

Anordning för lockvattenströmmar vid vattenkraftverk

Projektledare

Projektledare:
Håkan Gustavsson, Professor
Avd Strömningslära
Luleå tekniska universitet
971 87 Luleå
0920-49 12 83
hakan.gustavsson@ltu.se

Doktorand:
Elianne Wassvik
Avd Strömningslära
Luleå tekniska universitet
971 87 Luleå
0920-491045
elianne.wassvik@ltu.se

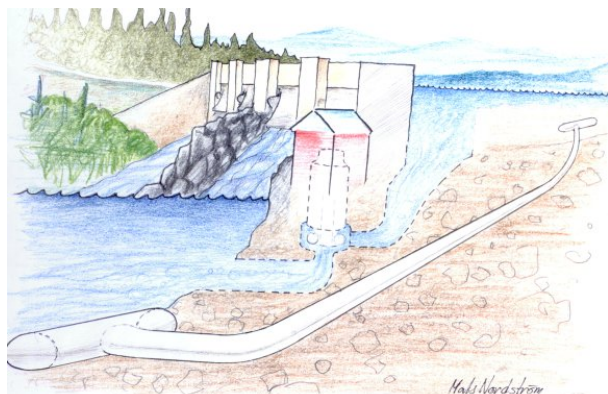
Projektledare:
Fredrik Engström, Forskare
Avd Strömningslära
Luleå tekniska universitet
971 87 Luleå
t.fredrik.engstrom@ltu.se

Projektledare:
Jan-Erik Almqvist, innovatör
J&K Teknik
Allégatan 23
961 67 Boden
0921-15339
070-3427243

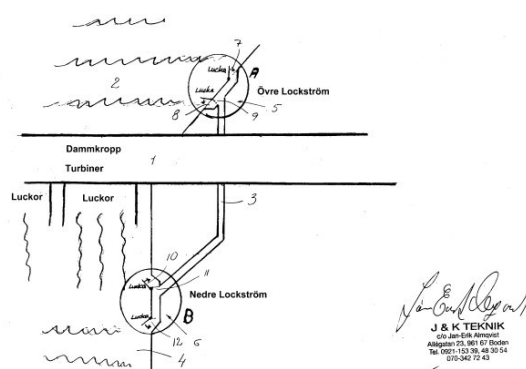
Projektledare:
Allan Holmgren, tekniker
Avd Strömningslära
Luleå tekniska universitet
971 87 Luleå
0920-49 17 23
allan.i.holmgren@ltu.se

Bakgrund och problemställning

Idén till projektet kommer från en uppfinnare i Boden (Jan-Erik Almqvist) som utformat (och patentsökt) en fisksluss att användas för fiskvandring förbi vattenkraftverk. Slussen ska fungera för både upp- och nedvandring. Ett övervakningssystem avgör när slussen ska stängas och vatten ska släppas igenom rörsystemet (jfr figur 1).



Figur 1: Slussens läge vid kraftverk



Figur 2: Lucksystem till fisksluss

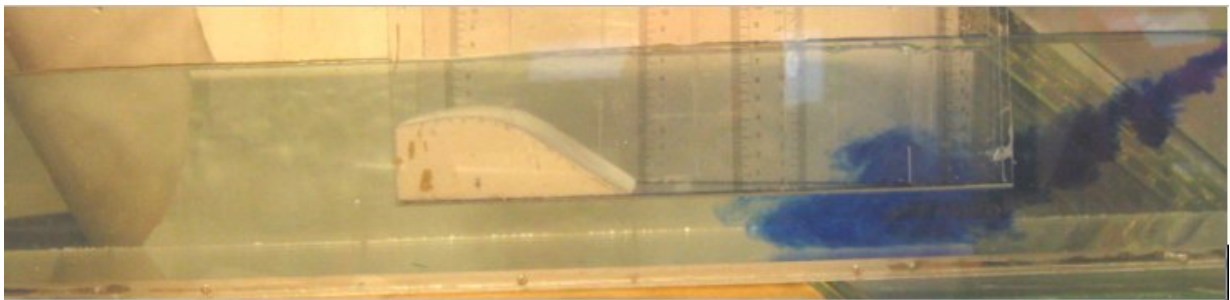
Den nedre slussen (jfr figur 2) sitter i det vatten som passerat turbinerna och det problem som identifierats är hur fisken ska lockas in till slussen. Detta föreslås ske genom att lokalt accelerera strömningen så att fisken uppfattar en kraftigare strömning från slussen än från turbinernas utloppskanal.

Projektbeskrivning

Projektet syftar till att undersöka inloppet till slussen (den nedre delen). Inloppet skall producera ett lockvatten för att attrahera fisk till slussen, vilket ska ske utan att använda någon

extra energi. Denna del av slussen kallas lockvattenanordning. Ett första fysikaliskt övervägande (Bernoullis ekv.) visar att det enda (passiva) sättet att accelerera en strömning med fri yta är att sänka nivån.

I projektet görs först modellförsök i labskala för att utröna vilken geometri som ger bäst acceleration av strömningen. Resultaten tyder på att en bottenförhöjning ger bättre effekt än en sidoförträngning. Laser-doppler-mätningar kommer att göras av hastighetsfältet för att bland annat bestämma hur långt efter anordningen som den förhöjda hastigheten är noterbar. Figur 3 visar den geometri som gett bäst strömning hittills.

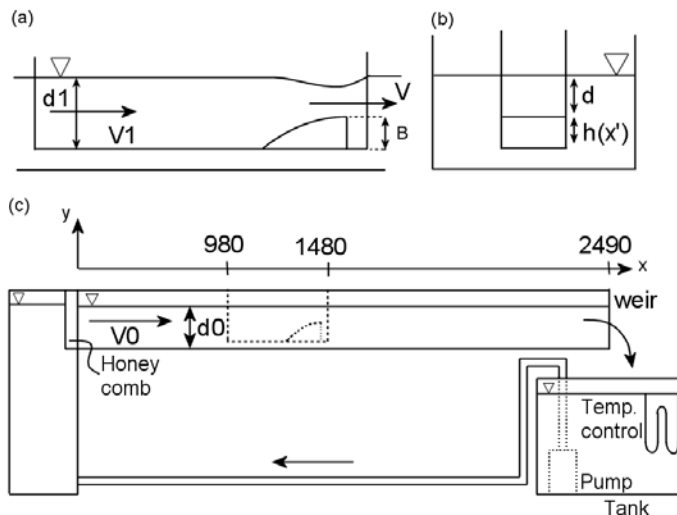


Figur 3: Strömning över förhöjd botten i lockvattenanordning. Strömning från höger till vänster.

Resultatet kommer att ligga till grund för fältförsöken. I fältförsöken undersöks hur fisken attraheras av den lokalt ökade hastigheten genom jämförande studie med anordning utan bottenförändringar.

Projektets resultat

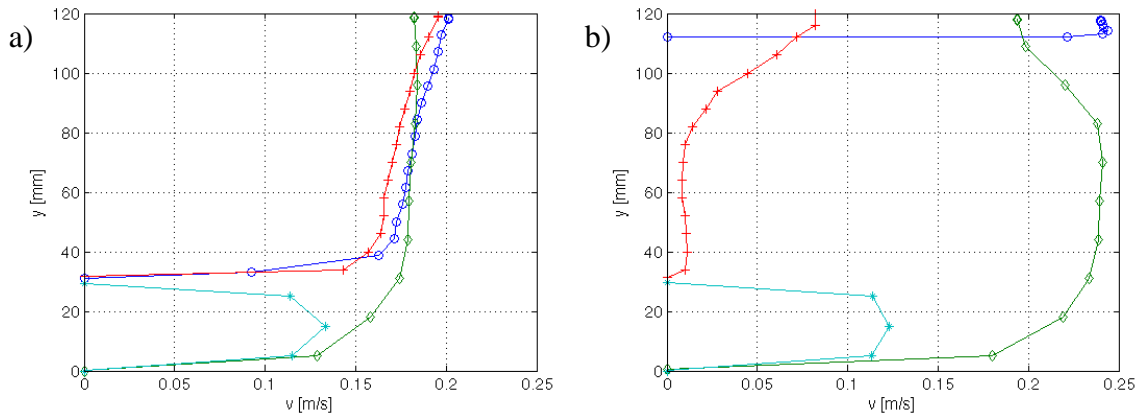
Modellförsök



Figur 4: a) Modell av lockvattenanordning från sidan, B anger högsta höjden på förhöjningen. b) Vattenkanal och modell av lockvattenanordning framifrån. c) Vattenkanal med modell av lockvattenanordning sedd från sidan. Alla mått i mm.

Våren 2003 utfördes modellförsök i kursen "Projektkurs vattenkraft" där några studenter först byggde den vattenkanal (se figur 4) som senare använts för mätningar i lab. I projektet testades två förslag på hur lockvattenanordningen bör vara konstruerad. Nämligen att accelerera vattnet med en förträngning i sidled, eller med en förhöjning i botten av anordningen; jmf figur 3. Det senare förslaget var det som fungerade bäst och är den lösning som använts i projektet.

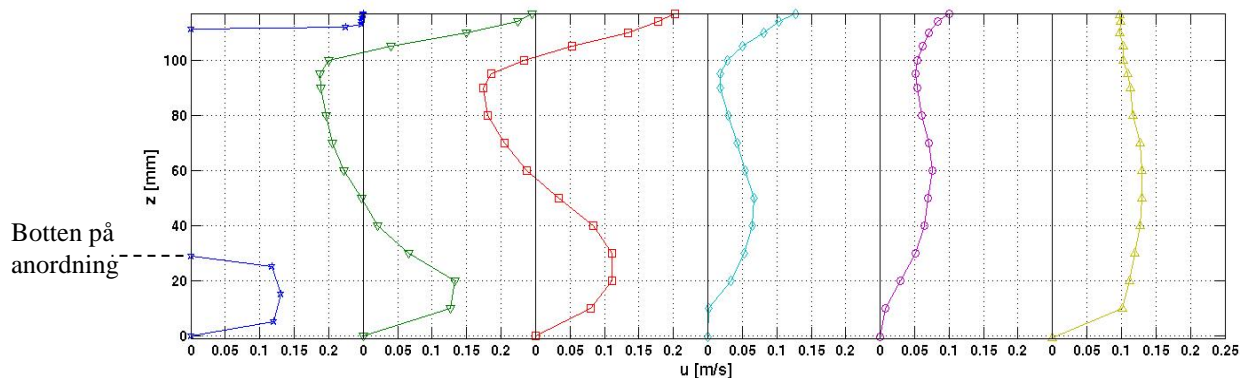
Under hösten 2003 och våren 2004 genomfördes modellförsök i lab. Dessa gick ut på att mäta hur mycket flödet accelererar över förhöjningen B (jmf figur 4) och finna det optimala värdet på B under olika driftförhållanden. En modell av lockvattenanordningen byggdes i (fönster)glas. Modellen är 100 mm bred, 200 mm djup och 500 mm lång. Modellen placerades i mitten av vattenkanalen som har en tvärsnittsarea på 200x300 mm. De förhöjningar som användes vid mätningarna är 22, 43, 47, 70 och 80 mm höga. Hastigheter i och kring modellen mättes med LDV (Laser Doppler Velocimetry). LDV är en icke-berörande mätmetod där två laserstrålar som korsar varandra kan mäta hastigheten i den punkten. Denna punkt flyttas sedan runt i den volym som är av intresse. I denna uppställning har mätpunkten den faktiska dimensionen 0.076x0.838 mm. Förhöjningar av olika höjd, B , testades och hastigheten över förhöjningen, i inloppet och vid sidan av modellen uppmättes (jmf figur 5). Pga det subkritiska flödet i kanalen (Froudes tal <1) blockerar förhöjningen strömningen i lockvattenanordningen och vattenhastigheten in i anordningen blir betydligt mindre än om ingen förhöjning skulle varit där. Trots detta blockage uppnås en hastighet ut ur modellen som är högre än omgivande vattenhastighet. Modellförsöken visade en ökning på 38 % av vattenhastigheten över förhöjningen jämfört med omgivande vattenhastighet. Den största vattenhastigheten uppnåddes med den 80 mm höga förhöjningen som gav ett Froude tal över förhöjningen nära ett. Arbetet resulterade i en examensrapport samt ett konferensbidrag.



Figur 5: Hastighetsprofiler i och kring modellen av lockvattenanordningen utan förhöjning (a) och med förhöjning (b). \circ : hastighetsprofil över förhöjningen, $+$: hastighetsprofil i inloppet till lockvattenanordningen, \diamond : hastighetsprofil i kanalen utanför lockvattenanordningen och $*$: hastighetsprofil under lockvattenanordningen.

Under våren 2005 genomfördes ytterligare modellförsök för att undersöka hur långt efter anordningen som en ökad hastighet är synlig. Hastigheterna nedströms lockvattenanordningen mättes för den 80 mm höga förhöjningen som gett en hastighetsökning på 38% vid föregående modellförsök. Samma uppställning och vattenflöden som använts vid tidigare försök användes vid detta försök. Figur 6 visar resultatet nedströms anordningen i ett par snitt; över förhöjningen, 50, 100, 150, 200 och 500 mm efter lockvattenanordningen. En ökning av hastigheten är synlig från anordningens utlopp till 100 mm efter anordningens utlopp dvs. 18d; jfr figur 4. Det är endast ytvattnet (lika djupt som över förhöjningen) som får en högre hastighet, vilket betyder att endast fisk som simmar nära ytan kommer att känna av den ökade hastigheten. Detta bör dock inte vara några problem då de flesta fisktrappor idag bygger på att locka till sig fisken i ytan och enligt Rivinojas [1] mätningar i Umeälven rör sig de flesta uppströmsvandrande fiskarna på ett djup av en meter. Hastighetsmätning efter lockvattenanordningen kommer att presenteras i en vetenskaplig tidskrift.

Vidare studier på utformningen av förhöjningen kommer att studeras i avslutningskursen mekanikens tillämpningar vilket är en avslutningskurs för civilingenjörer på maskin- och tekniskfysikutbildningarna på LTU. I kursen kommer en grupp studenter simulera lockvattenanordningen för optimering av förhöjningen. Kursen pågår under ht 05 och vt 06.

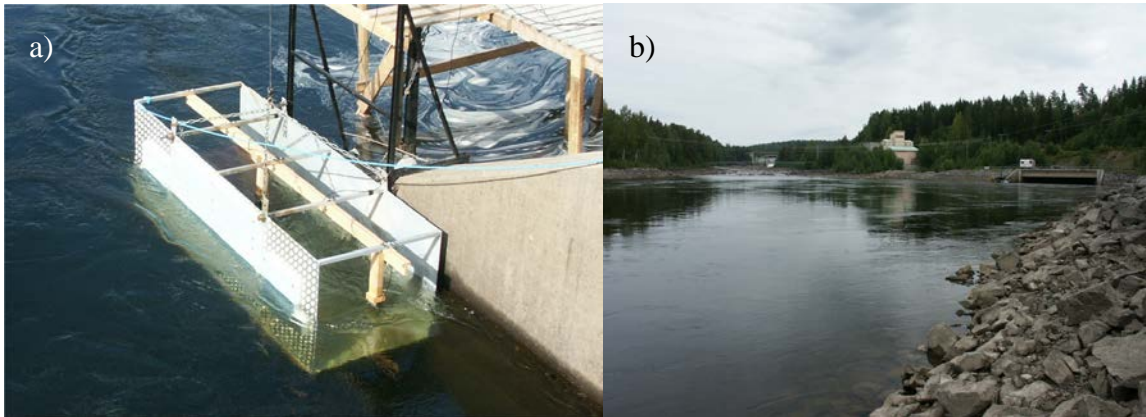


Figur 6: Vertikala hastighetsprofiler nedströms lockvattenanordningen. Profilerna tagna 0, 50, 100, 150, 250 och 500 mm nedströms anordningen.

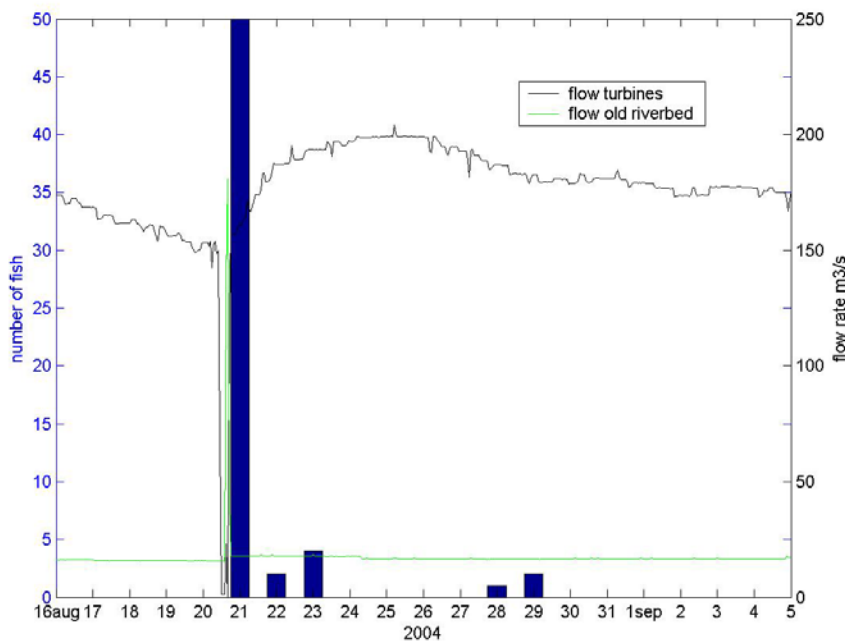
Fältförsök

Under sommaren 2004 utfördes två fältförsök. Det första gick ut på att testa en modell av lockvattenanordningen i Hedens fiskodling i Boden. Modellen testades på ettårig fisk som föds upp för utplantering i Luleälven. Vi trodde att detta försök skulle kunna ge oss en aning om hur väl slussen fungerade, men fisken tog skydd bakom förhöjningen istället för att lockas in i anordningen. Detta är naturligt beteende för ettårig fisk. Det gick därmed inte att säga något om hur lockvattenanordningen fungerar genom detta försök.

I det andra fältförsöket studerades vuxen vandringsfisk. Lockvattenanordningen testades i fullskala för att se hur fisken reagerar på det accelererade vattnet. Fältförsöket utfördes vid Sikfors kraftstation i Piteälven; se figur 7. Sikfors kraftstation är det enda vattenkraftverket i Piteälven, och det finns en fisktrappa i anslutning till dammen. För att fisk ska ta sig till fisktrappen måste de simma upp i den gamla älvfåran där minimitappningen är $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Max flöde genom kraftverket är $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Sikfors valdes för att det vid utloppet från turbinerna finns en betongvägg som skulle göra det enkelt att placera en försöksuppställning vid, plus att fisk har setts vid utloppet från turbinerna. Under försöket studerades fiskens beteende i och kring anordningen med hjälp av undervattenskameror. Försöket utfördes under tre veckor (från 2004-08-16 till 2004-09-05). Anordningen var i vattnet sex timmar om dagen (9-15). Varannan dag testades lockvattenanordningen med förhöjning och varannan dag utan. Lockvattenanordningen övervakades med undervattenskameror och efter försöken studerades upptagningarna och antalet fiskar som simmade igenom räknades. Det visade sig att ytterst få fiskar simmade genom slussen, förutom en dag. Det var dagen efter ett stopp i kraftstationen; jfr figur 8. Andra observationer kring försöken i Sikfors var att de dagar som fisken simmade igenom slussen var vattnet mycket grumligt. De slutsatser som drogs av detta försök var att: i) anordningen bör målas i en mörkare färg för att inte skrämja fisken och ii) att den bör ligga i vattnet dygnet runt. Strömningsbilden vid utloppet från kraftstationen är väldigt tidsberoende och komplext så därför bestämdes att lockvattenanordningen även bör testas på ett ställe med en enklare strömningsbild för att få den att fungera bättre. Det nya stället bör även vara mindre så att det är lättare att avgöra om någon fisk väljer att simma förbi anordningen istället för att simma igenom den.



Figur 7: Lockvattenanordning i fullskala vid Sikfors kraftstation sommaren 2004. a) Lockvattenanordning. b) Nerströms Sikfors kraftstation. Till vänster i bild ser man den gamla älvfåran som leder upp till dammen och till höger i bild ses utloppet från turbinerna där lockvattenanordningen är placerad på vänstra kanten av utloppet (sett nedifrån).



Figur 8: Flödet i Sikfors både genom turbinerna och i gamla älvfåran, samt antalet fiskar som simmade igenom slussen.

Under sommaren 2005 genomfördes två fältförsök. I det första försöket testades lockvattenanordningen i Hednäs, Åbyälven och i det andra försöket repeterades föregående års fältförsök i Sikfors, Piteälven.

I Hednäs testades en lite mindre lockvattenanordning som flyter i vattenytan mha "flytbryggor", se figur 9. Hednäs kraftstation är ett mindre kraftverk än Sikfors kraftstation. Ingången till fisktrappen vid Hednäs är belägen precis vid turbinutloppet. Max flöde genom kraftverket är 16 m³/s. Lockvattenanordningen i Hednäs är 0.5 m bred, 2 m lång och 1.2 m djup. Förhöjningen i anordningen är 0.65 m hög. Det placerades tre kameror på anordningen,

en inuti för att se fisk som simmar igenom och två på utsidan för att se fiskar som simmar vid sidan av anordningen. Det visar sig dock att det var svårare än väntat att placera lockvattenanordningen i utloppet från Hednäs kraftstation. Efter endast tre dagars mätningar var anordningen helt sönderslagen och en av kamerorna trasig. Fältförsöket i Hednäs avbröts. Då mycket av problemen i Hednäs beror av utformningen på flytdonen fick två grupper i kursen "ingenjörskonst" i uppgift att utforma nya flytdon till lockvattenanordningen. Grupperna kom fram till att flytdonen bör vara formade som båtskrov med köl. Kursen ingenjörskonst är en kurs som läses på maskinteknik programmet och industriell arbetsmiljö.



Figur 9: Flytande lockvattenanordning vid Hednäs kraftstation i Åbyälven.

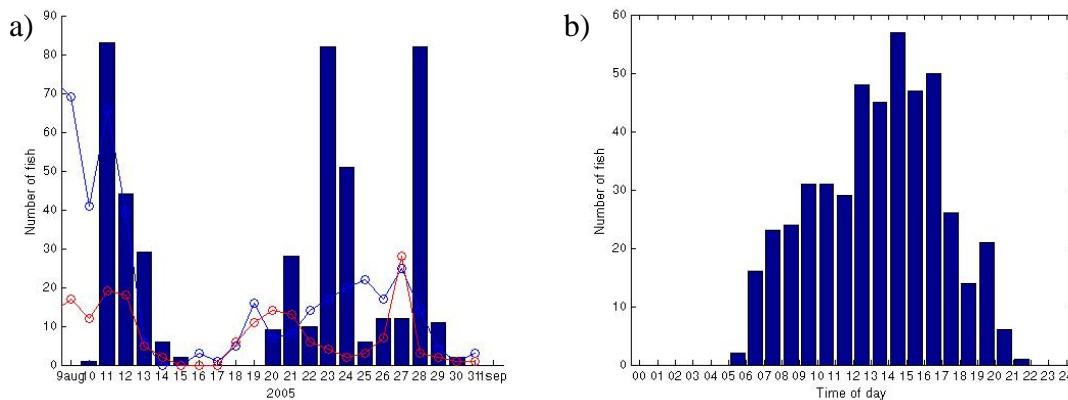
I Sikfors repeteras försöket från föregående år med några förändringar. Lockvattenanordningen målas helt svart för att inte skrämman fisken (jmf figur 10a), den låg i vattnet dygnet runt och togs endast upp en gång per vecka för byte av förhöjning. Försöket pågick under tre veckor (9/8-1/9). Första veckan används förhöjningen (9-17 Augusti), andra veckan används inte förhöjningen (20-25 Augusti) och sista veckan används förhöjningen igen (25 Augusti till 1 September). Under de dagar som man tittar till försöket mäts även siktdjupet. Även i Sikfors används undervattenskamera för att se om någon fisk simmar igenom lockvattenanordningen. Då inget extraljus använts till kameran i anordningen går det ej att se vad som sker i anordningen under natten (21.00 till 04.00). Filmen granskades och det noterades hur många fiskar som passerade genom anordningen. Endast de fiskar som simmar igenom från rätt håll tas med i statistiken. Fiskar som simmar igenom år fel håll eller vänder och simmar ut räknas inte. Det passerade totalt 470 fiskar genom lockvattenanordningen under dessa veckor. Antalet fiskar som simmade igenom jämförs med hur mycket fisk som passerade fisktrappen som är placerad vid dammen och resultatet visas i figur 11a. Antalet fiskar som simmade genom anordningen följer samma trend som de som simmade genom fisktrappen, men det syns ingen tydlig trend att det simmar fler fiskar när förhöjningen sitter i jämfört med när det inte sitter någon förhöjning i. Det syns inte heller någon trend mellan antalet fiskar och siktdjupet. Figur 11b visar hur mycket fisk som simmade igenom anordningen vid olika tidpunkter på dygnet; aktiviteten är störst mellan 12 och 17 på dagen. Vid jämförelse med föregående år ses att mycket mer fisk simmade igenom anordningen år 2005. Detta indikerar att färgen på anordningen är det som gör att fler fiskar simmade igenom.

Då fiskarna endast räknas mha en kamera kan man diskutera huruvida det är samma fisk som simmar igenom anordningen flera gånger, eftersom fisken inte är märkt. Det går dock att känna igen vissa av fiskarna på olika sätt såsom skador på kroppen. Figur 10b visar en fisk som har

fyra tydliga märken bakom huvudet. Denna fisk simmade igenom anordningen flera gånger. Fältförsöken vid Sikfors kraftstation kommer att presenteras i en vetenskaplig tidskrift.



Figur 10: Lockvattenanordning vid Sikfors kraftstation. Anordningen är placerad i utloppet från turbinerna (a), bild (b) visar en fisk som simmar igenom anordningen.



Figur 11: Antalet fiskar som simmar genom lockvattenanordningen sommaren 2005. a) Antal fiskar som simmar genom anordningen per dygn under hela mätperioden. Blå ringar visar hur många laxar som simmar igenom fisktrappen i Sikfors och röda ringar visar hur många havsöringar som passerar genom fisktrappen. b) Antal fiskar per timme för hela försöket.

Framtid

Trots att programmet "Vattenkraft – miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten" tar slut 051231 kommer projektet "Anordning för lockvattenströmmar vid vattenkraftverk" att fortsätta våren 2006. Under våren kommer två vetenskapliga artiklar att skrivas, en som redogör modellförsöken och en som redogör fältförsöken. Projektet avslutas i början av sommaren 2006 med att Elianne Wassvik avlägger för licentiat examen.

Projektets mål och måluppfyllelse

Projektet syftar till att utveckla en optimal anordning för acceleration av strömningen från en turbin (eller minimitappning) och via fältförsök utröna fiskens benägenhet att välja denna ström.

Genom mätningar på en modell av lockvattenanordningen i lab har det visats att det är möjligt att lokalt öka hastigheten mha en förhöjning. Hastigheten ökades med 38% i jämförelse med omgivande hastighet. Kompletterande mätningar har vidare visat att den ökade hastigheten är noterbar 18d (vattendjup över förhöjningen) efter anordningen.

Genom fältförsök har fiskens benägenhet att välja lockvattenanordningen undersökts. Försöken har visat att anordningen måste vara mörk till färgen. Försöken har inte visat att fisken föredrar lockvattenanordning med förhöjning i jämfört med anordningen utan förhöjning. Resultaten pekar däremot på att attraktionskraften är lika stor med som utan förhöjning. Vid fältförsöket i Sikfors observerades en uppstyrning av strömningen genom anordningen utan förhöjning. Detta kan vid ställen som Sikfors där strömningen är speciellt kaotisk attrahera fisken på samma sätt som hastighetsökningen. Det krävs dock fler försök för att kunna bevisa detta.

Projektets resultat i förhållande till programmets övergripande mål och syfte

I projektet har testats om vattenhastigheten i en ström lokalt kan ökas endast genom utformningen på anordningen. Denna del av projektet har undersökts mha modell i labskala och strömningstekniska mätinstrument så som laser Doppler velocimetri. Fiskens benägenhet att välja lockvattenanordningen har undersökts i fält. Projektet har en tydlig tvärvetenskaplig karaktär då det är uppdelat i en strömningsteknisk del med utformning av lockvattenanordningen, och en biologisk del med fältförsök där fiskens benägenhet att välja lockvattenanordningen undersöks. Detta har lett till att nya kontakter har knutits till LTU, så som Fiskeriverket och de andra universiteten knutna till programmet. Detta har även lett till att ett nytt kompetensområde skapats på avdelningen för strömninglära, LTU, som dessutom kompletterar den redan starka vattenkraftsprofilen. Projektets tvärvetenskapliga karaktär har även en maknadsföringsmässig potential. Många projektkurser på LTU har knutits till projektet där studenter från maskinteknik, teknisk fysik, industriell arbetsmiljö och arena jordens resurser har arbetat med frågor kring projektet. Projektet väcker stort intresse hos studenterna och projekten är knutna till kurser från första året till avslutningskurser i årskurs 4.

Resultatet från första mätningen i lab presenterades vid "Fifth International Symposium on Ecohydraulics" i Madrid, Spanien och resulterade även i ett examensarbete. Resterande arbete kommer att presenteras i vetenskapliga tidskrifter och en licentiatavhandling.

Nationellt och internationellt samarbete

Till projektet har knutits en nationell styrgrupp med representanter från fiskeriverket, Hedens laxodling, Vattenfall och andra projekt i programmet (från SLU och CTH).

I oktober 2003 hade vi besök av Reidar Grande, tidigare anställd vid direktoratet för naturförvaltning i Norge. Vid besöket höll Grande ett seminarium om fisktrappor och lockvattensanordningen diskuterades med honom. Grande räknas idag som den store internationelle auktoriteten för konstruktion av fisktrappor.

Den 12-17 september 2004 deltog Elianne Wassvik och Fredrik Engström i "Fifth International Symposium on Ecohydraulics" i Madrid, Spanien. Wassvik deltog även i Pre-Symposium training course den 10 september. Presentation av konferensbidraget skedde muntligt och bidraget finns med i proceedings (se nedan).

Den 26 november 2004 anordnades ett styrgruppsmöte, där sommarens försök diskuterades. Deltagare var; Jan-Erik Almqvist (Uppfinnare), Cristian Andersson (Elforsk), Lars Bergdahl (Chalmers), Fredrik Engström (LTU), Håkan Gustavsson (LTU), Thomas Hederyd (Länsstyrelsen, ersätter Dan Blomkvist), Allan Holmgren (LTU), Ingemar Holmström (Skellefteå Kraft), Ture Johansson (Vattenfall, Hedens laxodling), Karl-Erik Nilsson (Fiskeriverket, ersätter även Ingemar Berglund), Bo Sundström (Länsstyrelsen) och Elianne Wassvik (LTU). På mötet diskuterades bl.a. om en ny plats för fältförsöken vore lämpligt, där det skulle vara lättare att studera hur mycket fisk som valde att simma genom slussen och hur mycket fisk som valde att simma förbi.

Den 7-10 April 2005 deltog Elianne Wassvik i "NoWPAS-Nordic Workshop for PhD students on Anadromous Salmonid Research" i Agdenes, Norge. Presentation skedde muntligt.

Den 13-15 juni 2005 deltog Elianne Wassvik i "Svenska Mekanikdagar" i Lund. Presentation skedde muntligt.

Den 28 november 2005 anordnades ett styrgruppsmöte, där projektet diskuterades. Speciell vikt lades vid att diskutera fältförsöken 2005 och eventuella fortsatta fältförsök. Deltagare var; Jan-Erik Almqvist (Uppfinnare), Cristian Andersson (Elforsk), Fredrik Engström (LTU), Håkan Gustavsson (LTU), Allan Holmgren (LTU), Ingemar Holmström (Skellefteå Kraft), Ture Johansson (Vattenfall), Karl-Erik Nilsson (Fiskeriverket) och Elianne Wassvik (LTU).

Vetenskapliga resultat

Konferensbidrag

- I. Wassvik E.M. & Engström T.F. 2004, Model test of an efficient fish lock as an entrance to fish ladders at hydropower plants. Proceedings of the V International Symposium on Ecohydraulics Vol. 2, pp. 915-920.

Examensarbeten

- II. Wassvik E. (2004). *Model test of an efficient fish lock as an entrance to fish ladders at hydropower plants*. Master's thesis 2004:158, Luleå University of Technology, Luleå.

Övrigt (proceedings, populärvetenskapliga artiklar, rapport m.m.)

- III. Perman M., Sandqvist A., Stenvall J., Forsell J. & Öhrvall F. (2003). *Lokal Strömningsacceleration*. Projektkurs i vattenkraft, Luleå tekniska universitet.
- IV. Wassvik E. *Fish lock as an entrance to fish ladders at hydropower plants*. NoWPAS (Nordic Workshop for PhD students on Anadromous Salmonid Research) 7-10 April 2005, Agdenes, Norway.
- V. Wassvik E. *Anordning för lockvattenströmmar vid vattenkraftverk*. SMD (Svenska Mekanikdagar) 13-15 Juni 2005, Lund, Sverige.

Referens

1. Rivinoja P. *Migration Problems of Atlantic Salmon (Salmo salar L.) in Flow Regulated Rivers*. Doctoral Thesis 2005:114, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.