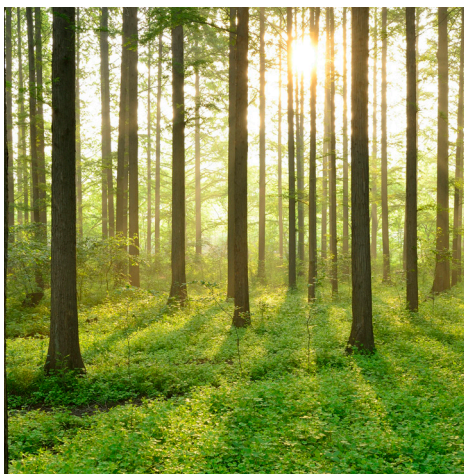


# ANPASSNING AV SMÅSKALIGT VATTENKRAFTVERK FÖR ÅLVANDRING

RAPPORT 2017:399



KRAFT  
TAG **ÅL**





# Anpassning av småskaligt vattenkraftverk för ålvandring

ANDERS ANDERSSON, KJELL LEONARDSSON, GUNNAR HELLSTRÖM & STAFFAN LUNDSTRÖM

ISBN 978-91-7673-399-8 | © ENERGIFORSK maj 2017

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



## Förord

**Med utgångspunkt från en befintlig simuleringsmodell av en intagskanal studerade forskarna hur vattenflödet skulle förändras om spillluckor placerades vid botten av kanalen. Detta skulle kunna vara bättre för nedströmsvandrande ålar. Numeriska strömningssimuleringar har använts i projektet.**

Projektutförare var Anders Andersson, Gunnar Hellström, Staffan Lundström, samtliga vid avdelningen för strömninglära och experimentell mekanik på Luleå tekniska universitet och Kjell Leonardsson, Institutionen för vilt, fisk och miljö på Sveriges Lantbruksuniversitet.

Projektet genomfördes inom ramen för programmet Krafttag ål. Programmet bedrivs i samverkan mellan Havs- och vattenmyndigheten, Vattenfall, Fortum, Uniper, Statkraft, Holmen Energi, Tekniska verken i Linköping, Umeå Energi, Skellefteå Kraft, Sollefteåforsens AB och Karlstads Energi. Energiforsk är sammanhållande för Krafttag ål.

Stockholm maj 2017

Sara Sandberg

Energiforsk

## Sammanfattning

**Numeriska strömningssimuleringar har använts för att utvärdera potentialen för ålvandring vid ett småskaligt vattenkraftverk. De generella strömningförhållandena i intagskanalen utvärderades och två problemområden för vandrande ål kunde identifieras som intagsgallret och spillluckorna.**

Med ett bottenmonterat, horisontellt intagsgaller är risken för att ål eller annan fisk kläms fast mot gallret stor. Tidigare studier har visat att galler med låg lutning kan leda fisk förbi turbinintag och minskar risken för fastklämning och därför tas här en design fram på ett fyrdelat intagsgaller där samtliga ytor lutar in mot mitten. Simuleringarna visar att de strömningshastigheter som fås vid intagsgallret för detta kraftverk understiger de gränsvärden på 0.9 m/s som återfinns i litteraturen för att ål ska fastna mot gallret och inte kunna ta sig loss.

Tidigare forskning visar att ål föredrar passager vid botten och därför simuleras tre olika kombinationer av bottennära spillluckor i slutet av intagskanalen. Skillnaden mellan att ha två mindre luckor jämförs med en större lucka i avseende på flödesfält och mängd spillflöde. För samtliga simulerade fall fås maxhastigheter strax under 10 m/s och stora hastighetsgradienter (upp mot 50 m/s per meter för en stor lucka och 85 m/s per meter för två små luckor) precis vid spillluckorna. För att minska dessa gradienter simuleras därför två av konfigurationerna av spillluckor med en alternativ konstruktion där lucköppningen görs större och sedan gradvis minskas ned till samma storlek som föregående öppning, en så kallad kontraktion.

Kontraktionerna medför att den maximala hastighetsgradienten som ålar skulle uppfatta minskar till ungefär hälften samt att den sprids ut över en längre sträcka, till en kostnad av ett ökat spillflöde (med ca 14 %) jämfört med simuleringarna utan kontraktion. Simuleringarna visar att strömningshastigheterna precis vid spillluckan blir relativt lika oavsett storlek och att en större lucka ger en mindre hastighetsgradient, trots ett högre spillflöde. För att kunna rekommendera vilken konfiguration av spillvägar som är mest lämplig krävs dock fler studier på hur ålar hittar fram till passager samt detaljerade studier på hur de reagerar på kraftiga ökning i strömningshastighet med lämpliga gränsvärden som inte bör överstigas.

## Summary

**Computational fluid dynamics simulations have been used to evaluate the potential for eel migration at a small scale hydropower plant. A suggestion for a new 'eel-friendly' intake rack was developed and investigated. The general flow in the intake chamber was evaluated and two possible problem areas were identified as the turbine intake and the spillways.**

For small scale hydropower plants with flush mounted, horizontal intake racks there is a large risk for impingement of fish on the intake rack. Earlier studies have shown that racks with low angles relative to the bottom are effective at minimizing this risk. Therefore a new design for intake rack is designed here to prevent eels from migrating through the turbine and at the same time keep them from impinging on the rack. The simulations show that the velocity at the rack rarely exceeds the velocity recommendation for impingement prevention and never exceeds the maximum velocity that impinged eels can escape from.

Earlier studies have shown that eels prefer spillways at the bottom of the channel and therefore several different configurations of spillways are simulated at the end of the intake channel. The difference of having two small spillways compared with one larger is evaluated in regards to flow field and spill flow. All simulated cases shows that the maximum velocity near the spillway gates is close to 10 m/s and that the maximum velocity gradient is 50 m/s per meter for one spillway and 85 m/s per meter for two small spillways. An alternative design of spillways with a contraction is simulated to reduce these gradients.

The contraction reduces the maximum velocity gradient that an eel would encounter with about 50% and spreads it out over a longer area, but increases the amount of spill flow (with ~14%). The simulations show that the different configurations of spillways result in very similar velocities at the outlets but that a larger spillway has lower velocity gradients compared with a smaller one.

## Innehåll

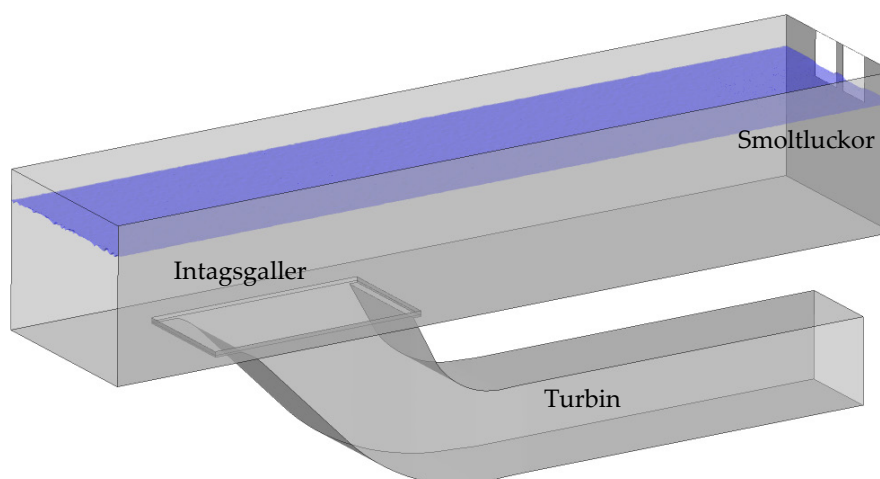
<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Modell</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Referenser</b>	<b>24</b>



# 1 Inledning

**Strömningsmekaniska simuleringar är ett kraftfullt verktyg för att undersöka olika lösningar för upp- och nedströmsvandring av fisk. När en modell är uppbyggd är det relativt enkelt att variera flöden, geometrier etc, vilket ofta är kostsamt eller svårt att testa i fält eller laboratorium. För att skapa bra förutsättningar för fiskvandring krävs dock god kunskap om vilken typ av strömningsförhållanden som är önskvärda både generellt och specifikt för t ex site och art av fisk. Det är därför viktigt med ett bra samarbete mellan biologer, hydrauliker och ingenjörer. I denna studie skapas en simuleringsmodell av ett småskaligt vattenkraftverk som anpassas för att passa ål med hjälp av den kunskap som finns idag om hur ålar vandrar.**

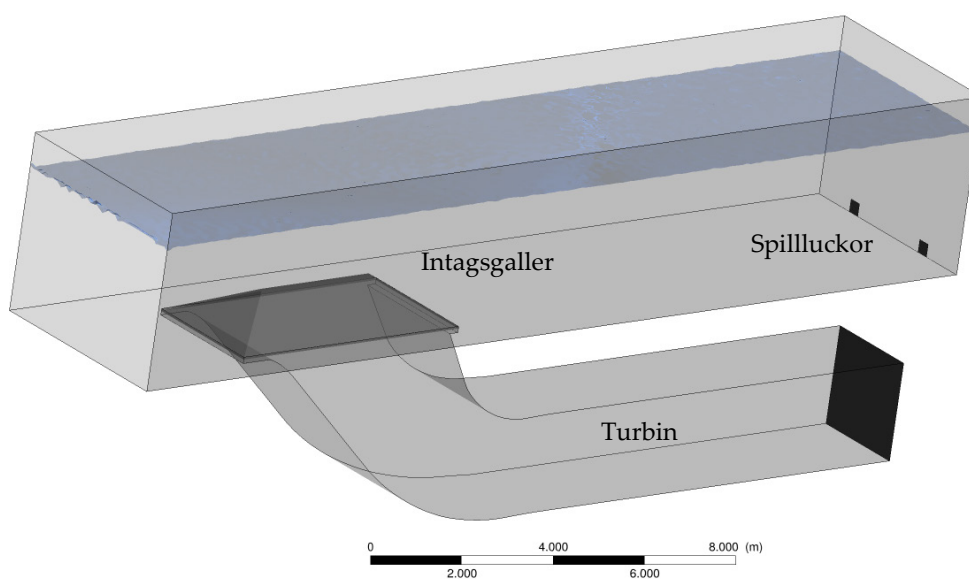
Här anpassas ett småskaligt vattenkraftverk för att bli bättre anpassat till älvandring med hjälp av denna typ av simuleringar. Bruksfors kraftstation valdes som testfall eftersom det redan fanns en befintlig simuleringsmodell av intagskanalen. Kraftverket är i dagsläget anpassat för nedströmsvandring av smolt vilka innebär vissa skillnader jämfört med vandrande ål. Smolten tenderar att följa tämligen passivt med strömmen nära vattenytan och idén är att smolten ska vandra över turbinintaget till de två ytnära spilluckorna vid slutet av intagskanalen, se Figur 1.



Figur 1. Modell av intagskanalen i Bruksfors kraftstation, inflöde från vänster

Ål delar inte smoltens passiva vandring nära ytan och kan ofta befinna sig nära botten vid nedströmsvandring (Haro et al 2000, Gosset et al 2005). Två problem med den nuvarande konstruktionen identifieras, det första att ålarna kanske inte tar sig förbi intagsgallret utan kläms fast, det andra att de ålar som tar sig förbi det första hindret inte väljer att gå via de ytnära spilluckorna eftersom ålar tenderar att föredra passager vid botten (Gosset et al 2005).

En bottenmonterad fysisk avledare för att leda ål förbi turbinintaget diskuterades men en sådan lösning som inte markant stör inflödet till turbinen eller riskerar att ål simmar över avledaren och tar sig ned till gallret var svår att visualisera. Istället för att bygga en fysisk avledare designas istället ett intagsgaller gjort för att minimera risk för fastklämning. Galler med liten spaltbredd är en vanlig metod för att förhindra att nedströms vandrande fisk simmar genom vattenkraftsturbiner med skador eller dödsfall som följd och kan tillsammans med en alternativ passage vara en bra lösning för nedströmsvandring (Boubée & Williams 2006, Calles et al 2013a). Så kallade  $\alpha$ -galler (vinklat mot botten) och  $\beta$ -galler (vinklat mot flödet) med låg lutning har visat sig effektiva vid konventionella turbinintag men för mindre kraftverk med horisontella, bottenmonterade intagsgaller är det inte lika väldokumenterat (Russon et al 2010 & Calles et al 2013b). Denna kunskap tillämpas till denna typ av anläggning genom att ett galler uppdelat i fyra delar där samtliga delar lutar in mot mitten tas fram (lutning mot botten på  $30^\circ$ ), vilket bör minimera risken för fastklämning mot någon av delarna. De ytnära spillluckorna ersätts även med bottennära luckor med mindre dimensioner, se Figur 2 för en översikt av den modifierade modellen.



Figur 2. Modell med modifierat intagsgaller och spillluckor vid botten

Ett ytterligare problem som kan uppstå vid nedströmsvandring är att fisk kan bli skrämde av plötsliga accelerationer eller hastighetsökningar i flödet och därför tvekar eller vänder tillbaka uppströms. Detta har visat sig vara ett problem för nedströms vandrande laxsmolt (Kemp et al 2008 & Enders et al 2009) och har nyligen visat sig stämma även för ål (Piper et al 2015).

I Enders et al 2009 rapporteras vid vilken strömningshastighet och hastighetsökning som en smolt vänder och börjar simma uppströms vid tre olika flödesfall med accelererande strömning. Hastighetsökningen beräknas som skillnaden i hastighet över smoltens längd (ca 10cm) vid flyktögonblicket och hamnar i området 0.5-4 m/s per meter medans den maximala hastigheten vid flyktögonblicket låg omkring 0.1-0.3 m/s.

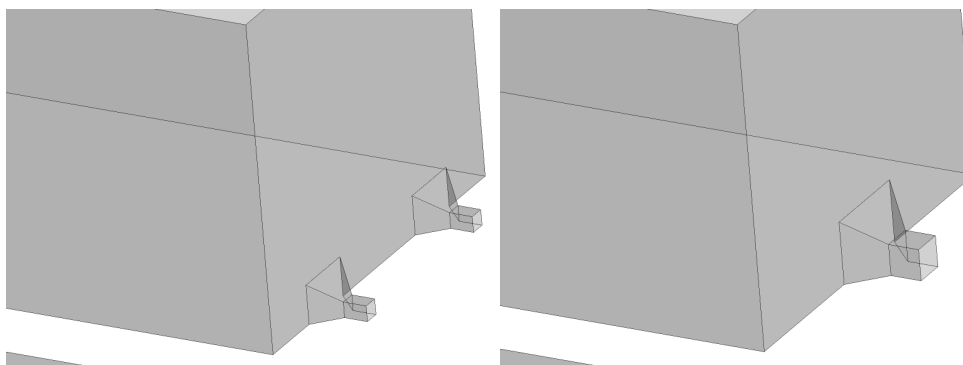
Piper et al 2015 undersökte ålars beteende vid intaget till en kraftstation som ej längre är i bruk för två olika geometriska uppställningar av turbinintaget. Genom att täcka för en del av intaget skapades ett inflöde med högre acceleration och detta jämfördes med normalfallet. Ålar som närmade sig fallet med högre acceleration visade en större tendens till flyktbeteende medan ål som närmade sig originalgeometrin tenderade att visa ett utforskande beteende. Förändringen i ålens beteende skedde ofta 3m eller mer innan intagsgallret och vid accelerationer på 0.001 till 0.084 m/s<sup>2</sup> med hastigheter på ungefär 0.1 till 0.7 m/s. Detta stämmer inte överens med resultat från t ex Russon et al 2010, där ål ändrade beteende först efter fysik kontakt med gallret, vilket talar för att ålens respons på flödesacceleration behöver studeras i detalj under mer kontrollerade former.

I denna simuleringsmodell uppstår denna typ av stora hastighetsökningar (hädanefter betecknade som hastighetsgradienter) och accelerationer vid spillluckorna och därför utvärderas detta område i detalj och en alternativ konstruktion tas fram för att minska denna gradient. Fokus läggs på att undersöka hastighet och hastighetsgradient, inte acceleration, då accelerationen beror av både hastigheten och gradienten och det i dagsläget inte är klarlagt vilken kombination av dessa variabler som bäst beskriver ålens beteende.

## 2 Modell

Simuleringarna utförs i Ansys CFX 16 med en Volume of Fluids (VOF) modell som tar hänsyn till både luft och vattenfasen. Ett ostrukturerat beräkningsnät med tetraheder tas fram med en global elementlängd på 2 dm. Vid intagsgallret och vid spillluckorna görs en lokal förfining av beräkningsnätet med 2 cm elementlängd för att öka noggrannheten i dessa kritiska områden vilket ger en total storlek på beräkningsnätet på ~3.7 miljoner beräkningsnoder (~22 miljoner tetrahedelement). Standard  $k-\epsilon$  väljs som turbulensmodell och simuleringarna körs som steady-state med ett andra ordningens numeriskt schema. Ett tryckvillkor ansätts på inloppet där nivån på vattenytan anges att motsvara nivån i kraftverket. Vid utloppet från turbinkanalen anges ett konstant massflöde motsvarande det verkliga flödet genom kraftstationen. Vid spillluckorna ansätts atmosfärstryck. Att modellera samtliga stänger i ett fingaller med små spaltöppningar i denna typ av simuleringsmodell blir extremt beräkningskrävande och istället uppskattas tryckfallet över gallret, med hjälp av samband från vattenbyggnadshydrauliken (Idelchik 2008). Här görs antagandet att spaltöppningen är dubbelt så bred som gallerstängerna. För ett fingaller med 20 mm spaltöppning antas alltså att stängerna i gallret är 10 mm breda. Denna spaltöppning förhindrar att ålar större än 60 cm långa tar sig genom. För att ålar som är längre än 50 cm inte skall passera genom gallret får spaltbredden inte överstiga 13-14 mm (Leonardsson 2012). Det framräknade tryckfallet läggs sedan in som en porös domän i form av det tänkta gallret i simuleringen. Nackdelen med denna metod är att den påverkan som gallret hade haft på flödesfältet i gallrets närhet inte fångas.

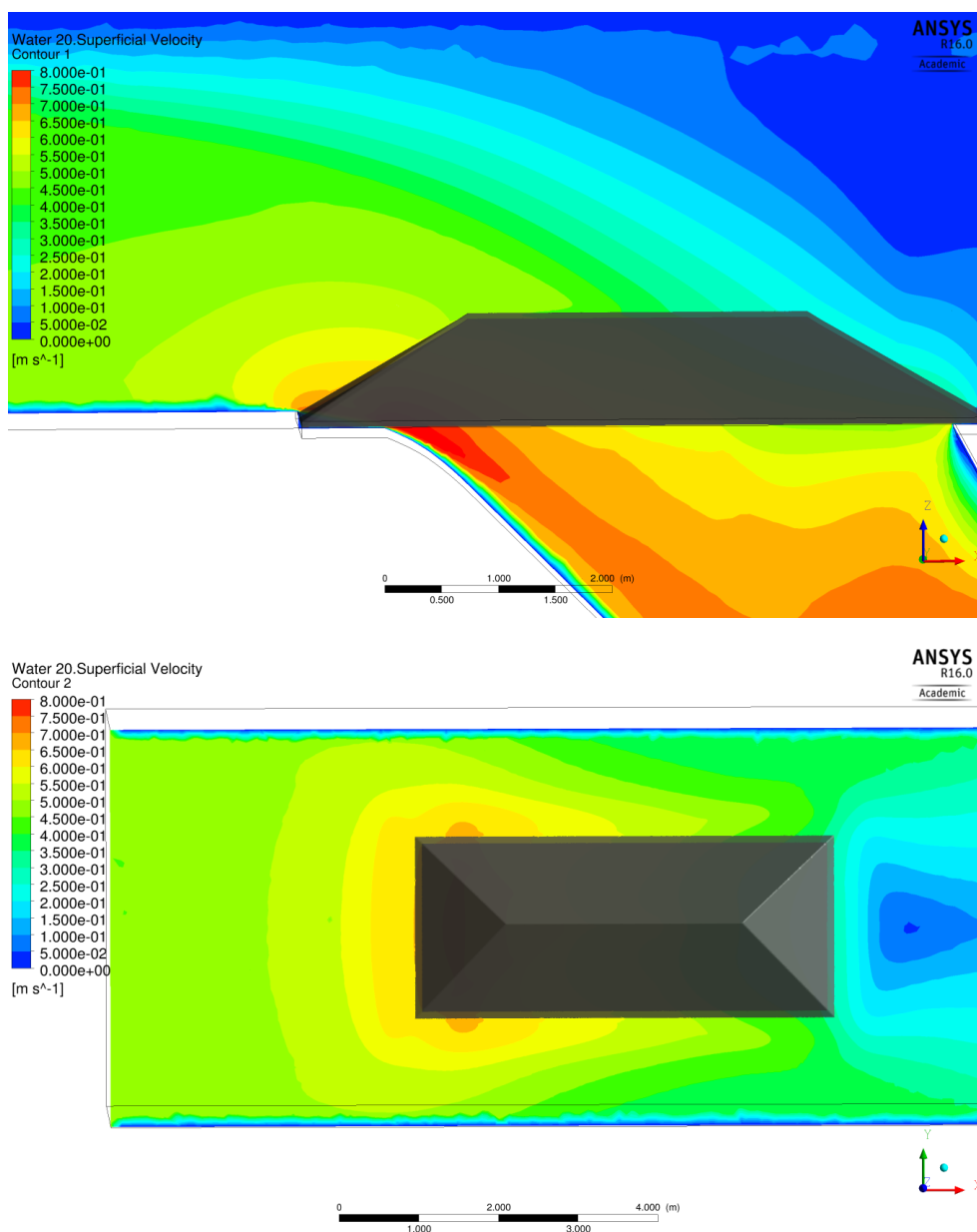
Tre olika konfigurationer av spillluckor simuleras, två stycken 0.2x0.2 m luckor, två stycken 0.3x0.3 m samt en lucka på 0.4x0.4 m. Dessa utvärderas sedan med avseende på mängden spillflöde och vilken hastighetsgradient de skapar. För att minska hastighetsgradienten simuleras även 0.2 m och 0.4 m luckorna med kontraktioner. Med en kontraktion menas en minskning av diametern av ett rör där strömning sker. Här innebär det att öppningen till spillvägen/spillvägarna görs större och sedan smalnar av tills de motsvarar de ursprungliga spillvägarnas storlek. Utloppens storlek är alltså desamma som i fallet utan kontraktion och vinkeln på kontraktionen är 45° i både horisontell och vertikal led.



Figur 3. Modifierade spillvägar med kontraktioner, 2st 0.2x0.2 m samt 0.4x0.4 m

### 3 Resultat

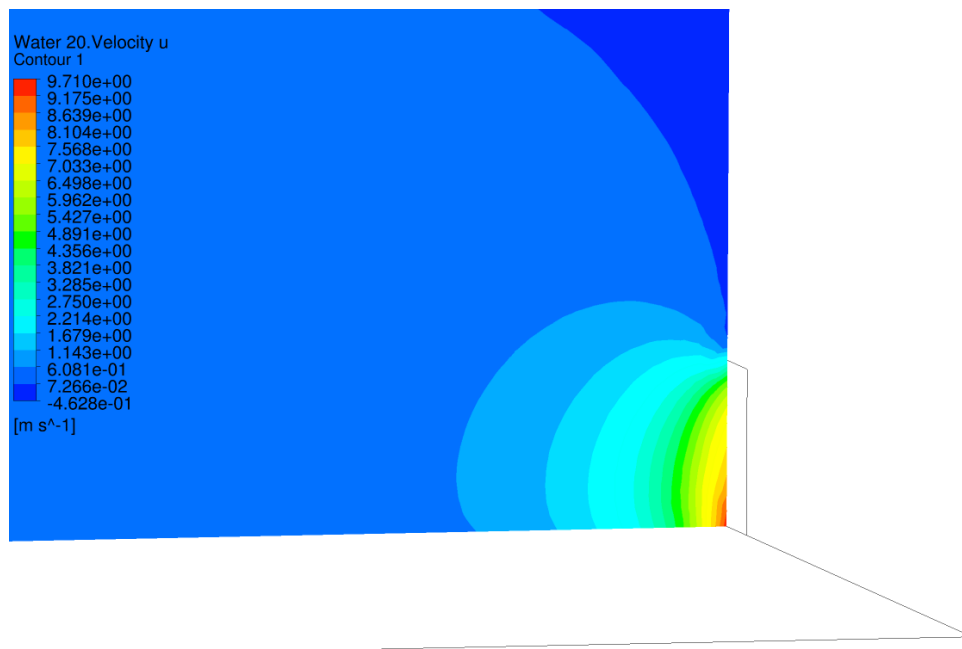
För att undersöka risken för fastklämning utvärderas strömningshastigheten vid intagsgallret. Figur 4 visar beloppet av de tre hastighetskomponenterna, dvs. alltid minst lika stor som den vinkelräta komponenten vid gallret. Ett rekommenderat gränsvärde som återfinns i litteraturen är att den vinkelräta hastigheten inte ska överstiga 0.5 m/s (DWA 2005, ICES 2007) men studier har visat att fastklämda ålar kan ta sig loss vid hastigheter upp till 0.9 m/s (Russon et al 2010).



Figur 4. Hastigheten vid intagsgallret i centrumplanet respektive en toppvy av hastigheten i ett plan 2dm ovanför botten

Hastigheterna blir högst vid den främre delen av gallret. Nära botten bildas tre avgränsade zoner med hastigheter upp mot 0.75 m/s, en vid framkanten och en på vardera sida. Vid den resterande delen av den främre delen av gallret ligger hastigheterna mellan 0.5-0.6 m/s. Vid de bakre delarna av gallret är hastigheterna betydligt lägre vilket tyder på att de ålar som anträffar gallret precis vid den främre kanten nära botten riskerar att klämmas fast, men med största sannolikhet kan ta sig loss och att ålar som anträffar gallrets bakre delar inte bör riskera fastklämning.

För de ålar som tar sig förbi intagsgallret blir det sista hindret att ta sig genom spillluckorna. Figur 5 visar hastigheten i strömningsriktningen vid en av spillluckorna med dimensionen 0.2x0.2 m. Vid luckan fås en markant hastighetsökning med ett hastighetsmaximum på över 9 m/s.



Figur 5. Hastigheten i strömningsriktningen i ett plan i mitten av den ena spillluckan, 0.2x0.2 m

Hastighetsökningen/gradienten som är intressantast är ökningen i strömningsriktningen,  $du/dX$ , som enklast kan tänkas som m/s hastighetsökning per meter. Denna visas i Figur 6 för fallet med de två minsta luckorna.

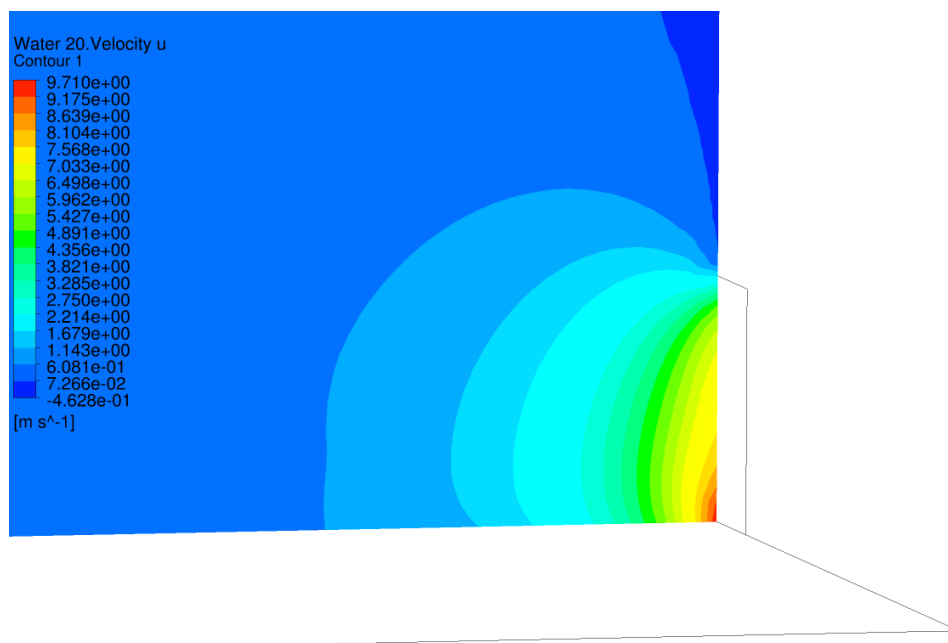


Figur 6. Hastighetsgradienten i strömningsriktningen i ett plan i mitten av den ena spilluckan, 0.2x0.2 m

Ett maximalt värde på hastighetsgradient fås här vid ungefär 85 m/s per meter. Viss försiktighet bör vidtas när detta värde jämförs med värden från andra studier eftersom det kan vara beroende av vilken längdskala,  $dX$ , man undersöker. I detta fall beräknas skillnaderna i hastighet mellan två nodpunkter i beräkningsnätet dvs. ett maximalt avstånd  $dX = 0.02$  m i den förfinade delen av beräkningsnätet vid luckan. Detta ger värden för gradienten av flödesfältet, men ett annat sätt att beräkna gradienten för den här tillämpningen kan vara att använda fiskens längd som längdskala (Enders et al 2009), dvs. hastighetskillnaden som fisken känner av mot kroppen, vilket i detta fall hade gett betydligt lägre absoluta värden. Som exempel kan den maximala gradienten som en 100 cm lång ål känner av över hela kroppslängden beräknas, för detta fall går hastigheten från ungefär 9 m/s vid huvudet ner till 0.15 m/s vid bakre änden, vilket skulle ge ett värde på den maximala gradienten av 8.85 m/s per meter (att jämföras med 0.5-4 m/s per meter för smolt från Enders et al 2009). Om gradienten är en styrande parameter för ålens beteende är det troligt att den relevanta längdskalan ligger någonstans mellan det upplösta flödesfältets och fisklängdens, men detaljerade studier på hur ålen reagerar på flödesändringar krävs för att bestämma detta säkert.

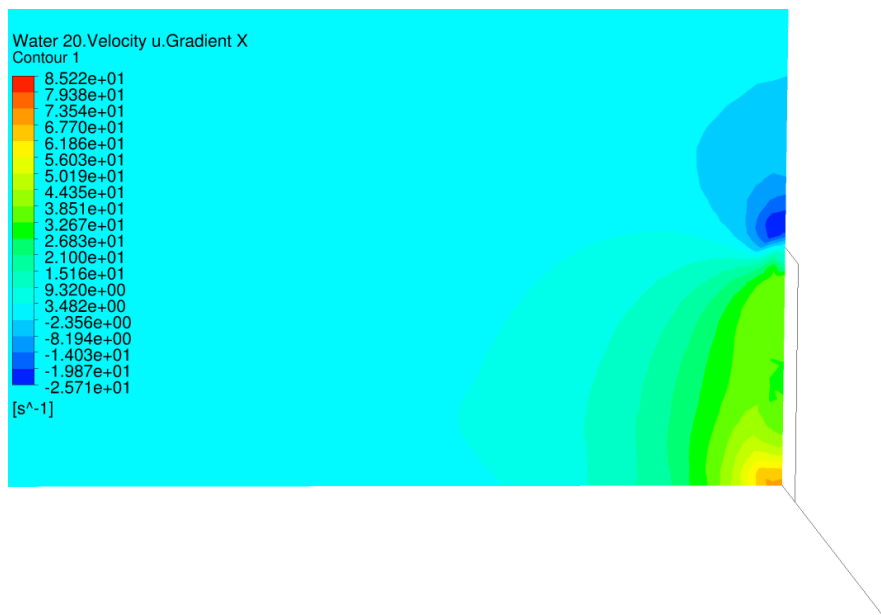
Istället för att skala ner upplösningen fortsätter vi att visa den upplösta gradienten för flödet. Att välja en längdskala på 0.1 m för att motsvara Enders et als data är möjligt, men då det bara hade gett något lägre värden på gradienten (ca 10 % lägre maxvärde) bedöms det inte som nödvändigt.

Att öka storleken på de två luckorna till 0.3x0.3 m ger inte upphov till någon större förändring i hastigheten precis vid luckan, se Figur 7.



Figur 7. Hastigheten i strömningsriktningen i ett plan i mitten av den ena spillluckan, 0.3x0.3 m

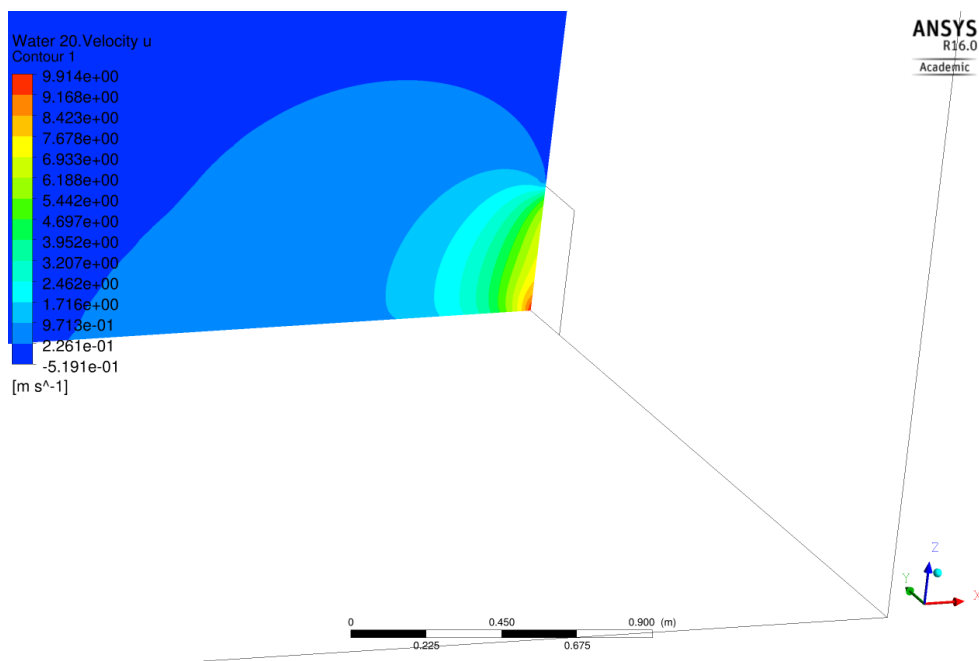
Gradienten nära luckan blir däremot något lägre generellt för detta fall med en maximal hastighetsgradient på ungefär 75 m/s per meter, se Figur 8.



Figur 8. Hastighetsgradienten i strömningsriktningen i ett plan i mitten av den ena spillluckan, 0.3x0.3 m

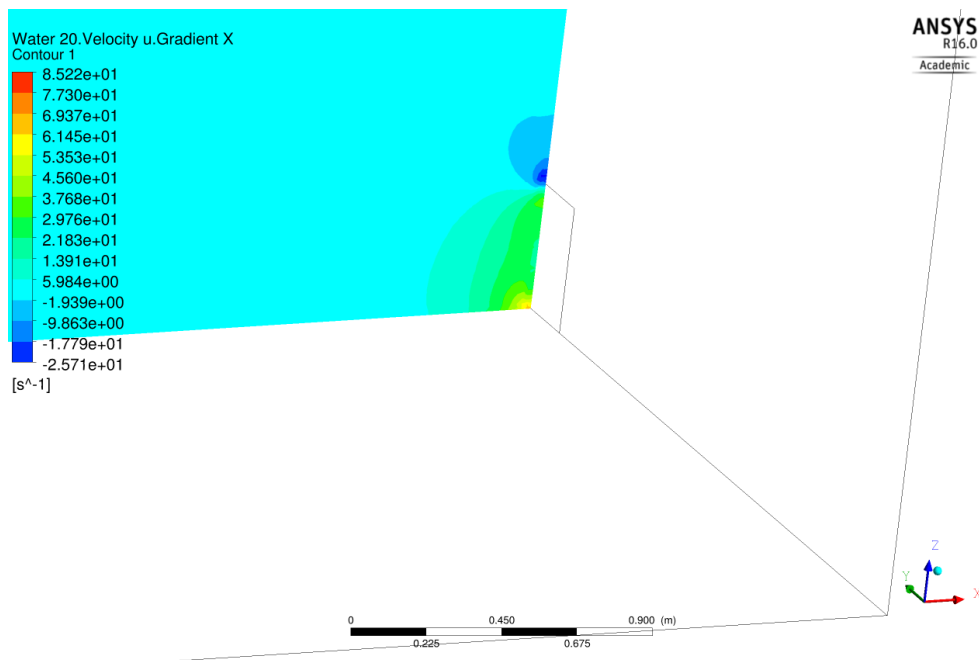
För fallet med en större lucka på 0.4x0.4 m placerad i mitten av kanalen fås ett liknande hastighetsfält som för de två andra fallen med dubbla luckor, se Figur 9.





Figur 9. Hastigheten i strömningsriktningen i ett plan i mitten av spillluckan, 0.4x0.4 m

Gradienten blir något mindre kraftig för detta fall med ett maxvärde på 50 m/s per meter, se Figur 10.

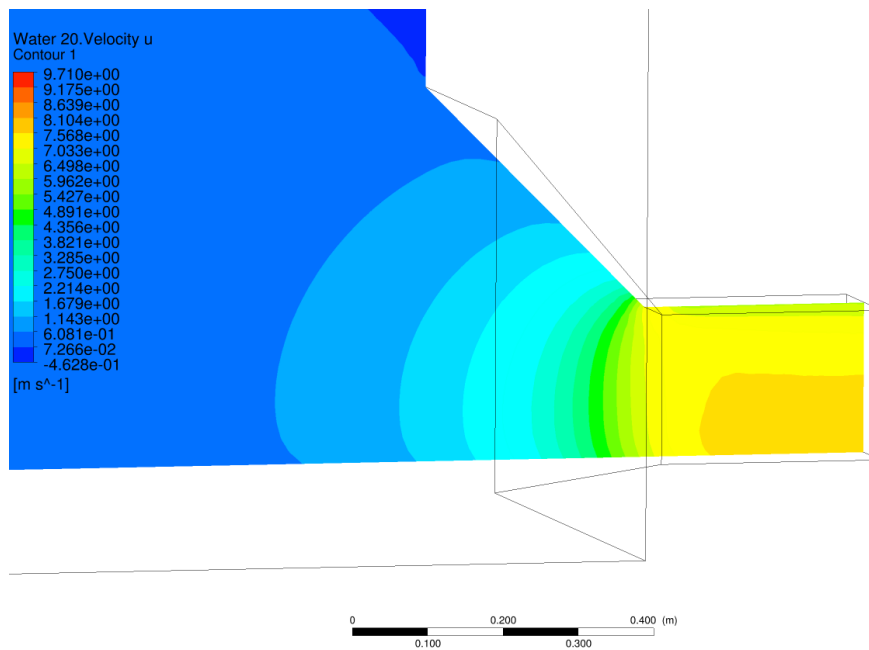


Figur 10. Hastighetsgradienten i strömningsriktningen i ett plan i mitten av spillluckan, 0.4x0.4 m

Eftersom alla tre konfigurationerna av luckor visat stora hastighetsgradienter precis vid spillluckorna som med stor risk skulle innebära att nedströms vandrande

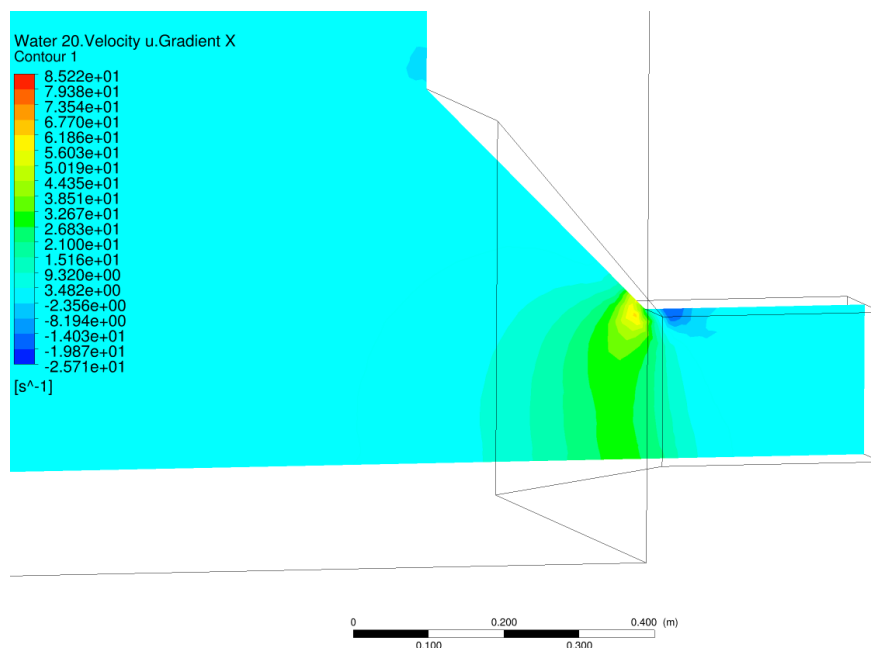
ålar skulle tveka eller i värsta fall vända tillbaka uppströms så simuleras två av fallen med en kontraktion för att minska denna hastighetsgradient.

För fallet med två luckor med kontraktion fås att den maximala hastigheten vid luckan sjunker från ca 9.7 m/s till 8.1 m/s och att hastighetsökningen inte blir lika koncentrerad, se Figur 11.



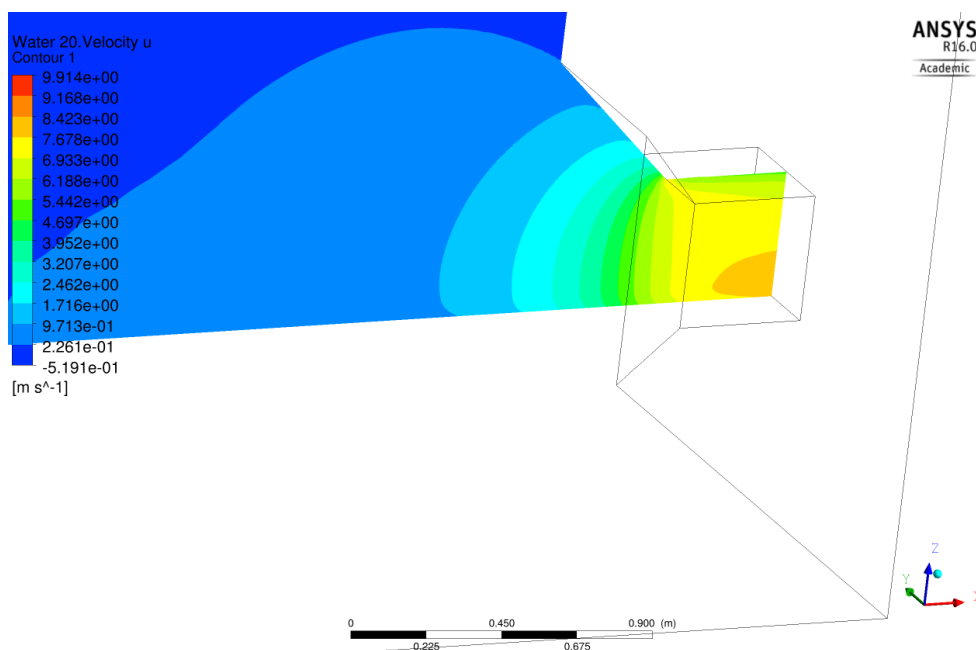
Figur 11. Hastigheten i strömningsriktningen vid ena spilluckan med kontraktion, 0.2x0.2 m

Hastighetsgradienten blir betydligt mindre kraftig än för motsvarande fall utan kontraktion. Det bildas en liten zon precis vid den bakre kanten av kontraktionen med en gradient på ungefär 50 m/s per meter men i övrigt har gradienten minskat med ungefär 50 %, se Figur 12.



Figur 12. Hastighetsgradienten i strömningsriktningen vid ena spillluckan med kontraktion, 0.2x0.2 m

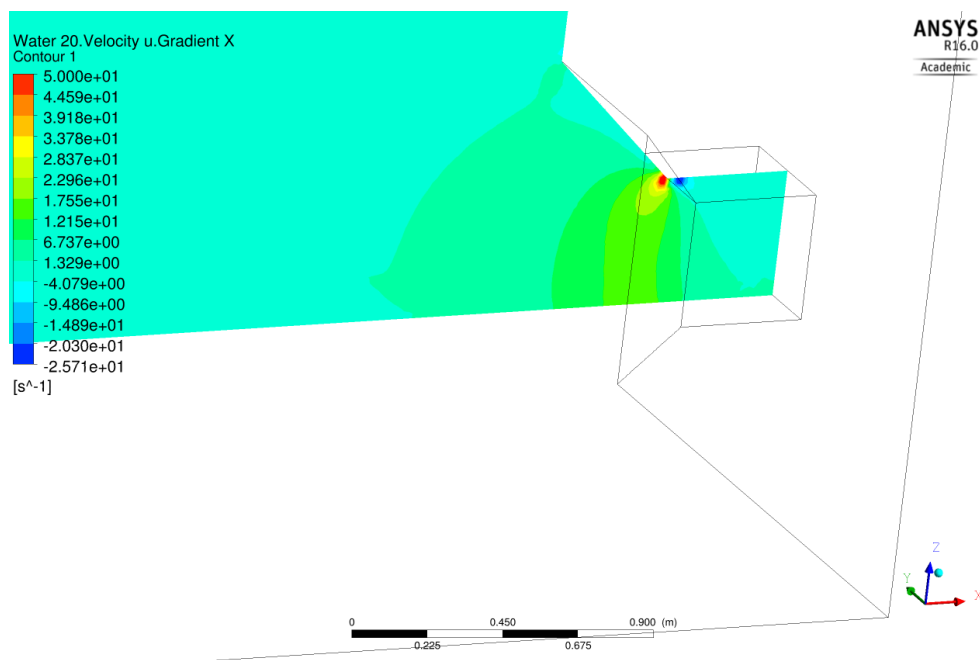
Liknande resultat fås även för den större luckan när en kontraktion läggs till, den maximala hastigheten minskar något och hastighetsökningen blir utdragen över en längre sträcka, se Figur 13.



Figur 13. Hastigheten i strömningsriktningen vid spillluckan med kontraktion, 0.4x0.4 m

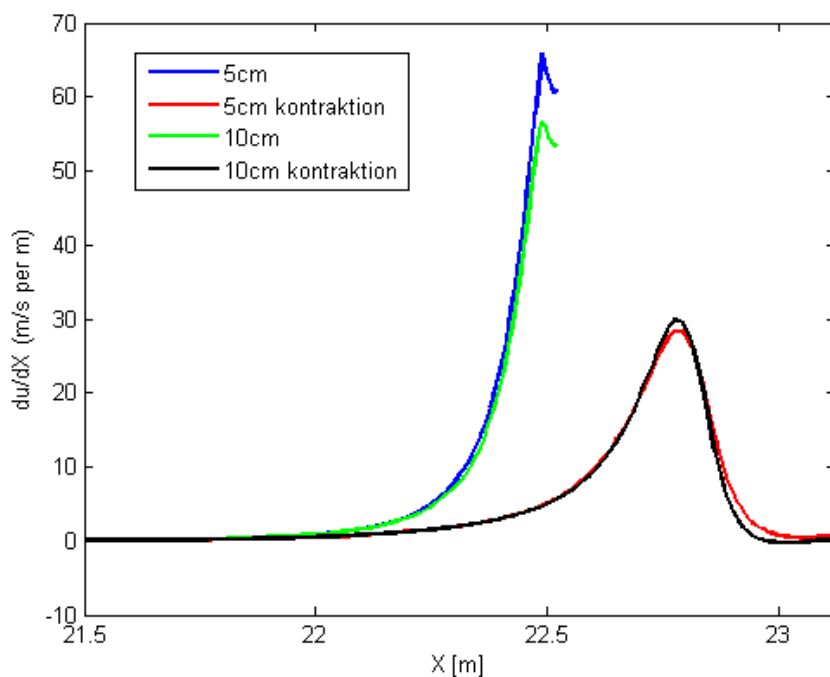
Detta syns ännu tydligare för hastighetsgradienten, då den även här har minskat till ungefär hälften av värdena för fallet utan kontraktion. Även här fås ett lokalt maximum precis vid den bakre kanten av kontraktionens övre del. Om man tror

att detta skulle kunna innebära att ålar avskräcks skulle en mer avrundad form av kontraktionen där de skarpa hörnen tas bort, förhoppningsvis minska denna zon.



Figur 14. Hastighetsgradienten i strömningsriktningen vid spilluckan med kontraktion, 0.4x0.4 m

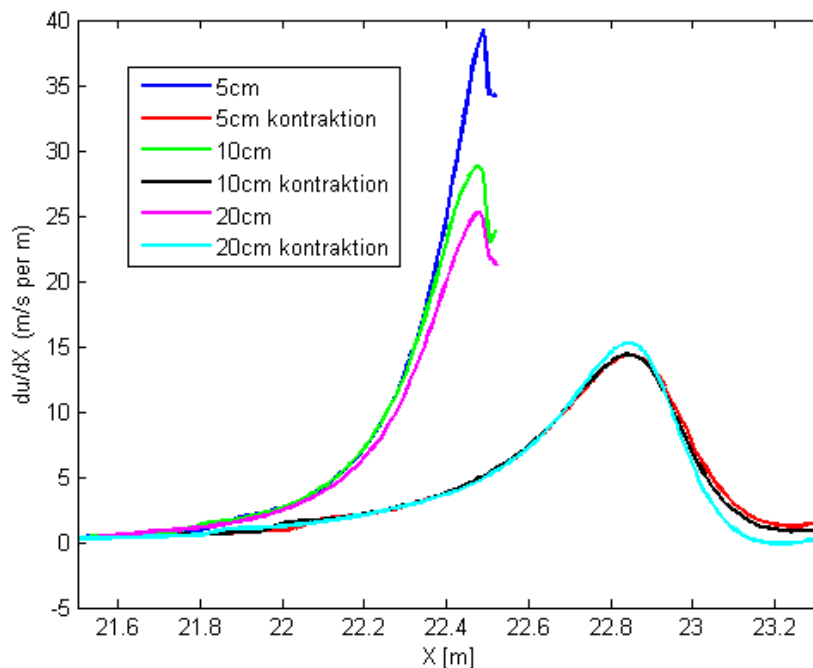
Ett mer kvalitativt sätt att visualisera hur gradienten förändras är att plotta den för ett visst ankomstdjup. Figur 15 visar vilken gradient en fisk känner av om den simmar antingen 5 cm eller 10 cm ovanför botten för fallet 0.2x0.2 m luckor med och utan kontraktion.



Figur 15. Hastighetsgradient för olika ankomstdjup med och utan kontraktion, 0.2x0.2m lucka

Även här blir det tydligt att hastighetsgradienten har minskat betydligt för fallet med kontraktion samt att ökningen sker något långsammare. Den maximala gradienten blir något högre närmare botten än vid luckans mitt. Med kontraktionen fås en maximal gradient på ungefär 30 m/s per meter att jämföras med 0.5-4 m/s per meter som är riskzonen för smolt.

För fallet med en större lucka undersöks tre olika ankomstdjup, 5 cm, 10 cm och 20 cm från botten, se Figur 16. Det är även här tydligt att den maximala gradienten som en fisk kan stöta på minskar samt att den sprids ut över en längre sträcka.



Figur 16. Hastighetsgradient för olika ankomstdjup med och utan kontraktion, 0.4x0.4m lucka

För detta fall är skillnaden mellan de olika ankomstdjupen för scenarierna utan kontraktion ännu tydligare vilket skulle kunna vara relevant om man t ex visste att värdena på maximal gradient låg nära riskzonen och att detaljerad kunskap om hur nära botten ålarna simmade fanns. Med kontraktionen blir gradienten som fiskarna upplever nästan densamma vid de olika ankomstdjupen.

Slutligen undersöks hur mängden spillflöde varierar för de olika konfigurationerna. Tabell 1 visar det totala spillet samt medhastigheten över spillluckorna för de olika simuleringarna.

Tabell 1.

	Flöde [m <sup>3</sup> /s]	Medelhastighet [m/s]	Flöde (kontr.) [m <sup>3</sup> /s]	Medelhastighet (kontr.) [m/s]
2st 0.2x0.2 m	0.48	6.0	0.56	7.0
2st 0.3x0.3 m	1.07	5.9	-	-
1st 0.4x0.4 m	0.94	5.9	1.09	6.8

Utlopp utan kontraktioner resulterar i liknande medelhastigheter för de olika konfigurationerna. Med kontraktioner ökar spillflödet något (ca 14 %) jämfört med motsvarande simuleringar utan. En större lucka ser ut att ge en jämnare hastighetsökning med ett lägre maxvärde på gradienten till bekostnad av ett högre spillflöde vilket skulle kunna vara relevant vid val av passagedesign. En annan viktig fråga som inte besvaras här är hur svårt nedströmsvandrande fisk har att lokalisera spillvägarna från flödesfält, visibilitet eller andra faktorer och fler studier där detta behandlas är därför nödvändiga.

## 4 Diskussion

Vid ålanpassning av ett småskaligt vattenkraftverk identifierades två problemområden 1) gallret vid turbinintaget och 2) nedströmspassagen vid spillluckorna. Ett förslag för ett ålanpassat intagsgaller togs därför fram och testades i en numerisk modell av kraftverket. Enligt tidigare forskning är hastigheten vid gallret och vinkeln mot botten de två viktigaste parametrarna för att hindra fisken att fastna mot gallret. Gallrets vinklar mot botten valdes till 30° enligt rekommendationer från litteraturen och simuleringarna visade att strömningshastigheterna vid gallret aldrig översteg det gränsvärde på 0.9 m/s som ålar inte klarar av att ta sig loss ifrån. Detta innebär att denna gallerlösning ser lovande ut för det undersökta kraftverket, även om vissa praktiska problem kan behöva lösas som t ex rengöring eller konstruktion av fundament. Det är även möjligt att fallförlusterna är högre i verkligheten än vad som räknats fram, då vissa antaganden om t ex flödesriktning och geometri gjordes. Om lösningen skulle visa sig fungera bra i praktiken borde det vara möjligt att implementera samma lösning för andra kraftverk med liknande turbinintag. Det skulle även vara intressant att använda en liknande design med intagsgaller för ett konventionellt turbinintag, t ex ett tredelat intagsgaller med ett rakt  $\alpha$ -galler i mitten med sidogaller som lutar både mot turbinintaget och mot sidorna. Att skala upp lösningen till ett större kraftverk kan dock medföra svårigheter, t ex att konstruktionen blir för hög och skrymmande eller att krafterna på gallerytorna blir för stora.

Det andra problemområdet innefattade nedströmspassagen och därför simulerades ett flertal olika konfigurationer av spillvägar. En intressant frågeställning var om två mindre spillluckor eller en större spilllucka skulle vara att föredra. De simuleringar som kördes visade likvärdiga resultat gällande strömningshastigheterna vid luckorna. Eftersom medelhastigheten genom luckorna var densamma för de tre första konfigurationerna oavsett om det var två luckor eller en större lucka inses att mängden spillflöde genom luckorna bara beror på luckornas totala area. En ytterligare frågeställning var om stora hastighetsökningar/gradienter som kunde skrämna vandrande ål förekom i modellen. Hastighetsökningarna precis vid spillluckorna visade sig vara väldigt höga för samtliga fall (50 till 85 m/s per meter) och därför modifierades spillvägarna med kontraktioner för att minska dessa gradienter. Kontraktionerna visade sig effektiva med att minska hastighetsgradienterna då maxvärdet som en ål skulle uppfatta minskade med ca 50%. Det gick även att utläsa att det blir en lägre hastighetsgradient för lösningen med en stor lucka jämfört med två små (ungefär 15 istället för 30 m/s per meter), vilket skulle kunna tala för att den lösningen skulle vara mindre avskräckande. Jämför man med experimentella studier med laxsmolt där smolt tvekat att vandra vidare när de påträffat gradienter på 0.5-4 m/s per meter är dessa värden fortfarande höga. Det är däremot troligt att en vuxen ål klarar av att vandra i tuffare strömningförhållanden än vad en liten smolt klarar av.

Många intressanta möjligheter för att ytterligare öka förståelsen för nedströmsvandringen av ål vid vattenkraftverk med denna typ av lösningar har dykt upp och innefattar bland annat följande:

- Utföra mer detaljerade simuleringar där intagsgallret modelleras geometriskt och flödet genom gallret löses upp. Detta för att ge en mer realistisk bild av de strömningshastigheter som uppstår precis vid gallret samt att bättre bestämma vilken fallförlust som konstruktionen medför.
- Optimera geometrin med avseende på gallrets vinkel och dimensioner för att skapa de bästa förutsättningarna för säker vandring med så små produktionsförluster som möjligt.
- Utvärdera gallerlösningen i labbskala och validera simuleringarna med mätningar från den experimentella modellen
- Utvärdera lösningen i fält och inkludera hur ålar reagerar vid samt passerar intagsgallret
- Om det visar sig att hastighetsgradienterna och hastigheterna vid luckorna med kontraktioner fortfarande är för höga för ålvandring kan andra alternativ undersökas. Istället för att spilla direkt ut i atmosfären kan ett rör eller en slang kopplas ner till utflödet från turbinen och geometrin (storlek, position, etc.) för en sådan lösning optimeras.

För att komma närmare en lösning på ålpassageproblemet skulle man behöva mer detaljerad kunskap om vilka strömningsparametrar (hastighet, gradient, acceleration, turbulens, etc.) och miljöegenskaper (ljud, ljus, temperatur, etc.) som attraherar respektive skrämmer ålarna. När vi har den kunskapen kan vi bättre utforma anläggningar för att underlätta ålpassager via spill eller särskilda flyktöppningar.



## 5 Slutsatser

För det undersökta kraftverket är det möjligt att designa ett förbättrat intagsgaller som uppfyller rekommendationerna för nedströmsvandring gällande lutning och maximala strömningshastigheter. För anläggningar med liknande turbinintag borde denna design kunna tillämpas utan större modifikationer även om vinklarna på de olika delarna kan behöva justeras.

Från simuleringarna med olika spillluckor fås att antalet spillvägar eller storleken på dessa inte påverkar det närliggande strömningsfältet särskilt mycket. Om den begränsande parametern för älvandring är den maximala hastigheten i flödet vid spillluckan, så spelar det alltså ingen roll om man väljer en större lucka eller två mindre från ett strömningstekniskt perspektiv. Om det däremot är hastighetsgradienten som är den begränsande parametern ger alternativet med en större spilllucka märkbart lägre maxvärden på gradienten.

Samtliga lösningar för spillvägarna gav väldigt höga hastighetsgradienter vilket riskerar att skrämma ålen. Genom att ändra geometrin och lägga in en kontraktion minskas både maxhastigheten vid spillvägarna och hastighetsgradienten. För passager där man vet att fisk tvekar, oavsett om de förekommer vid galler eller andra passager, kan detta vara ett sätt att skapa bättre strömningsförhållanden och därmed en snabbare och effektivare passage.

## 6 Referenser

- Boubée, J. A. T., & Williams, E. K. (2006). Downstream passage of silver eels at a small hydroelectric facility. *Fisheries Management and Ecology*, 13(3), 165-176.
- Calles, O., Degerman, E., Wickström, H., Christiansson, J., Gustafsson, S., & Näslund, I. (2013a). Anordningar för upp och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar—en litteratursammanställning. Havs-och vattenmyndighetens rapport, 14, 114.
- 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(10), 2168-2179.
- DWA 2005. Fish Protection Technologies and Downstream Fishways - Dimensioning, Design, Effectiveness Inspection. DWA German Association for Water, Wastewater and Waste, ISBN-10: 3-939057-35-5, Hennef Germany.
- Enders, E. C., Gessel, M. H., & Williams, J. G. (2009). Development of successful fish passage structures for downstream migrants requires knowledge of their behavioural response to accelerating flow. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66(12), 2109-2117.
- 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(10), 1095-1105.
- Haro, A., Castro-Santos, T., & Boubée, J. (2000). Behavior and passage of silver-phase American eels, *Anguilla rostrata* (LeSueur), at a small hydroelectric facility. *Dana*, 12.
- ICES 2007. Report of the joint EIFAC/ICES working group on eels, 3–7 September 2007. Rome, Italy. ICES Document CM 2007/ACFM:23.
- Idelchik, I. E. (2008). Handbook of hydraulic resistance, 3rd Edition. Jaico Publishing House
- Kemp, P. S., Gessel, M. H., & Williams, J. G. (2008). Response of downstream migrant juvenile Pacific salmonids to accelerating flow and overhead cover. *Hydrobiologia*, 609(1), 205-217.
- Leonardsson (2012). Modellverktyg för beräkning av ålförluster vid vattenkraftverk. *Elforsk rapport 12:36*.
- Piper, A. T., Manes, C., Siniscalchi, F., Marion, A., Wright, R. M., & Kemp, P. S. (2015). Response of seaward-migrating European eel (*Anguilla anguilla*) to manipulated flow fields. *In Proc. R. Soc. B* (Vol. 282, No. 1811, p. 20151098). The Royal Society.
- Russon, I. J., Kemp, P. S., & Calles, O. (2010). Response of downstream migrating adult European eels (*Anguilla anguilla*) to bar racks under experimental conditions. *Ecology of Freshwater Fish*, 19(2), 197-205.



# ANPASSNING AV SMÅSKALIGT VATTENKRAFTVERK FÖR ÅLVANDRING

Här har forskarna anpassat ett småskaligt vattenkraftverk för ålvandring med hjälp av numeriska strömningssimuleringar. En ny design av intagsgaller har testats som visar goda möjligheter att hindra ål att vandra genom turbinerna eller klämmas fast mot gallret.

Ett flertal olika konfigurationer av spillvägar har även simulerats och utvärderats för att mäta hastighetsfält och spillflöde. Risken är stor att ålar kan avskräckas av de stora hastighetsgradienterna vid spillluckorna och därför simuleras även en alternativ design av spillväg med en kontraktion som minskar den maximala hastighetsgradienten med ungefär 50 procent.

Resultaten visar att det är möjligt att designa ett förbättrat intagsgaller som uppfyller rekommendationerna för nedströmsvandring gällande lutning och maximala strömningshastigheter för det undersökta kraftverket.

## Ett nytt steg i energiforskningen

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