansson (2012) och Calles m.fl. (2014).

## 1.8 Försök med alternativ vandringsväg – tappning

Normaldrift samt tappning alternerades med tre respektive fyra dagar per strategi från första utsättning av fisk den 26 september. Under tappningsförhållanden tappades 10 % av flödet som normalt går genom turbinerna. Det har varit en dags förskjutning mellan kraftverken Skärblacka och Fiskeby som överensstämmer med utsatta omgångar av fisk uppströms respektive kraftverk. Normaldrift och tappning alternerades ytterligare efter att sista omgången av fisk släpptes ut, detta för att förlänga möjligheten för ålarna att anlända till kraftverken under tid med respektive utan tappning. Totalt tappades det under sex sessioner i Fiskeby och fem i Skärblacka. Problem med turbinerna i Skärblacka medförde att allt vatten tappades förbi kraftverket mellan 21:a och 29:e oktober. Följaktligen blev tappningssession fyra annorlunda mot de andra. I likhet med Skärblacka tappades det extra vatten (40 %) under Fiskebys sjätte tappningssession samt ytterligare en oplanerad tappning under januari. Tappningsluckornas placering samt luckornas utformning skilde sig mellan kraftverken. Vid Skärblacka fanns möjlighet till passage via tappning under hela studieperioden via ett rör som enligt vattendom tappar 0,5 m<sup>3</sup>/s dygnet runt. En timme varje dag med start kl. 12.00 tappnings även 4,0 m<sup>3</sup>/s genom bottenlucka B (Fig. 2). Skärblackas tappningsluckor är placerade uppströms turbinintaget och förfarandet under

tappningsförhållande var förutom det ständiga tappningen genom ett rör, att den stora mittre bottenluckan (B) öppnades från botten (Fig. 2).

Vid Fiskeby öppnades spetluckor i tappningssektion nr. 2 från botten och upp ( $n = 1 + 1/3$ ) och förekommer bredvid turbinintaget (Fig. 3). Total bredd på tappningsöppningen vid botten var ca 1 meter och vid ytan ca 0,5 meter.

## 1.9 Radiomärkning och pejling

Ålar fångades i bottengarn av yrkesfiskarna Johan Axelsson och Anders Nilsson uppströms respektive kraftverk. Friska ålar valdes slumpmässigt ut från fångsterna samma dag som märkning med ett undantag där fiskar från Glan (Johan Axelsson) sjunde oktober inkluderade fiskar från vittjning den femte oktober. Totalt märktes 100 blankålar, 80 st med kodade radiosändare (typ NTC-6-2, Lotek, Kanada), och 20 st med liknande okodade sändare (typ F1580 ATS, USA; Tabell 1).

Fisken märktes i enlighet med tidigare internationella och nationella studier (ex. Jepsen m.fl. 2002, Karlsson m. fl. in press). Som bedövningsmedel användes Benzocain. Märkning skedde med tillstånd från etisk prövning dnr: 85-2013.

Märkta ålar släpptes ca 1 km uppströms respektive kraftverk (KRV), samt strax nedströms respektive kraftverk (kontrollålar) (Fig. 4 & 5). Ytterligare märkt fisk släpptes direkt genom turbinerna vid respektive kraftverk (Fiskeby  $n = 5$ , Skärblacka  $n = 3$ ) för att kontrollera hur långt nedströms döda ålar följer med strömmen (dödsläpp).

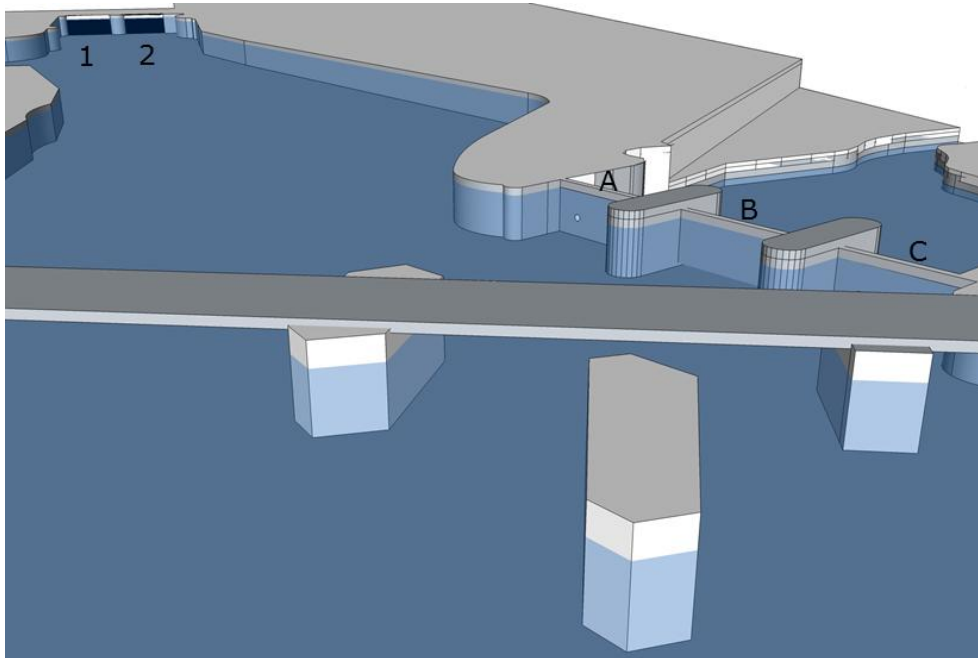
Ålarna utsattes i omgångar, batcher, om 8–12 individer i varje. Batcherna utsattes med 3–4 dagars mellanrum uppströms både Skärblacka och Fiskeby (Tabell 1). Vid varje utsättning var driften av anläggningarna antingen normaldrift (kontroll) eller tappningsförfarande (försök).

Vid varje KRV placerades automatiska lyssningsstationer, loggrar, så att ålarnas ankomst, vägval förbi kraftverken och uppehållstider kunde registreras (Fig. 4 & 5). Fyra-elements (element = antenspröt) Yagi-antennerna täckte in både tappningsvägen och turbinvägen. De automatiska stationerna programmerades för att registrera signaler dygnet runt varpå ålarnas sändare låter var tredje sekund. Loggrarna tömdes minst en gång i veckan under studiens ca nio månader.

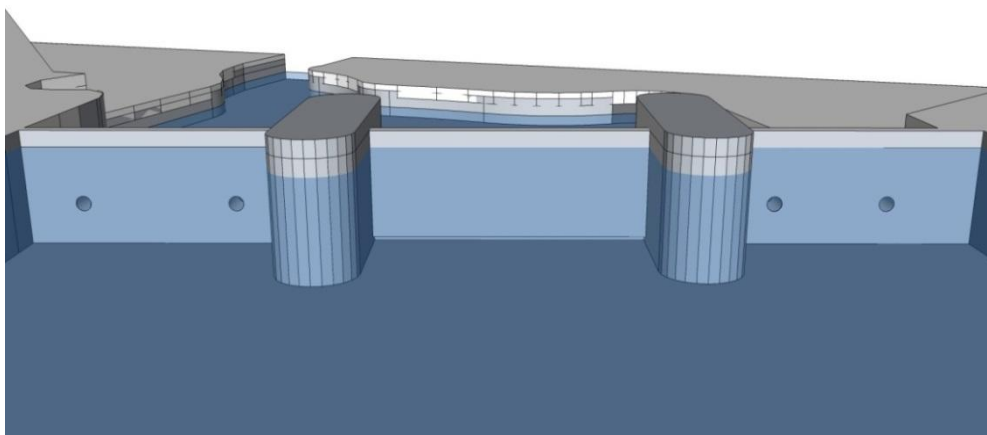


Figur 1. Motala ström med studieområdet från Roxen via Glan ner mot havet och Bråviken. Kraftverken är markerade röda och relevanta för studien är; Älvås (1), Skärblacka (2), Fiskeby (3) och Holmen (4). Fiskeplatserna visas med grön (Glan) och orange (Roxen) färg.

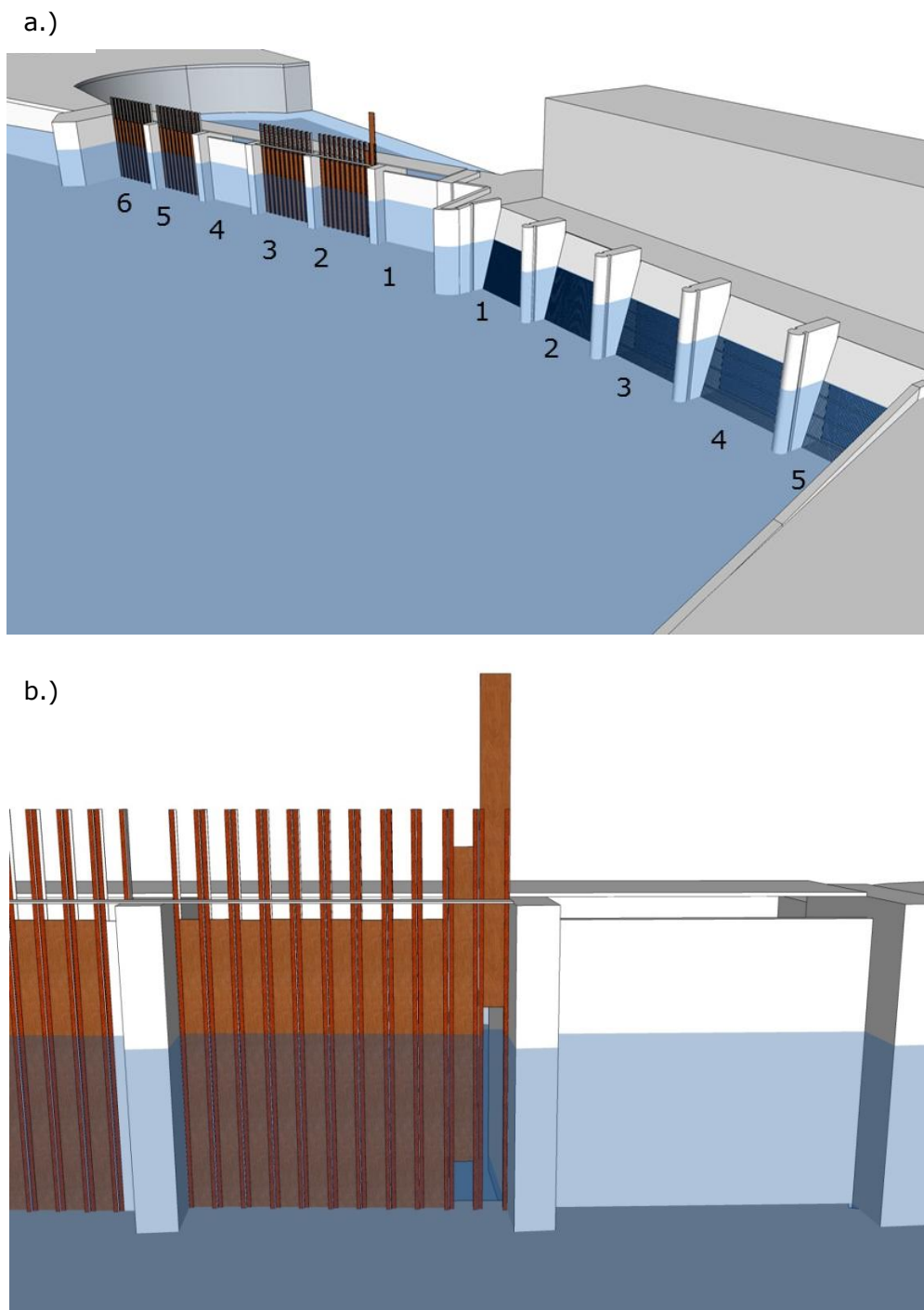
a.)



b.)



*Figur 2. Tappningsluckornas placering uppströms turbinintaget med numrering av turbiner (1-2) samt tappningssektioner (A-C)(a.) samt rörens placering i dammväggen och bottenluckans (B) öppnande (b.) vid Skärblacka kraftverk.*



Figur 3. Tappningsluckornas placering bredvid turbinintaget med numrering av turbiner samt tappningssektioner (a.) samt hur spettluckornas utformning och hur de öppnades under tappningsförhållande (b.) vid Fiskeby kraftverk.

Tabell 1. Utsättningsplatser tillsammans med antal (n), utsättningsdatum och storlek på de märkta ålarna. US = uppströms och NS = nedströms.

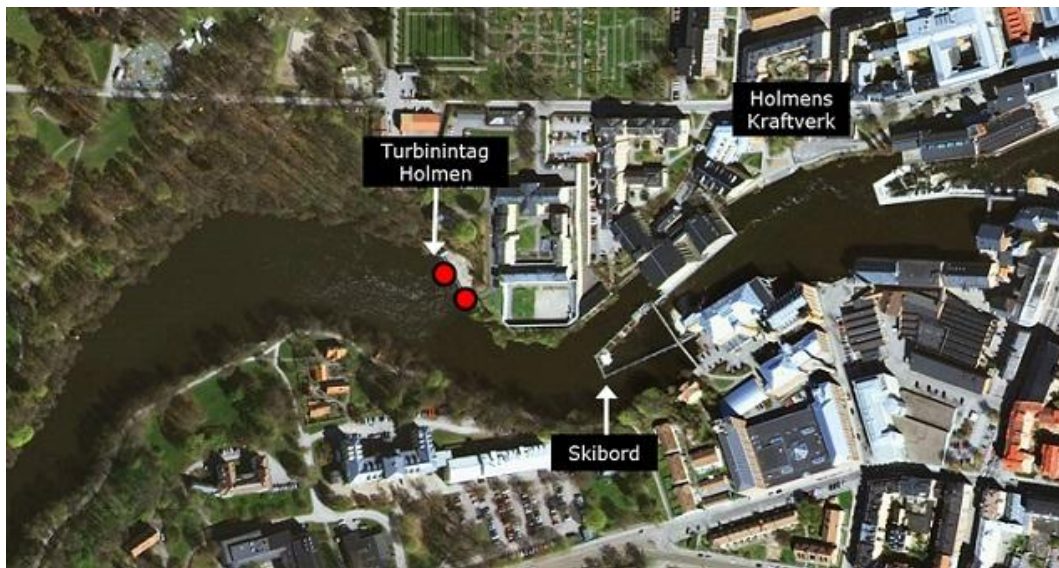
| Utsättningsplats         | n  | Utsättningsdatum               | Medel-Längd (mm) | STDEV (mm) | MedelVikt (g) | STDEV (g) |
|--------------------------|----|--------------------------------|------------------|------------|---------------|-----------|
| Fiskeby Övre (US)        | 40 | 26 Sept, 30 Sept, 3 Okt, 7 Okt | 876,3            | 51,6       | 1398,4        | 239,7     |
| Fiskeby Kontroll (NS)    | 10 | 26 Sept, 7 Okt                 | 865,1            | 52,9       | 1307,5        | 234,3     |
| Skärblacka Övre (US)     | 40 | 27 Sept, 1 Okt, 4 Okt, 8 Okt   | 866,5            | 53,6       | 1324,9        | 234,2     |
| Skärblacka Kontroll (NS) | 10 | 27 Sept, 8 Okt                 | 846,9            | 49,2       | 1173,1        | 242,3     |



Figur 4. Skärblacka kraftverk med turbinintag, tappningsluckor, den gamla åfåran med avslut i en betongklack samt placeringar av telemetrystationer (röda prickar) och utsättningsplats upp och nedströms kraftverket. Bild modifierad från [www.eniro.se](http://www.eniro.se).



Figur 5. Fiskeby kraftverk med turbinintag, damm med tappningsluckor, Norrköpingsvattens samt Fiskebybruks intag samt placeringar av telemetrystationer (röda prickar) och utsättningsplats upp och nedströms kraftverket. Bild modifierad från [www.eniro.se](http://www.eniro.se).



Figur 6. Holmens kraftverk med turbinintag, skibord samt placeringar av telemetrystationer (röda prickar). Bild modifierad från [www.eniro.se](http://www.eniro.se).

### 1.10 Miljöparametrar

Uppströms Skärblacka och Fiskeby installerades temperatur- samt ljusloggrar ovan och under vattenytan. För att undersöka möjligheter för ålen att känna av var tappningsvatten släpps, kartlades närområdet hydrauliskt. Detta skedde genom att mäta transekter med Acoustic Doppler Profiler (ADP, Sontek, USA) i anslutning till kraftverken.

I slutskedet av projektet gjordes ytterligare detaljerade ADP-mätningar för att använda vid simulering för att med hjälp av partikelspårning undersöka möjligheten att förutse sannolikheten att en ål passerar via tappning respektive turbiner vid olika vattenföring och tappningsvolym. Det senare låg utanför syfte och målsättning med studien men bedöms som mycket viktigt i det fortsatta arbetet. Resultaten redovisas dock inte i sin helhet i denna rapport utan till Krafttag åls slutseminarie den 8:e oktober 2014.

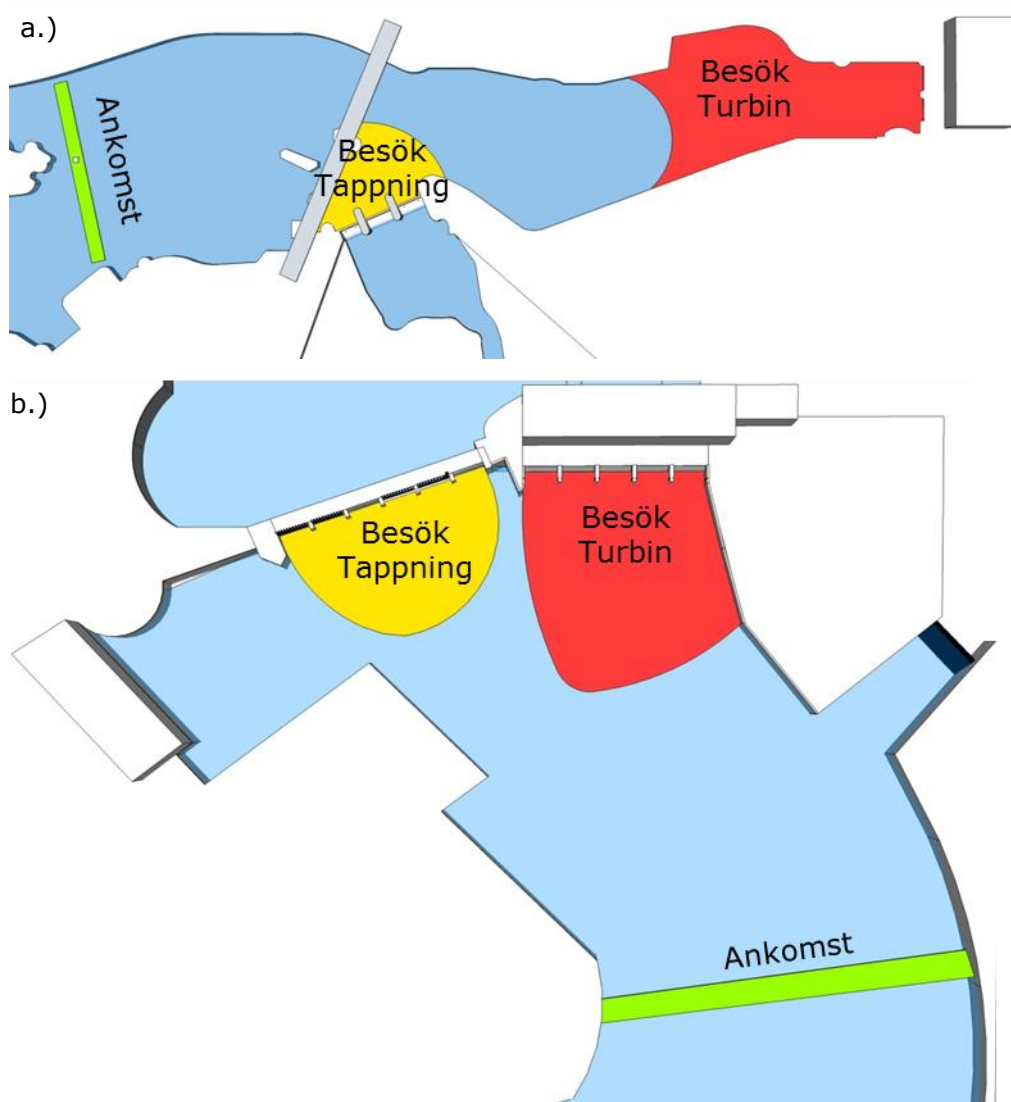
Ytterligare information om flödesdata vid respektive KRV erhöles av Tekniska verken, vilken finns illustrerad i figurerna 10 och 14.

Månfaser erhöles från mobilapplikationen "Fishing Calender" där procent av fullmåne samt minskande eller ökande måna anges per dag.

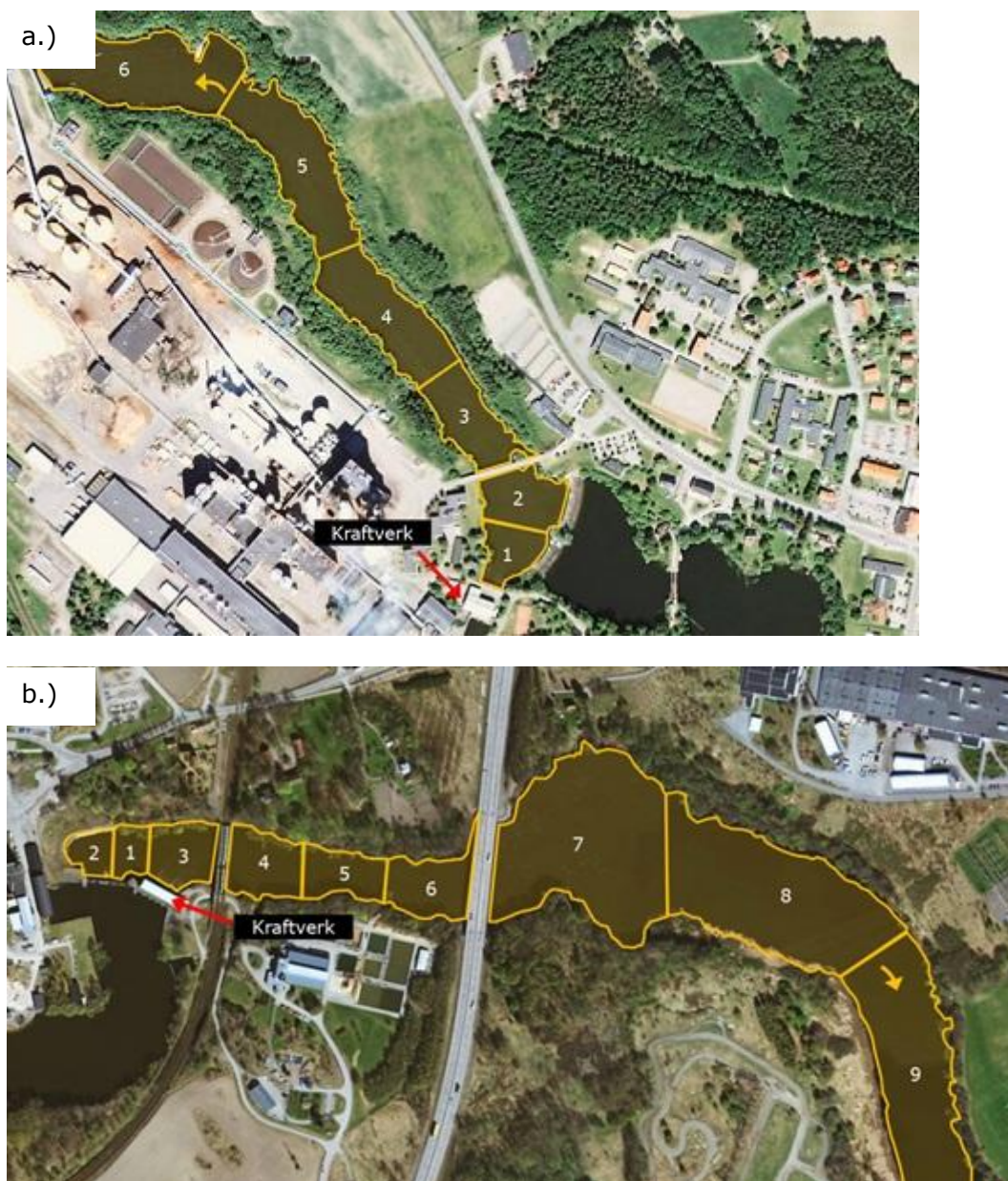
### 1.11 Dataanalys

För detaljerad analys av ålars rörelser i anslutning till kraftverken gjordes så kallade signalstyrkekartor. Radiosändarna placerades ut vid ett antal positioner, ca 1,5 meter under vattenytan och signalstyrkor registrerades i de fasta radiomottagarna). Ålarnas rörelser jämfördes sedan med signalstyrkekartorna och ett regelverk för analys sattes upp där:

- Ankomst definierades som när ålen passerat en linje 95-310 m uppströms kraftverkskomplexet i Skärblacka (dvs. tappning eller turbiner) och 150-160 m uppströms kraftverkskomplexet Fiskeby (dvs. tappning eller turbiner; Fig. 7).
  - För att flera ankomster ska registreras ska fisken passera uppströms ankomstlinjen.
- Uppehållstider beräknades från ankomst till passage, alternativt ankomst till uppströmspassage förbi ankomstlinjen.
- Passage definierades som fisk registrerad på kraftverksegna nedströms belägna loggrar med en signalstyrka/or som inte är möjlig från en position uppströms.
- Överlevnad efter passage definierades som nedan och tillförlitligheten bedömdes från 1-3 där ett är osäkert och tre är helt säkert (se parenteser):
  - Fisk registrerad på den kraftverksegna nedströms belägen logger att simma nedströms "naturligt" (1).
  - Fisk registrerad på logger efter en uppströmsriktad förflyttning (2).
  - Fisk manuellt platsbestämd som visar på en uppströmsriktad förflyttning (2).
  - Fisk manuellt platsbestämd i en zon nedströms den längst nedströmsbelägna dödsläppsfisken (dvs. zon sex i Skärblacka, zon nio i Fiskeby; Fig. 8.) (2).
  - Ankommit till det nedströms belägna kraftverket (2)
  - Återfångad /upptagen efter passage utan skador (3).
- Besök vid turbinintag och tappning definierades som enligt figur 7.



Figur 7. Avgränsningar av definierade vistelsezoner vid kraftverket i Skärblacka (a.) och Fiskeby (b.) där ankomst registreras när fisken passerat "Ankomst" och besök till tappning respektive turbin.



Figur 8. Zoner nedströms kraftverken Skärblacka (a.) och Fiskeby (b.) Bild modifierad från [www.eniro.se](http://www.eniro.se).

Kraftverkskomplexen Skärblacka och Fiskeby skissades upp i Google Sketch-Up och troligt rörelsemönster hos den märkta fisken noterades vartefter den tillryggalagda sträckan (TS) från ankomst till passage räknades ut (Bilaga 1). För att kvantifiera hur mycket extra distans som fisken simmade mättes även den kortaste vägen till respektive passageväg upp och subtrahering mot den tillryggalagda sträckan beroende av vägval och benämndes extra tillryggalagd sträcka (ETS). Det bör dock understrykas att dessa rörelsemönster är manuella tolkningar av radiotelemetridata och inte nödvändigtvis den faktiska positionen som vid ex. telemetrisk studier med användandet av utrustning från Hydroacoustic technology Inc., USA, där upplösning på positionering är mindre

än en meter. Vår tolkningsmetod har däremot använts vid andra studier av radiomärkt ål (ex. Travade m. fl. 2010; Calles m. fl. 2013). Fiskens beteende klassificerades sedan i fem grupper med fokus på antalet besök vid respektive passageväg (Tabell 2).

*Tabell 2. Definition av beteendegrupper hos radiomärkt ål. Passageväg = tappningsluckor och/eller turbiner.*

| Beteendegrupp | Definition                                                 |
|---------------|------------------------------------------------------------|
| A             | Besök vid en passageväg                                    |
| B             | Besök vid båda passagevägarna                              |
| C             | Flera besök vid passagevägar varav minst en på varje       |
| D             | Ankommit till kraftverket utan att besökt något passageval |
| E             | Aldrig ankommit till kraftverket                           |

Data från ADP-mätningar användes för att skatta strömbilden. Strömlinjefigurerna gjordes i Mathematica ver. 9.01 med hjälp av funktionen ListStreamPlot baserat på resultat från strömhastighetsmätningarna med ADP (Bilaga 2).

#### Partikelspårning

Syftet med att utföra en empirisk partikelspårning var att ta fram en alternativ beräkningsmetod för att skatta mängden ål som förväntas passera via tappning. Den metod som ofta använts i brist på specifikt framtagna passagemodeller för de specifika kraftverken är att beräkna andelen tappning av totalflödet. I flera vetenskapliga studier har det visat sig att andelen av ålarna som passerar via tappning är högre än vad som kan förklaras av andelen tappning. En metod som inte provats hittills är att beräkna förväntad andel passager via tappning genom att göra en empirisk partikelspårning som bygger på att man följer strömriktningarna från utslumpade (eller utvalda) startpunkter längs ett tvärsnitt av vattendraget en sträcka uppströms dammen till dess att spåret når dammen eller kraftverket. En upprepning av dessa beräkningar ett 1000-tal gånger ger sedan underlag för att beräkna proportionen av spår som ledde fram till tappningen av samtliga spår. Den empiriska partikelspårningen kan göras på flera olika sätt, men samtliga kräver ett omfattande underlag av strömhastigheter med givna xyz-koordinater från området. För denna undersökning gjorde strömhastighetsmätningar med hjälp av ADP som monterades på båt och mätningarna gjordes i uppströms riktning i flera mer eller mindre parallella spår (Bilaga 2). Strömhastigheten i varje mätpunkt (cell) var uppdelad i tre komponenter, norr, öster och vertikalt. Ju tätare mellan spåren desto bättre noggrannhet i resultaten från den empiriska partikelspårningen. Helst skulle mätspåren gå tvärs över vattendraget istället för längs med, men av praktiska skäl var inte den varianten möjlig att genomföra när mätningarna genomfördes.

Övriga statistiska analyser utfördes i R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)).

# Resultat

## 1.12 Skärblacka

Av de 40 ålar som släpptes ut uppströms Skärblacka kraftverk registrerades 20 st (50 %) för ankomst. Resterande 20 ålar stannade vid utsättningsplatsen eller simmade uppströms. Tid från utsättning till ankomst varierade från 57 min till 102 dagar. Det var ingen skillnad i kroppslängd, kondition, eller blankålsindex (Pankhurst 1982, Durif 2005, 2009) mellan de som ankom till kraftverket och stannade ( $t$ -test,  $p > 0,05$ ).

Av de 20 ålar som ankom till Skärblacka besökte alla utom en ål turbinen. Denna ål vände om precis efter den definierade ankomstplatsen (beteendegrupp D). Ytterligare en ål vände om och lämnade studieområdet efter att ha besökt båda passagevalen mer än en gång (beteendegrupp C). Av de 18 resterande ålarna, valde fyra att vandra via tappning och 14 via turbinerna. Beteendet hos individerna som vandrade via tappning var alla inom grupp C, vilka hade avsevärt högre tillryggalagd sträcka (totalt: 4,9 km mot grupp A: 0,1 km) samt längre tid från ankomst till passage (Tabell 3 & 4).

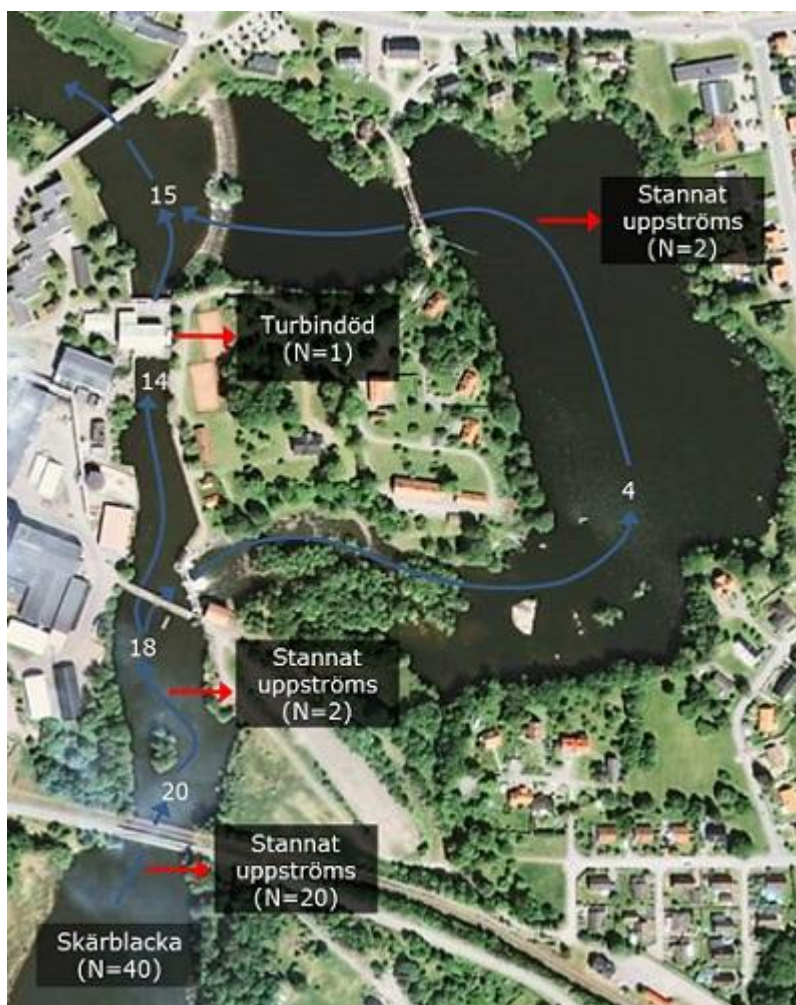
Av de 14 ålar som gick genom turbinen besökte hälften tappningen och hälften endast turbinen (grupp A = sju, grupp B = sju) (Tabell 3 & 4). Totalt ankom sju individer under försökstappning, varav majoriteten (57 %,  $n = 4$ ) passerade via tappningen. En av tappningspassagerna skedde dock under normaldrift och passerade således genom det ständigt öppna röret (Fig. 2). Resterande 13 ålar ankom under normaldrift och tillhörde beteendegrupperna A och B. Trots att inget extra vatten tappades (försökstappning) besökte fyra individer området vid tappningsluckorna. Majoriteten tillhörde dock grupp A, alltså simmade direkt mot turbinerna utan att simma runt och leta. Även de två fiskarna som ankom utan att passera gjorde det under normaldrift.

Av de fyra som simmade ner i tappningsfåran passerade två och två stannade kvar till studiens slut (50 % passageeffektivitet).

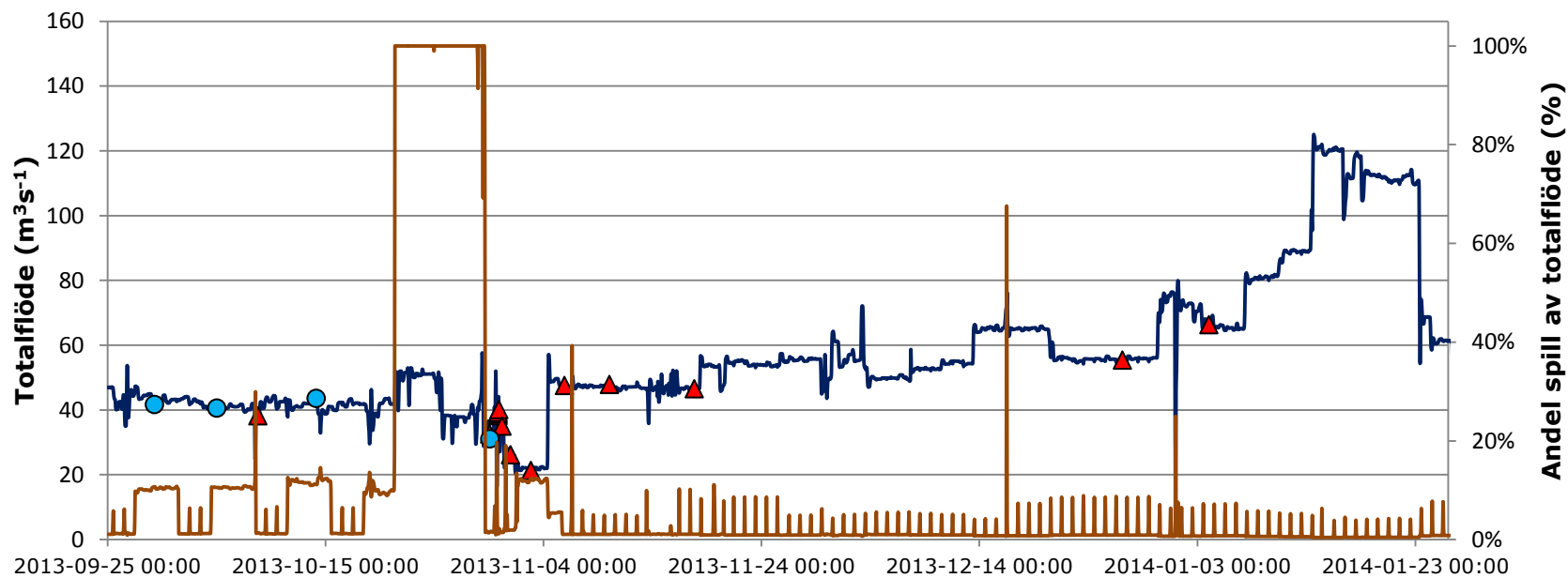
Totalt passerade 14 individer genom turbinerna varav 13 överlevde och en dog (7 % turbininducerad dödlighet). Individens som förolyckades passerade vid turbinkapacitet på 73 % (G2'an) vilket var den högsta kapaciteten under samtliga turbinpassager vid Skärblacka (Bilaga 3).

Passagetiderna dvs. tid från ankomst till passage varierade mellan 2 min till 1,3 dagar.

Av kontrollgruppen nådde 100 % G1an, medan motsvarande siffra för gruppen som sattes ut uppströms Skärblacka var 37,5 % ( $n = 15$ ). Av de totalt 25 ålar som inte framgångsrikt passerade Skärblacka bedömdes en som död och de resterande 24 sannolikt vid liv, men avbröt vandringen.



Figur 9. Vägval och bortfall för den märkta ålen vid Skärblacka kraftverk i Motala ström 2013-2014. Bild modifierad från [www.eniro.se](http://www.eniro.se).



Figur 10. Passager av ålar via tappning (ljusblå prickar) eller turbin (röda trianglar) i förhållande till tid, totalvattenflöde (blå linje) samt andel tappningsvatten av totalflödet (brun linje) vid Skärblacks kraftverk mellan 2013-09-25 och 2014-01-25. Vissa prickar och trianglar överlappar vilket medför att antal passager är fler än det som syns i figuren (se texten för detaljer).

Tabell 3. Antal individer i varje beteendegrupp samt dess passageframgång (PF), vägval, uppehållstid (från ankomst till passage), tillryggalagd sträcka (TS), extra tillryggalagd sträcka (ETS, differens mot kortaste vägen) under sista ankomsten och överlevnad för fisk som ankommit till Skärblacka. Se texten för definition av beteendegrupp

| Beteende<br>grupp | Antal<br>(n) | PF<br>(n) | Vägval (N) |          | Upphållstid<br>(median, hh:min) | Min-max<br>(hh:min) | TS (m) | ETS<br>(m) | Överlevnad<br>(n) |
|-------------------|--------------|-----------|------------|----------|---------------------------------|---------------------|--------|------------|-------------------|
|                   |              |           | Turbin     | Tappning |                                 |                     |        |            |                   |
| A                 | 7            | 7         | 7          | 0        | 00:09                           | 00:02-00:53         | 2277   | 107        | 6                 |
| B                 | 7            | 7         | 7          | 0        | 00:12                           | 00:06-00:22         | 2378   | 208        | 7                 |
| C                 | 5            | 4         | 0          | 4        | 03:02                           | 00:30-32:00         | 5279   | 4899       | 5                 |
| D                 | 1            | 0         | 0          | 0        | 00:40                           | NA                  | 126    | 126        | 1                 |
| E                 | 20           | 0         | 0          | 0        | NA                              | NA                  | 0      | 0          | 20                |

Tabell 4. Antal individer i varje vägval beroende av normaldrift eller tappning vid ankomst samt uppehållstid från ankomst till passage, tillryggalagd sträcka (TS), extra tillryggalagd sträcka (ETS, differens mot kortaste vägen) under sista ankomsten och överlevnad för fisk efter passage förbi Skärblacka.

| Drift    | Vägval (n) |              |      | Upphållstid<br>(median, hh:min) | Min-max<br>(hh:min) | TS<br>(m) | ETS<br>(m) | Överlevnad<br>(%) | Beteende<br>grupp |
|----------|------------|--------------|------|---------------------------------|---------------------|-----------|------------|-------------------|-------------------|
|          | Turb<br>in | Tapp<br>ning | Vänt |                                 |                     |           |            |                   |                   |
| Normal   | 11         |              |      | 00:09                           | 00:02-00:52         | 3588      | 178        | 100%              | 6A, 4B            |
|          |            | 0            |      | NA                              | NA                  | NA        | NA         | NA                | -                 |
|          |            |              | 2    | 00:35                           | 00:30-00:40         | 655       | 655        | 100%              | C,D               |
| Tappning | 3          |              |      | 00:12                           | 00:10-00:22         | 1067      | 137        | 67%               | A,2B              |
|          |            | 4            |      | 09:29                           | 01:46-32:00         | 4750      | 4370       | 100%              | 4C                |
|          |            |              | 0    | NA                              | NA                  | NA        | NA         | NA                |                   |

### 1.13 Fiskeby

Av de 40 ålar som släpptes ut uppströms Fiskeby kraftverk registrerades 17 st (43 %) för ankomst under studieperioden. Resterande 23 ålar stannade vid utsättningsplatsen eller simmade uppströms. Ytterligare tre ålar från utsättningsplatser uppströms Skärblacka ankom till Fiskeby under studieperioden. Tid från utsättning uppströms Fiskeby till ankomst varierade mellan 1 h 11 min och 47 dagar. För de ålar som var utsatta uppströms Skärblacka tog det 20-55 dagar från utsättning till ankomst Fiskeby. Det var ingen skillnad i kroppslängd, kondition, eller blankålsindex (Pankhurst 1982, Durif 2005,

2009) mellan de som ankom till kraftverket och stannade uppströms (t-test,  $p > 0,05$ ).

Av de totalt 20 radiomärkta ålar som ankom till Fiskeby valde tre att inte passera och vände uppströms, tre valde tappningsluckorna och 14 passerade genom kraftverkets turbiner (Fig. 11). De fiskar som vände uppströms var, till skillnad från Skärblacka, samtliga framme vid minst en passageväg (beteendegrupp A, B och C; Bilaga 1). Uppehållstid samt tillryggalagd sträcka var störst hos beteendegrupp C med två av tre tappningspassager inkluderade i denna grupp (Tabell 5.).

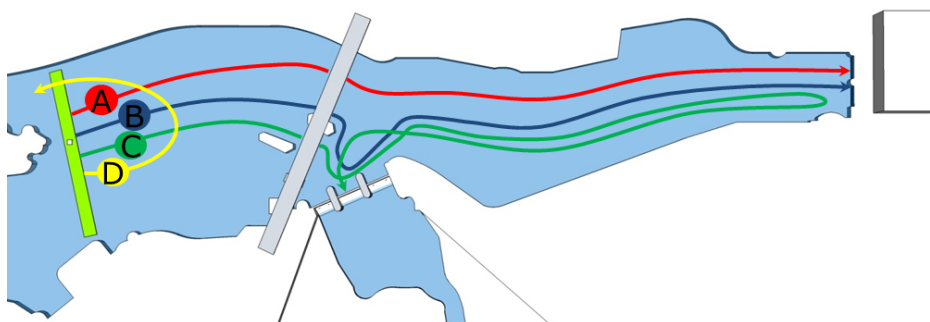
Av de 14 ålar som passerade genom turbinerna besökte fyra tappningsområdet (Fig. 7) men endast en då vatten tappades (dvs. under försökstappning). De övriga tio besökte endast turbinerna (grupp A). Av de ålar som valde tappningsvägen besökte två även turbinerna.

Totalt ankom nio individer under försökstappning, varav en vände om uppströms efter att ha besökt både tappning och turbin. Tre av åtta ålar (38 %) som passerade gick genom tappningsluckorna.

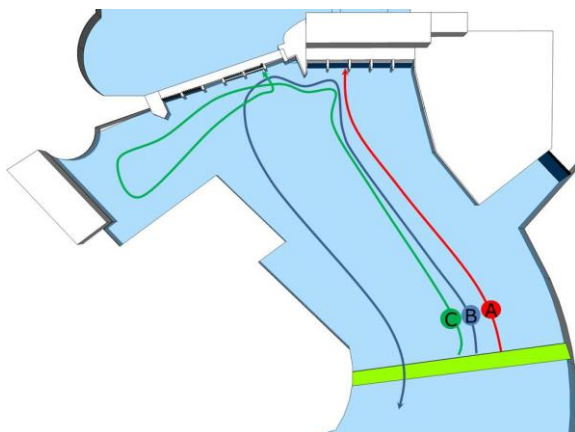
Totalt passerade 14 individer genom turbinerna varav 11 överlevde och tre dog (21 % turbininducerad dödlighet). Om man räknar samtliga individer som passerade kraftverket var dödligheten 18 %

Tiden från ankomst till passage varierade mellan 3 min till 89 dagar.

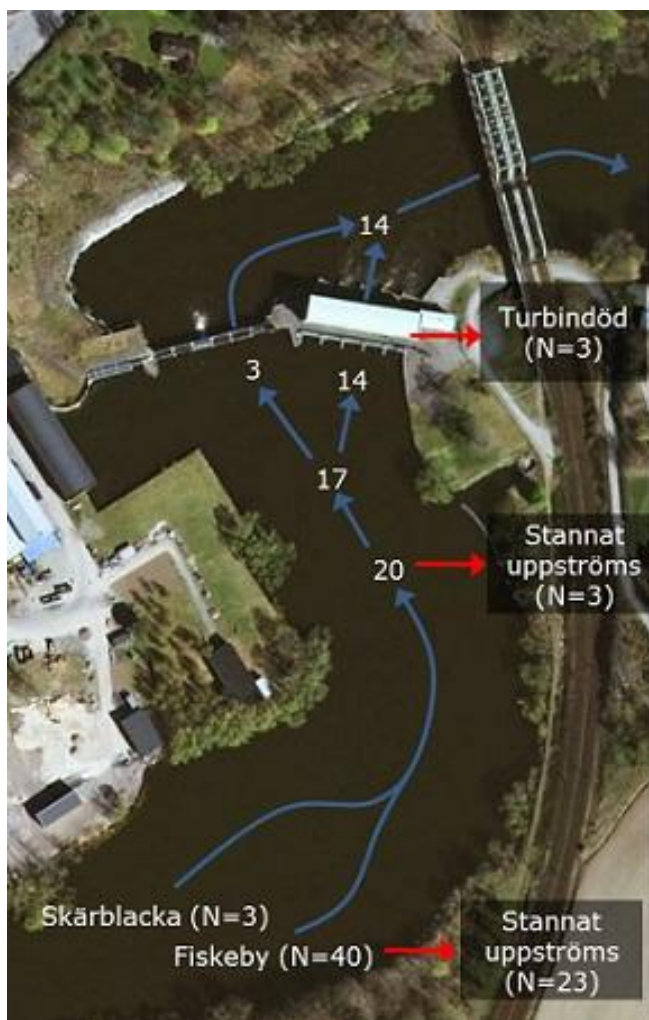
I kontrollgruppen lämnade 70 % utsättningsplatsen och vandrande nedströms. Motsvarande siffra för gruppen som sattes ut uppströms och vandrade vidare nedströms Fiskeby var 30 % ( $n = 12$ ). Av de totalt 28 ålar som inte framgångsrikt passerade Fiskeby bedömdes tre vara döda och de resterande 25 sannolikt vid liv, men avbröt vandringen.



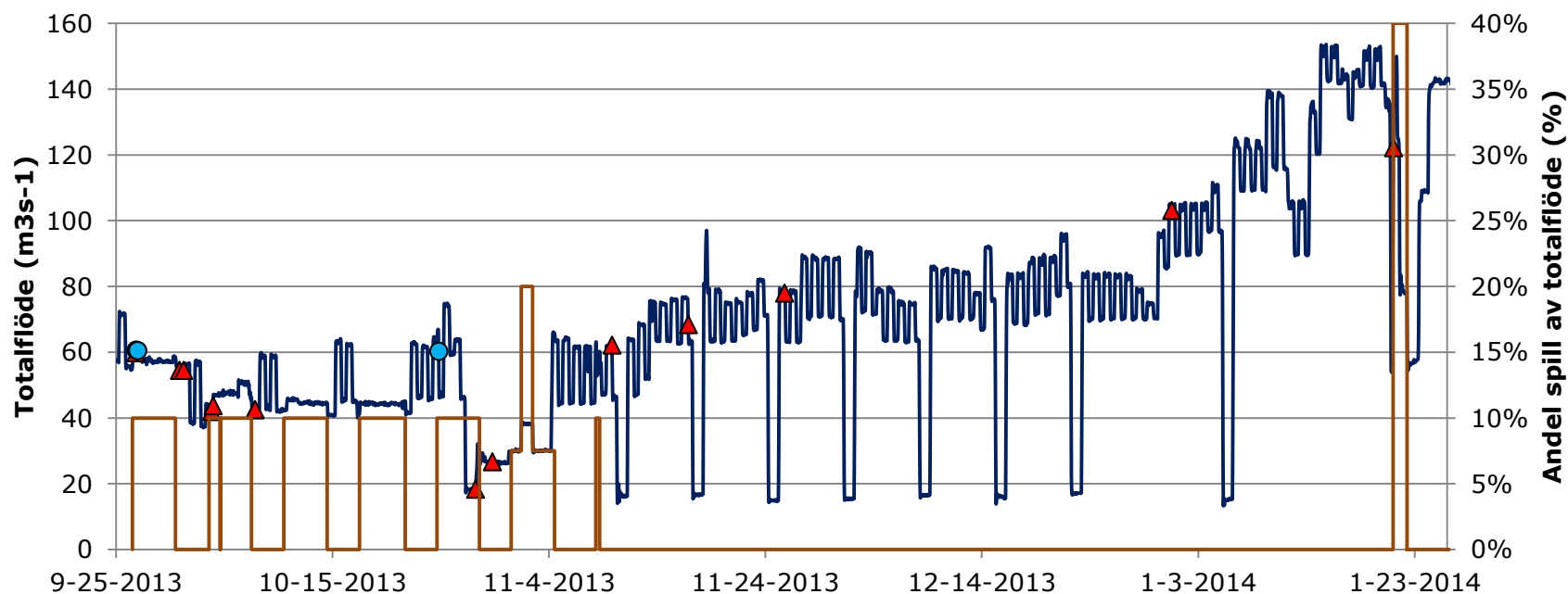
Figur 11. Identifierade beteendegrupper: A, B, C, D och inom grupperna det mest förekommande rörelsemönstret vid ankomst till Skärblackas passagevägar.



Figur 12. Identifierade beteendegrupper: A, B, C och inom grupperna det mest förekommande rörelsemönstret vid ankomst till Fiskebys passagevägar. Beteendegrupp D förekom ej.



Figur 13. Vägval och bortfall för den märkta ålen vid Fiskeby kraftverk i Motala ström 2013-2014. Bild modifierad från [www.eniro.se](http://www.eniro.se).



Figur 14. Passager av ålar via tappning (ljusblå prickar) eller turbin(röda trianglar) i förhållande till totalvattenflöde (blå linje) samt andel tappningsvatten av totalflödet (brun linje) vid Fiskeby mellan 2013-09-25 och 2014-01-25. Vissa prickar och trianglar överlappar vilket medför att antal passager är fler än det som syns i figuren (se texten för detaljer).

Tabell 5. Antal individer i varje beteendegrupp samt dess passageframgång (PF), vägval, uppehållstid (från ankomst till passage), tillryggalagd sträcka (TS), extra tillryggalagd sträcka (ETS, differens mot kortaste vägen) under sista ankomsten och överlevnad för fisk som ankommit till Skärblacka. Se texten för definition av beteendegrupp.

| Beteende<br>grupp | Antal<br>(N) | PF<br>(N) | Vägval (N) |              | Uppehållstid<br>(median,<br>hh:min) | Min-max<br>(hh:min) | TS<br>(m) | ETS<br>(m) | Över-<br>levnad<br>(N) |
|-------------------|--------------|-----------|------------|--------------|-------------------------------------|---------------------|-----------|------------|------------------------|
|                   |              |           | Tur<br>bin | Tapp<br>ning |                                     |                     |           |            |                        |
| A                 | 12           | 11        | 10         | 1            | 00:06                               | 00:03-00:25         | 2040      | 380        | 9                      |
| B                 | 1            | 0         | 0          | 0            | 00:20                               | 00:20               | 344       | 344        | 1                      |
| C                 | 7            | 6         | 4          | 2            | 15:55                               | 01:07-<br>2129:40   | 6735      | 581<br>5   | 7                      |
| D                 | 0            | 0         | 0          | 0            | NA                                  | NA                  | NA        | NA         | 0                      |
| E                 | 23           | 0         | 0          | 0            | NA                                  | NA                  | NA        | NA         | 23                     |

Tabell 6. Antal individer i varje vägval beroende av normaldrift eller tappning vid ankomst samt uppehållstid (från ankomst till passage), tillryggalagd sträcka (TS), extra tillryggalagd sträcka (ETS, differens mot kortaste vägen) under sista ankomsten och överlevnad för fisk efter passage förbi Fiskeby.

| Drift         | Vägval (N) |              |           | Uppehållstid<br>(median,<br>hh:min) | Min-max<br>(hh:min) | TS<br>(m) | ETS<br>(m) | Över-<br>levnad<br>(%) | Beteen-<br>de<br>grupp |
|---------------|------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------|-----------|------------|------------------------|------------------------|
|               | Tur<br>bin | Tapp<br>ning | Vän-<br>t |                                     |                     |           |            |                        |                        |
| Normal        | 9          |              |           | 00:11                               | 00:03-<br>564:09    | 2443      | 1093       | 89%                    | 6A,3C                  |
|               |            | 0            |           | NA                                  | NA                  | NA        | NA         | NA                     | -                      |
| Tapp-<br>ning | 5          |              | 2         | 00:44                               | 00:03-<br>01:26     | 727       | 727        | 100%                   | A,C                    |
|               |            |              |           | 00:08                               | 00:03-<br>2129:40   | 3110      | 2360       | 60%                    | 4A,C                   |
|               |            | 3            |           | 04:42                               | 00:07-<br>671:28    | 2494      | 2014       | 100%                   | A,2C                   |
|               |            |              | 1         | 00:20                               | 00:20               | 344       | 344        | 100%                   | B                      |

### 1.14 Holmen

Totalt nio ålar ankom till Holmen och samtliga passerade. Tid mellan utsläpp Skärblacka till ankomst Holmen var 57 till 112 dagar. För de som släpptes ut vid Fiskeby tog det mellan 5 h 49 min och 47 dagar till ankomst. Tre av de ålar som anlände till Holmen tog tappningsvägen och sex av dem tog turbinvägen (Figur 15). Passagetiderna i Holmen varierade mellan 52 sek till nio dagar. Spårning av radiomärkt ål var inte möjlig nedströms Holmens kraftverk, eftersom radiosignaler försvinner i bräckt vatten. Bräckt vatten kan

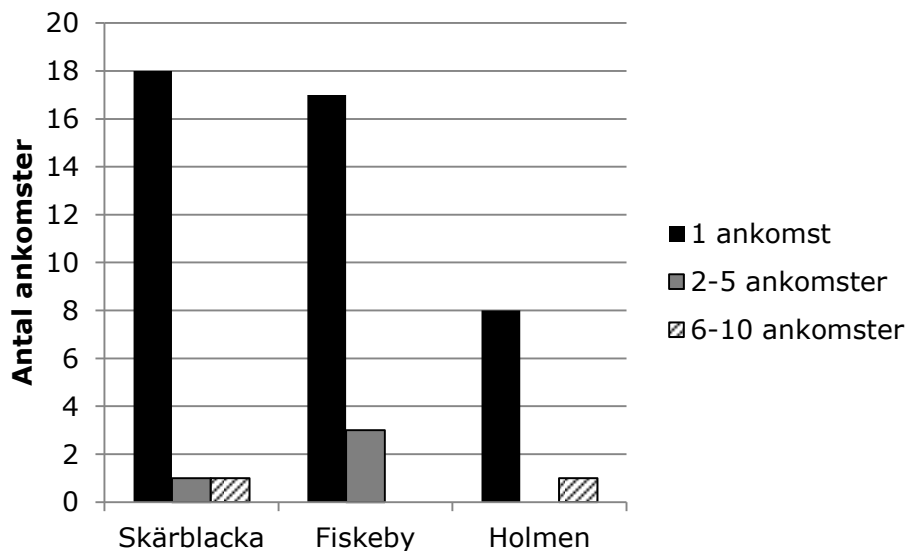
nå högt upp mot utloppet av Holmens kraftverk och det går således inte att följa upp överlevnad efter passage. Det är alltså inte klarlagt hur många av våra radiomärkta ålar som har överlevt och simmat vidare ut i Östersjön.



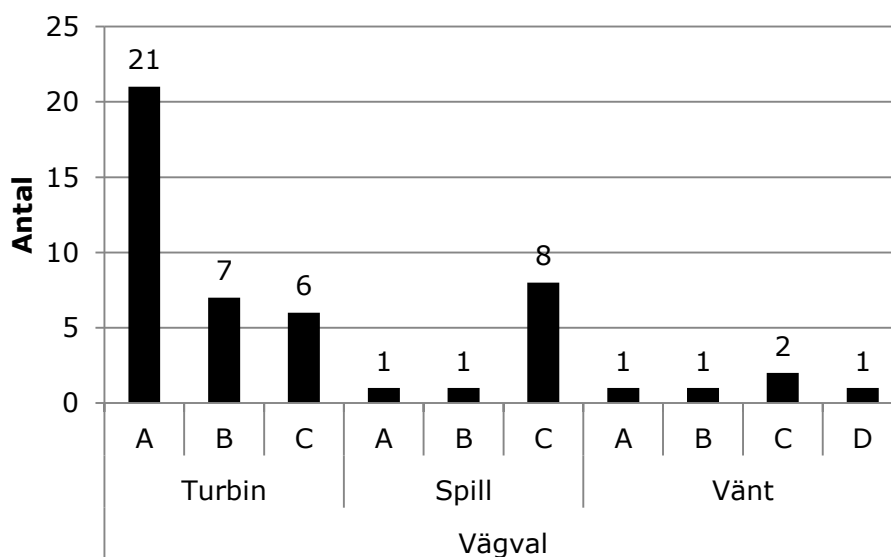
Figur 15. Vägval för nedströmsvandrande radiomärkt blankål vid Holmen kraftverk i Motala ström 2013-2014. Bild modifierad från [www.eniro.se](http://www.eniro.se).

### 1.15 Resultat över alla kraftverk

Den största andelen som ankom till ett kraftverk gjorde endast en ankomst och den med flest ankomster ankom nio gånger (Fig. 16). Den mest förekommande bettendegruppen vid ankomst till kraftverken var A, alltså passerade vid det vägvalet den först kom till vilket oftast var turbinen (Fig. 17). Den mest förekommande beteendegruppen hos fisken som valde att passera via tappningen var grupp C (Fig. 17.).

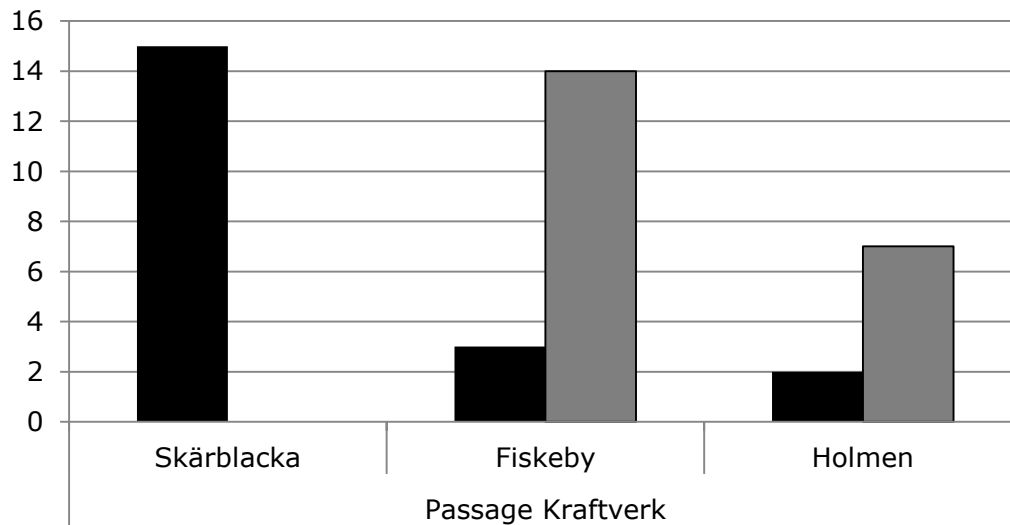


Figur 16. Antal ankomster till Skärblacka, Fiskeby och Holmen samt medelantal.



Figur 17. Beteendegrupper vid ankomst till samtliga kraftverk i relation till vilket vägval fisken gjorde. Se text för definitioner av beteendegrupper.

Av de 40 ålar som släpptes ut uppströms Skärblacka kraftverk passerade 15 vidare från Skärblacka, tre passerade Fiskeby och två passerade Holmen (Fig. 18). Av de 40 ålar som släpptes ut uppströms Fiskeby passerade 14 st Fiskeby och sju passerade Holmen (Fig. 18). Av alla passager förbi kraftverken när försökstappning fanns passerade totalt sex (43 %) fiskar via tappningen och åtta (57 %) via turbinen. Passager av fisk under normaldrift var vid Skärblacka och Fiskeby en (5 %) via tappningen och resterande 20 (95 %) via turbinen. Inkluderas även Holmen blir motsvarande siffror under



Figur 18. Antal ålar som passerat Skärblacka, Fiskeby och Holmen beroende av utsättningsplats; Uppströms Skärblacka (svart stapel) och Fiskeby (grå stapel).

normaldrift fyra (13 %) via tappningen och resterande 26 (87 %) via turbiner. Noterbart är även att ankomster som resulterade i att fisken vände upp igen och inte passerade senare förekom hos fyra ålar under normaldrift och endast en gång under tappning.

### 1.16 Modellvalidering - Observerad och beräknad överlevnad

För en rättvisande jämförelse mellan observerad och beräknad passageöverlevnad måste resultaten från samtliga passager jämföras simultant eftersom varje enskild passage endast kan resultera i två distinkta utfall medan modellen ger en sannolikhet mellan 0 och 1. Genom att beräkna sannolikheten för överlevnad för de specifika flödesförhållanden som gällde vid varje turbinpassage och sedan slumpa överlevnaden från en binomialfördelning erhålls förväntat antal överlevande. Denna slumpning upprepades 10 000 gånger (Monte Carlo simulering) för passagera i Skärblacka respektive i Fiskeby varefter resultaten sammanställdes och jämfördes med observerad överlevnad (Bilaga 3, Bilaga 5).

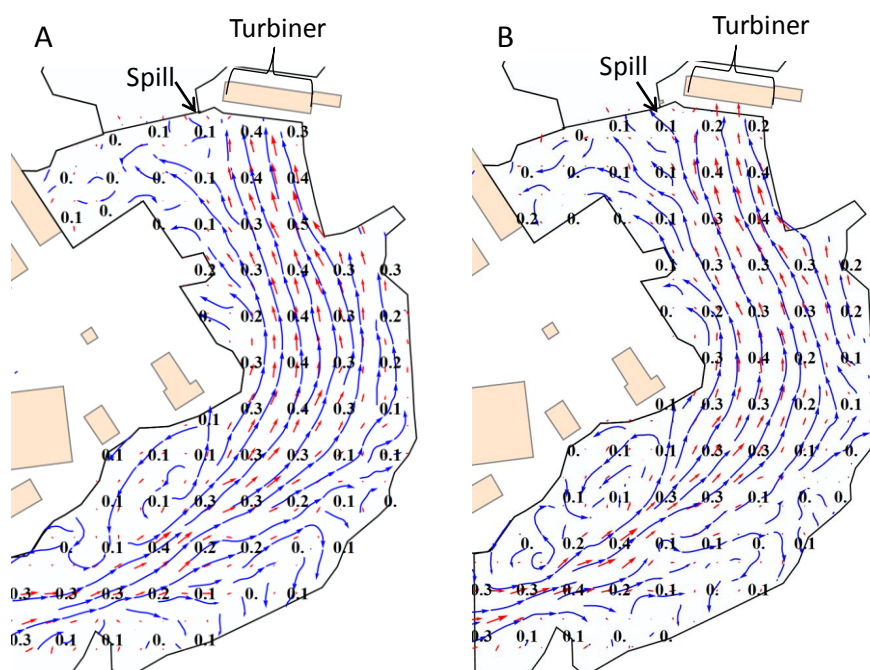
Den observerade överlevnaden för de 14 ålar som passerade turbinerna i Skärblacka var högre än den beräknade, 93 mot 43 % (95 % konfidensintervall; 21-71 %). Även överlevnaden i samband med ålpassagera i Fiskeby var något högre än beräknad, 79 mot 57 %, dock inom ramen för den beräknade osäkerheten; 29-79 %. Notera att storleken på konfidensintervallet inte enbart beror på osäkerheten i beräkningarna. De beror till även på det låga antalet observationer i kombination med att överlevnaden var intermediär.

## 1.17 Miljöparametrar

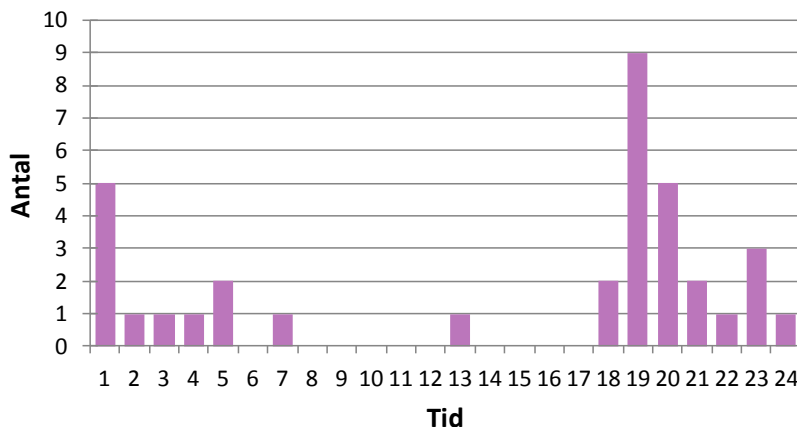
Vandringen in mot kraftverken skedde vid en varierande vattenföring. Vattenföring genom turbin och andel via tappning (data från Tekniska verken och Vattenfall) under studieperioden visas i figur 10 och 14. Strömförhållanden under tappning illustreras i för både ytan och botten (Fig. 19). Relativt sett större storlek på av röda pilar i figurerna visar var den högsta strömhastigheten finns.

Analys med partikelspårning för Fiskeby visade att de spår som påbörjades längs tvärsnittet över vattendraget ca 270 m uppströms dammen ledde i 73 % av fallen ( $n = 500$ ) till området till vänster om turbinintagen, dvs. mot dammen med tappningen. Resultatet var likartat när spårerna påbörjades ca 160 m uppströms dammen, med 74 % av spårerna som slutade mot dammen ( $n = 500$ ) (Bilaga 2).

Ålarna passerade kraftverken, både via tappning och via turbiner, under kväll och natt med ytterst få undantag. Endast två ålar passerade mellan klockan sex på morgonen och sex på kvällen (Fig. 20). Passagerna sträcker sig från september till januari, vilket innebär att tidpunkten för gryning- och skymning hinner ändras ganska mycket. Data från ljusloggrar jämfördes därför med passagetider vilket visade att endast en ål passerade när det var ljust.

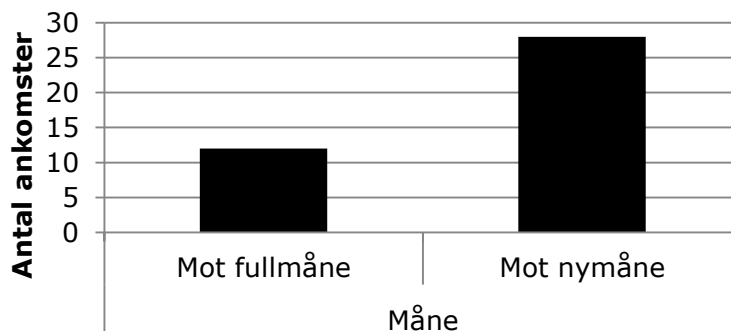


Figur 19. Strömlinjer (blå) och hastighetsvektorer (röda) vid 10 % tappning den 17 juni 2014 ( $45 \text{ m}^3/\text{s}$  totalflöde) vid Fiskeby, Motala ström. Siffrorna anger medelströmhastigheten (m/s) i respektive punkt. A) visar resultat från de översta 2 m och B) för de nedersta 2 m i vattenpelaren.



Figur 20. Antal passager av ål i förhållande till tiden på dygnet (1–24 = kl: 00:00–24:00).

Ankomsterna till Fiskeby och Skärblacka i relation till månen visade att det ankom mer än dubbelt så många när månen går mot nymåne jämfört med när månen går mot fullmåne (Fig. 21).



Figur 21. Antal ankomster beroende av om månen går mot fullmåne eller nymåne

### 1.18 Återfångster och fångster efter studiens slut

Efter avslutat försök har en av de radiomärka ålarna som sattes ut och passerade Skärblacka, en ål som sattes ut nedströms Skärblacka samt fem ålar som sattes ut uppströms Fiskeby, återfångats i sjön Glan av yrkesfiskaren Johan Axelsson den 5/5, 1/6, 20/7 och 5/8 2014 (Bilaga 4). Dessa ålar var alla i god kondition och utan yttre skador vilket bekräftade överlevnaden av passage genom turbinen i Skärblacka, samt upp- och nedströmsvandring till Glan. Samtliga radiomärkta återfångade ålar avlägsnades från sina sändare och ingick därefter i befintlig T&T. Ytterligare fångster av ål gav intressanta observationer. Två ålar som fångades den 15/5 ca 10 km från Motala ströms mynning i Glan, var kraftigt turbinskadade men vid liv (Bilaga 6). Stora delar av stjärten var bortkapade och de var delvis nedbrutna. Trots detta hade de alltså vandrat långt ut i sjön. Denna observation är en signal om att den fördröjda dödligheten vid kraftverkspassage kan vara större än vad vi kunnat påvisa i vår radiotelemetristudie.

## Slutsatser och diskussion

### *Vägval och beteende*

Den viktigaste slutsatsen från denna studie är att ålar som närmade sig kraftverk med alternativa vandringsvägar (tappningar), aktivt valde att vandra dessa vägar. Att endast en ål vandrade via tappning när inget extra vatten tappades indikerar att det krävs extra tappning för att ål ska passera den vägen. En tappning på 10 % av totalflödet innebar att nära hälften av ålarna valde den vägen, en ökning av tappningspassage med nära 8 gånger (5 till 43 %). Av de ålar som hade möjlighet att välja tappningsvägen, dvs. ankom till kraftverken under tid för tappning, var andelen som valde tappning i likhet med andra studier. Travade m. fl. (2010) indikerade att mer än 50 % av fisken tenderar att välja tappningsvägen redan vid 10 % tappningsvatten, givet att ålen är relativt stor. Det verkar dock variera mellan vattendrag och kraftverk och andelen kan vara betydligt mindre på vissa platser (Baran m. fl. 2012). Den absoluta majoriteten i vår studie vandrade trots allt genom kraftverkens turbiner, men för de flesta av dessa ålar fanns alltså ingen annan väg att gå vid tiden för dess ankomst till kraftverken.

Intressant att notera i Skärblacka var en grupp om sex ålar som vandrade relativt nära varandra tidsmässigt. En liten flödeshöjning samt en försvinnande måne (28 %) noterades i samband med denna passageväg. Tyvärr fanns inget tappning denna tid så samtliga vandrade genom turbinerna.

Vi noterade en stor variation av tiden från utsättning till ankomst. Ålarna sattes ut i en relativt lugnflytande del och det jämna vattenflödet kan ha bidragit till ålarnas utdragna vandring. Även Travade m.fl. (2010) såg ett sådant mönster från några timmar till veckor från frisläppning till vandring, där flödesförändring inducerade vandringen.

Väl vid ankomst vandrade de flesta ålarna snabbt fram till turbinerna och gick genom dessa. Vid Skärblacka noterades hälften av ålarna som passerade via turbinerna enbart den vägen (beteendegrupp A), dvs. de var aldrig framme vid tappning-luckorna, vilket kan förklaras av att det inte tappades tiden de passerade utom för en ål. Däremot, hade samtliga ålar som vandrat via tappning besökt även turbinintagen och vandrat mellan dessa (beteendegrupp C) och till slut förbi genom tappningsvägen. Det var tydligt att grupp C använde längre tid att söka sin väg genom tappning. De var mer försiktiga och i likhet med Travade m. fl. (2010) som också delade in ål i beteendegrupper var de med exploateringsbeteende större än övriga ålar.

Däremot slumpade det sig så att de stora ålarna var de enda som vandrade ner när det fanns möjlighet att gå via tappning, alltså är det svårt att dra slutsatser av detta resultat. Det är dock troligen så att stor ål har enklare att vända om, undvika att dras ner i turbiner, än liten ål. Travade m.fl. (2010) såg att ålar som vände och sökte var större än ål som direkt passerade kraftverk, och de kunde även se ett samband där ökad storlek även ökade

chansen att vandra via tappning. Även Calles och Bergdahl (2010) noterade ålar med olika beteende. Majoriteten av besök vid galler i deras studie vände uppströms.

#### *Mortalitet och modellvalidering*

Studien visade på en total överlevnad om ca 94 och 82 % förbi kraftverken Skärblacka respektive Fiskeby. Vissa ålar passerade via försökstappningarna och samtliga "tappningsålar" överlevde passagen, vilket innebär att den totala överlevnaden troligen varit lägre om inget försökstapp funnits.

Den inducerade turbindödligheten för respektive kraftverk var lägre än förväntat enligt det modellverktyg som Leonardsson (2012) tog fram. I Skärblacka var överlevnaden mycket hög, hela 93 %, medan den i Fiskeby låg precis inom felmarginalen jämfört med modellens prediktering på 79 %. En förklaring till att våra observerade resultat inte överensstämmer med modellen kan vara att modellen inte helt hanterar "svaga träffar". Svaga träffar kan leda till fördröjd dödlighet som inte kunnat fastställas i denna studie. Ålar som överlevt passage kan ha blivit skadade när de passerat genom turbinerna vilket bland annat kan orsaka brott på ryggrad samt avhuggning av bakdelen, vilket även möjliggjort rörelser efter passage. Vi observerade skadeexempel med avslagna stjärtar så långt ned som 10 km från Motala ströms mynning i sjön Glan.

Andra förklaringar till att modellen underskattar överlevnad kan vara att den är parameteriserad med data som antar att ålar passerar nära turbinens mitt, där avståndet mellan turbinbladen är mindre än i turbinens ytterkant. Det är inte klarlagt hur ålar passerar genom turbiner, de kan exempelvis passera ihopdragna, och eftersom modellen baseras på ålens längd kan det bidra till överskattning av dödligheten. Om man vill använda data till att parameterisera om modellen bör ålar släppas i flera storleksgrupper genom turbiner vid olika flöden och drift, och sedan fångas upp för att studera effekter. Dessutom skulle det vara önskvärt att på något sätt filma inne i turbinen för att veta hur och var i turbinen ålen passerar. För denna studie var vandringsbeteende och vägval en viktig del, därför gjordes inte detta här.

Det finns även en osäkerhet i observationer i sig, och i antalet ålar i studien som passerade genom turbinen. Om man till exempel antar att i Skärblacka är två ålar som dog istället för en, ökar det binominala konfidensintervallet för antalet (två av 14) så att det överlappar med modellens prediktering. Med andra ord, osäkerheter och antal gör att det är svårt att dra säkra slutsatser om modellens resultat jämfört med våra observationer, även om det för Skärblacka är en betydligt högre överlevnad hos de radiomärkta ålarna än enligt modellen.

På grund av den fördröjda dödligheten är det svårt att fastställa det totala antalet ålar som överlevt kraftverken och vidare nått ut till havet. Det gick inte att följa ålar nedströms Holmen/Bergsbrons på grund av avsaknad av radiodetektion där bräckvattenintrång förekommer (eftersom radiovågorna inte kan propagera). Det är dock mycket osannolikt att ålar som är kraftigt skadade kan ta sig hela vägen till Sargassohavet, en vandring på mer än 7500 kilometer.

*Ålars vandring och miljöfaktorer*

Som förväntat var ålen aktiv under dygnets mörkare timmar. Samtliga passager utom en skedde mellan klockan sex på morgonen och sex på kvällen, och endast en ål vandrade när ljusintensiteten var hög. Det är väl känt att ålen är nattaktiv och andra studier (ex. Travade m.fl. 2010) har noterat passager företrädesvis nattetid. Det är trots allt en viktig observation, eftersom en tappning endast kvälls- och nattetid bör innebära att de flesta ålar ges alternativa passagevägar. En stor del av passagera förbi kraftverken skedde under avtagande måne. Även månfasen är något som man kan ta hänsyn till vid eventuella tappningar för att öka chansen att ålar passerar den vägen.

Vad gäller ålars passage och strömbilden så föreslår partikelspårningen att drygt 70 % av ålarna i Fiskeby bör hamna i närheten av tappningen om de följer bottenströmmarna. Detta är betydligt högre än de 10 % som tappades och kan delvis förklara att 38 % av ålarna som passerade vid tappning valde den vägen, alltså betydligt mer än 10 %.

Att inte mer än knappt hälften av ålarna vandrat nedströms till kraftverken kan bero på att hösten har varit riktigt torr med låga flöden. Höga och ökande flöden har visats motivera ålar att vandra (ex. Acau m.fl. 2008, Travade m.fl. 2010). De kontrollålar som sattes ut nedströms kraftverken vandrade till hög andel nedströms (100 och 70 %), vilket möjligen kan förklaras av de hydrauliska förhållanden som skiljde sig från uppströms, dvs. lägre flödes hastighet uppströms.

Även tidigare studier har visat att vandringsbenägenheten hos ål kan variera, och att det inte är lätt att förutsäga ålars vandringsbeteende även om de fångats under vandring. Vid en studie i Meuse, Belgien, vandrade endast hälften av radiomärkta och utsatta blankålar (Verbiest m. fl. 2012), och i Mörrumsån 2012 vandrade endast 27 % under samma säsong som de märktes (Karlsson m. fl. in press). Andra studier visar en nedströmsvandring av de flesta radiomärkta ålar (Calles och Bergdahl 2010), medan för vissa studier framgår inte hur stor andel av märkt ål som vandrat (Travade m.fl. 2010).

Våra ålar fångades av yrkesfiskare i sjöarna Roxen och Glan. De var vandringsålar, blankål, och enligt de index som finns för bedöma ålars vandringsbenägenhet var samtliga blankålar, dvs. skiljde sig inte från andra vandrande ålar. Under 2013 utfördes Trap&Transport (fångst och transport till havet) i Roxen och Glan (Wickström 2014). Här utfördes en utökad kvalitetskontroll av 171 ålar, vilka även jämfördes med ett stort underlag av blankålsindex från hela Sverige. Slutsatsen var att upp mot 98 % var blankål i god kondition. Det är därför lite svårt att förklara varför endast hälften av de radiomärkta ålarna i denna studie vandrade nedströms till kraftverken.

*Rekommendationer*

Vi visar här att tappning av vatten så att alternativa vandringsvägar skapas kan fungera som hjälp för ålar att passera vattenkraftverk oskadda. En relativt litet tappning har i denna studie visat kunna vara en effektiv åtgärd.

Man kan med fördel samordna tappning med när ålen mest sannolikt vandrar, vilket ofta beror av vattenflöde, säsong och månfas. Det finns även en möjlighet att erbjuda tappning enbart nattetid eftersom ålen då är aktiv.

Det hade troligen varit bra för denna och andra studier av detta slag att pågå under flera vandrings säsonger då risken för missgynnande väder och flödesförhållanden minskar. Studier kan även startas upp tidigare innan vandrings säsongens början. Detta kan även lindra eventuell påverkan av fångst, märkning och flytt av ålar. Denna studie fördröjdes på grund av administrativa orsaker i relation till finansiering, samt problem med leveranstider för telemetriutrustning. Vi förlängde studietiden till en vårsäsong, men eftersom detta inte var planerat från början kunde ålarna (på grund av sändarnas batterikapacitet) inte följas så länge som önskat.

En väg framåt vad gäller utveckling av modellverktyget kunde vara att lägga till en ytterligare komponent om vägval som baseras på simuleringar av partikelspårning när alternativa vandringsvägar finns. Även om det i skrivande stund inte är helt utvärderat så är resultaten lovande. En sådan simulering borde ge mer än bara vetskapen om det faktiska förhållandet mellan tappning och totalflöde.

#### *Erkännanden*

Studien finansierades av programmet "Krafttag ål" som är ett samarbete mellan vattenkraftföretag via ELFORSK och Havs- och vattenmyndigheten. Ett speciellt tack till Tekniska Verken, Vattenfall, Norrköpings Vatten och Fiskeby Board för information och hjälp under studien. Ett tack till övriga personer som hjälpt till; Joe Wastie, Johan Axelsson, Anders Nilsson, Emma Björkvik, Niklas Sjöberg, Arne Fjälling, Willem Dekker och Peter Rivinoja.

## Referenser

Acou A., Laffaille P., Legault A. & Feunteun E. 2008. Migration pattern of silver eel (*Anguilla anguilla*, L.) in an obstructed river system. *Ecology of Freshwater Fish*, 17, 432-442.

Anonymous 2008 Förvaltningsplan för ål. Bilaga till regeringsbeslut 2008-12-11 Nr 21 2008-12-09 Jo2008/3901 Jordbruksdepartementet. 62 pp.

Baran, P., Basilico, L., Larinier, M., Rigaud, C. & Travade, F. 2012. Optimising the design and management of installations. Symposium on the results of the eels & installations R&D programme 28-29 november 2011, Paris. ISBN: 979-10-91047-10-4.

Calles O. & D. Bergdahl. 2009. Ålens nedströmspassage av vattenkraftverk. Forskningsrapport, Karlstad University Studies 2009:19, Universitetsstryckeriet, Karlstad.

Calles O, Christiansson J. 2012. Ålens möjlighet till passage av kraftverk - En kunskapssammanställning för vattendrag prioriterade i den svenska ålförvaltningsplanen samt exempel från litteraturen Elforsk rapport 12:37. 57 sidor.

Calles O, Karlsson S, Vezza P, Comoglio C, Tielman J. 2013. Success of a low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant. *Freshwater Biology*. 58: 2168-2179 sidor.

Calles O, Karlsson S, Vezza P, Comoglio C, Tielman J. 2013b. Success of a low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant. *Freshwater Biology*. 58: 2168-2179.

Calles O, Olsson IC, Comoglio C, Kemp PS, Blunden L, Schmitz M, Greenberg LA. 2010. Size-dependent mortality of migratory silver eels at a hydropower plant, and implications for escapement to the sea. *Freshwater Biology*. 55: 2167-2180 sidor.

Calles, O., Christiansson, J., Andersson, J.-O., Karlsson, S., Wickström, H. & Östergren, J. Tekniska lösningars tillämpbarhet för förbättrad nedströms passage för ål - Applicerat på Göta älv och Motala ström Elforsk rapport 14:xx

Dekker W. & Beaulaton L. (in prep.) Faire mieux que la nature - the history of eel restocking in Europe. To be submitted to 'Environment and History'.

Dekker, W., Wickström, H. & Andersson, J. (2011). Ålbeståndets status i Sverige 2011. Aqua reports 2011:1. Sveriges lantbruksuniversitet, Drottningholm. 78 s.

Dekker, W., Wickström, H. & Andersson, J. (2011). Status of the eel stock in Sweden in 2011. Aqua reports 2011:2. Swedish University of Agricultural Sciences, Drottningholm. 66 + 10 pp.

Durif, C., Dufour, S. & Elie, P. (2005). The silvering process of *Anguilla anguilla*: a new classification from the yellow resident to the silver migrating stage. *Journal of Fish Biology* 66, 1025-1043.

Durif, C., Guibert, A. & Elie, P. (2009). Morphological discrimination of the silvering stages of the European eel. In *Eels at the edge: science, status, and conservation concerns* (Casselman, J. M. & Cairns, D. K., eds.), pp. 103-111. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society Symposium 58.

EPRI, 2001. Review and documentation of research and technologies on passage and protection of downstream migrating catadromous eels at hydroelectric facilities, Report, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA. 1000730, 73 p.

Hadderingh R.H. and Baker H.D., 1998. Fish mortality due to passage through hydroelectric power stations on the Meuse and Vecht rivers. In: Jungwirth M., Schmutz S. and Weis S. (eds.), *Fish Migration and Fish Bypasses*, Fishing News Books, Oxford, 315–328.

Hadderingh R.H., Van Aerssen G.H., De Beijer R.F. and Van Der Velde G., 1999. Reaction of silver eels to artificial light sources and water currents: an experimental deflection study. *Regul. Rivers Res. Manage.*, 15, 365–371.

Jepsen, N., Koed, A., Thorstad, E.B. & Baras, E. (2002) Surgical implantation of telemetry 405 transmitters in fish: how much have we learned? *Hydrobiologia*, 483, 239-248.

Karlsson S., Christiansson J., Calles O. In press. Utvärdering av Granöålvledare 2012-2013. Karlstad University Studies.

Larinier, M., Travade, F., 1999. The development and evaluation of downstream bypasses for juvenile salmonids at small hydroelectric plants in France. In: Odeh, M. (Ed.), *Fish Passage Technology*. American Fisheries Society, Bethesda, MD.

Leonardsson K. 2012. Modellverktyg för beräkning av dödlighet för nedströmsvandrande ål vid vattenkraftverksanläggningar. Krafttag ål 44

Montén. E. (1985). Fish and turbines: Fish injuries during Passage through Power Station Turbines. Vattenfall, Statens vattenfallsverk, Stockholm.

Pankhurst, N. W. (1982), Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology*, 21: 127–140. doi: 10.1111/j.1095-8649.1982.tb03994.x

Stein, F., Calles, O., Hübner, E., Östergren, J. & Schröder, B. 2013. Understanding downstream migration timing of European eel Preliminary results 2012 (Summary). Report. Krafttag ål.

Tesch. F. -W. (2003). *The Eel*. Blackwell, London.

Travade F, Larinier M, Subra S, Gomes P, De-Oliveira E. 2010. Downstream passage of silver eels at hydroelectric plants. Study of the pathways at the hydroelectric plant Baigts-de-Béarn (64). Test of downstream bypasses and small spacing trashrack. EDF R&D - Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement 72.

Verbiest, H., Breukelaar, A., Ovidio, M., Philippart, J-C. & Belpaire, C. 2012. Escapement success and patterns of downstream migration of female silver eel *Anguilla anguilla* in the River Meuse. *Ecology of Freshwater Fish*. doi: 10.1111/j.1600-0633.2012.00559.x

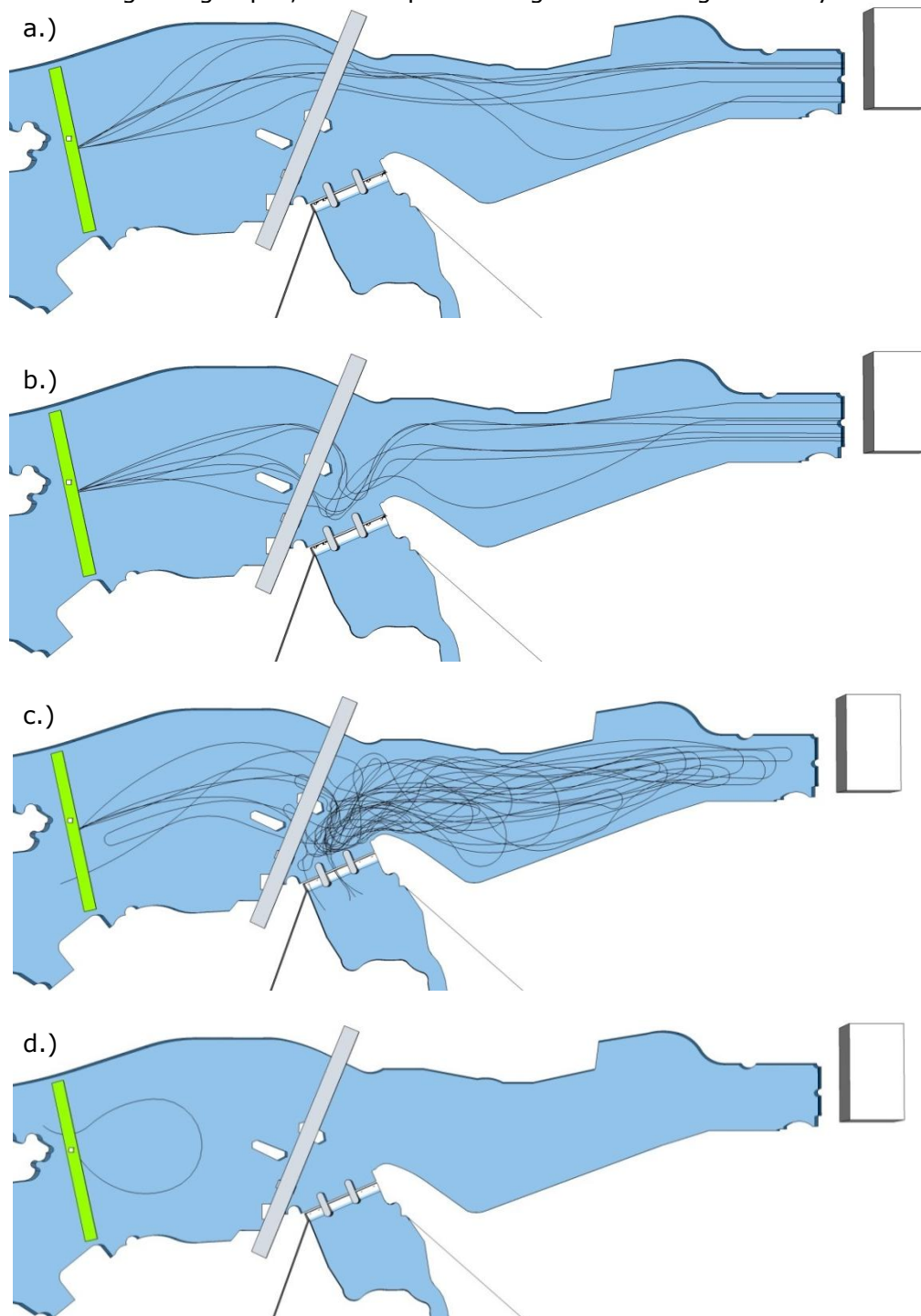
Westerberg, H., Sjöberg, N., Lagenfelt, I., Aarestrup, K. & Righton, D. 2014 Behaviour of stocked and naturally recruited European eels during migration. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*. Vol. 496: 145–157, 2014. doi: 10.3354/meps10646.

Wickström 2014. Trap and transport av ål 2013 – "Fördjupad kvalitetskontroll" DNR: SLU.aqua.2014.5.5-8.11 s.

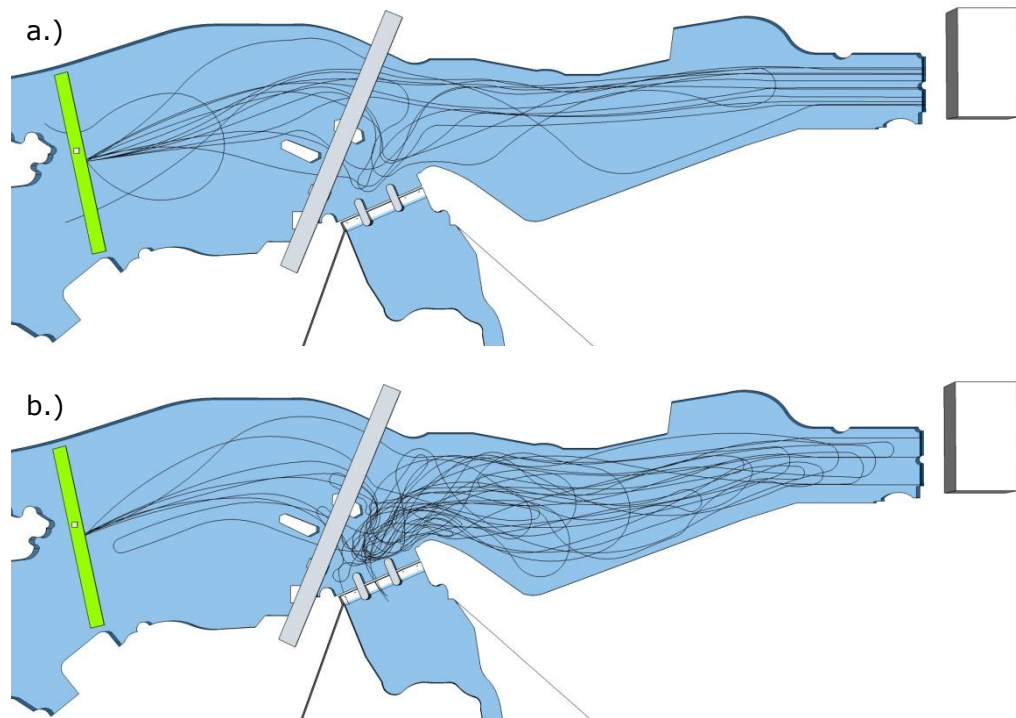
Wickström, H. & Dekker, W. 2014. Restocking Eel - an Appraisal of the Effects on Fish, Stock and Fishery. Thursday, August 21, 2014: 8:40 AM.206B (Centre des congrès de Québec // Québec City Convention Centre).

## Bilaga 1.

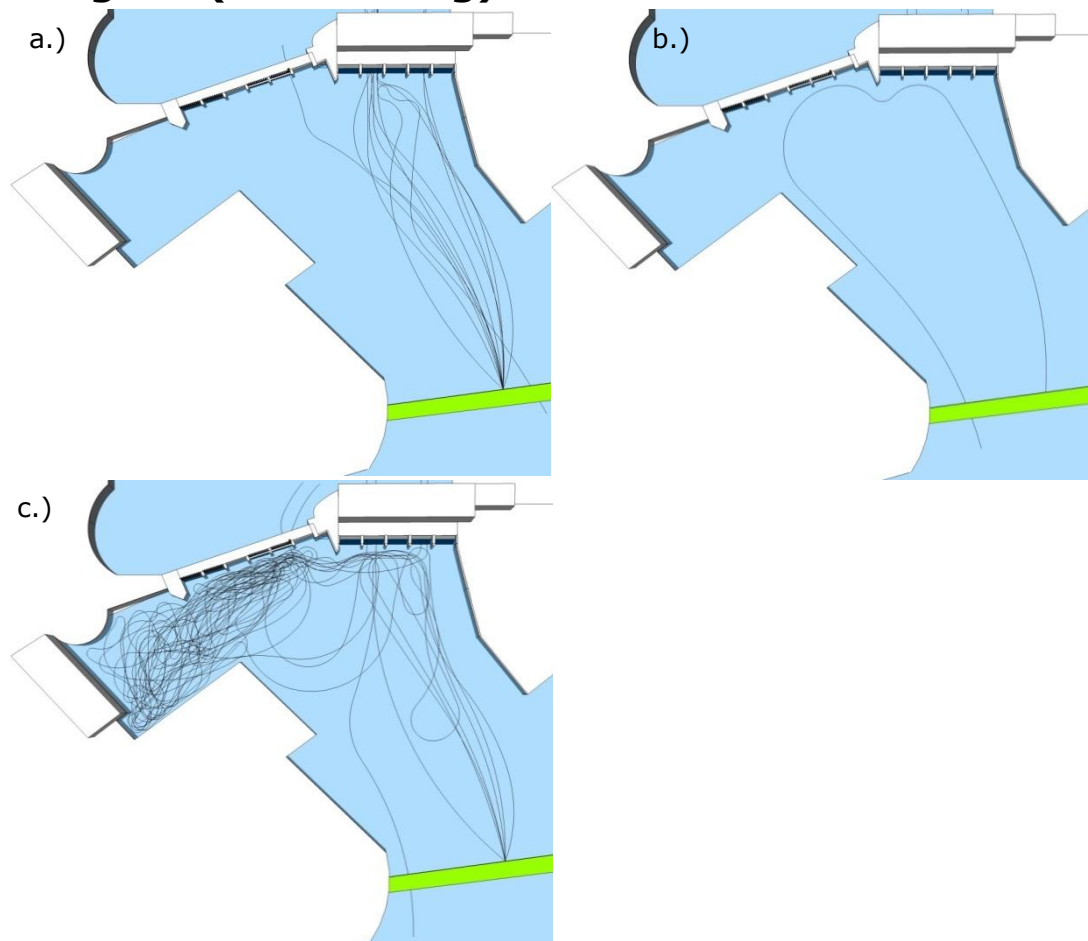
Manuella tolkningar av radiomärkta ålars rörelser i Skärblacka och dess tillhörighet till beteendegrupper a – d i Skärblacka och Fiskeby. Observera att det är ungefärliga spår, baserat på tolkningar av radiosignalers styrkor.



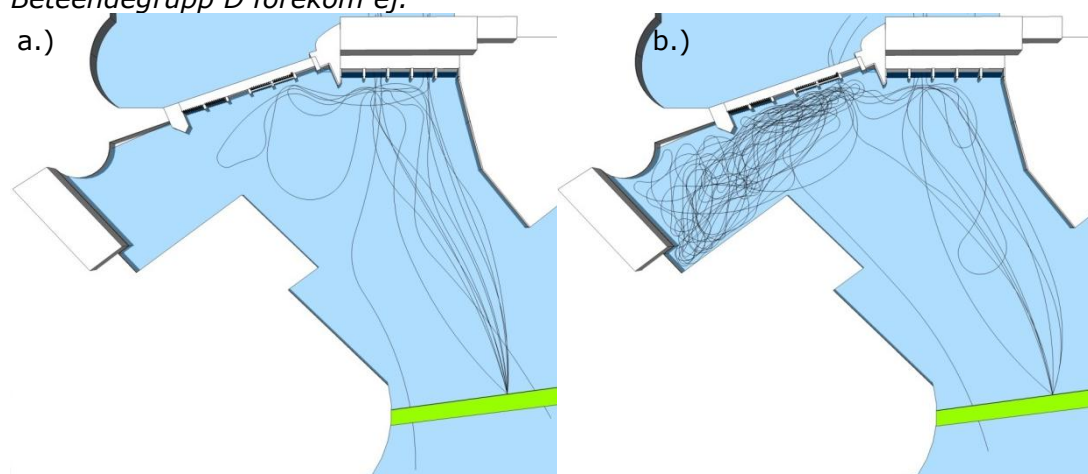
Identifierade beteende grupper: A, B, C, D och dess rörelsemönster hos de ankomna fiskarna vid Skärblackas passagevägar oavsett flödesscenario.

**Bilaga 1. (fortsättning)**

*Rörelsemönster hos de ankomna fiskarna vid Skärblackas passagevägar vid normaldrift (a.) samt vid spill (b.).*

**Bilaga 1. (fortsättning)**

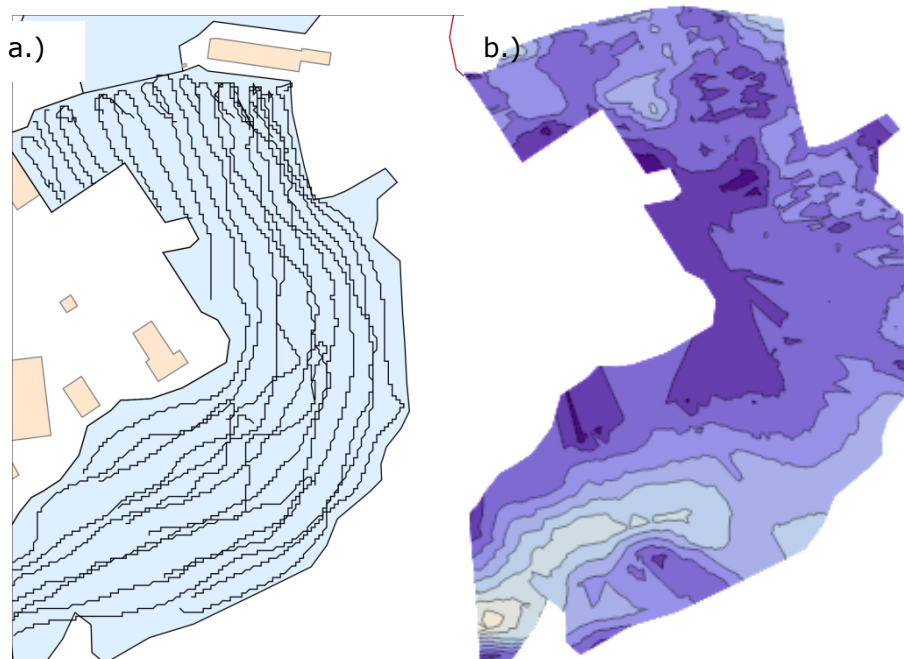
*Identifierade beteende grupper: A, B, C och dess rörelsemönster hos de ankommna fiskarna vid Fiskebys passagevägar oavsett flödesscenario. Beteendegrupp D förekom ej.*



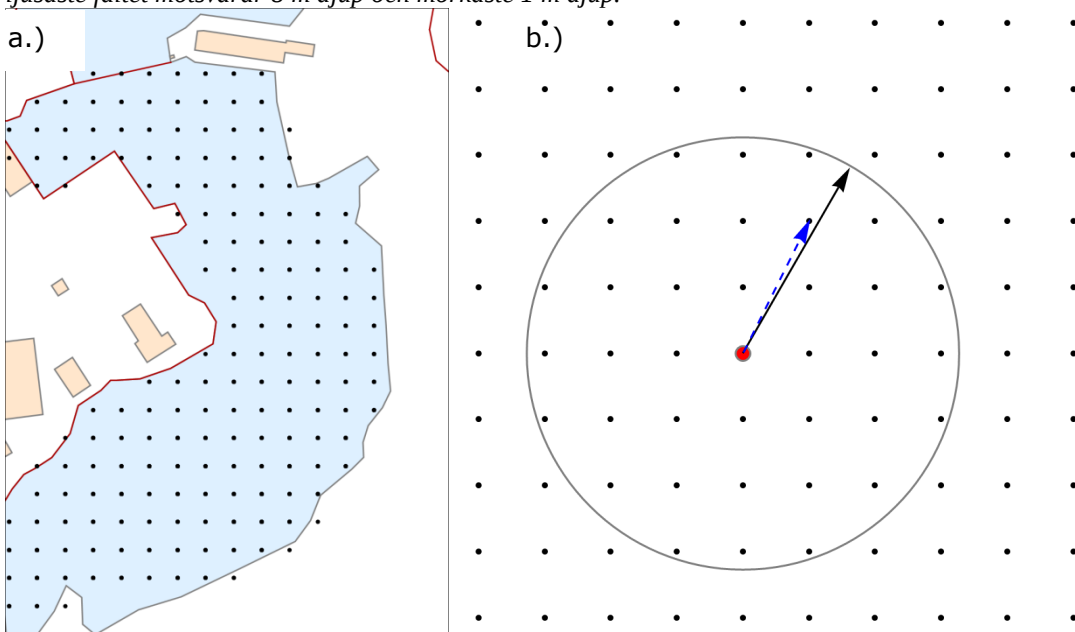
*Rörelsemönster hos de ankommna fiskarna vid Fiskebys passagevägar vid normaldrift (a.) samt vid spill (b.).*

## Bilaga 2

Underlag för partikelsimulering vid kraftverket i Fiskeby under tappningsförfarande (10 %).



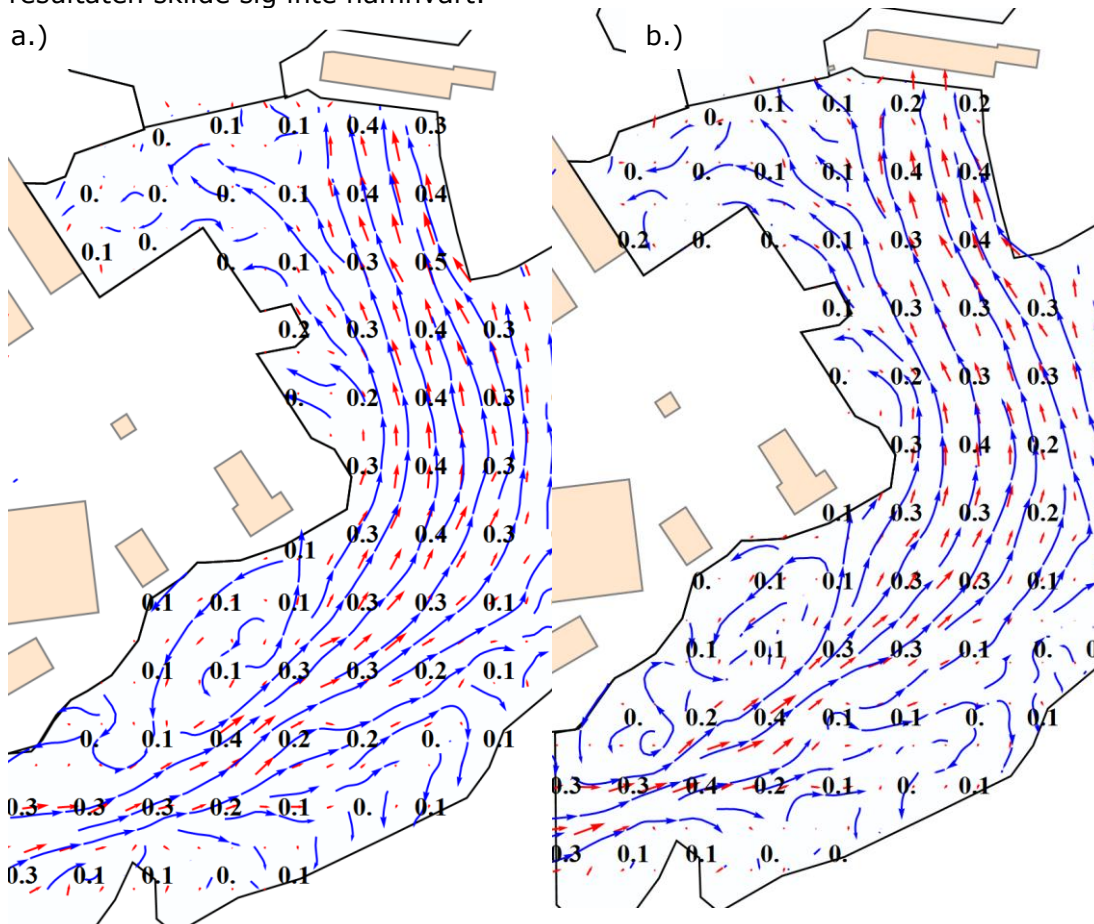
a.) Transekter vid mätningarna med ADP vid Fiskeby samt b.) en djupkarta över området där ljusaste fältet motsvarar 8 m djup och mörkaste 1 m djup.



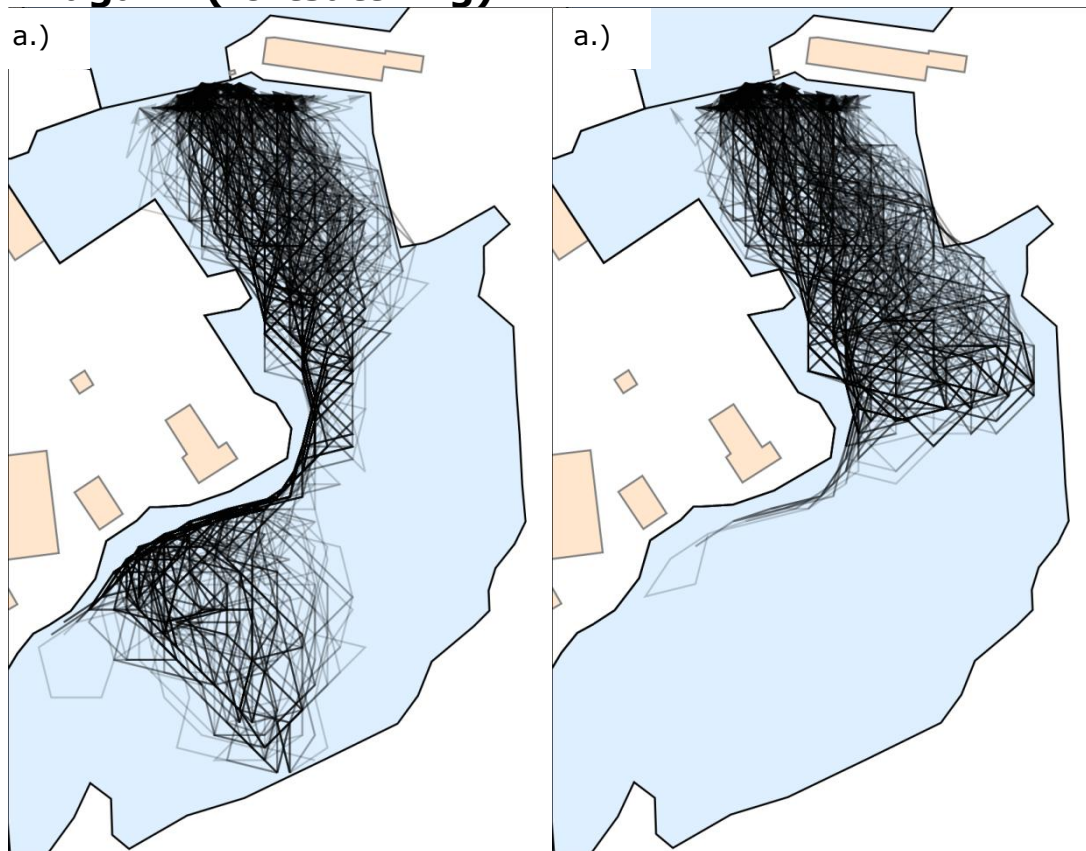
a.) Grid med mätningar av strömhastighet. Gridden skapades genom att avrunda XY-koordinaterna från mätningarna med ADP till närmaste 15-tal meter. Djupen för mätobservationerna avrundades till närmaste 2 m. b.) Grafisk beskrivning av principen vid den empiriska partikelspårningen. Den svarta pilen visar strömriktningen från startpunkten och nästa punkt i spåret blir den punkt inom cirkeln som hamnar närmast strömriktningspilen (vinkelrät avstånd från den svarta pilen). Blå streckad pil pekar på nästa punkt i spåret som uppfyller kriteriet att vara närmast den svarta pilen, i pilens riktning.

## Bilaga 2. (fortsättning)

XY-koordinaterna avrundades till närmaste 15 m och djupkoordinaterna (Z) avrundades till närmaste 2 m för att skapa en tredimensionell grid (rutnät) inom vilken spårerna söktes med en algoritm som garanterar att strömriktningen från punkt 1 följs till den punkt (punkt 2) inom sökradien i griden som hamnar närmast den linje som definieras av strömriktningen (FIG). För att möjliggöra rörelseriktningar utöver strömriktningarna slumpades för varje punkt ett tillägg till strömhastigheten i X- respektive Y-riktning. Dessa värden slumpades oberoende ur en normalfördelning med standardavvikelsen 0.1. Även standardavvikelsen 0.01 testades, men resultaten skilde sig inte nämnvärt.



Strömlinjer (blå) och hastighetsvektorer (röda) vid 10 % tappning den 17 juni 2014 ( $45 \text{ m}^3/\text{s}$  totalflöde) vid Fiskeby, Motala ström. Siffrorna anger medelströmshastigheten (m/s) i respektive punkt. a) visar resultat från de översta 2 m och b) för de nedersta 2 m i vattenpelaren.

**Bilaga 2. (fortsättning)**

Spår från den empiriska partikelspårningen i det djupaste 2 m intervallet med start a.) ca 270 m uppströms dammen. I detta fall sattes maxradien till 22 m. 73 % av spåren nådde dammen-kraftverket till vänster om intagen till turbinerna samt b.) start ca 160 m uppströms dammen. I detta fall sattes min- respektive maxradien till 5 och 16 m. 74 % av spåren nådde dammen-kraftverket till vänster om intagen till turbinerna.

### Bilaga 3.

Data som använts vid validering av modellverktyget (Leonardsson 2012) vid Skärblacka samt Fiskeby Kraftverk.

*Turbinkapaciteter, den aktiva turbinen/er, totalflöde och fiskens längd under passager genom turbiner vid Skärblacka, observerad överlevnad samt tillförlitligheten i överlevnadsbedömningen*

| Datum            | Turbinkapacitet (%) | Turbin | Totalflöde (m3/s) | Fiskens längd (mm) | Överlevnad | Tillförlitlighet (1-3) |
|------------------|---------------------|--------|-------------------|--------------------|------------|------------------------|
| 2013-12-27 02:45 | 73,3%               | G2     | 55,5              | 787                | Nej        | 1                      |
| 2013-11-10 00:59 | 63,2%               | G2     | 47,9              | 962                | Ja         | 2                      |
| 2013-11-02 20:13 | 25,0%               | G2     | 21,4              | 908                | Ja         | 1                      |
| 2013-11-17 19:56 | 61,5%               | G2     | 46,6              | 902                | Ja         | 2                      |
| 2013-10-31 04:35 | 46,1%               | G2     | 35,1              | 918                | Ja         | 2                      |
| 2013-11-05 22:06 | 62,8%               | G2     | 47,6              | 948                | Ja         | 1                      |
| 2013-10-08 19:05 | 50,3%               | G2     | 38,2              | 858                | Ja         | 2                      |
| 2014-01-04 01:13 | 43,9%               | G1+G2  | 66,4              | 872                | Ja         | 1                      |
| 2013-10-30 20:04 | 51,8%               | G2     | 39,3              | 835                | Ja         | 3                      |
| 2013-10-30 20:28 | 51,1%               | G2     | 38,8              | 857                | Ja         | 2                      |
| 2013-10-31 23:15 | 34,3%               | G2     | 26,2              | 910                | Ja         | 2                      |
| 2013-10-30 19:59 | 50,4%               | G2     | 38,3              | 898                | Ja         | 2                      |
| 2013-10-30 01:21 | 42,9%               | G1     | 32,7              | 890                | Ja         | 2                      |
| 2013-10-30 21:45 | 52,9%               | G2     | 40,2              | 862                | Ja         | 2                      |

*Datum, turbinkapaciteter, den aktiva turbinen/er, totalflöde och fiskens längd under passager genom turbiner vid Fiskeby, överlevnad och tillförlitligheten i bedömningen. Fiskebys turbinkapaciteter är teoretiskt beräknat m.h.a totalflöde vid Holmen minus Borgs kraftverk och Fiskebybruks extrahering och på timupplösning. Det är också teoretiskt beräknat när en extra turbin borde ha använts baserat på totalflödet samt vilken turbin som användes (Gx).*

| Datum            | Turbinkapacitet (%) | Turbin   | Totalflöde (m3/s) | Fiskens längd (mm) | Överlevnad | Tillförlitlighet (1-3) |
|------------------|---------------------|----------|-------------------|--------------------|------------|------------------------|
| 2013-11-09 19:56 | 77,2%               | G2+G4    | 57,1              | 978                | Ja         | 2                      |
| 2013-09-26 19:49 | 66,7%               | G2+G4    | 54,9              | 838                | Ja         | 2                      |
| 2013-11-16 21:09 | 85,7%               | G2+G4    | 63,4              | 904                | Ja         | 2                      |
| 2013-09-30 20:28 | 66,9%               | G2+G4    | 49,5              | 851                | Ja         | 2                      |
| 2013-10-01 05:44 | 66,9%               | G2+G4    | 49,5              | 909                | Ja         | 2                      |
| 2013-11-25 18:31 | 57,5%               | G2+G4+Gx | 77,5              | 902                | Ja         | 2                      |
| 2013-10-03 23:17 | 47,0%               | G2+G4    | 38,7              | 869                | Nej        | 3                      |
| 2013-10-03 19:56 | 45,0%               | G2+G4    | 37,0              | 887                | Nej        | 3                      |
| 2013-12-31 13:03 | 91,5%               | G2+G4+Gx | 102,7             | 851                | Ja         | 1                      |
| 2014-01-21 01:03 | 88,0%               | G2+G4    | 93,5              | 962                | Ja         | 2                      |
| 2013-10-29 18:30 | 29,2%               | G2+G4    | 21,6              | 757                | Ja         | 2                      |
| 2013-10-07 19:29 | 56,8%               | G2+G4    | 42,1              | 842                | Nej        | 3                      |
| 2013-10-07 20:17 | 56,9%               | G2+G4    | 42,1              | 835                | Ja         | 2                      |
| 2013-10-28 05:01 | 16,1%               | G2+G4    | 13,3              | 858                | Ja         | 2                      |

**Bilaga 4.**

Återfångster av märkt fisk av Johan Axelsson i bottengarn i Glan under vår/sommar 2014.



## **Bilaga 4. (fortsättning)**



## Bilaga 5

Upptagna turbinskadade märkta ålar nedströms Fiskeby under hösten 2013.



Fisk 46 – Turbinpasserat Fiskeby



Fisk 46 – Turbinpasserat Fiskeby

## Bilaga 5 (fortsättning)

Fisk 89 – Turbinpasserat Fiskeby



Fisk 80 – Turbinpasserat Fiskeby



## Bilaga 6

Turbinskadade ålar fångade av Johan Axelsson i bottengarn i Glan samt position av den mest nedströms belägna fångstplatsen för en av de avhuggna ålarna under vår/sommar 2014.



# **ELFORSK**

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

**Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31**  
**Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35**  
**[www.elforsk.se](http://www.elforsk.se)**