Granö fiskavledare

Simon Karlsson, Jonas Christiansson & Olle Calles

Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap

Biologi

FORSKNINGSRAPPORT | Karlstad University Studies | 2015:10

Granö fiskavledare

Simon Karlsson, Jonas Christiansson & Olle Calles

DISSERTATION | Karlstad University Studies | 2015:10

Granö fiskavledare

Simon Karlsson, Jonas Christiansson & Olle Calles

FORSKNINGSRAPPORT

Karlstad University Studies | 2015:10

urn:nbn:se:kau:diva-34985

ISSN 1403-8099

ISBN 978-91-7063-621-9

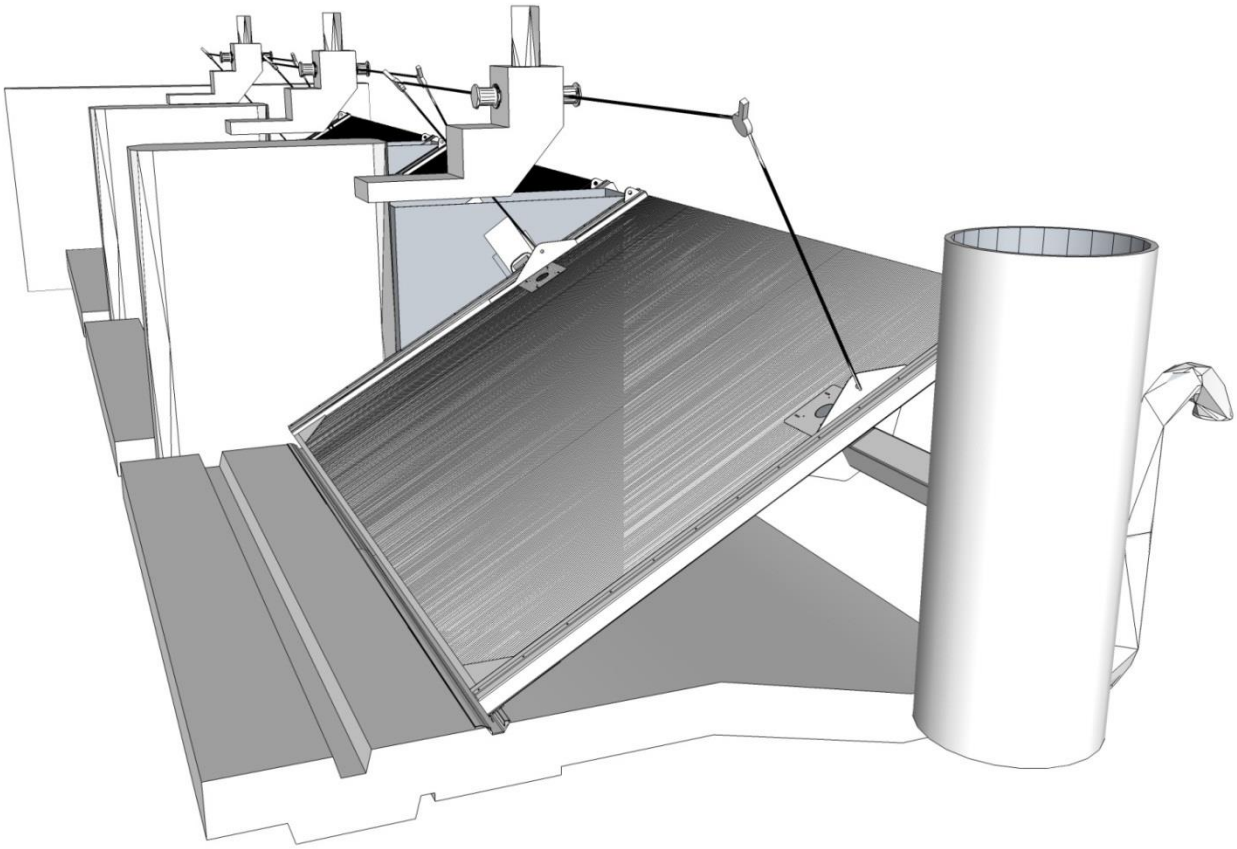
© Författaren

Distribution:
Karlstads universitet
Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap
Institutionen för miljö- och livsvetenskaper
651 88 Karlstad
054 700 10 00

Tryck: Universitetstryckeriet, Karlstad 2015

WWW.KAU.SE

GRANÖ FISKAVLEDARE



Simon Karlsson[1], Jonas Christiansson[1,2], Olle Calles[1],

[1] Karlstads Universitet
[2] Elghagen Fiskevård

Sammanfattning

Utvinning av vattenkraft från Granö kraftstation påbörjades i slutet av 1950-talet. Ålen har sedan dess varit hindrad att passera genom kraftverket av en ålspärr bestående av ett finmaskigt och höglutande nät under ålens vandringssäsonger. Den alternativa vägen runt stationen har varit med spillvatten eller ner i den gamla ålkistan placerad i intagskanalen. Det är okänt hur många ålar som faktiskt vandrat ut med spillvattnet, men fångsterna i den gamla ålkistan har varit begränsade och mängder med ålar har dött på nätet. Ålen är nu akut hotad och åtgärder att mildra kraftverkens negativa inverkan på utvandrande blankål har högsta prioritet.

Till följd av problem med igensättning av ålspärren uppstod ett dammbrott 2010. För att öka dammsäkerheten och effektiviteten för åluppsamling designades och uppfördes en ny fiskavledare med åluppsamlingsanläggning 2011. Granö fiskavledare är unik i sitt slag då den har intagsgaller av kompositmaterial, justerbar lutning (30-40°), samt flyktöppningar som leder till en uppsamlingsbur. Vattnet från uppsamlingen pumpas tillbaka till intagskanalen, för att undvika produktionsförluster i kraftverket.

En stor del av utvärderingen bestod i märkning och spårning av blankål i anslutning till avledaren. Märkningsförsöken under 2012 och 2013 (N=284) visade att endast en liten proportion av fisken hittar flyktöppningarna och kommer till uppsamlingsburen. En undersökning av skadeförekomsten hos ålar som fångats i avledaren (N=475), jämfört med ålar fångade i ett referensfiske längre uppströms (Havbältan) visade att den nya avledaren orsakar skador. Skadefrekvensen var 56,2% vid referensfisket att jämföra med 68,0% vid avledaren, där det senare kunnat härledas till fysisk kontakt med olika delar av avledaren och uppsamlingsburen.

Majoriteten av den radiomärkta fisken ankom till avledaren och totalt återfångades 15 individer (5,3%). I ett historiskt perspektiv präglades de två studieåren av låg ålutvandring och trots de låga fångsterna i den nya avledaren, har majoriteten av ålen (96,4%) hindrats från att passera Granö kraftstation och därmed besparats en hög skaderisk vid passage av både Granö kraftverk samt de ytterligare sex kraftverken belägna nedströms. Hydrauliska mätningar i flyktöppningarna visar att vattenhastigheten och därmed flödet genom dem varit varierande och generellt låg. Jämfört med vad som rekommenderas i litteraturen var det totala flödet genom avledarsystemet lågt i förhållande till totalflödet genom gallren och kraftverket, vilket i kombination med den begränsade ålutvandringen under studieåren sannolikt orsakat de låga fångsterna och återfångsterna av ål. Sammantaget har den nya avledaren avsevärt minskat dödligheten för blankål vid Granö kraftverk och därmed även kraftverken nedströms, men för att öka mängden blankål som oskadd når havet måste dess fångsteffektivitet förbättras.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 3

Uppdraget 7

Introduktion 9

Material och metoder 13

Områdesbeskrivning 13

Granö fiskavledare 16

Galler – lutning och inställningar 16

Bur, buområde, observationsbord och sump 18

Radiotelemetri och märkning 21

Funktionalitet 26

Resultat 29

Radiotelemetri och märkning 29

Gallrets stoppande effekt på blankål (fråga 1) 29

Attraktionseffektivitet intagskanal (fråga 2) 29

Passageeffektivitet avledare (fråga 3) 31

Passageeffektiviteten och överlevnaden för Granö kraftverk och kopplingen till vägval (fråga 4) 32

Fördröjning vid passage (fråga 5) 33

Funktionalitet 35

Skaderisk och fördröjd mortalitet (funktionsfråga A) 35

Driftsäkerhet, underhåll, fallförlust, isbildning och insektspåväxt (funktionsfråga B) 36

Hydrauliska egenskaper och förbättringar (funktionsfråga C) 37

Diskussion 45

Förslag till modifieringar av Granö fiskavledare 48

Etik 51

Erkännanden 51

Referenser 53

Uppdraget

Mörrumsån är ett av de vattendrag som är prioriterat i den svenska ålförvaltningsplanen och branschens egna åtagande inom ramen för Krafttag ål. I samband med reparation av dammen i Granö 2011 byggdes en ny anordning för att förhindra att ål kommer fram till kraftverket och skadas i turbinerna. Tidigare ålgaller ersattes med ett rörligt lutande 18 mm ålgaller i glasfiber med öppningar för ålen som leder den till en fångstbur.

Genom att fånga och flytta blankålar förbi kraftverken i Mörrumsån förväntas överlevnaden öka och därmed bidra till att uppfylla uppsatta mål i Krafttag ål och den nationella förvaltningsplanen för ål. Anordningen som nu finns är en nyutveckling av tidigare liknande installationer som utvecklats och följs upp i samarbete med Karlstads universitet. Den utvärdering som Karlstad Universitet har genomfört för den nya anläggningen i Granö har varit viktig för att få kännedom om fångsteffektivitet och funktion i övrigt samt att identifiera förbättringsmöjligheter.

Åtgärden har samfinansierats av Havs- och vattenmyndigheten ”Bidrag till Karlstads universitet för projektet "Ålavledare Granö" (NV-02598-11)” samt E.ON vattenkraft AB. Utvärderingen av Granö ålavledare 2012-2014 har finansierats av medel från försäljning av Bra miljövalsel, vars utdelning godkänns av Svenska Naturskyddsföreningen. Kunder till E.ON som gör ett aktivt miljöval och väljer Bra Miljöval el från vattenkraft, bidrar dels till att förnybar och klimatneutral elproduktion utvecklas och ökar, men också till studier av varför ålen minskar i antal.

Introduktion

Den Europeiska ålens (*Anguilla anguilla*) situation är mycket allvarlig och mängden ål minskar snabbt. Under mitten av 1970- talet kunde man skönja en minskning av rekryterande glasål och i dag återkommer endast några få procent av det som observerades då till svenska vattendrag (Dekker *et al.*, 2011). Ålen är en diadrom art vilket innebär att den nyttjar såväl sötvatten som saltvatten under sin livscykel. Efter att leken ägt rum i lekområdena i Sargassohavet driver de nykläckta ållarverna (leptocephali) över Atlanten mot sina uppväxtområden i Europa. Under den långa transporten utvecklas ållarven till glasål och när den når de europeiska kustområdena pigmenteras den och övergår då till att kallas ålyngel (Eng. elver). Vissa ålar stannar kvar i havet, medan andra vandrar upp i sötvatten eller periodiskt rör sig mellan de två miljöerna under den efterföljande tillväxtperioden som kallas ”gulålsstadiet” (Calles *et al.*, 2010). Blankålarna vandrar nedströms mot havet för att korsa Atlanten och föröka sig i Sargassohavet (Aarestrup *et al.*, 2009; Tesch, 2003). Nedströmsvandringen mot havet innebär nya faror och vandringshindren orsakar ofta fördröjningar och hög risk för predation och skador. Många av dem skadas eller dör på kraftverkens intagsgaller (Calles *et al.*, 2010; Russon *et al.*, 2010b), i turbinerna (Calles *et al.*, 2010; Montén, 1985) och av predatorer (Eklöv, 2010). Skaderisken vid kraftverken beror på många olika faktorer, t.ex. gallrets storlek, lutning och spaltbredd, samt kraftverkets fallhöjd och turbinernas rotationshastighet och typ. Den totala blankålsdödligheten kan vara allt från obefintlig till total (Calles *et al.*, 2010; Carr and Whoriskey, 2008). Behovet av åtgärder som underlättar ålens passage av kraftverk och andra hinder bedömts som mycket angeläget (Dekker, 2003; Wickström *et al.*, 2008). Samtidigt finns ett allt större behov i samhället av tillgång till förnyelsebar och klimatneutral elproduktion i form av vattenkraft. Det är därför viktigt att optimera lösningar så att det gynnar såväl vattenkraftproduktionen som möjligheterna för ål.

En EU-förordning (1100/2007) med avsikt att skydda det europeiska ålbeståndet har antagits och som ett led i denna process har Sverige upprättat en ålförvaltningsplan som bl.a. syftar till att 90 % av all blankål som för närvarande produceras i svenska vatten ska överleva och bidra till reproduktionen (Anonymous, 2008). Detta skall uppnås genom nedskärning av fisket, minskad dödlighet i kraftverk och ökad utsättning av importerade ålyngel. Det långsiktiga målet är att 40% av den naturliga produktionen ska nå havet. I dagsläget är dock kunskapsläget sådant att man inte vet hur man ska utforma de åtgärder som krävs för minskad dödlighet vid kraftverkspassage och kunskap inom detta område är efterfrågat (Larinier, 2008).

Åtgärder vars syfte är att minska mortaliteten hos blankål vid vattenkraftverk består i att erbjuda ålen en alternativ väg förbi hindret. Sådana åtgärder kan bestå i att man låter ålen själv hitta passagen i fråga genom t.ex. omfattande spill, men oftast ökar man sannolikheten för att de hittar rätt genom att anlägga en beteendemässig eller mekanisk avledare. Det är ungefär lika vanligt att man låter ålen vandra vidare, som att man samlar

ihop dem och transporterar dem förbi samtliga vandringshinder. Mekanisk avledning består av ett hinder som fisken inte kan passera och som även leder/tvingar fisken till den plats där flyktöppningen är belägen utan att skada fisken (Calles *et al.*, 2012; Odeh, 1999). Under tidigt 1900-tal var man medveten om att ett för högt tryck på intagsgallren kunde resultera i att fisken klämdes fast och dog (Montén, 1988), men trots det är det ett vanligt problem i dag att man anlägger små fingaller i turbinintag med höga vattenhastigheter, vilket får till resultat att många fiskar fastnar och dör (Calles *et al.*, 2010). Dessutom saknar många sådana fingrindar flyktöppningar, vilket innebär att fisk som hindras från att passera genom gallret saknar en alternativ passage. Man har jobbat länge med avledare i andra länder, t.ex. USA (Odeh and Orvis, 1998), Frankrike (Larinier and Travade, 1999; Larinier and Travade, 2002; Travade *et al.*, 2010a) och Tyskland (DWA, 2005), men i Sverige uppfördes och utvärderades den första fysiska avledaren först 2008 i Ätran (Calles and Bergdahl, 2009; Calles *et al.*, 2013a).

Principen för mekanisk avledning är man utnyttjar det faktum att vattenhastigheten genom galler minskar med ökad yta, kan en utökad galleryta minska risken för fastklämning. Dessutom minskar risken för fastklämning även med en minskad lutning, eftersom fisken trycks längs med ett flackt galler, men sugs fast mot ett brant. Slutligen anlägger man någon form av alternativ passage i eller vid gallret, för att fisken ska kunna simma in i denna flyktöppning och undkomma gallret och turbinerna. Dessa tre egenskaper gör att chanserna till en skadefri passage ökar och i vissa fall kan även fallförlusten över gallret minskas och elproduktionen således öka (Persson and Holmberg, 2009).

Intagsgallret till Ätrafors kraftverk i Ätran hade 20 mm spalt och 63° lutning, vilket resulterade i att alla ålar längre än 680 mm fastnade och dog på gallret (Calles *et al.*, 2010). Totalt var överlevnaden <30% för de ålar som försökt passera kraftverket, vilket förändrades när man bytte ut de gamla gallren mot nya. På de nya gallren minskade man spalten till 18 mm, men sannolikt bestod den viktigaste skillnaden i att gallerytan ökades och dess lutning minskades till 35° och sex flyktöppningar placerades i gallrens överkant ca en meter under ytan. Risken för fastklämning försvann och inte en enda blankål som ingick i studien fastnade. I stället hittade >80% ut i någon av gallrens sex flyktöppningar och den totala överlevnaden ökade till >90% (Calles and Bergdahl, 2009; Calles *et al.*, 2013a). Nästa låglutande galler som anlades var vid Övre Finsjö kraftverk i Emån där spaltvidden minskades från 20 mm till 18 mm och gallrets lutning minskades från 74 till 35°. Avledaren användes av totalt 14 fiskarter, men endast ett fåtal ålar (Kriström *et al.*, 2010). Det finns fortfarande få låglutande galler för förbättrad nedströmspassage av vattenkraftverk i Sverige, men det finns desto fler beslut tagna om uppförandet av sådana åtgärder och därmed ett akut behov av ökad kunskap om hur dessa utformas för att få en fullgod funktion.

Mörrumsån är ett av de högst prioriterade reglerade vattendragen inom den svenska ålförvaltningsplanen till följd av att man skattar den årliga produktionen av blankål till >4000 individer (Calles and Christiansson, 2012). Det huvudsakliga produktionsområdet utgörs av sjön Åsnen, vilket innebär att ålen måste passera sju kraftverk på sin väg mot havet med en i stort sett total dödlighet till följd. Sedan långt tillbaka finns därför ett krav att ålen ska hindras från att passera det första kraftverket Granö nedströms sjön där de samlas in och transporteras förbi samtliga kraftverk. Uppsamlingsanläggningen är dock gammal och ineffektiv och resulterade till följd av problem med igensättning av den s k ålspärren ett dammbrott 2010. För att öka dammsäkerheten och effektiviteten för åluppsamling designades och uppfördes därför en ny åluppsamlingsanläggning 2011. Åtgärdens utformning grundar sig på tidigare gjorda erfarenheter från anläggningarna i Ätran och Emån och består i tre låglutande kompositgaller med sex flyktöppningar. Flyktöppningarna leder via en ränna till en intilliggande uppsamlingsenhet, från vilken vattnet pumpas tillbaka till intagskanalen för att minska dess negativa inverkan på kraftproduktionen. Utvärderingen av den nya åluppsamlingsanläggningen genomfördes genom märkningsförsök 2012-2013, grundad på följande frågeställningar:

1. Har gallret en stoppande effekt på blankål?
2. Hur stor andel av blankål som vandrar nedströms kommer till intagskanalen och gallret (attraktionseffektivitet intagskanal)?
3. Hur stor andel av blankål som kommer till gallret hittar flyktöppningarna (passageeffektivitet avledare)?
4. Vad är den totala passageeffektiviteten och överlevnaden för Granö kraftverk och hur är det kopplat till vägval?
5. Inducerar avledarsystemet en fördröjning hos ålen på dess nedströmsvandring?

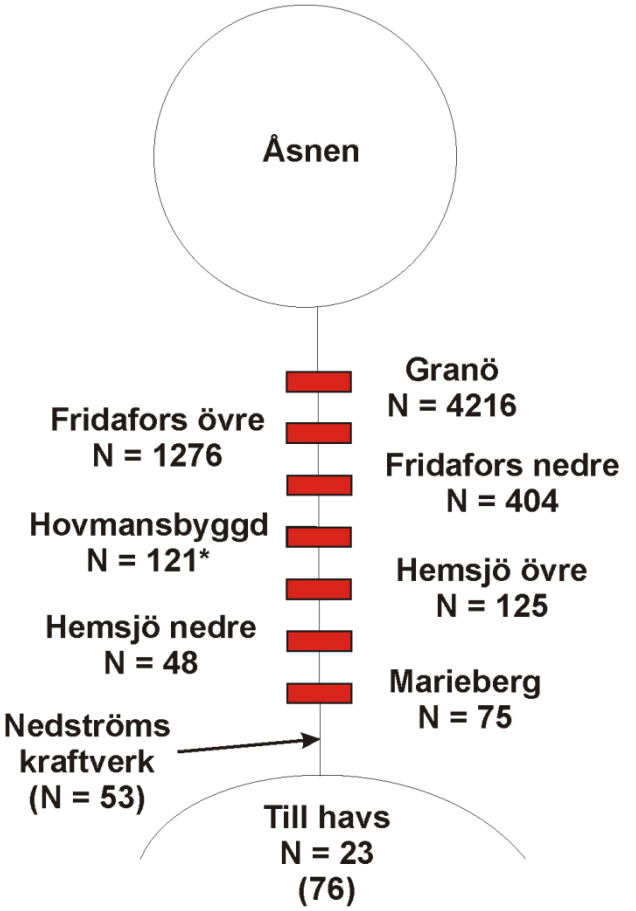
Utöver detta har funktionalitet på avledarsystemet kvantifierats genom följande frågeställningar:

A. Orsakar en passage genom avledarsystemet skador på ål och finns den en fördröjd mortalitet?
B. Hur har avledaren fungerat såsom; driftsäkerhet, underhåll, fallförlust, isbildning och insektspåväxt?
C. Kan avledarsystemet förbättras baserat på dess hydrauliska egenskaper och beteendet av nedströmvandrande ål?

Material och metoder

Områdesbeskrivning

Ålfisket i Mörrumsån nedströms Åsnen är väl känt och åtminstone 14 s.k. värmane, d v s fasta ålfisken, är kända mellan Åsnens utlopp vid Hackekvarn och ned till Slattesmåla, strax nedströms Granö (Granlund). Beståndet i Mörrumsån är i det närmaste helt beroende av utsättningar av karantäniserade ålyngel som importeras från kontinenten. De ålyngel som trots allt vandrar upp naturligt kan passera de tre nedersta kraftverken. Vid Fridafors nedre finns en ålyngelsamlare. Uppsamlat ålyngel sätts ut uppströms Granö. Den svenska ålförvaltningsplanen uppskattar den årliga blankålsproduktionen i Åsnen till drygt 4000 individer per år varav endast ett fåtal förväntas nå havet levande till följd av de nedströms belägna kraftverken (Figur 1)(Calles and Christiansson, 2012).



Figur 1. Skattad produktion av ål inom Mörrumsåns avrinningsområde enligt ålförvaltningsplanen. För varje objekt anges den totala skattade produktionen innan kraftverkspassage vid objektet i fråga. Till havs anger antalet individer som beräknas nå havet vid 70% dödlighet vid varje kraftverk (generellt antagande, inte beräknat på Granö), samt inom parentes motsvarande antal när de ålar som produceras nedströms alla kraftverk lagts till (Calles and Christiansson, 2012).

I Mörrumsån nedströms Åsnen finns, förutom ett mindre kraftverk vid Hovmansbygd, 6 st vattenkraftverk. Det nedersta kraftverket är Marieberg som ligger i den södra utkanten av Svängsta, ca 10 km från mynningen. Ytterligare en mil uppströms ligger Hemsjö nedre som följs av Hemsjö övre ungefär 1 km längre upp i ån. Mellan Hemsjö och de två kraftverken Fridafors nedre och Fridafors övre skiljer ca 10 km och mellan dessa och det översta kraftverket, Granö, ca 2 km. En majoritet av de ålar som produceras inom Mörrumsåns avrinningsområde når således först kraftverket i Granö först och det är därför där en åtgärd för uppsamling och transport borde prioriteras. För nedvandrande blankål finns även en skyldighet att fånga dessa i anslutning till Granö kraftverk, enligt:

> SÖDERBYGDENS VATTENDOMSTOL AD 42/1949, AD 64/1959
> Deldom DVA 38/1973, 25 maj 1973
> Förnyad prövning av frågan om ålfiskenedgången i Granö kraftverk.
>
> 1) Avspärrningsanordning. Det skall åligga kraftverksägaren att, till förhindrande av att ål kommer in i kraftstationens tilloppskanal, i anslutning till körbron cirka 200 m nedanför Granö regleringsmagasin ha anordnad en avspärrning över tilloppskanalen. Denna avspärrning skall vara utförd av rostfria nät med 20 mm maskstorlek samt i övrigt vara utformad enligt förslag, som godkännes av statens fiskeriingenjör;
>
> 2) Ålkista och ålfångst. Den ål, som kommer ned till Granö kraftverk, skall av kraftverksägaren fångas. För sådant ändamål äger denne använda den nu befintliga ålkistan i kraftverkets regleringsdamm

Den ålspärr som sedan länge funnits på plats i intagskanalen (Figur 2) har uppfyllt de villkor som anges i domen. Det har dock visat sig att den inte fungerar tillräckligt väl då ål dels har svårt att hitta in i den ålkista som är belägen ca 50 m uppströms spärren, dels riskerar att fastna i nätet då vattenhastigheten vid höga flöden blir alltför hög för att ålen ska kunna simma tillbaka uppströms.

Granö kraftverk är med svenska mått mätt ett medelstort kraftverk (Figur 2).

Fakta Granö kraftverk:

- Fallhöjd: 18,5 m
- Årsproduktion: 36,5 GWh
- Driftagningsår: 1958
- Medelvattenföring: 22 m^3/s
- Slukförmåga: 60 m^3/s

Figur 2. Översiktskarta av Granö kraftverk med omgivningar.

Granö fiskavledare

Galler – lutning och inställningar

Granö fiskavledare byggdes under 2011 och startades upp 14 mars 2012. Avledaren består av tre galler placerade under en bro med två flyktöppningar per galler (Figur 3). Gallren är 5,4*8,7m och utgörs av hydrodynamiskt utformade (Figur 4) gallerstag i komposit och är upphängda i stålvajrar där lutningen kan justeras mellan 1~30˚, ~35˚ samt ~40˚ (Figur 5.) vilket även gäller de sektioner som sammanbinder transportkanalerna bakom respektive galler (Figur 6). Vid korrekt inställning (Tabell 1.) blir flödet in genom flyktöppningarna som störst. Dessa inställningar identifierades med hjälp av dykare 2012-05-15. Dykarna inspekterade också gallren för springor och hål (som var större än spaltbredden i gallren, i.e. 18 mm) och fann brister på galler 1 (i.e. närmast betonghålet).

Figur. 3. En av totalt sex flyktöppningar (två per galler) i avledarsystemet i Granö, Mörrumsån.

Figur 4. Gallerelementen av hydrodynamiskt formad komposit i fiskavledaren i Granö

Figur 5. Granögallrens olika lutningsinställningar från vänster till höger: ~30˚, ~35˚ samt ~40˚.

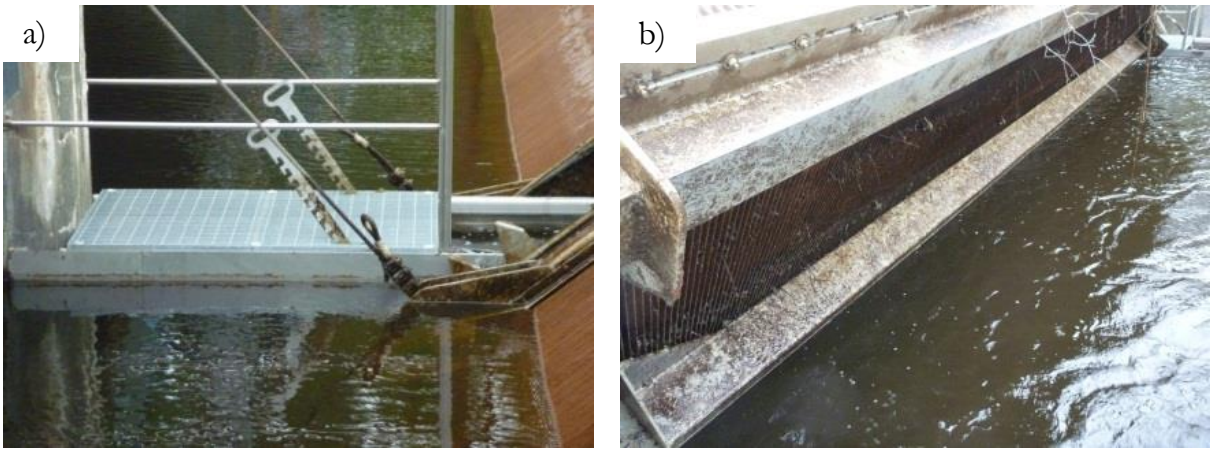


Fig. 6. a) Den sektion mellan som förbinder rännan mellan två galler med varandra (endast handtag synliga) samt, b) transportkanal bakom galler som förbinder de två flyktöppningarna i varje galler

Tabell 1. Lutningsinställningar på avledaren beroende av vilket galler (G3-G1) och gradinställning (30, 35, 40°) man vill ha samt den faktiskta lutningen.

Gallerlutning – förväntat värde	Gallerlutning – observerat värde		
	G3	G2	G1
30°	30,9	30,5	29,6
35°	35,4	35,4	35,0
40°	38,0	37,9	37,7

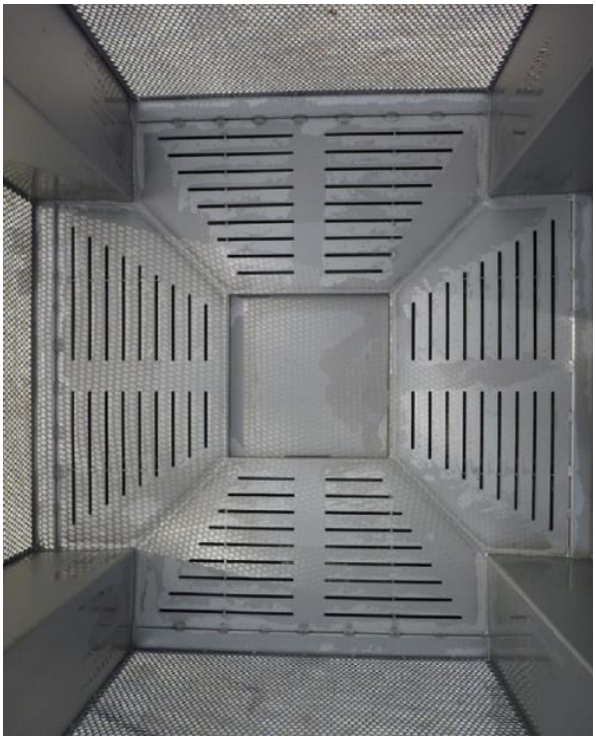
Bur, burområde, observationsbord och sump

Transportkanalen/rännan bakom gallren sammanbinder de sex flyktöppningarna med en brunn med en bur. Buren är cylinderformad med 10 mm rundjärn som väggar och har 18 mm spaltvidd (Figur 7). Ovandelen på buren är försedd med en sarg samt en falsk botten och underdelen är indelad i tre delar (Figur 7). Buren lyfts upp med hjälp av en kran och fångsten töms genom en lucka i burens botten till ett observationsbord (Figur 8-9). Fångsten sorteras och ål som inväntar transport nedströms kraftverken (T&T) placeras i en sump (Figur10).

Figur 7. Buren som fisken kommer till efter att passerat igenom avledarsystemet vid Granö, Mörrumsån. Buren är försedd med a) sarger, b) en falsk botten som c) under den falska botten är uppdelad i tre fack.

Figur 8. Skyddsräcke samt den brunn i vilken fisken från Granö fiskavledare samlas i en bur. Vid vittjning lyfts buren upp med kätting och kran.

Figur 9. Observationsbord där fångsten sorteras innan sumpning, Granö fiskavledare, Mörrumsån



Figur 10. Sump där fisken hålls innan den transporteras nedströms kraftverken (T&T), Granö fiskavledare, Mörrumsån.

Granö fiskavledare sattes i bruk för första gången 2012-03-14 och har under 2012 och 2013 varit fiskande under c. 10 av årens månader (ej januari och februari). Vittjningen av avledaren har skett av Carl-Gustav Gustavsson, från uppstart med undantag från de aktivaste vandringsperioderna vår (april-maj) och höst (september-oktober) då Karlstads Universitets personal har vittjat. Underhållet av anläggning har skötts av ONE med uppdrag från E.ON.

Radiotelemetri och märkning

För att utreda frågeställningarna undersöktes hur ålen rör sig till, vid och förbi Granö kraftverk har blankålar fångats och märkts med olika typer av sändare: radiosändare, djupdatalagringsmärken (DST) och yttre märken (Figur 11). Fisk har fångats i lanfisket i Havbältan och märkning har skett på plats med en till tre av ovan nämnda sändare/märken. Den märkta ålen sattes ut på olika platser 2012 och 2013 (Figur 12) eftersom många ålar dröjde sig kvar vid utsättningslokalen under 2012 års märkningsförsök. Utsättningsplatsen 2012 var belägen nedströms Lanefisket i Blidingsholm, 10,5 km uppströms Granö fiskavledare, medan utsättningsplatsen 2013 var i Granödammen c. 1 km uppströms Granö fiskavledare. Utsättningsplatser och de märkta individernas längd och vikt beroende av säsong och år presenteras i tabell 2.

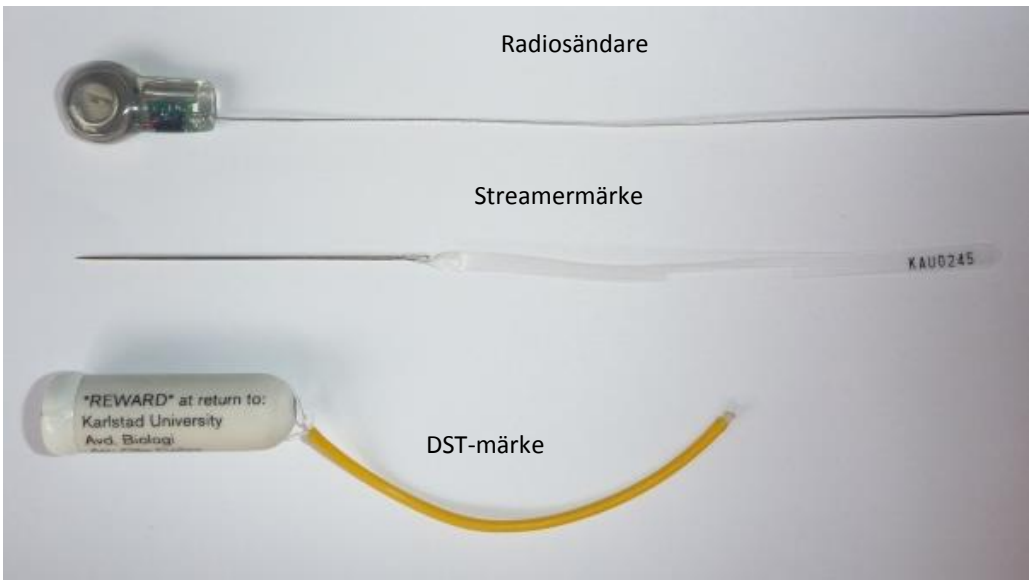
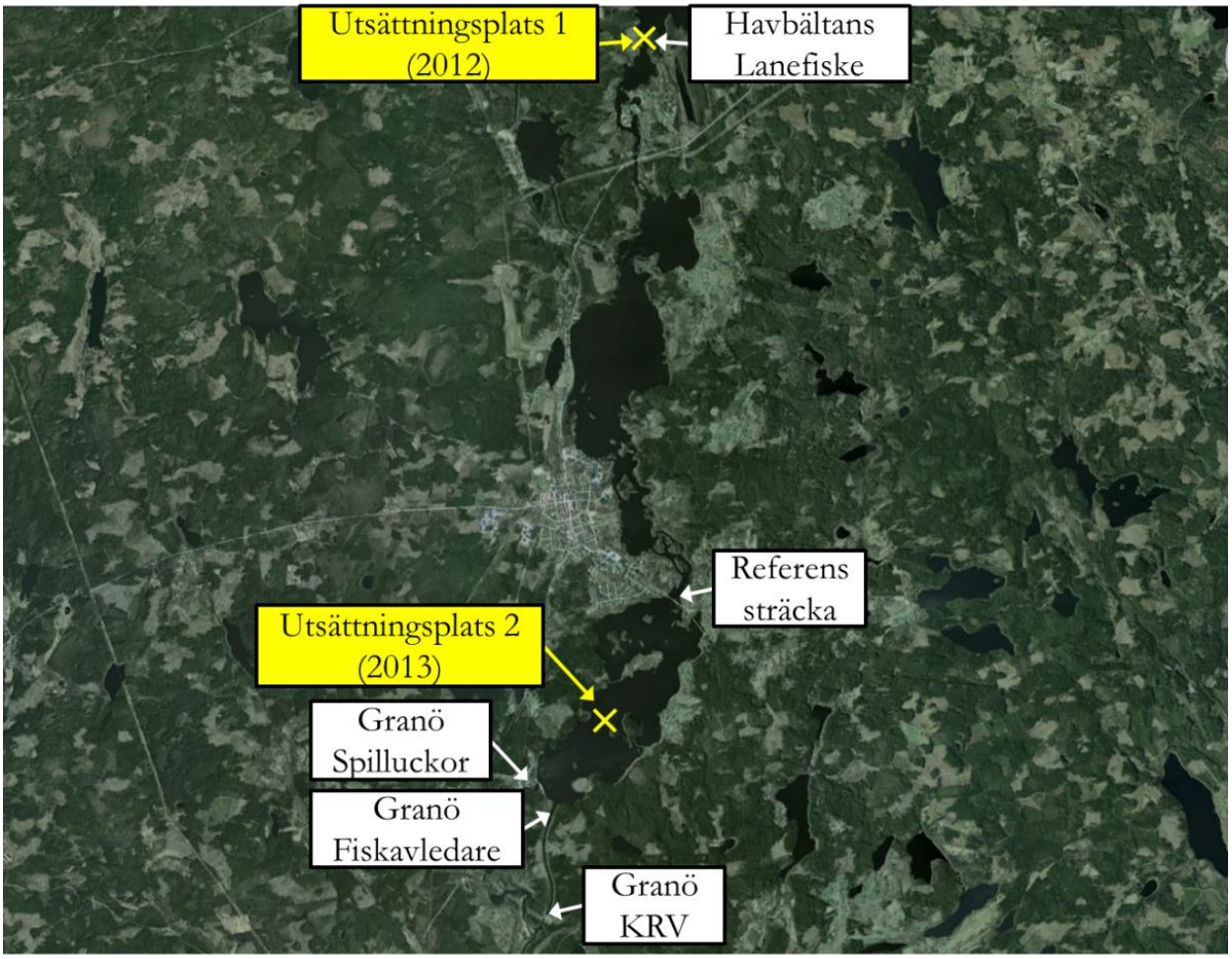


Fig. 11. De tre olika typerna av sändare/märken som använts vid utvärderingen av Granö ålavledare. Mörrumsån, 2012-2013.



Figur 12. Översikt över försökets fångstplats av blankål vid Havbältans lanefiske, referenssträcka, Granö spilluckor, fiskavledare samt kraftverk och de två utsättningsplatserna 2012 respektive 2013.

Tabell 2. Märkningsdata som medellängd och medelvikt (+- SD) av fisk beroende av utsättningsår (2012, 2013), säsong (vår, höst), utsättningsplats (1, 2) och antal ål märkta (streamer, radio, DST) samt summering av total. Granö kraftverk, Mörrumsån.

År	Säsong	Utsättningsplats	Märkning (N)			Storlek			
			Streamer	Radio	DST	Medellängd (mm)	SD	Medelvikt (g)	SD
2012	Vår	1	22	7	0	864,6	60,9	1160,7	256,7
	Höst		111	30	3	858,6	72,4	1283,3	313,7
2013	Vår	2	52	26	0	873,7	64,3	1347,9	314,5
	Höst		12	24	0	860,8	79,9	1303,2	234,5
2012 + 2013	Vår + Höst	1 + 2	197	87	3	863,6	70,2	1290,9	302,4

Radiosändarna (modell F1540 och F1810, Advanced Telemetry Systems Inc., USA) har främst tjänat till att kartlägga ålens vandringsmönster och DST-märkena (modell milliF, Star-Oddi, Island) har kompletterat med information om vilket vattendjup som ålen befunnit sig vid olika tidpunkter, vilket sammantaget givit en grov tredimensionell rörelsebana för den märkta fisken. Dessa DST-märken kräver dock en fysisk avladdning av data och återfångst är därmed nödvändig för att det ska vara möjligt. De yttre märkena (modell poly streamer tag, Hallprint, Australia) har främst syftat till att enkelt möjliggöra identifiering av individerna.

Totalt har åtta stationära radiomottagare med datalagringsfunktion (modell 4500s, Advanced Telemetry Systems Inc., USA) använts i studien (L1-L8, Figur 13-15). Varje mottagare var kopplad till minst en 4-elements (YAGI) eller en undervattensantenn (strippad koaxialkabel). Data från radiomottagarna är frekvensspecifika och registrerar signalstyrka (ett mått på det endimensionella avståndet från riktningen av antennen) och validerades uppströms och nedströms varje mottagarstation genom att sänka ned sändare i vattnet på kända positioner. DST-märkena validerades genom att sänkas ner på olika kända djup (0-12m). Den mest uppströms belägna mottagaren (L8) installerades vid en bro (c. tre km uppströms avledaren, inloppet till Granö kraftverksdamm) som visuellt bedömdes liknande som området uppströms avledaren och mottagarens syfte var att bedöma passagetid och antalet ankomster till sträckan, hädanefter kallad referenssträckan (Figur 13). Passagetiden och antalet ankomster innan passage jämfördes sedan med avledarsträckan i Granö kraftverks intagskanal då effekter som fördröjning kunde bestämmas. I Granödammen placerades en mottagare (L6) vid spilluckorna för att registrera ål som passerar genom eventuellt spillvatten (i drift vår 2012 samt höst 2013) och en i början av intagskanalen (L5) för att bekräfta fiskens närvaro i Granödammen (Figur 14). Ytterligare nedströms på östersidan av intagskanalen placerades L4 vars

detektioner registrerar ingång av ålen till intagskanalen (Figur 14). Andelen fisk som simmat in i intagskanalen av totalt närvarande fisk gav ett mått på vandringsbenägenheten och kvoten attraktionseffektiviteten för intagskanalen. Under vattnet i varje brovalv (c. fem meter uppströms avledaren) installerades L1, L2 och L3 för att detektera att ålen kommit fram till gallret (Figur 14). Kvoten mellan antalet fiskar som passerat in avledaren (och återfångats) och antalet fiskar som ankommit avledaren definierar passageeffektivitet. Passageffektiviteten utvärderades för tre scenarier, där gallrens lutning och flyktöppningarnas drift alternerades enligt nedan:

1. Normalförfarande
    a. 30˚
    b. Samtliga flyktöppningar i drift
2. Lutningsförsök
    a. Daglig alternering mellan 30 och 40˚ lutning på gallren
    b. Samtliga flyktöppningar i drift
3. Öppningsförsök
    a. 30˚
    b. Reducering av antalet flyktöppningar; En av de två flyktöppningarna i varje galler stängdes varannan dag varav det mittersta gallrets (G2) öppningar alternerades mellan höger och vänstersida stängd.

En kilometer nedströms avledaren ligger kraftverket där den mest nedströmsbelägna mottagarens position (L7, Figur 15) vars uppgift är att detektera fisk som passerat förbi avledaren genom densamma eller spillvägen. Återfångster av radiofisk i avledarsystemet samt detektioner av passerande fisk nedströms kraftverket användes till att kalkulera den totala passageffektiviteten av Granö kraftverk. Den radiomärkta fisken blev också manuellt platsbestämd (på karta inkl. GPS koordinater eller på en Ipad med GIS-pro, samt att djupet mättes) genom båtpejling minst en gång i veckan under vandringsperioderna vår (april-maj) och höst (september-oktober) samt minst en gång i månaden under sommar och under vintern vid möjlighet (beroende av isläget) mellan Åsnen och Fridafors kraftverk (Figur 1) och eventuella dödligheter av fisk orsakat av passager förbi Granö kunde bestämmas.

Figur 13. Position på den stationära radiomottagaren vid referenssträckan (L8).

Figur 14. De stationära radiomottagarnas (Lx) positioner i området runt Granö kraftverksdamm.

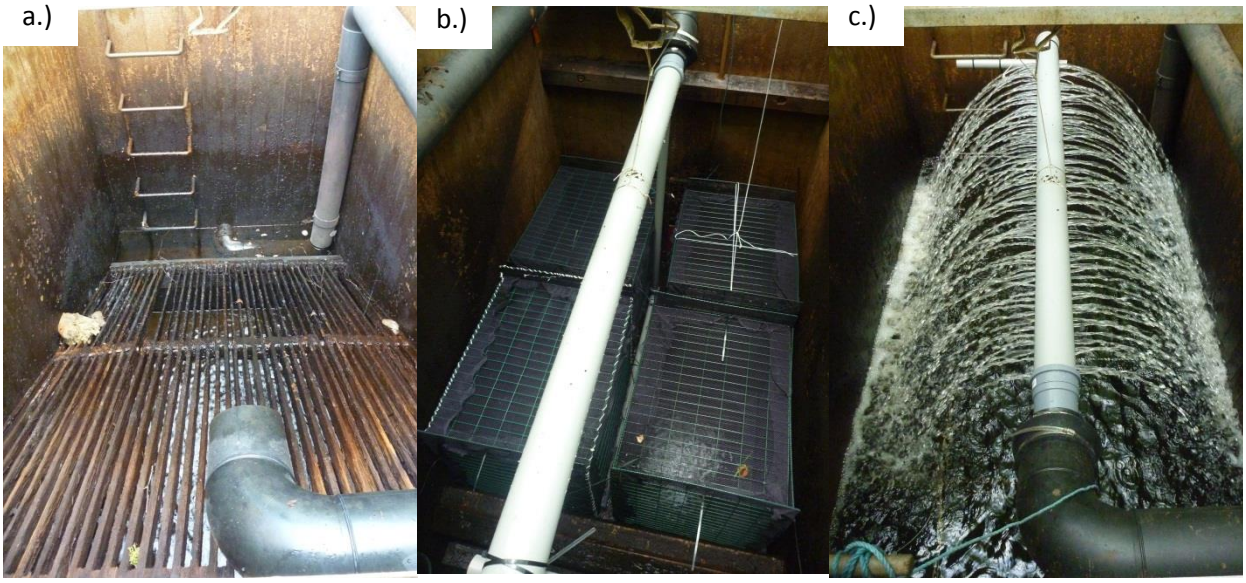
Figur 15. Översiktskarta av Granö kraftverk samt spillfårans sammanflöde med kraftverksutloppet. En stationär radiomottagare placerades i turbininloppet vid kraftverket position (L7).

Funktionalitet

Skaderisken hos ål som passerat genom avledarsystemet samt driftegenskaper av avledarsystem har utretts. Hydrauliska mätningar av intagskanalen samt i flyktöppningar har genomförts för att förbättra förståelsen för avledarens fiskledande funktion och hur den kan förbättras.

Skaderisken för fisk som passerade genom avledarsystemet undersöktes genom att jämföra skadefrekvens på fångad ål i avledarsystemet med ål fångade med lanefiske i havbältan, dels direkt vid fångsttillfället genom att visuellt bedöma skadeförekomst och i ett hållningsförsök. Hållningsförsöket genomfördes i fyra burar som placerades i den gamla ålkistan intill intagskanalen i Granö (Figur 2 och 16). För att optimera ålkistan för hållningsförsöket togs de gamla gallren togs bort och vattencirkulationen och syresättningen av vattnet förbättrades (Figur 17). Totalt ingick 35 ålar i försöket under hösten 2012 (N=20, 16/10-14/11) och våren 2013 (N=15, 12/5-10/6) som hölls i 20-30 dagar (beroende av fångstdatum). Burarna roterades en gång per vecka för att eliminera platsspecifika skillnader i ålkistan mellan grupper. Efter hållningsperioden noterades individernas kondition, vikt, längd, samt eventuell förekomst av simblåseparasiten *Angullicola crassus* kvantifierades.

Figur 16. Den gamla ålfångstanordningen vid sidan av intagskanalen

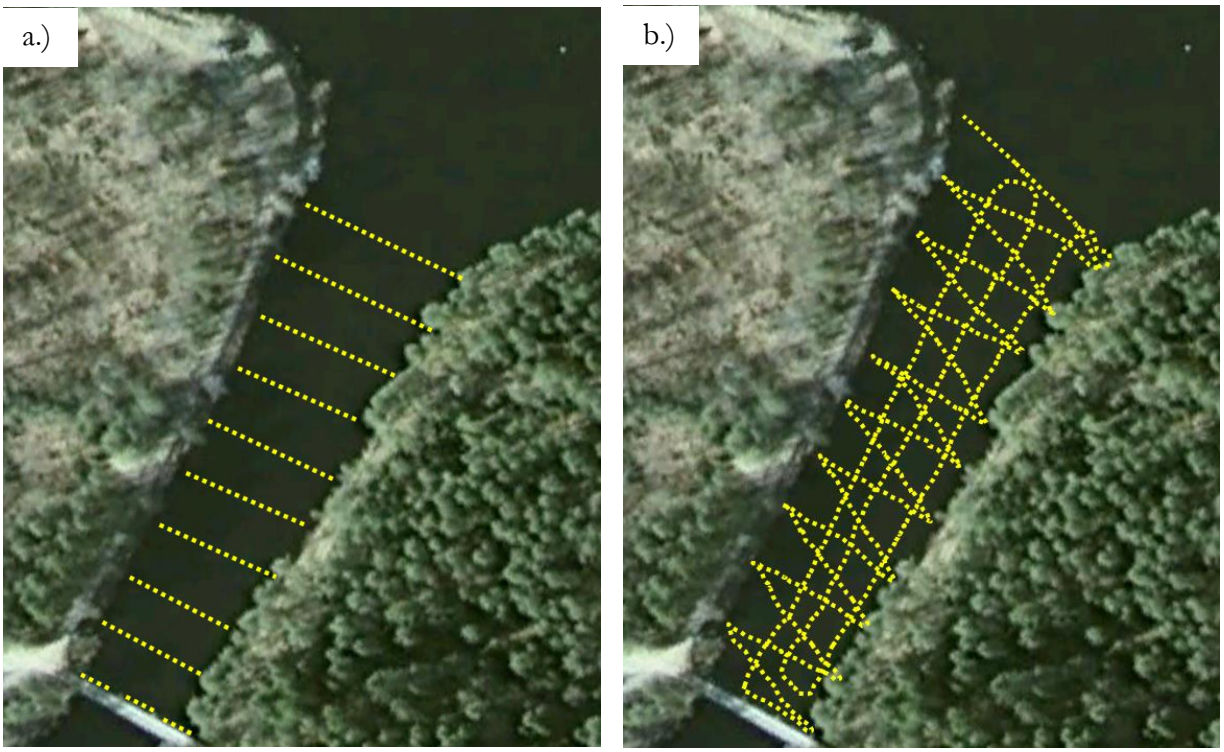


Figur 17. Gamla fångstanordningen vid intagskanalen där hållningsförsöket ägde rum. Fångstanordning utan modifikation (a.) samt monterat rörsystem som syresätter och cirkulerar vattnet över de fyra olika burarna (b.,c.)

Driftegenskaper såsom driftsäkerhet, underhåll, fallförlust, isbildning och insektspåväxt har kvantifierats genom visuella kontroller av E.ON samt samtal med underhållspersonal från ONE. Ytterligare har E.ON också bidragit med flödesdata för studieperioden.

Hydrauliska mätningarnas vars syfte att öka förståelsen för avledarens fiskledande funktion samt hur den kan förbättras har utförts enligt:

1. Uppströms avledaren med en Acoustic Doppler Profiler (ADP, M9, Sontek, US). ADPn som, med hjälp av ett rep, långsamt fördes mellan sidorna på intagskanalen samt att en batymetriskt (bottentopografi) undersökning inom vilket transekterna gjordes (Figur 18). Vattenföringen genom turbinerna var vid mätningstillfället 10,3 $m^3/s \pm 0{,}07$ SD.



Figur 18. Transekter (gulprickade streck) uppmätta med ADP i Granö intagskanal uppström avledarsystemet för att kvantifiera vattenhastigheter (m/s)(a.) samt batymetri (b.).

2. I flyktöppningarna med hjälp av en elektromagnetisk flödesmätare (modell 801, Valeport Ltd., Storbritannien). Den elektromagnetiska flödesmätaren monterades på en träställning c. 1 cm från mätytan. De elektromagnetiska polerna är placerade 2 cm upp på flödesmätarens huvud vilket gör att hastigheten mäts 3 cm vinkelrätt upp från flyktöppningarna (och gallret). Flyktöppningarna mättes under 10 sek (10 mätningar, en varje sekund) vartefter en medelhastighet och standardavvikelse visas. Mätningarna gjordes:
    a. Vid lutning 30 och 40˚ och 195mm flyktöppningsdiameter.
    b. Vid flyktöppningsdiameter 100, 150 och 195mm vid 30 ˚s lutning.
    c. Vid flyktöppningsreducering där 50% eller 100% av flyktöppningarna var öppna (195mm) och gallren inställda på 30˚.

Resultat

Under märkningsförsöken 2012-2013 ankom majoriteten av de radiomärkta ålarna vid något tillfälle till avledaren i Granö (N=55, 63,2%). Av de totalt 284 märkta fiskarna återfångades 15 ålar i avledaren (5,3%). Störst andel återfångster förekom under hösten 2013 där två streamermärkta (16,7%) och två radiomärkta ålar (8,3%) återfångades. Detta att jämföra med totalandelen över samtliga fyra säsonger av 5,6% för streamermärkt fisk och 4,6% för radiomärkt. Förutom passager i avledaren (N=4, 4,6%) observerades tre andra vägar för att passera kraftverket; 1) genom avledaren och vidare genom turbiner (N=2, 2,3%), 2) via spill (N=1, 1,1%) samt genom den öppna ålkistan i intagskanalen (N=1, 1,1%). Totalt passerade således 9,2% av de radiomärkta ålarna Granö, medan resterande 90,8% var kvar uppströms Granö när sändarens batteri tog slut (39,2%) eller när studien avslutades (60,8%).

Radiotelemetri och märkning

Gallrets stoppande effekt på blankål (fråga 1)

En del i ett avledarsystem är att hindra fisken innan den kommer till kraftverket i fråga. Gallren stoppade 96,4% (53/55) av fisken som ankom till avledaren där två individer lyckades att passera genom/över (Tabell 3). I relation till totalantalet ankomster och därmed försök att passera avledaren resulterade 0,8% (2/243) av försöken i att fisken passerade utan att fångas upp. Antal försök hos de två individerna som faktiskt tog sig igenom var tio respektive två och det sista passageförsöket varade i 5 h och 2 min respektive 5 min. Dessa två ålar var 892 samt 934 mm långa och är inom ramarna för att klassas som normalstora i försöket (Tabell 2).

Attraktionseffektivitet intagskanal (fråga 2)

Utsättningsplatsen för de märkta ålarna byttes mellan 2012 och 2013 med anledning till den utdragna tiden för fisken att nå intagskanalen under 2012. Första året (2012) tog det 112dagar och 9h och 36min (median, N=22) för fisken att nå intagskanalen och det andra året (2013) reducerades tiden till 5 dagar 9 h och 36 min (median, N=39). Attraktionseffektiviteten för intagskanalen över de fyra säsongerna var 82,4% och de två högsta (94,4% och 79,2%) observerades under höstarna och de två minsta (71,4% och 76,9%) under vårarna (Tabell 4). Totalt antal ankomster till intagskanalen var 502 hos de 74 radiomärkta individerna som var i Granödammen.

Tabell 3. Ålåterfångster av olika märkningsmetodiker (Streamer, Radio, DST) beroende av år, säsong (vår, höst) samt total summering oberoende av år och säsong. Radiofiskens rörelser med ankomster till referenssträcka, Granödammen och intagskanal samt passager avledare, turbin och spill.

År	Säsong	Återfångade (N (andel))			Ankomst radiofisk (N (andel))				Passage radiofisk (N (andel))			
		Streamer	Radio	DST	Referens sträcka	Granö dammen	Intags kanalen	Avledare	Avledare	Turbin	Spill	Ålkista
2012	Vår	1 (4,5%)*	0 (0,0%)	0 (0,0%)	6 (85,7%)	6 (85,7%)	5 (71,4%)	5 (71,4%)	0 (0,0%)	1 (14,3%)	1 (14,3%)	0 (0,0%)
	Höst	6 (5,4%)*	2 (6,7%)	1 (33,3%)	18 (60,0%)	18 (60,0 %)	17 (56,7%)	17 (56,7%)	2 (6,7%)	1 (3,3%)	0 (0,0%)	1 (3,3%)
2013	Vår	0 (0,0%)*	0 (0,0%)	N/A	N/A	26 (100,0%)**	20 (76,9%)	16 (61,5%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
	Höst	2 (16,7%)	2 (8,3%)	N/A	N/A	24 (100,0%)**	19 (79,2%)	17 (70,8%)	2 (8,3%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
TOT.	Vår + Höst	11 (5,6%)	4 (4,6%)	1 (33,3%)	24 (64,9%)	74 (85,1%)	61 (70,1%)	55 (63,2%)	4 (4,6%)	2 (2,3%)	1 (1,1%)	1 (1,1%)

*Två återfångster av streamermärkt fisk gjordes under våren 2013 men kunde inte identifieras på grund av 1.) märkestapp och 2.) fisken rymde innan identifiering ** Fisken sattes ut i Granödammen och har därför analyserats som ankommen till Granödammen.

Tabell 4. Attraktions- och passageeffektiviteter för radiomärkt ål vid Granö ålavledare beroende av år, säsong (vår, höst) samt total summering oberoende av år och säsong. Överlevnad beroende av vägval (avledare, alternativa vägar).

År	Säsong Vår	Effektivitet (%)			Överlevnad (%)	
		Attrahering intagskanal	Passage avledare	Passage Granö	Avledare	Alternativa vägar
2012	Vår	71,4%	0,0%	28,6%	100,0%	100,0%
	Höst	94,4%	16,7%	22,2%	100,0%	100,0%
2013	Vår	76,9%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
	Höst	79,2%	11,8%	8,3%	100,0%	100,0%
TOT.	Vår + Höst	82,4%	8,0%	10,8%	100,0%	100,0%

Passageeffektivitet avledare (fråga 3)

Liknande variation i passageeffektiviteten för avledaren observerades där höstarna resulterade i 16,7% och 11,8%. Under våren 2012 och 2013 återfångades ingen radiomärkt fisk i avledaren och passageeffektiviteten således 0% (Tabell 4). I summering över samtliga säsonger var passageeffektiviteten 8,0% (Tabell 3) och 243 ankomster registrerades hos de 61 individerna som var i intagskanalen. Under perioderna där lutningsalternering pågick ankom endast en individ en gång till avledaren och totalt fångades 7 ålar under perioden, alla vid 30 °s lutning på gallren (Tabell 5), vilket gav en statistisk skillnad (χ^2 (1) = 9,60, $p < 0,05$), dock bör resultatet tolkas med försiktighet då förväntat värde av data < 5,0 i >20% av fallen. Under öppningsförsöket och alterneringen mellan helöppet (100%) och halvöppet (50%) ankom 10 individer till vardera behandling med totalt 52 ankomster till gallren (Tabell 5). Totalt under behandlingen med 50% öppet fångades 16 fiskar vid 10 tillfällen och åtta fiskar vid 6 tillfällen vid 100% öppet, dock ingen signifikant skillnad på förekomsten av fångst beroende av behandling (χ^2 (1) = 1,31, $p > 0,05$). En radiomärkt fisk återfångades under 50% inställningen vilket gav 10% passageeffektivitet för den behandlingen (Tabell 5). Baserat på resultaten i försöken med lutning samt öppning; att resultatet bör tolkas med försiktighet samt icke signifikant skillnad, är dessa perioder inkluderade i resultat för resterande försöksperiod.

Tabell 5. Resultat av lutningsförsöket samt öppningsförsöket med antal replikat, lutningsinställning(Lutning), öppningsinställning(Ö.I.), passageffektivitet (P.E.), antal ankomster intagskanal och individer () till intagskanal och avledare hos radiomärkta fiskar samt totalt antal fångade ålar.

Försök	Lutning	Ö.I.	Replikat	P.E.	Ankomster intagskanal	Ankomster avledare	Antal fångade ål
			(antal dygn)	(%)	Antal (N)	Antal (N)	(N)
Lutnings försök	30°		8	0,0%	5 (4)	1 (1)	7
	40°	100%	8	0,0%	3 (1)	0 (0)	0
Öppnings försök	30°		21	0,0%	45 (12)	32 (10)	8
		50%	22	10,0%	32 (13)	20 (10)	16

Passageeffektiviteten och överlevnaden för Granö kraftverk och kopplingen till vägval (fråga 4)

Antalet fiskar som ankommit till kraftverksdammen i Granö (N=74) applicerades på antalet passager förbi kraftverkskomplexet, med andra ord över samtliga vägar förbi kraftverket: i avledaren, genom avledaren och turbin, spillpassage samt genom ålkistan i intagskanalen. Den totala passageeffektiviteten för Granö var 10,8% och den högsta observerade passageeffektiviteten för en säsong var 28,6% under våren 2012 (Tabell 4). Ingen märkt fisk som släpptes ut våren 2013 passerade avledaren (0% passageeffektiviteten)(Tabell 4). Ingen mortalitetobserverades, oavsett vägval, under hela studieperioden, däremot, innan märkningsstudien påbörjades 2012 påträffades ål först på gallren när inte avledarssystemet var igång (N=5) och direkt därefter när avledaren var i drift (N=5) (2012-03-19 till 2012-03-30) (Figur 19). Efter uppstart av systemet fångades även ålar i dålig kondition och döda i fångstburen (N=2). Modifieringar gjordes då på buren för att skapa en lugnare miljö och ingen mortalitet observerades efter detta.

Figur 19. Observerade ålar på Granögallren under Mars 2012, innan telemetriundersökningens uppstart.

Fördröjning vid passage (fråga 5)

Fördröjningsförsöket pågick under 2012 då utsättningsplatsen var uppströms referenssträckan. Antalet individer som passerade referenssträckan var 23 varav endast 4 individer passerade Granö vilket försvårar jämförelser (Tabell 6). Medianpassagetiden var kortast på referenssträckan med 5 min, Granöavledaren 1 h 5 min och passage genom avledaren tog längst tid, 2 h 33 min (Tabell 6). Antal försök till passage ökade med tiden där snabbast passage genererade minst antal försök och vice versa.

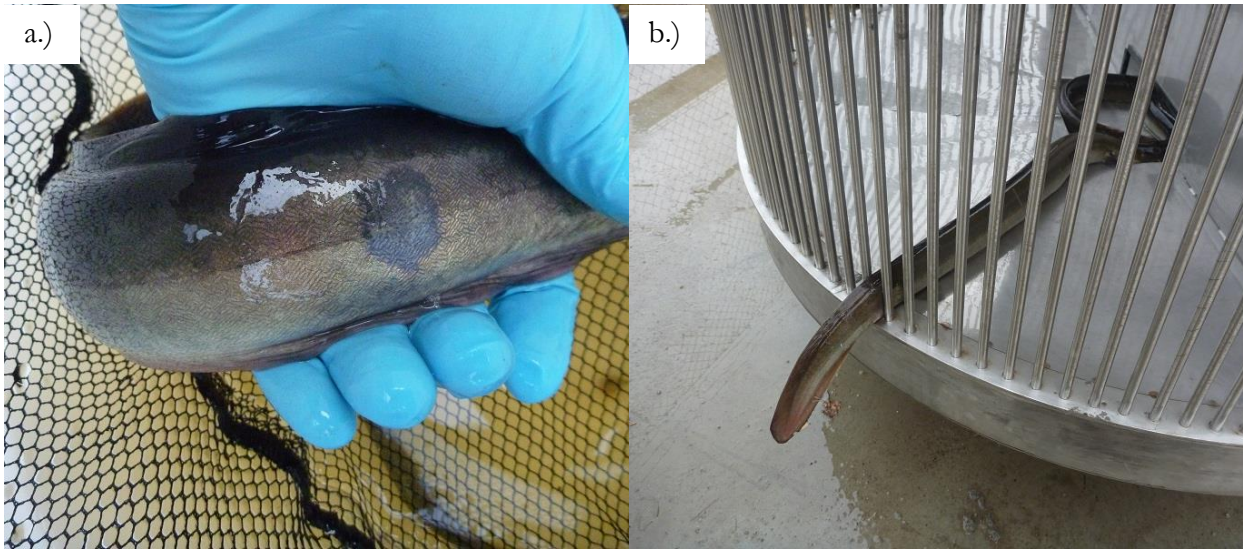
Tabell 6. Antal och andel fisk, antal försök innan passage samt tid för passage av fisk som fångades i Granöavledaren, passerade genom Granöavledaren samt som passerade referenssträckan beroende av säsong (vår, höst) samt totalt under 2012.

Säsong	Passage											
	Granöavledare				Genom Granöavledare				Referenssträcka			
	N	Antal försök innan passage (medel)	Tid för passage (median h:min)	Tid för passage (min-max)	N	Antal försök innan passage (medel)	Tid för passage (median h:min)	Tid för passage (min-max)	N	Antal försök innan passage (medel)	Tid för passage (median h:min)	Tid för passage (min-max)
Vår	0	N/A	N/A	N/A	1	10,0	05:02	N/A	6	1,0	00:09	0:04-10:51
Höst	2	2,5	01:05	0:52-1:18	1	2,0	00:05	N/A	17	1,1	00:05	0:00-161:48
Vår + Höst	2	2,5	01:05	0:52-1:18	2	6,0	02:33	0:05-5:02	23	1,0	00:05	0:00-161:48

Funktionalitet

Skaderisk och fördröjd mortalitet (funktionsfråga A)

Vid passage in i avledarsystemet utsätts fisken för en hastigt ökande vattenhastighet, ett fall mot den falska botten samt en turbulent miljö i fångstburen. Processen med direkta skador undersöktes visuellt där de 194 ålar som fångades i Granöavledaren hade högre förekomst av någon typ av skada än de 281 ålarna från Havbältan (68,0% vs. 56,2%; χ^2 (1) = 6,74, $p < 0,05$). En typ av skada som endast observerades hos ålen i Granöavledaren var skadat slemskikt och fjälltapp på sidan av bakdelen på kroppen (Figur 20a). Ytterligare påvisades det att ålen försökte ta sig ut ur fångstburen med stjärten först (Figur 20b). Eventuell stress som fisken ådragit sig som en konsekvens av passagen genom avledaren kunde inte påvisas genom hållningsförsöket då samtliga individer från båda grupperna (Granöavledare och Havbältan) överlevde samt att ingen av grupperna minskade avsevärt i vikt (Tabell 7), inte heller fanns skillnader av viktförändringen mellan grupperna $t(33) = -1,648$, $p > 0,05$. 80% av de undersökta ålarna hade förekomst av *Angullicola crassus* i simblåsan.



Figur 20. Observationer av skador på bakdelen hos ål vid Granöavledaren (a.). Dessa skador observerades inte på ål fångad i Havbältan. Försök att ta sig ut ur fångstburen med stjärten först (b.)

Tabell 7. Antal ål undersökta ålar, överlevnad och viktskillnad före och efter hållningsförsöket beroende av säsong (vår, höst) samt fångstplats (Granöavledaren respektive Havbältan) under höst 2012 och vår 2013.

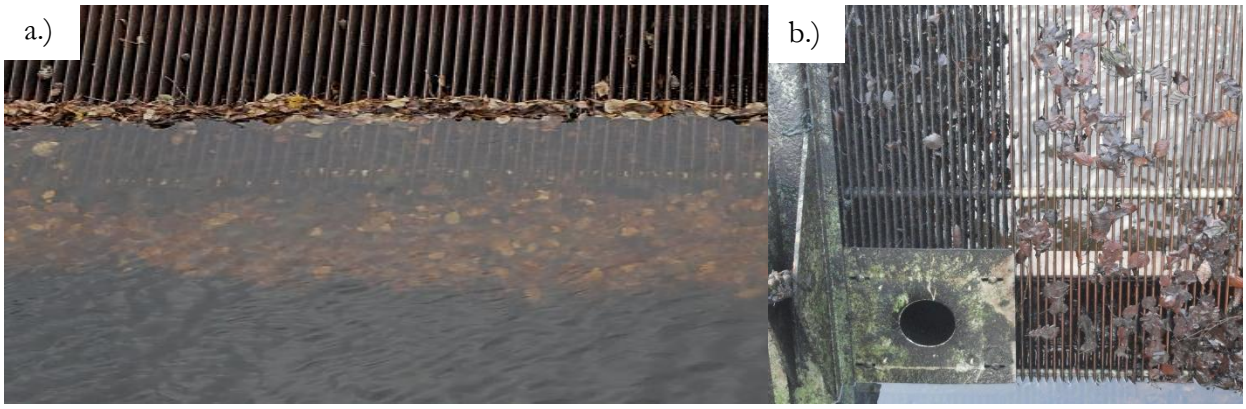
Säsong	Fångstplats					
	Granöavledare			Havbältan		
	Antal (N)	Överlevnad efter hållning (%)	Viktskillnad (g/individ)	Antal (N)	Överlevnad efter hållning (%)	Viktskillnad (g/individ)
Vår	10	100	-62,0	5	100	-70,2
Höst	10	100	131,0	10	100	14,0
Vår + Höst	20	100	34,5	15	100	-14,0

Driftsäkerhet, underhåll, fallförlust, isbildning och insektspåväxt (funktionsfråga B)

Avledarsystemet, framförallt pumpen som skapar höjdskillnaden i fångstburområdet vilket genererar ett flöde in genom flyktöppningarna, är beroende av elektrisk ström för att fungera. Strömavbrott har då lett till att avledaren inte fungerat tidvis, detta till exempel under kraftiga stormar då ålvandring kan förväntas.

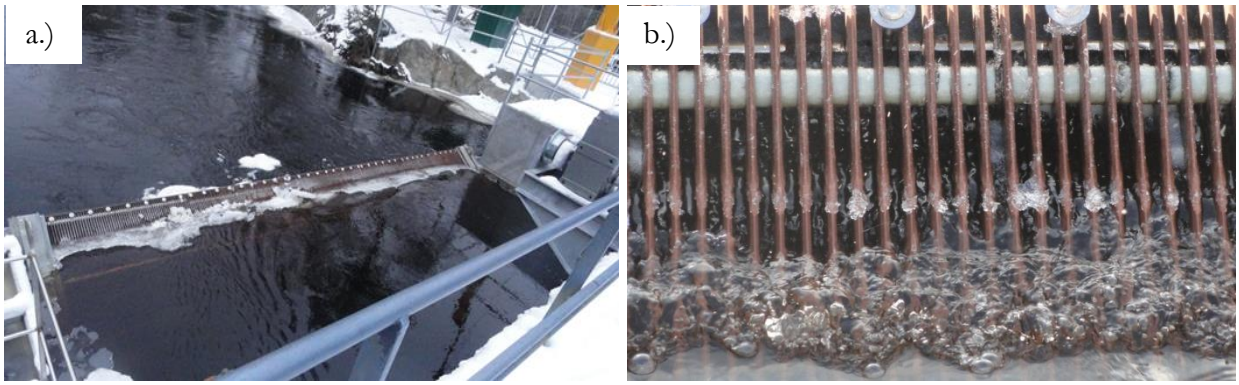
Granöavledaren kräver, bortsett från vittjning av eventuell fångst av fisk, underhåll 1 gång i veckan och rensningen av gallret görs genom att sänka ned dem mot botten vilket har fungerat tillfredställande (pers. kom. Kjell Svensson, ONE). Underhållet med den gamla lösningen utfördes med samma intervall, dock krävdes det en väsentligt större insats med kranbil för att rensa näten (pers. kom. Kjell Svensson, ONE). Det nya avledarsystemet har under utvärderingsperioden kantats av ”barnsjukdomar” där bland annat fjärrkontrollen till fångstburen gått sönder ett par gånger vilket krävt utryckningar (pers. kom. Kjell Svensson, ONE). Mer långsiktigt underhåll innefattar inspektion av dykare för att kontrollera fastsättning och springor 1 gång/år, byte av gummilister efter 15-20 år samt målning av ståldetaljer efter 25-30 år (Lennart Olsson, E.ON Vattenkraft).

Den teoretiska fallförlusten är beräknad till 1,5cm vid 60 m^3/s och 30 ˚s lutning på gallren och 2,2 cm vid 45 ˚s lutning (Lennart Olsson, E.ON Vattenkraft). Historiskt har fallförlusten uppskattats till 0,5 m under 7 månader per år, vilket motsvarar ett ungefärligt produktionsbortfall på 1,35 GWh/år (Lennart Olsson, E.ON Vattenkraft). Skräp som löv tenderade att ansamlas i ytan till c. 0,7 m djup, men skräp påträffades även i närheten av flyktöppningarna på större djup (Lennart Olsson, E.ON Vattenkraft) (Figur 21).



Figur 21. Ansamling av skräp i ytdelen på Granögallren (a.) samt vid flyktöppning (b.).

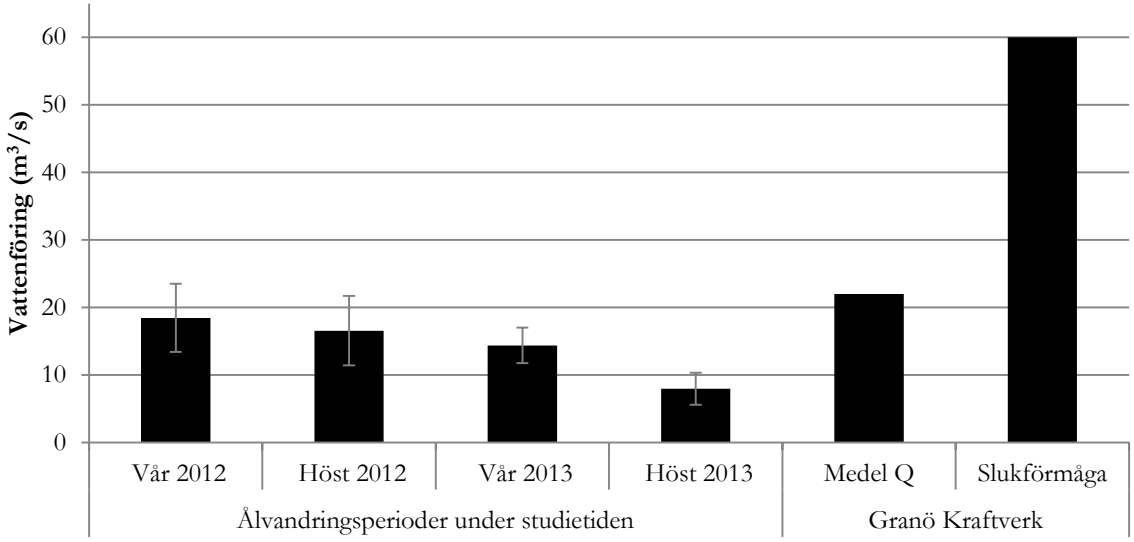
Isbildning på gallren bedöms vara mindre än på konventionella stålgaller, men det krävs en längre period med riktigt kalla temperaturer för att i detalj kunna påvisa skillnader (Lennart Olsson, E.ON Vattenkraft) (Figur 22). Under vintern 2013-2014 förekom ”kravning” (iskristallbildning) på gallren så att ett av gallren löste ut (fälldes automatiskt mot botten vilket de ska göra vid för högt tryck) (pers. kom. Kjell Svensson, ONE). I likhet med isbildningen ansågs även insektpåväxten vara mindre påtaglig men det fanns tendenser vid låga flöden (>0,5 m/s) att humuspartiklar fastnar. Dessa spolas dock bort vid ökat flöde (Lennart Olsson, E.ON Vattenkraft).



Figur 22. Ett galler vid Granö där flakis ansamlas i ytdelen (a.) samt isbildning på gallerelementen (b.). Tillfället då bilden är tagen är vid -20° i luften och iskristaller i vattnet (Lennart Olsson, E.ON Vattenkraft).

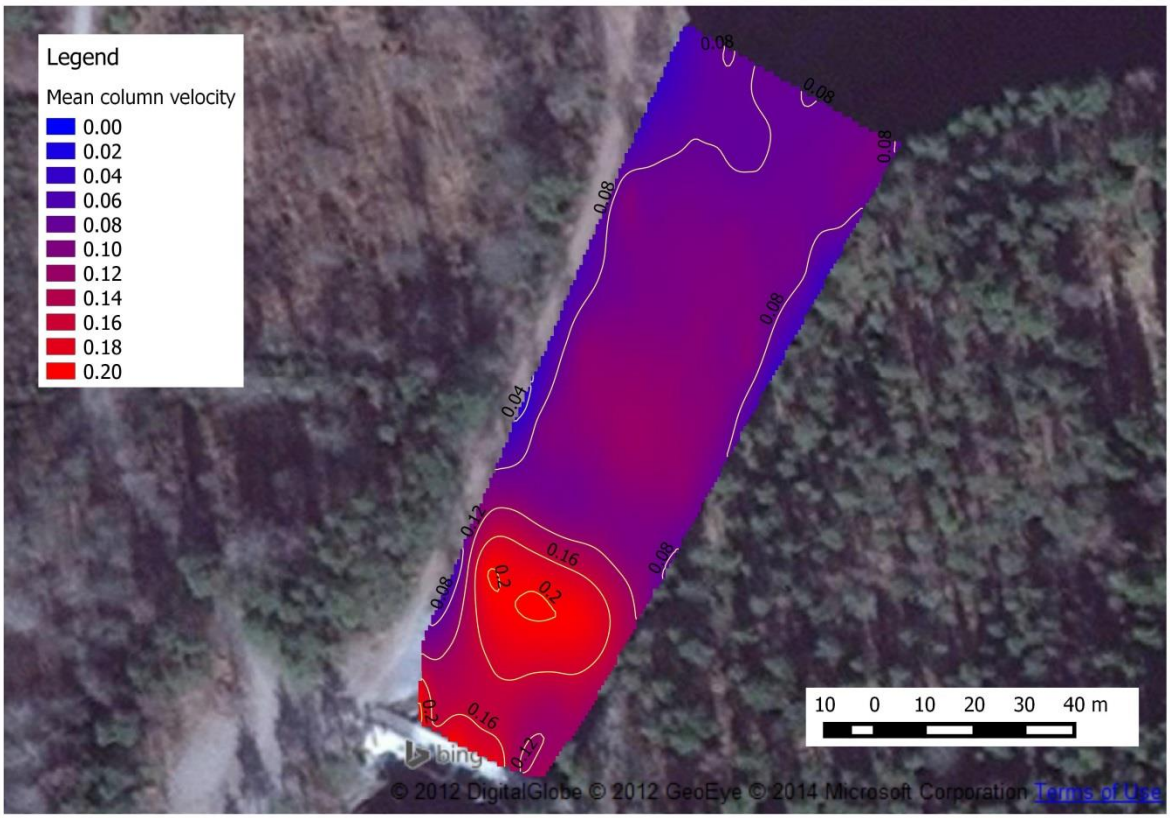
Hydrauliska egenskaper och förbättringar (funktionsfråga C)

Vattenföringen under de aktiva ålvandringsperioderna (april-maj, sept-okt) 2012 och 2013 var låga (Figur 23). ADP mätningarna utfördes genom 12 transekter uppströms avledaren varav en i varje brovalv där vattenföringen vid mätningar var c. hälften (10,3m^3/s) av medelvattenföring (22,0m^3/s) och c. en sjättedel av maximal slukförmåga för kraftverket (60,0m^3/s) (Figur 23). Vattenhastigheterna som uppmättes i intagskanalen var då mellan 0,08 och 0,20 m/s, oavsett djup (Figur 24 a.-c.). Djupet varierade mellan 0,5-4,5m där den djupaste platsen var i den longitudinala mitten (Figur 24 d.).

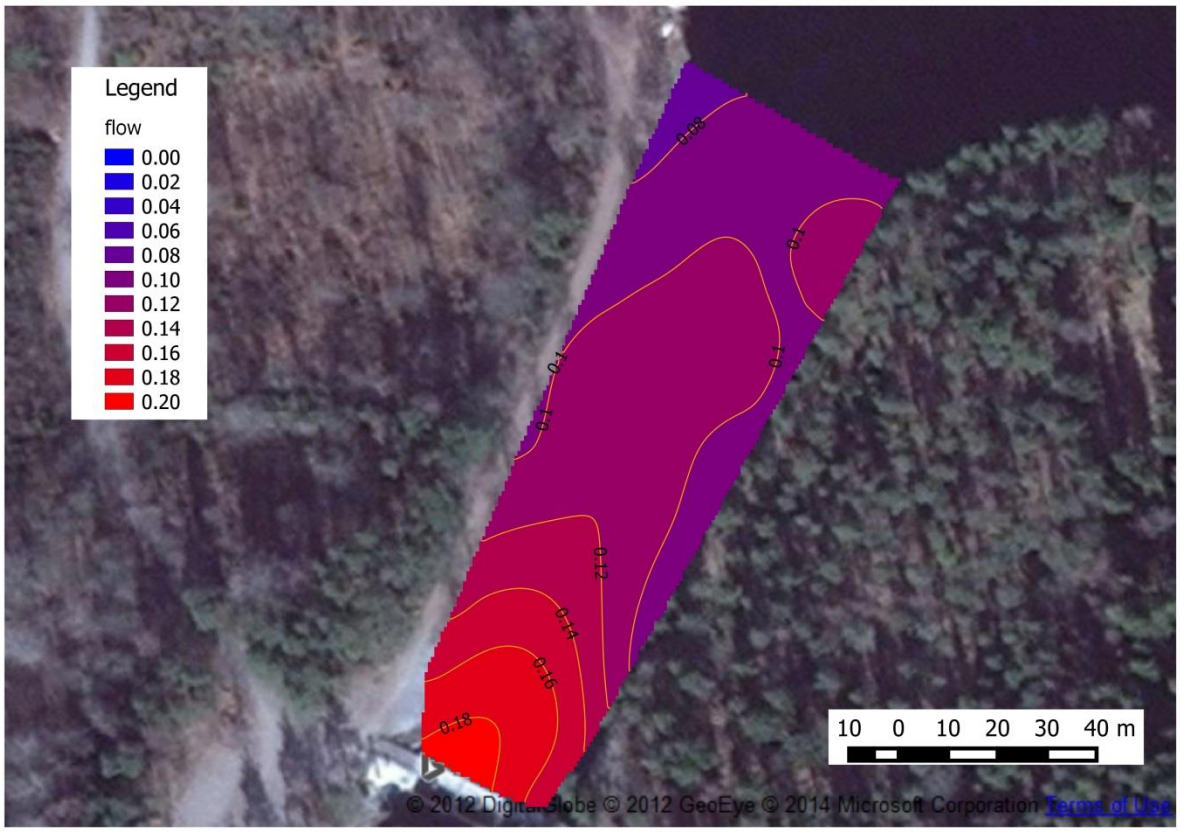


Figur 23. Vattenföring (m^3/s ±STDEV) under de ålvandringsperioderna (april-maj, sept-okt) under studien 2012 och 2013 samt medelvattenföring (Medel Q) och slukförmåga för Granö kraftverk.

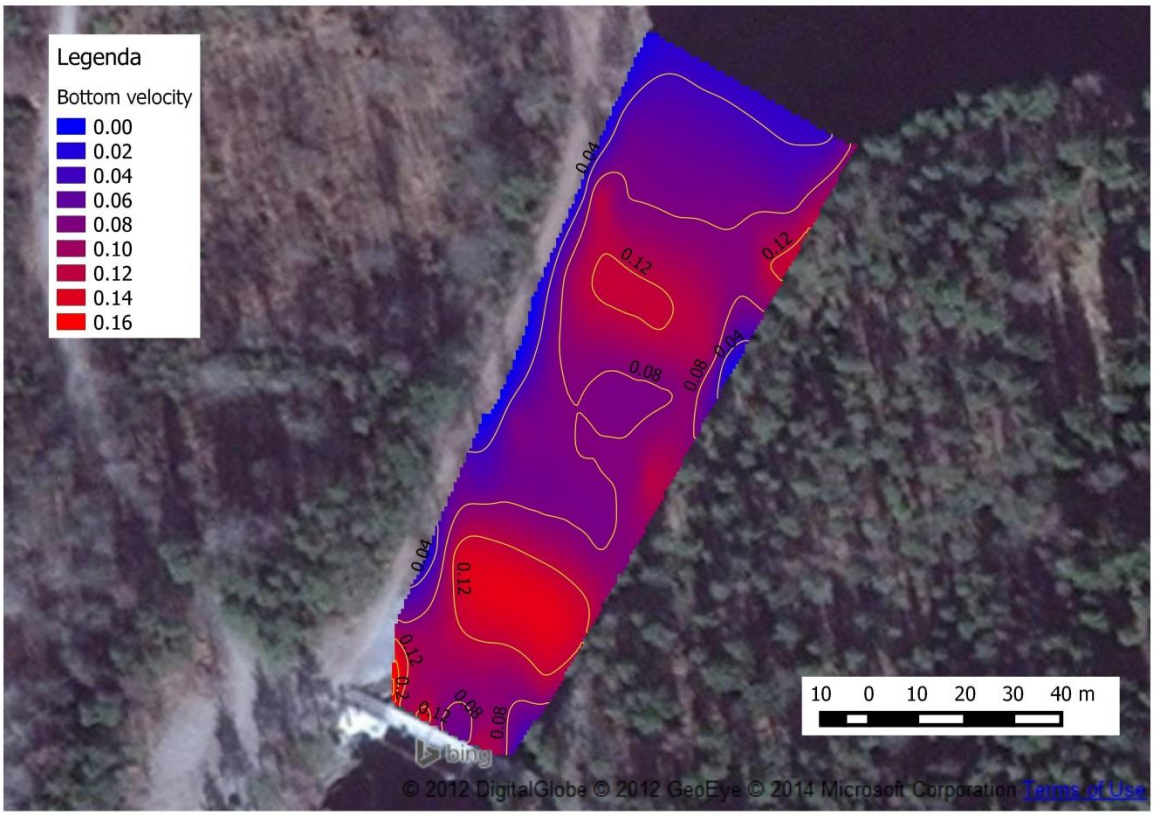
a.)



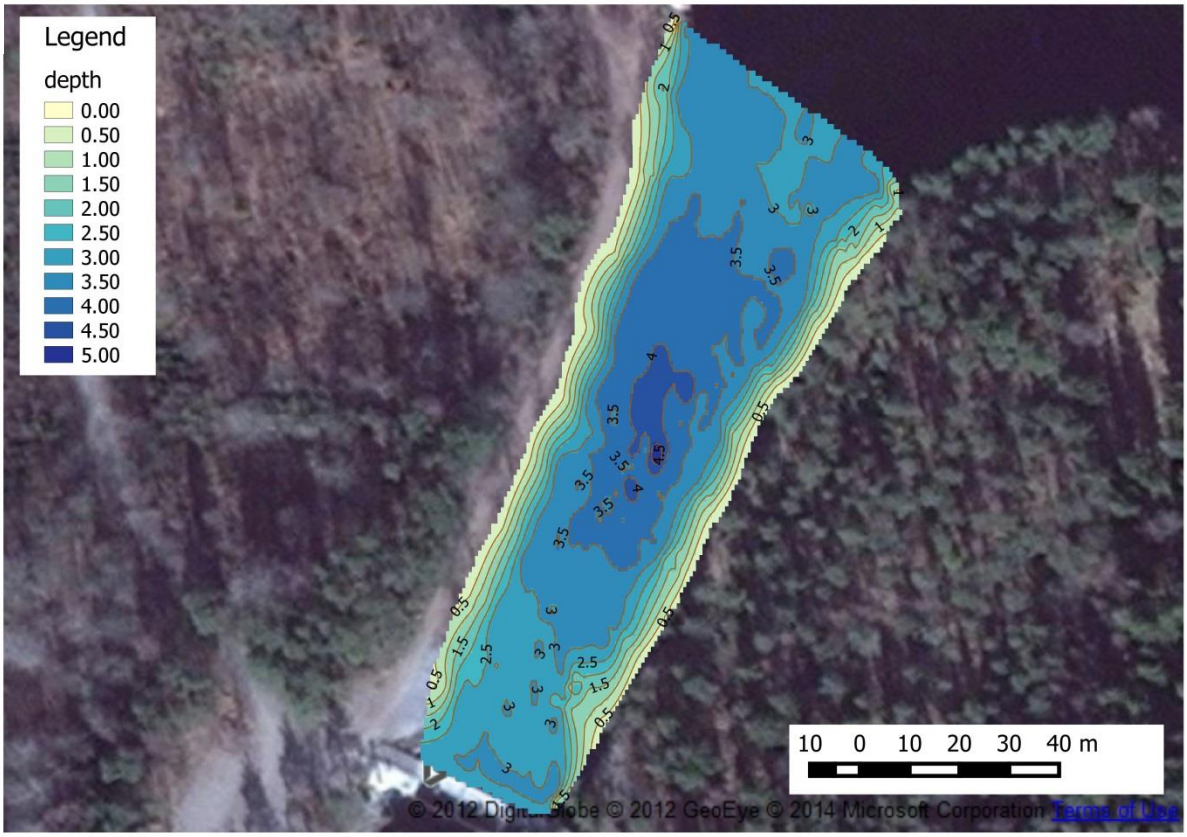
b.)


Legend
flow
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
0.12
0.14
0.16
0.18
0.20
10 0 10 20 30 40 m
© 2012 DigitalGlobe © 2012 GeoEye © 2014 Microsoft Corporation Terms of Use

c.)

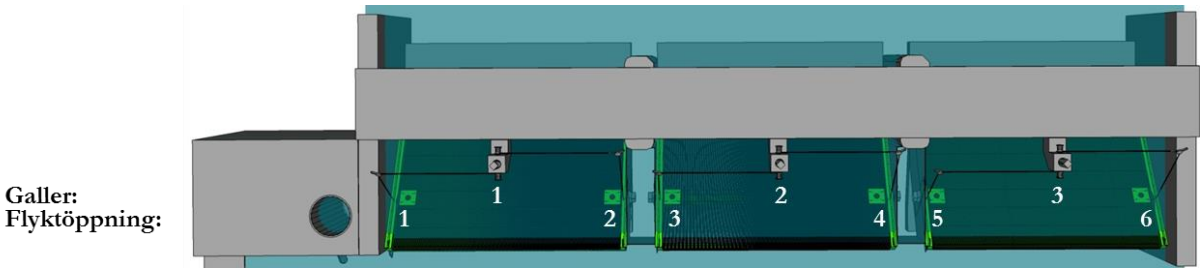

Legenda
Bottom velocity
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
0.12
0.14
0.16
10 0 10 20 30 40 m
© 2012 DigitalGlobe © 2012 GeoEye © 2014 Microsoft Corporation Terms of Use

d.)

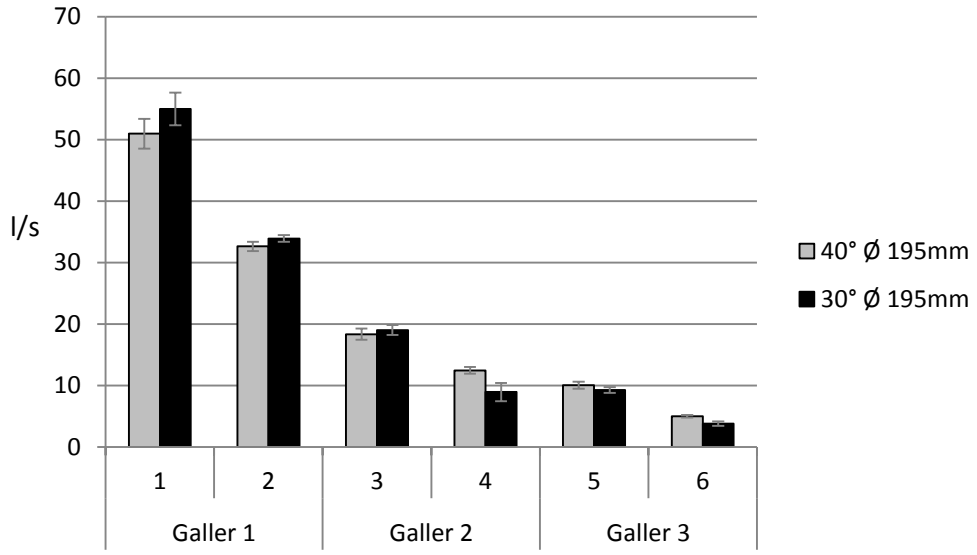


Figur 24. Vattenhastigheter (m/s) i intagskanalen uppströms Granö fiskavledaren; a.) medel över hela djupet, b.) ytvattnet: 0-100cm djup, c.) bottenvattnet: 30-50cm från botten och upp samt d.) en bathymetrisk karta.

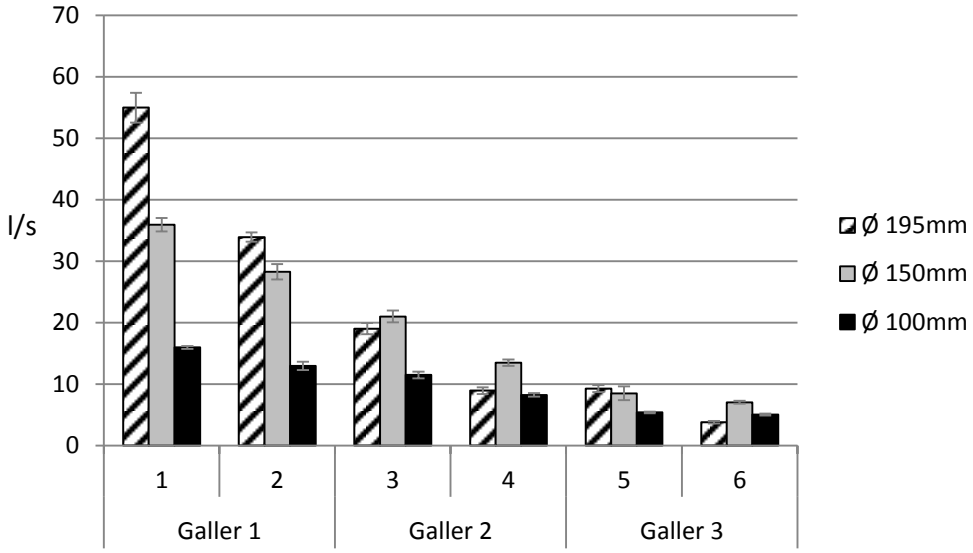
Vattenflödena var marginellt större vid 30˚ lutning vid flyktöppning 1-3 (Figur 25) och marginellt mindre vid 3-6 jämfört med 40˚ lutning (Figur 26). Totalflödet till sumpen minskade med c. 0,5 l/s vid 40˚. En minskad flyktöppningsdiameter påverkade flödet generellt negativt (Figur 27) och totalflödet minskade från 129,9 l/s vid 195 mm Ø till 59,0 l/s vid 100 mm Ø (Figur 28) Detta var också synligt på pumputblåset då pauserna mellan pumpens utblåsningar blev längre. Vid öppningsreduceringsförsöket ökade flödet in i de tre flyktöppningarna under 50% behandlingen (Figur 29) medan totalflödet minskade med 34,7 l/s i jämförelse mot kontrollen med 100% öppet (Figur 30).



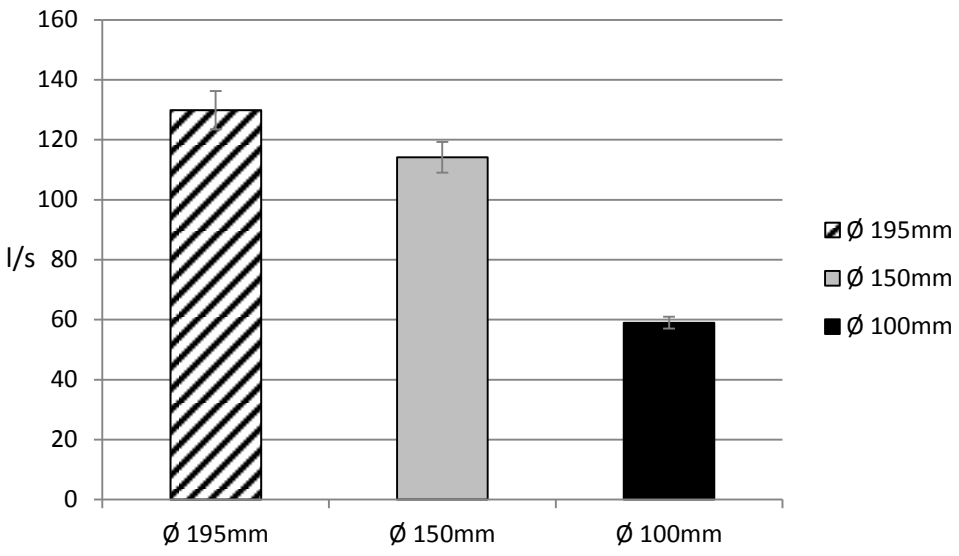
Figur 25. Numreringen av Granöavledarens tre galler samt sex flyktöppningar.



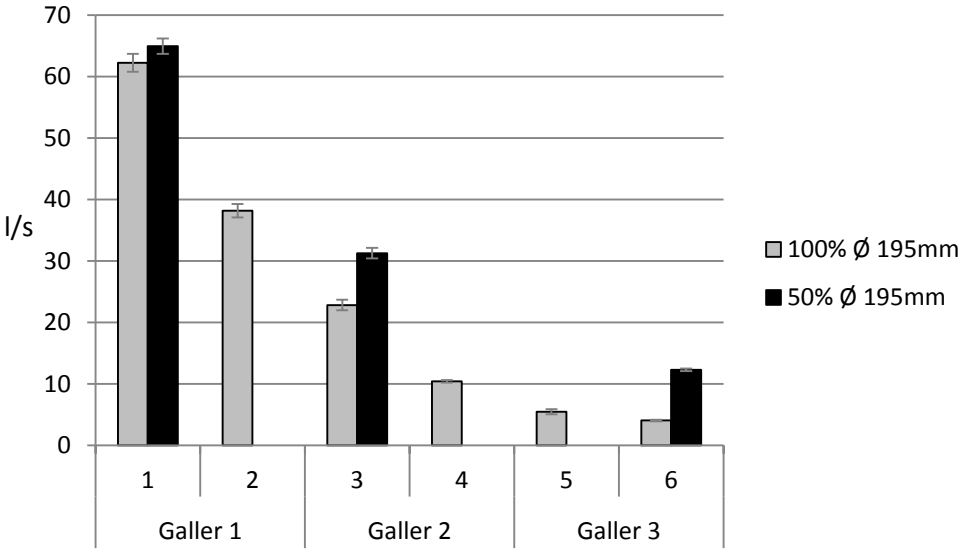
Figur 26. Vattenflödet (l/s ±STDEV) vid de 6 olika flyktöppningarna beroende av vinkel 30 eller 40°. Flyktöppningsdiameter 195mm.



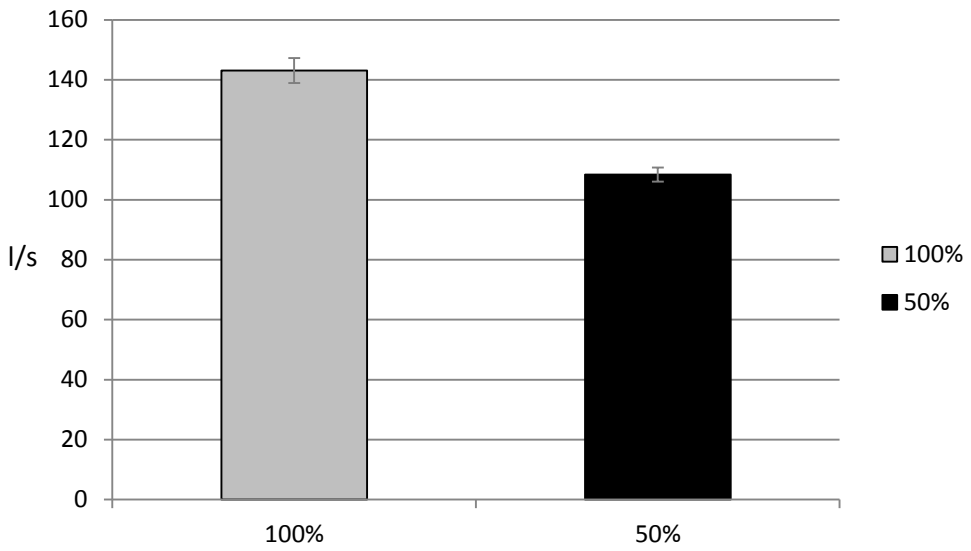
Figur 27. Vattenflöden (l/s ±STDEV) vid de 6 olika flyktöppningarna vid vinkel 30° beroende av flyktöppningsdiamater 195, 150 och 100 mm.



Figur 28. Totalvattenflöden (l/s ±STDEV) genom avledaren (exklusive ev. läckage) vid vinkel 30° beroende av flyktöppningsdiamater 195, 150 och 100mm



Figur 29. Vattenflödet (l/s ±STDEV) vid de 6 olika flyktöppningarna beroende av 100 eller 50% öppet. Flyktöppningsdiameter 195mm och gallerlutning 30°.



Figur 30. Totalvattenflöden (l/s ±STDEV) genom avledaren (exklusive ev. läckage) vid vinkel 30° beroende av andelen flyktöppningar öppna, 100 och 50%. Diameter på de öppna öppningarna var 195 mm och gallrens lutning var 30°.

Diskussion

I hela Mörrumsåns avrinningsområde nedströms ålens huvuduppväxtområde Åsnen ankommer ålen först till Granö kraftverk. Nedströms Granö ligger ytterligare sex kraftverk innan mynningen och det ansågs därför av ytterst vikt för ålens population i Mörrumsån att installera ett avledarssystem med uppsamling vid Granö. En fiskavledares funktion är att utan skador och fördröjningar: 1) hindra fisken från att komma till området där skada kan ske, vanligtvis kraftverkets turbiner, 2) koncentrera/leda fisken till en lämplig plats, samt 3) vägleda alternativt samla upp fisken. Den tidigare lösningen för att hindra ålen från att passera kraftverkets turbiner i Granö var ett brant, finmaskigt stålnät. Det fanns ingen direkt vägledning till uppsamlingsplatsen i ålkistan belägen vid sidan av mittersta delen av intagskanalen. Stålnätet skapade problem då löv fastnade och skapade fallförluster, dess höga lutning och de hydrauliska effekterna gjorde att stora mängder ål sögs fast mot gallret och dog och få ålar fångades därför i ålkistan. Den nya lösningen stoppade majoriteten (96,4%) av ål att ta sig till och igenom kraftverket. De ålar som passerade den nya avledaren var stora, 892 och 934 mm långa, vilket är oväntat eftersom maxlängden på ålar som i teorin klarar av att passera 18 mm galler är avsevärt mindre (643 mm, (Travade *et al.*, 2010b)). Sannolikt passerade dessa fiskar istället genom glipor längs gallrens ytterkanter (mot betongpelare), observerade vid dykningsinspektioner. Gallrens låga lutning vägledde t.ex. löv mot gallrets riktning (ytan) och i flyktöppningarnas närhet. Efter märkningsstudiens början observerades ingen ål på gallret. Fångstburen, där ålarna hamnar efter passage som samlade upp ålarna i större utsträckning än tidigare lösning.

Åren 2012 och 2013 var inte varit goda ålvandringsår vilket kännetecknas av ökande flöden och regn och, vilket har setts påverka ålens vandringsbenägenhet (Acou *et al.*, 2008; Tesch, 2003). Trots detta har 61 av de 87 radiomärkta ålarna besökt intagskanalen varav 55st varit framme och försökt passera avledaren. Appliceras dessa siffror på det totala antalet fiskar som märkts, alltså även streamermärkt fisk, har i teorin ytterligare 125 st fiskar varit framme och totalantalet försök att passera blir då 795 gånger för all märkt fisk.

Passageeffektiviteten anses som ett mått på hur väl en fiskväg fungerar och i den internationella litteraturen refereras det som ”fish guidance effeciency” och förkortas FGE. Effektiviteten är ett bra sätt att jämföra olika fiskvägars funktion med varandra. Ytterligare kan effektiviteten räknas ut på olika sätt, det första, och det som använts i denna rapport är kvoten mellan antal individer som passerat igenom i antalet som varit framme vid avledaren (Calles *et al.*, 2013a). Detta har över de fyra säsongerna som studien pågått gett en passageeffektivitet på 8,0%. Effektiviteten kan jämföras med de tidigare utvärderade fiskavledarna i Sverige; Ätrafors fiskavledare som hade 90% på ål under studierna 2008 (Calles and Bergdahl, 2009; Calles *et al.*, 2013a) samt Övre Finsjö 46% FGE och 84% passageöverlevnad för havsöringsmolt (Calles *et al.*, 2013b; Kriström *et al.*, 2010). I den Nordamerikanska forskningen kring nedströmsavledare och effektiviteter

juvenila salmonider (smolt) måste passageeffektiviteten uppnå en viss procent, ofta över 90%(Ferguson *et al.*, 2006; Ferguson *et al.*, 2005). Från Kanada rapporteras 100% passageeffektivitet för blankål vid två kraftverk med låglutande galler av den typ som studerats vid Granö kraftverk (GENIVAR, 2009; Therrien and Bourgeois, 2000; Therrien and Verreault, 1998).

FGE tar inte hänsyn till vilken ansträngning fisken gör för att slutligen passera. Tar man hänsyn till ansträngningen, är kvoten mellan antalet försök till avledaren som lett till en passage (samma som antalet passerade individer) i totalantalet försök till passage, vilket i detta fall leder till 1,9% (15/795) och betyder att 1,9% av försöken leder till en passage, eller var femtiotredje försök (795/15). Resultaten för fiskavledaren i Granö, beräknat med båda sätt, måste anses som extremt lågt, samtidigt som överlevnaden är hög. Man kan spekulera i att blankålen väntar på rätt förhållanden för passage, vilket observerats på andra platser, något som gör denna typ av studier komplicerade eftersom de kan spänna över flera år innan de slutliga resultaten erhålls (Calles *et al.*, 2013a; Winter *et al.*, 2007). Ytterligare spekulationer baserade på hydrauliska ADP-mätningarna som visade på vattenhastigheter om max 0,2m/s vilket ger ålen en god möjlighet att simma upp och ned och söka efter alternativa vägar utan större energiförlust. Motsvarande hastighet för Ätrafors kraftverk var 1,24m/s och 65% av den märkta ålen passerade in i flyktöppningarna under dess första försök (Calles *et al.*, 2013a).

Ålens ovilja att simma in i flyktöppningarna till uppsamlingsburen uppmärksammades tidigt i studien varför två olika inställningar på avledaren utvärderades. Det första, lutningsförsöket där 30˚ och 40˚ lutning utvärderades, fick tyvärr inte fortgå över den tid det planerades på grund av problem med pumpen och följaktigen en icke fungerande avledare, samt en tidig vinter. Resultaten indikerar dock på att 30° lutning är att föredra. Öppningsalternering, där hypotesen var att ett högre flöde vid färre öppningar skulle resultera i en högre passageeffektivitetet, fick även denna avbrytas på grund av problem med avledarens drift. Det erhölls dock tillräckligt med data för en analys men ingen statistisk skillnad kunde påvisas.

Passageeffektiviteten för Granö kraftverk kan ses som hur stor del av den nedströmsvandrande ålpopulationen uppströms Granö som haft möjlighet att passera och gjort det, oavsett vägval. Detta kan ställas i relation till den nationella ålförvaltningsplanen där 40% av blankålsproduktionen ska nå havet levande(Anonymous, 2008). Granö kraftverk ligger uppströms sex andra kraftverk så en stor skaderisk finns nedströms vilket var anledningen till att just uppsamling av ål var mest aktuellt vid Granö kraftverk, utöver det faktum att det krävs i gällande vattendom. Den totala passageeffektiviteten för Granö var 10,8% och varierade mellan 0 och 28,6% beroende av säsong, dock observerades ingen mortalitet.

Andra sätt att räkna på ansträngningen för fisken att hitta in i avledaren, tillika energiförlust, och som ett komplement till passageeffektiviteten, är att undersöka

fördröjningen hos fisken. Tyvärr, som följd av den låga passageeffektiviteten för avledaren erhölls inte tillräckligt med data över passagetider för en statistisk analys. Det som kunde observeras var att referenssträckan passerades utan några direkta fördröjningar medans passage igenom avledaren (utan att samlas upp) genererade största fördröjning och därmed sannolikt störst ansträngning.

Funktionen av en fiskavledare, som tidigare nämnt, är att utan fördröjning och skador passera fisk förbi hindret och faran (NMFS, 2011). Skadefrekvensen för ål som valt avledaren var större än referensen Havbältan, och högst troligt inducerat av ankomsten och vistelsen i fångstburen. Detta då vissa typer av skador endast observerades för ål som vistats i buren. Åtgärder för detta är redan tagna och i skrivandet stund installeras en mer fiskvänlig uppsamlingsanordning. Ålen i hållningsförsöket, vilka vissa hade förekomst av dessa skador, klarade sig och inte heller kunde någon viktskillnad mellan behandlingar observeras, vilket skulle kunna vara ett mått på den stress som fisken utsatts för i fångstburen. Under hösten 2012 gjordes ett försök att verkligen påvisa att de ”Granöspecifika” skadorna uppkom från vistelsen i fångstburen och när de uppkommer. Helt skadefri fisk märktes och släpptes direkt i en flyktöppning och ålen observerades sedan i fångstburen och kvantifierades för skadeförekomst vartefter buren hissades ner igen och med kontroll en gång om dagen. Under försökets andra natt drabbades avledaren av ett driftstopp och ålen simmade ut. Även rymningsrisken vid driftstopp har uppmärksammats och åtgärdats i och med den ovan nämnda nya lösningen för avskiljning av ål från vattnet och en ny sump.

Driften av avledarsystemet har under 2012 och 2013 inte varit driftsäkert ur fiskuppsamlingssynpunkt, vilket även påverkat pågående försök som fått avbrytas. Granöavledaren är dock fortsatt unik i sitt slag och den första som installerats, varför uppstartsproblem var väntade. Det främsta problemet, tillskillnad från de mer effektiva lösningarna vid Ätrafors och Övre Finsjö, är att systemet är beroende av elektrisk ström för att fungera. En åtgärd som skulle kunna vidtas är en reservsströms system, liknande förekommande för spilluckor (ett antal kopplade batterier). Övrig driftsäkerhet såsom hög belastning av gallren vid t.ex. is har visats fungera under vintern 2013-2014 då ett galler automatiskt fällde ned sig innan skada på gallret uppstod. Underhållet på anläggningen har varit jämförbart med tidigare lösning, men en stor fördel med den nya lösningen är att rensningen av ålspärren avsevärt förenklats och ekonomiskt förbättrats då inga externa fordon har behövts. Dessutom har den tidigare omfattande fallförlusten i stort sett helt eliminerats. Den kostnaden som tillkommer är vittjning av fångstburen samt årlig kontroll med dykare och totalkostnaden för den gamla lösningen jämfört med den nya är inte känd. Materialet som använts till grindelementen är av glasfiber vilket har väldigt låg värme/kyl-transport och torde teoretiskt inte transportera ned kyla längs gallret mot botten, vilket observerats vid gallerinstallationer av metall. Även insektpåväxt har observerats och bedömts av E.ON’s personal vara mindre än vid konventionella stålgaller, dock förekom humuspartikelansamling vid låga flöden vilket spolades bort vid

högre. Sammantaget kan man säga att det för driften inneburit en stor förbättring när den nya lösningen ersatte den gamla, såväl för arbetsmiljön som för produktionen.

Flöden och fördelning av flöden genom flyktöppningar vs. genom gallret är av central betydelse ur ett fiskavledningsperspektiv (NMFS, 2011). ADP-mätningarna visade mkt låga vattenhastigheter i intagskanalen (<0,2 m^3/s) vilket vid Ätrafors kraftverk i Ätran minskade FGE för anläggning (Calles *et al.* 2013). I och med att pumpen, som driver vattnet in i flyktöppningarna, har ett maximum på 200 l/s är fördelningen av vattnet in i flyktöppningarna mer gynnsamt under låga flöden. Under flödesmätningarna där olika flyktöppningsdiametrar undersöktes ändrades andelen vatten som gick igenom flyktöppningarna från 0,5% vid Ø 195mm till 0,2% vid Ø 100mm (rådande totalt vattenflöde 26 m^3/s), vilket även observerades vid flyktöppningsreduceringen. Skalas dessa resultat upp till kraftverkets slukförmåga (60 m^3/s) samtidigt som pumpens maxflöde används motsvarar flödet genom flyktöppningarna endast 0,3% av flödet in i kraftverket. Detta kan jämföras med Ätrafors där flödet genom flyktöppningarna var c. 2% av flödet genom turbinerna (Calles *et al.*, 2013a), och kan vara en orsak till skillnaderna i passageeffektivitet. I Frankrike rekommenderas att motsvarande 2–10 % av kraftverkets slukförmåga ska tappas genom nedströmspassagen (Larinier and Travade, 1999), medan man på USA:s västkust anger 5–10 % (Ferguson *et al.*, 1998) och på USA:s östkust rekommenderas att 2 % av kraftverkets slukförmåga ska tappas genom en flyktöppning vid ett låglutande galler, medan upp till 5 % krävs om gallret/avledaren har en brant lutning (Odeh and Orvis, 1998).

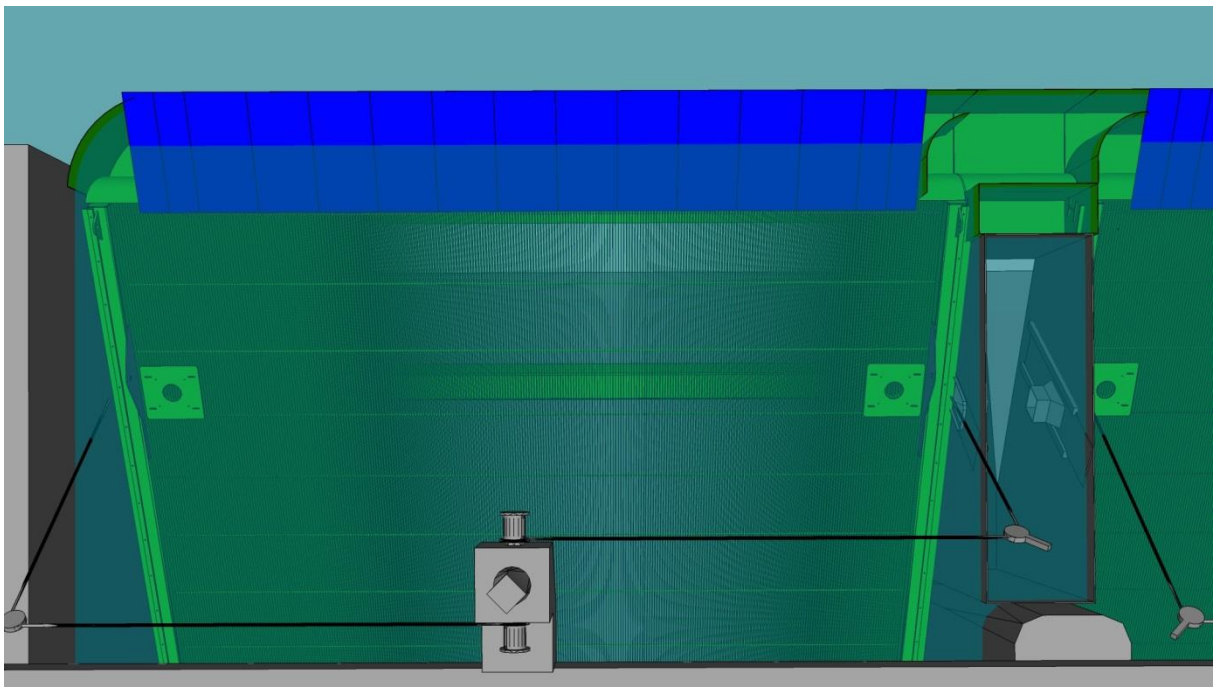
Förslag till modifieringar av Granö fiskavledare

Att flödet minskar när flyktöppningarnas öppna area reduceras tyder på att flyktöppningarna är begränsade av totalflödet. Skillnaderna i flöde mellan flyktöppningar indikerar att transportkanalen är underdimensionerad. Baserat på de hydrauliska förhållanden och ålens observerade samt dokumenterade beteende, föreslås därför följande förbättringar:

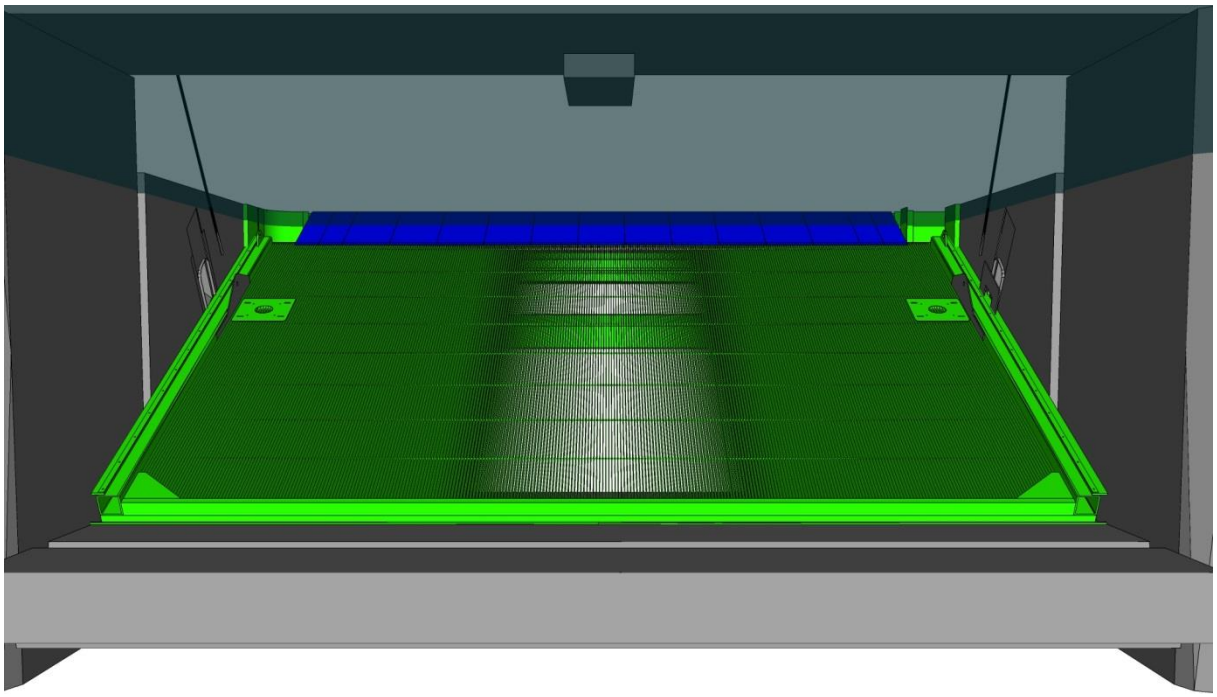
I första hand bör dimensionerna på transportkanalen utökas för att göra flyktöppningarna flödesbestämmande så att alla öppningar får samma flöde. Ett ännu bättre alternativ är att man anlägger en separat förbipassage mellan varje flyktöppning och uppsamlingen, för att eliminera skillnader i vattenföring mellan flyktöppningarna (Figur 31.). Gallrens låga lutning och den stabila vattennivån i Granö kraftverksdamm talar i kombination med observationen att skräp ansamlas i ytan för placering av flyktöppningar i ytan (Figur 32). För bästa funktion bör sannolikt hela gallret ligga under ytan och de nya flyktöppningarna anläggs i en ny sektion ovanpå (Figur 33). Ålen har också ett strukturorienterat beteende (Russon *et al.*, 2010a) varför flyktöppningarnas placeringar bör ligga så nära intagets sidor som möjligt. Ju mer flexibilitet som kan planeras in i lösningen, desto bättre. Detta då det tillåter anpassningar till rådande förhållanden och en möjlighet att rätta till vissa misstag utan att en ombyggnation krävs. Flyktöppningarnas bredd, och därmed flöde, bör vara

justerbara. Dessutom bör varje ränna från en flyktöppning vara justerbar i flödet, förslagsvis från botten och upp (Fig. 34)(liknande Övre Finsjö, Figur 35). Samtliga öppningar bör ha avrundade kanter och inga kraftiga böjar bör förekomma (NMFS, 2011).

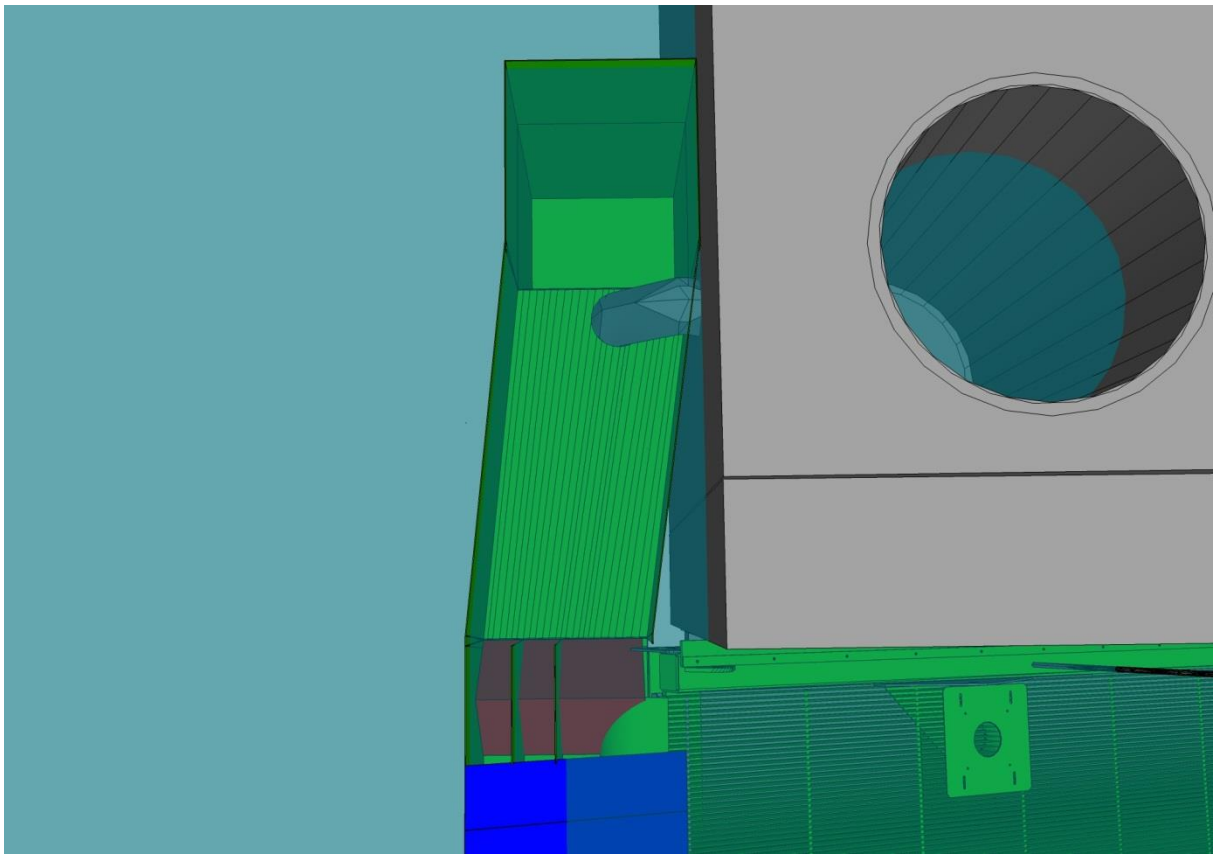
Figur 31. Helhetsbild över förslag till förbättringar av Granö fiskavledare där varje två flyktöppningar från ett galler har en egen ränna till avvattningsdelen. Förslaget beskrivet i texten har ytterligare tre rännor, en till varje flyktöppning.



Figur 32. Flyktöppningarnas placering mot sidorna samt att alla flyktöppningar har mjuka böjar för att mildra hydrauliken. De blå plattorna kan också tas bort för ökad bredd på öppningen i fråga.



Figur 33. Gallrens lutning så att de hamnar under ytan, även flyktöppningarnas placering mot sidorna



Figur 34. Nivåreglering (röd) separerad för varje ränna som kommer från varje galler och leder till avvattning och efter det uppsamling längst upp i bild.

Figur 35. Nivåreglering av avledare i Övre Finsjö, Emån.

Etik

Märkningsförfarande samt metodik inklusive hållningsförsök är godkänt av Linköping djurförsöksetiska nämnd, diarienummer: 18-12.

Erkännanden

Många tack till Carl-Gustav Gustavsson på Blidingsholms gård för möjlighet att använda hans lanefiske för fångst av ål till märkning samt hans arbete att sköta avledarsystemet när vi inte varit på plats. Sydcon AB och framförallt Fredrik och Pelle, tack för många sena kvällar svetsande på diverse delar av fångstanordningen. Tack till Sandra för fältassistans under hösten 2013.

Referenser

Aarestrup K, Okland F, Hansen MM, Righton D, Gargan P, Castonguay M, Bernatchez L, Howey P, Sparholt H, Pedersen MI, McKinley RS. 2009. Oceanic Spawning Migration of the European Eel (*Anguilla anguilla*). *Science*. **325**: 1660.

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

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

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

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

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

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

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

Calles O, Rivinoja P, Greenberg L. 2013b. 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.

Carr JW, Whoriskey FG. 2008. Migration of silver American eels past a hydroelectric dam and through a coastal zone. *Fisheries Management and Ecology*. **15**: 393-400.

Dekker W. 2003. Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*? *Fisheries Management and Ecology*. **10**: 365-376.

Dekker W, Wickström H, Andersson J. 2011. Ålbeståndets status i Sverige 2011. *Aqua reports* 70

Eklöv AG. 2010. Förstudie avseende utvandringslösningar för havsöring och ål förbi kraftverken i Kävlingeån. *Eklövs Fiske och Fiskevård ((På uppdrag av Kävlingeåns-Löddeåns FVOF och Länsstyrelsen i Skåne)* 24

Ferguson JW, Absolon RF, Carlson TJ, Sandford BP. 2006. Evidence of delayed mortality on juvenile Pacific salmon passing through turbines at Columbia River dams. *Transactions of the American Fisheries Society*. **135**: 139-150.

Ferguson JW, Matthews GM, McComas RL, Absolon RF, Brege DA, Gessel MH, Gilbreath LG. 2005. Passage of adult and juvenile salmonids through federal Columbia River power system dams. *U.S. Dept. Commer., NOAA Tech. Memo.*

Ferguson JW, Poe T, Carlson TJ. 1998. Surface-oriented bypass systems for juvenile Salmonids on the Columbia River, USA. In *Migration and fish bypasses.*, M. Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss (eds). Fishing News Books: Oxford; 281-299.

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

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

Larinier M. 2008. Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. *Hydrobiologia*. **609**: 97-108.

Larinier M, Travade F. 1999. The development and evaluation of downstream bypasses for juvenile salmonids at small hydroelectric plants in France. In *Fish Passage Technology*, M. Odeh (eds). American Fisheries Society: Bethesda, Maryland, USA; 25–42.

Larinier M, Travade F. 2002. Downstream migration: problem and facilities. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*. **364**: 181-207.

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

Montén E. 1988. *Fiskodling och vattenkraft : en bok om kraftutbyggnadernas inverkan på fisket och hur man sökt kompensera skadorna genom främst fiskodling*. Vattenfall: Vällingby.

NMFS. 2011. Anadromous salmonid passsage facility design. *National Marine Fisheries Service Northwest Region* 140

Odeh M. 1999. *Innovations in fish passage technology*. American Fisheries Society: Bethesda, Maryland, USA.

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.

Persson F, Holmberg J. 2009. Ätrafors - Fallförlustbestämning av ändring i lutning på intagsgaller. *EnergoRetea Energi, Elkraft & ICT AB* 4

Russon I, Kemp P, Calles O. 2010a. Response of downstream migrating adult European eels (Anguilla anguilla) to bar racks under experimental conditions. *Ecology of Freshwater Fish*.

Russon IJ, Kemp PS, Calles O. 2010b. Response of downstream migrating adult European eels (Anguilla anguilla) to bar racks under experimental conditions. *Ecology of Freshwater Fish*. **19**: 197-205.

Tesch FW. 2003. *The Eel*. Blackwell, : London.

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

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

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.

Travade F, Larinier M, Subra S, Gomes P, De-Oliveira E. 2010b. Downstream passage of silver eels at hydroeletric 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

Wickström H, Florin A-B, Andersson J, Åström M. 2008. Report on the eel stock and fishery in Sweden 2007. *Report from the Swedish Board of Fisheries* 56 pages

Winter HV, Jansen HM, Breukelaar AW. 2007. Silver eel mortality during downstream migration in the River Meuse, from a population perspective. *ICES J. Mar. Sci.* **64**: 1444-1449.

Granö fiskavledare

Utvinning av vattenkraft från Granö kraftstation påbörjades i slutet av 1950-talet. Ålen har hindrats från att passera genom kraftverket av en ålspärr bestående av ett finmaskigt nät, som varit på plats under ålens vandringssäsonger. Den alternativa väg som funnits har varit med spillvatten eller ner i en ålkista i intagskanalen. Fångsterna i ålkistan har varit begränsade och mängder med ålar har dött på nätet. Ålen är nu akut hotad och åtgärder att mildra kraftverkens negativa inverkan på utvandrande blankål har högsta prioritet.

Till följd av problem med igensättning av ålspärren uppstod ett dammbrott 2010. För att öka dammsäkerheten och åluppsamlingens effektivitet designades och uppfördes en ny fiskavledare 2011. Granö fiskavledare är unik i sitt slag då den består av galler av kompositmaterial med justerbar lutning (30-40°), samt flyktöppningar som leder till en uppsamlingsbur. Vattnet från uppsamlingen pumpas tillbaka till intagskanalen, för att undvika produktionsförluster i kraftverket.

Märkningsförsök under 2012 och 2013 (N=284) visade att merparten av den radiomärkta fisken ankom till avledaren och totalt återfångades 15 individer (5,3%). De två studieåren präglades av låg ålutvandring och trots de låga fångsterna i den nya avledaren, har majoriteten av ålen (96,4%) hindrats från att passera Granö kraftstation och därmed besparats en hög skaderisk vid passage av både Granö kraftverk samt de sex kraftverken belägna nedströms. Mätningar visar att vattenhastigheten och därmed flödet genom flyktöppningarna har varit varierande och generellt låg. Jämfört med vad som rekommenderas i litteraturen var det totala flödet genom avledarsystemet lågt i förhållande till totalflödet genom gallren, vilket i kombination med den begränsade ålutvandringen under studieåren sannolikt orsakat de låga fångsterna och återfångsterna av ål. Sammantaget har den nya avledaren avsevärt minskat dödligheten för blankål vid Granö kraftverk och därmed även kraftverken nedströms, men för att öka mängden blankål som oskadd når havet måste dess fångsteffektivitet förbättras.

ISBN 978-91-7063-621-9

ISSN 1403-8099

FORSKNINGSRAPPORT | Karlstad University Studies | 2015:10