

# UTVÄRDERING AV SONAR SOM VARNINGSSYSTEM FÖR NEDSTRÖMS ÅLVANDRING

RAPPORT 2017:460



KRAFT  
TAG ÅL





# **Utvärdering av sonar som varningssystem för nedströms ålvandring**

Ålvandring komplett - från start till kraftverkspassage.  
Del 2

HENRIK JEUTHE  
ARNE FJÄLLING

ISBN 978-91-7673-460-5 | © Energiforsk februari 2018

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: [kontakt@energiforsk.se](mailto:kontakt@energiforsk.se) | [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



## Förord

**Syftet med projektet Ålvandring komplett var att studera ålens nedströmsvandring från vandringsstart, triggers och timing, beteende vid ankomst till kraftverk till kraftverkspassage.**

Arbetet är avrapporterat i två delrapporter, där denna är del två. Den första delrapporten heter Hydrauliska förutsättningar och ålens beteende i kraftverksintag och har rapportnummer 2017:459.

En fråga för projektet var att utreda möjligheter och utmaningar med sonarsystem i syfte att registrera och räkna ålar med hög säkerhet i ett stort vattendrag. Nästa steg var att undersöka möjligheten att använda ett sonarsystem för att detektera ålar när de vandrar och då hinna ställa om för skonsam drift av kraftverk.

Projektutförare var Henrik Jeuthe och Arne Fjälling, båda vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Akvatiska resurser. Författarna står för innehållet i rapporten.

Projektet ingick i programmet Krafttag ål med följande styrgrupp:

Erik Sparrevik, Vattenfall Vattenkraft AB (ordförande)  
 Niklas Egriell, Havs- och vattenmyndigheten  
 Marco Blixt, Fortum Generation AB  
 Rikard Nilsson, Holmen Energi AB  
 Henrik Jatkola, Statkraft Sverige AB  
 Ola Palmquist/Katarina Ingvarsson, Tekniska Verken i Linköping AB  
 Johan Tielman, Sydkraft Hydropower AB (Uniper)  
 Sara Sandberg, Energiforsk (adjungerad)

Krafttag ål genomförs i samverkan mellan vattenkraftföretagen och Havs- och vattenmyndigheten. Energiforsk är sammanhållande för programmet. Programmet består av två delar: Åtgärder och Forsknings- och utvecklingsprojekt. Skonsam drift är en av tre inriktningar för FoU-delen av programmet.

Energiforsk  
 Sara Sandberg

Stockholm januari 2018

## Sammanfattning

Resultaten från studien visar att DIDSON Long Range har för dålig upplösning för att med absolut säkerhet identifiera ålar något avstånd, och lämpar sig därmed dåligt som varningssystem i vattendrag av Göta älvs storlek. Användning för att detektera vandrande ålar skulle innebära en osäkerhet om det faktiskt är ålar som detekteras. Graden av osäkerhet påverkas av i vilken utsträckning andra fiskarter och objekt kan passera kameran i det aktuella området. Med ARIS kunde ålar med säkerhet identifieras på upp till 25 meters avstånd. DIDSON i standardutförande hade ännu något kortare räckvidd för säker identifiering. I mindre vattendrag skulle alltså både ARIS och DIDSON kunna användas för övervakning av ålens vandring. Detta förutsätter dock att kunskap finns om var i vattenmassan ålarna förväntas simma på den aktuella lokalen och att en representativ andel av de vandrande ålarna här simmar så att de passerar fritt genom kamerans synfält.

Projektet Älvandring komplett – från start till kraftverkspassage” omfattar studier av den Europeiska ålens nedströmsvandring hela vägen från vandringsstart och dess triggers, beteende vid ankomst till kraftverk och till slut själva kraftverkspassagen. Projektet slutrapporteras i två delar. Den föreliggande delrapporten utvärderar sonarkameror som tänkbar teknik för att detektera nedströms utvandrande blankålar. Denna teknik skulle ge en förvarning (*early warning*) om vandrande ålar och möjlighet att i realtid ställa om kraftverken till så kallad skonsam drift (behandlas i Energiforsk rapport 2017:417).

Sonarkameror av tre olika modell omfattades, ARIS Explorer 1800, DIDSON 300 samt DIDSON 300 Long Range (samtliga från Sound Metrics Corp.) Sonarsystemens potential utvärderades genom studier på vandrande ålar, dels i anslutning till Holmens kraftverk i Motala ström, Norrköping, dels i samband med utsättning av s.k. trap and transport-ålar vid Lilla Edet kraftstation i Göta älv. Även andras erfarenheter av fiskövervakning med sonarkameror, insamlat från samarbetspartners och litteratursök, har inkluderats i utvärderingen. Denna teoretiska utvärdering omfattade även möjligheterna för automatisk detektion i vandrande ålar i realtid, vilket skulle krävas vid tillämpning som varningssystem.

Det finns en, enligt litteraturen, färdigutvecklad programvara för automatisk detektion av ål för DIDSON (Bothmann et al., 2016). Detta program ska kunna ge varningar om passerande ålar i nästintill realtid. Inför en eventuell tillämpning av sonarkameror som varningssystem för vandrande ål behöver befintlig programvara för utvärderas alternativt ny programvara utvecklas. Utöver detta behöver mer kunskap om ålens rörelsemönster i olika ostörda miljöer.

## Summary

**Results from the study show that the resolution of the DIDSON Long Range was insufficient for indisputable identification of eels at any distance. Hence, it cannot be considered suitable as a warning system in rivers the size of Göta älv. It would be difficult to say with certainty that the registered echoes come from migrating silver eels. The degree of uncertainty would be affected by the number of other fish species and objects of similar size are present and likely to pass the sonar at the given location. Eels could be positively identified at up to 25 meters distance using the ARIS sonar. The standard DIDSON had a somewhat shorter range for positive identification. Hence, both ARIS and DIDSON could be used to monitor eel migration in smaller streams. However, this requires knowledge of the eels' swimming pattern at the given location, and that a representative portion of the eels pass through the sonars field of view.**

The project comprises studies on the European eel's downstream migration from onset, including its triggers, behaviour upon arrival at the hydropower station and finally passage. The project is reported in two parts. The current report (part two) is an evaluation of imaging sonars as potential technology for detecting downstream migrating silver eels. This technology is thought to provide an early warning on migrating eels in real time, which could be used to switch to eel-friendly turbine management at the hydropower station.

Three types of imaging sonars were included in the study, ARIS Explorer 1800, DIDSON 300 and DIDSON 300 Long Range (all from Sound Metrics Corp.). The potential of the sonars was evaluated through studies on migrating silver eels both in connection to the Holmen hydropower station in the river Motala ström, Norrköping, and during release of so called "trap & transport" eels downstream of the Lilla Edet hydropower station in the river Göta älv. Information on other's experiences on the use of imaging sonars for fish monitoring was gathered from collaborators and literature search were also included in the evaluation. This theoretical evaluation also covered the possibility to attain automated real time detection, which is a requirement for this technology to be used as an early warning system.

According to the literature, ready developed software for automated detection of eels is available for DIDSON (Bothmann et al., 2016). The software can, supposedly, give warnings in near real time. Prior to implementation of imaging sonars as warning system for eel migration, existing automation software needs to be evaluated or new software developed. In addition, more knowledge on eel swimming patterns in different pristine environments is needed.

# Innehåll

|          |                                                      |           |
|----------|------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Uppdraget</b>                                     | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>Sonarkameror</b>                                  | <b>8</b>  |
| 2.1      | Vad är en sonarkamera?                               | 8         |
| 2.1.1    | Användningsområden                                   | 8         |
| 2.2      | Hur sonarkameror används                             | 9         |
| 2.2.1    | Installation                                         | 9         |
| 2.2.2    | Filmning och inspelning                              | 10        |
| 2.2.3    | Analys                                               | 11        |
| 2.2.4    | Automatiserad övervakning                            | 13        |
| <b>3</b> | <b>Ålstudie i Motala ström</b>                       | <b>15</b> |
| 3.1      | Genomförande                                         | 16        |
| 3.2      | Resultat och diskussion                              | 17        |
| <b>4</b> | <b>Ålstudie i Göta älv</b>                           | <b>21</b> |
| 4.1      | Platsbeskrivning                                     | 21        |
| 4.2      | Genomförande                                         | 22        |
| 4.3      | Resultat och diskussion                              | 24        |
| <b>5</b> | <b>Kompletterande tekniska tester i Motala ström</b> | <b>27</b> |
| 5.1      | Djupinformation – försök med dubbla kameror          | 27        |
| 5.1.1    | Genomförande                                         | 27        |
| 5.1.2    | Resultat och diskussion                              | 27        |
| 5.2      | Störningstest                                        | 28        |
| 5.2.1    | Mellan sonarkameror                                  | 28        |
| 5.2.2    | Mellan sonarkameror och akustisk telemetri           | 29        |
| <b>6</b> | <b>Sammanfattande diskussion</b>                     | <b>31</b> |
| <b>7</b> | <b>Slutsatser</b>                                    | <b>33</b> |
| <b>8</b> | <b>Referenser</b>                                    | <b>34</b> |

# 1 Uppdraget

Krafttag ål-projektet "Ålvandring komplett – från start till kraftverkspassage" omfattar studier av ålens nedströmsvandring hela vägen från vandringsstart och dess triggers, beteende vid ankomst till kraftverk och till slut själva kraftverkspassagen. Uppdraget är en vidareutveckling av flera tidigare projekt bl.a. "Radiotelemetriundersökning av ålens passage av vattenkraftverk i Motala ström" (Östergren et al., 2014) och "Understanding downstream migration timing of European eel (*Anguilla anguilla*)" (Stein et al., 2014).

Det övergripande målet med aktuellt projekt har varit att

- Förbättra kunskapen om vad som får ålen att initiera vandring,
- Undersöka potentialen för "vandringsindikatorer" (eng. early warning) för att prediktera vandring
- Öka kunskap om ålens beteende och vandringsväg in mot kraftverk.
- Undersöka fördröjd dödlighet (mortalitet) efter kraftverkspassage

Slutrapporten för projektet har delats upp i två delar. Delrapport 1 (Energiforsk rapport 2017:459) är den mest omfattande och behandlar helhetsperspektivet. Den föreliggande delrapporten utvärderar en tänkbar teknik med potential att detektera nedströms utvandrande blankålar. Denna teknik skulle ge en förvarning (*early warning*) om vandrande ålar och möjlighet att i realtid ställa om kraftverken till så kallad skonsam drift (behandlas i Energiforsk rapport 2017:417).

Den aktuella tekniken är sonarkameror (analoga med ultraljudskameror för fosterdiagnostik). Tre centrala frågeställningar kopplade till sonarkamerors potential som varningssystem framkom under projektets utformning och behandlas i denna rapport.

- Kan man använda en DIDSON long range sonar för att med hög säkerhet registrera och räkna ålar i Göta älv?
- Går det att erhålla en automatisk detektering med användning av sonarsystem, dvs. DIDSON eller ARIS?
- Hur kan man använda ARIS för att studera ålens vandring i kraftverksmiljöer, dvs. bekräfta var i vattenmassan ålen väljer att vandra.

Sonarsystemens potential utvärderades genom studier på vandrande ålar, dels i anslutning till Holmens kraftverk i Motala ström, Norrköping, dels i samband med utsättning av s.k. trap and transport-ålar vid Lilla Edet kraftstation i Göta älv. Även andras erfarenheter av fiskövervakning med sonarkameror, insamlat från samarbetspartners och litteratursök, har inkluderats i utvärderingen.

SLU Aqua har genomfört projektet i samverkan med Karlstads och Umeå universitet. Johan Östergren (SLU Aqua) var projektledare 2015-2016 och Olle Calles (NRRV, Karlstads universitet) 2017.

## 2 Sonarkameror

### 2.1 VAD ÄR EN SONARKAMERA?

En sonarkamera, eller akustisk kamera, är i princip en ultraljudsapparat för användning under vatten. Det finns inget vedertaget namn på denna typ av utrustning på svenska, men vi väljer här att använda termen sonarkamera. Sound Metrics, företaget som tillverkar ARIS (Adaptive Resolution Imaging Sonar) och DIDSON (Dual-Frequency Identification Sonar), kallar själva sina produkter för *imaging sonars*. Sonarkameror bygger på samma princip som ekolod och sonografi, d.v.s. den kliniska utrustning som används vid t.ex. fosterdiagnostik. Ljud skickas ut och studsar på strukturer framför "kameran"; avståndet till dessa strukturer avgör tiden det tar för ekon att nå tillbaka. På så sätt skapas en bild över området framför kameran med hjälp av ljud. Frekvensen som används av sonarkameror ligger mellan ekolod och sonografi. Ekolod använder grovt sett ljud inom frekvensintervallet 20-400 kHz medan ARIS och DIDSON ligger mellan 700 och 3000 kHz (beroende på modell) medan klinisk ultraljudsutrustning ligger mellan två och 15 MHz. Ljudets frekvens är avgörande för räckvidd och bildupplösning. Högre frekvens ger en mer högupplöst bild, men kortare räckvidd då den dämpas mer. Således har en sonarkamera som använder 700 kHz en teoretisk räckvidd på ca 80 meter, medan en frekvens på 3 MHz ger en räckvidd på endast fem meter, men då med mycket bättre detaljrikedom.

Den produkt på marknaden som är närmast jämförbar med de sonarkameror som används i denna studie, ARIS och DIDSON, och är mer tillgänglig för allmänheten, är ett s.k. *side scan*-ekolod. Dessa använder frekvenser som närmar sig sonarkamerorna och kan ge högupplösta bilder vid t.ex. kartläggning av bottenstrukturer. Den stora skillnaden är att en *side scan* använder sig av en ljudstråle som sveper fram över botten och ger alltså en stillbild som byggs upp efter hand som båten rör sig. ARIS, däremot, använder 48, 96 eller 128 parallella ljudstrålar och kan därför producera videosekvenser samt återge bilder av objekt i rörelse. Man skulle alltså kunna säga att ARIS Explorer 1800, har 96 parallella *side scan*-ekolod som samverkar för att ge ett bredare synfält. Som tillbehör finns en fjärrstyrning (pan/tilt/roll) till kameran samt försättslinser som på olika sätt fokuserar eller sprider signalen för optimering till aktuell målsättning (maximal räckvidd/grov detektering alternativt högupplöst identifiering/beteendestudier). Två ytterligare tillverkare av sonarkameror för användning i akvatisk miljö finns, Blueview och Simsonar.

#### 2.1.1 Användningsområden

Sonarkameror används i många olika branscher och i olika syften. På Sound Metrics hemsida ([www.soundmetrics.com](http://www.soundmetrics.com)) presenteras ett axplock av företag och institutioner som använder deras produkter inom militär, polis, oljeindustri, bygg och anläggning, samt biologiska undersökningar. Inom biologin används sonarkameror t.ex. för beteendestudier och övervakning. Fördelen med att använda sonarkameror istället för konventionella fiskräknare är deras större synfält och räckvidd. En konventionell fiskräknare kräver att fisken passerar

genom ett begränsat utrymme i direkt anslutning till fiskräknaren. I exempelvis en fisktrappa är detta inget problem eftersom alla fiskar då oavsett måste ta vägen genom denna begränsade passage. Men i outbyggda älvar eller älvsträckor kan en sonarkamera vara bättre lämpad. Uppvandrande laxar håller sig oftast i älvens huvudfåra, därmed kan en sonarkamera placeras ut så att synfältet täcker denna vattenmassa och majoriteten av alla vandrande fiskar kan räknas utan att de måste ledas bort från sin naturliga vandringsväg. I större vattendrag kan två kameror användas så att de filmar från varsin sida av älven för att täcka hela bredden av vandringsfåran. Detta görs t.ex. i Torneälven längs gränsen mellan Sverige och Finland.

Både DIDSON och SIMSONAR används som fiskräknare i laxälvar i bl.a. Sverige, Norge och Finland. Detta användningsområde utnyttjas även på många håll i Nordamerika. I korthet är DIDSON den kamera som använts i flest vetenskapliga studier på området biologi. ARIS är den nyaste produkten med bäst prestanda och kommer antagligen att ta över allt mer från DIDSON. Blueview används i huvudsak i tekniska sammanhang (inspektioner, offshoreindustrin). Simsonar är en nyligen tillkommen och litet enklare produkt med lägre upplösning och lägre pris. Både DIDSON och SIMSONAR används som fiskräknare i laxälvar i bl.a. Sverige, Norge, Finland och Nordamerika, ofta med stöd av annan teknik, ex videokameror.

Sonarkameror har använts en del i utvärderande syfte för övervakning av utvandrande ål, inte minst i anslutning till vattenkraftverk och andra vandringshinder. En utmaning vid användandet av denna teknik som fiskräknare är ålarnas varierande vandringsmönster. I naturlig miljö förväntas ålar som ska vandra ut till havet hålla sig i huvudströmfåran. Denna placering medför störst energibesparing, och inför den långa vandringen mot Sargasso innebär varje sparad kalori en fördel. Kunskapen om vilket djup ålarna naturligt vandrar på är bristfällig, men troligen vandrar de i övre delen av vattenmassan. Migrerande ålar blir lätt störda av mänsklig aktivitet längs vattendraget och annan yttre påverkan som ljud, ljus och vandringshinder. Då störs ålarnas naturliga vandringsmönster, en skrämmd ål dyker till exempel gärna ner till botten för skydd. I kraftigt störda miljöer, som nära vattenkraftverk, kommer troligen många ålar att simma längs botten eller längs skyddade strandsträckor med vegetation och bråte där de kan gömma sig. Vid dessa tillfällen kan det vara svårt eller omöjligt att detektera dem med en sonarkamera. Man kan omöjligt täcka av hela bredden och djupet av ett vattendrag och vet man inte i vilken del av vattenmassan ålarna förväntas simma är det svårt att välja placering av kameran.

## 2.2 HUR SONARKAMEROR ANVÄNDS

Denna studie omfattar tester av ARIS Explorer 1800, DIDSON 300 samt DIDSON 300 LR (Long Range). Beskrivningarna är fokuserade på dessa system.

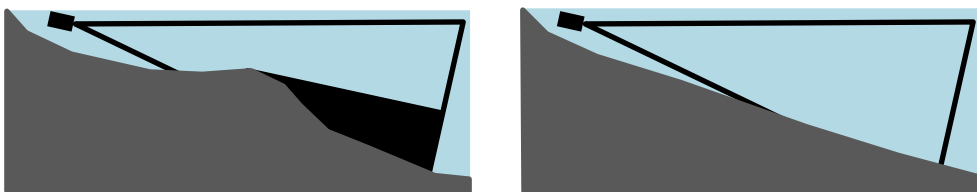
### 2.2.1 Installation

Kameran monteras med fördel på en fast ställning, som i sin tur kan placeras ute i vattendraget eller sänkas ner från en plattform på land. Montering på båt eller

ROV (Remotely Operated underwater Vehicle) är också möjligt. Det finns även handhållna enheter konstruerade för dykare. Standardmodellerna ansluts till en vanlig dators nätverksingång (ehternet) via en liten kontrolldosa. Standardkabel som kommer med ARIS/DIDSON är 15 meter, men kablar på upp till 150 meter kan köpas separat. Systemet drivs normalt med ström från ett vanligt 230 V vägguttag. Strömförbrukningen är relativt låg (effektkrav endast ARIS 80W, inkl. styrmotor 150W) och kan därför även drivas med 12 eller 24 V batteri. Enklast är då att koppla enheten till batteri via en växelriktare. Alternativt finns färdiga kontrollenheter för fältbruk, som kopplas direkt till batteri, att köpa från producenten (åtminstone till DIDSON). Installation av mjukvara såväl som montering och inkoppling av kamera är enkel och väl beskriven i bruksanvisningen (som är på engelska).

Vid installation i syfte att räkna/detektera fisk placeras kameran så att den överblickar störst möjlig vattenmassa i den del av vattendragets tvärsnitt där fisken förväntas passera (Figur 1). Oftast är det lämpligt att placera kameran ganska nära vattenytan och vinkla den snett ner mot botten. Detta medför bra täckning av vattendragets tvärsnitt och kan ge en bild av botten som bakgrund i bilderna. Att inkludera botten i synfältet kan underlätta för att få en uppfattning om var i vattenmassan (djupled) de observerade fiskarna befinner sig (hantering av djupinformation behandlas mer ingående i avsnitt 5.1). Placeringen av kameran bör även ta hänsyn till bottenstruktur m.m. som kan skapa skuggområden i synfältet.

ARIS och DIDSON kan kompletteras med en styrmotor som gör att man kan panorera, ändra lutning och/eller rotera kameran (eng. pan-tilt-roll). Detta styrs liksom kamerans andra inställningar med den ordinarie mjukvaran i datorn. Motorn underlättar användningen av kameran avsevärt, både för att få rätt synfält vid fast placering eller vid undersökningar där större områden behöver övervakas.



Figur 1. Synfältet för sonarkameror påverkas av bottenprofilens struktur och lutning. I skuggan av uppstickande bottenstrukturer bildas blinda fält. Närmast kameran är synfältet smalt, så här finns alltid områden som hamnar utanför synfältet (från Energiforsk rapport 2017:417).

### 2.2.2 Filmning och inspelning

Mjukvaran som kommer med ARIS är mycket användarvänlig. Den ger mycket ingående information om t.ex. kamerans vinkel och djup, vattentemperatur och alla tekniska inställningar. Man kan lätt ändra de mest använda inställningarna, som t.ex. mellan vilka avstånd synfältet ska täcka, signalstyrka, bildhastighet och signalfrekvens (både ARIS och DIDSON kan sända på två olika frekvenser). DIDSONS mjukvara är inte lika genomtänkt designmässigt, men omfattar ungefär samma funktioner. Bildhastigheten (bildrutor per sekund vid videoinspelning, fps från eng. *frames per second*) är direkt beroende av maximala avståndet i synfältet.

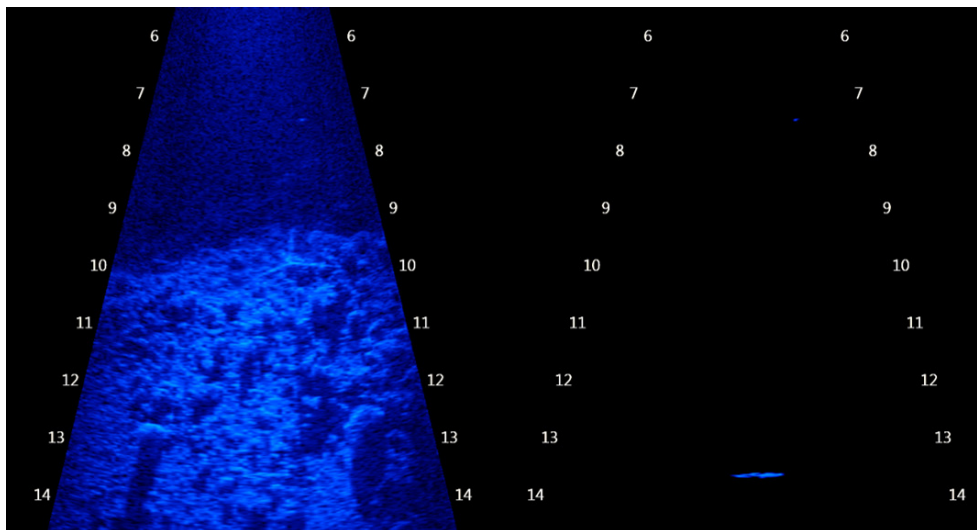
Större räckvidd på synfältet innebär alltså en lägre bildhastighet. Filmning på upp till ca fem meters avstånd tillåter en bildhastighet på 15 bilder per sekund för ARIS och 20 bilder per sekund för DIDSON, medan 30 meter synfält medför en begränsning av bildhastighet till drygt 4 fps. DIDSON Long Range som har en teoretisk räckvidd på 80 meter har en maximal bildhastighet på ca 2 fps inom det högre avståndsintervallet.

Inspelning kan ske antingen manuellt (stillbild och video) eller med tidsinställda program som kan ställas in efter behov. Alla inställningar kan programmeras på förhand individuellt för var inspelningsperiod. Inspelningsperioderna kan läggas in vid enstaka tillfällen eller som återkommande med jämna tidsintervall. Alla ARIS- och DIDSON sekvenser sparas i separata filer i speciella format (.ddf resp. .aris) som innehåller all relevant information om t.ex. inställningarna under inspelningen. Filerna, eller sekvenser ur dess, kan enkelt exporteras till videoformat (mp4). Inspelningen med ARIS skapar en datamängd om ca 2 GB per timme och med DIDSON ca 1 GB. Mängden varierar kraftigt med innehåll och inställningar; framförallt ger kortare avstånd (och därmed högre bildhastighet) större datamängd. Vid mer kontinuerlig inspelning kan det vara en fördel att programmera utrustningen så att datamängden delas upp i flera mindre och mer lätthanterliga filer. Detta underlättar senare hantering under analysarbetet.

Bildkvaliteten varierar generellt med signalens frekvens. Högre frekvens ger större detaljrikedom men kortare räckvidd. Bildkvaliteten skiljer sig också mellan ARIS och DIDSON, även när de använder samma frekvens. ARIS ger bilder med tydligt bättre detaljrikedom. De två frekvenser som används benämns *detection mode* respektive *identification mode* och ligger för DIDSON och ARIS Explorer 1800 på 1,1 respektive 1,8 MHz. För DIDSON LR ligger de på 0,7 respektive 1,1 MHz.

### 2.2.3 Analys

Inspelat material kan gås genom och redigeras i standardmjukvaran, ARIScope, samma som används för konfigurering av ARIS-enheten och inspelning. I detta program kan materialet i ARIS-filerna redigeras med olika filter som förbättrar bildkvalitet, delas upp i mindre filer samt exporteras som video (mp4 eller WMV). Ett i synnerhet kraftfullt filter i denna mjukvara är bakgrundsreducering (eng. background subtraction). Detta filter tar effektivt bort alla stillastående strukturer från en bildsekvens så att de som är i rörelse, t.ex. fiskar, framträder tydligare. På så vis blir det mycket lättare att upptäcka passerande fiskar vid genomgång av videomaterial (Figur 2).

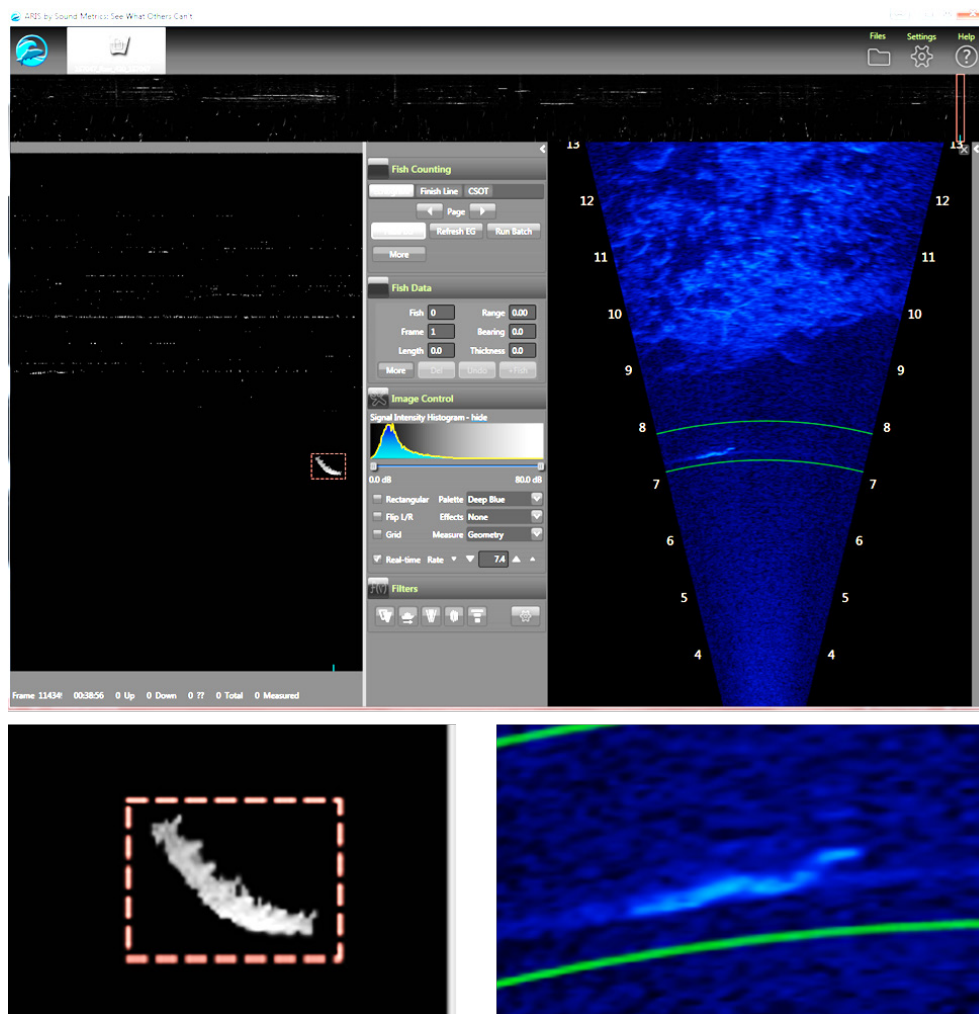


Figur 2. Mjukvaran ARIScope har ett kraftfullt filter för bakgrundsreducering (SMC Adaptive). Detta tar effektivt bort alla stillastående strukturer från en videosekvens. I vänster panel syns en bildruta i originalformat ur en videosekvens med en ål som passerar kameran på 13,5 meters avstånd. I höger panel visas samma bildruta med bakgrundsreducering; Ålen framträder här mycket tydligare.

Till ARIS finns även en andra mjukvara som underlättar analysprocessen ytterligare, ARISFish. Denna programvara har ett antal inbyggda funktioner som underlättar detektion, räkning och mätning av fisk. Den mest användbara funktionen för detektion av passerande ålar, som ofta passerar enskilt och sällan (åtminstone i de studerade vattendragen som omfattas här), innebär att man utför analysen i *echogram mode*. Denna funktion skapar en ekolodsbild som motsvarar hela videosekvensen. Varje bildruta komprimeras till en vertikal linje med en pixels bredd. Ekon från alla (96) ljudstrålar adderas alltså för att skapa denna komprimerade linje, och alla dessa linjer placeras bredvid varandra för att skapa en bild av vad som händer framför kameran över tid. I denna bild visas avstånd från kameran på stående axeln och förfluten tid längs den liggande axeln. På så sätt avbildas passerande fiskar som spår (bågar) över bilden, analogt med en konventionell ekolodsbild. Ju saktare fisken simmar förbi, desto längre blir spåret; spår långt ifrån kameran blir också längre än de nära kameran eftersom synfältet ökar i bredd med avstånd från kameran. *Echogram*-funktionen kombineras med fördel med bakgrundsreducering för att få en renare bild. I *echogram*-bilden kan man sen klicka sig fram längs tidsaxeln, mellan intressanta spår, och få fram bildmaterialet som de aktuella spåren grundas på. Granskning av dessa videosekvenser kan oftast avslöja om de aktuella spåren tillhör ål eller något annat (Figur 3). Med denna metod för att analysera ARIS-data tar det, grovt sett, en timme att gå genom en natts inspelning (12 timmar), inklusive mjukvarans process att utföra bakgrundsreducering och skapa en ekolodsbild. Analystiden påverkas av hur många misstänkta observationer som behöver granskas.

De flesta av de ovan nämnda process- och analysfunktionerna är också inkluderade i mjukvaran som följer med DIDSON (Didson V5.25.24). Denna mjukvara är dock inte lika användarvänlig. Även här finns möjligheten att översätta inspelningarna till ekolodsbilder, men det är lite mer omständligt och tidskrävande att gå igenom detta material med DIDSON-programmet. Generellt

tar manuell analysprocess m.h.a. *echogram*-funktionen åtminstone dubbelt så lång tid för DIDSON-material, jämfört med ARIS. Bakgrundsreduceringen i DIDSON-mjukvaran (DIDSON) är inte heller lika träffsäker som den som används av ARIS mjukvaror (SMC Adaptive). Detta medför en påtagligt större osäkerhet i manuell analys av DIDSON-material jämfört med ARIS. DIDSON-filer kan öppnas i ARIScope men inte i ARISFish. Därigenom kan ARIS mer kraftfulla bakgrundsreduceringsfilter tillämpas på DIDSON-filer men analysen begränsas till visuell genomgång av videosekvenser, alltså utan *echogram*-funktionen.



Figur 3. Här visas ett exempel på användning av funktionen echogram mode i mjukvaran ARISFish. I överkant syns ekolodsbilden som skapats för hela den aktuella videosekvensen. Till vänster visar ett utsnitt ur den kompletta ekolodsbilden, motsvarande den röda rektangeln uppe i högra hörnet av bilden. I utsnittet är ett misstänkt spår från en passerande ål markerat med en röd streckad rektangel. Till höger visas en bildruta från tiden det aktuella spårets skapades, och det blir tydligt att det är en ål som passerat. Nedre paneler visar förstoringar av spår och ålens eko.

#### 2.2.4 Automatiserad övervakning

Blankålar vandrar aktivt nästan uteslutande under dygnets mörka timmar. Övervakning av vandrande ålar i syfte att utfärda varningar då de är på väg mot ett vattenkraftverk skulle alltså ske, i första hand, nattetid. Med tillgång endast till de analysverktyg som tillhandahållas av producenten (Sound Metrics) innebär en

sådan övervakning att ålarnas aktivitet spelas in under natten. Materialet kan sedan analyseras på morgonen, enligt processen som beskrivs i avsnitt 2.2.3. Utifrån de observationer som gjorts från nattens inspelningar kan åtgärder tillämpas inför kommande natts eventuella vandring. Problemet är att vandringsaktivitet under en natt inte tvunget innebär att vandring sker även under nästkommande natt. Ålens vandringsmönster och de omvärldsfaktorer som triggar vandring beskrivs i detalj i Energiforsk rapport 2017:417.

Ett fungerande varningssystem för tillämpning av skonsam drift kräver en automatiserad övervakning med varningar som går ut (mer eller mindre) i realtid. Krav på responstid beror bl.a. på övervakningssystemets placering, alltså hur lång tid efter detektion ålarna förväntas nå kraftverket. Utvecklingen av ett automatiserat varningssystem, som bygger på sonarkameror, omfattar därmed att ett datorprogram måste kunna identifiera ålar och att detta ska ske utan nämnvärd fördröjning. Ett fåtal program för automatisk detektion av just ål har utvecklats och testats. Ett sådant program baserar identifieringen på rörelsemönster, med fokus på att skilja på simmande ålar och drivved och har visat relativt goda resultat. Vid ett utvärderande test missades 7% av de passerande ålarna samtidigt som man fick falsklarm från 5% av den passerande drivveden (Mueller et al., 2008). Analysen gjordes i efterhand på inspelat material. Ett annat program har tagits fram för detektion av ål i nästintill realtid (Bothmann, 2016, Bothmann et al., 2016). Inspelning sker kontinuerligt, men uppdelat i sekvenser på en minut. Dessa analyseras efterhand som de blir tillgängliga av ett annat program. Resultaterande varningar kommer på så vis senast en och en halv minut efter passage. Vid test av detta program missades 9% av de passerande ålarna medan 1,2% av passerande öringar misstogs för ålar. Ingen drivved gav falska larm. Programvaran sägs vara klar för användning i skarpt läge. Både ovan nämnda programmen utvecklades för DIDSON, det är oklart om samma teknik skulle kunna användas för material från ARIS eller något annat system. Det finns också företag som specialiserar sig i att utveckla mjukvara för analys av hydroakustisk data (ekolod och sonar). Ett sådant företag är Echoview (Hobart, Australien), vars programvara kan anpassas för olika analysbehov.

### 3 Ålstudie i Motala ström

Syftet med studien i Motala ström var att utvärdera möjligheten att detektera och studera vandrande ålar med sonarkamerorna DIDSON och ARIS i ett relativt litet vattendrag. Två huvudfrågor omfattades i denna studie. Vilka möjligheter och begränsningar har de olika systemen för användning som varningssystem för vandrande ålar? Kan ålarnas beteende och vägval vid kraftverksinstallationer studeras med denna teknik?



Figur 4. Montering av ARIS och DIDSON LR vid Holmens intag, DIDSON är monterad närmast vattenytan och riktad vinkelrätt ut från kajen; ARIS kan skymtas under, riktad ca 40° åt vänster. Längst bort i bild syns servicehuset som använts som kontrollcentral.

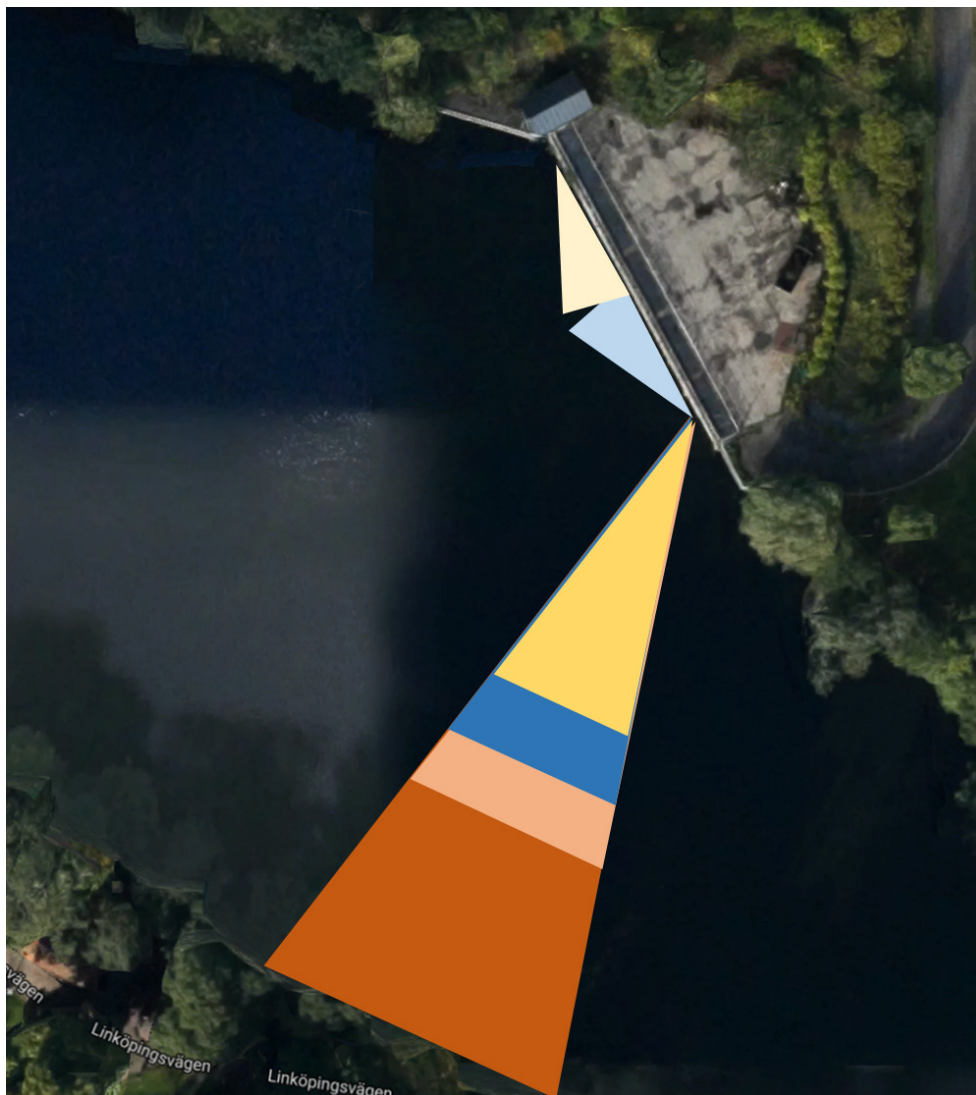
### 3.1 GENOMFÖRANDE

Studien utfördes vid vattenintaget till Holmens kraftverk i Norrköping under hösten 2016. För att kunna studera nedströms vandrande ålar och verifiera vilken väg ålarna tog vid kraftverkspassage placerades kamerorna så att både kraftverkets vattenintag och gamla fåran kunde täckas i största möjliga mån. Kamerorna monterades på specialkonstruerade ställningar byggda av Burton-rör. Kamerorna fixerades i änden av ett rör som normalt var placerat vertikalt ner i vattnet, från plattformen ovan intaget, men kunde svängas upp kring en roterande fästpunkt till kanten av plattformen för underhållsarbete (Figur 4). Installationen åsksäkrades dels genom installation av överslagsskydd i strömförsörjningen, dels genom att ansluta jordkabel till konstruktionen.

Placering av de tre olika kamerasystemen alternerades för att samla data under olika förutsättningar (Figur 5). Maximal räckvidd för de olika kamerorna varierar med modell och val av frekvens. Enligt tillverkaren är räckvidderna för hög respektive låg frekvens 15 och 30 meter för DIDSON, 15 och 35 meter för ARIS samt 40 och 80 meter för DIDSON LR. Inspelning framför intaget skedde med ARIS och DIDSON, mestadels inställda på låg frekvens men ibland även med hög frekvens. Inspelning i riktning mot gamla fåran skedde uteslutande vid låg frekvens med alla tre systemen. Filming med ARIS och DIDSON gjordes med synfält upp till 26 meter. Även om DIDSON LR har en teoretisk räckvidd på 80 meter vid låg frekvens skedde inspelning endast upp till drygt 40 meter. Tester med längre avstånd ansågs inte generera någon användbar data bortom ca 40 meter, troligen för att bottenstrukturer på detta grunda område skuggade mycket av vattenmassan de sista ca 20 meterna intill motsatta stranden. Mer ingående utvärdering av DIDSON LR fulla potential i större vattendrag redovisas i avsnitt 4.

En kontroll- och inspelningscentral upprättades i servicebyggnaden vid Holmens intag. Här inne fanns då tre datorer (laptop) som styrde vars ett av kamerasystemen. Datorerna i sin tur kunde fjärrstyras med programmet Team viewer via internet-uppkoppling så att kamerorna kunde kontrolleras och programmeras på distans. Generellt var kamerorna inställda på att spela in under dygnets mörka timmar, vilket gav runt 14 timmars inspelning per natt.

Analys gjordes med mjukvaran ARISFish enligt den process som beskrivs i avsnitt 2.2.3. Analysen omfattade en totalgenomgång då videosekvenser med ålobobservationer sparades och detaljerna kring observationen antecknades. Utifrån telemetridata gjordes även en extra noggrann undersökning av videomaterial från de tidpunkter då passage av märkta ålar registrerats.



Figur 5. Alternativa placeringar av sonarkameror under studien och deras ungefärliga synfält vid Holmens intag; ARIS vid låg frekvens (mörkblå) och hög frekvens (ljusblå), DIDSON vid låg frekvens (mörkgul) och hög frekvens (ljusgul) samt DIDSON LR vid låg frekvens (mörkorange) och hög frekvens (ljusorange). Synfältens räckvidd är baserade på tillverkarens teoretiska uppgifter för olika frekvenser.

### 3.2 RESULTAT OCH DISKUSSION

Flest säkra observationer av ål gjordes med ARIS, en del gjordes även med DIDSON, men ingen av de observationer som gjordes med DIDSON LR kan med säkerhet sägas vara av ål (Tabell 1). Flest observationer gjordes på kvällen, men med en kort aktivitetstopp även på morgonen (Figur 6).

De relativt många misstänkta ålobserveringar som gjordes med DIDSON LR jämfört med ARIS, med hänsyn till analyserad datamängd, kan troligen förklaras med skillnader i bildkvalitet (Tabell 1). Det är lättare att förkasta falska observationer gjorda med ARIS, medan den lägre bildkvaliteten i DIDSON-video medför större osäkerhet i artbestämningen. För DIDSON LR gäller dessutom att synfältet var större och därmed också sannolikheten för observation. Tyvärr kan samma jämförelser inte göras mellan ARIS och standard-DIDSSON då analyser

gjordes av olika personer som hanterade osäkra observationer på olika sätt. Däremot ligger antalet säkra observationer i samma storleksordning för ARIS och standard-DIDSON, då hänsyn tas till den analyserade datamängden (Tabell 1). På kortare avstånd var skillnaden mellan ARIS och DIDSON på samma frekvens försumbar. Det var lika lätt att identifiera ålar i video från båda systemen. På längre avstånd, ca 15-25 meter, ger dock den bättre bildkvaliteten ARIS en klar fördel. Långa avstånd begränsar också bildhastigheten, vilket ytterligare försvårar identifiering. Med 40 meters synfält hos DIDSON LR sker inspelning med en bildhastighet på 4 fps. Sannolikheten att få en bra bild av en ål som passerar genom det snäva synfältet nära kameran är då liten. Låg bildhastighet innebär också att det blir svårare att se rörelsemönstret hos simmande fiskar. Det slingrande rörelsemönstret är en av de viktigaste karaktärerna för identifiering av ål från sonarvideo.

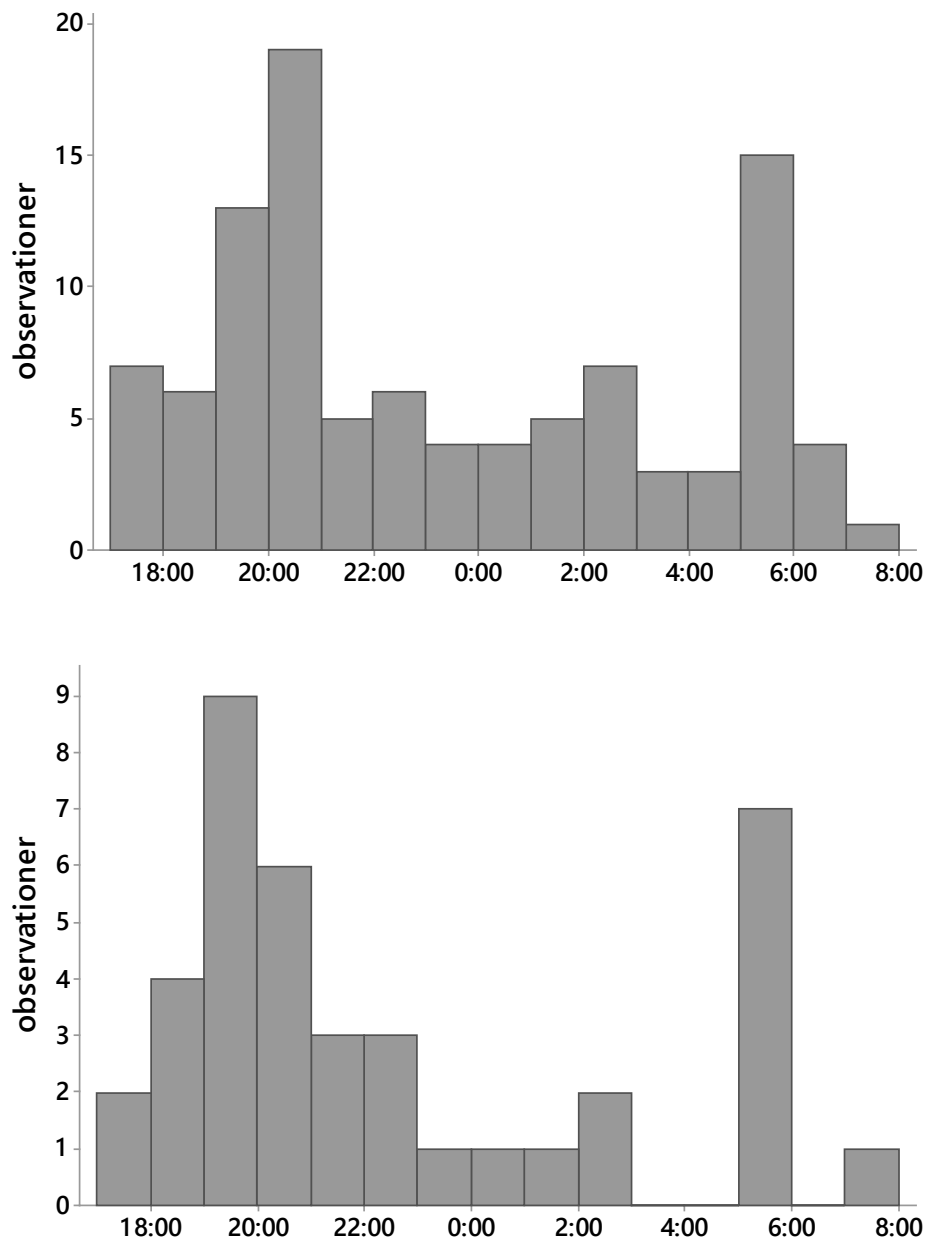
Placering av kameran är viktig för att täcka det område man vill studera. Synfältet är begränsat till en rektangulär kon (pyramid) på 28x14 grader (utifrån kameran). Utan fond i synfältet som fångar upp skuggor av de studerade ålarna är det omöjligt att uppfatta på vilket djup ålarna i bild befinner sig. Men skuggor kan ungefärlig position i djupled tas fram.

**Tabell 1. Sammanfattning av resultat från övervakning med sonarkameror vid Holmens kraftverk.**

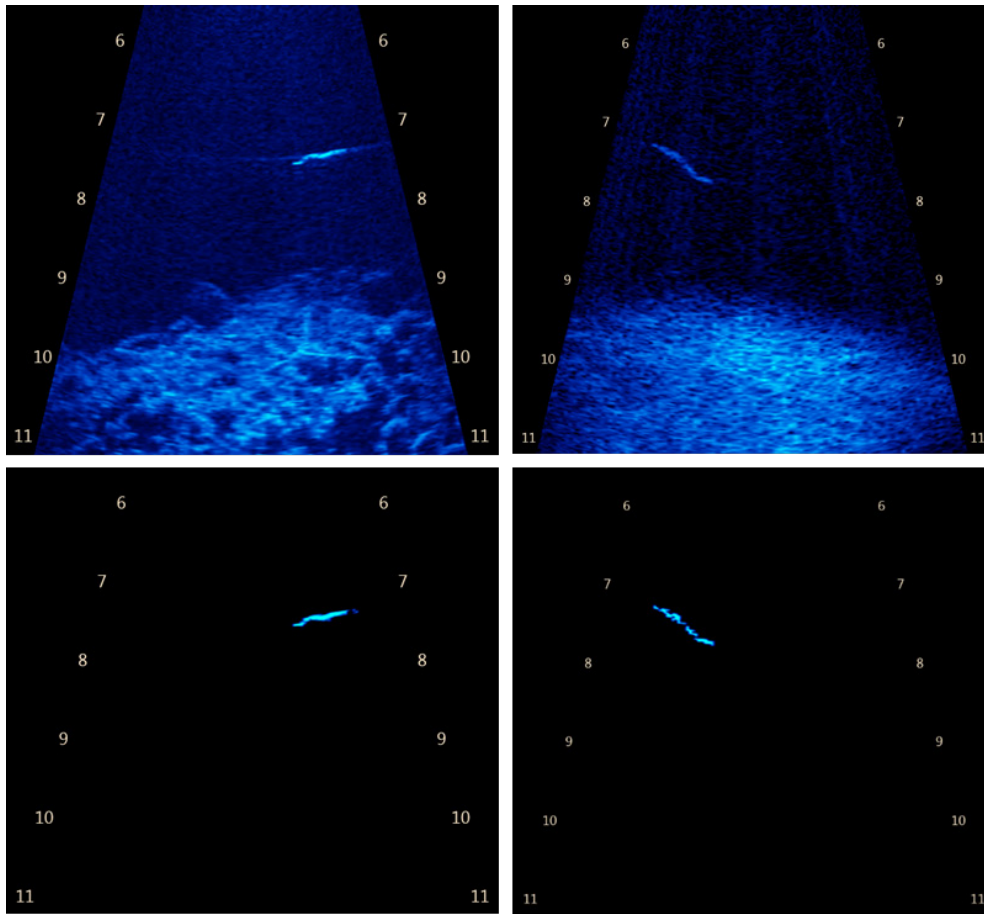
|                                                             | ARIS     | DIDSON | DIDSON LR         |
|-------------------------------------------------------------|----------|--------|-------------------|
| Analyserad video (timmar)                                   | 602      | 112    | 154               |
| Misstänkt ål                                                |          |        |                   |
| Antal observationer (antal)                                 | 65       | -      | 38                |
| Längsta avstånd (m)                                         | 25       | -      | 41                |
| Position (antal intag/gamla fåran)                          | 8/57     | -      | 38/0 <sup>1</sup> |
| Simriktning (antal uppströms/okänt <sup>2</sup> /nedströms) | 24/12/29 | -      | 2/1/35            |
| Bestämt ål                                                  |          |        |                   |
| Antal observationer (antal)                                 | 41       | 6      | 0                 |
| Längsta avstånd (m)                                         | 25       | 9      | -                 |
| Position (antal intag/gamla fåran)                          | 8/33     | 6/0    | -                 |
| Simriktning (antal uppströms/okänt <sup>2</sup> /nedströms) | 10/11/20 | 2/0/4  | -                 |

<sup>1</sup> DIDSON LR användes endast för filmning mot omlöpet.

<sup>2</sup> Vid intaget innebär "okänt" simmande längs galler. I omlöp innebär "okänt" tillfälligt synlig mellan stenar och/eller stillastående.



Figur 6. Observationer av ålar (övre panelen: misstänkta, nedre panelen säkra observationer) presenterade enligt fördelning över tid på dygnet. Filmning skedde från kl 17 eller 18 till kl 7 eller 8, beroende på solens upp- och nedgång. Tidsangivelsen följer UTC+1, d.v.s. lokal tid utan hänsyn till sommartid.



Figur 7. Sonaravbildning av ålar på 7,5 meters avstånd från kameran. Till vänster filmat med ARIS och till höger filmat med DIDSON. Övre panelen innehåller bildrutor från video i originalformat, i nedre panelen visas samma bildrutor men med bakgrundsreduceringsfilter (SMC adaptiv).

## 4 Ålstudie i Göta älv

Vid omställning av turbiner i ett vattenkraftverk från normal drift till skonsam drift eller andra åtgärder för att underlätta passagen, behövs information om att ålar närmar sig (Early Warning). Systemet måste ha relativt lång räckvidd (minst 30 - 40 m) för att vara användbart i större vattendrag, arbeta självständigt och avge larm i realtid. Sonarkameror i kombination med automatisk bildanalys är en tänkbar lösning. Förutom den tekniska räckvidden (detektering av fiskar av aktuell storlek) är förmågan till identifiering (bestämning till fiskart) avgörande. Den sonarkamera som enligt tekniska beskrivningar har längst räckvidd (80 m) för detektering av fisk är DIDSON Long Range. En förfrågan gjordes till forskarkollegor om befintliga inspelningar av vandrande blankålar med sådan sonarkamera. Resultatet var magert, mycket få sekvenser erhöles och inga som kunde utgöra underlag för en bedömning av räckvidden. En forskargrupp hade negativa erfarenheter av att försöka detektera ålar. Ett praktiskt försök bedömdes vara nödvändigt. Ett DIDSON LR system lånades in från norska kollegor vid NINA (Norsk institutt for naturforskning). Ett DIDSON system av standardmodell lånades också in från samma källa. Dessa två system användes tillsammans med ett av Krafttag ål-projektet Älvandring Komplette inköpt ARIS system vid ålstudier i Motala Ström. Inspelningarna där under sommaren resulterade i mycket få sekvenser med ål; vattenområdet var relativt stort i relation till antalet ålar (utsatta och naturligt förekommande). Det smala synfältet för sonarkameror spelade sannolikt också in. En registrering av vad som bedömdes som en större fisk gjordes på avståndet 37-38 m med LR-modellen. Det gick då inte att avgöra säkert vilken fiskart det rörde sig om även om längden, frekvensen av simrörelser mm påminde om ål. Det var tydligt att ett försök med inspelning behövde göras på en plats med ett stort antal ålar i rörelse. En lämplig sådan plats bedömdes vara Lilla Edet i Göta Älv där ett flertal transporter av T&T ålar lossas årligen.

### 4.1 PLATSBESKRIVNING

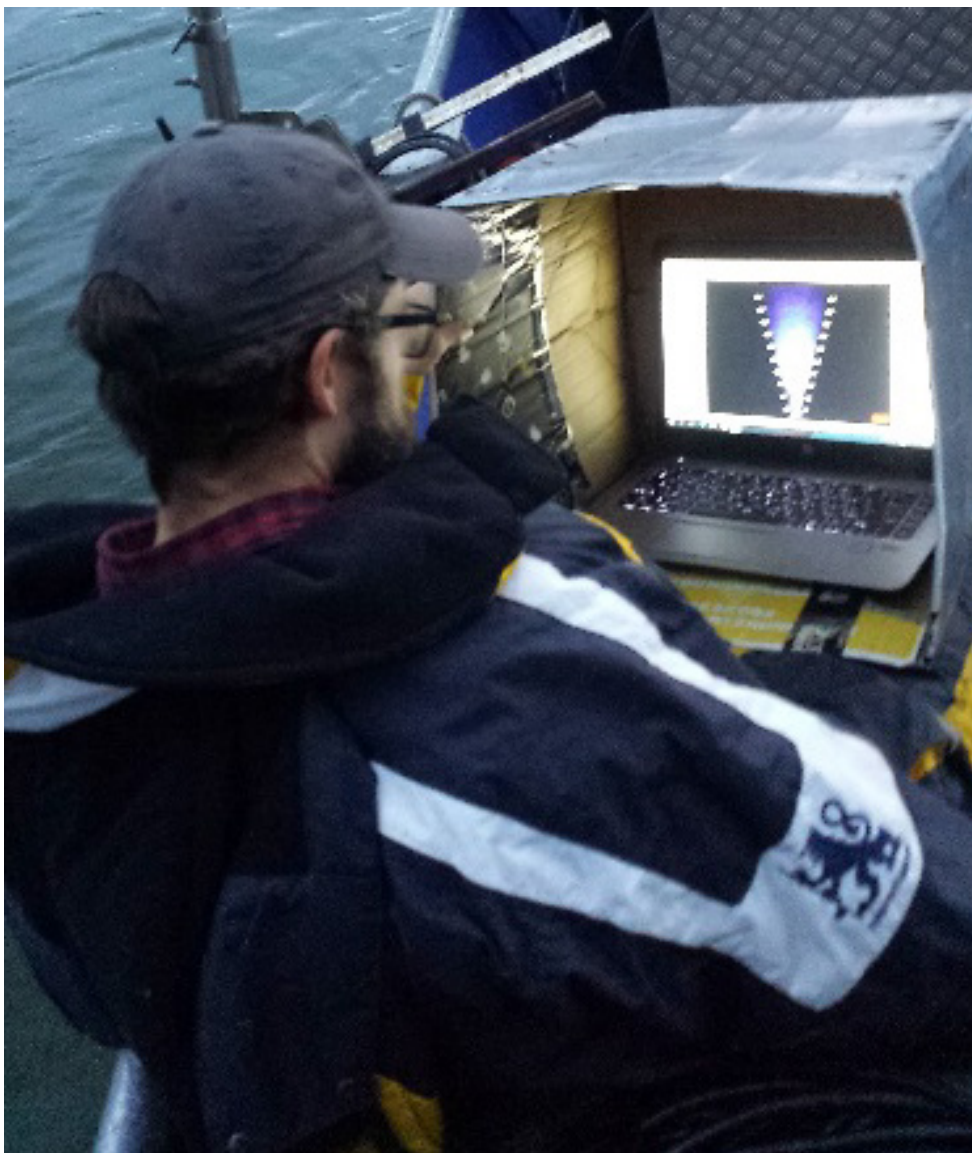
Efter rekognosering valdes en plats omkring 300 m nedanför kraftverket där bottenförhållandena är lämpliga och det finns bra väg fram till strandkanten för åltransportbilen (Figur 8). En kort brygga just intill gör det möjligt att lägga till med båt. Planen var först att genomföra försöket under april-maj, men förskjutningar på grund av intern och extern samordning gjorde att det sedan genomfördes mot höstkanten (mitten av september). Ett flertal T&T utsättningar har gjorts i området tidigare (april-nov 2010-2016), men då 200 m längre uppströms.



Figur 8. Området nedströms Lilla Edets kraftverk i Göta Älv med den valda platsen för utsättning och filmning av T&T ålar.

#### 4.2 GENOMFÖRANDE

Kameran monterades tillsammans med sin servostyrning på ett stativ. Styrningen gör att kameran kan panorera och vinklas i höjdled (eng. pan/tilt) via datorn. Stativ med kamera sattes i sin tur fast på en stabil båt som Vattenfall ställde till förfogande. Kameran sänktes till 0,5 m djup och riktades snett nedåt så att ljudstrålens översta del inte skulle ge nå vattenytan och ge störande reflexioner. Styrutrustningen (laptop) med sin bildskärm sattes upp under ett improviserat ljus- och regnskydd (Figur 9).



Figur 9. Riggning av styrutrustning för DIDSON systemet.

Åltransportbilen lossade sin last av ål och vatten genom en slang på vanligt sätt med en slang som nådde en bit ut i vattnet (Figur 10). Ålarna såg ut att vara i god kondition och dök direkt mot botten där de försvann ur synhåll. Totalt sattes ett tusental ålar ut.



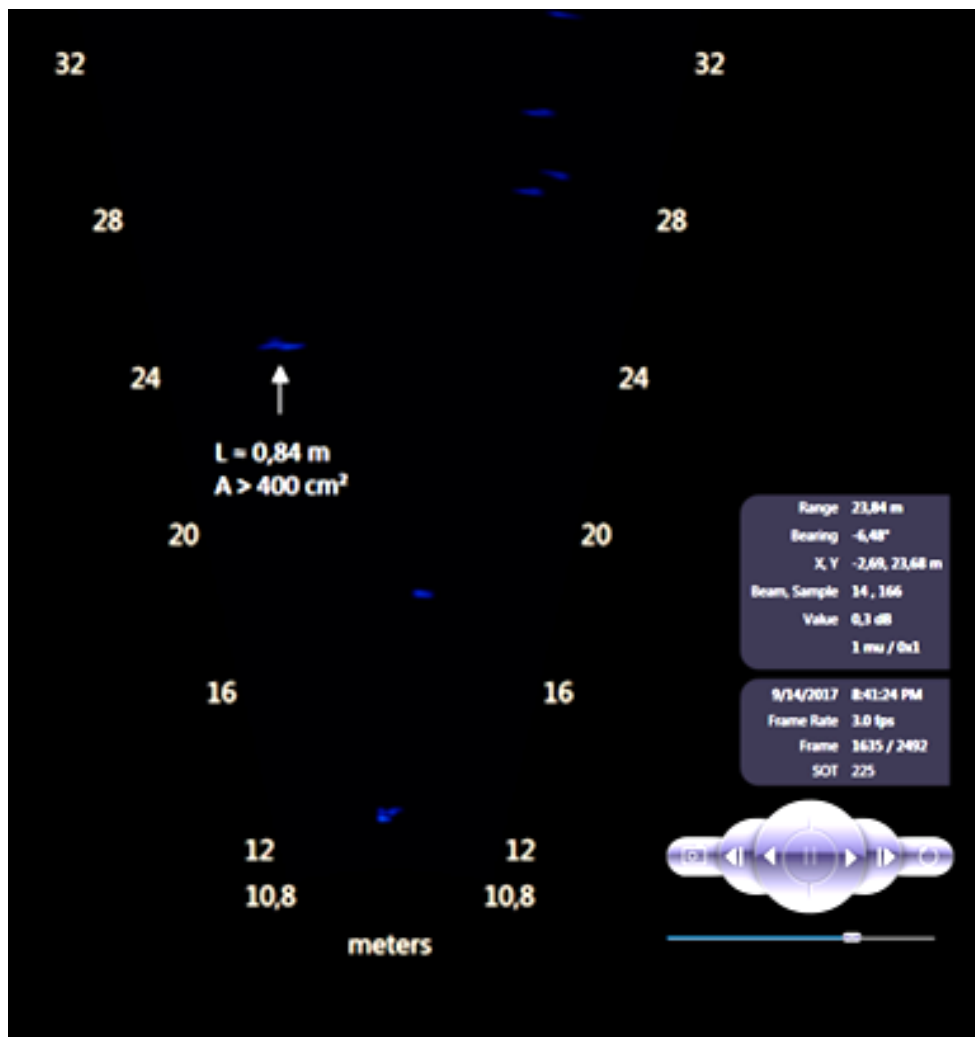
Figur 10. Lossning av T&T ålar nedströms Lilla Edets kraftverk i Göta Älv.

Sonarkameran var igång under själva utsättningen. Filmning skedde då från båten ett stycke ut i vattendraget, riktat in mot utsättningsplatsen. Båten förtöjdes efter utsättning vid bryggan i väntan på mörkret. Vartefter filmning skedde från denna fasta punkt i riktning ut mot huvudfåran i Göta älv.

#### 4.3 RESULTAT OCH DISKUSSION

Två saker blev snabbt tydliga vid filmning under utsättningen. Den ena var att i stort sett inga fiskekon alls registrerades. Att ålarna snabbt sökte skydd vid botten var väntat då dagsljus fortfarande rådde, men det fanns dessutom tydligen mycket litet annan fisk i området. Den andra var att bildkvaliteten från kamerasystemet blev låg när inspelning skedde från båt under rörelse. Det berodde delvis på att en analysfunktion i systemet (Background subtraction) då inte kunde användas. När båten låg still blev bildkvaliteten betydligt bättre och när mörkret så småningom föll ökade antalet fiskekon snabbt och ett stort antal fiskar kunde urskiljas.

Upplösningen i bilderna var dock inte tillräcklig, ens vid relativt kort avstånd, för att visuellt avgöra om det rörde sig om ål eller inte. Detta är en effekt av den låga frekvens (0,7 MHz) som systemet använder, den ger lång räckvidd men låg upplösning. Flera element (stadig kurs, jämn hastighet, jämn frekvens i simrörelserna) har tidigare observerats hos ålar i inspelningar med ARIS och indikerade tydligt att det rörde sig just om ålar. Till detta kom analysdata från programvaran (målets längd 0,8-0,9 m; Figur 11). Sammantaget ledde detta till att bedömningen "säker vuxen ål" gjordes. Slutsatsen styrktes av det stora antalet fiskekon i det nyss "fisktomma" vattnet, upp till 3-4 st samtidigt, alla samma simbeteende.



Figur 11. Skärmbild av fiskeko vid Lilla Edet, bedömt som vuxen ål.

Enligt datablad kan DIDSON LR detektera fisk på upp till 80 m avstånd. I de aktuella försöken har vi sett fiskekon på upp till 40 m avstånd.

Didson Long Range kan inte på något avstånd direkt avgöra om synliga fiskekon kommer från vuxna ålar, upplösningen är alltför låg.

Med kompletterande observationer (simsätt, inmätning av ekon) är det möjligt att med god säkerhet avgöra om det rör sig om ål. Det längst bort observerade ekot (Motala Ström; 40 m) bedöms på detta vis (i efterhand) ha varit en vuxen ål.

Med kompletterande omvärldsdata (triggers för ålvandring, väntad frånvaro av andra utvandrande arter) kan säkerheten ytterligare ökas genom att ta hänsyn till sannolikheten för ål i området.

Bättre kunskap behövs om blankålars vandringsbeteende under ostörda förhållanden. Det gäller särskilt på vilket djup ålarna går, men också deras orientering i relation till stränder, strömdrag, djupfåra. Anledningen är sonarkamerornas begränsade öppningsvinkel och räckvidd.

Justering i programvaran (höjd övre gräns för störningsfiltret) kan göra det möjligt att på avstånd beräkna fiskens diameter, vilket tillsammans med kroppslängden kan göra bestämningen av art (ål/ej ål) säkrare. En förfrågan om en sådan modifiering är möjlig har ställts till tillverkaren SoundMetrics. Om den nämnda mjukvarujusteringen kan göras är det motiverat att också testa den.

En avvägning behöver göras mellan risken att ge kostsamma "falsklarm" och risken att missa att ge ett larm när ålar närmar sig ett vattenkraftverk. Hur ser industrin på osäkerheter/kostnader? Hur lång förvarning behövs för omställning vid ett larm? Detta har betydelse för var kameran ska lokaliseras.

## 5 Kompletterande tekniska tester i Motala ström

### 5.1 DJUPINFORMATION – FÖRSÖK MED DUBBLA KAMEROR

Det material man får ut av en sonarkamera innehåller egentligen ingen information om ett objekts position i djupled, alltså var i vattenpelaren (nära botten eller ytan) det befinner sig. Bilden i dessa kameror skapas av tunna parallella "ljustrålar" skickas ut från kameran och studsar på objekt framför kameran. Varje stråle är 0,3° bred och 14° hög. När ekon från en enskild stråle kommer tillbaka mottas dessa kollektivt av receptorn. Det finns alltså ingen information om från vilken vinkel, inom synfältets 14°, ett eko kommer. Sticker man ner en lång stav helt vertikalt framför kameran kommer denna alltså avbildas som en prick. Den enda möjlighet att få ett hum om ett objekts position i djupled, eller höjden på en stav, är om man vinklar kameran snett ner mot botten så att denna blir till bakgrund i stora delar av synfältet. Då kommer objekts skuggor synas på botten om de befinner sig tillräckligt djupt. Ju närmare botten objektet befinner sig, desto kortare blir avståndet mellan objektets eko och skugga i bilden. På samma sätt blir skuggan från en stav längre ju högre den sticker upp från botten.

För detektion av vandrande ålar är information om var i vattenmassan de befinner sig inte viktigt. Men vid studier av ålars rörelsemönster och vägval är det desto viktigare. Om det t.ex. handlar om att skapa avledare och flyktöppningar i anknytning till kraftverkspassage behövs information om huruvida ålarna kommer simmande längs botten eller nära ytan. Här kommer dagens sonarkameror till korta.

#### 5.1.1 Genomförande

I ett försök att inkludera djupinformation vid filmning med sonarkamera utfördes en test där två kameror filmade samtidigt. En ARIS monterades konventionellt med horisontellt synfält, och i direkt anslutning monterades även en DIDSON riktad åt samma håll men i 90° vinkel, alltså med spridningen av synfältet i vertikal led. Kamerorna placerades med synfältet längs Holmens intag. Sedan drogs föremål genom synfältet på bestämda avstånd framför kamerorna.

#### 5.1.2 Resultat och diskussion

Med den beskrivna uppställning avbildades objekt som rör sig i (mer eller mindre) horisontalld detaljerat med ARIS, så att identifikation av objektet möjliggörs. Samtidigt avbildas samma objekt som en (mer eller mindre) stillastående punkt med DIDSON. Denna punkts placering i synfältet (avstånd och vinkel från kameran), tillsammans med kännedom om kamerans placering i vattenpelaren (avstånd till botten och ytan) kan sedan användas till att exakt beräkna objektets position i djupled. Tillsammans med materialet från ARIS kan då objektets exakta position i tre dimensioner (3D) tas fram för den tidsperiod då objektet befinner sig inom synfälten för båda kameror, alltså inom en pyramidformad volym med 14° spridning i båda led.

Uppställningen med två kameror ger den information som eftersträvas. En nackdel är dock att systemen störde varandra när de placerades så tätt samman, med överlappande synfält. Under dessa förutsättningar störde kamerorna varandra oavsett om de jobbar på samma eller olika frekvens. Störningarna visade sig i form av flimrande falska ekon. Dessa falska ekon är lätta att särskilja från äkta, men gör videomaterialet mindre estetiskt tilltalande och försvårar analysarbetet eftersom störningarna inte kan åtgärdas av bakgrundsreduceringsfilter (se avsnitt 5.2 för detaljer kring störningarnas omfattning).

## 5.2 STÖRNINGSTEST

Det föreliggande projektet omfattade dels arbete med flera sonarkameror samtidigt i nära anslutning, dels arbete med sonarkameror och akustisk telemetri inom samma område. För att utreda omfånget av eventuella störningar mellan de olika systemen utfördes en rad störningstest.

### 5.2.1 Mellan sonarkameror

#### *Genomförande*

Under försöket med att använda två kameror samtidigt för att inkludera djupinformation och därmed kunna följa objekt i 3D uppdagades att kameror som opererar i samma område stör varandra (avsnitt 5.1). Denna uppställning innebar att kamerorna var monterade i direkt anslutning till varandra, längs samma vertikala ställning. En kamera var monterad med vertikalt synfält och en med horisontellt. De båda kamerornas synfält överlappade då till stor del. För att ytterligare utreda omfattningen av störningarna gjordes testfilmningar med kameror monterade nära varandra men riktade åt olika håll samt kameror monterade på avstånd men riktade mot varandra.

#### *Resultat och diskussion*

Då kamerorna var placerade nära varandra uppstod störningar så länge det fanns minsta överlapp mellan respektive synfält, oavsett om kamerorna kördes på samma eller olika frekvens. Störningarna uppkom även då synfälten inte överlappade men hade liten vinkel mellan sig. Troligen sker en viss spridning av ljudsignalen åt sidorna, utanför synfältet som då plockas upp av den närliggande kamerans mottagare. Störningar under dessa förhållanden var större då kamerorna kördes på samma frekvens och framför allt då de använde den lägre frekvensen.

När kamerorna placerades på ca 30 meters avstånd, riktade mer eller mindre mot varandra, uppstod störningar framför allt då båda systemen kördes på låg frekvens. Detta avstånd medförde inga störningar då båda systemen använde den högre frekvensen. Då systemen använde olika frekvenser uppstod vissa störningar från den som var inställd på låg frekvens. Även vid denna typ av uppställning gäller att störningarna minskar med minskande överlapp mellan synfälten, d.v.s. då kamerorna inte är riktade direkt mot varandra.

### 5.2.2 Mellan sonarkameror och akustisk telemetri

Den telemetriska utrustning som användes för att följa märkta ålar i detta projekt är baserade på akustik (ljudsignaler) men jobbar på en annan frekvens än sonarkameror. Men för att vara säker på att inga störningar uppstod, framför allt ifall telemetriutrustningens funktion störs eller känslighet minskas, utfördes en rad tester som jämförde de olika systemens funktion med och utan andra system i närheten.

#### *Genomförande*

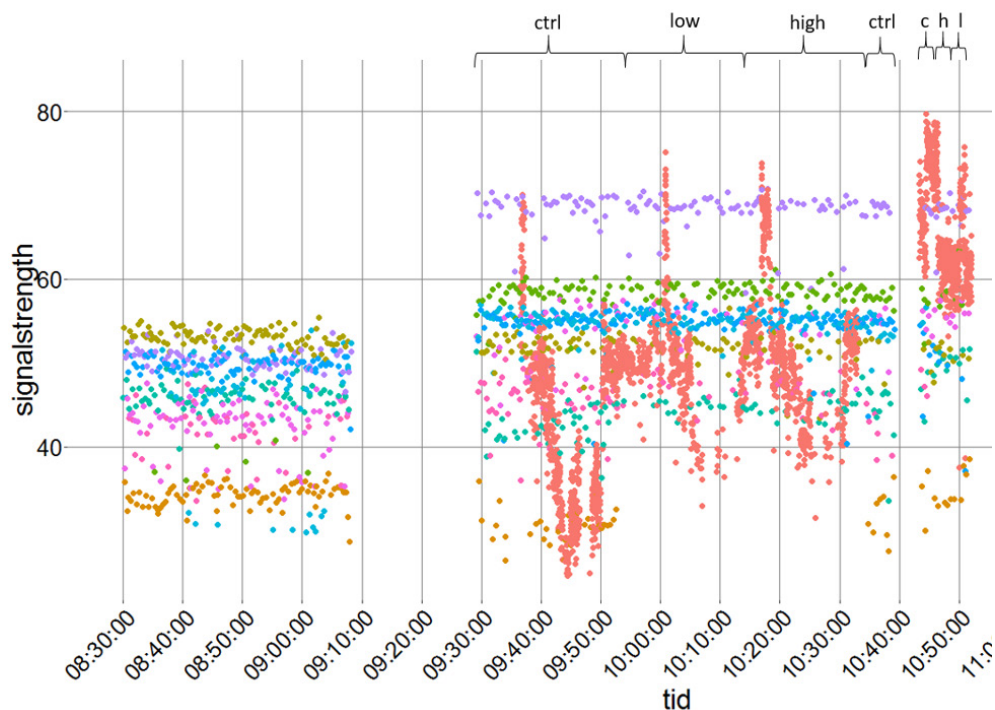
En logger (VEMCO akustisk telemetrimottagare) kopplades direkt till en bärbar dator och placerades i vattnet direkt utanför Holmens uttag. Med datorn inkopplad kan antal registreringar och signalstyrka från sändare i närheten följas i realtid. Medan en person följde registreringarna på datorn drog en annan person runt en sändare i vattnet släpande efter en roddbåt. I första hand utan någon sonarutrustning igång. Sändaren släpades uppströms i vattendraget tills den kom utom räckhåll för mottageran. Samtidigt fanns ett antal loggrar utplacerade i området, även dessa innehåller egna sändare. Samma förfarande upprepades sedan med sonar (ARIS) igång, en omgång på varje frekvens, och logger placerad i direkt anslutning till sonaren. Sändaren släpades samma runda i vattendraget, där den också passerade nära den andra sonarkameran. Slutligen flyttades mottagaren så att även denna släpades, nedsänkt i vattnet, en kortare runda under de tre scenarierna, hög frekvens, låg frekvens och ingen sonar aktivitet (kontroll). Under testerna kunde räckvidden för telemetrisystemet jämföras under de olika scenarierna tillsammans med antalet registreringar och signalstyrka. Under full täckning registreras alla signaler som sänds ut, men efter hand som täckningen avtar uteblir registrering av en del av signalerna, och blir mer sporadisk.

Även telemetriutrustningens eventuella påverkan på sonarkamerorna undersöktes genom att filma ett givet område med och utan närvaro av telemetrimottagare och sändare i direkt anslutning.

#### *Resultat och diskussion*

Testerna visade ingen avgörande påverkan från sonarkameror på telemetrisystemet. Det syns ingen skillnad i signalstyrka från sändarna i de utplacerade loggrarna under kontroll, låg och hög frekvens. Däremot uteblev registrering av svaga signaler, under ca 35 dB, då sonarkameran var i drift. Detta syns både i signalen från sändaren som släpades runt med båt och en av de stationära loggrarna (Figur 12). Skillnaderna i antal registrerade signaler med låg styrka från den mobila sändaren kan eventuellt förklaras (till viss del) med avvikelser i rutten mellan scenarierna. Sändaren befann sig i ett område med omfattande undervattensväxtlighet under lite längre tid under kontrollrundan. Växtligheten har en märkbar effekt på signalens räckvidd. Men eftersom skillnad också syns i antalet registrerade svaga signaler från en stationär logger, verkar sonaren ha en viss påverkan på mottagarens känslighet.

Inspelningarna från sonarkameran visar inga tecken på störande påverkan från telemetrisystemet, varken sändare eller mottagare.



Figur 12. Resultat från störningstest mellan sonarkamera och akustisk telemetri. Punkterna i grafen visar antal registreringar och signalstyrkan (dB) på dessa från en sändare som släpades runt med båt (röd) och stationära loggrar utplacerade i området. Testet gjordes under tre scenarier, utan sonaraktivitet (ctrl/c), sonar aktiv på låg frekvens (low/l) och hög frekvens (high/h). Under de längre testperioderna är testmottagaren stationär i anslutning till sonar, under de korta testerna (höger i graf) släpas mottagaren med båt. Observera uteblivna registreringar från sändare representerad av röda respektive orangea punkter under den första testperioden med aktiv sonar.

## 6 Sammanfattande diskussion

Sonarkameror har potential att användas som varningssystem för nedströmsvandrande blankålar vid tillämpning av skonsam drift vid kraftverk. I dagsläget finns dock ingen universell "plug & play"-lösning färdig att installera vid kraftverk. De största utmaningarna som måste hanteras innan en tillämpning i skarpt läge omfattar i) kamerornas begränsningar i synfält i kombination med bristande kunskap om ålarnas rörelsemönster i vattendraget under vandringen och ii) automatisk detektion. Man måste veta var kameran ska placeras för att täcka in en så pass stor andel av de passerande ålarna att de är representativa för vandringsmönstret i det aktuella vattendraget. För att videokvaliteten ska vara tillräcklig för analys behöver ålarna befinna sig i fria vattenmassan (ej delvis skuggade av t.ex. bottenstrukturer). För detta behövs undersökningar av var i vattenmassan ålarna vandrar i olika typer av (ostörda) miljöer.

Automatisk detektion av passerande ålar är nödvändig för att sonarkameror ska kunna utnyttjas som varningssystem för ålvandring. Det finns en, enligt litteraturen, färdigutvecklad programvara för automatisk detektion av ål för DIDSON (Bothmann et al., 2016). Detta program ska kunna ge varningar om passerande ålar i nästintill realtid (upp till 1,5 minuts fördröjning). Det finns även företag specialiserade inom sonardata och bildbehandling som kan ta fram lösningar för automatisk detektion. Tester av det befintliga programmet har ej varit möjliga inom det föreliggande projektet. Inför en eventuell tillämpning behövs oberoende utvärdering eller ny mjukvara utvecklas.

Jämförande utvärdering av de olika kamerorna som omfattades i denna studie visade påtagliga skillnader i prestanda. DIDSON Long Rang som ansågs ha störst potential för övervakning i större vattendrag som Göta älv visade sig ha för låg bildupplösning för säker identifiering av ålar. Med ARIS och standard-DIDSON kunde ålar däremot artbestämmas. På korta avstånd, upp till ca 10 meter, och med fri sikt var skillnaden mellan ARIS och DIDSON liten. Båda gav då tydliga bilder på ålar. Med ARIS gick det att identifiera ålar på upp till 25 m avstånd, medan DIDSON inte genererade några säkra ålobserverationer bortom 10 m avstånd. ARIS och DIDSON skulle alltså kunna användas för övervakning av ålar i mindre vattendrag, och ARIS har en klar fördel i bildkvalitet vid användning på lite större avstånd.

När det gäller detektion på längre avstånd, och användning av DIDSON LR generellt, är den centrala frågan vilka krav som ställs på säker identifiering. Kan ett varningssystem för ålvandring baseras på troliga ålobserverationer eller måste varje detektion till 100% säkerhet kunna fastställas som ål. Objekt i samma storlek som vuxna ålar kunde inom detta projekt detekteras upp till i alla fall 40 m avstånd, men det rådde då osäkerhet om ekona kom från ålar eller andra objekt. Graden av osäkerhet påverkas av i vilken utsträckning andra fiskarter och objekt kan passera kameran i det aktuella området.

Beteendestudier på ålar i kraftverksmiljö kan med fördel göras med ARIS, som har avsevärt bättre bildkvalitet än DIDSON. Men även i detta sammanhang kan synfältets omfattning utgöra en begränsning. Detta gäller inte bara ARIS. Oavsett

placering kommer kameran inte kunna täcka hela vattendragets profil. Placeringen måste noga övervägas utifrån syftet med studien. En annan viktig begränsning hos sonarkamerorna är att bildmaterialet inte innehåller någon egentlig djupinformation för objekt som observeras i den fria vattenmassan. Då kameran är horisontellt riktad avbildas fiskar likadant oavsett var de befinner sig i djupled. Med kameran placerad snett ner mot botten kan en eventuell skugga som kastas av fisken ge en uppfattning om dess vertikala placering inom synfältet. Om djupinformation är viktig, t.ex. hur en ål närmar sig ett kraftverksintag, kan denna erhållas genom att filma med två kameror. En kamera placeras då i den vinkel som ger bäst avbildning av ålarna, den andra kameran placeras i samma kompassriktning men vrids 90°. På så sätt erhålls bildmaterial med en kamera och djupinformation med den andra. Om kamerorna placeras med överlappande synfält kommer videomaterialet innehålla störningar i form av flimmer som påverkar både bildkvalitet och analysprocessen negativt. Men uppställningen fungerar för syftet att inkludera djupinformation.

## 7 Slutsatser

- DIDSON Long Range har för dålig upplösning för att med absolut säkerhet identifiera ålar på något avstånd. Detta system lämpar sig alltså dåligt för detektion av vandrande ålar i Göta älv.
- Med ARIS kunde ålar identifieras med säkerhet upp till ungefär 25 m avstånd. Detta system har därför potential att användas för övervakning av ålens vandring i mindre vattendrag. En lyckad tillämpning i detta syfte kräver dock att kameran kan placeras så att en representativ andel av de vandrande ålarna passerar genom synfältet.
- Programvara för automatisk detektion av ålar finns beskriven i litteratur. Denna behöver dock genomgå oberoende utvärdering.
- ARIS är ett bra verktyg för att studera ålens vandring i kraftverksmiljöer. Styrkan ligger i att den är oberoende av ljus och därmed kan användas oavsett tid på dygnet. De största bristerna hos sonarkameror i detta sammanhang är synfältets begränsning samt svårigheten att avgöra ålarnas position i djupled.
- Störningstest visar att sonarkameror har en viss störande effekt på känsligheten för svaga signaler hos mottagarna för akustisk telemetri då de olika systemen är placerade i samma område.

## 8 Referenser

- BOTHMANN, L. 2016. *Efficient statistical analysis of video and image data*. Dissertation, München, Ludwig-Maximilians-Universität, 2016.
- BOTHMANN, L., WINDMANN, M. & KAUERMANN, G. 2016. Realtime classification of fish in underwater sonar videos. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*.
- MUELLER, A.-M., MULLIGAN, T. & WITHLER, P. K. 2008. Classifying Sonar Images: Can a Computer-Driven Process Identify Eels? *North American Journal of Fisheries Management*, 28, 1876-1886.
- STATKRAFT Aalschonendes Betriebsmanagement. In: GMBH, S. M. (ed.).
- STEIN, F., CALLES, O., HÜBNER, E., ÖSTERGREN, J. & SCHRÖDER, B. 2014. Understanding downstream migration timing of European eel (*Anguilla anguilla*) - Analysis and modelling of environmental triggers. *Elforsk rapport*.
- ÖSTERGREN, J., KARLSSON, S., LEONARDSSON, K., ERIKSSON, A., WICKSTRÖM, H. & CALLES, O. 2014. Radiotelemetriundersökning av ålens passage av vattenkraftverk i Motala ström. *Elforsk rapport*.



# UTVÄRDERING AV SONAR SOM VARNINGSSYSTEM FÖR NEDSTRÖMS ÄLVANDRING

Här har tre typer av sonarkameror utvärderats som tänkbar teknik för att detektera nedströms utvandrande blankålar. Tekniken skulle ge en förvarning om vandrande ålar och medföra en möjlighet att i realtid ställa om kraftverken till så kallad skonsam drift.

Resultaten visar att en av sonarkamerorna hade för dålig upplösning för att med absolut säkerhet kunna identifiera ål. Det gör att den lämpar sig dåligt som varningssystem i vattendrag av Göta älvs storlek.

I mindre vattendrag skulle de två andra kameratyper som har undersökts kunna användas för att övervaka ålens vandring. En förutsättning är att man vet var i vattenmassan som ålarna förväntas simma och att en representativ andel av de vandrande ålarna simmar så att de passerar fritt i kamerans synfält.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



Energiforsk