



Tekniska lösningars tillämpbarhet för förbättrad nedströmspassage för ål

– Applicerat på Göta älv och Motala ström

Elforsk rapport 14:35



Olle Calles, Jonas Christiansson, Jan-Olov Andersson, Simon
Karlsson, Håkan Wickström och Johan Östergren oktober 2014

ELFORSK

Tekniska lösningars tillämpbarhet för förbättrad nedströmspassage för ål

Elforsk rapport 14:35

Olle Calles, Jonas Christiansson, Jan-Olov Andersson, Simon
Karlsson, Håkan Wickström och Johan Östergren.

oktober 2014

Förord

Föreliggande rapport är resultatet av forskningsprojektet Tekniska lösningars tillämpbarhet för förbättrad nedströms passage för ål. Projektet bygger vidare på resultat från forskningsprojektet Ålens möjlighet till passage av kraftverk (Calles & Christiansson, 2012). Båda projekten genomfördes inom programmet Krafttag ål. Detta efterföljande projekt hade sin utgångspunkt i att förbättra kunskaperna om tekniska lösningar för nedströmspassage av ål i medelstora och stora vattendrag. Metoden var att studera genomförda åtgärder i och utanför Sverige, och därefter avgöra om och hur dessa lösningar skulle kunna vara tillämpbara för Göta älv och Motala ström.

Projektet har utförts under ledning av Olle Calles, Karlstads universitet, i samarbete med Håkan Wickström och Johan Östergren båda vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Simon Karlsson och Jan-Olov Andersson båda vid Karlstads universitet samt Jonas Christiansson, Elghagen Fiskevårdskonsult.

Krafttag ål är ett samarbete mellan vattenkraftföretag och Havs- och vattenmyndigheten kring insatser för ålens bevarande. Uppdragsgivare för detta projekt var E.ON Vattenkraft Sverige AB, Fortum Generation AB, Havs- och vattenmyndigheten, 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 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, november 2014



Sara Sandberg
Programområde vattenkraft
Elforsk

Sammanfattning

Innevarande rapport syftar till att granska åtgärder för förbättrade nedströmspassagemöjligheter för ål vid vattenkraftverk, samt diskutera deras applicerbarhet på kraftverk i Göta älv och Motala ström. I denna rapport presenteras principskisser och en diskussion av möjligheter och begränsningar för sådana åtgärder vid kraftverken i de två vattendragen. Det understryks att ett eventuellt utförande av åtgärderna måste föregås av framtagandet av tekniska beskrivningar, kostnads- och riskanalys samt detaljprojekteringar.

Fiskanpassade galler med flyktöppningar och förbipassage eller uppsamling, är de mest lovande lösningarna för att möjliggöra en skadefri passage för fisk vid vattenkraftverk. Denna teknik bedöms ha bäst förutsättningar för att åstadkomma en repellerande effekt på de flesta arter och livsstadier. Till följd av att ålens beteende avviker från de flesta andra vandrande fiskarters, dvs. de är bottenorienterade och söker ofta kontakt med avledare, är det speciellt viktigt med avledare som täcker hela vattenkolumnen och utgör en fysisk barriär. Det finns få publicerade exempel på fiskanpassade galler med passage där både dess design och en vetenskapligt robust utvärdering presenteras. En särskild brist föreligger för stora kraftverk (slukförmåga >100 m³/s).

För att uppnå bästa möjliga funktion på lång sikt och samtidigt maximera antalet blankålar som når havet på kort sikt, bedömer vi att det är lämpligast att i första hand anlägga uppsamlingsstationer vid Vargöns kraftverk i Göta älv, samt Älvås och Fiskeby kraftverk i Motala ström. Detta beror i första hand på att dessa kraftverk är belägna direkt nedströms de förväntat högproduktiva sjöarna Vänern, Roxen och Glan. Den ål som samlas in där, transporteras lämpligen förbi nedströms belägna kraftverk för att maximalt öka överlevnaden för ålen.

I Motala ström bedömer vi att det bör vara tekniskt genomförbart att gå vidare med en teknisk projektering och värdering av åtgärdsförslagen för Älvås och Fiskeby kraftverk, eftersom de är av sådan storlek och karaktär att befintlig kunskap och erfarenhet av sådana åtgärder bedöms vara tillräcklig. Det är även viktigt att utreda aspekter som dammsäkerhet samt möjliga problem med is och drivgods.

I Göta älv rekommenderar vi att man vidare utreder möjligheter och begränsningar för en åluppsamlingsanläggning vid Vargöns kraftverk, lämpligen en β -avledare. Viktiga aspekter att beakta är t.ex. dammsäkerhet, skredrisk, fartygstrafik, isproblem och driftande makrofyter. I ett första steg kan man även utvärdera effektiviteten för en uppsamlingsanläggning i ett befintligt utskov utan att uppföra en avledare, men sannolikt kommer en sådan åtgärd att få låg effektivitet. Åtgärden vid Vargöns kraftverk kommer motsvarande åtgärd vid Olidan/Hojum vid Trollhättefallen inte att vara nödvändig, i synnerhet då fallen historiskt utgjort ett naturligt vandringshinder för andra arter än ål. Det kommer då inte heller att vara någon större mängd nedströmsvandrande blankål som når Lilla Edet.

Trots att låglutande galler med förbipassager och uppsamlingsstationer är den teknik som är mest lovande för att öka överlevnaden för nedströmsvandrande blankål i reglerade älvar, finns fortfarande en kunskapsbrist på området. Vi förordar därför projekt som studerar fullskaliga åtgärder för förbättrad

nedströmspassage vid kraftverk, i synnerhet stora kraftverk. Ett sådant projekt kommer behöva drivas i flera steg, med detaljerade studier av risker, kostnader, driftlösningar, skräphantering och kanske även tester med olika former av teoretiska och fysiska modeller. Det finns även ett stort behov av kunskap om ålens beteende vid olika gallerutformningar, lutningar, spaltvidder och flyktöppningar, där vi rekommenderar att sådana experimentella undersökningar genomförs både i fält och på lab.

Summary

The aim of this report is to review measures for improved passage conditions for silver eels at hydroelectric facilities, and to discuss the applicability of these to facilities/plants in the Swedish River Göta älv and River Motala ström. The report contains drawings of potential technical solutions at five sites and their feasibility are discussed and evaluated. In the conclusions we emphasize that the implementation of such measures must be preceded by detailed technical investigations and analyses of costs and risks associated with the facilities.

The literature review shows that low-sloping physical fish guiding devices and associated bypasses and/or collection facilities are the most promising techniques to provide safe downstream passage route past hydroelectric facilities to silver eels, as well as other species and life-stages. The use of physical barriers is of particular importance to successfully guide downstream migrating eels, since they are bottom-oriented and are known to pass barriers that e.g. do not cover the entire water column from surface to bottom. It should be noted, however, that examples of successful downstream passage facilities are rare in peer-review literature, in particular for eels and large hydroelectric facilities (intake capacity >100 m³/s).

The proposed strategy to increase the survival of downstream migrating silver eels from the primary rearing areas to the sea, is to construct guiding devices and collections facilities directly below the lakes that produce most of the silver eels in the systems. In the River Göta älv this concerns the Vargön hydroelectric facility, which is the first plant downstream from the Lake Vänern. In the River Motala ström this concerns the Älvås and Fiskeby hydroelectric facilities, which are the first plants downstream from Lakes Roxen and Glan, respectively. The best short-term solution is to collect eels at these three sites, and to transport and release them downstream the lowermost plant in each system.

For the plants in the River motala ström, we argue that the existing knowledge is sufficient to allow for a more detailed evaluation of the proposed solutions. Important aspects to evaluate further are e.g. dam safety, debris clogging and ice formation. For the plants in the River Göta älv we primarily propose to further investigate the feasibility of installing a β -rack and a collection facility at the uppermost Vargön hydroelectric facility. Considering the large size of the river system and the plants, the feasibility of such as solution is uncertain, and the important aspects to evaluate further are several e.g. dam safety, debris clogging, ice formation, shipping, erosion, risk for landslides, etc.

Low-sloping guiding devices in combination with bypasses and collections facilities are the most promising techniques to provide safe downstream passage for eels in regulated rivers, nevertheless there is a need for improved knowledge. With that in mind we recommend several future R&D activities. There is an urgent need to implement and evaluate more downstream passage solutions, in particular in large rivers. Such a project will have to be carried out using a prioritized step-wise approach, analyzing in detail technical design, risks, costs etc. The use of both theoretical and physical/hydraulic models, would probably be very useful tools in such a project. Finally, there is

also an urgent need for improved knowledge about eel behaviour as a response to different types of racks, guiding slopes, rack spacings and entrances to bypasses; consequently we recommend experimental studies addressing these questions to be carried out both in the field and in the laboratory.

Innehåll

1	Uppdraget	1
2	Bakgrund	2
3	Tekniska åtgärder för förbättrad nedströmspassage	4
3.1	Fysiska avledare för blankål	4
3.1.1	Spaltviddens betydelse	5
3.1.2	Ytans och lutningens betydelse.....	6
3.1.3	Flyktöppning och förbipassage	8
3.2	Konventionella galler med passage	9
3.3	Fiskanpassade galler med passage.....	12
4	Göta älv	19
4.1	Göta älv och ålen	19
4.1.1	Rekrytering	19
4.1.2	Bestånd/produktion	23
4.2	Passageåtgärder längs Göta älv – ett helhetsgrepp.....	24
4.3	Vargöns kraftverk.....	25
4.3.1	Åtgärdsbehov och övriga inverkanse faktorer	25
4.3.2	Om kraftverket	25
4.3.3	Åtgärdsförslag	27
4.4	Olidan och Hojum kraftverk	32
4.4.1	Åtgärdsbehov och övriga inverkanse faktorer	33
4.4.2	Om kraftverket	33
4.4.3	Åtgärdsförslag	34
4.5	Lilla Edet.....	36
4.5.1	Åtgärdsbehov och övriga inverkanse faktorer	36
4.5.2	Om kraftverket	37
4.5.3	Åtgärdsförslag	38
5	Motala ström	43
5.1	Motala ström och ålen.....	43
5.1.1	Rekrytering	43
5.1.2	Bestånd/produktion	45
5.1.3	Utvandring	46
5.2	Älvås.....	47
5.2.1	Åtgärdsbehov och övriga inverkanse faktorer	47
5.2.2	Om kraftverket	47
5.2.3	Åtgärdsförslag	49
5.3	Fiskeby	55
5.3.1	Åtgärdsbehov och övriga inverkanse faktorer	55
5.3.2	Om kraftverket	55
5.3.3	Åtgärdsförslag	56
6	Diskussion och rekommendationer	65
6.1	Slutsatser och rekommendationer.....	67
7	Referenser	69

1 Uppdraget

Uppdraget "Tekniska lösningars tillämpbarhet för förbättrad nedströms passage för ål" bygger vidare på uppdraget "Ålens möjlighet till passage av kraftverk" (Calles & Christiansson, 2012). Målet är att i ett första steg fastställa det internationella kunskapsläget för åtgärder för förbättrad nedströmspassage för ål vid vattenkraftverk. Denna kunskap används i ett andra steg, för att utreda tillämpbarheten av de mest framgångsrika åtgärderna till kraftverk i Göta älv (3 st) och Motala ström (2 st). Åtgärden för det första kraftverket ålen når under sin nedströmsvandring, kommer att prioriteras högst och en mer detaljerad åtgärd föreslås och diskuteras.

Arbetet har utförts under ledning av Olle Calles (Kau) i samarbete med Håkan Wickström och Johan Östergren (SLU Aqua), samt Simon Karlsson och Jan-Olov Andersson (Kau). Litteratursök och översättning genomförs i samarbete med Jonas Christiansson (Elghagen FiskevårdsKonsult) och viss översättning av tyska texter av Benedickt Beck (Kartierungsbüro Beck).

2 Bakgrund

Situationen för det europeiska ålbeståndet är mycket allvarlig och ålbeståndet är mindre än någonsin. För att komma tillrätta med problemet antog EU år 2007 en förordning 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 turbindödlighet, 3) stödutsättningar av glasål och 4) kontroll av yrkesfisket (Anonymous, 2008).

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. Havs- och Vattenmyndigheten (HaV) och sju vattenkraftföretag står bakom "Krafttag ål" som innehåller både konkreta åtgärder och utvecklingsinsatser. Den ökade överlevanden för ål i reglerade vattendrag ska åstadkommas genom att implementera åtgärder där de gör störst nytta, vilket styrs av en prioritetslista där man rankat de elva viktigaste ålvattendragen: 1) Göta älv, 2) Motala ström, 3) Rönne å, 4) Lagan, 5) Norrström, 6) Mörrumsån, 7) Nyköpingsån, 8) Kävlingeån, 9) Örekilsälven, 10) Dalälven och 11) Skräbeån. Dessa elva vattendrag (prioritetsvattendragen) förväntas alltså ha potentialen att producera flest ålar, grundat på förväntad ålproduktion i kombination med den förväntade inverkan vattenkraftverken har på nedströmsvandrande ål efter att åtgärder har satts in.

Ett problem med detta åtgärdsresonemang är att det finns få kända exempel med åtgärder för förbättrad nedströmspassage för ål, i synnerhet sådana där åtgärdens utformning beskrivits väl och där man dessutom genom en vetenskaplig utvärdering funnit bevis för en hög effektivitet. Följdfrågan är i vilken grad tekniska lösningar som prövats på andra platser kan tillämpas på svenska förhållanden? Kunskapen om detta är begränsat och denna studie syftade till att i ett första steg granska och sammanställa befintlig åtgärds litteratur. Många åtgärder fanns inte beskrivna i vetenskapligt publicerat material och därför har litteratur inte bara sökts i databaser för vetenskapliga publikationer, utan även genom sökmotorer på nätet och inom våra kontaktnät. Exempelen och dess egenskaper samlades i en databas och därefter analyserades vilka typer av åtgärder som förekom och vilka egenskaper som utmärkte dem. Till följd av det begränsade underlag som fanns för åtgärder för ål granskades även åtgärder för andra arter bl.a. som en del av samverkan mellan detta projektet och Havs- och vattenmyndighetens "Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft" (Calles *et al.*, 2013a).

Egenskaperna hos de framgångsrika åtgärder som identifierades i litteraturen, var därefter vägledande för arbetet med att bedöma i vilken utsträckning olika åtgärder är applicerbara på svenska förhållanden. För att göra denna bedömning analyserades de förhållanden som råder vid kraftverken i Motala ström och Göta älv. Underlagsmaterial utgjordes av kartor och ritningar av

kraftverken. Sådan var nödvändig för att möjliggöra realistiska bedömningar av tekniska åtgärders teoretiska tillämpbarhet vid de olika anläggningarna. Åtgärdernas funktion bedömdes i första hand för ål, men även förväntad funktion för andra arter beaktades och utgjorde en viktig del av den/de föreslagna åtgärderna. De rekommenderade åtgärderna presenteras i form av beskrivande och diskuterande text om åtgärdernas bedömda tillämpbarhet och dess möjligheter och begränsningar, samt övergripande skisser. För de tre kraftverk som identifierats som de mest angelägna att åtgärda, Älvås och Fiskeby i Motala ström och Vargön i Göta älv, presenteras även tredimensionella principskisser av åtgärdsförslagen. Kraftverket Lilla Edet i Göta älv anses angeläget att åtgärda, men i första hand för andra arter än ål, och åtgärdsförslagen presenteras därför övergripande. Trollhättefallen i Göta älv har sannolikt utgjort ett naturligt vandringshinder för vandrande fisk och dessutom anses kraftverken vid Olidan/Hojum svåra att åtgärda, varför åtgärdsförslagen beskrivs översiktligt.

3 Tekniska åtgärder för förbättrad nedströmspassage

En åtgärd för nedströmspassage vid vattenkraftverk bör alltid innebära att fisken passerar vid sidan om kraftverket längs en passage som inte innebär någon förhöjd risk för skada eller stress. Galler- och turbinpassage är alltid förknippat med risker och dessutom vet man lite om de långsiktiga effekterna av sådana händelser, även om det finns observationer på att sådana fördröjda effekter kan ha stor betydelse för individens framtida överlevnad (Fjeldstad, 2012).

För att åstadkomma en funktionell åtgärd för nedströmspassage vid vattenkraftverk måste man lyckas med tre saker: stoppa, leda av och passera eller samla ihop fisken vid uppströms eller vid sidan av hindret (Calles *et al.*, 2012c). Detta kan främst åstadkommas genom att en struktur anläggs som åstadkommer fysisk och/eller beteendemässig avledning i kombination med en anläggning för passage eller uppsamling (DWA, 2005). De flesta avledare fungerar genom en kombination av fysisk och beteendemässig styrning och beskrivs därför här efter utformning. Litteratursammanställningen har tagits fram gemensamt inom Krafttag ål och inom Havs- och vattenmyndighetens ovan nämnda projekt, varför innehållet och textens utformning i denna rapport och Calles *et al.* (2013a) har stora likheter. Den huvudsakliga skillnaden består i att denna rapport främst fokuserar på åtgärder för blankåls nedströmspassage av vattenkraftverk, medan nyss nämnda rapport beaktar såväl uppströms- som nedströmspassage för alla förekommande fiskarter och livsstadier. En av de huvudsakliga slutsatserna från tidigare sammanställningar av dylika åtgärder har varit att endast fysiska avledare har befunnits fungera väl för att leda av nedströmsvandrande blankål (Calles *et al.*, 2013a). Innevarande rapport beaktar därför enbart fysiska avledare med förbipassage för blankål, som ytterligare klassificerats enligt:

- a. Konventionella galler
- b. Fiskanpassade galler
 - i. α -galler
 - ii. β -galler
 - iii. β -galler av Louver-typ (spjälavledare)
 - iv. Andra typer av galler och skärmar

3.1 Fysiska avledare för blankål

De flesta kraftverk föregås av någon form av galler eller ytläns, för att skydda kraftverket från drivgods som t.ex. träd och is. Den spaltvidd som är optimal för kraftverksdriften är vanligen så stor att fisk inte hindras från att passera, men undantag finns vid kraftverk med små turbiner (muntligen, Jan-Åke Jacobson). I denna sammanställning räknas intagsgaller endast som en åtgärd för fiskavledning om hänsyn tagits till hydrauliska förhållanden vid gallret och om dessutom en eller flera flyktöppningar, samt en förbipassage eller en uppsamling, finns i avledarens omedelbara närhet, i enlighet med Calles *et al.* (2013a). Gallren betecknas här som konventionella om de anlagts till skydd för kraftverket men sedan används som en del av en åtgärd för

nedströmspassage och som fiskanpassade enbart om de formgivits och anpassats till fiskavledning. Risken för gallerkontakt och fastklämning minimeras främst genom att vattentrycket på gallret hålls nere, vilket åstadkommes genom att balansera gallrets yta mot dess spaltvidd och kraftverkets slukförmåga. Ett lågt tryck på gallret är synonymt med en låg fallförlust, vilket är något både kraft- och miljöintresset eftersträvar. Av grundläggande betydelse för gallrens funktion är därför gallrets spaltvidd och vattnets strömningsförhållanden i anslutning till gallret. Dessa faktorer är tätt förknippade med kraftverkets slukförmåga samt gallrets yta och vinkel/lutning.

3.1.1 Spaltviddens betydelse

Spaltvidden är av stor betydelse vid avledning, men exakt vilken spaltvidd som krävs för en god avledande funktion skiljer mellan olika typer av galler och rekommendationerna skiljer sig mellan länder och olika handledningar. I vissa fall är det enbart fiskens kroppsliga dimensioner som ligger till grund för krav/rekommendationer på spaltvidd, medan man i andra fall utgår från empiriska studier på vilken spaltvidd som de facto gör att fisken inte passerar gallret. Sannolikt utgör gallrets faktiska avledande funktion en bättre kompromiss mellan miljövård och elproduktion, men för att det ska vara möjligt krävs ett omfattande arbete med att fastställa olika lösningars verkliga funktion för alla förekommande arter och individstorlekar i aktuellt fiskesamhälle. I de fall sådana studier inte sker kommer det sannolikt att vara nödvändigt att låta fiskarnas kroppsmått vara den faktor som bestämmer gallrens spaltvidd, vilket vidareutvecklas nedan.

Det mått som avgör vilken spaltvidd som omöjliggör passage för en viss fiskart, anges som det minsta av fiskens höjd respektive bred. Eftersom ålen har en spolförmad kropp är det ingen större skillnad mellan dess höjd och bredd och därför har förhållandet mellan ålens storlek och motsvarande spaltvidd som utgör ett fysiskt hinder beskrivits av Travade et al. (2010b) som en funktion av dess kroppslängd enligt formeln:

$$\text{Spaltvidd} = 0,028 \times \text{kroppslängd}$$

För att hindra en 500 mm lång ål från att passera ett galler krävs således enligt detta samband en 14,0 mm spaltvidd, medan en ål på 700 mm stoppas av spaltvidden 19,6 mm. På motsvarande sätt har DWA (2005) med hänvisning till Schwevers (2004) beskrivit förhållandet mellan flera olika fiskarters längd, bredd och höjd, där ålen tilldelas faktor 0,05. Detta innebär att man förväntar sig att en 500 mm lång ål stoppas av spaltvidden 25 mm och en 700 mm lång ål stoppas av 35 mm spalt (DWA, 2005). Man konstaterar dock att kroppsmåtten inte ger en korrekt beskrivning för just ål och menar att faktorn 0,03 bör användas vid beräkningar av största spaltvidd för ål, vilket stämmer väl överens med den franska tumregeln. I Danmark konstaterar man att 10 mm stoppar stor blankål, men att 6 mm krävs för att stoppa de minsta blankålarna på 300-350 mm (DTU Aqua, 2011).

Studier visar att man med låglutande avledare av olika slag kan åstadkomma en god avledande effekt även med en spaltvidd som fysiskt tillåter passage, vilket kan bero på att sådana avledare även har en beteendeavledande funktion och/eller att den låga lutningen ger hydrauliska förhållanden som innebär att fisken klarar av att undvika gallerpassage och fastklämning. Detta

har observerats för fiskanpassade galler av olika slag och beskrivs vidare nedan under stycket "3.3 Fiskanpassade galler med passage".

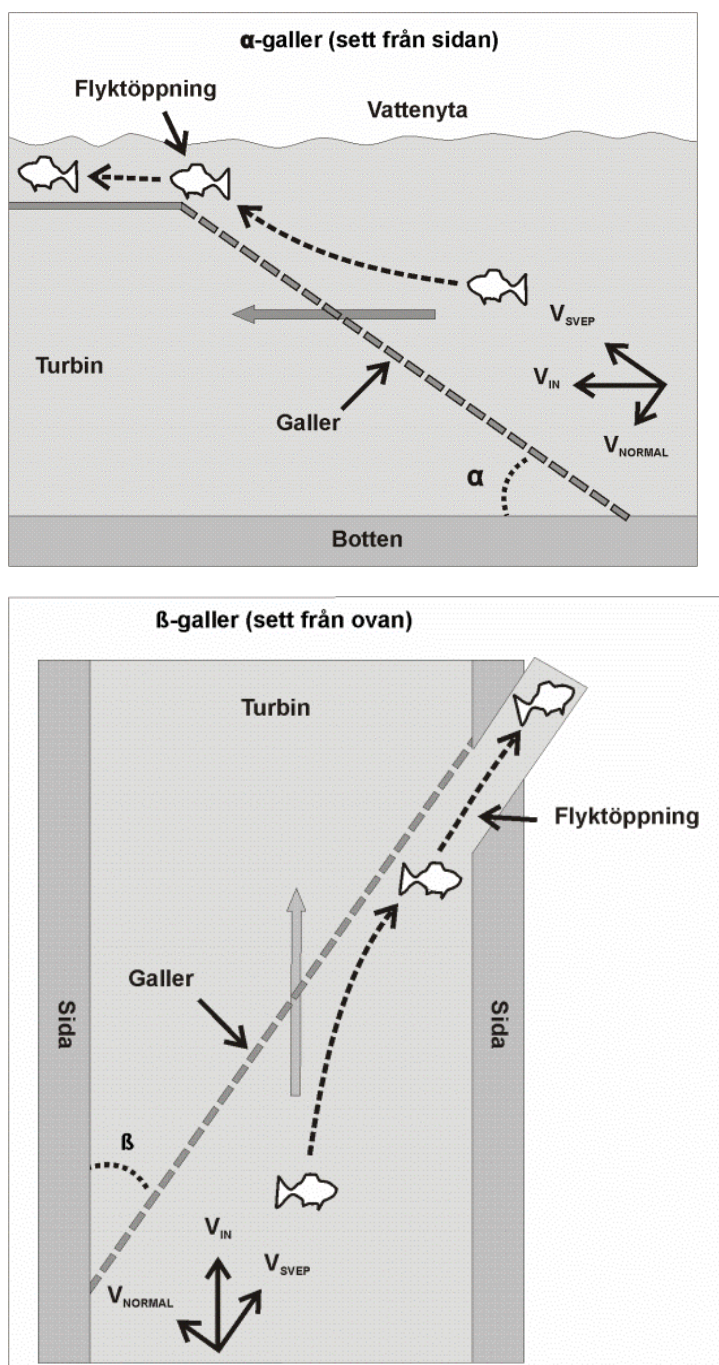
3.1.2 Ytans och lutningens betydelse

Gallrets yta och lutning i förhållande till den mängd vatten som ska passera per tidsenhet bestämmer vilka hydrauliska förhållanden som råder vid gallret. Om flödet per ytenhet är stort, kommer både risken för fastklämning och fallförlust att vara omfattande. I de fall där ett fingaller sitter i turbinintaget kommer dessa faktorer att vara speciellt tätt knutna till varandra och därför kommer det att gynna både fisken och elproduktionen om flödet per ytenhet genom gallret minskas. Detta kan åstadkommas genom att flödet minskas eller genom att gallrets yta förstoras, där det senare dessutom innebär att gallrets lutning minskas (förutsatt att intagskanalens dimensioner inte ändras) vilket ytterligare gynnar fisken.

För att ett galler, som fysiskt stoppar fisk från att passera, ska minska skaderisken för desamma krävs att den kan undvika att klämmas fast på gallret och att den dessutom kan hitta till den alternativa passagen. För att detta ska vara möjligt bör man tillse att vattenhastigheterna inte är högre än att fisken klarar av att simma vid och vid behov bort från gallret. För ål och laxsmolt innebär detta att vattenhastigheten inte bör överstiga 0,5-0,6 m/s, förutsatt att flyktöppningen är korrekt placerad (DWA, 2005). Vid många kraftverk innebär dock ofta full körning i turbinerna att man får betydligt högre vattenhastigheter i intagskanalen och därmed en hög risk för fastklämning av fisk på gallret (Calles et al., 2010). Lösningen är då att utöka intagsgallrets yta, eftersom det som redan nämnts är flödet per ytenhet som är av störst betydelse och att man därför kan ha en högre vattenhastighet i intagskanalen så länge som vattenhastigheten per ytenhet galler är <0,5-0,6 m/s (Travade et al., 2010a). En förutsättning för en ökad galleryta, om inte intagskanalens dimensioner ökas, är att det förstörade gallret anläggs med en lägre lutning än tidigare i förhållande till kanalens botten eller sidor. Denna lutning kan vara av stor betydelse för avledarens funktion, vilket diskuteras vidare nedan.

Hastigheten på det strömmande vatten kan delas upp i hastighetsvektorer i förhållande till ett föremål, t.ex. ett intagsgaller. Den faktiska vattenhastigheten kallas anloppshastighet (Eng. approach velocity; VA), medan hastighetsvektorn vinkelrätt mot gallret kallas normalhastighet (Eng. normal velocity; VN), och slutligen kallas hastighetsvektorn parallellt med gallret för svephastighet (Eng. sweeping velocity; VS). Vid ett galler med en rät vinkel i förhållande till det inkommande vattnets huvudsakliga rörelseriktning riktas all kraft mot gallret. Med minskande lutning kommer dock kraftens verkansriktning att ändras så att kraften vinkelrätt mot gallret minskar samtidigt som kraften parallellt med gallret ökar, dvs normalhastigheten minskar och svephastigheten ökar. När gallret har vinkeln 45° kommer dessa två vektorer att vara lika stora och vid 30° är svephastigheten dubbelt så stor som normalhastigheten. Detta är av stor betydelse för fisk som befinner sig i gallrets närhet i synnerhet om anloppshastigheten är hög, eftersom vattenströmmen trycker fisken längs med det låglutande gallret istället för mot, som är fallet för det branta gallret. Dessa principer är oberoende av om gallret vinklas i förhållande till ytan (α -galler) eller mot intagskanalens sidor (β -galler)(Fig. 1). Det förekommer även

lösningar med två β -galler som leder fisken mot en flyktöppning i intagkanalens mitt (dubbel- β).



Figur 1. Principskiss av ett fiskanpassat α -galler (längst upp) med förbipassage (sett från sidan) och ett fiskanpassat β -galler (längst ned) med förbipassage (sett från ovan). Pilarna är vektorer och illustrerar vattenhastigheten i vattenfåran in mot gallret (V_{IN}), och de resulterande vattenhastigheterna parallellt (V_{SVEP}) och vinkelrätt mot gallret (V_{NORMAL}). Figur från Calles *et al.* (2013a).

3.1.3 Flyktöppning och förbipassage

Flyktöppningars utformning skiljer sig mellan α - och β -avledare, medan det egentligen inte föreligger några omfattande skillnader mellan flyktöppningar som anläggs vid enkel- och dubbel- β -galler. Lämpligen förses flyktöppningen med en hydraulisk lucka som möjliggör kontroll av flödet i flyktöppningen. Vattenhastigheten ska accelerera från området uppströms öppningen tills målartens fångsthastighet uppnås, dvs. så att fisken inte klarar av att vända och simma tillbaka uppströms. Det är dock viktigt att accelerationen sker gradvis för att inte fisken ska skygga för den abrupta accelerationen. T.ex. rekommenderar man en maximal acceleration på 0,2 m/s för Stilla havslax, vilket t.ex. innebär att en hastighetsökning från 1,0 m/s till 2,4 m/s bör spridas ut över en 7 m lång sträcka (NMFS, 2011). Dessutom bör turbulens undvikas, vilket lämpligen åstadkommes genom att flyktöppningens sidor och botten är droppformade.

För lax uppgår fångsthastigheten till 2,4 m/s (NMFS, 2011), medan en sådan inte finns fastställd för ål. Den önskvärda vattenhastigheten för väl fungerande nedströmspassage kallas "kritisk hastighet" och har beskrivits som en funktion av artens "marschfart" multiplicerat med individens längd (DWA, 2005). Marschfarten är den hastighet som fisken kan upprätthålla i minst 200 minuter (Beamish, 1978). För blankål har den kritiska hastigheten beskrivits i litteraturen som 0,5-1,0 m/s (DWA, 2005). I teorin skulle detta kunna innebära att fångsthastigheten är lägre än vattenhastigheten uppströms flyktöppningen och att man inte får en acceleration mot och in i öppningen. Därför hänvisar vi till den tumregel som säger att en lämplig hastighet i flyktöppningen är minst motsvarande 110 % av den högsta vattenhastigheten uppströms avledaren (NMFS, 2011). Vi rekommenderar därför generellt att fångsthastigheten sätts till 1,5 m/s, i de fall man inte avser leda förbi laxartad fisk då vi rekommenderar ovan nämnda fångsthastighet om 2,4 m/s.

Vid anläggandet av α -lösningar krävs vanligen flera små flyktöppningar som leds i separata rännor till utloppet eller från vilka vatten och fisk ansamlas i en större ränna som därefter mynnar nedströms kraftverket. Här utgör gallret uppgrundningen mot flyktöppningen och accelerationen sker främst i själva öppningen, som därför vara formgiven så att denna acceleration sker gradvis utan att turbulens skapas. För β -galler bör flyktöppningen föregås av en ramp för att åstadkomma en långsam och gradvis acceleration av vattnet in i öppningen tills fångsthastigheten uppnås. Rampens längd beror således av vattenhastigheten i intagskanalen, fiskart och livsstadium och där är det precis som för själva avledaren önskvärt med en vinkel $<45^\circ$ och helst $\leq 30^\circ$.

Förbipassagen ska vara dimensionerad så att det alltid finns en luftspalt i dess överdel och alla ytor på dess insida ska vara släta. Enligt Turnpenny *et al.* (1998) ska svängradien vara ≥ 3 m, medan NMFS (2011) relaterar svängradien (R) till förbipassagens diameter (D) enligt $R/D \geq 5$. Förbipassagen mynnar därefter vanligen i anslutning till turbinutloppet, på en plats som har ett tillräckligt djup och en tillräckligt hög vattenhastighet som gör att den inte lämpar sig som ståndplats för predatorer som t.ex. gädda. När åtgärden färdigställts får en utvärdering av risken för t.ex. fågelpredation avgöra behovet av kompletterande åtgärder. Längs förbipassagens längd

anläggs en möjlighet att leda av vatten och fisk till en fångststation. I de fall det är möjligt rekommenderas att nedströmspassagen mynnar i eller intill fiskvägen för att flödet ska kunna användas för att ytterligare förbättra attraktionen till fiskvägen för uppströmspassage, istället för det motsatta. Nedströmsvandrande fisk kan ledas ner i en naturlig fiskväg (Calles *et al.*, 2012b; NMFS, 2011), medan det inte är lämpligt att låta dem passera nedströms genom en teknisk fiskväg eftersom det kan orsaka fördröjning, skador och en förhöjd dödlighet (Gustafsson, 2010).

3.2 Konventionella galler med passage

Konventionella intagsgaller sätts i turbinintaget för att hindra drivgods att skada turbinerna. Ett sådant galler är oftast brant och har en bred spaltvidd eftersom det är tillräckligt för att hindra stora föremål från att passera utan att orsaka problem med igensättning och fallförluster. I vissa fall har spaltvidden minskats för att hindra fisk och/eller mindre litet drivgods från att passera, men i de flesta fall saknas en alternativ passage, vilket i kombination med höga vattenhastigheter gör att små individer passerar och stora individer kläms fast och dödas på gallret (Calles *et al.*, 2010; Montén, 1985).

För att ett konventionellt galler ska fungera som en åtgärd för nedströmsvandrande fisk, krävs att vattenhastigheterna tillåter fisken att vistas i gallrets närhet utan att klämmas fast och att de enkelt kan hitta till en flyktöppning. I vissa fall är isutskov och timmerrännor belägna i direkt i anslutning till gallret och om mycket vatten tappas genom dem kan det fungera som en fiskpassage. De flesta exempel på sådana lösningar har testats för laxfisk med varierande framgång (Arnekleiv *et al.*, 2007; Calles *et al.*, 2013c). För ål finns inget dokumenterat exempel med hög passageeffektivitet för ett konventionellt galler med passage (Tabell 1), men de kan ändå utgöra en bättre lösning än ingen lösning alls och kan därför vara aktuella att testa när fisken ska passera något enstaka hinder och när dödligheten vid turbinpassage befunnits vara låg.

Vid Hertings kraftverk i Ätran (slukförmåga 40 m³/s) vandrade ingen märkt ål ut i någon av de två flyktöppningarna intill ett 90 mm galler ($\alpha=60^\circ$), trots att passage erbjöds både vid ytan i form av ett isutskov med flödet 300 L/s och vid botten i form av ett bottenorienterat rör med hävertfunktion med flödet 250 L/s (Calles *et al.*, 2012c). Ålen vandrade istället utan fördröjning genom gallret och Kaplan-turbinen med en dödlighet omkring 30 % till följd.

Vid ett kraftverk i danska Gudenå (slukförmåga 21 m³/s) har gallren samma lutning som i exemplet ovan ($\alpha=60^\circ$), men med spaltvidden 10 mm (Pedersen *et al.*, 2011), vilket är den spaltvidd som enligt dansk lag krävs för fiskskydd vid alla vattenkraftverk. I vart och ett av de tre gallren finns cirkulära flyktöppningar ($\varnothing=300$ mm) och flödet 150 L/s på 0,5 m djup och cirka 200 m uppströms gallren leder en ljusbarriär mot en Denil-trappa med flödet 150 L/s. Vid en utvärdering av åtgärdernas funktion för ål studerades inte det exakta vägvalet, men totalt lyckades 26 % av blankålna att passera kraftverket levande (Pedersen *et al.*, 2011).

Tabell 1. Åtgärder för nedströmspassage med konventionella galler och spilluckor. FGE (fish guidance efficiency) avser passageeffektivitet för åtgärden i fråga och P.E. avser den totala passageeffektiviteten för vandringshindret, oberoende av vägval. När uppgiften om frågan saknas, anges detta med D.S. (data saknas).

Vattendrag	Kraftverk	Galler		Flöden		Funktion		Ref
		Spalt	Typ °	Krv	Åtg (%)	FGE*	P.E.	
Gudenå	Tange	10 mm	60°, α	21	0,6 (2,9 %)	D.S.	26 %	Pedersen <i>et al.</i> (2011)
Ätran	Herting	90 mm	60°, α	40	0,55-2,0 (1,4-5,0 %)	0 %	71 %*	Calles <i>et al.</i> (2012c)
Connecticut River	Cabot	35-102 mm	73°, α	262	6-8 (2,7 %)	0-11 %	D.S.	Haro <i>et al.</i> (2000a), Brown <i>et al.</i> (2009)
Mokau River	Wairere Falls	30 mm	D.S., α	D.S.	D.S.	0-6 %	D.S.	Boubée & Williams (2006)
Alsterälven	Alster	20 mm	75°, α	5,0	0,06 (1,2 %)	≥54 %	≥54 %	Calles <i>et al.</i> (2011)
Lilla å (Ätran)	Vessige	18-20 mm	54°, α	1,9	0,04 (2,1 %)	50 %	90 %	Calles <i>et al.</i> (2012a), Jacobson (2012a)
Storelva	Fosstveit	50 mm	70°, α	16,0	0,265 (2-4 %) (5 %)	>40 % >80 %	40-100 % >80 %	Kroglund <i>et al.</i> (2013)

I USA testade man passagefunktionen för ett ytutskov intill kraftverket Cabot station (slukförmåga 262 m³/s) i Connecticut River (Brown et al., 2009; Haro et al., 2000b). Utskovet är belyst av en kvicksilverlampa och har en kapacitet på 6-8 m³/s och det intilliggande gallret har en spaltvidd på 35 mm ned till 3,5 m djup, varefter spaltvidden därunder är 102 mm ned till botten på 10 m djup. Gallret har en lutning $\alpha=73^\circ$ i förhållande till botten, men intagskanalen svänger tvärt och vattnet kommer därför sannolikt in med en β -vinkel i förhållande till gallret. Vid utvärderingen fann man att merparten av ålarna passerade genom galler och turbin och att 11 % valde den upplysta passagen (Brown et al., 2009). Tidigare observationer visar att belysningen ökar alosa-sillens benägenhet att använda passagen, men att den inte påverkar ålens beteende (Haro et al., 2000b).

För att underlätta passagen för tre olika ålarter vid kraftverket Wairere Falls (slukförmåga 28 m³/s) i Mokau River på Nya Zeeland anlades flyktöppningar i de två fundament som skiljer de tre intagen tre med 30 mm galler åt. Hålen ligger en meter under dammkrönet, är 100 mm ($\varnothing$) och tar 30 L/s styck. En tredje passagemöjlighet utgjordes av en 120 mm slang ($\varnothing$) som hängdes över dammen och därefter passerade vatten genom hävertprincipen. Vid utvärderingen fann man en endast en liten andel av ålarna använde passagerna, närmare bestämt 6 % genom sifonen och 0-4 % genom något av borrhålen (N=181). Den totala passageeffektiviteten var dock högre, eftersom en betydande andel vandrade ut genom spillluckorna under spillsituationer.

En liknande lösning som i Mokau testades vid Alsters kraftverk i Vänermynnande Alsterälven (slukförmåga 5 m³/s), men där finns tre passager på olika djup monterade i dammväggen på ena sidan om 20 mm gallret ($\alpha=75^\circ$) (Calles et al., 2011). Varje passage utgörs av ett rör med diametern 160 mm och är placerade vid ytan (0,2 m), halvvägs mot botten (1,75 m) och vid botten (3,5 m). Vart och ett av rören har ett ungefärligt flöde på 15 L/s och vattnet från respektive rör mynnar i en separat sump på andra sidan dammväggen. Totalt fångades 320 ålar i rören under en säsong och dessutom 531 individer av tolv andra arter, där gös, mört och benlöja var de vanligast förekommande. Passageeffektiviteten var ≥ 54 %, eftersom drygt hälften av de radiomärkta ålarna vid utvärderingen passerade något av rören inom åtta dagar (median). Sannolikt var dock den slutliga passageeffektiviteten högre eftersom samtliga märkta ålar bedömdes vara vid liv vid slutet av höstsäsongen. Ålen föredrog passage genom bottenröret, som stod för 74 % av totalfångsten. För resterande arter var resultatet det motsatta, dvs 74 % av totalfångsten var i ytröret. Vattenhastigheten varierade vid gallret, men översteg inte 0,5 m/s vid något tillfälle.

Vid Vessige kraftverk (slukförmåga 1,9 m³/s) i Lilla å, ett biflöde till Ätran, anlades ett 110 mm rör med hävertfunktion intill ett galler med spaltvidden 18-20 mm och lutningen 54° (Jacobson, 2012b). Röret hade ett flöde på cirka 60 L/s och totalt fångades cirka 100 blankålar per år i den nedströms belägna fällan. Vid en telemetristudie noterades att 50 % av ålen valde röret för passage två dagar efter utsättning (median, Fish guidance efficiency; FGE = 50 %), medan 40 % passerade genom spillluckor och 10 % avbröt vandringen (Calles et al., 2012a). Totalt var passageöverlevnaden således 90 % för blankål vid Vessige kraftverk, men grundat på ett begränsat antal märkta ålar (N=10).

I Norge öppnade man en bottenlucka för ål och en ytlucka för lax intill 50 mm-gallret vid Fosstveits kraftverk i Storelva (slukförmåga 16 m³/s) (Kroglund et al., 2013). Flödet i förbipassagen var 260 L/s, vilket resulterade i en passageeffektivitet på 80-100 % när flödet genom turbinerna var <6,6 m³/s, men effektiviteten föll till <40 % när flödet genom turbinerna var <13,2 m³/s. Potentialen för lösningen för lösningen tycks god, men för att den ska kunna utgöra en fullgod passagelösning krävs att passageeffektiviteten är hög även vid full körning i kraftverket.

Fiskanpassade galler med passage

Fiskanpassade intagsgaller sätts i turbinintag för att minimera skaderisken på fisken genom att hindra dem från att passera turbinerna utan att de kläms fast eller på annat sätt skadas på gallret. Gallret leder fisken till en flyktöppning som fortsätter i en passage eller en uppsamlingsanläggning, beroende på vad som bedömts lämpligt för kraftverket i fråga. Med fiskanpassade galler avses således endast fall där man formgivit intagsgallret så att dess vinkel i förhållande till horisontalplanet (botten) är <45°, företrädesvis ≤30°, och att man i gallrets omedelbara närhet anlagt en eller flera flyktöppningar (Calles et al., 2013a). En sådan åtgärd innebär, som redan påtalats, att den kraft som verkar parallellt med gallret är större än den kraft som verkar vinkelrätt mot gallret. Resultatet blir att fastklämningsrisken minskar för fisken och att den ges möjlighet att lokalisera en flyktöppning.

I de flesta fall innebär uppgraderingen från ett konventionellt till ett fiskanpassat galler att spaltvidden minskats för att säkert hindra fisk från att passera. Risken är att detta orsakar problem med fallförluster över gallret och att det sätts igen med drivgods, men i de fall som utvärderats har detta inte befunnits vara något stort problem. Detta förklaras dels av utökade gallerarean som inte bara minskar fastklämningsrisken, utan även minskar fallförlusten. Dessutom påverkar flödeskomponenterna vid det låglutande gallret bara fisk, utan även drivgods och löv pressas längs med gallret och tenderar att ansamlas vid ytan (Karlsson et al., 2014).

Låglutande galler av olika slag tycks vara den åtgärd för förbättrad nedströmspassage som är vanligast vid små till medelstora kraftverk i Europa och de enda som visar på en god funktion för ål (Tabell 2). Ett stort problem är att endast ett fåtal fiskanpassade galler vid små till medelstora kraftverk finns beskrivna i den vetenskapliga litteraturen och i de allra flesta fall saknas detaljer kring åtgärdens utformning och/eller utvärderingen av den. Utvärderingarna är också i många fall inte vetenskapligt genomförda och ett robust underlag för slutsatser saknas. Flera av våra exempel härrör därför från grå litteratur som publicerats av t.ex. myndigheter eller konsulter, där vi i flera fall anlitat översättare av fransk- och tyskspråkiga texter.

Man har jobbat länge med avledare i andra länder, t.ex. USA (Odeh & Orvis, 1998), Frankrike (Larinier, 1998) och Tyskland (DWA, 2005), men i Sverige uppfördes och utvärderades den första fysiska avledaren först 2008 i Åtran (Calles & Bergdahl, 2009; Calles et al., 2013b). Utvecklingen på området går snabbt framåt och det finns många exempel där låglutande galler kommer att driftsättas vid svenska kraftverk inom en snar framtid, men för närvarande har bara ytterligare två exempel på sådana lösningar utvärderats i Emån (Kriström et al., 2010) och nyligen vid Granö kraftverk i Mörrumsån (Karlsson et al., 2014).

Vid Ätrafors kraftverk (slukförmåga 72 m³/s) i Ätran anlades tre 18 mm α -galler med lutningen 35° med en total gallerarea på 136 m² (Fig. 1)(Calles et al., 2013b). I varje galler anlades en flyktöppning i varje ytterkant, dvs totalt sex flyktöppningar. Varje flyktöppning är 250 mm bred och 1000 mm lång, vilket motsvarar ett vattendjup om 570 mm vid vinkeln 35°. För att öppningarna skulle vara under vatten även vid låga vattennivåer, anlades de så att deras överkant var 0,8 m under övre dämningssgränsen. Varje flyktöppning förbands via en rektangulär trumma till en ryssja med längden 10 m och omkretsen 2 m, vilket innebar att fällorna måste vittjas regelbundet och all fångad fisk transporterades nedströms. Passageeffektiviteten för åtgården var >90 % för blankål, att jämföra med förhållandena före åtgärd då passageeffektiviteten var <30 % (4 % för ål >750 mm)(Calles & Bergdahl, 2009; Calles et al., 2013b; Calles et al., 2010). För de radiomärkta individerna kunde FGE fastställas till 82 %, dvs. den andel radiomärkta ålar som någon gång närmade sig gallret och slutligen simmade in i flyktöppningarna. Ryssjorna har sedermera ersatts av fångstburar, som efter vissa inkörningsproblem fångar ett stort antal ålar (personlig kommunikation, Johan Tielman, miljöchef EON Vattenkraft). När ryssjorna byttes ut mot burar stängdes de två flyktöppningar som var belägna längst ut på respektive sida, vilket innebär att fyra öppningar är i drift, varav två på mittengallret, och dessutom är åtgården endast i drift nattetid. Om dessa modifieringar påverkat passageeffektiviteten är inte känt.

Vid Övre Finsjö kraftverk (slukförmåga 14 m³/s) i Emån anlades ett 18 mm α -galler med lutningen 35° (Fig. 1), vilket gav en total gallerarea på 24 m² (Calles et al., 2012d; Kriström et al., 2010). I gallret anlades en ytlig flyktöppning i varje ytterkant, dvs totalt två flyktöppningar med ett totalt flöde om knappt 0,2 m³/s. De två flyktöppningarna är 500 mm breda och 500 mm djupa, med ett vattendjup på cirka 350 mm. Flyktöppningarna går in i en och samma ränna och därefter över dammkrönet och ner i en bassäng som gör det möjligt att växla mellan fri passage respektive fångst av de fiskar som använder förbipassagen. Avledarens utvärderades under två vårsäsonger, vilket resulterade i att totalt 19 av 25 fiskarter som förväntas vandra på sträckan påträffades i avledaren (Calles et al., In prep). Ett fåtal ålar har fångats i avledaren, men ingen utvärdering av effektiviteten för ål har genomförts. När avledaren inte varit i drift under hösten har dock flera döda blankålar observerats på intagsgallret. Passageeffektiviteten för öring har dock konstaterats vara hög; 92 % för besor/kelt och 84 % för smolt (Kriström et al., 2010). Andelen öringar som passerat via passagen har varit förhållandevis låg till följd av kraftverkets begränsade slukförmåga och resulterande omfattande spill under våren, men eftersom död fisk inte påträffats på gallret när avledaren varit i drift och eftersom den totala passageeffektiviteten varit hög bedöms dess funktion som tillfredsställande under förutsättning av driftsperioden innefattar hela den varma delen av året.

Vid en studie vid Halsou kraftverk (slukförmåga 30 m³/s) i vattendraget Nive (Frankrike) utvärderades ett intagsgaller för passageeffektivitet och djuppreferens för blankål (Gosset et al., 2005). Intagskanalen var 925 m lång, 3 m djup och 11 meter bred. Turbinintaget var beläget vid sidan av intagskanalen, vilket gav vinkeln 15° i förhållande till vattnets rörelseriktning och klassas därmed som ett låglutande β -galler ($\alpha = 65^\circ$). Gallrets spaltvidd var 30 mm, och med 20 m bredd och 3 m höjd hade gallret en totalarea på

60 m² och således en hastighet på $V_N = 0,5$ m/s vid gallret. För att utvärdera fångsteffektiviteten alternerade man dygnsvis mellan två flyktöppningar, en ytlig och en placerad vid botten. På grund av igensättning av skräp kunde inte de två flyktöppningarnas funktion jämföras, men den genomsnittliga avledningen var 56-64 % under tre års studier, med variationer inom intervallet 40-80 %. Värt att notera är att man hindrade 80 % av ålen från att simma ut genom "fel" utskov med hjälp av en elektrisk barriär.

Vid Baigts i floden Gave de Pau (Frankrike) finns två kraftverk (slukförmåga 90 + 12 m³/s) belägna på respektive sidor om älvens huvudfåra. Deras position gör att intagsgallren är att beteckna som β -galler eftersom gallren är orienterade parallellt respektive 30° i förhållande till vattnets huvudsakliga rörelseriktning i huvudfåran. Det stora kraftverket har ett β -galler med ytliga flyktöppningar, ursprungligen designad för laxfisk, men senare även utvärderad för ål (Travade *et al.*, 2010a). Gallret är uppbyggt av rektangulära stänger med 30 mm spaltbredd och är vinklat 30° i förhållande till flodens längdriktning. Gallret är drygt 40 m långt och 5 m högt och dess övre kant är beläget under en två meter hög betongvägg. Det är ytterligare fem meter från gallrets nederkant till reservoarens botten. Sammantaget gav dessa förhållanden en maximal normalhastighet (V_N) på 0,44 m/s vid gallret. Vid en av flera utvärderingar (2004) fann man att gallret i kombination med ytlig flyktöppning med dimensionerna 2 x 1 m, hastigheten 1 m/s och flödet 2,2 m³/s gav en avledningseffektivitet på 17,5 % (7 av 40). Totalt blev passageeffektiviteten för blankål 40 %, till följd av att fler passagevägar som spilluckor och en fiskväg nyttjades för passage (16 av 40). Vid en andra utvärdering (2005) fann man att gallret i kombination med bottenorienterad flyktöppning med dimensionerna 0,5 x 0,8 m, hastigheten 1 m/s och flödet 2,2 m³/s gav en avledningseffektivitet på 2,5 % (1 av 39). Totalt blev passageeffektiviteten 46 %, till följd av att fler passagevägar som spilluckor och en fiskväg nyttjades för passage (18 av 39). Det lilla kraftverket byggdes 2006 och dess galler har 20 mm spaltvidd och är 4,6 m djupt och 7,4 m brett, vilket ger max 0,35 m/s i normalhastighet. Totalt finns tre flyktöppningar vid gallret, två vid ytan på ömse sidor om gallret och en 1 m ovan botten på ena sidan. De ytliga flyktöppningarna är 0,80 x 0,65 m, hade en maximal vattenhastighet på 0,5 m/s och ett största flöde om 0,25 m³/s per öppning. Den djupt belägna flyktöppningen är 0,80 x 1,0 m, hade en maximal vattenhastighet på 1,0 m/s och ett största flöde om 0,5 m³/s. När hela anläggningens passageeffektivitet studerades fann man att totalt 92 % av den radiomärkta blankålen (34 av 37) lyckades passera via förbipassager eller spilluckor. Av dessa passerade 2,7 % avledaren vid det lilla kraftverket (N=1), 21,6 % avledaren vid det stora kraftverket (N=8) och 67,6 % via spilluckorna (N=25).

I Holyoke canal (slukförmåga 200 m³/s) vid Hadley falls i Connecticut River har man under en lång period testat spjälavledare (louvers) i flera olika utföranden, från flytande till fasta delvis täckande och heltäckande. Dessutom har dessa testats vid olika flöden och för olika arter, vilket genererat ett stort antal rapporter och publikationer. Senare monterades ett permanent 135 m långt Louver-system med 15° vinkel (Harza & RMC, 1992, 1993; Stira & Robinson, 1997). Det högsta flödet i den som mest 7 m djupa kanalen är cirka 200 m³/s, vilket maximalt ger en vattenhastighet på 0,8 m/s. Avledaren leder till en förbipassage vars ingång är 1,5 m bred och 2,4 m djup och har

ett maxflöde på 4,2 m³/s. Flera utvärderingar av avledarens funktion har genomförts för olika fiskarter och olika spaltvidder och sammantaget tycks avledaren ha en god funktion för många av dessa arter, med undantag för just ål (*Anguilla rostrata*). Utvärderingen av louvern vid Hadley falls för ål baserades på ål som redan passerat avledaren en gång, dvs. de var inte "naiva" (Ducheney m fl, 2006). De märkta ålarna (N=60) sattes ut vid tre olika flöden (28,3; 70,8 och 79,3 m³/s) och man sammanfattade försöken med att ålen effektivt vägledades av avledaren och att effektivitet var cirka 80 %. Beteendeobservationer från försöket indikerade att louvern huvudsakligen fungerade som en mekanisk avledare, snarare än en beteendeavledare.

Det första låglutande α -gallret med begränsad spaltvidd tycks ha anlagts i Canada under sent 1990-tal (Anonymous, 2010; Therrien & Bourgeois, 2000; Therrien & Verreault, 1998). Det exempel som återfinns i litteraturen är vid kraftverket La Pulpe (slukförmåga 26 m³/s) i Rimouski River, mynnande i St Lawrenceflodens mynningsområde (Verreault & Therrien, 2005). Gallrets spaltvidd är 10 mm och i gallrets ena övre hörn finns en flyktöppning 0,3 x 0,6 m (höjd x bredd) med flödet 0,475 m³/s och den maximala hastigheten 2,6 m/s. Från ritningar framgår att lutningen är $\alpha \approx 26^\circ$. Vid utvärdering av åtgärdens effektivitet för Nordamerikansk ål (*Anguilla rostrata*) noterades att ålen först försökte passera genom gallret, men sedan ska samtliga individer at lokaliserat och simmat in i flyktöppningen (100 % effektivitet) (Verreault & Therrien, 2005). Ett andra åtgärdsexempel från Kanada och St Lawrencefloden designades speciellt för nedströmsvandrande blankål vid ett kraftverk med slukförmågan 210 m³/s (41 MW) och med en ytligt belägen förbipassage i gallrets överkant. Även för denna lösning erhöles 100 % effektivitet, men utvärderingen har endast presenterats i en hemligstämplad rapport och inga fler detaljer är kända (Anonymous, 2010). I båda fall tycks man ha fastställt effektiviteten utifrån det faktum att inga ålar hittades döda på gallren och att inga ålar fångades i nät i kraftverksutloppen. Gallren i dessa två kanadensiska exempel kunde hållas rena från drivgods, men man noterar att rensingen var en stor utmaning.

Det finns exempel på låglutande β -galler med horisontella järn, främst i Tyskland (Ebel, 2013). Denna typ av galler ska i teorin bättre leda fisk och skräp mot en förbipassage vid kanalens sida, eftersom transporten sker i järnens längdriktning istället för vinkelrätt mot dem. Dessutom anses avledningseffekten på fiskar med oval kroppsform öka, eftersom de måste lägga sig på sidan för att passera gallret. Däremot går louver-effekten förlorad, dvs beteendeavledning orsakad av turbulens, eftersom vattnet går förbi gallerjärnen i dess längdriktning och därmed skapas minimalt med turbulens. Flera sådana avledare finns i drift i dag, men trots att designen tycks lovande finns endast kvalitativa utvärderingar gjorda för passagefunktionen och kvantitativa studier saknas helt. I vattendraget Saale finns denna typ av β -galler vid kraftverken Halle-Planena (slukförmåga 50 m³/s) och Rothenburg (slukförmåga 68 m³/s) (Ebel, 2013). Gallret vid Halle-Planena har de ungefärliga dimensionerna 30 x 4 m, vinkeln 45°, en horisontell spaltvidd på 20 mm och en maximal normalhastighet på 0,45 m/s. Förbipassagen är 1 m bred och har en stor spilllucka med flyktöppningar både vid botten samt ytan. Den kvalitativa utvärderingen varade i 28 dygn och ryssjan i förbipassagen fångade 23 arter, >2000 individer med storleksvariationen 50-950 mm. Gallret vid Rothenburg har de ungefärliga

dimensionerna 50 x 2,5 m, vinkeln 38°, en horisontell spaltvidd på 20 mm och en maximal normalhastighet på 0,54 m/s. Förbipassagen är 2 m bred och har en stor spilllucka med flyktöppningar både vid botten samt ytan. Den kvalitativa utvärderingen varade i 34 dygn och ryssjan i förbipassagen fångade 29 arter, >7500 individer med storleksvariationen 50-1300 mm.

Det största β -gallret med horisontella järn finns i drift vid Raguhns kraftverk i Mulde (slukförmåga 88 m³/s). Gallret har dimensionerna 28 x 4,5 m, vinkeln 65°, en horisontell spaltvidd på 20 mm och en maximal normalhastighet på 0,7 m/s. Förbipassagen är 2 m bred och har en stor spilllucka med flyktöppningar både vid botten samt ytan. Den kvalitativa utvärderingen varade i 30 dygn och en fångstkammare i förbipassagen fångade 20 arter, drygt 1000 individer med storleksvariationen 40-970 mm. Det finns ytterligare två β -galler med horisontella järn vid kraftverken Oderwitz (Weiße Elster, slukförmåga 7,5 m³/s) och Hadmersleben (Bode, slukförmåga 14,0 m³/s), men här saknas ännu utvärderingar. Den första β -avledaren i Sverige färdigställdes vid Hertings kraftverk i Ätran sommaren 2013 och dess funktion kommer att utvärderas för ål, havsnejonöga och lax med start i skrivande stund (2014-03-27). Preliminära resultat visar att avledningen av laxsmolt var framgångsrik och flera tusen individer fångades i fällan i flyktöppningen (Jonas Christiansson, opublicerat).

Tabell 2. Åtgärder för nedströmspassage med fiskanpassade galler och spilluckor. FGE (fish guidance efficiency) avser passageeffektivitet för ål för åtgärden i fråga och P.E. avser ålens totala passageeffektiviteten för vandringshindret, oberoende av vägval. När uppgiften om frågan saknas, anges D.S. (data saknas).

Vattendrag	Kraftverk	Galler		Krv	Flöden		Funktion		Ref
		Spalt	Typ °		Åtg	Åtg (%)	FGE*	P.E.	
Ätran	Ätrafors	18 mm	$\alpha = 35^\circ$	72	$\approx 1,5$	$\leq 2,1$	82 %	>90 %	Calles <i>et al.</i> (2013b)
Nive	Halsou	30 mm	$\beta = 15^\circ$ $\alpha = 65^\circ$	30	0,6 (0,4-1,0)	2,0 % (1,3-3,3 %)	40-80 %	=	Gosset <i>et al.</i> (2005)
Gave de Pau	Baigts (1)	30 mm	$\beta = 30^\circ$	90	2,2	2,4 %	2,5-17,5 %	40-92 %	Travade <i>et al.</i> (2010a)
	Baigts (2)	20 mm	$\beta = 0^\circ$	12	1,0	7,7 %	0		
Connecticut River	Holyoke canal (Hadley falls)	50,8 mm	$\beta = 15^\circ$	28-79	4,2	5,3-14,8 %	>80 %?*	>80 %?*	Ducheney <i>et al.</i> (2006)
Rimouski River	La Pulpe dam	10 mm	$\alpha = 26^\circ$	26,0	0,475	1,8 %	100 %*	100 %*	Therrien & Verreault (1998), Verreault & Therrien (2005)
Magpie River	Okänt	10 mm	Okänt	210,0	Okänt	Okänt	100 %**	100 %**	Anonymous (2010), GENIVAR (2009)
Ätran	Herting	15 mm	$\beta_H = 30^\circ$	40	0,4-3,0	1,0-7,5 %	**	**	

Tabell 2. Fortsättning

Vattendrag	Kraftverk	Galler		Flöden		Funktion		Ref
		Spalt	Typ °	Krv	Åtg	Åtg (%)	FGE*	
Saale	Halle-Planena	20 mm**	$\beta_H = 45^\circ$	50	?	D.S.	D.S.	D.S.
	Rothenburg	20 mm**	$\beta_H = 38^\circ$	68	?	Ej stud	Ej stud	Ej stud
Mulde	Raguhn	20 mm**	$\beta_H = 65^\circ$	88	?	Ej stud	Ej stud	Ej stud
Weißer Elster	Oderwitz	?	$\beta_H =$	?	?	Ej stud	Ej stud	Ej stud
Bode	Hadmersleben	?	$\beta_H =$	?	?	Ej stud	Ej stud	Ej stud

* American eel (*Anguilla rostrata*)

** Utvärdering sker 2014

4 Göta älv

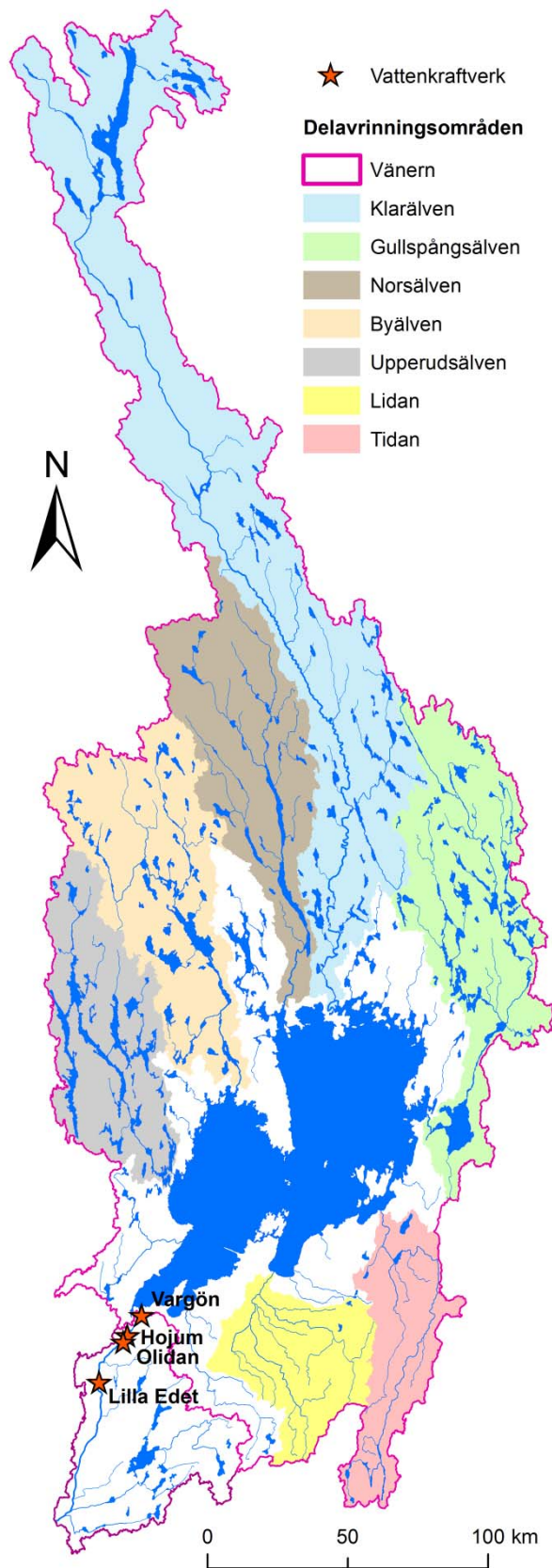
Göta älvs avrinningsområde motsvarar cirka 10 % av Sveriges yta och har ett årsmedelflöde på 550 m³/s (Fig. 2). Vattendraget är klassat som det högst prioriterade reglerade vattendraget för ålproduktion i Sverige. Sveriges ålförvaltningsplan skattar den sammanlagda produktionen till 60000-70000 blankålar per år, varav en betydande andel beräknas nå Vargöns kraftstation varje år (Anonymous, 2008). Empiriska studier skattar den totala överlevnaden förbi samtliga de tre kraftverken Vargön, Olidan/Hojum och Lilla Edet till 32-40 % (Lagenfelt, 2012; Lagenfelt & Westerberg, 2009), vilket stämmer väl överens med den överlevnad om 39 % som predikteras av en nyligen framtagna modell för att beräkna passageförluster (Calles & Christiansson, 2012; Leonardsson, 2012). Eftersom predikterad överlevnad/dödlighet vid turbinpassage är beroende av hur turbinerna körs, varierar den predikterade totala överlevnaden för samtliga tre kraftverk mellan 24-39 % för halv respektive full körning i kraftverken (Calles & Christiansson, 2012). Med andra ord finns ett stort behov av en förbättrad överlevnad för nedströmsvandrande fisk i Göta älv, trots att dödligheten sannolikt inte är lika hög som man tidigare befarat.

Behovet av fria vandringsvägar och rehabiliteringsåtgärder har aktualiserats i flera olika sammanhang på senare tid, t.ex. Vattenfalls utredning av åtgärdsbehov och prioritering i biflöden till Göta älv (Stenqvist *et al.*, 2013), ombyggnation och upprustning av Lilla Edets kraftverk och fiskpassager, samt planerna på att bygga nya slussar längs hela Göta älv. Det är således en väl vald tidpunkt att diskutera åtgärder vid Lilla Edet, i synnerhet om övriga ombyggnationer kan planeras med hänsyn till fiskens behov, särskilt i de fall när en sådan hänsyn inte avsevärt försvårar eller fördyrar arbetet.

4.1 Göta älv och ålen

4.1.1 Rekrytering

Institutionen för akvatiska resurser vid SLU och tidigare Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium har under många år följt uppvandringen av ål till olika avrinningsområden runt om i Sverige. Utifrån den typen av data har olika rekryteringsindex tagits fram. Från Göta älv finns uppgifter om uppvandringen vid Lilla Edet och vid Trollhättan sedan år 1900. Det torde vara den allra längsta tidsserie som finns över rekrytering av ål till ett vattendrag (Fig. 3). Uppsamlingen har skett med olika samlare och på lite olika platser under årens lopp, något som närmare beskrivs i Anonymous (2012). Fångst av uppvandrande ål på olika lokaler i älven har normalt presenterats sammantagna i en och samma tidsserie. I dag samlas den uppvandrande ålen in endast vid Olidans kraftverk i Trollhättan. Kraftverket vid Lilla Edet som ligger ca 20 km nedströms (simavstånd) antas ålen kunna passera, eventuellt genom de fartygsslussar som finns där (Lagenfelt, 2012).



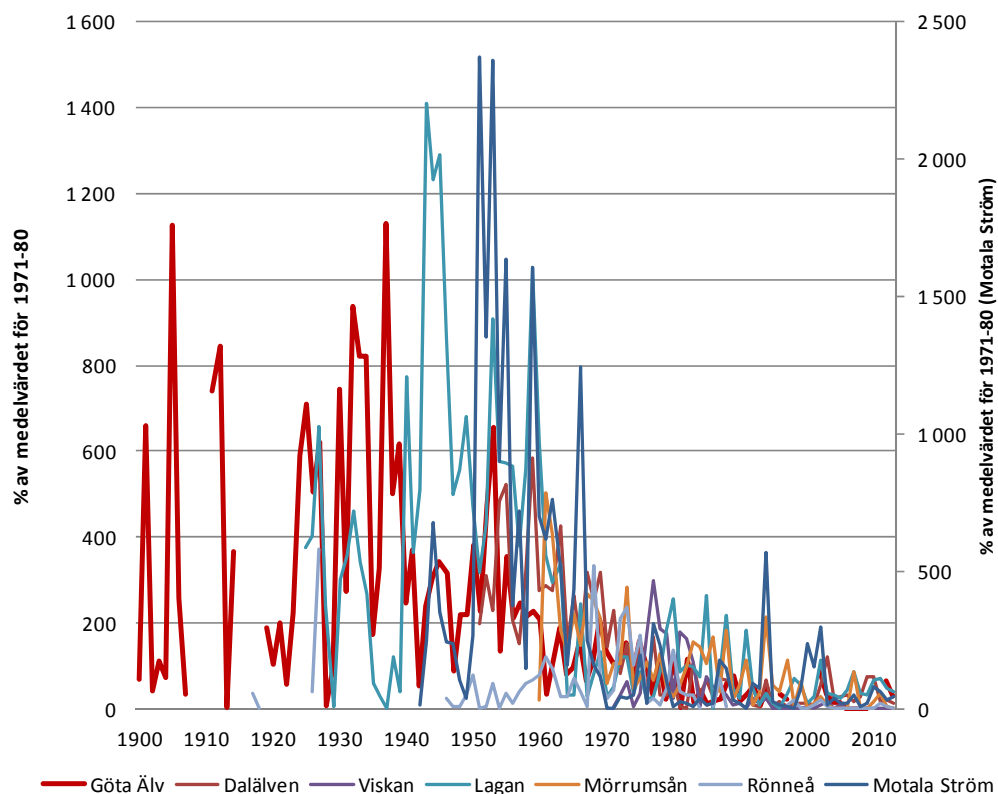
Figur 2. Göta älvs avrinningsområde med de största delavrinningsområdena, de största sjöarna och kraftverkens placering.

Ålarna fångas i dag i en stor och komplex ålyngelsamlare, en "ålstation", med mynning i älven strax nedströms Olidans kraftverk på älvens östra strand. Den ål som vandrar upp i Göta Älv är av varierande storlek, både inom och mellan år, men har varierat även över längre tid. 1902 och 1968-69 var ålarna ca 25 respektive 28 cm, men mellan 1977 och 1985 dominerade ålar mellan 10 och 15 cm (Ask *et al.*, 1971; Nordquist & Alm, 1920; Wickström, 1986, 2002). Under den senare tidsperioden var ålarna betydligt större under vissa år (Wickström, 1986). Ålar i intervallet 23–30 cm var 4–5 år gamla (Ask *et al.*, 1971; Nordquist & Alm, 1920). En nu pågående studie visar att ål från motsvarande stickprov som de från 1977-85, under åren 2012 och 2013 återigen var större (ca 25 cm både som medelvärde och medianvärde) och betydligt äldre (9,5 år) än vad som tidigare konstaterats (muntligen, J. Strömquist). Efter vägning och en stickprovsbaserad räkning av antal individer i fångsten, transporteras de uppsamlade ålarna från älven till de södra delarna av Vänern. Tidigare sattes ålen ut på flera platser i sjön, men även i avrinningsområdet uppströms. Ännu längre tillbaka i tiden, när fångsterna var betydligt större än idag, försålde hälften av fångsten till andra avrinningsområden och intäkterna bidrog till skötseln av ålyngelstationen (Anonymous, 2012).

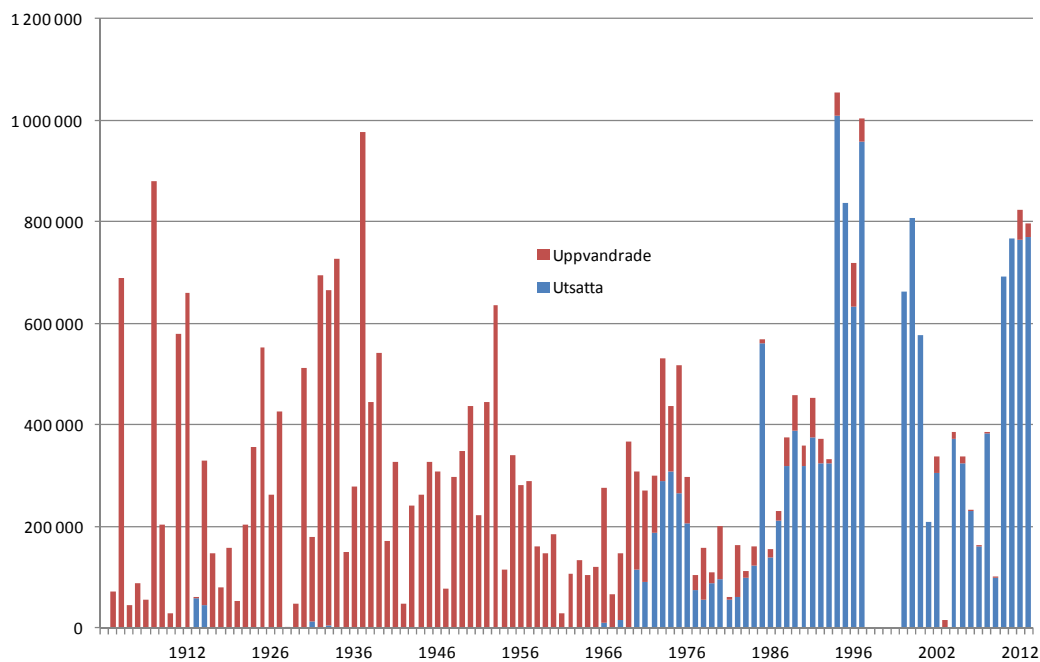
Uppvandringen av ål till vattendrag har generellt minskat mycket kraftigt, inte bara i Sverige utan över hela utbredningsområdet (Dekker *et al.*, 2003). Utvecklingen i Göta älv utgör inget undantag, då dagens invandring är 8 % av vad den var under 1930-talet. Om vi istället jämför med perioden 1971-1980 (en specifik tidsperiod som valts för att möjliggöra jämförelse mellan olika svenska uppvandringsserier), så har invandringen minskat med 94 % (Fig. 3).

Utöver de ålar som fångas vid Trollhättan sätts ytterligare ål ut i systemet. Sedan 1980 har det satts ut något mer än åtta miljoner importerade ålyngel i Vänern samt drygt två miljoner sättålar (sedan 1966). Numera har utsättning av sättål, dvs. halvstor gulål från Sveriges västkust upphört. Utöver dessa utsättningar i själva Vänern tillkommer ål som satts ut i övriga delar av Göta älvs avrinningsområde. I figur 4 visas alla utsättningar som finns i SLU Aquas databas och de är omräknade till "glasålsekvivalenter" för att möjliggöra en summering av alla utsättningar och hänföra dem till ett tänkt utsättningsår. Omräkningen baserar sig på utsättningsålens ålder och beräknad årlig dödlighet. En sättål utsatt ett år motsvarar därmed flera "glasålsekvivalenter" utsatta ett antal år tidigare.

Alla utsättningsålar är sedan 2009 kemiskt märkta med grundämnet strontium i otoliterna (hörselstenar). Detta för att möjliggöra en framtida utvärdering av de utsättningar som görs med importerat ålyngel.



Figur 3. Uppvandring av unga ålar i sju svenska vattendrag. Mängderna uttrycks i % av medelvärdet för 1971-80.

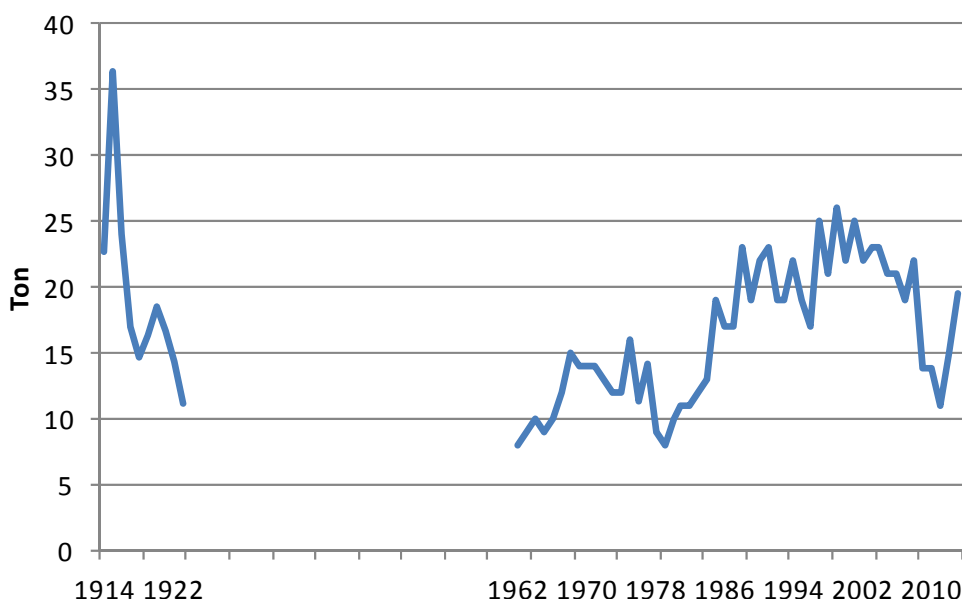


Figur 4. Utsättning av ål i Göta älvs avrinningsområde. Mängderna är omräknade till "glasåls-ekvivalenter", justerade till året för utsättning.

4.1.2 Bestånd/produktion

Det har inte gjorts några egentliga beståndsuppskattningar i systemet, men beräkningar över vad utsatta ålar teoretiskt borde avkasta har gjorts (Calles & Christiansson, 2012; Dekker, 2012). För 2013 beräknas systemet producera ca 71 ton vandringsklar ål (Dekker, 2012).

Det finns även uppgifter om fångstutvecklingen från det kommersiella ålfisket i Vänern (Fig. 5). För 2013 rapporterades det in fångst om 19,6 ton ål. Det är något oklart hur ålar som fiskats för Trap & Transport-programmet (se nedan) i Göta älv rapporterats till ansvarig myndighet (HaV), så data för 2011-12 i figuren är sannolikt inte direkt jämförbara med tidigare års fångststatistik.



Figur 5. Kommersiell fångst i Vänern. Data från 2011-12 sannolikt missvisande. Havs- och Vattenmyndigheten, opublicerat.

Utvandring

De ålar som vandrade ut ur Vänern var 2012 ca 80 cm långa och vägde drygt ett kg styck (Wickström, 2014). En tidigare studie (Clevestam & Wickström, 2008) visade på stora skillnader mellan blankålar fångade i Kinnevik (södra Värmlandssjön), respektive i Dättern (södra Dalbosjön). De senare var i genomsnitt 6 cm kortare än de från Kinnevik och de var endast 12,3 år gamla jämfört med 18,6 år från Kinnevik. Ålarna från Dättern hade därmed en snabbare tillväxt. Otolitkemiska analyser visade också att ålarna från Dättern i en högre utsträckning härrör från utsättning av ålyngel än ålarna från Kinnevik (Clevestam & Wickström, 2008). Ål från norra och södra Vänern provtas årligen i enlighet med EU:s Datainsamlingsförordning. De resultaten visar att ålarna i norra Vänern är 79 cm och ca 16 år gamla, medan de från södra Vänern är 81 cm och 14,4 år. De skillnader vi ser inom Vänern beror sannolikt på såväl ålarnas olika ursprung som på olikheter i produktivitet mellan Vänerns olika delar.

Inom Elforskprojektet "Krafttag ål" flyttas ål från Vänern till Göta Älv nedströms Lilla Edets kraftverk. Därmed minskar skaderisk och dödlighet för de ålar som flyttats högst avsevärt. Metoden kallas populärt för Trap & Transport (T&T). Mellan åren 2011 och 2012 flyttades genom projektet ca 19 000 ålar från Vänern. Tillkom gjorde närmare 1 000 ålar från sjön Ymsen som dränerar till Vänern via Tidan. På så sätt undslapp mer än 20 000 ålar såväl fiske-, som kraftverksdödlighet, men det är inte klarlagt hur stor andel av totalproduktionen dessa år som räddades på detta sätt. En närmare undersökning av den ål som användes för T&T-ändamål under 2012 visade att ålarna till allra största del var blankålar i god kondition och som borde vara kapabla att nå lekområdet i Sargassohavet. Ett mindre antal var dock skadade, sannolikt genom angrepp av skarv (Wickström, 2014). Lagenfelt (2012) visade att >80 % de ålar som ingick i en studie över nedtransporterade ålar från Vänern också nådde ner till Göta älvs mynningsområden.

4.2 Passageåtgärder längs Göta älv – ett helhetsgrepp

Från ett biologiskt perspektiv bör man sträva efter att göra alla av människan skapade vandringshinder passerbara för fisk, både upp- och nedströms. Detta blir speciellt intressant och relevant i fallet Göta älv, eftersom fisk har kunnat vandra upp och ned i Göta älv mellan havet och Trollhättefallen, medan ålyngel med viss svårighet kunnat passera vidare uppströms till Vänern och dess biflöden (Degerman & Ekman, 2004). Dessutom måste fisk ovan Trollhättefallen ha kunnat vandra uppströms i Göta älv och ut i Vänern och teoretiskt sett även upp i dess biflöden. Därför kan man tänka sig olika strategier för åtgärdsarbetet i Göta älv. En strategi är att skapa fria vandringsvägar mellan Vänern och Västerhavet och en annan är att försöka återskapa fria vandringsvägar enligt de premisser som gällt innan mänsklig påverkan. Vi anser att man bör eftersträva det sistnämnda, i synnerhet som att man t.ex. har skyddsvärda sjövandrande bestånd av lax och öring i Vänern och biflödena Klarälven och Gullspångsäven (Piccolo *et al.*, 2012).

För att återskapa dessa vandringar krävs alltså upp- och nedströmspassage för samtliga naturligt förekommande fiskarter vid Lilla Edet. Vid Trollhättefallen (Olidan/Hojum) bör ålyngel kunna passera uppströms och samtliga fiskarter nedströms. Slutligen bör Vargöns kraftverk vara passerbart upp- och nedströms för samtliga fiskarter. Eftersom sträckan mellan Vargön och Olidan/Hojum är av begränsat intresse för strömlevande fiskarter, kan man dock tänka sig ett alternativ där man leder fisk förbi Vargön och direkt via en kulvert/ränna förbi Olidan och Hojum eller möjligen att infångade fiskar transporteras och släpps ut nedströms kraftverken. Om detta visar sig vara tekniskt möjligt skulle man i sådana fall besparas åtgärder för uppströmspassage vid Vargön och nedströmspassage vid Olidan och Hojum.

Till följd av Göta älvs kända skredrisk och vattendragets storlek och det faktum de tre kraftverken i älvens huvudfåra tillhör de kraftverk i Sverige som har högst slukförmåga, är åtgärder vid dem förknippade med stora risker och kostnader (Carlson, 2014). Dessutom är fartygstrafiken omfattande, vilket innebär att ingen is täcker älven vintertid och isproblemen är omfattande. Dessutom förekommer perioder med stora mängder flytande makrofytter, näte, vilket orsakar stora problem med att hålla intagsgaller rena.

4.3 Vargöns kraftverk

Vargöns kraftverk är beläget sydost om Vänersborg, ungefär 3 km nedströms Vänerns utlopp. Kraftverket har tre turbiner med en total slukförmåga på 910 m³/s (1148 m³/s enligt Vattenfall 2014) och en fallhöjd på 4,3 m, vilket ger en total effekt på 34 MW. Vargöns kraftverk har den lägsta årsproduktionen av de tre kraftverken i Göta älv (165 GWh) (Brandesten, 2010). För att minska fallförlusten orsakad av den trånga passagen mellan Väner och kraftverket grävdes 2006 Huvudnästunneln.

4.3.1 Åtgärdsbehov och övriga inverkan

Kraftverket är det första nedströms Väner och orsakar cirka 11-24 % dödlighet för förbipasserande blankål (Calles & Christiansson, 2012; Lagenfelt, 2012; Lagenfelt & Westerberg, 2009) och de individer som överlever passage av Vargöns kraftverk måste dessutom passera Olidan/Hojum och Lilla Edet för att nå havet. Således finns ett stort behov att säkerställa fri nedströmspassage för blankål vid Vargöns kraftverk. Det är oklart vilket behov av nedströmspassage för andra arter som föreligger, men en eventuell åtgärd bör dock i möjligaste mån även anpassas till övriga i Väner förekommande arter.

Eftersom Vargön är belägen närmast nedströms det huvudsakliga produktionsområdet i systemet och dessutom har lägst elproduktion, borde detta vara den mest strategiska platsen att börja med åtgärdsarbetet för ål i Göta älv. På kort sikt är det därför strategiskt att anlägga en åluppsamlingsanläggning här och transportera fångad blankål förbi Olidan/Hojum och Lilla Edet. Ett möjligt alternativ är att leda ålen via en kulvert förbi Olidan/Hojum (8 km) och förbi Lilla Edet 30 km) så länge en åtgärd saknas där. Om kraftverken nedströms får goda passagemöjligheter bör dock även uppsamlingssystemet vid Vargön omvandlas till en ren passageåtgärd.

4.3.2 Om kraftverket

Slukförmågan om 910 m³/s är fördelad mellan två konventionella Kaplan-turbiner (G1 & G2) med verkningsgraden 89 % och slukförmågan 330 m³/s per enhet och en nyligen tillagd rör-Kaplan (G3) med verkningsgraden 94 % och slukförmågan 250 m³/s (Fig. 6). Det är dock oklart kring turbinernas slukförmåga och även siffrorna 375, 414 respektive 359 m³/s med totalflödet 1148 m³/s nämns. Vid tillbyggnaden av G3 anlades även den redan nämnda Huvudnästunneln, för att minska fallförlusten mellan Väner och Vargön.

De två Kaplanenheterna saknar intagsgaller och har en diameter på 8 m och en rotationshastighet på 46,9 rpm. Rörkaplanturbinen föregås av ett 100 mm grovgaller och löphjulet har en diameter på 6,1 m och 75 rpm rotationshastighet. Intagsgallret rensas manuellt med hjälp av kranbil och det största problemet där är igensättning av gallret med nate (muntligen, Hans-Olof Andersson, Vattenfall).

Vintertid ankommer stora mängder is till kraftverket och dessa leds med en cirka en meter djup ytläns bort från G3 och all is och drivgods passerar genom de stora enheterna G1 och G2, som alltså saknar intagsgaller (muntligen, Hans-Olof Andersson, Vattenfall). Vintertid har man även

periodvis problem med isbildning på botten, s.k. bottensväll, vilket är typiskt för reglerade älvar i mellersta och södra Sverige där regleringen gör så att ett istäcke aldrig eller sällan skapas. Intaget till G1-G2 är cirka 45 m brett och 16 m djupt, medan intaget till G3 är 12,7 m brett och 27,5 m djupt.



Figur 6. Vargöns kraftverk med omgivningar. Ortofoto från Lantmäteriet.

Kraftverket har en extremt hög slukförmåga på minst $910 \text{ m}^3/\text{s}$ vilket innebär att spill knappt förekommer eftersom årsmedelvattenföringen är $550 \text{ m}^3/\text{s}$. I de fall när vatten spills förbi Vargön, sker det främst via "utskovet i Svarta hålan" som är beläget längst bort från kraftverket av de olika utskoven och

har en kapacitet på 300 m³/s (Fig. 6; muntligen, Anna Östlund, Vattenfall). Intill G1 ligger ytterligare två spillutskov; västra och östra huvudutskoven.

Trots att både kraftverket som sådant och de tre turbinerna kännetecknas av egenskaper som talar för en låg dödlighet för passerande fisk observerades 24 % dödlighet vid empirisk studie på nedströmsvandrande blankål (Lagenfelt & Westerberg, 2009), medan motsvarande observerade dödlighet vid en nyligen genomförd studie var 15 % (Lagenfelt, 2012). Redan nämnda modell för att beräkna passageförluster förutspådde 11 % dödlighet för Kaplan och 12 % för rör-Kaplan vid körning på fullt effekt och 20 % respektive 23 % vid körning på halv effekt (Calles & Christiansson, 2012). För Vargöns kraftverk tycks modellens prediktioner stämma överens med de observerade förlusterna.

4.3.3 Åtgärdsförslag

Det finns flera olika möjliga placeringar av avledare. Vi förordar generellt att avledare utgörs av låglutande galler med en spaltvidd som gör passage osannolik, men ser även ett stort FOU-värde i att testa en fullskalig beteendeavledare på denna plats. Det omfattande flödet och stora vattendjupet sätter dock begränsningar för vilka åtgärder som bedöms vara genomförbara. De ovan beskrivna problemen med is och makrofyter komplicerar åtgärdens utformning ytterligare.

De parametrar som är av grundläggande betydelse för ett fiskgallers funktion är djup, slukförmåga, spaltvidd och förbipassagens placering och utformning. Vargöns slukförmåga om 910 m³/s i kombination med stora vattendjup, innebär att åtgärdsförslagen blir komplicerade och omöjliga att redogöra för i detalj inom ramen för detta projekt. Eftersom årsmedelflödet är betydligt lägre, 550 m³/s, är frågan vilket flöde åtgärden bör anpassas till. En avledare med låg lutning kommer sannolikt ha en avledande effekt även vid högre flöden än den designats för, även om risken för fastklämning givetvis ökar. Samtidigt kommer fallförlusten bli hög för ett galler med mindre yta och risken för fastklämning att öka vid högre flöden.

Utifrån kraftverkets utseende, slukförmåga och flödets variation under året är såväl låglutande galler av α - och β -typ teoretiskt möjliga att uppföra på platsen. Vattendjupet är förhållandevis heterogent i kraftverksdammen och en batymetrisk karta har granskats för vart och ett av åtgärdsalternativen.

Oavsett gallertyp, bör normalhastigheten i förhållande till gallret vara 0,5-0,6 m/s. För ett kraftverk med slukförmågan 910 m³/s krävs en total galleryta om kring 1517-1820 m², där vi valt att utgå från det högre värdet (mindre arean) för normalhastigheten för α -galler (enligt tidigare utvärderingar) och det lägre värdet för β -galler (större arean; där utvärdering saknas). Separata utföranden beskrivs för de olika gallertyperna. Detta återspeglar även lutningen som är av vikt för den avledande funktionen, där en max tillåten lutning satts till 35° för α -galler och 30° för β -galler enligt samma resonemang.

Följande åtgärdsalternativ diskuteras (Fig. 7):

1. α -galler vid bron uppströms kraftverket
2. β -galler vid ön mot Svarta hålan
3. β -galler framför intag med passage i västra huvudutskovet

4. Ytavledare vid ön mot Svarta hålan
5. Ytavledare framför intag med passage i västra huvudutskovet



Figur 7. Vargöns kraftverk med åtgärdsförslags omfattning och lokalisering. Ortofoto från Lantmäteriet.

α -galler (1)

Vid en lösning med låglutande α -galler är placering i turbinintagen till G1 och G2 inte möjlig till följd av det stora vattendjupet (16 m), eftersom gallren med låg lutning skulle bli nästan 25 m långa. Intaget till G3 är ännu djupare. Det bedöms inte vara möjligt varken att anlägga, rengöra eller ha sådana α -galler i drift och detta alternativ utreds därför inte vidare. T.ex. menar franska experter att den maximala längden för α -galler för att rengöring ska vara möjlig med konventionella gallerrensare är cirka 13 m.

En möjlig alternativ placering är i anslutning till bron uppströms kraftverket, men eftersom hela älvens flöde passerar där, bedöms inte heller detta vara tekniskt möjligt och äventyrar dessutom sannolikt dammsäkerheten och påverkar risk för översvämning och ras. Åtgärdsalternativ 1 med α -galler behandlas därför inte vidare.

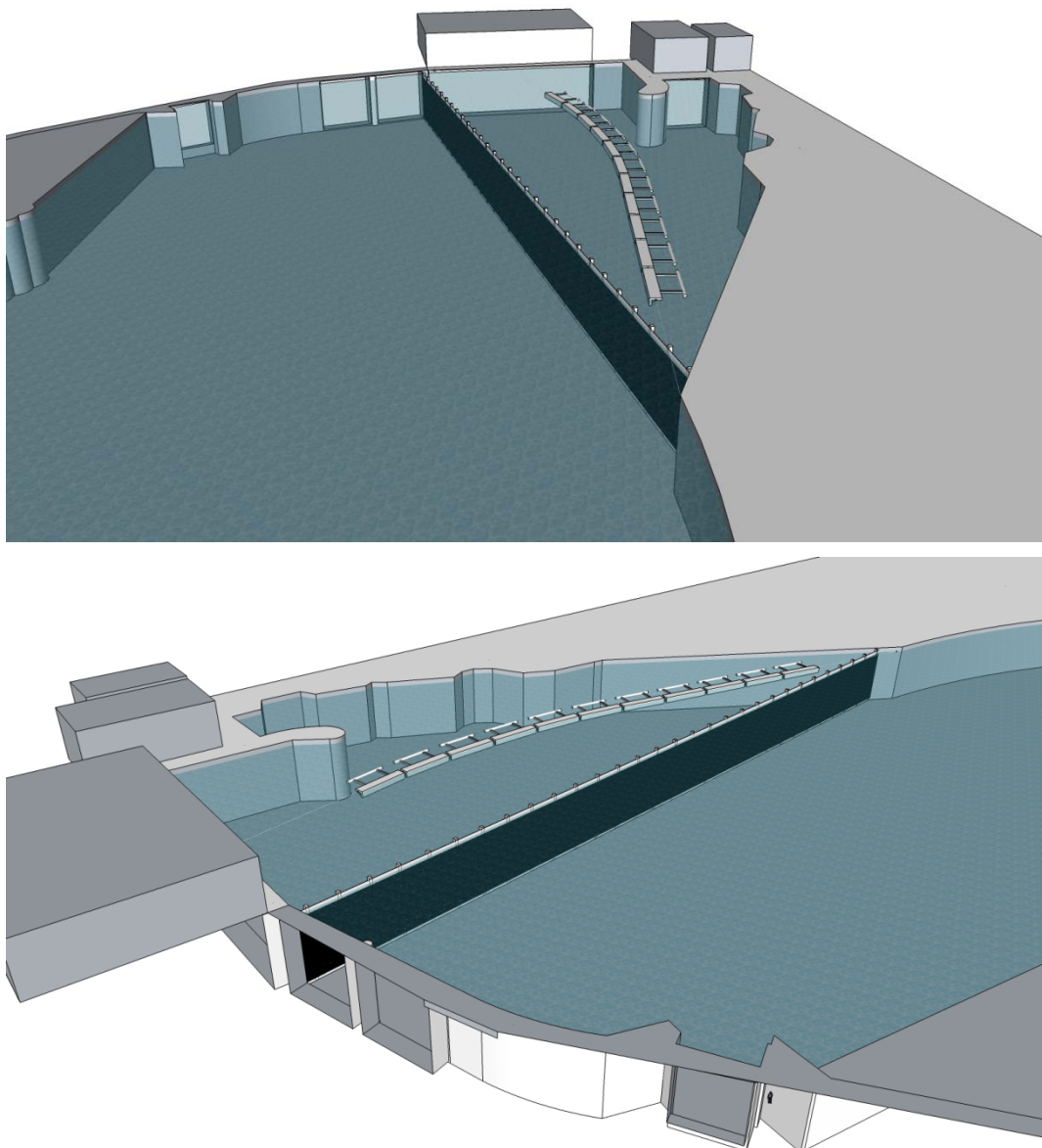
β -galler (2)

β -galler skulle teoretiskt kunna placeras framför turbintagen eller ett stycke uppströms för att leda fisk förbi ön mot Svarta hålan (Fig. 7). Eftersom det senare alternativet vid igensättning skulle blockera båda turbinintagen och de stora spilluckorna, skulle översvämningensrisken öka och dessutom sannolikt äventyra dammsäkerheten. Därför behandlas enbart det första alternativet.

Tas intagets dimensioner vid G1-3 i beaktande, är en lämplig gallerhöjd 11,0 m, vilket ger gallerlängden 165 m (Fig. 7). Förbipassagen utgörs då av dammluckan närmast turbinintaget, det s.k. västra huvudutskovet, vilket sannolikt kräver att dammens avbördningskapacitet måste ökas. Om det 165 m långa gallret anläggs mellan Göta älvs västra strand, 130 m uppströms G3 och 150 m uppströms G1-2, motsvarar det en lutning på $\beta \approx 25^\circ$ i förhållande till den huvudsakliga strömriktningen mot G1-2 och $\beta \approx 35^\circ$ i förhållande till den huvudsakliga strömriktningen mot G3 (Fig. 8). Ingen hydraulisk modell ligger till grund för dessa skattningar, utan endast en bedömning av fårans utseende och intagens placering. För att minska mängden is och grovt drivgods på gallret, behöver ytlåsen flyttas så att den leder sådant material till återstående delen av utskovet intill den föreslagna passagen, alternativt till utskovet i "Svarta hålan" (Fig. 7; motsvarande placeringen för β -galler (2)).

En sådan lösning uppfyller såväl kraven på låg lutning som på stor galleryyta för G1-3. Föreslagen spaltvidd är 18 mm, i enlighet med tidigare implementerade och utvärderade låglutande galler för nedströmsvandrande blankål (Calles *et al.*, 2013a; Calles *et al.*, 2013b). Möjligen kan en åtgärd av denna storlek anläggas med vertikala element, vilket ger en louver-effekt och därmed kan en något ökad spaltvidd tillåtas. Detta medför dock en osäker funktion, även om liknande lösningar testats tidigare med mycket god funktion för stillahavslaxsmolt med gallerdjupet 7 m och spaltvidden 38 mm (Cramer, 1997; Karchesky *et al.*, 2008).

Det finns många osäkerhetsfaktorer för anläggandet av ett 165 m långt β -galler uppströms Vargöns kraftverk och därtill hörande tekniska utmaningar som konstruktion, drift, underhåll och dammsäkerhet. Skulle en åtgärd här bli aktuell, kommer en mer omfattande analys av sådana faktorer att krävas.



Figur 8. Vargöns kraftverk med åtgärdsförslag 3: "β-galler".

Ytavledare

Normalt sett rekommenderas inte en ytavledare för kraftverk där blankål passerar, men eftersom en fysisk avledare är komplicerad (om det ens är möjligt) att uppföra vid Vargön skulle en ytavledare kunna testas i ett första försök att leda av och samla in ål vid Vargöns kraftverk. Som ett inledande test, kan man undersöka vilken effektivitet befintlig ytläns har förutsatt att dess placering kan ändras så att den leder till utskovet intill G1/G2. Eftersom ålen bör samlas in och inte ledas förbi, behöver en sådan anläggning medge

att merparten av vattnet skiljs från ålen. För att minska mängden is och grovt drivgods som når flyktöppningen och uppsamlingsenheten, behöver ytterligare en ytläns anläggas så att denna leder sådant material till återstående delen av utskovet intill den föreslagna passagen, alternativt till utskovet i "Svarta hålan" (Fig. 7; motsvarande placeringen för β -galler (2)). Skulle det fungera är det den lösning som skulle vara minst kostsam och ha minst påverkan på produktionen. Ytlänsen har i dag en låg lutning i förhållande till den huvudsakliga strömriktningen, uppskattningsvis $\beta \approx 20-30^\circ$.

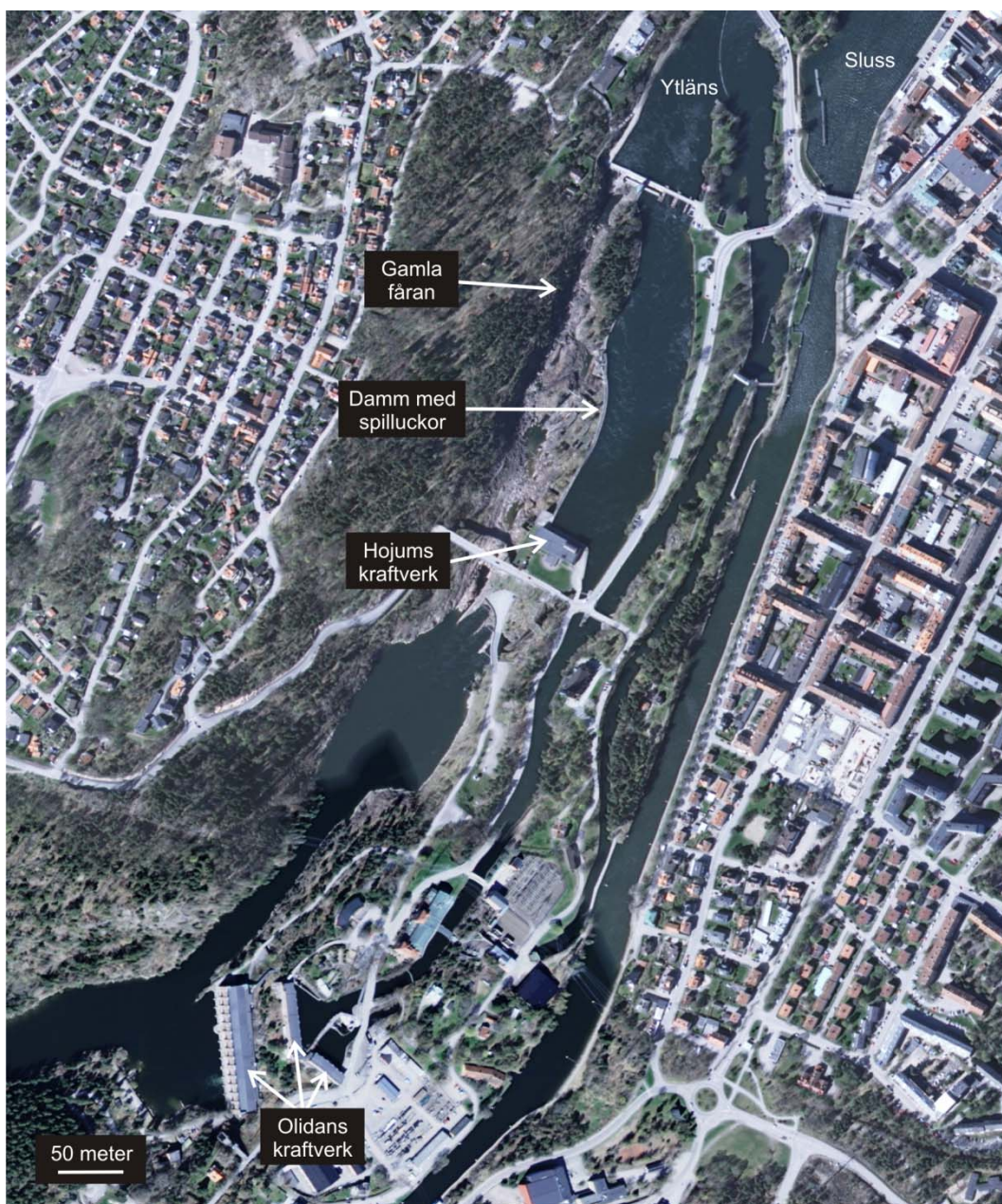
Ett problem med att använda en del av befintligt utskov är att vid spill kommer flödet genom denna och det intilliggande intakta utskovet att vara större än genom flyktöppningen och fisk kommer även passera där. De två utskovens slukförmåga är dock inte kända. Eftersom spillvatten sällan finns att tillgå, bör tappningen i dessa utskovs betydelse för passageeffektiviteten studeras och optimeras/minimeras. Detta kommer även ge information om hur flödet bör varieras under året för en god passagefunktion.

Flyktöppning och uppsamling

För åtgärdsförslagen " β -galler" och "Ytavledare" anläggs en flyktöppning med dimensionerna 2 x 4 m (djup x bredd) anläggs ytligt i anslutning till utskovet närmast G1/G2 och föregås av en minst 19 m lång svagt lutande ramp vilket motsvarar $\alpha = 35^\circ$. En öppning med dessa dimensioner och en fångsthastighet om 1,5 m/s motsvarar ett flöde om cirka 12 m³/s, vilket utgör 1,3 % av kraftverkets slukförmåga och 2,2 % av årsmedelflödet. För att detta ska få plats behöver rampen ha sin början i utskovet och således sträcka sig cirka 19 m nedströms varefter avvattning successivt sker så att passerande ål kan tas omhand (s.k. uppsamling). Den del av utskovet som inte upptas av förbipassagen, används även fortsättningsvis som spilllucka. Spill sker ytterst sällan i dessa utskov, men när det sker är det sannolikt oundvikligt att en stor andel av nedströmsvandrande fisk vandrar den vägen istället för genom förbipassagen. Flyktöppningen förses lämpligen med en eller två hydrauliska luckor som möjliggör kontroll av flödet i flyktöppningen utan att hydrauliken störs. Eftersom spillvatten sällan finns att tillgå, bör tappningen i flyktöppningens betydelse för passageeffektiviteten studeras och optimeras/minimeras. Detta kommer även ge information om hur flödet i flyktöppningen bör varieras under året för en god passagefunktion. Ett exempel på en konstruktion för uppsamling av ål beskrivs för Älvås kraftverk i Motala ström (se Fig. 23, sidan 45).

4.4 Olidan och Hojum kraftverk

Slukförmågan om $920 \text{ m}^3/\text{s}$ är fördelad mellan två separata stationer, Olidan och Hojum (Håjum)(Fig. 9). Hojum är belägen vid de s.k. Trollhättefallen och Olidan ungefär 700 meter längre nedströms. Hojum prioriteras vid körning och har även den högsta slukförmågan på $640 \text{ m}^3/\text{s}$, medan Olidan i dagsläget tar in $280 \text{ m}^3/\text{s}$ som mest.



Figur 9. Hojums och Olidans kraftverk med omgivningar. Ortofoto från Lantmäteriet.

4.4.1 Åtgärdsbehov och övriga inverkanse faktorer

Kraftverket är det andra nedströms Vänern och orsakar cirka 32-52 % dödlighet för förbipasserande blankål som därefter måste passera Lilla Edet för att nå havet (Calles & Christiansson, 2012; Lagenfelt, 2012; Lagenfelt & Westerberg, 2009). Således finns ett stort behov att säkerställa fri nedströmspassage för blankål vid Olidans och Hojums kraftverk, så länge ingen uppsamling av ål och annan fisk sker uppströms vid Vargön. Ålyngel samlas in nedströms kraftverken och historiskt lär ingen annan fiskart än möjligen ål ha passerat kraftverken (Degerman & Ekman, 2004). Trots att dödligheten för nedströmsvandrande ål är högre vid Olidan/Hojum än vid Vargön och Lilla Edet, bedömer vi att en nedströmspassage har låg prioritet här. Resonemanget om åtgärds möjlighet sker därför på ett övergripande plan. Skulle fria vandringsvägar i framtiden skapas längs hela Göta älvs längd, kommer dock en skadefri nedströmspassage vid Olidan/Hojum få en hög prioritet.

4.4.2 Om kraftverket

Hojum har en cirka 400 m lång och 80 m bred intagskanal som står i förbindelse med intagskanalen till Olidans västra station via en smal kanal. Hojum har tre olikstora Kaplan-turbiner med diametern 5,3, 5,5 och 5,7 m och slukförmågan 170, 210 och 260 m³/s. Samtliga aggregat har rotationshastigheten 136,4 rpm och föregås av grovgaller med spaltvidden 100 mm. Intagskanalen är 60-100 m bred och enligt obekräftade uppgifter 30 m djup. I anslutning till Hojum och gamla fåran finns totalt sju segmentluckor (bottentappade) med en slukförmåga på cirka 1100 m³/s. Årsproduktionen i Hojum är cirka 1000 GWh (muntligen, Vattenfall, 2014).

Den äldre stationen Olidan är uppdelad på två hus, det västra och den östra, med skilda intagskanaler som dock kan sättas i förbindelse med varandra genom fem luckor mellan de två intagen. Strax uppströms de två stationerna kantas de två kanalernas insida av en serie spillluckor som leder ner i ett schakt med förbindelse med älvens huvudfåra nedströms kraftverken. De två stationerna har totalt 13 Francis-turbiner, varav sju stycken är i drift i dag som med en slukförmåga på 40 m³/s per aggregat ger en total slukförmåga på 280 m³/s. Turbinerna vid Olidan har diametern 1,8 m, rotationshastigheten 187,5 rpm och föregås av ca 7 m långa intagsgaller med 80 mm spalt och fingaller närmast ytan.

Vid besöket 25 september 2013 kördes 240 m³/s (av 280) i Olidans stationer och 600 m³/s (av 640) i Hojum, vilket är den normala tappning som sällan överskrids. Kraftverken har precis som Vargön en extremt hög slukförmåga på 910 m³/s vilket innebär att spill knappt förekommer eftersom årsmedelvattenföringen är 550 m³/s. I de fall när vatten spills förbi Hojum och Olidan sker det främst via utskoven i gamla fåran. Sommartid har man en timmes "turistspill" per dag.

Kraftverket som sådant och de tre turbinerna kännetecknas av egenskaper som talar för en hög dödlighet för passerande fisk och vid redan nämnda empiriska studier på nedströmsvandrande blankål observerades 32 % (Lagenfelt & Westerberg, 2009) respektive 52 % dödlighet (Lagenfelt, 2012). Redan nämnda modell för att beräkna passageförluster förutspådde 22-32 % dödlighet för Hojum och 91 % för Olidan vid körning på full effekt och 39-54

% respektive 88 % vid körning på halv effekt (Calles & Christiansson, 2012). De observerade och predikterade värdena stämmer således väl överens om merparten av ålen antas ha gått genom turbinerna vid Hojum, vilket dock inte går att utläsa från studien.

4.4.3 Åtgärdsförslag

Skulle åtgärder för nedströmspassage bli aktuella vid Hojum/Olidan, förefaller det vara bäst att leda av fisken från Hojums intag och utnyttja förbindelsen till Olidan. En sådan åtgärd består i en primär avledare vid Hojum och två sekundära avledare vid Olidan med uppsamling och/eller förbipassage. Vår bedömning är att ett sådant åtgärdspaket blir dyrt, komplicerat och förknippat med stor osäkerhet kring dess funktion.

Primär avledare Hojum – β -galler

Teoretiska sett kan detta ske antingen vid delningen Hojum/Olidan nedströms bron (Fig. 10, β -galler 1) eller i direkt anslutning till Hojums turbinintag (Fig. 10, β -galler 2). Båda placeringarna är sannolikt komplicerade, men bedömningen är att ett galler framför Hojums turbinintag vore lämpligast. Ett galler framför Hojum med slukförmågan $640 \text{ m}^3/\text{s}$ skulle behöva ha ytan $1067\text{--}1280 \text{ m}^2$ ($V_N = 0,6$ resp. $0,5 \text{ m/s}$). Vattendjupet i Hojums intag är inte känt, men om man utgår från förslagen gallerlutning ($\beta \approx 35^\circ$) och resulterande gallerlängd om 88 m samt den minsta area som krävs, behöver gallret vara 12,1–14,5 m djupt ($V_N = 0,6$ respektive $0,5 \text{ m/s}$).

Om en dylik avledare anläggs via Hojum kommer all nedströmsvandrande fisk att vandra ner mot Olidan i någon av de två intagskanalerna. Vid Olidan finns två möjliga alternativ, förutsatt att vattendjupet tillåter anläggandet av låglutande galler.

Sekundär avledare Olidan – α -galler

Enklast är att anlägga ett α -galler i var och en av kanalerna och från flyktöppningar i gallrens yttre överkanter leda fisken in i schaktet mellan de två intagskanalerna där gott om utrymme finns för att anlägga en uppsamlingsstation (Fig. 11 "schaktet"). De minsta dimensionerna på respektive flyktöppning bör vara cirka $1 \times 1 \text{ m}$, med möjlighet till modifierad tappning. Enligt resonemanget ovan för dimensioneringen av gallret vid Hojums intag, skulle ett galler i vänstra (södra) kanalen med slukförmågan $80 \text{ m}^3/\text{s}$ behöva ha ytan 133 m^2 , vilket för bredden 12 m motsvarar en gallerlängd om cirka 11 m. Motsvarande α -galler i högra (norra) kanalen med slukförmågan $200 \text{ m}^3/\text{s}$ behöva ha ytan 333 m^2 , vilket för bredden 16 m motsvarar en gallerlängd om cirka 21 m. Det är oklart om ett så långt galler är möjligt att anlägga och hålla i drift.

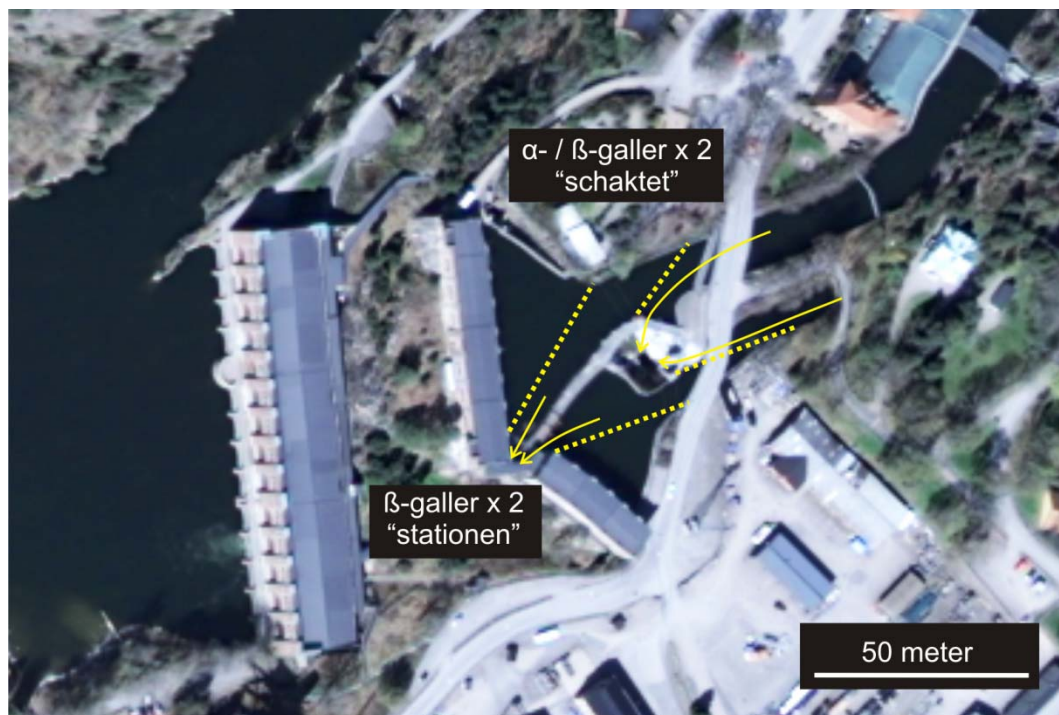
Sekundär avledare Olidan – β -galler

Ett alternativ är att anlägga ett β -galler i var och en av kanalerna och från flyktöppningar i gallrens yttre överkanter leda fisken in i schaktet mellan de två intagskanalerna där gott om utrymme finns för att anlägga en uppsamlingsstation (Fig. 11, "schaktet"), eller mot utskovet mellan de två stationerna (Fig. 11, "stationen"). Flyktöppningarna utformas enligt ovan beskrivet för " α -galler". Enligt resonemanget ovan för dimensioneringen av galler skulle ett galler i vänstra (södra) kanalen med slukförmågan $80 \text{ m}^3/\text{s}$ behöva ha ytan 133 m^2 , vilket innebär att det med lutning $\beta \approx 30^\circ$ i

förhållande till huvudströmmen blir cirka 20 m långt och därmed minst 6,65 m djupt. Motsvarande β -galler i högra (norra) kanalen med slukförmågan 200 m³/s behöva ha ytan 333 m², men en lämplig längd är inte möjligt att fastställa till följd av kanalens krökning uppströms schaktet. På motsvarande sätt skulle två separata β -galler kunna placeras något längre nedströms och därmed leda fisken mot de spillutskov som är beläget mellan de två stationerna (Fig. 11 "stationen").



Figur 10. Hojums och Olidans kraftverk med åtgärdsförslags omfattning och lokalisering. Ortofoto från Lantmäteriet.



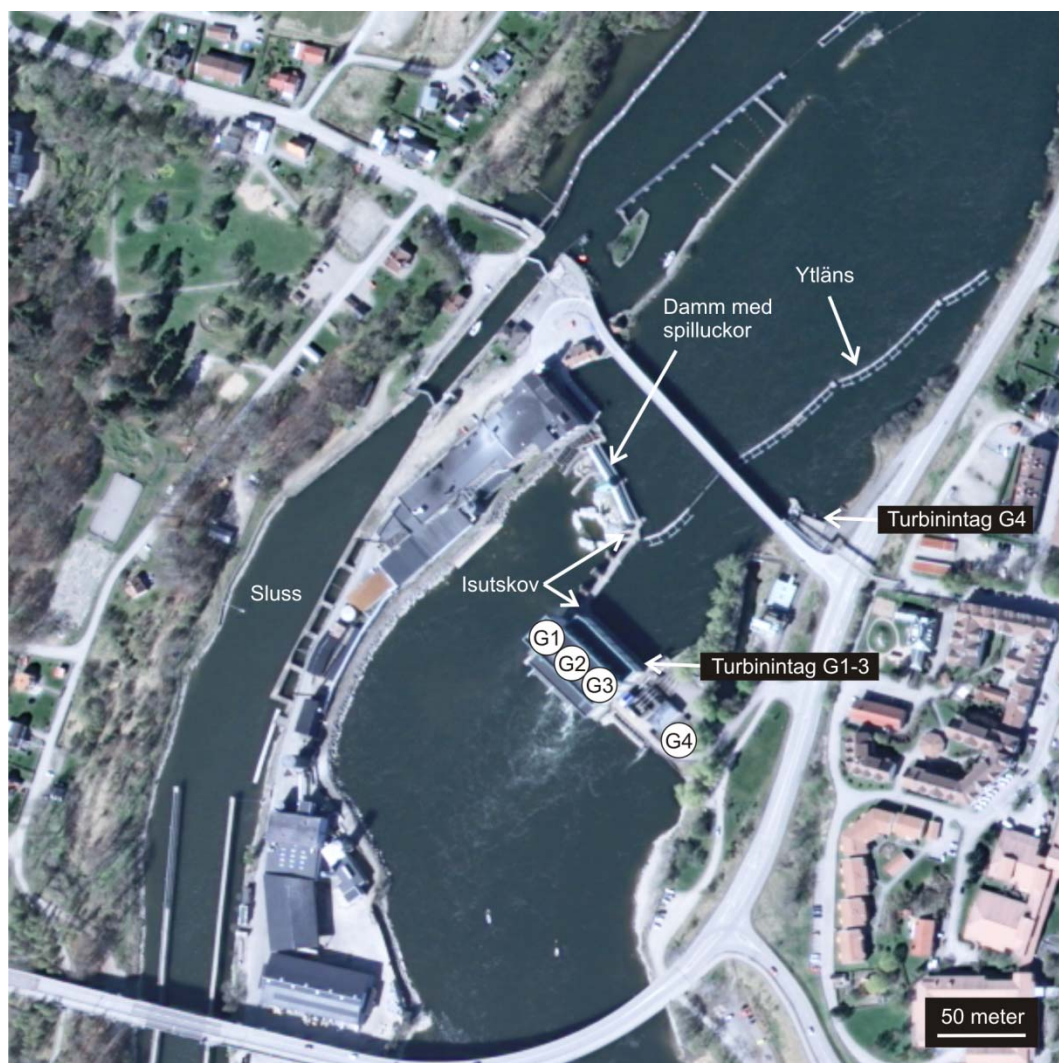
Figur 11. Hojums och Olidans kraftverk med åtgärdsförslags omfattning och lokalisering. Karta modifierad från Google maps. Ortofoto från Lantmäteriet.

4.5 Lilla Edet

Lilla Edets kraftverk är beläget 58 km uppströms mynningen i Göteborg, ungefär 23 km nedströms kraftverken Olidan och Hojum i Trollhättan. Kraftverket kommer att byggas om inom de närmsta åren, men har i dag fyra turbiner med en total slukförmåga på 880 m³/s och en fallhöjd på 6,5 m, vilket ger en total effekt på 43 MW. Lilla Edets kraftverk har en något högre årsproduktion än Vargön (210 GWh)(Brandesten, 2010). Ombyggnationen består huvudsakligen i dammsäkerhetshöjande åtgärder och en utökad spillkapacitet, men även åtgärder för förbättrad uppströms- och nedströmspassage för fisk utreds.

4.5.1 Åtgärdsbehov och övriga inverkanse faktorer

Det finns ett stort antal biflöden med reproduktionsområden för diadroma fiskarter uppströms Lilla Edet och dödligheten för nedströmsvandrande blankål är 9-38 % (Calles & Christiansson, 2012; Lagenfelt, 2012; Lagenfelt & Westerberg, 2009). Behovet av nedströmspassage för vandrande fiskarter får anses vara stort och en åtgärd bör i möjligaste mån anpassas till samtliga vandrande fiskarter. Oavsett om åtgärder uppförs vid kraftverken i Vargön och Trollhättan är det således mycket angeläget att förbättra passagemöjligheterna vid Lilla Edets kraftverk. För att förbättra kunskapsläget kring dödlighet vid nedströmspassage av Lilla Edets kraftverk, rekommenderas fördjupade empiriska studier av passageförhållandena i dag.



Figur 12. Lilla Edets kraftverk med omgivningar. Ortofoto från Lantmäteriet.

4.5.2 Om kraftverket

Slukförmågan om $880 \text{ m}^3/\text{s}$ är fördelad mellan två propellerturbiner och en Kaplan-turbin, samtliga med slukförmågan $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig. 12, "G1-3"). Därtill kommer en nyare rör-Kaplan med slukförmågan $280 \text{ m}^3/\text{s}$ belägen under mark på den östra sidan av älven (Fig. 12, "G4"). Den äldre Kaplanenheten har ett intagsgaller på 200 mm, medan övriga enheter föregås av 100 mm galler. Samtliga enheter har cirka 6 m diameter och 62,5-70 rpm, vilket i kombination med fallhöjden borde ge begränsade skador på passerande fisk. Den turbindödlighetsmodell som tagits fram av Kjell Leonardsson inom Krafttag ål förutspådde 10-14 % dödlighet för passerande blankål vid Lilla Edet (Leonardsson, 2012). Det är inte känt varför den nedan nämnda observerade dödligheten var högre, vilket ytterligare motiverar studier av dödligheten för flera olika arter innan en eventuell åtgärd implementeras (Calles & Christiansson, 2012).

Vintertid ankommer stora mängder is till kraftverket och dessa leds med en cirka 1,2 m djup ytläns bort från samtliga enheter och passerar genom

isutskovet mitt på dammen (Fig. 12, "isutskov" vid "ytläns"). Isutskovet är cirka 3,5 m brett, 7,3 m djupt och har slukförmågan 127 m³/s. Isproblemen kan vara besvärliga även vid Lilla Edet, men inte i lika stor utsträckning som vid Vargöns kraftverk (Vattenfall, muntligen, 2014).

Kraftverket har en extremt hög slukförmåga på 880 m³/s vilket innebär att spill knappt förekommer eftersom årsmedelvattenföringen är 550 m³/s. Det är inte känt hur spill vid Lilla Edet prioriteras. I direkt i anslutning till G1:ans turbinintag ligger ett 4 m brett och 1,7 m djupt isutskov med 16 m³/s slukförmåga (Fig. 12, "isutskov" vid "G1"). Det pågår en utredning som syftar till att ta fram det mest fördelaktiga sättet att öka avbördningsförmågan vid Lilla Edet (muntligen Sweco).

Kraftverket som sådant och de tre turbinerna kännetecknas av egenskaper som talar för en låg dödlighet för passerande fisk, vilket bekräftades av en nyligen genomförd empirisk studie på nedströmsvandrande blankål som visade på 9 % dödlighet (Lagenfelt, 2012). Vid en tidigare genomförd studie var dödligheten betydligt högre, 38 %, och orsaken till denna mellanårsskillnad är inte känd (Lagenfelt & Westerberg, 2009). Redan nämnda modell för att beräkna passageförluster förutspådde 10-14 % vid körning på fullt effekt och 18-25 % vid körning på halv effekt (Calles & Christiansson, 2012; Leonardsson, 2012). Det kan finnas anledning att bekräfta dessa turbindödlighetsskattningar, eftersom den tidigare studien hade en hög grad av osäkerhet.

4.5.3 Åtgärdsförslag

Det finns flera olika möjliga placeringar av avledare. Vi förordar generellt att sådana avledare utgörs av låglutande galler med en spaltvidd som gör passage osannolik, men ser även ett stort FOU-värde i att testa en fullskalig beteendeavledare på denna plats.

De parametrar som är av grundläggande betydelse för ett fiskgallers funktion är djup, slukförmåga, spaltvidd och förbipassagens placering och utformning. Lilla Edets slukförmåga om 880 m³/s ställer extrema krav på avledarens omfattning. Eftersom årsmedelflödet är betydligt lägre, 550 m³/s, är frågan vilket flöde åtgärden bör anpassas till. En avledare med låg lutning kommer sannolikt ha en avledande effekt även vid högre flöden än den designats för, även om risken för fastklämning ökar. Samtidigt kommer fallförlusten bli hög för ett galler med mindre yta och risken för fastklämning att öka vid högre flöden.

Utifrån kraftverkets utseende, slukförmåga och flödets variation under året är såväl låglutande galler av α - och β -typ teoretiskt möjliga att uppföra på platsen. Batymetrin är förhållandevis heterogen i kraftverksdammen och nivån uppströms dammen varierar mellan 6,37-7,24 m.ö.h. (data från Vattenfall 2000-2007) och har under perioden i snitt legat på 6,75 (medelvärde, median 6,76 m). Utifrån områdets batymetri motsvarar det ett ungefärligt vattendjup om 8 m i intagskanalen nedströms bron, vilket är det djup som antagits vid resonemanget kring de olika åtgärdsalternativen.

Intaget till G1-G3 är cirka 45 m brett Oavsett gallertyp, bör normalhastigheten i förhållande till gallret vara 0,5-0,6 m/s. För ett kraftverk med slukförmågan 880 m³/s krävs en total galleryyta om kring 1467-1760 m², där vi valt att utgå från det högre värdet för normalhastigheten för α -galler

(enligt tidigare utvärderingar) och det lägre värdet för β -galler (där utvärdering saknas). Separata utföranden presenteras för de olika gallertyperna. Detta återspeglar även lutningen som är av vikt för den avledande funktionen, där en max tillåten lutning satts till 35° för α -galler och 30° för β -galler.

1. α -galler vid respektive turbinintag med förbipassager
2. Dubbla β -galler vid respektive turbinintag med förbipassager
3. β -galler med passage i turbinutskov och fiskväg
4. Ytavledare med omfattande spill och passage i isutskov/turbinutskov

I samtliga fall bör förbipassagens mynning i möjligaste mån anläggas på ett sätt så att det gynnar attraktionen till fiskvägarnas för uppströmspassage.

α -galler

Vid en lösning med låglutande α -galler förses turbinintag till G1-3 respektive G4 med separata galler. De två gallren bör ha en minsta area om 1000 m^2 (G1-3) respektive 467 m^2 (G4) för att uppnå en maximal normalhastighet om $0,6 \text{ m/s}$. För att åstadkomma denna galleryta för intagsbredden 45 m vid G1-3 blir gallerlängden 22 m och för intagsbredden 16 m vid G4 blir gallerlängden 29 m . Det bedöms inte vara möjligt varken att anlägga, rengöra eller ha sådana α -galler i drift och detta alternativ utreds därför inte vidare. T.ex. menar franska experter att den maximala längden för α -galler för att rengöring ska vara möjlig är $12\text{--}13 \text{ m}$ (muntligen, Michel Larinier, EDF).

Dubbelt β -galler

Vid en lösning med ett dubbelt β -galler förses de två turbinintagen G1-3 respektive G4 med två galler vardera. Gallren vid G1-3 då bör ha en minsta area om 600 m^2 styck för att uppnå en maximal normalhastighet om $0,5 \text{ m/s}$. Tas intagets dimensioner i beaktande, är en lämplig gallerhöjd $8,0 \text{ m}$, vilket ger gallerlängden $2 \times 75 \text{ m}$. En stor flyktöppning placeras ytligt mellan de två gallren. Applicerat på det 45 m breda intaget, motsvarar detta en lutning på $\beta \approx 17^\circ$ för respektive galler. I ett sådant utförande uppfylls såväl kraven på låg lutning som på stor galleryta, men en sådan lösning får dock inte fysiskt plats i intagskanalen till G1-3.

Gallren vid G4 då bör ha en minsta area om 280 m^2 styck för att uppnå en maximal normalhastighet om $0,5 \text{ m/s}$. Tas intagets dimensioner i beaktande, är en lämplig gallerhöjd $6,0 \text{ m}$, vilket ger gallerlängden $2 \times 56 \text{ m}$. En stor flyktöppning placeras ytligt mellan de två gallren.. I ett sådant utförande uppfylls såväl kraven på låg lutning som på stor galleryta, men en sådan lösning får dock inte fysiskt plats i intaget till G4.

β-galler (ett långt)

Tas intagets dimensioner vid G1-3 i beaktande, är en lämplig gallerhöjd 8,0 m, vilket ger gallerlängden 183 m. En stor flyktöppning placeras ytligt i gallrets slut, dvs i isutskovet intill G1. Om det 183 m långa gallret anläggs mellan Göta älvs östra strand cirka 70 m uppströms intaget till G4 och ovan nämnda isutskov motsvarar det en lutning på $\beta \approx 25^\circ$ i förhållande till den huvudsakliga strömriktningen mot G1-3 och $\beta \approx 55^\circ$ i förhållande till den huvudsakliga strömriktningen mot G4. Detta uppfyller såväl kraven på låg lutning som på stor galleryta för G1-3, men inte för G4. Föreslagen spaltvidd är 18 mm, i enlighet med tidigare implementerade och utvärderade låglutande galler för nedströmsvandrande blankål (Calles *et al.*, 2013a; Calles *et al.*, 2013b). Möjligen kan en åtgärd av denna storlek anläggas med vertikala element, vilket ger en louver-effekt och därmed kan en något ökad spaltvidd tillåtas. Detta medför dock en osäker funktion, även om liknande lösningar testats tidigare med mycket god funktion för stillahavslax (Cramer, 1997; Karchesky *et al.*, 2008).

Det finns två huvudsakliga problem med detta åtgärdsalternativ: 1) avledningsvinkel för G4 blir för brant och 2) gallret blockerar fiskvägen för uppströmspassage som i dag är belägen mellan G1-3 och G4. I en framtid kommer utgången till denna fiskväg sannolikt placeras längre uppströms, men ett sammanhängande galler blockerar ändå dess utgång/inlopp.

β-galler (två separata)

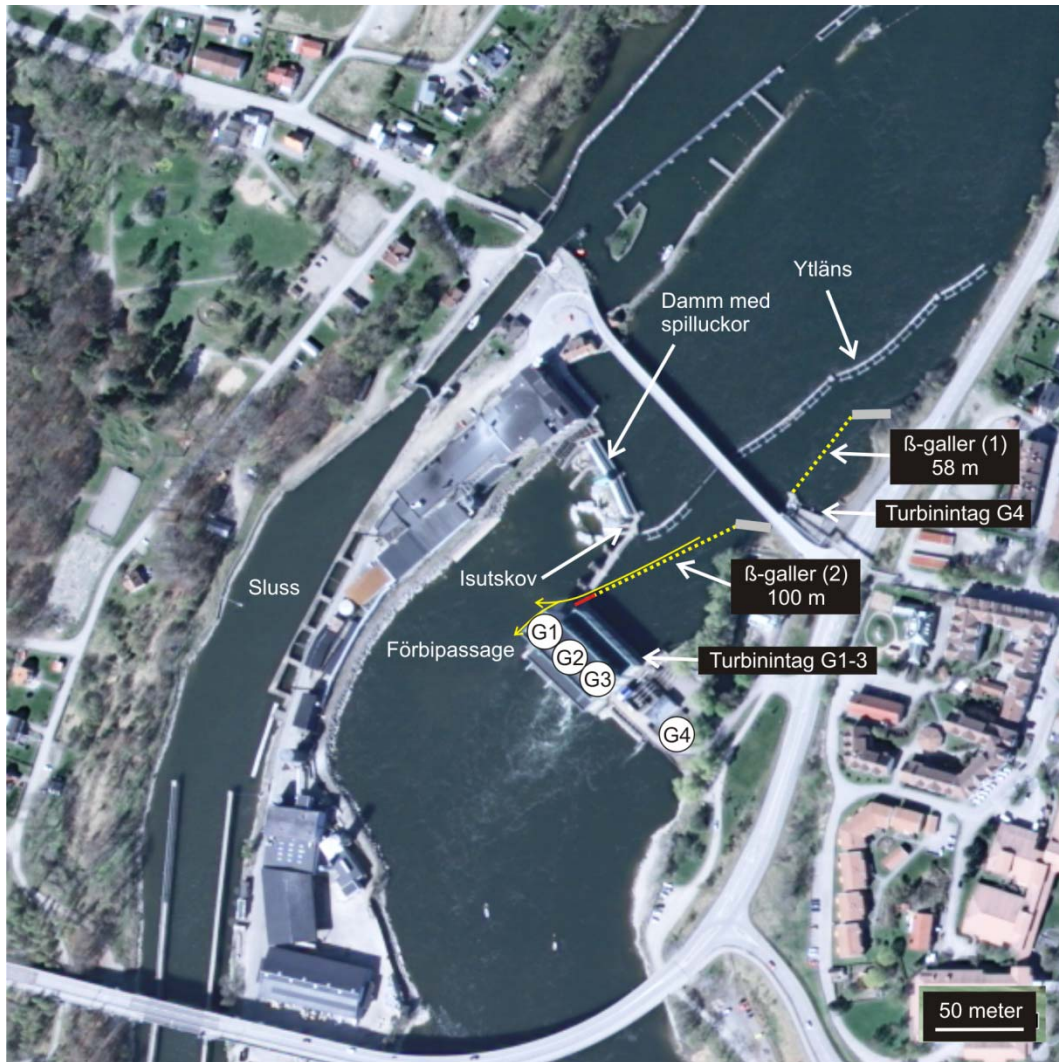
Ett sätt att kringgå de två huvudsakliga problemen som identifierats för ett långt β-galler som täcker båda intagen, är att istället anlägga två β-galler som anpassas till strömriktningen i respektive uttag och dessutom inte blockerar fiskvägsutgången (Fig. 13, "β-galler 1" och "β-galler 2"). Vid en lösning med två låglutande β-galler täcks de två turbinintagen med två separata galler, vilka då bör ha en minsta area om 1200 m² (G1-3) respektive 560 m² (G4) för att uppnå en maximal normalhastighet om 0,5 m/s. För vattendjupet 8,0 m blir gallerlängderna 70 respektive 150 m, som dock inte får plats. De längst möjliga gallerlängderna är cirka 58 respektive 100 m, vilket motsvarar normalhastigheter om 0,60 respektive 0,75 m/s.

Om gallrets uppströms ände anläggs ett kort stycke ut från land vid G4 motsvarar det en lutning på $\beta \approx 35\text{-}40^\circ$ i förhållande till den huvudsakliga strömriktningen mot G4. Fisk som leds av från G4:ans intag kan därefter antingen simma in i fiskvägen, eller fortsätta längs den andra avledaren och förbipassagen i isutskovet vid G1:ans turbinintag. Motsvarande galler vid G1-3 får gallerlängden 100 m. Om gallrets uppströms ände anläggs ett kort stycke ut från land blir motsvarar det en lutning på $\beta \approx 23^\circ$ i förhållande till den huvudsakliga strömriktningen mot G1-3.

Denna lösning följer inte fullt ut rekommendationerna om vinkel i förhållande till strömriktningen (G4) och normalhastigheten i förhållande till gallret (G1-3). Men att G4 prioriteras vid körning och att G1-3 sällan går för fullt borde i kombination med den fördelaktiga vinkeln vid G1-3 ändå tala för en god funktion. I stort sett uppfylls såväl kraven på låg lutning som på stor galleryta för G1-3 och G4.

Föreslagen spaltvidd är 18 mm, i enlighet med tidigare implementerade och utvärderade låglutande galler för nedströmsvandrande blankål (Calles *et al.*,

2013a; Calles *et al.*, 2013b). Möjligen kan en åtgärd av denna storlek anläggas med vertikala element, vilket ger en louver-effekt och därmed kan en något ökad spaltvidd tillåtas. Detta medför dock en något osäker funktion, även om liknande lösningar testats tidigare med mycket god funktion för stillahavslax (Cramer, 1997; Karchesky *et al.*, 2008).



Figur 13. Lilla Edets kraftverk åtgärdsförslags omfattning och lokalisering. Ortofoto från Lantmäteriet.

En flyktöppning med dimensionerna 1,7 x 4 m (djup x bredd) anläggs ytligt i anslutning till utskovet närmast G1 och föregås av en minst 8 m lång svagt lågt lutande ramp vilket motsvarar $\alpha = 30^\circ$. En öppning med dessa dimensioner och en fångsthastighet om 1,5 m/s motsvarar ett flöde om cirka 10 m³/s, vilket utgör 1,2 % av kraftverkets slukförmåga och 1,9 % av årsmedelflödet. Räknas fiskvägsflödet in blir det totala flödet för nedströmspassage 20 m³/s, vilket utgör 2,3 % av kraftverkets slukförmåga och 3,6 % av årsmedelflödet. Lämpligen förses flyktöppningen med en eller två hydrauliska luckor som möjliggör kontroll av flödet i flyktöppningen utan att hydrauliken störs. Eftersom spillvatten sällan finns att tillgå, bör

tappningen i flyktöppningens betydelse för passageeffektiviteten studeras och optimeras/minimeras. Detta kommer även ge information om hur flödet i flyktöppningen bör varieras under året för en god passagefunktion.

Ytavledare

Normalt sett rekommenderas inte en ytavledare, dvs. en avledare som är ytorienterad och inte når botten, för kraftverk där blankål passerar. Eftersom merparten av ålen i Göta älv produceras i Väneren och lämpligen samlas in i Vänerens utlopp eller vid Vargöns kraftverk, kan en sådan lösning vara intressant att utvärdera vid Lilla Edets kraftverk. Som ett inledande test, kan man undersöka vilken effektivitet befintlig ytläns har om isutskovet hålls öppet med ett högt flöde under utvandringsperioden för t.ex. lax och öring. Skulle det fungera är det den lösning som skulle vara minst kostsam och ha minst påverkan på produktionen. Som redan påtalats har ytlänsen en låg lutning i förhållande till den huvudsakliga strömriktningen, uppskattningsvis $\leq 30^\circ$. Eftersom det bedöms som svårt att fånga den fisk som eventuellt vandrar ut i ett stort flöde genom isutskovet krävs att fisk märks och spåras i detalj under nedströmsvandringen. Möjligen kan en sådan åtgärd kompletteras med ett spillflöde i ovan nämnda spillutskov intill turbinintaget till G1-3, åtminstone under en eventuell studie och i synnerhet om man observerar att fisk passerar ytlänsen och söker efter en passage i turbinintaget. Detta bör kompletteras med en noggrann studie av turbininducerad dödlighet, eftersom en ytavledare med största sannolikhet i bästa fall har en måttlig passageeffektivitet och en andel av fisken sannolikt kommer passera genom turbinerna.

En fördel med att nyttja de två befintliga utskoven är att det finns möjligheter till omfattande spill under de perioder det är motiverat. De två utskovens slukförmåga motsvarar 1,8 % (isutskov vid G1) respektive 14,4 % (isutskov vid läns) av kraftverkets slukförmåga (totalt 16,2 %) och vid årsmedelflödet motsvarar detta 2,9 % (isutskov) respektive 23,1 % (länsutskov) av kraftverkets slukförmåga (totalt 26 %). Eftersom spillvatten sällan finns att tillgå, bör tappningen i dessa utskovs betydelse för passageeffektiviteten studeras och optimeras/minimeras. Detta kommer även ge information om hur flödet bör varieras under året för en god passagefunktion. Ett exempel på en konstruktion för uppsamling av ål beskrivs för Älvåns kraftverk i Motala ström (se Fig. 23, sidan 45).

5 Motala ström

Motala ström rinner mellan Motala och Norrköping där den mynnar ut i Bråviken i Östersjön, med ett årsmedelflöde på cirka 96 m³/s. Huvudproduktionsområdet för Motala ström består bl.a. av sjöarna Roxen, Glan och Sommen. Vättern har, trots sin storlek, aldrig haft någon betydande ålproduktion till följd av låg temperatur, näringsfattighet, samt att dess batymetri inte är optimal för ålhabitat (Håkan Wickström, SLU Aqua, pers. obs.). De ålyngel som samlas upp i Norrköping sätts därför ut i Roxen och Glan (Fig. 14). På sträckan från huvudproduktionsområdet till havet ligger fyra kraftverk i huvudfåran: Älvås och Skärbläcka mellan Roxen och Glan, samt Fiskeby och Holmen/Bergsbron mellan Glan och havet (Fig. 14). 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.

Tekniska verken (Ljusfors kraft AB) äger uppströms belägna kraftverk hela vägen upp till Motala och Vättern och driften av samtliga kraftverk planeras och koordineras i tvåveckorsperioder.

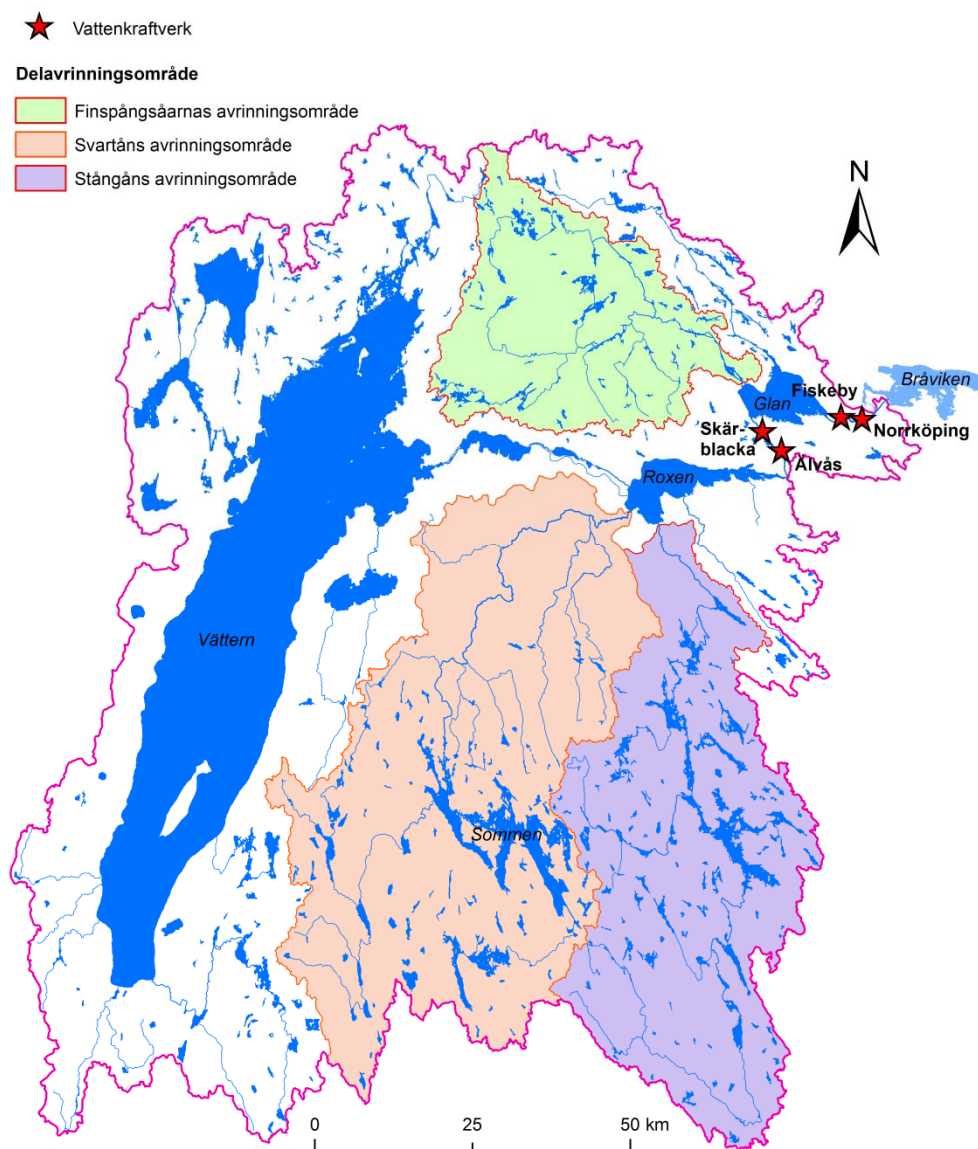
5.1 Motala ström och ålen

5.1.1 Rekrytering

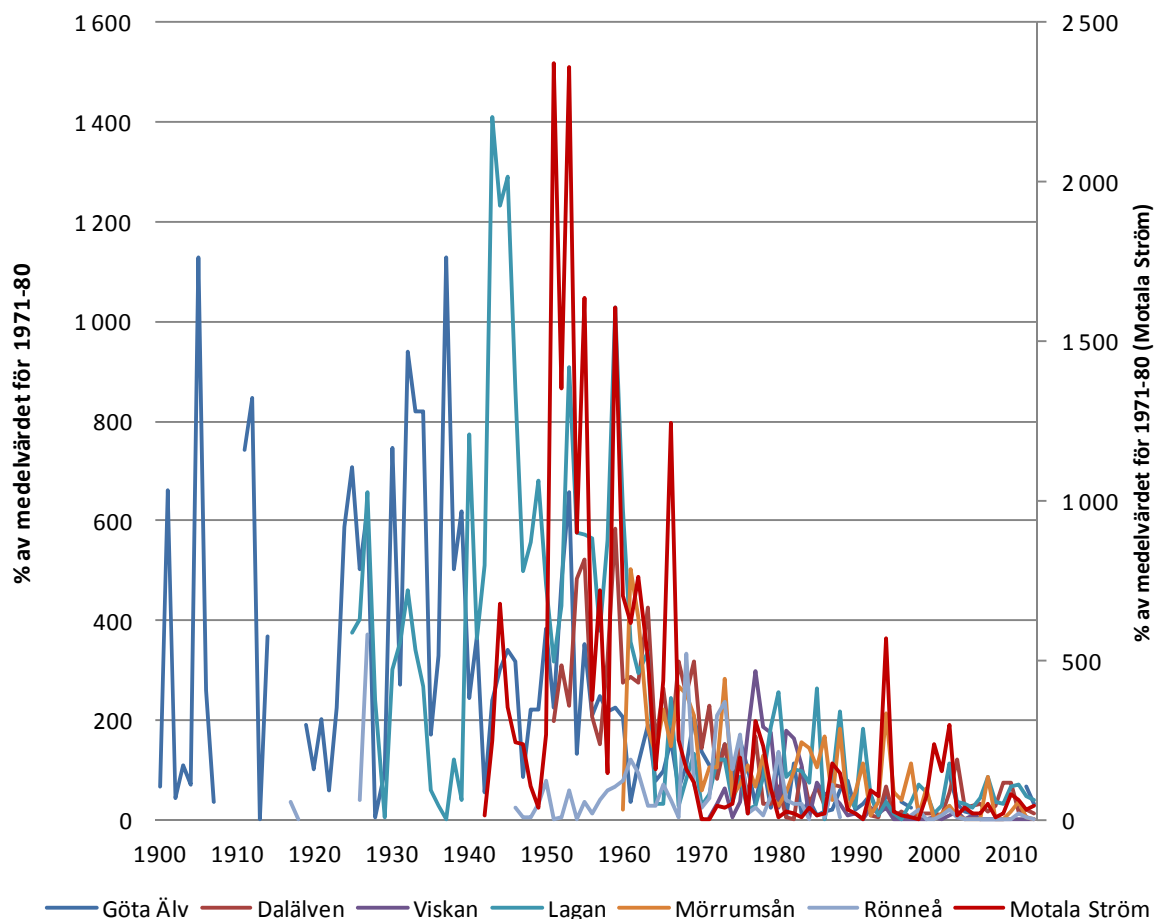
Institutionen för akvatiska resurser vid SLU och tidigare Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium har under många år följt uppvandringen av ål till olika avrinningsområden runt om i Sverige. Utifrån denna information har rekryteringsindex tagits fram. Från Motala ström finns uppgifter om uppvandringen vid kraftverket Bergsbron/Havet i Norrköping sedan 1937. Ålarna fångas där i en ålyngelsamlare som mynnar i Hästskodammen, dvs. vid det första vandringshindret i ån. Den ål som vandrar upp i Motala ström är förhållandevis stor, med en medellängd om ca 34 cm och en ålder mellan 3 och 9 år (Ask *et al.*, 1971; Nordquist & Alm, 1920). Efter vägning och en i vissa fall räkning av antal individer i fångsten, transporteras ålarna upp i Motala ström, normalt och i nutid till sjön Glan.

Uppvandringen av ål till vattendrag har generellt minskat mycket kraftigt, inte bara i Sverige utan över hela utbredningsområdet (Dekker *et al.*, 2003). Utvecklingen i Motala ström utgör inget undantag, då dagens invandring är 3 % av vad den var under 1950-talet (Fig. 15). Om man jämför med perioden 1971-1980 (en tidsperiod som valts för att möjliggöra jämförelse mellan olika svenska uppvandringsserier), så har invandringen halverats. Utöver de ålar som fångas i Norrköping sätts ytterligare ål ut i systemet. Under de senaste 22 åren har mer än tre miljoner karantänsade ålyngel satts ut i Motala ströms avrinningsområde (Fig. 16). Numera har utsättning av sättålar (halvstor gulål) från Sveriges västkust upphört, men under samma tidsperiod har drygt en miljon sådana ålar också satts ut i systemet. Alla utsättningsålar är sedan 2009 kemiskt märkta med grundämnet strontium i otoliterna (hörselstenar). Detta för att möjliggöra en framtida utvärdering av de utsättningar som görs med importerat ålyngel.

Motala ströms avrinningsområde



Figur 14. Motala ströms avrinningsområde med de största delavrinningsområdena, de största sjöarna och de nederst belägna kraftverkens placering.

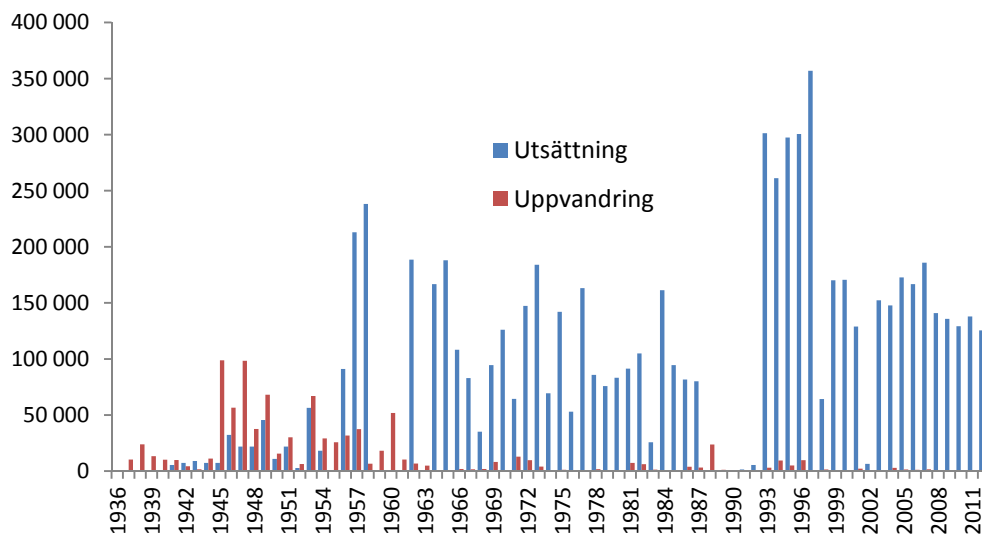


Figur 15. Uppvandring av unga ålar i sju svenska vattendrag. Mängderna uttrycks i % av medelvärdet för 1971-80.

5.1.2 Bestånd/produktion

Det har inte gjorts några egentliga beståndsuppskattningar i systemet, men beräkningar över vad utsatta ålar teoretiskt borde avkasta har gjorts (Calles & Christiansson, 2012; Dekker, 2012). Under 2013 beräknas systemet producera nästan 26 ton vandringsklar ål, vilket får anses vara en betydande produktion med svenska mått mätt.

Det finns även uppgifter från det kommersiella fisket i några sjöar inom avrinningsområdet. Ål fiskas eller har fiskats i Glan, Roxen, Sommen och i Viken (uppströms Vättern). För 2013 rapporterades det in fångst om 4,19 ton från Motala ströms avrinningsområde.



Figur 16. Uppvandring och utsättning av ål i Motala Ströms avrinningsområde. Mängderna är omräknade till "glasålskvivalenter", justerade till år som glasål.

5.1.3 Utvandring

Det finns inte några uppgifter om hur mycket ål som vandrar ut från Motala ströms avrinningsområde till havet (Bråviken). Teoretiska beräkningar visar, enligt ovan, att närmare 26 ton blankål borde försöka vandra ut ur systemet. Endast ca 600 kg av dessa torde enligt samma beräkningsmodell nå Bråviken och havet (Dekker, 2012). Som jämförelse kan nämnas att vid antagandet att varje kraftverk dödar 70 % av ålen bedömdes endast ett fåtal av ålarna från Motala ström nå havet, när motsvarande prediktion gjordes med hjälp av en modell som tog hänsyn till kraftverkens utformning (Leonardsson, 2012), var förväntad överlevnad för ålarna i Motala ström 6 % vid halv körning i kraftverken och 39 % vid full körning i kraftverken (Calles & Christiansson, 2012).

Som ett led i arbetet med att minska vattenkraftverkens negativa effekt på mängden utvandrande ål från Motala ström, så fångas ål i sjöarna uppströms i systemet, och körs ner till nedströms det nedersta kraftverket. Tillvägagångssättet kallas populärt "Trap & Transport" och ålarna har främst kommit från Roxen och Glan, men mindre mängder även från Sommen. Under åren 2011-2013 har drygt fem ton ål på så sätt undgått de faror en passage av ett vattenkraftverk annars innebär, men hur stor andel av produktionen detta utgör är således inte känt.

I samband med tre sådana transporter under 2013 studerades ett antal ålar, för att se om de var i sådant skick, kondition och mognadsstadium att de bedöms kunna vandra till lekområdet i Sargassohavet. Ålarna, som då kom från Roxen och Glan, var stora, feta och uppvisade få nya skador som kan kopplas till attacker från mellanskarv eller från kraftverkspassager. Ålarna var i genomsnitt 86 cm långa och vägde 1270 g (Wickström, 2014). Nästan samtliga bedömdes vara blankålar, det vill säga individer vars utveckling av anpassningar till lekvandringen varit långt framskridna.

Ål från Roxen studerades även 2003 och då framgick att ålen i genomsnitt var 77 cm långa, vägde 910 gram och var 12,3 år gamla. De var således betydligt mindre än de som studerades 10 år senare. Hos de åldersbestämda ålarna från Roxen var tillväxthastigheten högre än hos ål från exempelvis Mälaren och Hjälmaren. Deras fetthalt var däremot bland de lägsta bland ål från flera olika svenska insjöar (Clevestam & Wickström, 2008). De ålar som undersöktes från Roxen 2013 var betydligt större än de från 2003, nämligen 88 cm jämfört med 77 cm ovan. Om det beror på ett annat urval eller om ålen i Roxen verkligen ökat i storlek är oklart, men andra studier visar att ålens genomsnittliga storlek ökat samtidigt som antalet ålar minskat (Calles *et al.*, 2010).

5.2 Älvås

5.2.1 Åtgärdsbehov och övriga inverkanse faktorer

Älvås är det första kraftverket nedströms Roxen och tidigare produktionsskattningar indikerar en utvandring på drygt 2000 blankålar/år (Calles & Christiansson, 2012). Vid antagandet att varje kraftverk dödar 70 % av ålen bedömdes endast ett fåtal av ålarna från Roxen nå havet. När motsvarande prediktion gjordes med hjälp av en modell som tog hänsyn till kraftverkens utformning (Leonardsson, 2012), var förväntad överlevnad för Roxenålarna 6 % vid halv körning i kraftverken och 27 % vid full körning i kraftverken (Calles & Christiansson, 2012). För att snabbt åstadkomma en minskad dödlighet för nedströmsvandrande Roxenålar, och ålar från längre uppströms belägna delar av avrinningsområdet, är det lämpligt att anlägga en åluppsamlingsanläggning vid Älvås kraftverk. Ål som fångas i en sådan anläggning transporteras därefter nedströms och släpps ut nedströms Holmens kraftverk som är det sista kraftverket innan havet i Motala ström. Om en effektiv uppsamling åstadkommes vid Älvås kraftverk, behöver man från ålförvaltningsperspektiv på kort sikt sannolikt inte åtgärda Skärblacka kraftverk. Skulle fiskvägar för uppströmspassage anläggas vid kraftverken längs sträckan, kommer dock åtgärder för skadefri nedströmspassage vara nödvändiga att anläggas vid samtliga berörda kraftverk.

5.2.2 Om kraftverket

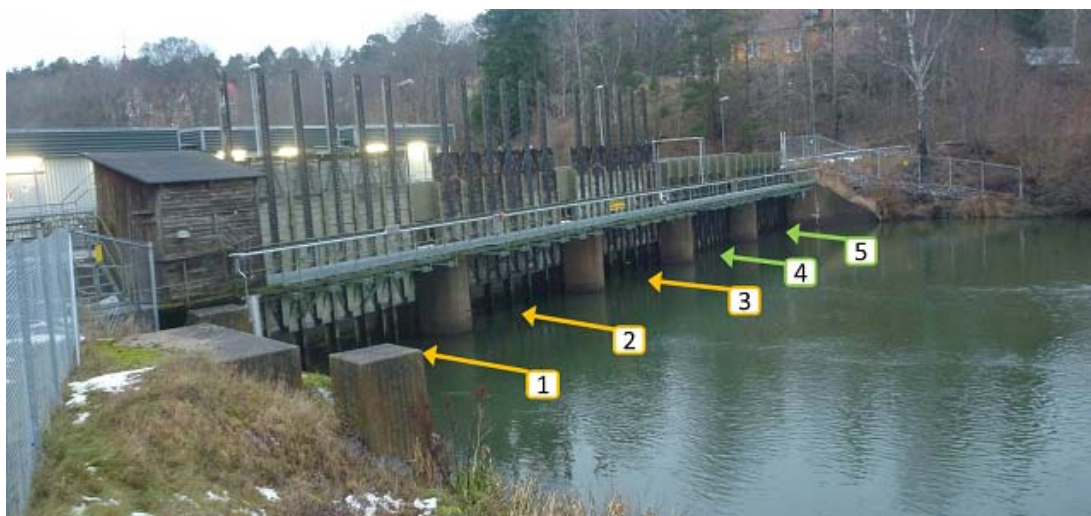
Stationen kom i drift 1988 och slukförmågan om 90 m³/s är jämnt fördelad, 30 m³/s per turbin, mellan tre rör-Kaplanturbiner (bulbturbiner), vilket innebär att turbinerna har fasta ledskenor med ställbara blad (Calles & Christiansson, 2012). Samtliga turbiner är 2,6 m i diameter, roterar 98 rpm och föregås av horisontella grovgaller med 110 mm spaltvidd. Driften i de tre turbinerna alterneras för att jämna ut slitage och således körs ingen turbin oftare än någon annan. Kraftverkets sammanlagda effekt är 2,23 MW och till följd av den begränsade fallhöjden på 2,3 m är normalproduktionen 10 GWh/år.

De tre gallerförsedda intagen separeras av betongväggar (Fig. 17 & 18). Intagsgallren är horisontella ($\alpha = 0^\circ$) och är belägna på två meters djup. Varje galler har sex vågräta förstärkningar som håller 10 mm breda gallerjärn. Rensningen sker genom att turbinerna stängs av vilket skapar en uppströms riktad vattenström som rensar gallren och skräpet spolas därefter

ut genom respektive turbinlucka (Fig. 19). Området uppströms turbinintaget har en jämn botten med cirka 4,5 m vattendjup.



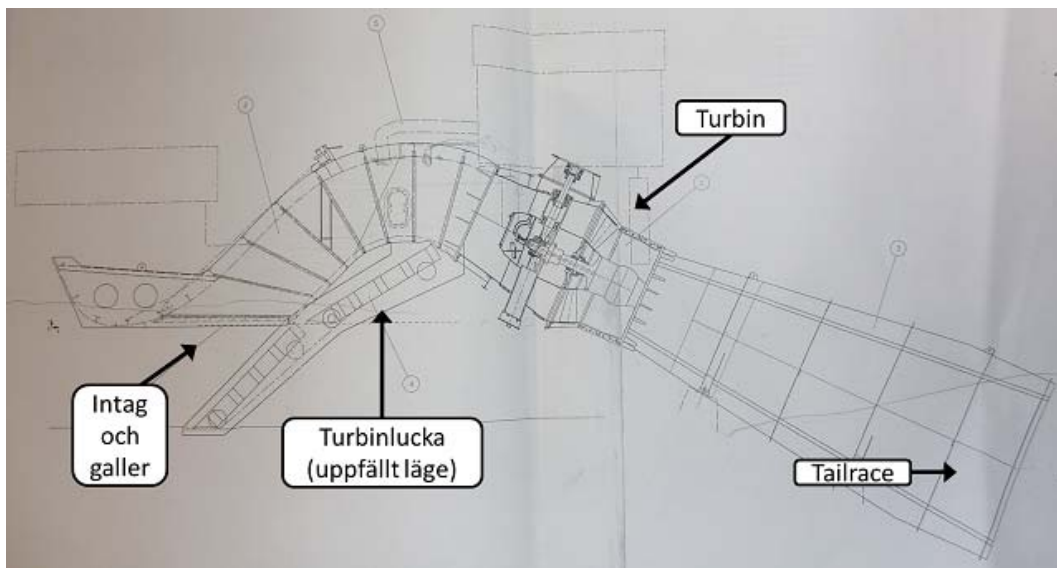
Figur 17. Älvås kraftverk med omgivningar. Ortofoto från Lantmäteriet.



Figur 18. Älvås kraftverksdamm med intagen till turbinerna 1-3 samt spillluckor 4 och 5.

5.2.3 Åtgärdsförslag

Utseendet på turbinintagen vid Älvås, har vissa likheter med s.k. Eicher-galler, dvs låglutande α -galler oftast belägna alldeles intill turbinen och förknippade med extremt höga vattenhastigheter (Fig. 19)(Calles *et al.*, 2013a). Denna teknik har inte bara förknippats med hög passageeffektivitet, utan även omfattande fjällförlust, skavsår och underhållssvårigheter och utreds därför inte vidare som en möjlig åtgärd här.



Figur 19. Sidvy av ritning över Älvås turbiner.

Utifrån kraftverkets utseende, slukförmåga och flödets variation under året är såväl låglutande galler av α - och β -typ teoretiskt möjliga att uppföra på platsen (Fig. 20). Batymetrin är förhållandevis heterogen i kraftverksdammen, men för enkelhets skull har vi antagit ett vattendjup om 4,5 m vid resonemanget kring de olika åtgärdsalternativen. Intagen är 7,65 m breda och stödmurarna mellan dem är 0,8 m breda. Oavsett gallertyp, bör normalhastigheten i förhållande till gallret vara 0,5-0,6 m/s. För ett kraftverk med slukförmågan 90 m³/s krävs en total galleryta om 150-180 m², där vi valt att utgå från det högre värdet för normalhastigheten för α -galler (enligt tidigare utvärderingar) och det lägre värdet för β -galler (där utvärdering saknas). Separata utföranden presenteras för de olika gallertyperna. Detta återspeglar även lutningen som är av vikt för den avledande funktionen, där en max tillåten lutning satts till 35° för α -galler och 30° för β -galler. En diskussion om åtgärdernas utformning har förts löpande med verksamhetsutövaren, Tekniska verken, under projektets gång.

α -galler

Vid en lösning med låglutande α -galler (Fig. 1) förses varje turbinintag med ett separat galler (Fig. 20 och Fig. 27), vilket då bör ha en minsta area om $\geq 50,0$ m² för att uppnå en maximal normalhastighet om 0,6 m/s. För att

åstadkomma denna galleryyta för intagsbredden 7,65 m blir gallerlängden 6,5 m. Flyktöppningar och förbipassage placeras ytligt och beräknas uppta cirka 0,7 m djup, vilket innebär att den övre delen av konstruktion utgör en ogenomtränglig barriär. Applicerat på vattendjupet 4,5 m, motsvarar detta en lutning $\alpha \approx 35^\circ$, vilket innebär att åtgärden uppfyller såväl kraven på låg lutning som på stor galleryyta. Föreslagen spaltvidd är 18 mm, i enlighet med tidigare implementerade och utvärderade låglutande galler för nedströmsvandrande blankål (Calles *et al.*, 2013b; Calles *et al.*, 2013c). Ska åtgärden även fungera för andra arter och livsstadier än blankål, kan en minskad spaltvidd vara nödvändig. För att montage av galler och uppsamlingsränna behöver betongfundamenten på ömse sidor om intaget förlängas ut i dammen, vars omfattning beror av en rad olika faktorer som t.ex. placering av förbipassage, drift och rensning etc och därför inte anges exakt i förslaget.



Figur 20. Älvås kraftverk med omfattning och lokalisering för åtgärdsförslag α -galler samt dubbelt β -galler. Ortofoto från Lantmäteriet.

Eftersom varje intag är smalare än 10 m, vilket angetts som det största rekommenderade avståndet till närmsta flyktöppning, förslår vi en flyktöppning per galler. Flyktöppningen anläggs ytligt i mitten av varje galler och bör ha de minsta dimensionerna 0,5 x 0,4 m (bredd x djup) (Travade & Larinier, 1992). En öppning med dessa dimensioner motsvarar ett flöde om

cirka 0,3 m³/s och således totalt 0,9 m³/s för de fem flyktöppningarna tillsammans, vilket utgör 1 % av kraftverkets slukförmåga. Varje flyktöppning fortsätter i en ränna vars lutning bör vara cirka >1 % för att få korrekt vattenhastighet och flöde. Detta innebär de övre delarna av vattenpelaren inte är genomsläpplig. Flyktöppningarna ska vara flödesbestämmande och därmed bör rännan ha något större dimensioner än respektive ränna och om en ränna samlar in flödet från de olika delrännorna måste dess dimensioner vara tillräckliga för att det sammanlagda flödet inte ska bromsas. Flyktöppningarnas sidor och botten skall vara droppformade för att undvika att turbulens och en alltför hastig acceleration av vattnet skapas.

Dubbelt β -galler

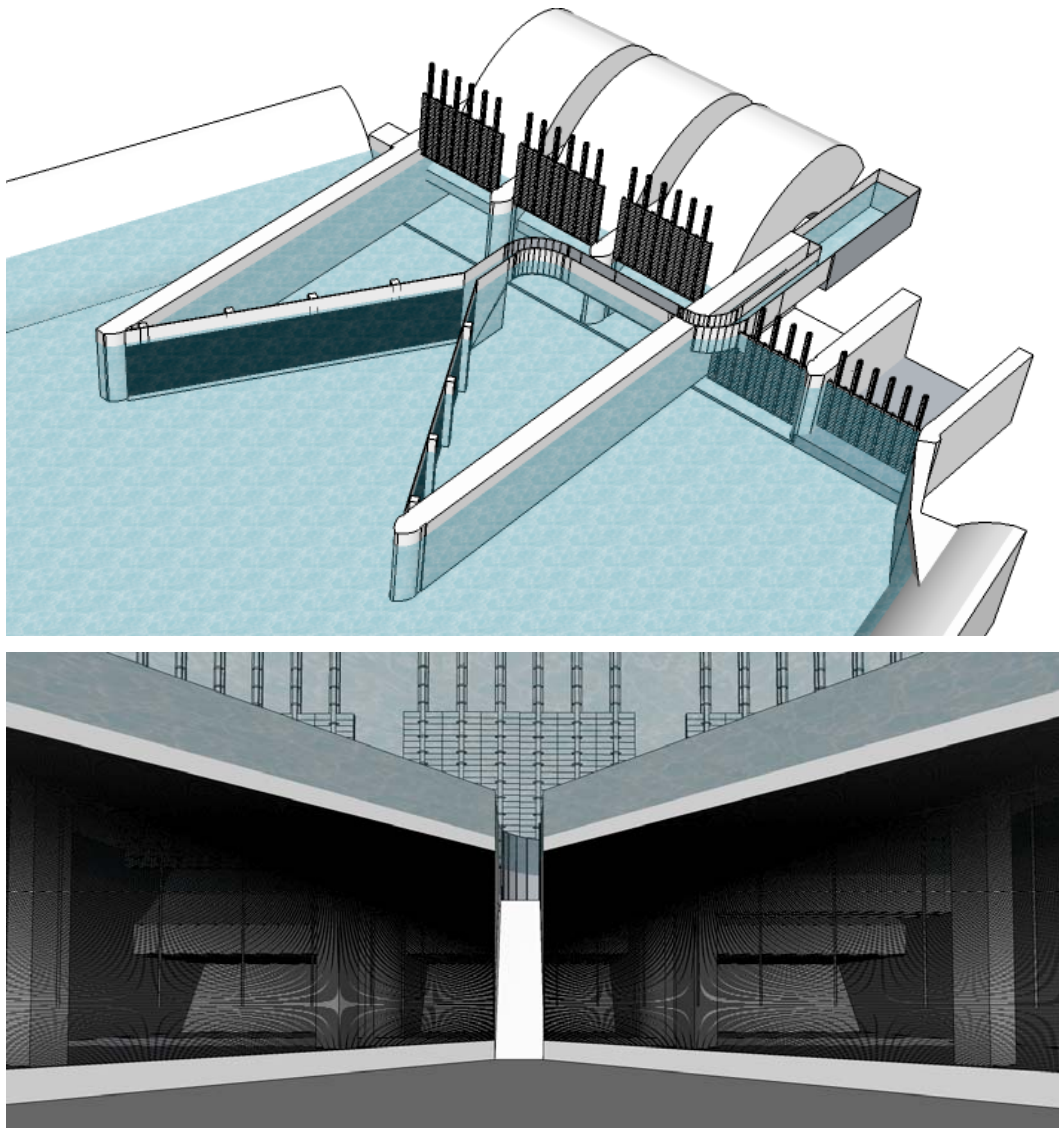
Vid en lösning med ett dubbelt β -galler förses hela turbinintaget med två galler, vilka då bör ha en minsta area om 90,0 m² styck för att uppnå en maximal normalhastighet om 0,5 m/s. Tas intagets dimensioner i beaktande, är en lämplig gallerhöjd 4,0 m, vilket ger gallerlängden 2 x 22,5 m (Fig. 20 & 21). En stor flyktöppning placeras ytligt mellan de två gallren. Applicerat på det 24,5 m breda intaget, motsvarar detta en lutning på $\beta \approx 31^\circ$ för respektive galler. I ett sådant utförande uppfylls såväl kraven på låg lutning som på stor galleryta. Föreslagen spaltvidd är 18 mm, i enlighet med tidigare implementerade och utvärderade låglutande galler för nedströmsvandrande blankål (Calles *et al.*, 2013b; Calles *et al.*, 2013c). Ska åtgärden även fungera för andra arter och livsstadier än blankål, kan en minskad spaltvidd vara nödvändig. Gallerelementen kan antingen orienteras vertikalt eller horisontellt, men det är fortfarande oklart vilka för- respektive nackdelar som är förknippade med de två varianterna.

Eftersom varje galler är betydligt mycket längre än 10 m, vilket angetts som det största rekommenderade avståndet till närmsta flyktöppning, borde man anlägga flera flyktöppningar i gallret. Vi rekommenderar ändå att man prioriterar en väl tilltagen flyktöppning i slutet av de två gallren, eftersom de flesta ålarna sannolikt kommer vandra till den punkten. En flyktöppning med dimensionerna 1 x 1 m anläggs ytligt i mitten av den nya intagskanalen och föregås av en cirka 6 m lång lutande ramp. En öppning med dessa dimensioner motsvarar ett flöde om cirka 1,5 m³/s, vilket utgör 1,7 % av kraftverkets slukförmåga. Lämpligen förses flyktöppningen med en eller två hydrauliska luckor som möjliggör kontroll av flödet i flyktöppningen utan att hydrauliken störs. Flyktöppningen övergår därefter i en ränna/tub som på lämplig plats passerar kraftverkets betongstruktur och mynnar i turbinutloppet enligt specifikationer under rubriken "Förbipassage" nedan.

Enkelt β -galler

Vid en lösning med ett låglutande β -galler täcks hela turbinintaget med ett enda långt galler, vilket då bör ha en minsta area om 180 m² för att uppnå en maximal normalhastighet om 0,5 m/s. Tas intagets dimensioner i beaktande, är en lämplig gallerhöjd 4,0 m, vilket ger gallerlängden 45 m (Fig. 22). En stor flyktöppning placeras ytligt i gallrets slut, dvs väster om intaget närmast turbin 1. Intaget är 24,5 m brett och om flyktöppning och förbipassage upptar 1 m av den bredden blir den fria bredden 23,5 m. Om det 45 m långa gallret passas in i det 23,5 m breda intaget, motsvarar detta en lutning på $\alpha \approx 30^\circ$, vilket således uppfyller såväl kraven på låg lutning som på stor galleryta. Föreslagen spaltvidd är 18 mm, i enlighet med tidigare implementerade och

utvärderade låglutande galler för nedströmsvandrande blankål (Calles *et al.*, 2013b; Calles *et al.*, 2013c). Ska åtgärden även fungera för andra arter och livsstadier än blankål, kan en minskad spaltvidd vara nödvändig. Gallerelementen kan antingen orienteras vertikalt eller horisontellt, men det är fortfarande oklart vilka för- respektive nackdelar som är förknippade med de två varianterna.



Figur 21. Principskiss över förslag till dubbelt β -galler vid Älvås kraftverk: vy snett nedströms (överst) och vy av gallren från botten (nederst).

En flyktöppning med dimensionerna 1 x 1 m anläggs ytligt i mitten av den nya intagskanalen och föregås av en cirka 6 m lång svagt lågt lutande ramp (Fig. 21). En öppning med dessa dimensioner motsvarar ett flöde om cirka 1,5 m³/s, vilket utgör 1,7 % av kraftverkets slukförmåga. Lämpligen förses flyktöppningen med en eller två hydrauliska luckor som möjliggör kontroll av flödet i flyktöppningen utan att hydrauliken störs. Flyktöppningen övergår

därefter i en ränna/tub som på lämplig plats passerar kraftverkets betongstrukturer och mynnar i turbinutloppet enligt specifikationer under rubriken "Förbipassage" nedan.

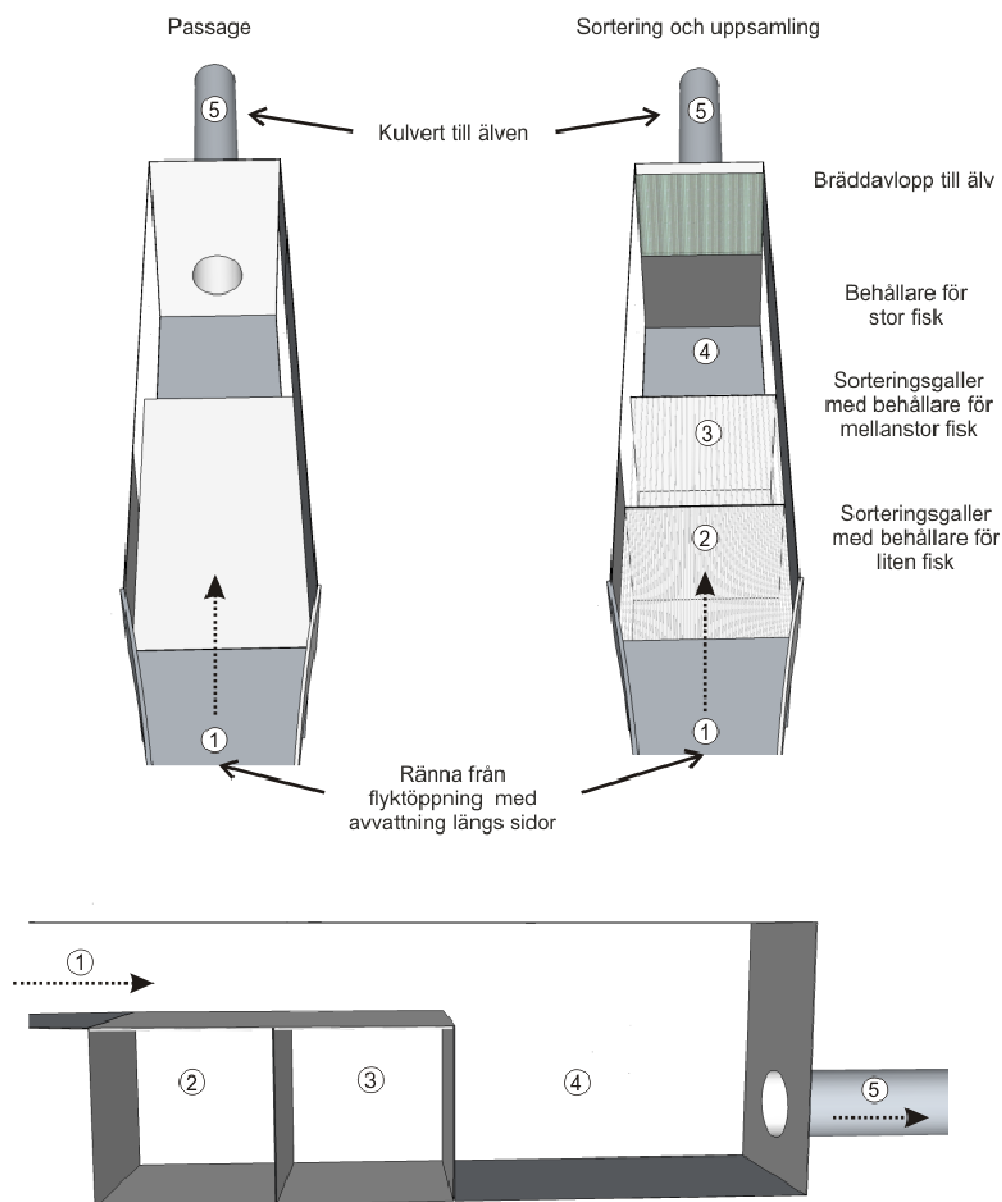


Figur 22. Älvås kraftverk med omfattning och lokalisering för åtgärdsförslag "β-galler". Ortofoto från Lantmäteriet.

Förbipassage

Samtliga alternativa flyktöppningsalternativ övergår i en ränna/tub som på lämplig plats passerar kraftverkets betongstrukturer och mynnar i turbinutloppet. Samtliga ovan beskrivna flyktöppningar föregås av en successivt uppgrundande struktur, som för α-lösningen utgörs av själva gallret och för β-lösningen av en betongramp. Flyktöppningarna skall, som redan nämnts ovan, ha droppformade sidor och botten för att undvika att turbulens och en alltför hastig acceleration av vattnet skapas. Den förutsatta fångsthastigheten om 1,5 m/s i flyktöppningen innebär att den betongramp som placeras framför dem vid β-lösningarna ska vara minst 2,5 m lång för att accelerationen ska vara $\leq 0,2$ m/s, men eftersom lutningen på rampen bör vara $\leq 30^\circ$ blir lutningen den bestämmande faktorn och rampens längd blir cirka 6 m. Själva flyktöppningarna förses med hydrodynamiskt formade luckor som möjliggör förändrat flöde i öppningen utan att hydrauliken påverkas negativt.

Vid lämplig plats längs förbipassagens sträckning anläggs en fångststation som möjliggör alterniering mellan fångst och passage. Avvattnings sker i rännans sidor mellan flyktöppningen och fångststationen, för att undvika problem med höga vattenhastigheter och högt vattentryck. Fångststationen utgörs av en serie bassänger där man vid fångst frilägger två gallerförsedda bassänger med olika spaltvidd där små respektive mellanstora fiskar passerar gallren ned i de underliggande bassängerna (Fig. 23). Stora fiskar samt eventuellt skräp förs vidare till den tredje bassängen där en lucka med bräddavlopp reglerar vattennivån. Vid passage täcks de två gallerförsedda bassängerna över och vatten, fisk och eventuellt kvarvarande skräp förs vidare ner till den tredje bassängen som har fri förbindelse med älven via en ränna eller en kulvert.



Figur 23. Principskiss av konstruktion för alternering mellan förbipassage (vänster bild) och sortering samt uppsamling av fisk (höger), i båda fall vy från ovan. Längst ned visas konstruktionen i tvärsnitt.

5.3 Fiskeby

5.3.1 Åtgärdsbehov och övriga inverkaner

Fiskeby är det första kraftverket nedströms Glan (Fig. 14) och tidigare produktionsskattningar indikerar en utvandring på drygt 2000 blankålar/år och ett tillskott i form av ålar som överlever passagen av uppströms belägna kraftverk (Calles & Christiansson, 2012). Vid antagandet att varje kraftverk dödar 70 % av ålen bedömdes endast ett fåtal av ålarna från Glan nå havet (9 %). När motsvarande prediktion gjordes med hjälp av en modell som tog hänsyn till kraftverkens utformning (Leonardsson, 2012), var förväntad överlevnad för Glanålar 27 % vid halv körning i kraftverken och 54 % vid full körning i kraftverken (Calles & Christiansson, 2012). För att snabbt åstadkomma en minskad dödlighet för nedströmsvandrande Glanålar, och ålar från längre uppströms belägna delar av avrinningsområdet, är det lämpligt att anlägga en åluppsamlingsanläggning vid Fiskeby kraftverk. Ål som fångas i en sådan anläggning transporteras därefter nedströms och släpps ut nedströms Holmens kraftverk som är det sista kraftverket innan havet i Motala ström. Om en effektiv uppsamling åstadkommes vid Fiskeby kraftverk, behöver man från ålförvaltningsperspektiv sannolikt inte åtgärda Holmens kraftverk. Skulle fiskvägar för uppströmspassage anläggas vid kraftverken längs sträckan, kommer dock åtgärder för skadefri nedströmspassage vara nödvändigt att anläggas vid samtliga berörda kraftverk.

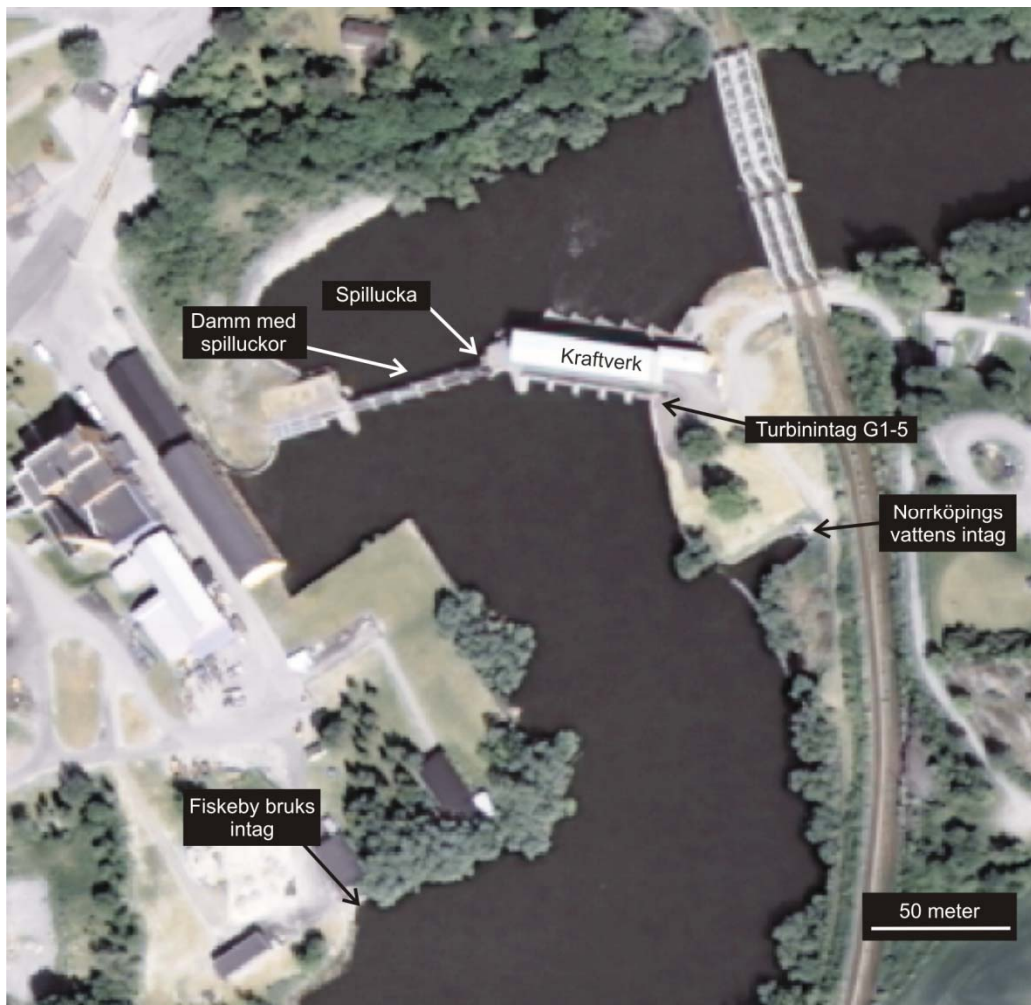
5.3.2 Om kraftverket

Från början låg kraftverket på den västra sidan av åns huvudfåra, men man flyttade kraftverket från västra till östra sidan 1990 (Fig. 24). Slukförmågan om 170 m³/s är jämnt fördelad, 34 m³/s per turbin, mellan två semi-Kaplan och tre propellerturbiner. Samtliga turbiner är 2,9 m i diameter, roterar 100 rpm och föregås av konventionella grovgaller med 111 mm spaltvidd. Gallren rensas med hjälp av en automatisk rensmaskin som var ur funktion hösten 2013. Semi-Kaplanenheterna sitter i intag 2 och 4 (Fig. 25) och är de som oftast är i bruk eftersom de har en bredare verkningsgrad. Propellerturbinerna sitter således placerade i intag 1, 3 och 5 och körs när flödet överstiger c. 70 m³/s (Fig. 22). Kraftverkets sammanlagda effekt är 5,25 MW och till följd av den begränsade fallhöjden på 2,5 m är normalproduktionen 18 GWh/år.

Utöver det vatten som tappas genom kraftverkets turbiner tas vatten i dammen till Fiskeby bruk (0,37 m³/s) på västra sidan av dammen, där intaget skyddas av ett konventionellt intagsgaller med 15 mm spaltvidd (Fig. 24). Ytterligare ett vattenintag på östra sidan ägs av Norrköpings vatten som tar 5 m³/s vid låga till normala flöden och ytterligare upp till 5 m³/s när spillvatten finns att tillgå (Fig. 24). Detta intag skyddas av ett ytligt beläget konventionellt grovgaller i början av intagskanalen och ett konventionellt galler med 18 mm spalt och en automatisk rensmaskin ett femtiotal meter längre in.

De fem gallerförsedda intagen separeras av betongväggar. Intagsgallren är konventionella med redan nämnda 111 mm spaltvidd. Området uppströms

turbinintaget har en relativt plan bottenpografi med cirka 6 m vattendjup närmast turbinintaget och 4 m i området längre uppströms (enligt ADP-mätningar).

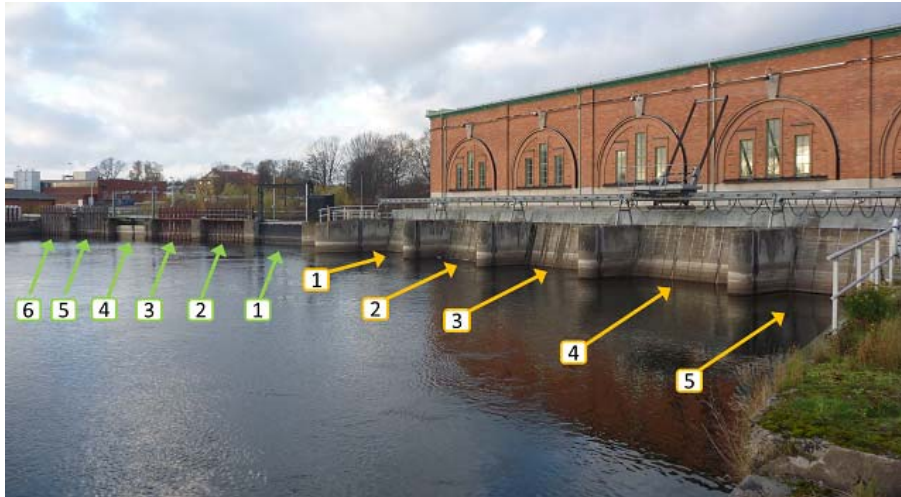


Figur 24. Fiskeby kraftverk och placering för de tre vattenuttagen till Tekniska verken, Norrköpings vatten och Fiskeby bruk. Ortofoto från Lantmäteriet.

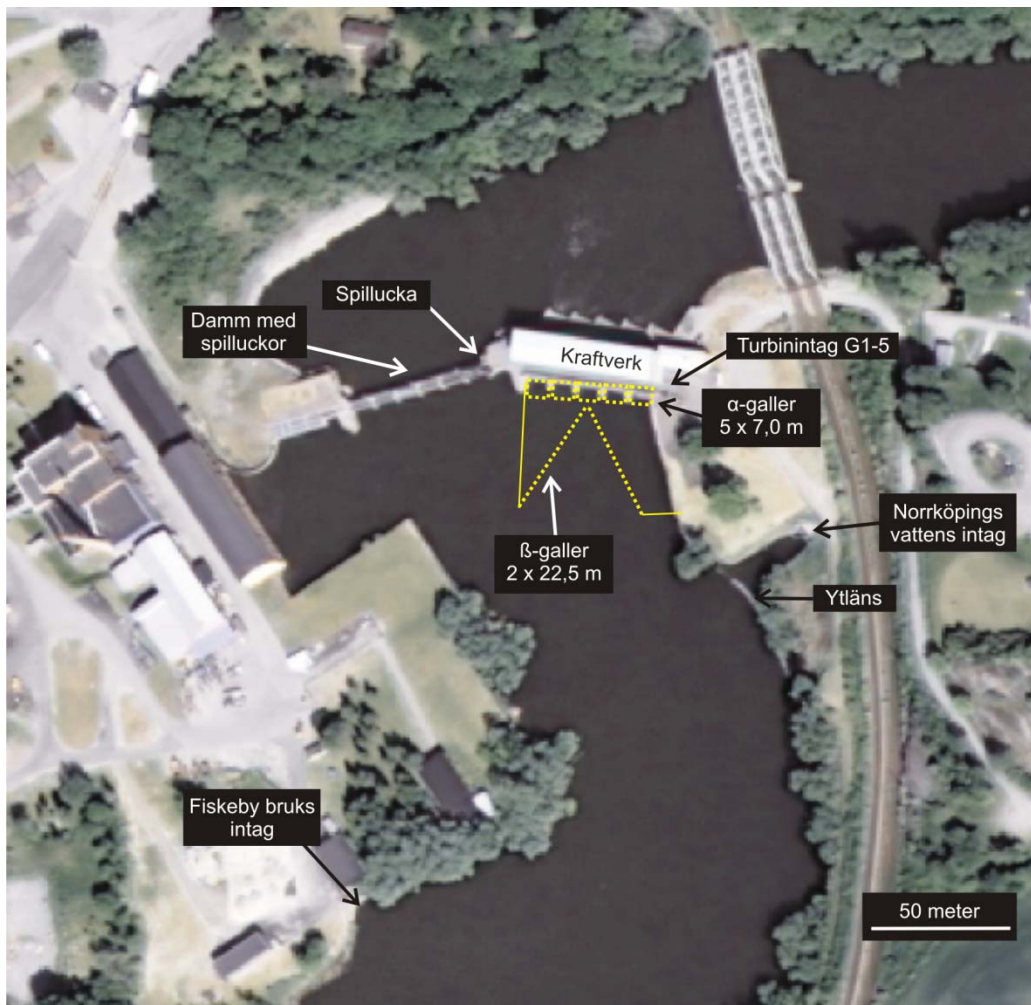
5.3.3 Åtgärdsförslag

Utifrån kraftverkets utseende, slukförmåga och flödets variation under året är såväl låglutande galler av α - och β -typ teoretiskt möjliga att uppföra på platsen (Fig. 26). Batymetrin är förhållandevis heterogen i kraftverksdammen, men för enkelhets skull har vi antagit ett vattendjup om fyra meter vid resonemanget kring de olika åtgärdsalternativen. Oavsett gallertyp, bör normalhastigheten i förhållande till gallret vara 0,5-0,6 m/s. För ett kraftverk med slukförmågan 170 m³/s krävs en total galleryyta om 283-340 m², där vi valt att utgå från det högre värdet för normalhastigheten och redovisar separat utföranden för de olika gallertyperna. Eftersom även lutningen är av

vikt för den avledande funktionen, har en max tillåten lutning satts till 35°. Vad gäller fångststationens utformning hänvisas till stycket "Förbipassage" för Älvås inklusive Figur 20. En diskussion om åtgärdernas utformning har förts löpande med verksamhetsutövaren, Tekniska verken, under projektets gång.



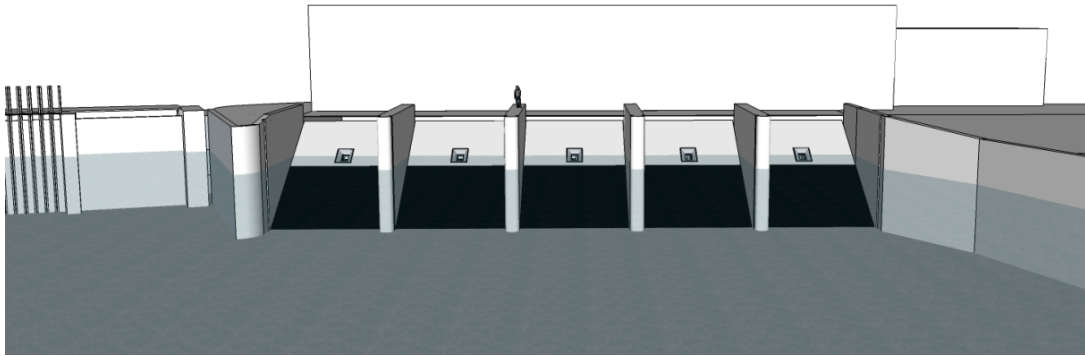
Figur 25. Fiskeby kraftverk med turbinintag 1-5 samt spilluckor 1-6.



Figur 26. Fiskeby kraftverk med omfattning och lokalisering för åtgärdsförslag "α-galler" samt "dubbelt β-galler". Ortofoto från Lantmäteriet.

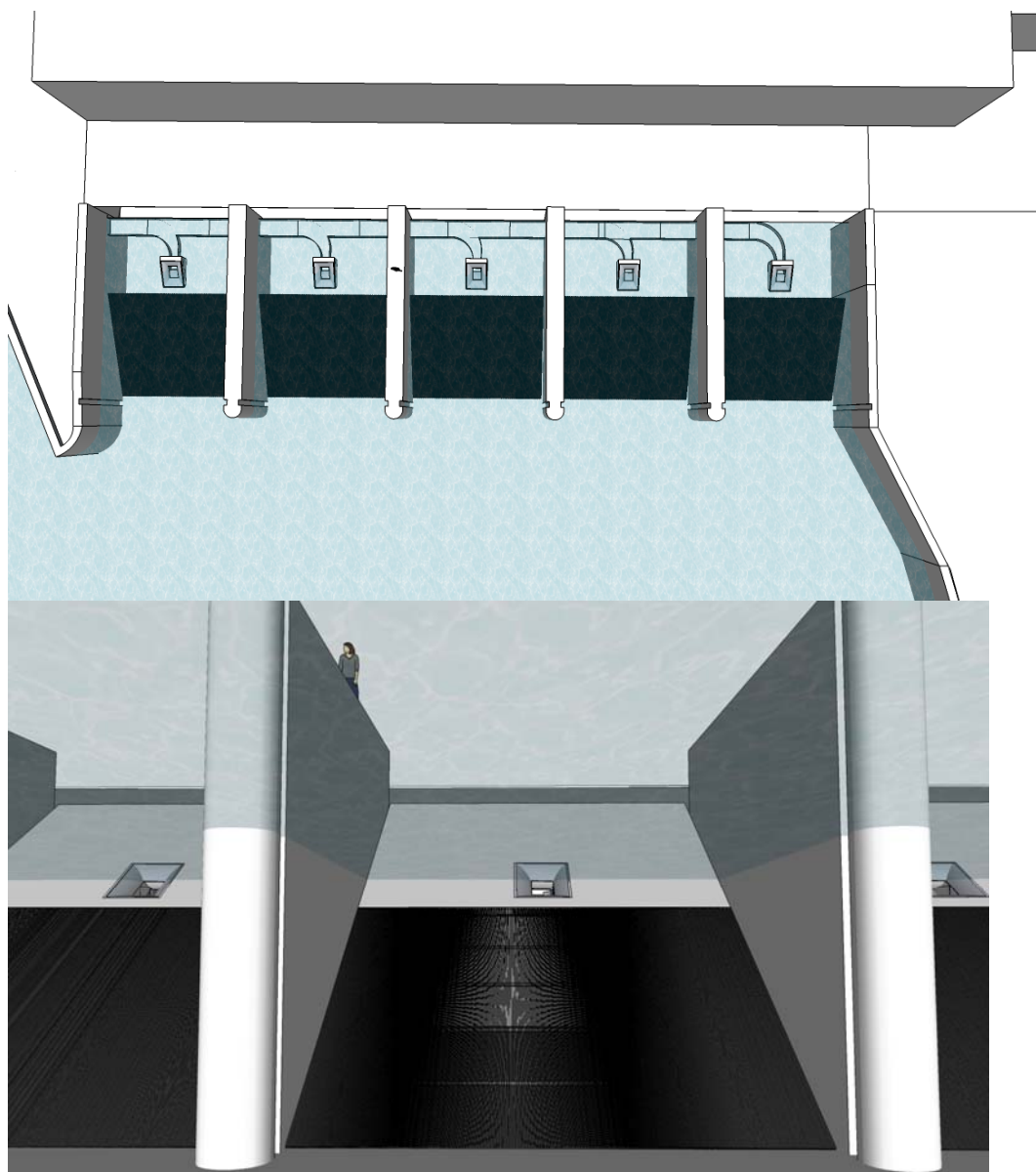
α-galler

Vid en lösning med låglutande α-galler förses varje turbinintag med ett separat galler, vilket då bör ha en minsta area om $56,7 \text{ m}^2$ för att uppnå en maximal normalhastighet om $0,6 \text{ m/s}$. För att åstadkomma denna galleryta för intagsbredden $8,0 \text{ m}$ blir gallerlängden $7,1 \text{ m}$ (Fig. 26-28). Flyktöppningar och förbipassage placeras ytligt och beräknas uppta cirka $0,7 \text{ m}$ djup, vilket innebär att den övre delen av konstruktion utgör en ogenomtränglig barriär. Applicerat på vattendjupet $4,5 \text{ m}$, motsvarar detta en lutning på $\alpha \approx 32^\circ$, vilket således uppfyller såväl kraven på låg lutning och stor galleryta. Föreslagen spaltvidd är 18 mm , i enlighet med tidigare implementerade och utvärderade låglutande galler för nedströmsvandrande blankål (Calles *et al.*, 2013b; Calles *et al.*, 2013c). Ska åtgärden även fungera för andra arter och livsstadier än blankål, kan en minskad spaltvidd vara nödvändig. För att montage av galler och uppsamlingsränna behöver störmurarna på ömse sidor om intaget förlängas ut i dammen, vars omfattning beror av en rad olika faktorer som t.ex. placering av förbipassage, drift och rensning etc.



Figur 27. Principskiss över förslag till α -galler vid Fiskeby kraftverk: vy nedströms.

Eftersom varje intag är smalare än 10 m, vilket angetts som det största rekommenderade avståndet till närmsta flyktöppning, förslår vi en flyktöppning per galler. Flyktöppningen anläggs ytligt i mitten av varje galler och bör ha de minsta dimensionerna 0,5 x 0,4 m (bredd x djup) (Travade & Larinier, 1992). En öppning med dessa dimensioner motsvarar ett flöde om cirka 0,3 m³/s och således totalt 1,5 m³/s för de fem flyktöppningarna tillsammans, vilket utgör <1 % av kraftverkets slukförmåga. Dessa flyktöppningar sammanbinds av en uppsamlingsränna vars lägsta nivå bör ligga åtminstone 0,3 m under respektive flyktöppnings lägsta nivå, vilket innebär att de övre 0,7 m av vattenpelaren inte är genomsläpplig. Dessutom måste rännans bredd vara tillräcklig för att de fem flyktöppningarna ska vara flödesbestämmande och inte rännans dimensioner. Flyktöppningarnas sidor och botten skall vara droppformade för att undvika att turbulens och en alltför hastig acceleration av vattnet skapas.



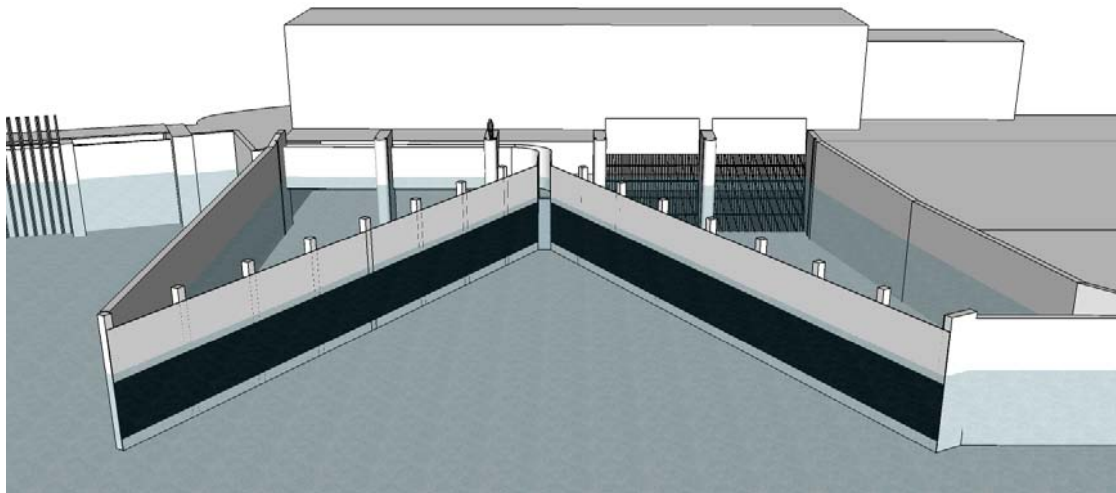
Figur 28. Principskiss över förslag till α -galler vid Fiskeby kraftverk: vy från ovan i frånvaro av grindförlängare (mitten) samt vy av ett galler från botten (nederst).

Dubbelt β -galler

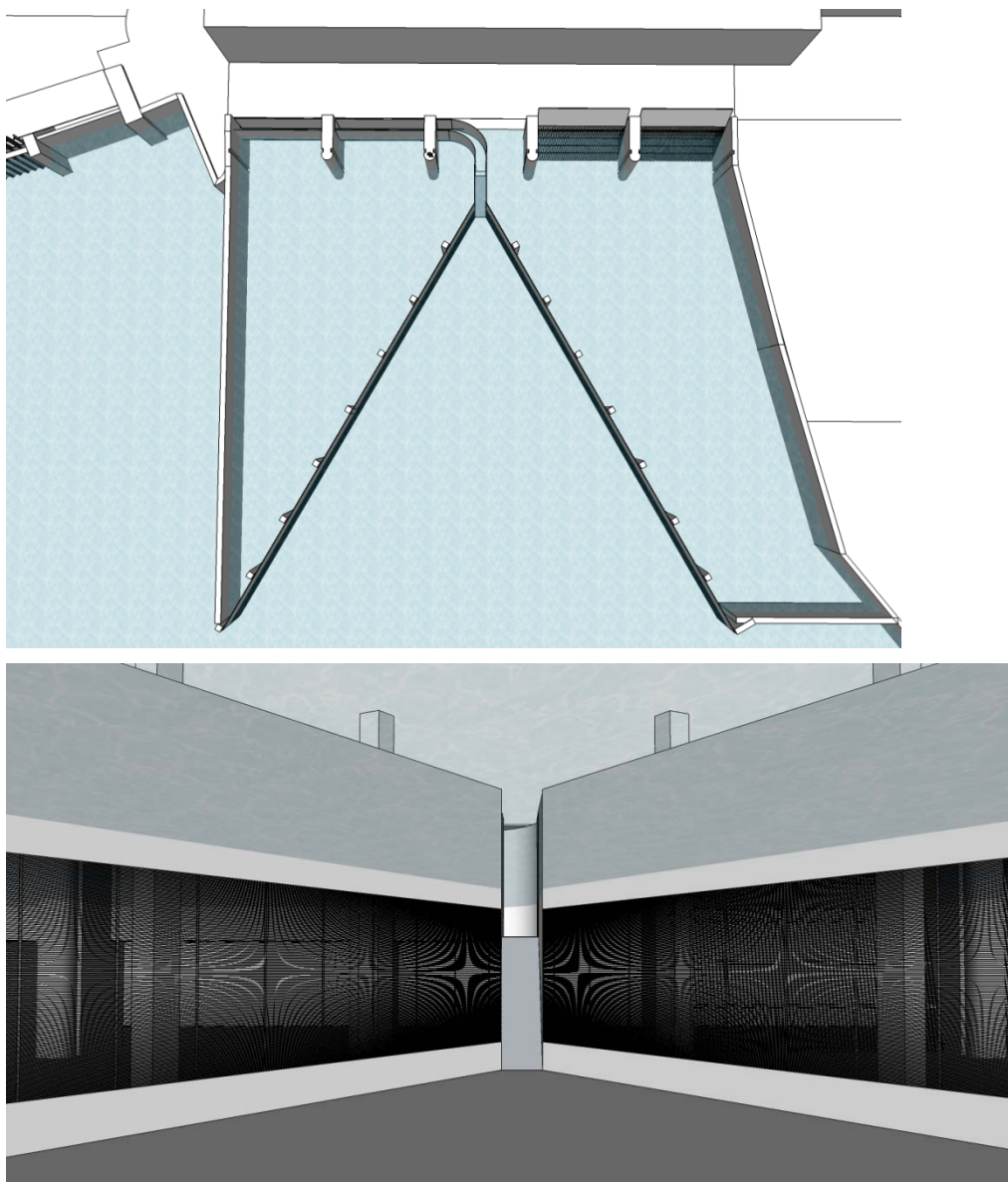
Vid en lösning med två låglutande β -galler förses hela turbinintaget med två galler, vilka då bör ha en minsta area om $141,7 \text{ m}^2$ styck för att uppnå en maximal normalhastighet om $0,6 \text{ m/s}$. Tas intagets dimensioner i beaktande, är en lämplig gallerhöjd $3,3 \text{ m}$, vilket ger gallerlängden $2 \times 43 \text{ m}$ (Fig. 26, 29 & 30). En stor flyktöppning placeras ytligt mellan de två gallren. Applicerat på det 44 m breda intaget, motsvarar detta en lutning på $\alpha \approx 30^\circ$. I ett sådant utförande uppfylls såväl kraven på låg lutning och stor galleryta. Föreslagen spaltvidd är 18 mm , i enlighet med tidigare implementerade och utvärderade

låg lutande galler för nedströmsvandrande blankål (Calles *et al.*, 2013b; Calles *et al.*, 2013c). Ska åtgärden även fungera för andra arter och livsstadier än blankål, kan en minskad spaltvidd vara nödvändig. Gallerelementen kan antingen orienteras vertikalt eller horisontellt, men det är fortfarande oklart vilka för- respektive nackdelar som är förknippade med de två varianterna.

Eftersom varje galler är längre än 10 m, vilket angetts som det största rekommenderade avståndet till närmsta flyktöppning, borde man anlägga flera flyktöppningar i gallret. Vi rekommenderar ändå att man prioriterar en väl tilltagen flyktöppning i slutet av de två gallren, eftersom de flesta ålarna sannolikt kommer vandra till den punkten. En flyktöppning med dimensionerna 1 x 1 m anläggs ytligt i mitten av den nya intagskanalen och föregås av en cirka 6 m lång svagt lågt lutande ramp. En öppning med dessa dimensioner motsvarar ett flöde om cirka 2,0 m³/s, vilket utgör 1,1 % av kraftverkets slukförmåga. Lämpligen förses flyktöppningen med en eller två hydrauliska luckor som möjliggör kontroll av flödet i flyktöppningen utan att hydrauliken störs. Flyktöppningen övergår därefter i en ränna/tub, vilket innebär att turbinintag 1-3 är delvis ytligt blockerade av rännan. Rännan passerar kraftverkets betongstrukturer på lämplig plats och mynnar i via en fångstation (Fig. 20) i turbinutloppet.



Figur 29. Principskiss över förslag till dubbelt β -galler vid Fiskeby kraftverk vy nedströms.



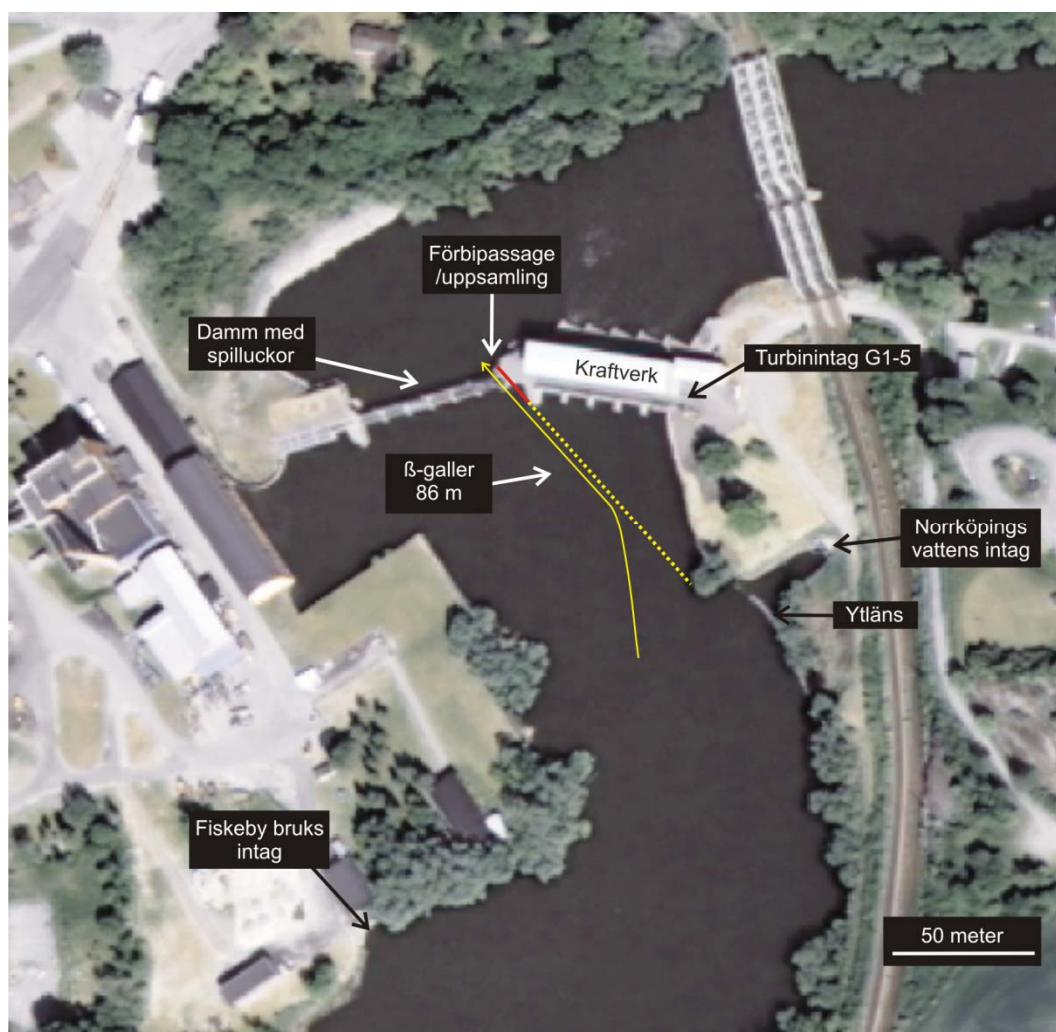
Figur 30. Principskiss över förslag till dubbelt β -galler vid Fiskeby kraftverk: vy från ovan (överst) och vy av galler och flyktöppning från botten (nederst).

Enkelt β -galler

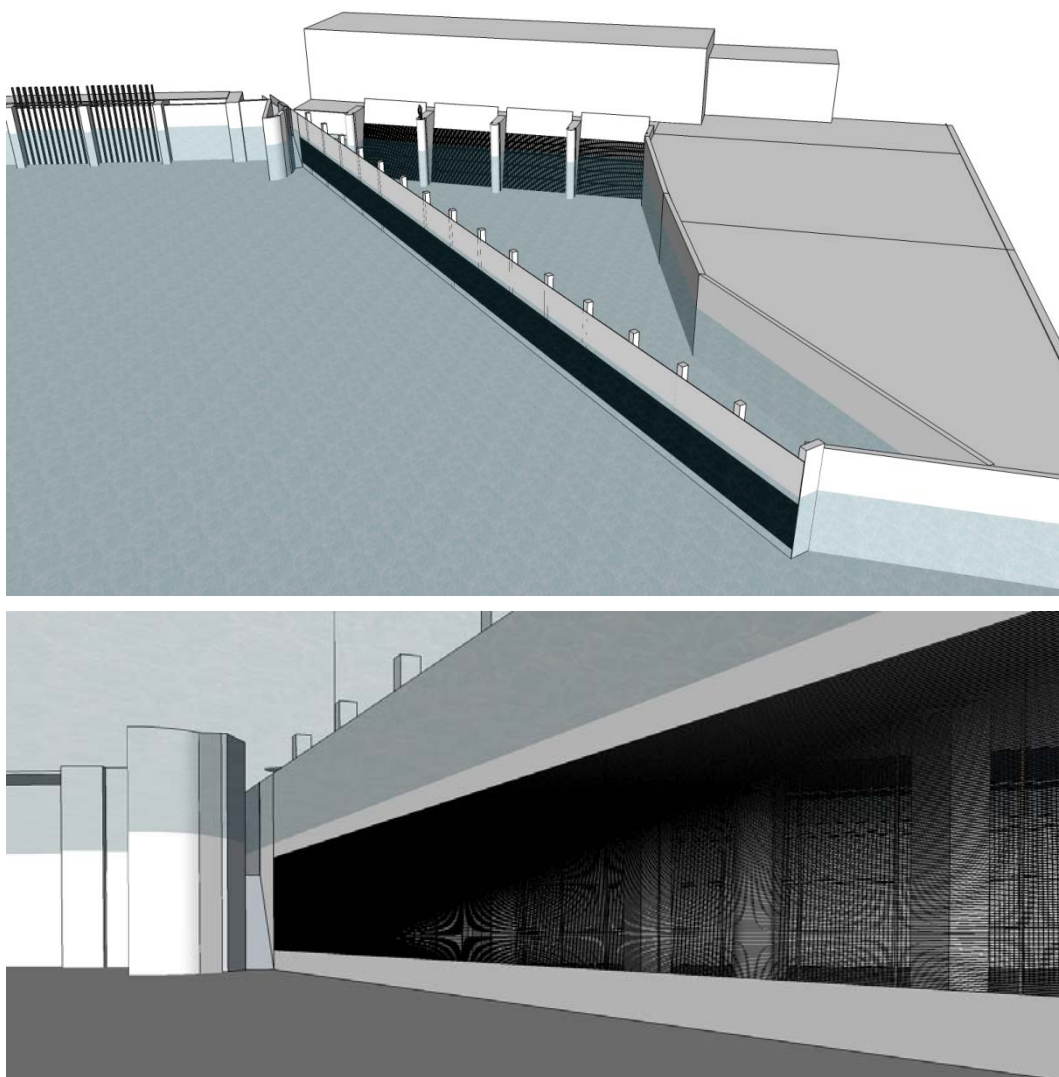
Vid en lösning med ett låglutande β -galler täcks hela turbinintaget med ett enda långt galler, vilket då bör ha en minsta area om 283 m^2 för att uppnå en maximal normalhastighet om $0,6 \text{ m/s}$. Tas intagets dimensioner i beaktande, är en lämplig gallerhöjd $3,3 \text{ m}$, vilket ger gallerlängden 86 m (Fig. 31 & 32). En stor flyktöppning placeras ytligt i gallrets slut, dvs väster om intaget närmast turbin 1. Applicerat på det 44 m breda intaget, motsvarar detta en lutning på $\alpha \approx 30^\circ$, vilket således uppfyller såväl kraven på låg lutning och stor galleryta. Föreslagen spaltvidd är 18 mm , i enlighet med tidigare implementerade och utvärderade låglutande galler för nedströmsvandrande

blankål (Calles *et al.*, 2013b; Calles *et al.*, 2013c). Ska åtgärden även fungera för andra arter och livsstadier än blankål, kan en minskad spaltvidd vara nödvändig. Gallerelementen kan antingen orienteras vertikalt eller horisontellt, men det är fortfarande oklart vilka för- respektive nackdelar som är förknippade med de två varianterna.

Eftersom varje galler är längre än 10 m, vilket angetts som det största rekommenderade avståndet till närmsta flyktöppning, borde man anlägga flera flyktöppningar i gallret. Vi rekommenderar ändå att man prioriterar en väl tilltagen flyktöppning i slutet av gallret, eftersom de flesta ålarna sannolikt kommer vandra till den punkten. Gallrets utformning i övrigt följer beskrivning för dubbel- β -gallret ovan.



Figur 31. Fiskeby kraftverk med omfattning och lokalisering för två olika åtgärdsförslag för "β-galler". Ortofoto från Lantmäteriet.



Figur 32. Principskiss över förslag till β -galler vid Fiskeby kraftverk: vy nedströms (överst) och vy av galler och flyktöppning från botten (nederst).

6 Diskussion och rekommendationer

Krafttag ål syftar till att identifiera behovet av och implementera åtgärder där de gör störst nytta för ålen. För att det ska vara möjligt måste man veta hur mycket ål som produceras och var och dessutom vilka åtgärder som är lämpliga och funktionella under olika förutsättningar. Åtgärder för förbättrad nedströmspassage har tidigare varit ovanliga, men ökar i antal och därmed förbättras även kunskapsläget.

Åtgärdsexempel från litteraturen visar att konventionella galler i kombination med spilluckor kan fungera som en effektiv åtgärd endast i undantagsfall. För god funktion krävs i de flesta fall ett omfattande spill från ett strategiskt beläget utskov, dvs. i direkt anslutning till gallrets närhet (DWA, 2005). De mest framgångsrika exemplen handlar dock om åtgärder för ytorienterad laxfisk (Anglea et al., 2002; Arnekleiv et al., 2007; Hanson, 1999; Ogden et al., 2008). Om det konventionella gallret har en spaltvidd som hindrar fisken från att passera måste söktiden efter flyktöppningen vara ytterst begränsad, åtminstone för simsvaga arter och livsstadier, för att inte resultatet ska bli att fisken kläms fast på gallret och dödas. Är spaltvidden sådan att fisken kan passera, måste den beteendeinducerade avledningseffektiviteten vara tillräckligt stor för att fisken ska tveka att passera och börja leta efter en alternativ passage. Att med ett grovgaller åstadkomma en sådan repellerande effekt på flera arter och livsstadier, bedöms inte som sannolik.

Åtgärdsexempel från litteraturen visar att fiskanpassade galler med flyktöppningar och förbipassage eller uppsamling, är de mest lovande lösningarna för att möjliggöra en skadefri passage för fisk vid vattenkraftverk. Denna teknik bedöms ha bäst förutsättningar för att åstadkomma en repellerande effekt på de flesta arter och livsstadier. Till följd av att ålens beteende avviker från de flesta andra vandrande fiskarters, i.e. de är bottenorienterade och söker ofta kontakt med avledare (DWA, 2005), är det speciellt viktigt med avledare som täcker hela vattenkolumnen och utgör en fysisk barriär. Det finns få publicerade exempel på fiskanpassade galler med passage där både dess design och en vetenskapligt robust utvärdering presenteras. En särskild brist föreligger för stora kraftverk (slukförmåga >100 m³/s), där det enda av oss kända exemplet för blankål inte presenterats i detalj för att resultaten inte är offentliga (Anonymous, 2010). Därför är det av stor vikt att sådana lösningar som uppförs utvärderas grundligt och att resultaten publiceras på ett sätt som gör resultaten tillgängliga, dvs. både i rapportform på svenska och i engelskspråkiga vetenskapliga tidskrifter.

Åtgärder för förbättrad nedströmspassage är ovanliga för fisk i största allmänhet och för ål och stora kraftverk i synnerhet. I Motala ström är dock kraftverken inte större än att vi bedömer att beprövad teknik (Calles et al., 2013a; Calles et al., 2013b; Calles et al., 2013c; DWA, 2005) är applicerbar på kraftverken i Älvås och Fiskeby. De olika typerna av låglutande galler är förknippade med olika för- och nackdelar och därför kan man först vid en fördjupad projektering besluta vilket åtgärdsalternativ som är att föredra vid ett specifikt kraftverk. I denna rapport presenteras principskisser och uppförandet av åtgärderna måste föregås av framtagandet av tekniska beskrivningar, kostnads- och riskanalys samt projekteringar av åtgärder. För att uppnå bästa möjliga funktion på lång sikt och samtidigt maximera antalet

blankålar som når havet på kort sikt, bedömer vi att det är lämpligast att i första hand anlägga uppsamlingsstationer vid kraftverken i Älvås och Fiskeby. Detta beror i första hand på att dessa kraftverk är belägna direkt nedströms de förväntat högproduktiva sjöarna Roxen och Glan. Det pågår ett parallellt projekt till detta för att utreda möjligheterna till förbättrad upp- och nedströmspassage vid samtliga kraftverk i Motala ströms huvudfåra, vars slutsatser kan komma att påverka den arbetsgång vi föreslår. Med andra ord, byggs uppströmspassager vid samtliga kraftverk, kommer det även vara nödvändigt att anlägga nedströmspassager vid desamma.

I Göta älv däremot, bedöms kraftverkens storlek i kombination med dokumenterade risker för översvämning, ras och skred att vara av en sådan karaktär att kompletterande undersökningar är nödvändiga för att kunna avgöra åtgärdsförslagets genomförbarhet. Tekniken med låglutande galler har testats på stora kraftverk, men de flesta har fokuserat på laxfisk och endast något enstaka med slukförmåga på cirka 200 m³/s har utvärderats för ål (Anonymous, 2010; GENIVAR, 2009). Kraftverken i Göta älv är flera gånger större och ovan nämnda risker i kombination med stora vattendjup och älvens bredd gör åtgärdsarbetet svårt. Vid Lilla Edet är dock vattendjupet inte större än att låglutande β -galler borde vara möjliga att uppföra och driftsätta, men eftersom referensobjekt saknas kommer ett sådant projekt vara förknippat med osäkerheter. Vid Vargön är vattendjupet större och vi känner inte till något fall där man använt sig av så långa 11 m djupa galler. Utredningar kring möjligheterna att upprätta låglutande α - och β -galler vid Untra kraftverk i Dalälven, redovisar att sådana konstruktioner är möjliga att uppföra och att den största osäkerheten framför allt rör renhållning av dem (Ericson & Edman, 2013). Principiellt bör förhållandena för en sådan lösning vara jämförbara med lovande lösningar som utvärderats vid kraftverk med 200-300 m³/s slukförmåga i Nordamerika (Harza & RMC, 1992, 1993; Karchesky et al., 2008; Normandeau, 1996). Skillnader föreligger dock vad gäller isförhållanden och omfattning och typ av drivgods, något som torde utgöra ett intressant tema för kommande studier i Sverige. Sannolikt kommer dock kostnaderna att bli avsevärda och huruvida detta kan vara samhällsekonomiskt försvarbart återstår att utreda. Det finns dock många vandrande fiskarter som skulle dra nytta av en nedströmsfrämjande åtgärd vid Lilla Edet och Vargön utgör nyckelpunkten för utvandrande blankål i Sveriges högst prioriterade reglerade ålvattendrag (Calles & Christiansson, 2012). Sammantaget innebär det att det är motiverat att inleda mer detaljerade utredningar av åtgärdsalternativen vid kraftverken i Göta älv.

Isbildning och drivgods är något som ofta beskrivs som problem vid anläggandet av fingaller med en spaltvidd om ≤ 20 mm. I de fall man anser att en teknik för att avleda fisk är överföringsbar mellan platser, påpekas ofta att man bör ta speciell hänsyn till de lokala förhållandena vad gäller mängd, tidpunkt och typ av drivgods som når kraftverket i fråga (DWA, 2005). En viktig punkt vad gäller drivgods är att i möjligaste mån förhindra att det når fram till avledaren. Lämpligen åstadkommes detta genom att ett grovgaller placeras i intagskanalens början, vilken ska stoppa grovt drivgods från att passera utan att ha en stoppande effekt på fisken (NMFS, 2011). I de fall detta inte är möjligt, bör en ytläns placeras uppströms avledaren för att leda bort drivgodset till en separat spilllucka. Vid vissa avledare, t.ex. de β -galler som anlagts i Tyskland, har förbipassagen försetts med en stor hydraulisk

lucka och en kran för att på så sätt kunna spola ut det drivgods som ansamlas samt att vid behov lyfta bort föremål som är för stora för att spolas ut (Ebel, 2013). Det handlar således även här om att anpassa lösningarna till de specifika förhållanden som råder på varje plats.

Även om strukturer anläggs för att minska mängden drivgods som når avledaren, kommer det med största sannolikhet att ändå att passera en sådan mängd att rensning av avledaren krävs. Endast i undantagsfall kan det förväntas ske manuellt och i de flesta fall kommer en eller flera automatiska rensmaskiner att krävas. Det finns ett stort antal av olika typer av rensmaskiner med olika egenskaper som passar olika situationer och typer av galler, där själva krattan eller gripklon ofta monteras på en släde för att kunna förflyttas längs gallret. I vissa fall dimensioneras krattan så att den täcker hela gallret, men det är främst aktuellt vid små kraftverk med stora mängder drivgods. Ytterligare en typ är den s.k. "Pater-noster-rensverket" som utgörs av en kratta som drivs av kedjor monterade på gallrets sidor, men där måste särskild hänsyn tas till att inte några strukturer placeras i närheten av flyktöppningarna så att hydrauliken påverkas negativt.

Trap and transport (T&T) nämns ofta som en lämplig strategi för att öka överlevnaden för nedströmsvandrande fisk, i synnerhet ål, i vattendrag med ett stort antal kraftverk där de huvudsakliga områdena för reproduktion och tillväxt är belägna uppströms dessa vandringshinder (Calles & Christiansson, 2012). En stor fördel med denna strategi är att en åtgärd vid ett enda kraftverk fyller en funktion för alla nedströms belägna kraftverk, vilket är värdefullt både för att åtgärdsarbetet kan genomföras snabbare än om samtliga kraftverk ska åtgärdas och för att åtgärdskostnaden blir betydligt lägre. En sådan lösning är dock även förknippad med potentiella problem, som att det blir nödvändigt att skilja vatten från skräp och fisk utan att orsaka skada. Ytterligare ett problem är att fisken hanteras, ofta i flera steg, vilket ofta är förknippat med risk för skada och stress. Således bör T&T endast användas som en tillfällig lösning i avvaktan på att passageåtgärder implementeras, utom i de fall där passagelösningar inte bedöms som praktiskt genomförbara och/eller kostnadsmässigt rimliga.

6.1 Slutsatser och rekommendationer

Låglutande galler med förbipassager och uppsamlingsstationer är den teknik som är mest lovande för att öka överlevnaden för nedströmsvandrande blankål i reglerade älvar. Det finns dock fortfarande en kunskapsbrist och vi förordar därför projekt som dels studerar fullskaliga åtgärder för förbättrad nedströmspassage vid kraftverk, i synnerhet stora kraftverk. Ett sådant projekt kommer behöva drivas i flera steg, med detaljerade studier av risker, kostnader, driftlösningar, skräphantering och kanske även tester med olika former av teoretiska och fysiska modeller.

Det finns även ett stort behov av kunskap om ålens beteende vid olika gallerutformningar, lutningar, spaltvidder och flyktöppningar, där vi rekommenderar att sådana experimentella undersökningar genomförs både i fält (Calles et al., 2013b) och på lab (Russon et al., 2010).

I Motala ström bedömer vi att det bör vara tekniskt genomförbart att gå vidare med en teknisk projektering och värdering av åtgärdsförslagen för

Älvås och Fiskeby kraftverk, eftersom de är av sådan storlek och karaktär att befintlig kunskap och erfarenhet av sådana åtgärder bör vara tillräcklig. Det är dock viktigt att vidare utreda aspekter som dammsäkerhet samt möjliga problem med is och drivgods.

I Göta älv rekommenderar vi att man vidare utreder möjligheter och begränsningar för en åluppsamlingsanläggning vid Vargöns kraftverk, lämpligen en β -avledare. Viktiga aspekter att beakta är t.ex. dammsäkerhet, skredrisk, fartygstrafik, isproblem och driftande makrofyter. I ett första steg kan man även utvärdera effektiviteten för en uppsamlingsanläggning i ett befintligt utskov utan att uppföra en avledare, men sannolikt kommer en sådan åtgärd att få låg effektivitet. Åtgärdas Vargöns kraftverk kommer motsvarande åtgärd vid Olidan/Hojum vid Trollhättefallen inte att vara nödvändig, i synnerhet då fallen historiskt utgjort ett naturligt vandringshinder för andra arter än ål. Det kommer då inte heller att vara någon större mängd nedströmsvandrande blankål som når Lilla Edet, men här passerar flera andra diadroma arter uppströms som även är i behov av en skadefri nedströmspassage.

7 Referenser

Anglea SM, Simmons MA, Simmons CS, Kudera EA, Skalski JR. 2002. Hydroacoustic evaluation of the removable spillway weir at Lower Granite Dam. 26 sid.

Anonymous. 2008. Swedish eel management plan (Jo 2008/3901). 51 sid.

Anonymous. 2010. Best management practises - Guide for American eel and waterpower in Ontario. *Ontario Waterpower Association*, 120 sid.

Anonymous. 2012. Ålyngeluppvandring, Kvalitetskontroll av ålsamlare. *Huskvarna Ekologi*, 82 sid.

Arnekleiv JV, Kraabol M, Museth J. 2007. Efforts to aid downstream migrating brown trout (*Salmo trutta* L.) kelts and smolts passing a hydroelectric dam and a spillway. *HYDROBIOLOGIA*. **582**: 5-15 sid.

Ask L, Berntsson K-E, Öhlund S-O. 1971. Undersökningar om gulålens ålder, kön och tillväxt [Studies on age, sex and growth in yellow eels]. *Meddelande från Havsfiskelaboratoriet*, 108 sid.

Beamish FWH. 1978. Swimming capacity. In *Fish physiology*, W. S. H. D. J. Randall (eds). Academic press: New York; 101-187 sid.

Boubée JAT, Williams EK. 2006. Downstream passage of silver eels at a small hydroelectric facility. *FISHERIES MANAGEMENT AND ECOLOGY*. **13**: 165-176 sid.

Brandesten C-O. 2010. *Göta River -Operation and facilites to balance present and future needs*. IVA seminar: Exploring the frontiers of the possible - Adapting old water infrastructure systems to manage future problems, Gothenburg 16 sid.

Brown LS, Haro A, Castro-Santos T. 2009. Three-dimensional movements of silver-phase American eels in the forebay of a small hydroelectric facility. In *Eels at the edge: science, status and conservation concerns*, C. J. M. a. C. D.K. (eds). American Fisheries Society Symposium, 58: Bethesda; 277-291 sid.

Calles O, Bergdahl D. 2009. Ålens nedströmspassage av vattenkraftverk - Före och efter åtgärd. *Karlstad University Studies*, **2009:19**: 37 sid.

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*, 57 sid.

Calles O, Christiansson J, Andersson J, Sahlberg T, Stein F, Olsson B-M, Alenäs I, Tielman J. 2012a. ÅL I ÄTRAN - En fallstudie för svensk ålförvaltning. *Karlstad University Studies*, 51 sid.

Calles O, Degerman E, Wickström H, Christiansson J, Gustafsson S, Näslund I. 2013a. Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar - Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. *Havs- och vattenmyndighetens rapport*, 114 sid.

Calles O, Gustafsson S, Österling M. 2012b. Naturlika fiskvägar i dag och i morgon. *Karlstad University Studies*, **2012:20**: 45 sid.

Calles O, Gustafsson S, Österling M, Levein U, Löfqvist M, Comoglio C, Vezza P. 2011. Årsrapport 2011 - Nedströmspassage för ål i Alsterälven. *Forskningsrapport, Naturresurs rinnande vatten*, 12 sid.

Calles O, Karlsson S, Hebrand M, Comoglio C. 2012c. Evaluating technical improvements for downstream migrating diadromous fish at a hydroelectric plant. *Ecological Engineering*. **48**: 30-37 sid.

Calles O, Karlsson S, Tielman J. 2012d. Improving downstream passage conditions for fish at hydroelectric facilities in Sweden. In *From sea to source; International guidance for restoration of fish migration highways.*, P. Gough (eds). Hunze and Aa's Regional Water Authority: Veendam (The Netherlands); 184-185 sid.

Calles O, Karlsson S, Vezza P, Comoglio C, Greenberg LA. In prep. The design and feasibility of a downstream fish passage facility in a lowland river. sid.

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 sid.

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 sid.

Calles O, Rivinoja P, Greenberg L. 2013c. A historical perspective on downstream passage at hydroelectric plants in Swedish rivers. In

Ecohydraulics: an integrated approach, A. H. Ian Maddock, Paul Kemp and Paul Wood (eds). John Wiley & Sons Ltd: West Sussex, UK; 309–322 sid.

Carlson M. 2014. Tekniska synpunkter rapport - lösningar för ål. 1 sid.

Clevestam P, Wickström H. 2008. Rädda ålen och ålfisket! – Ett nationellt bidrag till en europeisk förvaltningsplan. Vetenskaplig slutrapport. (in Swedish) *Fonden för fiskets utveckling*, sid.

Cramer DP. 1997. *Evaluation of a Louver Guidance System and Eicher Screen for Fish Protection at the T.W. Sullivan Plant in Oregon.* . In: Fish Passage Workshop, Milwaukee, WI, May 6-8, 1997. Sponsored by Alden Research Laboratory, Conte Anadromous Fish Research Laboratory, Electric Power Research Institute, and Wisconsin Electric Power Company., 14 sid.

Degerman E, Ekman T. 2004. *De stora blå.* Ljungföretagen tryckeri AB: Örebro.

Dekker W. 2012. Assessment of the eel stock in Sweden, spring 2012. *Aqua reports*, 77 sid.

Dekker W, Casselman JM, Cairns DK, Tsukamoto K, Jellyman DJ, Lickers H. 2003. Worldwide decline of eel resources necessitates action: Quebec declaration of concern. *Fisheries*. **28**: 28-30 sid.

DTU Aqua. 2011. En opdatert og udbygget vurdering af afgitringskravet ved dambrug i ferske vandsystemer med focus på udvalgte rødliste- og habitatarter af fisk, herunder lampretter. 30 sid.

Duchenev P, Murray RF, Waldrup JE, Tomichak CA. 2006. Fish passage at Hadley Falls: past, present, and future. *Kleinschmidt - HydroVision Proceedings*, 15 sid.

DWA. 2005. Fish Protection Technologies and Downstream Fishways. Dimensioning, Design, Effectiveness Inspection. *DWA topics*, 226 sid.

Ebel G. 2013. *Fish Protection and Downstream Passage at Hydro Power Stations Handbook of Bar Rack and Bypass Systems.* Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie:

Ericson H, Edman D. 2013. Untra kraftverk - Utförande av fingrindar framför aggregat G4, G5 och G6. *Miljööverdomstolen 1301. Sweco Infrastructure AB.* , sid.

Fjeldstad HP. 2012. Atlantic salmon migration past barriers. Norwegian University for Science and Technology. 166 sid.

GENIVAR. 2009. Centrale hydroélectrique sur la rivière Magpie. Passe migratoire, dévalaison printanière et grille fine – Suivi 2008. *Rapport de GENIVAR Société en commandite à Hydroméga Services inc. / Société en commandite Magpie.* , 30 p. et annexes sid.

Gosset C, Travade F, Durif C, Rives J, Elie P. 2005. Tests of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*. **21**: 1095-1105 sid.

Gustafsson S. 2010. Migration losses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at a hydropower station area in River Åbyälven, Northern Sweden. Passage fates at a reservoir, a power house and a bypass structure. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). 17 sid.

Hanson BN. 1999. Effectiveness of two surface bypass facilities on the Connecticut River to pass emigrating Atlantic salmon smolts. In *Innovations in fish passage technology*, M. Odeh (eds). American Fisheries Society: Bethesda, Maryland, USA; 43-59 sid.

Haro A, Castro-Santos T, Boubée J. 2000a. Behavior and passage of silver-phase American eels, *Anguilla rostrata* (LeSueur), at a small hydroelectric facility. *Dana*. **12**: 33-42 sid.

Haro A, Richkus W, Whalen K, Hoar A, Busch WD, Lary S, Brush T, Dixon D. 2000b. Population decline of the American eel: Implications for research and management. *Fisheries*. **25**: 7-16 sid.

Harza, RMC. 1992. Response of Atlantic Salmon Smolts to Louvers in the Holyoke Canal, Spring 1992. *Holyoke canal - Downstream fish passage studies*, 129 sid.

Harza, RMC. 1993. Response of Juvenile Clupeids to Louvers in the Holyoke Canal, Fall 1992. *Holyoke canal - Downstream fish passage studies*, 165 sid.

Jacobson H. 2012a. Befintliga åtgärder för vandringsfisk - Utvärdering av åtgärder vid Vessige Kraftverk. *Vebro Industri*, 14 sid.

Jacobson H. 2012b. Ålavledaren vid Vessige Kraftverk. 9 sid.

Karchesky CM, Hanks ME, McDonald RD. 2008. Annual Report: T.W. Sullivan Powerhouse Evaluation of Bypass System Fish Guidance Efficiency (FGE), 2008. *Prepared for Portland General Electric by Normandeau associates Inc.*, sid.

Karlsson S, Christiansson J, Calles O. 2014. Granö fiskavledare. *Forskningsrapport, Naturresurs rinnande vatten*, 55 sid.

Kriström B, Calles O, Greenberg LA, Leonardsson K, Paulrud A, Ranneby B. 2010. Samhällsekonomisk analys av alternativa åtgärder i flödespåverkade vattendrag: Emån och Ljusnan. Vetenskaplig slutrapport. (Cost-Benefit Analysis of River Regulation: The case of Emån and Ljusnan. Scientific summary report). *Elforskrapport*, 89 sid.

Kroglund F, Gjelland KO, Güttrup J, Haraldstad G, Hegeland PV, Thorstad EB. 2013. Övervakning av ål i Storelva og evaluering av tiltak for nedvandring forbi Fosstveit kraftverk. Resultater fra undersøkelser i 2012. *NIVA rapport*, sid.

Lagenfelt I. 2012. Blankålsvandring i Göta älv - Telemetristudie 2010-2011. *Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Vattenvårdsenheten*, 30 sid.

Lagenfelt I, Westerberg H. 2009. Ål i Göta älv, Säveån och Rolfsån - Telemetristudier på blankålsvandring. *Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Vattenvårdsenheten*, 26 sid.

Larinier M. 1998. Small-scale hydropower schemes and migratory fish passage. *Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau*. **53**: 46-51 sid.

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

Montén E. 1985. *Fish and turbines : fish injuries during passage through power station turbines*. Vattenfall, Statens vattenfallsverk: Stockholm.

NMFS. 2011. Anadromous salmonid passage facility design. *National Marine Fisheries Service Northwest Region*, 140 sid.

Nordquist O, Alm G. 1920. Undersökningar om ålens ålder, storlek och tillväxthastighet i Sverige [Studies on age, size and growth rate in the eel] In *Svenska Hydrografisk-biologiska Kommissionens Skrifter*: , (eds). 1-16 sid.

Normandeau. 1996. Efficiency of the Louver System to Facilitate Passage of Emigrating Atlantic Salmon Smolts at Vernon Hydroelectric Station, Spring, 1995. *New England Power Company*, sid.

Odeh M, Orvis C. 1998. Downstream fish passage design considerations and developments at hydroelectric projects in the North-east USA. In *Migration and fish bypasses.*, M. Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss (eds). Fishing News Books: Oxford; 267-280 sid.

Ogden DA, Hockersmith EE, Axel GA, Burke BJ, Frick KE, Absolon RF, Sandford BP. 2008. Passage Behavior and Survival of River-Run Subyearling Chinook Salmon at Ice Harbor Dam, 2007. 58 sid.

Pedersen MI, Jepsen N, Aarestrup K, Koed A, Pedersen S, Okland F. 2011. Loss of European silver eel passing a hydropower station. *Journal of Applied Ichthyology*. 1-5 sid.

Piccolo JJ, Norrgård JR, Greenberg LA, Schmitz M, Bergman E. 2012. Conservation of endemic landlocked salmonids in regulated rivers: a case-study from Lake Vänern, Sweden. *FISH AND FISHERIES*. **13**: 418-433 sid.

Russon I, Kemp P, Calles O. 2010. Response of downstream migrating adult European eels (*Anguilla anguilla*) to bar racks under experimental conditions. *ECOLOGY OF FRESHWATER FISH*. sid.

Schwevers U. 2004. *Anordnung, lichte Weite und Anströmung von Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen*. Tagungsband Symposium „Lebensraum Fluß - Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie, Wallgau. sid.

Stenqvist M, Cederborg D, Brydolf E, REV2013-02-04 --, Brydolf MSDCE. 2013. Rapport över utförda arbeten 2012, Göta älv (Sweco: Uppdragsnummer 1654927200). *Vattenfall Vattenkraft AB* sid.

Stira RJ, Robinson DA. 1997. *Effectiveness of a Louver Bypass System for Downstream Passage of Atlantic Salmon Smolts and Juvenile Clupeids in the Holyoke Canal, Connecticut River, Holyoke, Massachusetts*. In: Fish Passage Workshop, Milwaukee, WI, May 6-8, 1997. Sponsored by Alden Research Laboratory, Conte Anadromous Fish Research Laboratory, Electric Power Research Institute, and Wisconsin Electric Power Company., sid.

Therrien J, Bourgeois G. 2000. Fish Passage at Small Hydro Sites. *Genivar Consulting Group for CANMET Energy Technology Centre, IEA Technical Report*, 114 p sid.

Therrien J, Verreault G. 1998. Évaluation d'un dispositif de dévalaison et des populations d'anguilles en migration dans la rivière Rimouski. *Ministère de l'Environnement et de la Faune Direction régionale du Bas-Saint-Laurent et Groupe-conseil Génivar inc.*, 37 sid.

Travade F, Larinier M. 1992. La migration de dévalaison: problèmes et dispositifs. *BULLETIN FRANCAIS DE LA PECHE ET DE LA PISCICULTURE*. **326/327**: 165-176 sid.

Travade F, Larinier M, Subra S, Gomes P, De-Oliveira E. 2010a. Behaviour and passage of European silver eels (*Anguilla anguilla*) at a small hydropower plant during their downstream migration. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 19 sid.

Travade F, Larinier M, Subra S, Gomes P, De-Oliveira E. 2010b. 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 sid.

Turnpenny A, Struthers G, Hanson KP. 1998. *A UK guide to intake fishscreening regulations, policy and best practice*. Crown copyright: London, UK.

Verreault G, Therrien J. 2005. *Eel protection devices and operations at the Rimouski River Hydroelectric Powerplant: a Win/Win approach that works*. Technical workshop aimed at investigating methods for providing safe downstream passage for the American eel (*Anguilla rostrata*) past hydroelectric facilities on the St. Lawrence River, NAV CANADA Training Institute and Conference Centre, Cornwall, Ontario. 441-445 sid.

Wickström H. 1986. Sötvattenslaboriets ålundersökningar 1977-85. English summary: Studies on the European eel by the Institute of Freshwater Research 1977-85. 43 sid.

Wickström H. 2002. Monitoring of eel recruitment in Sweden. Volume 2A: Country reports, Northern part: 69-86. . In *Monitoring of glass eel recruitment*, W. Dekker (eds). Netherlands Institute of Fisheries Research: IJmuiden, The Netherlands; 256 sid.

Wickström H. 2014. Trap and transport av ål 2013 - "Fördjupad kvalitetskontroll". . *SLU aqua*, 12 sid.