

# VATTENKRAFT - MILJÖEFFEKTER, ÅTGÄRDER OCH KOSTNADER I NU REGLERADE VATTEN

## ETAPP 2

Slutrapport mars 2006



Elforsk rapport 06:37

[www.vattenkraftmiljo.nu](http://www.vattenkraftmiljo.nu)

**ELFORSK**

  
Energimyndigheten

 FISKERIVERKET

**NATUR  
VÅRDS  
VERKET**

## Förord

Programmet "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten" syftade till att ta fram underlag för implementering av de mest kostnadseffektiva miljöförbättrande åtgärderna inom vattenkraften.

Totalt satsades 40 miljoner kronor av Elforsk (elföretagen), Energimyndigheten, Fiskeriverket och Naturvårdsverket under sex år på forskning om vattenkraftens miljöpåverkan och utveckling av miljöförbättrande åtgärder.

Den första etappen av programmet avslutades under 2003. I denna skrift beskrivs programmet och forskningsprojekten som ingått i den andra etappen och som pågått till och med 2005.

I den andra etappen har mål och verksamhet givits ytterligare fokus på åtgärdsinriktad verksamhet som ska ge kunskap som har relevans för åtgärder som kan aktualiseras av EU:s ramdirektiv för vatten och det av Riksdagen antagna miljökvalitetsmålet "Levande Vattendrag".

Programmet har letts av en styrelse med följande sammansättning:

Lars Tegnér (ordförande)	Statens energimyndighet
Sara Hallert	Statens energimyndighet
Hans Lindström	Vattenfall AB Vattenkraft
Johan Tielman	E.ON Vattenkraft AB
Hans Rohlin	Fortum Generation AB
Anna Helena Lindahl	Naturvårdsverket
Catarina Johansson	Naturvårdsverket
Erik Sparrevik	Fiskeriverket
Ingemar Berglund	Fiskeriverket
Lars Hammar/	
Cristian Andersson (programledare, adjungerad)	Elforsk AB

För den som är intresserad av att fördjupa sig ytterligare finns mer information på [www.vattenkraftmiljo.nu](http://www.vattenkraftmiljo.nu).

Stort tack till alla er som bidragit till programmets verksamhet.

Eskilstuna mars 2006



Lars Tegnér  
Energimyndigheten  
Ordförande i programstyrelsen

## Innehåll

<b>1. Forskningsprogrammet</b> .....	<b>1</b>
1.1 Vattenkraft och miljö .....	1
1.2 Sammanfattning av andra etappens resultat .....	2
1.3 Programmets mål och måluppfyllelse .....	6
1.4 Summerande kunskapssammanställningar för programmets prioriterade områden.	9
1.5 Utvärdering av programmet .....	10
1.6 Framtida forskning .....	12
<b>2. Slutrapporter från forskningsprojekten</b> .....	<b>14</b>
2.1 Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett “bypass”-system .....	14
2.2 Fiskvägar som restaureringsåtgärd för fragmenterade fiskpopulationer i reglerade vattendrag .....	38
2.3 Restaurering av regleringsmagasin – optimering av fisk- och planktonproduktion genom balanserad näringsanrikning .....	57
2.4 Naturlik sättfisk .....	77
2.5 Anordning för lockvattenströmmar vid vattenkraftverk .....	93

## 1. Forskningsprogrammet

### 1.1 Vattenkraft och miljö

I mer än 100 år har industrin och samhället dragit nytta av energin i strömmande vatten genom att bygga vattenkraftverk. Idag produceras 65 TWh per år eller ungefär hälften av all el i Sverige med vattenkraft. Det finns nära 2 000 vattenkraftverk i Sverige, varav cirka 1200 småskaliga med en effekt på mindre än 1,5 MW.

Vattenkraft är en ren och förnybar energikälla med låga utsläpp och mycket liten klimatpåverkan. Däremot är konsekvenserna för landskapet och organismerna kring en utbyggd älv stora. Vissa områden torrläggs, medan andra överdäms, forsar försvinner och det blir svårare för fiskar och andra djur att överleva. Sportfiske, turism och friluftsliv påverkas.

#### ***Miljökraven förändras***

De flesta stora svenska kraftverk byggdes under en tid när samhället inte prioriterade miljöhänsyn lika högt som idag. Till en början fokuserades miljöfrågorna på intrången i olika näringar och mänskliga aktiviteter samt på estetiska frågeställningar. Relativt sent har naturvårdsfrågor, som idag tillmäts stort intresse men som inte målmedvetet beaktades i den tidiga vattenkraftutbyggnaden, lagts till. Vattenlagen från 1984 innebär t ex att villkoren för ett vattenföretag skulle kunna omprövas till förmån för främst allmänna intressen. Miljökraven förväntas också fortsätta att öka i framtiden och nya viktiga riktlinjer för detta är de nationella miljökvalitetsmålen och EU:s ramdirektiv för vatten.

#### ***Miljökvalitetsmål***

I de av riksdagen antagna miljömålspropositionerna (2000/01:130 och 2004/05:150 ) har fragmenteringen av vattendrag lyfts fram som ett angeläget naturvårdsproblem att komma till rätta med. Miljöanpassning av vattenkraften anges vara ett viktigt verktyg för att förbättra miljön både i och omkring befintliga vattenkraftanläggningar samt i vattendrag med skador från tidigare regleringar. Utgångspunkten för denna miljöanpassning bör enligt propositionerna vara att nuvarande produktionskapacitet bibehålls totalt sett.

#### **"Levande sjöar och vattendrag" – ett av Sveriges 16 miljömål, se [www.miljomal.se](http://www.miljomal.se)**

Sjöar och vattendrag ska vara ekologiskt hållbara, och deras variationsrika livsmiljöer ska bevaras. Naturlig produktionsförmåga, biologisk mångfald, kulturmiljövärden samt landskapets ekologiska och vattenhushållande funktion ska bevaras, samtidigt som förutsättningar för friluftsliv värnas. Inriktningen är att miljökvalitetsmålet ska nås inom en generation.

#### **Nationella delmål knutna till vattenkraft**

Senast år 2005 ska berörda myndigheter ha identifierat och tagit fram åtgärdsprogram för restaurering av Sveriges skyddsvärda vattendrag eller sådana vattendrag som efter åtgärder har förutsättningar att bli skyddsvärda. Senast till år 2010 ska minst 25 % av de värdefulla och potentiellt skyddsvärda vattendragen ha restaurerats.

Senast år 2005 ska utsättning av djur och växter som lever i vatten ske på sådant sätt att biologisk mångfald inte påverkas negativt.

Senast år 2005 skall åtgärdsprogram finnas och ha inletts för de hotade arter och fiskstammar som har behov av riktade åtgärder.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"*****Ramdirektiv för vatten***

I slutet av år 2000 antog Europaparlamentet ett ramdirektiv för vatten med syfte att skydda, förbättra och återställa alla ytvattenförekomster i syfte att uppnå en god ytvattenstatus 2015.

Ramdirektivet har implementerats i den svenska lagstiftningen, bl.a. genom Förordningen om förvaltning av kvaliteteten på vattenmiljön (SFS 2004:660).

I ramdirektivet sägs bland annat att medlemsländerna ska skydda och förbättra alla konstgjorda och kraftigt modifierade vattenförekomster i syfte att uppnå en god ekologisk potential år 2015 utifrån en bedömning att detta också är socialt och ekonomiskt försvarbart.

***Omställningen av energisystemet***

Samtidigt pågår av andra miljörelaterade orsaker en omställning av energisystemet mot större andel förnybara energikällor däribland icke reglerbara energikällor, t ex vindkraft. Denna omställning kan innebära att vattenkraftens roll som energi- och effektproducent kan komma att blir ännu viktigare. I vattenkraftsammanhang innebär ett ökat momentant effektbehov snabbare flödesförändringar med potentiellt negativa konsekvenser för de reglerade vattendragen.

***Underlag för beslut behövs***

Av flera skäl är det alltså mycket angeläget att ta fram underlag som stöd till den stora utmaning för såväl svensk kraftindustri som för ansvariga myndigheter som både de nationella miljökvalitetsmålen och vattenförvaltningen innebär.

Andra etappen av programmet "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten" har varit inriktat mot att ta fram ett sådant underlag. Ambitionen har därför varit att så långt det är möjligt fånga frågeställningar som har relevans för de åtgärder som kan aktualiseras för att uppnå de beslutade målen.

**1.2 Sammanfattning av andra etappens resultat**

Syfte har varit att ta fram underlag för implementering av de mest kostnadseffektiva miljöförbättrande åtgärderna inom vattenkraften. Det gäller att förbättra de rådande förhållandena i vattenförekomsten så att de närmar sig naturliga förhållanden så långt det är möjligt utan att ändringen/regleringen av vattendraget förlorar sitt syfte. Detta inbegriper analyser eller framtagande av underlag till analyser där åtgärder värderas ekonomiskt och tidsmässigt enligt EU:s ramdirektiv för vatten.

För etapp två av programmet har nedanstående områden identifierats som prioriterade. Prioriteringen har i stor utsträckning baserats på frågeställningar som aktualiserats vid omprövningar av vattendomar och som bedöms vara primära områden vid kommande implementering av EU:s ramdirektiv för vatten.

I anslutning till de korta beskrivningarna av respektive område presenteras de viktigaste resultaten av de ingående projekten.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"*****Förbättrade förutsättningar för vandring hos vattenorganismer***

Området avser utveckling av funktionella och kostnadseffektiva vandringsvägar för fisk och andra vattenorganismer. Befintlig och ny kunskap skall användas för att utforma, konstruera och utvärdera vandringsvägar förbi vattenkraftverk, regleringsdammar och andra vandringshinder orsakade av vattenkraftproduktion. Ett viktigt syfte är att motverka fragmentering av vattendrag.

Projekten "Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass"-system", "Fiskvägar som restaureringsåtgärd för fragmenterade fiskpopulationer i reglerade vattendrag" och "Anordning för lockvattenströmmar vid vattenkraftverk" har arbetat med prioriterade frågor inom detta område.

De viktigaste resultaten från "Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass"-system" och arbetet i Stornorrfors (Umeälven/Vindelälven) och Sikfors (Piteälven) är:

- Att möjligheter föreligger att öka andelen vild lax i Östersjön, som idag utgör mindre än 15 %.
- Att möjligheter föreligger att öka uppvandringseffektiviteten förbi Stornorrfors, som idag är 30 %.
- Att åtgärder bör kunna vidtas för att minska utvandringproblematik för smolt (utvandringsskyddad laxfisk) och "turbindödligheten" som idag är 17 % (Piteälven) och 25 % (Umeälven).
- Att specifik och generell information om hur man kan lösa fiskvandringproblematik har etablerats genom:
  - Identifiering av vilka miljövariabler som får leklax i en större vattenmassa att hitta och vandra upp i en mindre flödeskälla.
  - Identifiering av hur, när och var utvandring sker.
  - Modellering av leklax och laxungars förmåga att vandra förbi vattenkraftverk och dammar.
- Att populationsmodellering inom en tioårsperiod indikerar en väsentlig ökning om 75% av de uppströmsvandrande laxhonorna kunde nå Vindelälven genom att fiskvandringproblemen i den reglerade älvsträckan minimerades.
- Att populationsmodellering indikerar att andelen lekvandrande lax i Piteälven skulle öka med upp till 70 % (beroende på antagen smoltstorlek) inom en tioårsperiod om kraftverket inte orsakade några förluster av smolt (utvandringsskyddad laxfisk).
- Att arbetet diskuterar olika förslag till hur vandringproblemen för fisk kan minimeras så att det långsiktigt går att etablera uthålliga vandringfiskbestånd.

De viktigaste resultaten från "Fiskvägar som restaureringsåtgärd för fragmenterade fiskpopulationer i reglerade vattendrag" och arbetet i Emån är:

- Att omlöpen vid Finsjö återskapar möjligheterna för upp och nedströmsvandring (korridorfunktionen) i delar av Emån för flera arter.
- Att tätheterna av årsyngel av öring uppströms Finsjö för 2002 och 2005 ligger på en högre nivå än innan fiskvägarna öppnades. (Lågt antal yngel under 2003 och 2004 gäller hela Emån och verkar bero på ovanligt höga sommarflöden.)

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

- Att en mycket liten del av smolten (utvandringsfärdig laxfisk) använde omlöpen för nedströms passage. I de flesta fall vandrar de med huvudströmmen och via utskov eller turbiner.
- Att studier av smolt (utvandringsfärdig laxfisk) visar på en högre dödlighet i det övre kraftverkets Francisløphjul än i det nedre kraftverkets Kaplanløphjul.
- Att försök att leda av smolten från intagskanalerna via utskov visade större framgång för det övre kraftverket än det nedre kraftverket.
- Att fiskvägarna idag fungerar som alternativ väg förbi kraftverken för den utlekta fisken.
- Att avledningsförsöken visar på en mycket stor potential för att minska förseningen för kelt (utlekt laxfisk) vid kraftverken.
- Att kombinationer av förbättrade utvandringsmöjligheter för smolt (utvandringsfärdig laxfisk) och kelt (utlekt laxfisk) bör prioriteras som framtida åtgärder.
- Att erhållen kunskap om att både laxfiskar och andra arter klarar av att passera de nya omlöpen, både upp till nya lekbottnar och tillbaka till Östersjön, ännu inte kan omsättas i vilka populationer som kommer att etablera sig i de nya områdena eftersom responsen på fiskvägarnas effekt på antalet vuxna fiskar i ån förväntas ta flera år.
- Att en uppföljning behöver göras om några år för att kunna uppskatta de mer långsiktiga effekterna av fiskvägarna för sportfisket.
- Att man konstaterar att ca 600 fiskekort a 600 SEK skulle behöva säljas för att motsvara kapital- och driftskostnader för omlöpen vid Finsjö.

De viktigaste resultaten från ”Anordning för lockvattenströmmar vid vattenkraftverk” är:

- Att en lockvattenanordning för acceleration av strömningen för fiskvandringar har utvecklats genom modellförsök.
- Att modellförsöken visade på att en hastighetsökning på ca 40 % jämfört med omgivande vattenhastighet kunde åstadkommas ”utan tillförd energi”.
- Att fyra fältförsök (i Bodens fiskodling, i Sikfors och Hedenäs i Åbyälven) har genomförts med syfte att undersöka hur fisken attraheras av den lokalt ökande hastigheten i lockvattenanordningen.
- Att man har visat att anordningen måste vara mörk till färgen men att det baserat på genomförda fältförsök inte gått att verifiera lockvattenanordningens funktion, dvs fiskens attraktion av lockvattenanordningen.

***Habitatförstärkning***

Området avser utveckling av funktionella och kostnadseffektiva åtgärder för att fiskars och vattenlevande organisms krav på reproduktions- och tillväxtpotentialer i reglerade vatten ska kunna förbättras. Befintlig och ny kunskap skall användas för att utforma och utvärdera habitatförstärkande åtgärder. Ett viktigt syfte är att säkerställa och om möjligt även förbättra befintlig ekologisk potential i reglerade vatten.

Projektet ”Restaurering av regleringsmagasin – optimering av fisk- och planktonproduktion genom balanserad näringsanrikning” har arbetat med prioriterade frågor inom detta område. De viktigaste resultaten från det är:

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

- Att det genom kompensatorisk näringstillsättning är möjligt och ekologiskt försvarbart att förbättra fiskproduktionen (röding) i regleringsskadade sjöar i fjällregionen så att den når en nivå som rådde innan regleringen.
- Att det inte är att betrakta som någon generell metod och att den inte innebär någon restaurering av andra typer av regleringsskador.
- Att viss metodutveckling för att kunna anpassa näringsgivan till mellanårsvariationer och långtidseffekter återstår.
- Att metoden mycket väl skulle kunna visa sig vara samhällsekonomiskt effektiv, särskilt med beaktande av det ökade sportfiskevärdet.
- Att samsynen om metoden som finns på andra håll (Kanada) saknas i Sverige.

***Flödesregimer (mintappning, korttidsreglering etc.)***

Området avser utveckling av funktionella och kostnadseffektiva förslag för hur korttidsregleringar och mintappningar kan utformas på bästa sätt. Befintlig och ny kunskap skall användas för att utforma och utvärdera nya strategier för korttidsreglering och mintappning. Ett viktigt syfte är att maximera vattenlevande djurs och växters möjligheter att fortleva i reglerade vatten.

Projektet "Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass"-system" har delvis arbetat med prioriterade frågor inom detta område, men enbart med bäring på fiskvandring, se ovan.

***Kompensationsutsättningar av fisk***

Området avser utveckling av funktionella och kostnadseffektiva metoder för odling av mer naturanpassad fisk. Befintlig och ny kunskap används för att utforma och utvärdera kompensationsutsättning av fisk i reglerade vatten. Ett viktigt syfte är att säkerställa bevarandet av befintlig genetisk variation i vildlevande populationer.

Projektet "Naturlik sättfisk" har arbetat med prioriterade frågor inom detta område. De viktigaste resultaten från det är:

- Att effekter på odlad fiskens anpassning till ett liv i naturen av exponering för rovdjur (predatorconditionering), varierande täthet samt strukturell komplexitet i odlingen har undersökts.
- Att vild och odlad fiskens beteende skiljer sig åt när en predator finns närvarande.
- Att den odlade fiskens "predatorbeteende" går att korrigera, men att utfallet av försöken i projektet blev att den predatorconditionerade fisken betedde sig annorlunda än den vilda.
- Att öringen har en medärvd respons att undvika gädda, men att den inte påverkades av de undersökta metoderna för predatorconditionering.
- Att använda predatorconditioneringsmetoder inte gav någon skillnad när det gäller överlevnad vid utsättningsförsök i mer naturlig miljö.
- Att utsättningsförsök med predatorconditionerad fisk i Dalälven ännu har för låg återrapportering för kunna analyseras.
- Att predatorconditionering inte rekommenderas i dagens läge (förbättringar i avkastning kan inte anses motivera merkostnaderna).

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

- Att den genetiska variationen hos fisken i ett odlingstråg är negativt täthetsberoende.
- Att fisk som odlats i låga tätheter och med större strukturell komplexitet i odlingen har en högre tillväxt än konventionellt odlad fisk.
- Att fisk i låga tätheter har lägre andel fenskador.
- Att fisk i låga tätheter har högre konkurrensförmåga än fisk i konventionella tätheter.
- Att låga tätheter inte påverkade fiskens överlevnad efter utsättning, men väl dess tillväxt.
- Att större strukturell komplexitet i odlingstrågen inte har någon inverkan på genetisk diversitet, tillväxt eller överlevnad efter utsättning.
- Att minskade odlingstätheter för sättfisk rekommenderas.

**1.3 Programmets mål och målpåfyllelse**

Totalt har 40 MSEK satsats av Elforsk (elföretagen), Energimyndigheten, Fiskeriverket och Naturvårdsverket under sex år på forskning om vattenkraftens miljöpåverkan och utveckling av miljöförbättrande åtgärder genom programmet "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten".

I programmets första etapp genomfördes åtta projekt. Fyra av dem har vidareutvecklats och fortsatt i den andra treårsetappen samtidigt som ett nytt projekt, 2.5 Anordning för lockvattenströmmar vid vattenkraftverk, har tillkommit. De viktigaste resultaten av andra etappen har sammanfattats i föregående avsnitt. De viktigaste resultaten av första etappen har tidigare sammanfattats i "Vattenkraft, miljöpåverkan och åtgärder, resultat från etapp 1 av forskningsprogrammet Vattenkraft – miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten". Från de projekt som avslutades i och med första etappen drogs följande slutsatser:

- Knott, som är en viktig länk i näringsväven vid norrländska älvar, produceras i mindre utsträckning i utbyggda älvar (en orörd älv kan ha upp till 100 gånger mer knott). Detta leder emellertid inte till någon stor skillnad på småfågellivet vid reglerade och oreglerade älvar. Däremot får svartvit flugsnappare fler livskraftiga ungar när de häckar vid fritt strömmande älvar. Vattenanknutna fåglar, t.ex. änder och måsar, är dock vanligare i de reglerade älvarna. Vid undersökningar av blodparasitförekomst var infektion av Leucocytozoon-parasiten genomgående högre för de fyra mest observerade fågelarterna längs den fritt strömmande Vindelälven än längs den reglerade Umeälven. Med avseende på påverkan på människor var det ungefär dubbelt så många läkarbesök med anledning av knottöverkänslighet vid fritt strömmande vatten som vid reglerade älvar.
- Naturlig avgång av koldioxid från svenska regleringsmagasin har visats vara jämförelsevis små. Regleringsmagasinen avger ungefär lika mycket koldioxid som en vanlig näringsfattig sjö, men den totala effekten blir ändå att utsläppen ökar eftersom vattenytan blir större. Totalt ger utbyggnaden av norrländsälvarna beräknad en ökning av 50 000 ton koldioxid årligen till luften (de totala utsläppen av koldioxid i Sverige var 54 800 000 ton 2002). Det motsvarar ungefär 1 procent av det som Sveriges alla sjöar tillsammans alstrar varje år.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"*****Uppföljning av programmets långsiktiga och övergripande förutsättning***

I den andra etappen har verksamheten givits ytterligare fokus. Syftet med programmets andra etapp har varit att ta fram underlag för implementering av de mest kostnadseffektiva miljöförbättrande åtgärderna inom vattenkraften. Programmets långsiktiga och övergripande förutsättning har varit att:

- projekten skall vara åtgärdsinriktade och ge underlag för de åtgärder som kan aktualiseras vid implementeringen av de nationella miljö kvalitetsmålen och EU:s ramdirektiv för vatten.
- vattenkraft skall kunna bedrivas effektivt efter anpassning till de nationella och regionala miljö kvalitetsmålen samt EU:s ramdirektiv för vatten.

Inom respektive område har verksamheten förhållit sig till de långsiktiga och övergripande förutsättningarna enligt följande.

***Förbättrade förutsättningar för vandring hos vattenorganismer***

Den nya kunskap som framkommit inom området bedöms av forskargrupperna vara viktig för att långsiktigt uppfylla det nationella miljömålet "Levande sjöar och vattendrag". Speciellt gäller det delmålet om skydd av hotade vandringsfiskar. Etablerad kunskap om hur naturligt förekommande vandringsfiskbestånd av lax och havsöring med intakta lek- och uppväxtlokaler uppströms kustnära kraftverk kan tryggas, bedöms kunna omsättas i hur "generella" vandringsleder för vandringsfisk ska konstrueras i relation till vattenföringar/strömningsbild för att fungera så effektivt som möjligt.

Resultaten bedöms också kunna användas praktiskt då de ger möjlighet att genomföra om- eller tillbyggnation av vandringsleder på ett rationellt och ekonomiskt sätt med avseende på anläggningskostnad och driftskostnader.

Den framtagna metoden för modellering av passivt utvandrande smolt (utvandringsskydd laxfisk) bedöms också direkt kunna användas för att kvantitativt värdera ombyggnad av vattenvägar för avledning av smolt. Den metod som är under utveckling för uppvandrande fisk kommer också, efter viss vidareutveckling, att kunna användas för att pröva och kvantitativt värdera olika utformning och placering av lockvatten till fisktrappor eller omlöp. Dessa metoder möjliggör att vattenkraften fortsatt kommer att kunna bedrivas effektivt, även om kostnader för ombyggnation och viss minskad produktion kan bli aktuellt. Projekten har gett verktyg för restaurering av den naturliga reproduktionen av fiskbestånden i t.ex. Ume och Pite älv.

Forskningsprojektens deltagare har varit direkt involverade i dialoger om förändring av vandringsleder (Stornorrfors) och i arbete med att utarbeta åtgärdsförslag (Emån) som grund för framtida omprövning av vattendomar och implementeringen av ramdirektivet för vatten.

I Emån har olika frågeställningar kring fiskpassagerna kvantifierats från ett helhetsperspektiv. Lärdomar från arbetet i Emån bedöms också vara användbara i andra planerade studier.

Ansatsen angående den ekonomiska nyttan av fiskvägarna i Emån är en av få av sitt slag. Vidareutveckling och bredare tillämpning av sådana ansatser är nödvändigt för värdering av åtgärder.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"*****Habitatförstärkning***

När det gäller balanserad näringsanrikning är det forskargruppens klara uppfattning att försiktig och kontrollerad näringstillsättning under myndigheters överinseende, som kompensering för näringsförluster i fjällmagasin är väl förenlig med de nationella miljökvalitetsmålen och EU:s ramdirektiv för vatten. Kompensatorisk näringstillsats påverkar inte på något sätt ett effektivt utnyttjande av vattenkraften. Det kolliderar inte heller med andra åtgärder som kan företas i habitatförstärkande riktning för att exempelvis förbättra reproduktions- och tillväxtpotentialer i reglerade vatten, t.ex. tillskapande av lekbottnar.

EU:s ramdirektiv talar om att kunna nyttiggöra en resurs i kraftigt modifierade system, vilket det kan vara fråga om i dessa fall, där ett i biologisk mening i det närmaste impediment vatten omvandlas till ett produktivt tillstånd med naturliga populationer av laxfisk. Projektets resultat kan utgöra ett underlag för att etablera samsyn mellan miljövärdande, fiskevärdande, skogsvärdande och vattenkraftsföreträdare i frågan.

***Kompensationsutsättningar av fisk***

De undersökningar av förändringar i odlingsmiljön för kompensationsodling, som undersökts med avseende på förbättringar av fiskens anpassning till ett liv i naturen, har lett till att projektet i dagsläget inte rekommenderar predatorconditionering av odlad fisk, eftersom förbättringarna inte kan anses motivera merkostnaderna. Man rekommenderar emellertid minskade odlingstätheter för sättfisk. Låga tätheter påverkar inte fiskens överlevnad efter utsättning, men som andra motiv än direkt kostnadseffektivitet har den genetiska variationen hos fisken i ett odlingstråg visats öka med minskad täthet, liksom att fisk som odlats i låga tätheter har en högre tillväxt och lägre andel fenskador än konventionellt odlad fisk.

Forskningsprojektets deltagare har under 2004 bidragit till Fiskeriverkets rapport, "Analys av möjligheter för och konsekvenser av en förändrad inriktning på kompensationsåtgärder avseende fiske i nuvarande och kommande vattendomar", till regeringen.

***Uppföljning av programmets strategiska mål***

Programmets strategiska mål har varit:

- att pröva och utvärdera hypoteser och teoretiska modeller i försöks- och pilotanläggningar samt i naturliga vatten.
- att vid högskolor och universitet och företag långsiktigt öka kompetensen inom programmets prioriterade områden samt att främja samarbetet mellan högskolor, universitet, forskargrupper och företag nationellt och internationellt.
- att stärka samarbete mellan olika vetenskapliga discipliner samt industrin då flertalet frågeställningar är av tvärvetenskaplig karaktär.
- att projekten skall ha sådan vetenskaplig kvalitet att resultaten publiceras i vetenskapligt granskade tidskrifter.

Samtliga projekt har haft ett angreppssätt som har prövat och utvärderat hypoteser och teoretiska modeller i försöks- och pilotanläggningar samt i naturliga vatten.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

Verksamheten har utan tvekan ökat kompetensen inom programmets prioriterade områden hos både deltagande universitet (fiskbiologi med modellering SLU, ekologi KAU, ekonomisk värdering av åtgärder LiU, hydraulisk modellering Chalmers, strömningsmekanik och fiskbiologi LTU, limnologi och fiskbiologi UU samt fiskgenetik och beteende GU och Fiskeriverket) och företag/organisationer (kraftindustri, fiskeråd, fiskodlingar, kommuner, länsstyrelser, Fiskeriverket, Naturvårdsverket m.fl.). Övergripande har ett utbyte funnits i t ex programstyrelse och genom programseminarier. På projektnivå har samarbeten funnits mellan högskolor, universitet, forskargrupper och företag nationellt och internationellt.

Samtliga projekt har haft direkt utbyte och samarbete med representanter för programmets avnämare och fyra av fem projekt har haft medverkande från "olika vetenskapliga discipliner" för att svara upp mot att flertalet frågeställningar är av tvärvetenskaplig karaktär.

Med avseende på vetenskaplig kvalitet har två doktorsexamina (Rivinoja, Calles) och två licentiatexamina (Brockmark, Kiviloog) avlagts och ytterligare en licentiatexamen planeras under våren 2006 (Wassvik) och en under 2007 (Persson). Fem artiklar har hittills publicerats i editorgranskade tidskrifter och 13 har status som "submitted eller manuscript". Ett 40-tal konferensbidrag och nio examensarbeten har redovisats.

#### **1.4 Summerande kunskapssammanställningar för programmets prioriterade områden**

På uppdrag av programstyrelsen har fem sammanställningar av forskning om och utveckling av miljöförbättrande åtgärder inom vattenkraften nationellt och internationellt inom de områden som är prioriterade inom programmet tagits fram. Författarna svarar själva för innehållet och sammanställningar finns publicerade i sin helhet på [www.vattenkraftmiljo.nu](http://www.vattenkraftmiljo.nu).

I sammanställningarna lyfts bland annat följande fram av författarna som förslag till forskningsområden och -frågor som skulle kunna vara av intresse för fortsatta forskningsinsatser i Sverige:

##### ***Förbättrade förutsättningar för vandring hos vattenorganismer:***

- Grundläggande kunskap om den potentiella produktionen och vilka effekterna på populationsnivå hos olika vandringsfiskar som skulle kunna uppnås genom restaurering av vandringsleder förbi kraftverk och andra vandringshinder.
- Grundläggande kunskap om smolt (utvandringsfärdig laxfisk), till exempel storlek, ålder och tid för nedströmsvandring.
- Uppdaterad utvärdering av överlevnad av smolt vid olika turbintyper, vattenflöden och kraftverksutformningar.
- Vandringsbeteende och överlevnad vid kraftverkspassager för utlekt laxfisk (där lax och havsöring potentiellt kan leka mer än en gång). Ingen sådan studie är gjord på Östersjölax.

##### ***Habitatförstärkning (Näringsanrikning):***

- Långtidseffekter på fiskbestånd och planktondiversitet av näringsanrikning.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

- Utveckling av ekologiskt hållbara källor för näringsämnen.
- Miljöekonomisk analys av näringsanrikning.
- Inventering och urval av lämpliga regleringsmagasin för näringsanrikning.

***Flödesregimer (mintappning, korttidsreglering etc.):***

- Ekosystemomfattande metodologier för miljöanpassade flöden, anpassade för svenska (vattenrika) förhållanden och restaurering.
- Tillämpningsförsök med miljöanpassning av flöden i en realsituation med noggrann uppföljning av effekterna under flera år för metodutveckling för optimal nytta (s.k. adaptiv restaurering).
- Kombinerad av flödesanpassning med restaurering av fysiska strukturer med noggrann uppföljning av effekterna under flera år för metodutveckling för optimal nytta.
- Utveckling av övergripande naturvårdsmål för den långsiktiga skötseln av reglerade vattendrag (avrinningsområden) i Sverige
- Systematisk kartering av torrfårors växt- men framför allt djursamhällen i kombination med analyser av vilka faktorer som styr utvecklingen av dessa samhällen.

***Kompensationsutsättning av fisk:***

- Orsaker till hybridisering mellan lax och öring. Stora andelar hybrider har på senare år noterats bland annat i Dalälven.
- Konsekvenserna av och orsaker till kompensationsodlingens påverkan på beståndets genetiska profil.
- Ekologiska effekter av utsättning på vilda bestånd.
- Effekterna av anpassningar av odlingsmiljön i storskalig tillämpning.
- Identifiering av när dödligheten sker hos den utsatta fisken.

## **1.5 Utvärdering av programmet**

I slutet av januari 2006 genomförde Bernt Rydgren, SwedPower, Bror Jonsson, Norwegian Institute for Nature Research (NINA) och Svein Jakob Saltveit, Universitetet i Oslo en utvärdering av andra etappen av forskningsprogrammet. Utvärderingen fokuserades på vetenskaplig kvalitet och resultat, industriell relevans, samverkan mellan olika experter och mellan forskning och industrin samt måluppfyllnad relativt uppsatta forskningsmål för de fem forskningsprojekt som ingått i 2:a fasen av programmet. Generellt konstaterar utvärderingen med avseende på detta att:

- Det är stor variation mellan såväl projektens upplägg som deras vetenskapliga kvalitet.
- Två projekt är av mycket god genomgående kvalitet medan de tre andra lider av brister i varierande utsträckning och av olika art.
- En generell brist i samtliga projekt är att det hittills publicerats alldeles för lite artiklar i internationellt gångbara tidskrifter.

De mest framgångsrika projekten anses av utvärderarna vara 2.1 Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass"-system (Lundqvist) och 2.2 Fiskvägar som restaureringsåtgärd

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

för fragmenterade fiskpopulationer i reglerade vattendrag (Greenberg). De anses likvärdiga i angreppssätt och metodanvändning, där ett genomförs i en stor norrlandsälv och ett i ett mindre lågländsvattendrag. Båda har enligt utvärderingen genererat ny kunskap, publicerat sig i internationella tidskrifter och engagerat ett antal studerande i arbetet, av vilka två har avlagt doktorsexamen.

Projekt 2.3 Restaurering av regleringsmagasin – optimering av fisk- och planktonproduktion genom balanserad näringsanrikning (Milbrink) har enligt utvärderarnas bedömning inte lyckats validera sin grundläggande forskningshypotes (den om dämmningsdrivna näringsutarmningsprocesser i fjällmagasin) och projektet misslyckas enligt utvärderarna med att etablera nya användbara och vetenskapligt belagda åtgärder.

Projekt 2.4 Naturlik sättfisk (Petersson) anses av utvärderarna framgångsrikt ha genomfört en serie experiment, men lyckas inte verifiera försökens påverkan på mortaliteten hos utsatt odlad smolt (utvandringsfärdig laxfisk) och genererar därmed enligt utvärderarna inga praktiskt tillämpbara metoder.

Projekt 2.5 Anordning för lockvattenströmmar vid vattenkraftverk (Gustavsson) har testat en ny innovation för att locka fisk till fiskvägar, men har enligt utvärderarna misslyckats med att generera användbara resultat, delvis på grund av att innovationen inte var färdig för fältprov när de genomfördes.

Mer detaljer avseende projektens styrkor och svagheter enligt utvärderarna finns i "HYDROPOWER – environmental impacts, remedial measures and costs in regulated waters, Assessment by the Scientific Review Panel, 16 – 20 January 2006" av Bernt Rydgren, Bror Jonsson och Svein Jakob Saltveit. Den finns i sin helhet publicerad på [www.vattenkraftmiljo.nu](http://www.vattenkraftmiljo.nu).

Med avseende på projektadministrationen anser utvärderarna att den har fungerat väl, men att det vore tillrådligt att stärka kontrollfunktionen som programstyrelsen utövar. Systemet med en kontaktperson från styrelsen för respektive projekt föreslås kompletteras med en årlig genomgång med möjlighet till budgetförändringar som ett verktyg för en sådan stärkt roll. Extern vetenskaplig kompetens föreslås också regelbundet kunna kallas in för att stötta styrelsen i dess roll.

De rekommendationer som utvärderingen lämnar kan sammanfattas enligt följande:

- Programmet rekommenderas fortsätta i en tredje fas.
- Fokus i denna framtida fas bör läggas på: a) begränsande faktorer för biologisk produktion och b) metoder för restaurering.
- Det rekommenderas att produktionspotentialen definieras för reglerade vattendrag som utgångspunkt för studier av metoder för restaurering ur ett kostnads-nyttoperspektiv.
- Sökandet efter metoder för restaurering bör inte utgå från blindtester av nya, oprövade variabler, utan från identifierad påverkan och möjliga åtgärder.
- De nationella miljömålen och EU:s vattendirektiv gör att ett ekosystemperspektiv är närmast nödvändigt för åtgärdsorienterad forskning.
- De samhällsekonomiska aspekterna av studerade åtgärder måste ges betydligt större utrymme.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

- Möjligheten att koncentrera flera olika projekt i samma miljö/område bör övervägas, liksom att utföra samma forskning på flera olika platser. Detta för att studera den generella tillämpbarheten av resultat.
- Framtida studier på sättfisk bör fokuseras på tidiga miljöeffekters inverkan på fiskens överlevnadsmöjligheter i naturen.
- Ett bättre fokus i den framtida fasen skulle kunna uppnås om man definierar de problem man vill ha utredda i mer detalj, för att sedan låta forskargrupper konkurrera om att få utföra detta arbete.
- Möjligheten att låta forskargrupper från hela Norden delta i projektet bör nogt övervägas.
- Budgeten bör behandlas på ett sånt sätt att inga projekt finansieras för att "fylla ut" tillgängliga medel, utan bara de projekt som rekommenderats av den vetenskapliga utvärderingen bör erhålla finansiering.

**1.6 Framtida forskning**

I utvärderingen rekommenderas programmet fortsätta i en tredje etapp. Huruvida det blir så och vilken inriktning en sådan fortsättning skall ha, avgörs av programmets finansörer. Ett underlag för det är följande syntes baserad på projektens redovisade resultat, utvärderingen och de "områdesvisa sammanställningarna":

***Förbättrade förutsättningar för vandring hos vattenorganismer:***

- Den kunskap som framkommit i programmet föreslås vidareutvecklas m a p hur "generella" vandringsleder för vandringsfisk ska konstrueras i relation till vattenföringar för att fungera så effektivt som möjligt. Det gäller t.ex. modeller för uppvandrande fisk för att pröva och kvantitativt värdera olika utformning och placering av lockvatten till fisktrappor eller omlöp.
- Studier av fiskpassager ur ett helhetsperspektiv/ekosystemperspektiv föreslås i tidigare studerade och andra vattendrag. I det sammanhanget bedöms grundläggande kunskap om den potentiella produktionen och vilka effekterna på populationsnivå hos olika vandringsfiskar som skulle kunna uppnås genom restaurering av vandringsleder vara prioriterat. De samhällsekonomiska aspekterna av studerade åtgärder föreslås också ges betydligt större utrymme. Ytterligare ansatser angående ekonomisk nytta av t ex fiskvägar är nödvändig för värdering av åtgärder. Produktionspotentialen föreslås vara utgångspunkt för studier av metoder för restaurering ur ett kostnads-nyttoperspektiv.
- En uppföljning för att kunna uppskatta de mer långsiktiga effekterna av fiskvägarna i Emån föreslås eftersom erhållen kunskap om att både laxfiskar och andra arter klarar av att passera de nya omlöpen, både upp till nya lekbottnar och tillbaka till Östersjön, ännu inte kan omsättas i vilka populationer som kommer att etablera sig i de nya områdena.
- Aktuella om- eller tillbyggnation baserat på bland annat den kunskap som framkommit i programmet avseende smolt (utvandringsfärdig laxfisk) föreslås följas upp med hjälp av forskningsinsatser. Dessutom föreslås ytterligare studier av smolt, till exempel storlek, ålder och tid för nedströmsvandring. Metoder för att leda av smolt och kelt (utlekt laxfisk) från intagskanalerna föreslås utvecklas och utvärderas i Emån eftersom tidigare forskning visar på stor potential för att minska nedvandringens problematik för smolt och kelt vid kraftverken. Det inbegriper förslagsvis också framtagande av mer

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

kunskap kring vandringsbeteende och överlevnad vid kraftverkspassager för utlekt laxfisk (där lax och havsöring potentiellt kan leka mer än en gång).

- De forskningsgrupper som är direkt involverade i förberedelser för om- och tillbyggnader (Stornorrfors) och i arbete med att utarbeta åtgärdsförslag (Emån) som grund för framtida omprövning av vattendomar föreslås prioriteras för ovanstående insatser.

***Habitatförstärkning (Näringsanrikning):***

- När det gäller balanserad näringsanrikning föreslås inga fortsatta forskningsinsatser för att förfina metoden förrän möjligheter till samsyn mellan miljövårdande, fiskevårdande, skogsvårdande och vattenkraftsföreträdare har provats i frågan.

***Flödesregimer (mintappning, korttidsreglering etc.):***

- Tillämpningsförsök med miljöanpassning av flöden och restaurering av fysiska strukturer baserat på ekosystemomfattande metoder för miljöanpassade flöden och samhällsekonomisk värdering föreslås. Uppföljning av effekterna i tillämpningsförsök för metodutveckling föreslås.
- Identifierad påverkan och övergripande naturvårdsmål föreslås vara utgångspunkt för metoder och åtgärder.

***Kompensationsutsättning av fisk:***

- Studier av och åtgärder med avseende på tidiga utsättningseffekters inverkan på fiskens överlevnadsmöjligheter i naturen föreslås.
- Orsaker till hybridisering mellan lax och öring föreslås undersökas.
- Effekterna av anpassningar av odlingsmiljön i storskalig tillämpning.

## 2. Slutrapporter från forskningsprojektet

### 2.1 Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett "bypass"-system

#### *Projektdeltagare*

*Projektledare:*

Hans Lundqvist, Professor.  
Vattenbruksinstitutionen, SLU  
(Sveriges Lantbruksuniversitet),  
901 83 Umeå  
090-786 8315, 070-542 10 20  
hans.lundqvist@vabr.slu.se

*Projektdeltagare:*

Lars Bergdahl, Professor.  
Bygg- och miljöteknik, Vatten miljö  
teknik, Chalmers, 412 96 Göteborg  
Tfn 031-772 21 55  
Lars.Bergdahl@wet.chalmers.se

*Projektdeltagare:*

Kjell Leonardsson  
Vattenbruksinstitutionen, SLU  
(Sveriges Lantbruksuniversitet),  
901 83 Umeå  
090-786 8394  
kjell.leonardsson@vabr.slu.se

*Doktorand:*

Peter Rivinoja  
Vattenbruksinstitutionen, SLU  
(Sveriges Lantbruksuniversitet),  
901 83 Umeå  
090-786 8384  
Peter.rivinoja@vabr.slu.se

*Doktorand:*

Jaana Kiviloog, tekn. lic..  
Bygg- och miljöteknik, Vatten miljö  
teknik, Chalmers, 412 96 Göteborg  
Tfn 031 25 55 70, 0705 34 58 79  
jaana.kiviloog@home.se

*Projektdeltagare:*

Mikaela Eliasson, civ.ing.  
Bygg- och miljöteknik, Vatten miljö  
teknik, Chalmers, 412 96 Göteborg  
Tfn 031-777 221 59  
Mikaela.Eliasson@wet.chalmers.se

#### **Bakgrund och problemställning**

Den svenska vattenkraftsutbyggnaden har orsakat stora ekologiska förändringar i älvar där vandrande fisk hindrats från att nå sina lek- och tillväxtområden, eller genom att deras rekryteringsområden överdämts eller torrlagts. I älvar med kvarvarande lekområden uppströms flödesregleringar har fiskvägar byggts för att underlätta fiskens vandring förbi kraftverk. Det är viktigt både för samhället och kraftindustrin att vandringsfisken i möjligaste mån kan bevaras som hållbar naturresurs även i helt eller delvis reglerade vattendrag. Detaljerad information kring denna problematik ges i doktorsavhandling av Rivinoja (2005). I Stornorrforss vattenkraftverk har fiskens vandring möjliggjorts genom att den gamla älvfåran utgör vandringsled, sk "bypass-kanal", för fisk från turbinutloppet till fisktrappan vid dammen uppströms. I den gamla älvfåran spills en mindre del vatten via dammens ytutskov, medan älvens huvudflöde leds till turbinerna och därefter via en utloppstunnel tillbaka till älven. Dessa två vattenvägar möts i ett sammanflöde där uppströms simmande lekvandrande lax förväntas hitta den mindre vattenmängden i bypass-kanalen och simma vidare till fisktrappan där de registreras och frisläpps för vidare vandring till lekområden i Vindelälven. I omvänd riktning vandrar smolt nedströms med huvudflödet mot turbinintagen och vidare genom turbiner/tunnelsystem där dödligheten är stor (Montén 1988).

Vilda laxpopulationers utsatthet är ett internationellt problem (NRC 1996) och Östersjölaxens och havsöringens lekvandring har skadats i många älvar i Bottniska Viken och Östersjön. Idag utgör vild lax mindre än 15 % av det totala beståndet av Östersjölax (ICES, 2001). Generellt har det visat sig att många vandringsvägar, bypass-kanaler eller fisktrappor, inte fungerat tillfredsställande vilket lett till att vandringsfiskbestånden har eliminerats eller reducerats

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

(Christensen & Larsson 1979, Karlsson & Karlström 1994). Det är därför viktigt att utvärdera den kvantitativa betydelsen av fisktrappor vid kraftverk i älvars nedre del som hinder för passage av fisk till och från kvarvarande reproduktionsområden uppströms.

Rivinoja et al. (2001) observerade svårigheter för lekvandrande lax att passera Stornorrfors kraftverk i Umeälvens nedre del. Dessutom visade Montén (1988) att ca 25 % av de vildfödda lax- och öringungarna under sin utvandring till havet dog efter passage av Stornorrfors kraftverk och tunnelutloppet. De observerade problemen med fiskvandringen i Umeälvens nedre del (Rivinoja 2005) belyser utförligt hur kraftverksbyggnader påverkar laxens vandring i ett större vattendrag. Samtidigt ges ny generell kunskap om förhållandet i reglerade områden och viktig information om hur man kan lösa fiskvandningsproblem också i andra vattendrag. I det ena av våra två modellvattendrag (Umeälven) finns en tämligen fungerande laxtrappa vid kraftverkets damm men det har visat sig att en majoritet av den stigande laxen har problem att finna rätt vandringsväg uppströms till fisktrappan och passera denna (Slutrapport Energimyndigheten Etapp I).

**Umeälven och Piteälven som modellvattendrag**

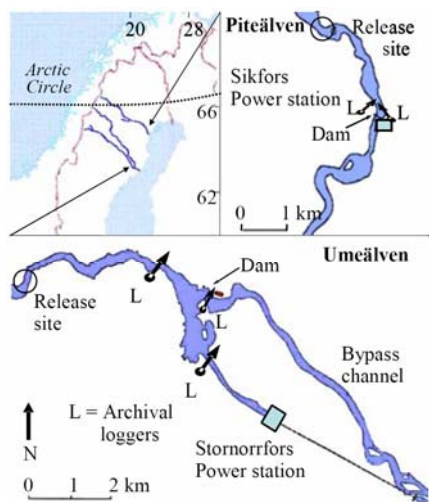
Umeälven och Piteälven i norra Sverige är fjällälvar med källflöden ca 450 km från kusten. Umeälven och det största biflödet Vindelälven, med ett årligt medelvattenflöde av ca 430 m<sup>3</sup>/s mynnar i Bottenhavet (64°N 20°E) medan Piteälven, med en medelvattenföring av ca 150 m<sup>3</sup>/s mynnar i Bottenviken (65°N 21°E). Bägge älvarna är flödesreglerade via vattenkraftsanläggningar i de nedre delarna, Stornorrfors kraftverk vid Umeälven och Sikfors kraftverk i Piteälven. Fisktrappor i respektive dammanläggning möjliggör uppströmsvandring till lekområden. Umeälvens vilda laxbestånd försvann efter vattenkraftsbyggnationer under 50-talet, medan Vindelälven fortfarande har produktion av vild lax och havsöring.

Smoltutsättningar (från Norrfors) kompenserar förlusten av vild umeälvslox. Fetttfena har från 1972 klippts från odlad fisk för att särskiljas från vild lax med intakt fetttfena. I fisktrappan har sedan 1961 fiskens ursprung samt kön, längd, vikt, ankomsttid, mm registrerats innan frisläppning för vidare vandring uppströms till Vindelälvens lekområden 50-300 km uppströms (Lundqvist *et al.* 2005). Under 1974-2005 har den befintliga databasen (som Vattenfall AB ombesörjer) 52 671 individer av vild lax registrerad. Omkring 70% är av vilt ursprung (McKinnell *et al.* 1994).

Vindelälven rinner in i Umeälven ca 40 km från mynningen och ca 8 km uppströms Stornorrfors damm och kraftverk. Vårt undersökningsområde, ca 32 km, sträcker sig från märkplats i Umeälvens mynning till laxtrappan i Norrforsdammen (figur 1). Vattnet återförs till Umeälven via en 4 km underjordisk tunnel (rak svart linje i figur 1). Området ges då en 8 km öppen naturlig älvfåra som under fiskens vandringsperiod fungerar som "bypasskanal" mellan damm och turbinvattenutsläpp. Följande begrepp har använts: *vandring* avser den vuxna fiskens lekvandring uppströms. *Tunnelutloppet* är den 250 m långa och 40 meter djupa kanal nedströms turbinvattentunneln. *Sammanflödesområdet* är området där vattnet från tunnellutloppet och den naturliga älvfåran möts. Fisktrappan är vandringsleden förbi Norrfors damm. *Spillvatten* till bypass-kanalen kontrolleras genom dammluckorna vid dammen i Norrfors (Tabell 1). Vattenföringen genom Stornorrfors kraftverk varierar över dygnet och veckan. Den genomsnittliga vattenföringen (m<sup>3</sup>/s) över fyra Francis turbiner från 20 maj till 1

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

oktober (1997) var ca 552 m<sup>3</sup>/s och spillet 56 m<sup>3</sup>/s för en total vattenföring av 608 m<sup>3</sup>/s. Den maximala vattenföringen genom kraftverket kan vara ca 1000 m<sup>3</sup>/s.



Figur 1. I figurens övre vänstra hörn syns den geografiska placeringen av Umeälven och Piteälven där alla undersökningar genomfördes. Stornorrfors kraftverk i Umeälven och laxens vandringsled i älvens nedre del (botten) samt Sikfors kraftverk i Piteälven (övre högra hörnet).

Tabell 1. Minimiflöde i bypasskanalen i Umeälven enligt nedan. Fisktrappan har en vattenföring på ca 1 m<sup>3</sup>/s.

Datum	m <sup>3</sup> /s
20 maj – 15 juni	10
16 juni – 31 augusti,	20 (måndag 07:00 till lördag 05:00)
16 juni – 1 oktober,	50 (helger)
1 september – 1 oktober,	15 (måndag 07:00 till lördag 05:00)
1 oktober – 19 maj	0,5

### Problemställningar

Projektets överordnade mål var förbättring av vandringsfiskars passage i flödesreglerade områden orsakade av vattenkraftverk, dammar och andra vandringshinder. Projektet är åtgärdsinriktat och ger underlag för åtgärder som möjliggör förbättring av vandringsfiskars upp- och nedvandring förbi kraftverk. Arbetet har fokuserats mot följande fyra generella frågeställningar:

- I. Vilka miljövariabler får leklax i en större vattenmassa att hitta och vandra upp i en mindre flödeskälla (sk bypass) förbi kraftverks- och dammkonstruktioner?
- II. Hur, när och var i vattenmassan utvandrar lax- och öringsmolt generellt i våra flödesreglerade vattendrag (ex. ovan Norrforss damm i Umeälven, samt ovan Sikfors kraftverk i Piteälven)?

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

- III. Simulering av strömningsmönster och validering av dessa med fältmätningar för att modellera leklaxens och laxungarnas förmåga att vandra förbi vattenkraftverk och dammar.
- IV. *Kvantifiering av laxens lekvandring från fisktrappan vid olika flödesregimer för att utreda om laxen faller tillbaka över dammen, samt att sammanställa erfarenheter av FoU gällande effekten av kraftverksbyggnationer i andra norrländska älvar på laxfiskars lekvandring och förmåga till passage (tex Piteälven, mm). (Delfrågeställningen med "fallbacks" över damm har efter samråd med Vattenfall inte genomförts efter första årets observationer p.g.a. att ny fisktrappa planeras att byggas vid Norrforsdammen i Umeälven).*

**Projektbeskrivning**

Vandringsfiskars passage av vattenkraftverk, regleringsdammar och andra vandringshinder har studerats i både Umeälven och Piteälven. Studier på uppströmsvandrande lekfisk genomfördes endast i Umeälven. Fiskarnas vandringsmönster vid passage av kraftverken och dammarna relaterades till olika vattenflöden som antingen var normal veckotappning, extrema spill eller experimentella flöden i direkta försök. Med populationsmodeller bedömdes den framtida effekten på laxpopulationerna om den observerade förlusten på fiskvandringen orsakad av kraftverken minimerades. Projektets åtgärdsinriktning ger underlag för framtida insatser för förbättring av den vilda laxens och havsöringens upp- och nedvandring via fisktrappor alternativt smoltavledare förbi kraftverken. Denna kunskap är viktig för att långsiktigt uppfylla de nationella miljömålen om skydd av hotade vandringsfiskar. Rapporten fokuseras mot tre generella frågeställningar: Nedan följer en kortfattad beskrivning av projektet som i stort kan indelas i tre delar med utgångspunkt från hur lekvandrande lax vandrar uppströms i älven vid normala veckotappningar, hur individernas vandringsintensitet varierar beroende på spillvattentappningar, samt hur smolt nedströmsvandrar mot damm och turbinintag.

**Lekvandrande individers uppträdande vid sin uppströmssimning i älven vid normal veckotappning**

I Umeälven studerades vandringsmönstret hos lekvandrande lax som ryssjefångats och märkts under juni-augusti efter ankomst till älvens mynning. De flödesreglerade områdena, sammanflödet och bypass-kanalen, på den ca 32 km långa sträckan mellan mynningen och fisktrappan vid dammen granskades detaljerat för att utreda eventuella problematiska passager. Laxarna märktes med aktiva inre eller yttre radiosändare (ATS), passiva radiomärken, PIT-tags (Trovan), samt ett klipp i fettfenan. Ingen av dessa märken förväntas störa fiskens simförmåga eller beteende. Prover för genetisk analys av stamtillhörighet samlades tillsammans med notering av längd och kön. Laxens individuella vandringar följdes genom manuell pejling (båt, bil, mm) 3-7 ggr i veckan samt genom automatiska pejlstationer (LOTEK loggrar) fram till 7 oktober. De automatiska pejlstationerna placerades under 2003-2005 på strategiska platser i sammanflödesområdet och detaljerad information av laxars rörelsemönster inom detta område erhöles. Resultaten från loggrarna valideras med manuella pejlingar (för detaljer, se Rivinoja 2005).

**Laxens vandringsintensitet vid olika spillvattentappningar**

Denna del utreder hur och vilka miljövariabler som får leklax i en större vattenmassa att hitta och lockas upp i en mindre flödeskälla som kan fungera som "bypass" förbi kraftverks- och

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

dammkonstruktioner. Tillsammans med Fiskeriverket och Vattenfall utarbetades olika tappningsmönster där laxens uppströmssimning till "bypass" kanalen studerades i direkt anslutning till "nya" tappningsregimer av tex 80 m<sup>3</sup>/s spill under fyra dagar i stället för veckoreglering på 20 m<sup>3</sup>/s. Den normala veckoregleringen med en flödeshöjning till 50 m<sup>3</sup>/s under helgerna har tidigare visats stimulera laxens invandring i bypasskanalen. För att svara på frågan vilken optimal flödesregim i "spillet" som maximerar uppvandningsresponsen behövdes en hög upplösning på rörelsemönstret hos laxen samt möjlighet att manipulera flödet i torrfåran. Signalen från automatiska loggrar visar när laxen i realtid passerar sammanflödet och vandrar in i bypasskanalen eller forsen (upp- eller nedströms) medan de radiomärkta fiskarnas uppehållstid i sammanflödesområdet och bypasskanalen nedströms Baggböleforsen också erhålls. Data om fiskens rörelsemönster och uppehållstider med hög geografisk upplösning länkas och har utgjort grund för försökstappningar (Rivinoja 2005).

Strömningsbilden vid laxens uppvandring från sammanflödesområdet till "bypass kanalen" har uppmätts och sammanflödets geometri har modellerats grovt (Chalmers). Strömningsmodellen har dock visat sig bli så omfattande (1½ miljoner celler) att det är problem med konvergensen i tillgängliga datorer. Framtida resultat från en konvergerad modell kan valideras mot uppmätta hastighetsprofiler för 2003 och 2004. En fungerande, uppvandrande, numerisk "fisk" har konstruerats och testats i den konvergerade och validerade strömningsmodellen för Sikfors. Flödesmodellen kan i kombination med den numeriska "fisken" indikera optimala relationer mellan flödet i kraftverksavloppet och bypasskanalen för att locka upp laxen i bypasskanalen.

En viktig delfråga för sammanflödesområdet har varit hur och var laxen positionerar sig i turbinvattenkanalens utlopp i älven. De 3D-positioneringar av fisk vi valt för omärkt fisk är ny hydroakustisk ekolod/Sonar från SIMRAD (EK 60) med mjukvara för lagring och analys av fiskdata från älvar. Detta ger möjlighet till analys av stora datamängder för statistisk bearbetning jämfört med den individbaserade tekniken. Möjligheten att följa enskilda fiskar är dock begränsad. Genom kombinerad djupdata för lax i sammanflödesområdet fås alltså en bild av var laxen uppehåller sig och om den vandrar in i tunneln. Vi får även veta var i området laxen uppehåller sig i relation till strömningsbilden i sammanflödesområdet. Detta är viktigt för att definiera potentiella områden för placering av ingång till en eventuell fisktrappa i området (se också Rivinoja 2005).

Studier av den tidigare angivna observationen att lax i Stornorrforfs fisktrappa efter frisläppning under höga spill faller tillbaka över dammen har inte genomförts därför att Vattenfall direkt efter våra påpekande om detta problem byggde om utsläppspunkten för lax släppta från fisktrappan samt att man aviserat byggandet av ny fisktrappa med smoltavledning relativt långt från den gamla fisktrappans läge (Isaksson, 2004).

**Smoltens nedströmsvandring mot damm och turbinintag**

Smoltens nedströmsvandring studerades i både Norrfors och Sikfors. Radiomärkta odlade smolt av lax och havsöring (från Norrfors och Heden) frisläpptes vid perioder för den naturliga smoltvandringen (maj-juni 2003 och 2004), ca 3-4 km uppströms kraftverksdammarna Norrfors i Umeälven och Sikfors i Piteälven. Avsikten var att kvantifiera smoltens utvandringssväg vid varierande dammspill i de reglerade områdena. De märkta fiskarna positionerades manuellt flera gånger per dygn samt med automatiska pejlstationer och

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

vandringsmönstret ovan dammarna och turbinintag identifierades. Parallellt under studien mättes strömbilden ovan dammarna vid olika vattenföringar. Då flödesmönstret påverkar fiskens vandringsrutt kan denna information nyttjas för att i framtiden avleda smolt och överlevande lekfisk från turbinerna. Flödesmodelleringen (Chalmers) visar data (bottentyper, djupförhållanden, strömmiljöer i vertikalled) så att området ovan dammen kartlagts tillsammans med smoltens utvandringssväg (Kiviloog 2005, Rivinoja 2005). Här ingår också simulering av strömningen i vattenvägar kring vattenkraftverk med hjälp av tredimensionella datorbaserade strömningsberäkningar (CFD=Computational Fluid Dynamics) som valideras mot fältmätningar. Data kring smoltens positioner (3D) i de olika vattenmassorna har kombinerats med de validerade strömningsmodellerna för att fastställa hur fisken vandrat i olika strömnings-skikt. Hypotesen att smolt följer huvudströmmen nedströms älven har bekräftats med "particle tracking" från utsättningspunkterna vid de tappningsförhållanden som rådde vid utsättningarna eftersom simulerade partiklar i stort följde samma väg som den utvandrande smolten. Här kommer nya rekommendationer att göras för ev utformning och längd på "fångstarmar" för avledning av smolt från kraftverksintaget. Vårt långsiktiga mål är att ställa upp klara kriterier på hur strömningen i en vandringsled ska vara beskaffad så att man sedan med hjälp av tredimensionell numerisk strömningssimulering kan utforma fungerande vandringsleder kring en vattenkraftsanläggning. Detaljerad information ges i Kiviloog (2005).

**Projektets resultat**

*Projektet är i detalj redovisat i två avhandlingar av Rivinoja, P. ("Migration Problems of Atlantic Salmon (Salmo salar L.) in Flow Regulated Rivers", Ph.D.avhandling, 9 dec, 2005, SLU, Umeå) samt Kiviloog, J. ("Three dimensional numerical modelling for studying smolt migration in regulated rivers", Tekn. Lic-avhandling 18 maj 2005, Chalmers, Göteborg). Nedan sammanfattas de viktigaste resultaten i projektet. För detaljer se avhandlingarna. Vi ger specifika kommentarer till övrig verksamhet som genomförts men ännu inte rapporterats.*

**Sammanfattning**

Lekvandrande lax märktes i Umeälvens mynning individuellt med radio-, PIT- och Carlin-märken under åren 1995-2005 (n = 2.651) och viktigaste resultaten visade att endast 0- 47 % (medel 30 %) av fisken årligen lyckades vandra till fisktrappan i Norrfors c. 32 km uppströms i älven. Lekvandringen från kusten till trappan tog i snitt 44 dagar och fisken fördröjdes eller hindrades vid kraftverkets turbinutlopp, olika forsar i "bypass" kanalen (gamla älvfåran) samt i fisktrappans område. Lax i kraftverkets utloppskanal observerades genom ekolodning, vanligtvis på 1-4 meters djup där fisken relativt starkt reagerade på flödesförändringar via turbinerna genom att vandra upp- och/eller nedströms i älven. Lax i kraftverkets turbinutloppskanal reagerade generellt positivt på ett ökat spillflöde när turbinflödet minskade genom att vandra uppströms till den gamla naturliga älvfåran som ledde fisken uppströms. Vi definierar laxens "yo-yo"-simningar som svar på stora dagliga turbinvattenförändringar som ett problem därför att många laxar "bränner" energi och fettreserver på simning upp och ned i älven beroende på hur kraftverket körs. Vid höga dammspill (ca 150 m<sup>3</sup>/s) minskade framgången i vandrigen uppströms det första vattenfallet i vandringsleden till fisktrappan. Förlusten av lax till lekområden uppströms beräknades till 70 %. Genom populationsmodellering beräknades en framtida ökning på 500 % inom en tioårsperiod, om 75 % av de uppströmsvandrande laxhonorna kunde nå Vindelälven, genom att fiskvandringssproblemen i den reglerade älvsträckan minimerades. Radiomärkta lax- (n = 150) och havsöringsmoltt (n = 56) som frisläppts uppströms kraftverken i Umeälven och Piteälven år

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

2002-2004 vandrade normalt nedströms i huvudfåran och anlände till kraftverkens turbinintag. Smoltens hastighet under vandringen sammanföll generellt med vattnets hastighet och var i snitt ca 2 fisklängder per sekund (BL s-1). Ekolodning i Piteälven visade att majoriteten av smolten vandrade ytnära på 1-3 meters djup. Flödesmodellering (CFD, Computational fluid dynamics) visade att de spilluckor som vanligen nyttjas vid respektive kraftverksdamm inte effektivt vägledde nedströmsvandrande smolt i spilllets riktning (FGE, Fish Guidance Efficiency). I Piteälven stannade 13 % av den radiomärkta smolten närmast uppströms kraftverket. Inga smolt passerade nedströms över spillet och smolt som passerade genom turbinerna visade storleksberoende förluster så att stora individer hade högre dödlighet än små. Tillsammans med data från utsättningar av Carlin-märkt smolt (n = 7.450) under 1998-1999 skattades den genomsnittliga förlusten av smolt vid kraftverket till 17 %. Populationsmodellering bedömde att andelen lekvandrande lax skulle öka från 5-30 % till 70-120 % inom en tioårsperiod om kraftverket inte orsakade några smoltförluster. Arbetena diskuterar olika förslag till hur vandringsproblemen för fisk kan minimeras så att det långsiktigt går att etablera uthålliga vandringsfiskbestånd.

**Uppströmsvandrande leklax**

I en studie innan det nuvarande projektet startade konstaterades att det förelåg hinder i laxens lekvandring i Umeälven och att denna störning sannolikt var kopplad till flödesregleringen av Umeälvens nedre del. I den studien undersöktes vilken effekt på fiskvandringen installationen av en extra turbin 1986 i Stornorrfors kraftverk hade på "timing" i laxvandringen genom att analysera tid för ankomst till fisktrappan som vittjas dagligen under hela fiskvandringsperioden. Ändringar i tid för laxens ankomst till fisktrappan jämfördes för två perioder 1974-1985 och 1986-1995. Under 1997, fångades och radiomärktes i Umeälvens mynning 55 vilda (med fettfena) och 25 odlade (utan fettfena och från Norrfors fiskodling) laxar som lokaliserades relativt kontinuerligt under sin uppströmsvandring. Både manuell pejlingsutrustning och automatiska loggrar användes för att spåra laxen dagligen. Endast 26 % av den vilda laxen och ingen av de odlade laxarna hittade sin väg till fisktrappan för vidare vandring till lekområdena i Vindelälven. Vi konstaterade att laxen under sin lekvandring i älvens flödesreglerade del följde det stora vattenflödet från kraftverkets tunnelutlopp och därigenom dirigerades från ingången till "bypass" kanalen som skulle leda fisken till fisktrappan. I sammanflödesområdet och början på bypass kanalen visade laxen både upp- och nedströmsvandring beroende på aktuellt vattenflöde. I "bypass" kanalen observerades flera partiella hinder som delvis förklarar varför det tog i genomsnitt 52 dagar för laxen att vandra den 32 km långa vägen från Umeälvens mynning till fisktrappan. Installationen av en fjärde turbin i Stornorrfors kraftverk visade sig inte förändra laxens (alla viktsklasser) ankomst i tid (mediantid) till fisktrappan eller ändra den säsongsmässiga fördelningen av tid för uppvandring av vild lax genom fisktrappan. Det dagliga vattenflödet via turbinerna eller älvtemperatur påverkade inte hur många laxar som dagligen passerade fisktrappan.

**Denna delstudie sammanfattar 10 års märkningar av den uppströmsvandrande laxens beteende i umeälvens flödesreglerade nedre del och predikterar effekten på populationsnivå om det inte fanns några eller endast smärre problem i lekvandringen.**

I analysen som genomförts har alla befintliga data nyttjas och statistiskt analyserats med samma förutsättningar då den experimentella designen med märkning av lax i mynningsområdet, frisläppning av fisk och registrering av vandringen, skett på relativt likartat

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

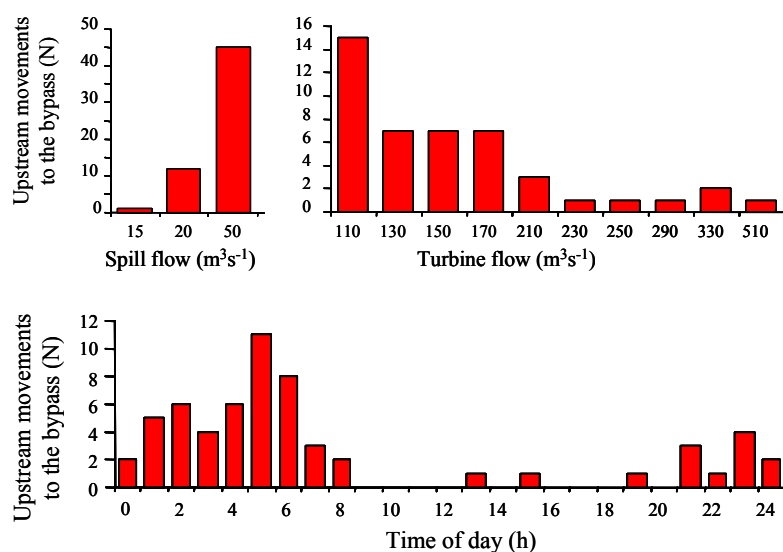
sätt. Då de olika årens vattenföringar i älven (skogs- och fjällflod) visat stora variationer mellan åren har detta gett möjligheter att tillsammans med experimentella spill analysera och modellera olika vattenföringars betydelse på uppströmsvandringen av lax. Här summeras resultaten från 1995 till 2005 av pejlingar av radio-märkt lekvandrande lax (märkt och frisläppt i älvens mynning) uppströms Umeälven (n=503). Kontrollfiskar märktes med inre PIT-märken (n=1574) och yttre Carlin-märken (n=574). Lekvandringen studerades under den 32 km långa vägen mellan mynningen och fisktrappan. Proportionen lax som under denna period lyckades genomföra hela lekvandringen varierade stort mellan år med en variation mellan 0 % till 47 %, vilket indikerade en förlust på i genomsnitt 70 % lekvandrare till Vindelälven (tabell 2). Ett problem var att turbinvattenflödet lockade laxen från det mindre vattenflödet i bypasskanalen.

**Tabell 2. Data från 1995-2005 för alla individuellt märkta lekvandrande laxarna i Umeälven. \*Det kalkylerade vägda medelvärdet tar hänsyn till att olika antal individer märkts under de olika åren.**

Year	1995	1996	1997	1999	2001	2002	2003	2004	2005	Tot.
Tagged fish (N)	30	574	80	60	70	493	391	503	450	<b>2651</b>
Passed Umeå	73%	-	84%	83%	79%	78%	83%	93%	80%	<b>83%</b>
Days to Umeå	4 (1-28)	-	3 (0.7-20)	3 (0.8-15)	4 (0.6-12)	3 (0.5-47)	4 (0.7-80)	4 (0.7-29)	4 (0.6-26)	<b>4 (0.6-80)</b>
Passed Ladder	0%	17%	26%	34%	18%	47%	35%	14%	47%	<b>30%*</b>
Days to Ladder	-	52 (10-95)	52 (27-77)	44 (22-81)	45 (31-61)	44 (11-91)	46 (9-88)	44 (14-91)	39 (14-101)	<b>44 (9-101)</b>

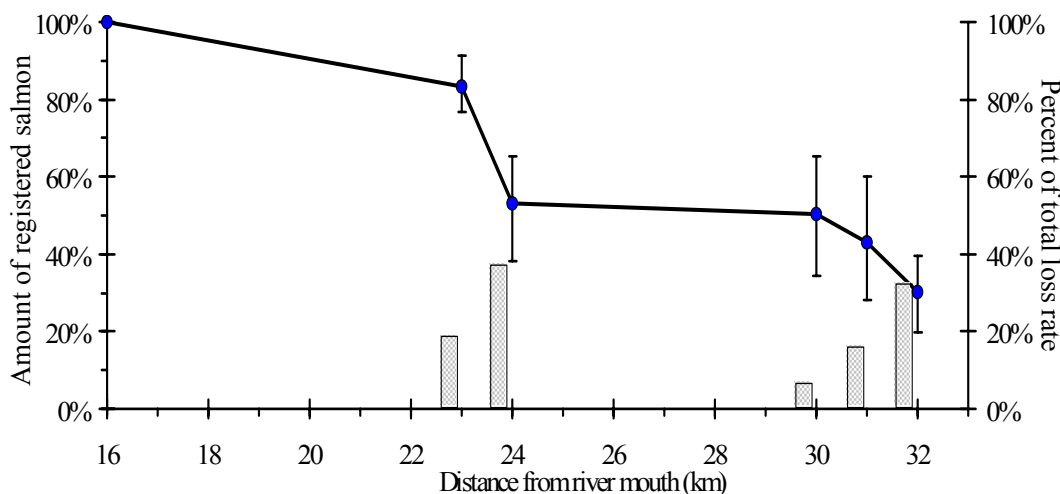
Ekolodning i turbinvattenkanalens utlopp visade att laxen i detta område huvudsakligen var orienterade ytnära på 1- 4 meter djup. Laxen reagerade starkt på förändringar i turbinvattenmängd och visade upp- eller nedströmsvandring medan ökat spillföde i bypasskanalen lockade laxen till ingången till bypasskanalen (figur 2). I bypasskanalen fördröjdes laxen och hade uppenbara problem att passera det första vattenfallet (Baggböle) vid höga spill och förhindrades alltså att passera uppströms vattenfallet och därigenom nå fisktrappan högre upp i bypasskanalen.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



Figur 2. Radiomärkt lax i sammanflödesområdet (umeälven nedre) (n=34) simmade in i "bypass" kanalen mer frekvent vid turbin flöden < 200 m<sup>3</sup>/s, vid högre dam spill och under natten med skymningsljus. Data från 2003.

Det tog i snitt c. 44 dagar för laxen att vandra från älvsmyningen till fisktrappans fångsthus. Den tid det tog för enskilda individer att simma uppströmssamma sträcka varierade stort inom år. Förluster av lax vid problematiska områden från sammanflödesområdet (distans 22-24 km) till fisktrappan (distans 32 km från älvens mynning) visas i figur 3.



Figur 3. Kumulativa lyckade passager av vild lax förbi olika problematiska områden uppströms märkningsområdet i Umeälvens mynning (vänster axel). Vertikala linjer visar 75 % konfidensintervall. Totalt är 478 radiomärkta laxar som vandrade in i Umeälven från 1995-2005 inkluderade i analysen. Proportionen av det totala antalet förluster av lekvandrande lax (ej registrerade i fisktrappan) vid olika problemområden i älven visas i grå staplar (höger axel).

Modellering av framtida dynamik i laxpopulationen, visade en potentiell ökning kring 500 % under en tio-års period om de nuvarande vandringsproblemen kunde förbättras så att 75 % av de lekvandrande laxarna kunde passera istället för de nuvarande 30 % (figur 4). Detaljer kring

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

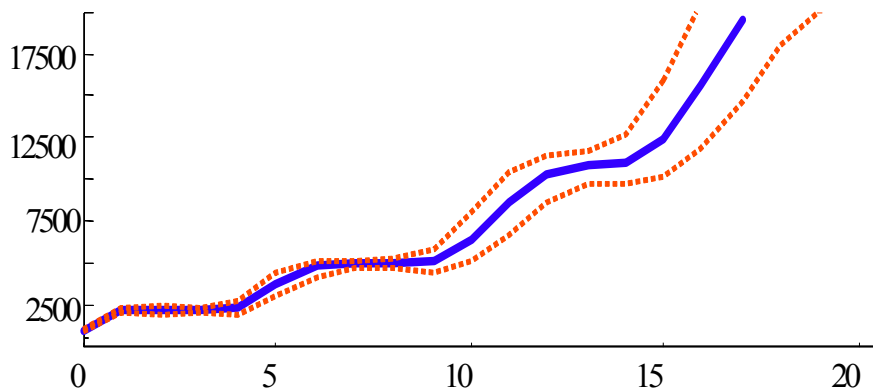
modellformuleringen och parametervärden till denna redovisas i doktorsavhandling av Rivinoja (2005). Resultaten i figur 4 bygger inte på en unik uppsättning parametervärden utan dessa värden täcker den osäkerhet som har bedömts biologiskt relevanta. Modellen förutsätter dock att fiskemortaliteten i Östersjön inte förändras under prognosperioden.

De analyser som International Council for the Exploration of the Sea (ICES) genomfört efter bearbetning av elfiskedata från Vindelälven samt statistik på uppvandrande lax visar ingen tendens till täthetsberoende begränsning inom de föräldraantal som vandrat uppströms de senaste 20-åren.

Täthetsberoende effekter i älven som reglerar laxyngelpopulationens maximala produktion, är den mekanism som i slutänden får populationstillväxten att avstanna, men var denna nivå ligger finns inte redovisad för Vindelälven eller någon annan fjällälv. Den ”gällande” skattningen av Vindelälvens produktionspotential är den från 1999 av Karlsson & Karlström (1999). Här bedömdes den naturliga smoltproduktionen ligga kring 200,000 smolt i älvens orestaurerade skick. Deras beräkningar bygger på att älven inte restaurerats, något som idag sker via statliga medel (Vindelälvens fiskeråd, Nilsson et al. 2005). Både mängden vild och odlad lax har ökat i trappfångsterna sedan mitten av 1990-talet och andelen vild lax har ökat. Detta skulle indikera att smoltproduktionen redan överskridit den potential som anges i Karlsson & Karlström (1999), utgående från Anderssons beräknade smoltproduktion under perioden 1973-1984 (se tabell 1 i Karlsson & Karlström). Det innebär att det inte finns någon säker skattning av Vindelälvens maximala potential för smoltproduktion. Lundqvist et al (2006) har påvisat två kärnområden för laxlek i Vindelälven, ca 50 km respektive 230 km uppströms Norrfors, och det finns stora utnyttjade lekområden både uppströms och nedströms dessa två kärnområden. Det finns därför anledning att förvänta sig utrymme för ytterligare ökning i populationsstorleken innan de täthetsberoende effekterna sätter in.

Vi föreslår byggandet av nya fisktrappor med smoltavledning ev. tillsammans med ändrat veckoreglerat vattenflöde i bypasskanalen så att vandringsförhållandet förbättras och att vattenkraftspåverkan minimeras. Detta skulle innebära att en mer långsiktigt hållbar skötsel av de migrerande laxfiskpopulationerna erhålls.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

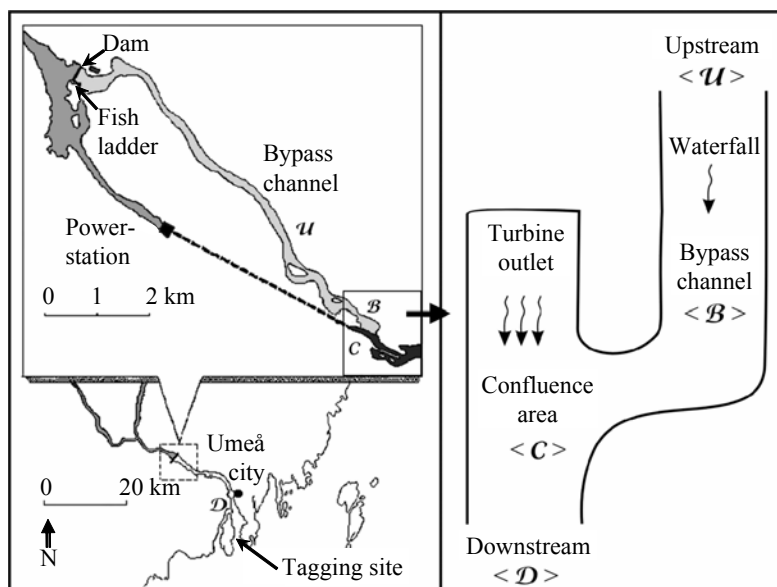


Figur 4. Predikerat antal vuxna lekvandrande honor som passerar fisktrappan under en tioårsperiod efter att uppströmsvandringen förbättrats från nuvarande 30 % till 75 % i Umeälvens nedre reglerade del. En skattad årlig populationsökning på 18 % förväntas och efter 10 år bör älvspopulationen av lax ha ökat med 500 %. Streckad linje visar 95%-igt konfidensintervall. Modellen tar inte hänsyn till täthetsberoende effekter i älven varför prediktioner efter en 10 års period är vanskelig.

En enkel partikelmodell för uppvandrande fisk har ställts upp. Denna modell fungerar så att modellfisken rör sig uppströms, samtidigt som den strävar att successivt uppsöka ett i tvärsnittet lokalt maximum för flödet eller hålla sig i kanten av detta om strömhastigheten är större än den ansatta simhastigheten. Vid flera maxima så fångas således modellfisken upp av den första ström den hamnar i och simmar sedan uppströms i dennas mitt. Modellen har provkörts i Piteälven uppströms turbinerna där den fungerar varför denna modell nu kan sättas in i en flödesmodell för sammanflödet eller i andra modeller t ex för lockvatten (se också Eliasson, Bergdahl och Rivinoja, 2006).

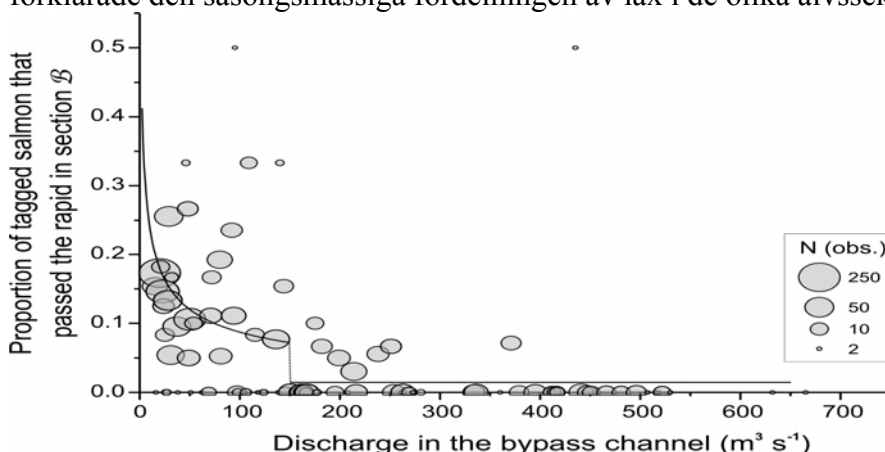
Modellering av uppströmsvandringen hos lax som funktion av miljöparametrar (vattenflöde och temperatur) kvantifierade laxens uppströmsvandningsrespons i Umeälvens nedre flödesreglerade del. Dagliga positioner från total 234 radio-märkta laxar under fem års telemetri tillsammans med data från dagliga turbinflöden, spillflöden i bypasskanalen, vattentemperatur, tid för märkning i älven och tid under lekvandringssäsongen användes för att parameterisera sannolikheten för förflyttning i olika områden genom nyttjande av en Markov modell. Modellformuleringen visade laxens vandningsrespons för de två mest kritiska och reglerade sektionerna i älvens nedre del: a) sammanflödesområdet mellan kraftstationens utloppskanal och bypasskanalen, och b) det partiellt hindrande vattenfallet strax uppströms ingången till bypasskanalen. Modelleringens målsättning var att öka den biologiska kunskapen om laxens lekvandningsbeteende men också att få ett verktyg för fortsatta framtida socio-ekonomiska analyser (Figur 5, Håkansson et al. 2005).

"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



Figur 5. Karta över studieområdet i Umeälven, ca. 22 km uppströms älvmyningen. Beteckningarna i höger område visar notationer som använts i modelleringsarbetet.

Laxens uppströmsvandring i älvens båda flödesreglerade delområden påverkades starkt av vattenflödet. I sammanflödesområdet var proportionen spillvatten i bypasskanalen positivt korrelerade med sannolikheten att laxen skulle hitta och vandra in i bypasskanalen medan sannolikheten för vandring i bypasskanalen och passering av det första vattenfallet var högre vid lägre spillvattenmängder. För lax som positionerats i nära anslutning nedströms vattenfallet ökade sannolikheten att de vandrade nedströms till sammanflödesområdet om spillvattenflödet minskade, detta var särskilt utmärkande vid högre vattentemperaturer (figur 6). Modellen förklarade den säsongsmässiga fördelningen av lax i de olika älvssektionerna på ett bra sätt.

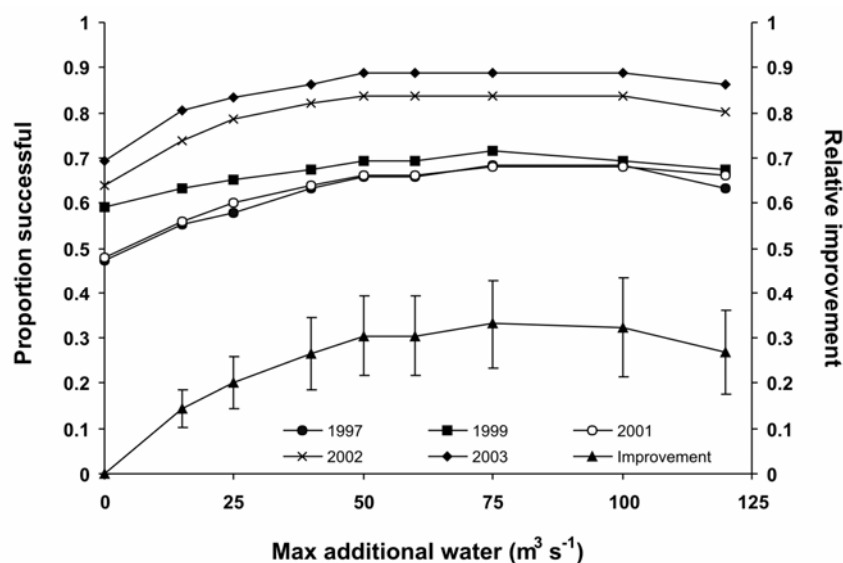


Figur 6. Andelen av märkt lax som passerat det första vattenfallet i bypasskanalen i relation till medelspillflödet inom dygnet. Storleken på ellipserna visar antalet observerade fiskar (höger bildruta). Predikterad sannolikhet för uppströmsvandring i relation till spillvattenföringen visas av heldragen linje.

Den slutgiltiga modellen predikterade ca 84 % rätt för de laxar som lyckades passera Baggböleforsen. Även om modellen förklarar en stor del av uppvandringen så finns en

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

variation mellan år på ca 16 % som inte kan förklaras av modellen och de mätta variablerna. Via hypotetisk modellering med olika flöden indikerades att lyckad uppströmsvandring skulle kunna förbättras av ökat spillvattenflöde i bypasskanalen. Responser för "lyckad" uppströmsvandring planar dock ut under 100 % vilket visar på betydelsen av en "trade-off" mellan optimalt spillvattenflöde och flödet vid det partiellt hindrande vattenfallet i Baggböle (figur 7). Enligt modellen skulle en flödesökning med c. 50 m<sup>3</sup>/s (från befintligt flöde) i gamla älvsfåran ge den största mängden lyckade lekvandringar förbi Baggböleforsen.



Figur 7. Predikterad lyckad uppströmsvandring hos lax till bypasskanalen när hypotetiska spillflöden årligen adderas till bypasskanalen under försökets fem-åriga verksamhet (spridningen kring medelvärde anger  $\pm 1$  SD). Ytterligare vattenspill upp till tröskelvärdet 150 m<sup>3</sup>/s i total flöde utvärderades. Övriga miljöparametrar som registreras för respektive år bibehålls. Förbättringarna kalkylerades som kvoten för predikterat värde för varje x-värde och det predikterade värde om inget extra vatten alls spills, minus 1.

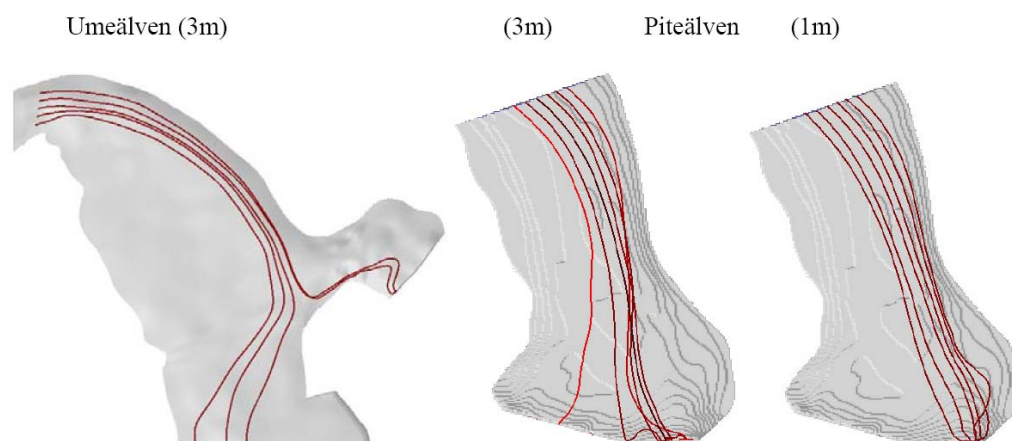
### Nedströmsvandrande lax- och havsöringsmolt och passage förbi kraftverk

Naturligt producerade smolt kan passera vattenkraftsbyggnader via turbinintag eller via spillluckor i dammarna. Vi nyttjade radiomärkta tvååriga odlade laxsmolt (n=150) och havsvandrande öringsmolt (n=56) och frisläppte dessa uppströms de olika kraftstationerna i Ume- och Piteälven. Fisken spårades kontinuerligt under nedströmsvandringen medan mätning av strömhastigheter och djupförhållanden uppmättes för analys via CFD (Computational Fluid Dynamics) flödesmodellering. Modellering via "partikel spårning" användes för att simulera fiskarnas rörelse och jämfördes mot observerade nedströmsvandringar för den radiomärkta smolten.

Hastigheterna i de CFD-modellerade flödena matchar fältmätningarna i allmänhet. Modellen av Piteälven uppträder bättre än den av Umeälven, troligtvis beroende på bättre upplösning vid kartläggningen av bottenpografien. De fiskvandringar som simulerats med spårning av passiva partiklar visar samstämmighet med fiskens inmätta positioner i horisontalplanet för jämförbara flöden (figur 8). "Random walk" modellen predikterade dessutom olika mönster för ledningen av fisken (Fish-Guidance Efficiency, FGE) vid de två kraftverken (figur 9). I Umeälven var andelen partiklar som passerade genom utskoven högre än i Piteälven. Skillnaden ökade med spillvattenflödets relativa ökning i förhållande till totalflödet. I

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

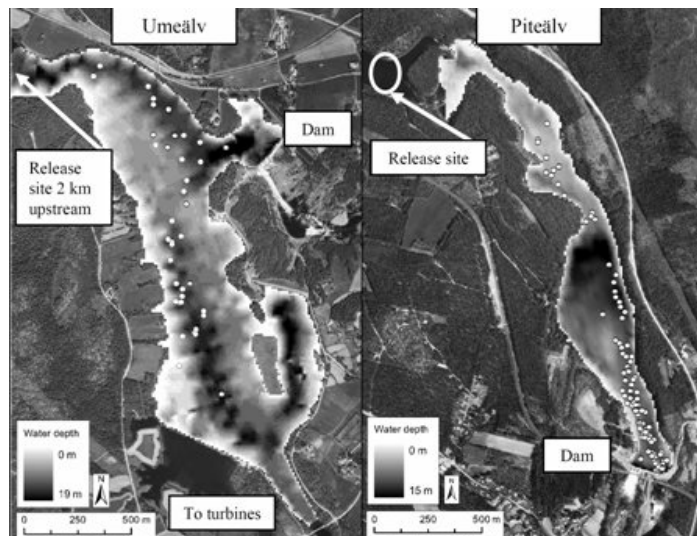
Umeälven driver nämligen de sekundärströmmar som bildas vid höga hastigheter i ytan strömmen mot utsidan av älvkröken mot höljan med ytutskoven. I Piteälven hade samma krökning av strömmen motsatt effekt på fiskledningen eftersom partiklarna leds mot turbinerna, som ligger i ytterkurvan (figur 8). Med ledning av flödessimuleringen har den totala andelen utvandring över utskoven för det senaste decenniet beräknats till c:a 20 % i Umeälven (medelspillvattenflödet 11 % av totala flödet) och c:a 15 % i Piteälven (medelspillvattenflödet 46 % av totala flödet). Således måste spillvattenflödena ökas avsevärt för att leda smolten mot ytutskoven i dammarna i de befintliga anläggningarna, åtminstone som de nu är utformade.



**Figur 8. Simulerade spårlinjer för partiklar släppta på 3 m djup i Umeälven samt på 3 m och 1 m djup i Piteälven. Spårlinjerna karakteriserar också approximativt strömningsmönstret. Effekten av sekundärflödet kan iaktas för de två bilderna för Piteälven.**

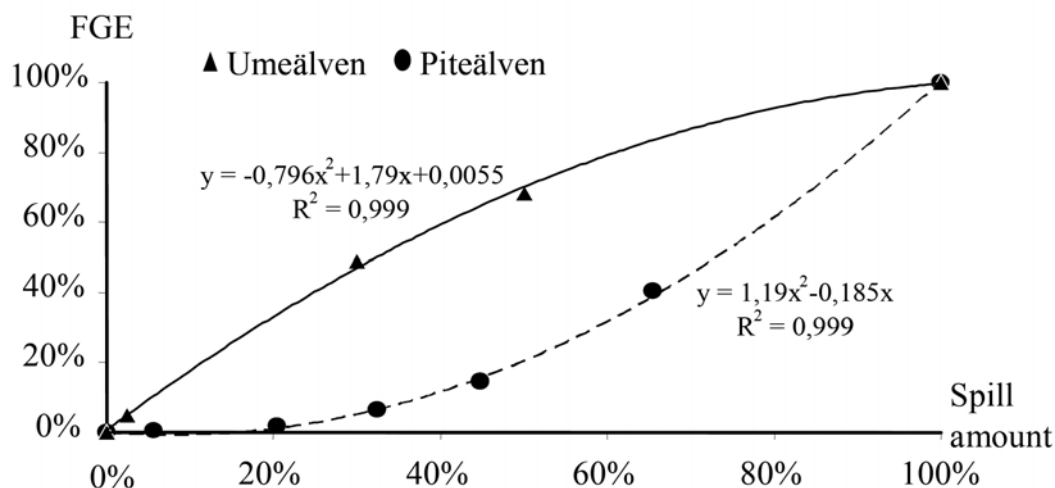
Våra resultat visade att smolten huvudsakligen vandrade i älvens huvudvattenfåra med högsta strömhastighet. Medelhastigheten hos smolten varierade mellan 0.31-0.46 m s<sup>-1</sup> (ca 2 kroppslängder s<sup>-1</sup>). Ekolodning visade också att smolten vandrade ytnära på 1-3 meters djup och att fisken generellt vandrade med samma hastighet som vattnet. En jämförelse mellan den tredimensionella inmätningen av smolten och mätta strömmar visade att smolt mestadels passivt följde med strömmen. Avvikelser från detta observerades nära kraftstationen där smolt simmade mot strömmen. Den större smoltens beteende i fiskgrupperna ändrades strax ovan dammen när de aktivt undvek att passera in i turbinintagen och stannade ovan dammen.

"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



Figur 9. Djup i de studerade områdena och fiskpositioner (punkter) vid manuell spårning (41 observationer i Umeälven och 101 i Piteälven). Huvudströmmen följer djupområdena och det gör också fisken.

Fiskens nedströmsvandringstestades vid både ordinarie och ändrat spill över dammen (ökat ytvattenspill) men eftersom huvudflödet trots detta gick mot kraftstationen följde alla radiomärkta smolt, oavsett testat spillflöde, mot turbinintagen. Fiskens nedströmsvandringstestades och kraftverkens fisk "guidance" effektivitet (FGEs) simulerad genom partikelspårningen predikterade en låg sannolikhet för smolt att passera via dammspillet även om spillvattenpassage kunde förekomma hos smolten vid en stor ökning av spillvolymerna eller genom minskat flöde genom kraftverken (figur 10).



Figur 10. Simulerad andel av partiklar som passerar över utskoven (FGE) som funktion av andelen spill (Spill amount) av det totala flödet vid de två kraftstationerna. Gränsvärdena för 0 och 100 % medtagna.

Storleksberoende dödlighet hos nedströmsvandrande lax- och öringssmolt efter kraftverkspassage och effekten av detta på den lekvandrande stammen har undersökts. Smolt som vandrade nedströms och passerade Piteälvens Kaplanturbiner i Sikfors kraftverk visade en genomsnittlig dödlighet på ca 17 % baserade på de radiomärkta (n=90) och Carlinmärkta fiskarna som ingick i studien. Om direkta och indirekta dödligheter kombineras så skattas dödligheten till totalt 19 % som var positivt relaterad till fiskstorlek. I denna studie bedömdes ca 13 % av de radiomärkta smolten stanna i direkt anslutning till området ovan dammen. Smolt

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

som stannade ovan dammen var större än de som gick in i turbinintagen: Längden var 225 mm i medeltal (standardavvikelse 17.3 mm) för fisk som stannade och 211 mm i medeltal (standardavvikelse 23.8 mm) för fisk som gick in i turbinintagen (tabell 3). Carlinmärkt laxsmolt (n=7 450) visade en relativt konstant och ökande dödlighet per 10 km distans i älven och förlusterna vid krafterverkspassage beräknades till 16 %.

**Tabell 3. Utsättningsdag, längd och grad av passering för radiomärkta smolt (\* = 12 lax och 8 öring) som nedströmsvandrade mot kraftstationen i Sikfors (Piteälven) och deras uppmätta genomsnittliga passeringstider i parantes.**

Utsättning dag	Ankom <i>N</i>	Längd (mm) <i>Medel, Min-Max</i>	In till turbiner <i>N</i>	Normal passage <i>N, tid</i>	Direkt förlust Långsam passage <i>N, tid</i>	Ej passerat <i>N</i>	Indirekt förlust <i>N</i>	Skattad förlust <i>N, Andel</i>
3-Juni 2003	20*	213 (175-259)	36	21 (22 min)	2 (25 h)	2	3	7 (19.4%)
4-Juni 2003	20	205 (176-240)						
1-Juni 2004	24	213 (177-248)	42	34 (22 min)	3 (23 h)	2	3	8 (19.0%)
2-Juni 2004	26	218 (166-262)						
Total/ Medel	90	212 (166-262)	78	55 (22 min)	5 (24 h)	4	6	15 (19.2%)

Modellering av den fiskstorleksberoende dödligheten på den potentiella effekten på framtida återvändande lekfisk predikerade att med en smoltstorlek på 15.5 cm skulle lekbeståndet kunna öka med 5-30 % inom en tioårsperiod om förlusterna efter kraftverkspassage helt uteblev. För smolt med en storlek av c. 21.0 cm skulle motsvarande ökning bli 30-70 %. Om de ytterligare förlusterna som orsakade fördröjd/avbruten smoltvandring också kunde minimeras till noll skulle den framtida beståndsutvecklingen i populationstillväxt för de två storleksalternativen bli, 30-70 % respektive 70-120 %.

### **Projektets mål och måluppfyllelse**

Projektets överordnade mål var att förbättra vandringsfiskars passage av vattenkraftverk, regleringsdammar och andra vandringshinder. Projektet är åtgärdsinriktat och ger bl.a. underlag för åtgärder som möjliggör förbättring av vilda vandringsfiskars (lax och havsvandrande öring) uppvandring via fisktrappor och nedvandring via smoltavledning förbi kraftverk.

**Mål 1: Vilka miljövariabler får leklax i en större vattenmassa (3D) att hitta och lockas upp i en mindre flödeskälla som kan fungera som vandringsled (sk bypass) förbi kraftverks- och dammkonstruktioner? Denna frågeställning inkluderar även delmålet hur vandringsfisk hittar och vandrar i t ex en fisktrappa.**

För den *uppvandrande* fisken har genomförda undersökningar lett till önskat resultat. Vi vet nu i stort när, hur och varför laxen vandrar uppströms eller nedströms i den flödespåverkade nedre delen av Umeälven. Problemområden är identifierade och förslag finns för direkta åtgärder i

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

området med två prioriterade åtgärder: sammanflödesområdet och fisktrappan. Vattenfall har nu tagit beslut om att bygga ny fisktrappa med smoltavledning. Strömningsflödets geometri i Stornorrfors har modellerats grovt men det återstår fortfarande att åstadkomma en validerad konvergerad strömningsmodell av detta komplexa område. En enkel numerisk fiskmodell för uppvandrande fisk har tagits fram som sedan kan sättas in i en sådan modell. Den fungerar så att modellfisken rör sig uppströms, samtidigt som den strävar att successivt uppsöka ett i tvärsnittet lokalt maximum för flödet eller hålla sig i kanten av detta om simförmågan är för låg. Finns det flera maxima så fångas således modellfisken upp av den första ström den hamnar i. Modellen har provkörts i Piteälven uppströms turbinerna och fungerar bra där.

**Mål 2: Hur, när och var i vattenmassan utvandrar lax- och öringsmolt generellt i flödespåverkade vattendrag (ex. området ovan Norrfors dammen samt ovan Sikfors kraftverk, Piteälven)?**

De första pilotförsöken som nu redovisats i denna fråga utgör en bra start på liknande projekt. Vi är nöjda med delresultaten som getts. En brist har varit att vi tvingats hantera och genomföra försöken med odlad lax- och öringsmolt. Vild fisk i naturliga storleksintervall skulle använts. Smoltens vandring nedströms tillsammans med modellering av strömningsmönster har varit särskilt lyckosam eftersom vi tror att goda prediktioner erhållits. Skellefteå kraft i Piteälven ritar nu på en smoltavledning som ska hjälpa nedströmsvandrande smolt och överlevande lekfisk att hitta sin väg till havet via ytutskovet, dvs. fiskavledning så att de inte hamnar i turbinerna. För framtiden rekommenderar vi grundläggande studier och modellering av "timingen" i nedströmsvandringen hos vild smolt, modellering av sannolikheten för att smolt av olika storlekar träffas av turbinblad samt noggrann utvärdering av smoltens (och överlevande lekfisks) beteende och överlevnad vid passage av dammar/smoltavledare.

**Mål 3: Simulering av strömningsmönster och validering av dessa med fältmätningar och relatera dessa modeller till leklaxens och laxungarnas- vandringar. Ett delmål är att ta fram förslag till förbättrande åtgärder?**

Mätningar och modellering av strömningsmönster har varit framgångsrika även om vissa oklarheter fortfarande finns. Faktiska beteendedata på fisken nedströmsrörelser och modellering (CFD) har visat stor samstämmighet och är väl värda att fortsätta arbeta med i liknande projekt. För Piteälvens och Umeälvens del finns nu tydliga generella modelleringar som förklarar varför smolt i stort passerar ut via turbinerna på sin väg mot havet.

***Projektets resultat i förhållande till programmets övergripande mål och syfte***

Denna nya kunskap som erhållits i projektet är viktigt för att långsiktigt uppfylla de nationella miljömålen om skydd av hotade vandringsfiskar. Miljömålen mot "levande sjöar och vattendrag" är här särskilt aktuellt avseende biologisk mångfald i akvatiska system och bevarande av habitat för fiskars fortlevnad. Vårt miljö kvalitetsmål är att vattenbyggnationer minimalt ska påverka fiskars vandringsvägar så att vattendragets biologiska mångfald, ekologiska funktion och framtida naturresurs bevaras/utvecklas. Projektet ligger väl inom programmets prioriterade målområde "Förbättrade förutsättningar för vattenorganismers vandring förbi vattenkraftverk, dammar och andra vandringshinder", då vi vill utveckla kunskap om hur naturligt förekommande vandringsfiskbestånd som lax och havsöring med

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

intakta lek- och uppväxtlokaler ovan kustnära kraftverk kan tryggas i en framtid. Med ledning av projektresultaten hoppas vi kunna bedöma hur "generella" vandringsleder för vandringsfisk ska konstrueras i relation till vattenföringar/strömningsbild för att fungera så effektivt som möjligt. Resultaten kan användas praktiskt då dessa ger möjlighet att genomföra ombyggnader eller tillbyggnader av vandringsleder på ett rationellt och ekonomiskt sätt med avseende på anläggningskostnad och driftskostnader. Vi är totalt nöjda med resultaten som erhållits och tror att de på ett bra sätt svarar mot programmets övergripande mål och syfte.

Projektet skall vara åtgärdsinriktade och ge underlag för de åtgärder som kan aktualiseras vid implementeringen av de nationella miljö kvalitetsmålen och EU:s ramdirektiv för vatten. Projektresultaten visar att förhållandena för vandringsfisken i Ume och Pite älv är otillfredsställande. Den framtagna metoden för modellering av passivt utvandrande smolt kan direkt användas för att kvantitativt värdera ombyggnad av vattenvägar för avledning av smolt. Den metod som är under utveckling för uppvandrande fisk kommer också, efter viss vidareutveckling, att kunna användas för att pröva och kvantitativt värdera olika utformning och placering av lockvatten till fisktrappor eller omlöp (gamla älvfåror).

Vattenkraft skall kunna bedrivas effektivt efter anpassning till de nationella och regionala miljö kvalitetsmålen samt EU:s ramdirektiv för vatten. Vattenkraften kommer fortsatt att kunna bedrivas effektivt, även om kostnader för ombyggnader krävs i initialskedet, och kanske viss minskad produktion genom att man under vattenfattiga vårar måste spilla mer vatten. Ramdirektivet för vatten har syftet att "skydda, förbättra och återställa alla ytvattenförekomster... ..2015". I de nationella miljömålen står bl.a.: "Naturlig produktionsförmåga, biologisk mångfald, kulturmiljövärden... ..bevaras". Om man vill restaurera den naturliga reproduktionen av fiskbestånden i t.ex. Ume och Pite älv så är detta fullt möjligt och projektet har gett verktyg för det.

Programmets strategiska mål är:

**att pröva och utvärdera hypoteser och teoretiska modeller i försöks- och pilotanläggningar samt i naturliga vatten.** Här har vi provat och utvärderat den numeriska modellerna för strömningsmönster för smoltutvandring genom jämförelse med mätningar av strömningshastigheter och spårning av fisk i älvarna (både Ume- och Pite älv) om dock icke naturliga vatten. Modellerna fungerar. En enkel modell för uppvandrande fisk har testats i den färdiga hydrauliska modellen för Piteälven, och modellfiskarna uppför sig som förväntat. Det återstår att lägga in biologiskt mer underbyggt beteende.

**att vid högskolor och universitet och företag långsiktigt öka kompetensen inom programmets prioriterade områden samt att främja samarbetet mellan högskolor, universitet, forskargrupper och företag nationellt och internationellt.** Vi har byggt upp och förstärkt en bredare kompetens kring fiskbiologi med modellering (SLU) samt hydraulisk modellering (Chalmers) vad beträffar kunskap och intresse för vandringsfiskproblematiken vid vattenkraftverk. Givande samarbete mellan SLU och Chalmers och visst mindre samarbete med Strömningsmekanik vid LTU i Luleå.

**att stärka samarbete mellan olika vetenskapliga discipliner samt industrin då flertalet frågeställningar är av tvärvetenskaplig karaktär.** Projektet har starkt samverkat med

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

kraftindustrin (Vattenfall AB). En samrådsgrupp finns etablerad mellan Vattenfall AB (Stornorrfor Kraftverk, samt Kjell-Ali Wallin, Vuollerim, Björn Svensson, Swedpower), Vindelälvens fiskeråd (ordf Henrik Sandström) och SLU/Umeå (Hans Lundqvist). Relativt stor kontaktverksamhet mellan Chalmers och Vattenfall Utveckling AB, Swedpower samt FLUENT Sweden AB för hjälp med modellering.

**att projekten skall ha sådan vetenskaplig kvalitet att resultaten publiceras i vetenskapligt granskade tidskrifter.** Manuskript har färdigställts i två avhandlingar som nu ska publiceras i en serie artiklar till internationella vetenskapliga tidskrifter. Se referenslistan

Programmets syftet är att ta fram underlag för implementering av de mest kostnadseffektiva miljöförbättrande åtgärderna inom vattenkraften. Både modelleringen av miljödata och biologiska data ger starka grunder att stå på vid framtida val av effektiva lösningarna vad beträffar avledning av nedströmsvandrande fisk samt nya fisktrappor för uppströmsvandrande lekfisk.

***Nationellt och internationellt samarbete***

Sammantaget har vi haft en stor samverkan med aktiva forskare både nationellt och internationellt. Närmare kontakter har knutits inom nordnorden med Norge (T.Forseth, E.Thorstad, F. økland, J. Arnekleiv) och Finland (J.Erkinaro, P.Karppinen, A.Rommakkaniemi), samt internationellt med USA (J. Williams, J. Ferguson, E. Meyer, E.Prentice, E.Hockersmith) och Kanada (D. Scruton, S. Hinch, S. Cooke, E.Parkinson, J.Rosenfeldt).

Ett samarbetsavtal mellan SLU och NWFSC (Northwest fisheries Science Center, Seattle, via Dr. Usha Varanasi), med fokus på vandringsfisk i kraftverkspåverkade områden, har utvecklats och J. Ferguson är nu antagen (2004-06-15) som doktorand vid SLU.

En samrådsgrupp bildad mellan Vattenfall (Kjell Isaksson) tillsammans med Energimyndigheten visar på betydelsen av en laxtrappa i anslutning till kraftverkets avloppstunnel. Våra modellerade förväntningar (figur 4) på effekten av en fungerande trappa i tunnelutloppet på antalet uppvandrande laxar är stor. En samrådsgrupp med Skellefteåkraft, Fiskeriverket, SLU, för framtagning av smoltavledning för Piteälvens nedre del i Sikfors kraftverk har också etablerats. Nedan listas några övriga kontakter.

1. Radio- och PIT-märkning av lax. Umeå juli 2002. Målgrupp: Övningar och resonemang av P. Rivinoja kring märkning av lax för O. Calles. Organisatör: P. Rivinoja, SLU/Umeå. Finansiering: SLU, KaU.
2. FoU-programmet Miljöbasert vannføring. Erfaringsseminar. Trondheim, Norge 17-18 mars 2003. Målgrupp: Nordiska forskare inom området vattenkraft och miljö. Föredrag: H. Lundqvist.
3. Fiskeriverket & Fiskhälsan FH AB kurs i märkningsteknik för fisk. Boden, 12-13 mars 2003. Älvkarleby, 28-29 januari 2004. Målgrupp: Nationellt aktiva personer arbetande med märkning av fisk. Organisatör: Fiskeriverket & Fiskhälsan FH AB. Föredrag/ansvarig P. Rivinoja. Finansiering: Fiskeriverket & Fiskhälsan FH AB, SLU.
4. Surgical Implantation of Fish. Trondheim Eira Norge, samt Umeå, april-maj 2004. Målgrupp: Anpassade moment med kirurgisk märkning av fisk för P. Rivinoja & J.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

- Östergren. Organisatör: E. Thorstad, F. økland, NINA, samt P. Rivinoja, SLU/Umeå. Finansiering: SLU, Elforsk.
5. Nordic Mini Workshop Fish passage and restoration efforts in natural and flow-regulated rivers. Umeå 15-16 juni 2004. Målgrupp: Internationellt aktiva forskare och studenter från Sverige, Norge, Finland samt USA. Föredrag: P. Rivinoja, J. Kiviloog & H. Lundqvist. Organisatör: H. Lundqvist, SLU/Umeå. Finansiering: Elforsk, LIP, SLU.
  6. NowPas: Nordic Network for PhD-students on Anadromous Salmonid Research. Hösten 2004, Norge. Målgrupp: Nordiska doktorander. Deltagare: P. Rivinoja. Organisatör: M Stickler NTNU, Trondheim, Norge.
  7. Positional and physiological telemetry in aquatic research: perspectives from Scandinavia and North America. Umeå 6-10 december 2004. Målgrupp: Internationell grupp av forskare/studenter från Sverige, Norge, Finland, Spanien, Kanada samt USA. Föredrag: P. Rivinoja, K. Leonardsson & H. Lundqvist. P. Organisatör: S Larsson, SLU/Umeå. Finansiering: SLU.
  8. Salmon up- and downstream passage problems in two regulated rivers in northern Sweden. Umeå 29-31 september 2005. Målgrupp: Forskare, ingenjörer samt stadsplanerare arbetande med fiskvandningsproblem och återställning i Uleborgsområdet i Finland. Föredrag/ansvarig P. Rivinoja. Organisatör: P. Rivinoja (SLU), E. Laajala (Ympäristö). Finansiering: SLU, RKTL & Ympäristö Finland.
  9. Stint exchange Workshop on Fish population dynamics & habitats in boreal lakes and streams in Canada (B.C) and northern Sweden. Umeå 20 september - 3 oktober 2005. Målgrupp: Internationellt aktiva forskare och studenter, främst från Sverige, Kanada samt USA. Föredrag: P. Rivinoja, K. Leonardsson & H. Lundqvist. Organisatör: Eva Brännäs, SLU/Umeå. Finansiering: STINT.

**Vetenskapliga resultat****Doktorsavhandlingar**

1. Rivinoja, Peter. 2005. Migration Problems of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Flow Regulated Rivers. Dissertation for Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), speciality in Fish Biology, SLU, Swedish University of Agricultural Sciences Department of Aquaculture, S-901 83 Umeå, Sweden, Umeå, ISSS: 1652-6880, ISBN: 91-576-6913-9

**Licentiatavhandlingar**

2. Kiviloog, Jaan. 2005. Three dimensional numerical modelling for studying smolt migration in regulated rivers. Tekn. Lic.-thesis 05-05-18. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology; Lic 2005:5, ISBN/ISSN: 1652-9146

**Artiklar i (samt avsedda för) editorgranskade vetenskapliga tidskrifter**

3. Rivinoja, P., McKinnell, S. & Lundqvist, H. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish river caused by a hydroelectric power-station. *Regulated rivers: Research & Management* 17:101-115.
4. Rivinoja, P., Leonardsson, K. & Lundqvist, H. Migration success and migration time of gastrically radio-tagged versus PIT-tagged adult Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* (Accepted).

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

5. Rivinoja, P., Kiviloog, J., Östergren, J., Brydsten, L., Leonardsson, K. & Lundqvist, H. Migration of Atlantic salmon (*Salmo Salar*) and Brown trout (*Salmo trutta*) smolt at flow regulated areas in two northern Swedish rivers. *Submitted manuscript*.
6. Rivinoja, P., Leonardsson, K. & Lundqvist, H. Size dependent power-station induced mortality of smolts (*Salmo* sp.) and the potential effects on the spawning stock. *Submitted manuscript*.
7. Lundqvist, H., Rivinoja, P., Leonardsson, K. & McKinnell, S. Upstream passage problems for wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a flow controlled river and its effect on the population. *Manuscript*.
8. Leonardsson, K., Belyaev, Y., Rivinoja, P. & Lundqvist, H. Modelling upstream migration of Atlantic salmon as a function of environmental variables. *Manuskript*.
9. Rivinoja, P., Lundgren, J.E., Leonardsson, K. & Lundqvist, H. 2005b. Up- and downstream movements of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) in relation to flows at a bypass area in a regulated river. *Manuscript in progress*.
10. Eliasson, M., L., Bergdahl and P., Rivinoja (2006). Simulation of upstream migration of fish by computational fluid dynamics. *Manuscript*

**Konferensbidrag**

11. Kiviloog, J. L. Bergdahl, P. Rivinoja & H. Lundqvist. (2003). Influence of flow on migratory behaviour of salmon smolts. Proceedings, Hydro 2003, Cavtat, Croatia.
12. Kiviloog, J. L. Bergdahl, P. Rivinoja, K. Leonardsson & H. Lundqvist. (2004) Hydraulic modelling and validation for the study of smolt migration. Proceedings 8th European Workshop on Physical Processes in Natural Waters, Lund, Sweden, ISBN 91-631-5825-6.
13. Kiviloog, J., L. Bergdahl, P. Rivinoja, K. Leonardsson & H. Lundqvist (2004). En studie av smoltutvandring med radiotelemetri och strömningsmodellering. Proceedings Hydroenergía 04, Falkenberg, Sweden.
14. Östergren, J., Nilsson, J & Lundqvist, H. Spawning Migration and Genetic Status of Sea Trout (*Salmo trutta*) in Two Northern Swedish Rivers. 1<sup>st</sup> International Sea Trout Symposium, Cardiff (UK), 6-8 July 2004
15. Lundqvist, H., McKinnell, S.M., Jonsson, S. & J Östergren. Are Reared Anadromous Brown Trout Compatible with the Conservation of Wild Trout? 1<sup>st</sup> International Sea Trout Symposium, Cardiff (UK), 6-8 July 2004
16. Lundqvist, H., P. Rivinoja, K. Leonardsson, J. Östergren, J. Kiviloog, L. Bergdahl, S. McKinnell, L. Brydsten. Passage problems for upstream & downstream migrating anadromous salmonids (*Salmo salar* & *S. trutta*) in two flow controlled northern Swedish rivers. International Symposium on Fish and Diadromy in Europe, Bordeaux, France, 29th March - 1st April 2005.
17. Östergren, J., H. Lundqvist, D. Palm, P. Rivinoja, E. Brännäs, J. Nilsson, and K. Leonardsson. Connectivity and habitat restoration in rivers helps populations of salmonids? International Symposium on Fish and Diadromy in Europe, Bordeaux, France, 29th March - 1st April 2005.
18. P. Rivinoja, K. Leonardsson & H. Lundqvist. Gastric Radio-Tags VS. PIT-tags - Migrations of Atlantic salmon in a regulated river. Sixth Conference on Fish Telemetry held in Europe, Sesimbra, Portugal, 5-11 June 2005.
19. Rivinoja, P., K. Leonardsson, H. Lundqvist, J. Kiviloog, L. Bergdahl & L. Brydsten. (2004). Downstream migration of *Salmo salar* and *S. trutta* smolts in two regulated

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

- northern Swedish rivers. Proceedings, 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17 september 2004. Madrid, Spain. <http://publikationer.slu.se/Filer/rivdmo.doc>
20. Leonardsson, K. Rivinoja, P. Bergdahl, L. Kiviloog, J. & Lundqvist, H. 2004. Migration behaviour of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) vs. Altered flow regimes downstream a hydro-power construction. Abstract 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17 september 2004. Madrid, Spain.
  21. Lundqvist, H., P. Rivinoja, K. Leonardsson, J. Kiviloog, L. Bergdahl & S. McKinnell. (2004). Upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) entering a flow controlled bypass system in northern Sweden. Abstract in Proceedings, 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17 september 2004. Madrid, Spain.
  22. Håkansson, C., Kriström B., Leonardsson K., Lundqvist H., Johansson S.S..E.P.O. 2004. Salmon and Hydropower: Dynamic cost-benefit analysis. Proceedings, 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17 september 2004. Madrid, Spain.
  23. J. Östergren, H. Lundqvist, D. Palm, P. Rivinoja, E. Brännäs, J. Nilsson & K. Leonardsson. Restored rivers restore salmonid populations? Second International Symposium on Riverine Landscapes. 15-21 augusti 2004. Storforsen, Bredsel.
  24. Östergren, J., Rivinoja, P. & H Lundqvist. Wild Salmonids in Tamed rivers – Telemetry studies reveal up- and downstream migration patterns. Fifth Conference on Fish Telemetry Held in Europe". 9-13 juni 2003. Ustica, Palermo, Italy.
  25. Östergren, J., Rivinoja, P. & H Lundqvist. Wild Salmonids in Tamed rivers-Telemetry studies reveal up- and downstream migration patterns Fifth Conference on Fish Telemetry Held in Europe". 9-13 juni 2003. Ustica, Palermo, Italy.

**Examensarbeten**

26. Johan Lundgren. 2005. Laxens vandringsbeteende i ett turbinutlopp. Planerad rapportering samt redovisning december 2005 - januari 2006.

**Övrigt**

27. Nordic Mini Workshop "Fish passage and restoration efforts in natural and flow-regulated rivers". Umeå 15-16 Juni 2004. Organisatör: H.Lundqvist
28. Stint exchange Workshop on Fish population dynamics & habitats in boreal lakes and streams in Canada (B.C) and northern Sweden. Umeå. 20 september - 3 oktober 2005.
29. Lundqvist, H. L. Bergdahl, K. Leonardsson, P. Rivinoja & J. Kiviloog. (2003) Flödesregimens effekt på laxens vandring i ett bypass system: observationer och modellering av förutsättningar för passage av kraftverksbyggnader", Slutrapport projekt Dnr 5210P-01-1090 (projektnr 13569-1) till ENERGIMYNDIGHETEN Vattenbruksinstitutionen, SLU, Umeå och Vatten Miljö Transport, Chalmers, Göteborg.
30. Rivinoja, P., K. Leonardsson & H. Lundqvist. (2002) Laxens lekvandring i nedre Umeälven: redovisning av telemetriförsök år 2001 och 2002. Arbetsrapport SLU/Umeå.
31. Bergdahl, L., & J. Kiviloog. (2002). Förutsättningar för laxvandring vid Stornorrfor kraftverk: simulering av strömningsmönster och validering av dessa med fältmätningar. Arbetsrapport Chalmers/Göteborg.
32. Rivinoja, P., J. Kiviloog, L. Brydsten, K. Leonardsson & H. Lundqvist. (2002) Smoltens flödespreferens vid nedströmsvandring i området ovan Norrforsdammen, Umeälv år 2002. Arbetsrapport SLU/Umeå.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

33. Sandström, H. K.A. Wallin, B. Svensson, S. Westbergh, & H. Lundqvist. (2002) Förbättring av Lax- och havsöringbestånden i Vindelälven- Ett åtgärdsförslag. Rapport från Vindelälvens Fiskeråd.
34. Leonardsson, K., H. Lundqvist & P. Rivinoja. (2002) Hur många fler laxar kommer upp i Vindelälven efter förbättringsåtgärder i de reglerade delarna i området nedströms Stornorrfors kraftverk? Arbetsrapport SLU/Umeå.
35. Nilsson, J. & A. Vasemägi. (2003). Laxens lekvandring i Umeälvens nedre del; Genetiska aspekter. Rapport SLU/Umeå.
36. Lundqvist, H., (2005) Låt vildlaxen komma hem. Fiske för alla. Nummer 3, sid: 50-54, 2005.
37. Lundqvist, H., Leonardsson K., Östergren J., Moren A-S. 2005. Miljöövervakning av lekvandrande fisk på gång Miljötrender från SLU Nr 1 2005 3 – 5.
38. Lundqvist, H., 2003. Vildlaxen måste få vandra hem igen FORMAS fokuserar 67 – 79.
39. Lundqvist, H., 2004. Laxens och Havsöringens Vandringsproblem i den flödesreglerade Umeälven. FoU-programmet Miljöbasert vannföring. Erfaringsseminar. Trondheim, Norway. 17 - 18. mars 2003. (föredrag-abstrakt)
40. Lundqvist, H., 2004. Säkerställande av fungerande Vandringsvägar för Lax och Havsöring i Ume- och Vindelälven. Sveriges Energiting 2004, Eskilstuna 9-10 mars, Framtida utmaningar för svensk vattenkraft. (föredrag-abstrakt)
41. Lundqvist, H., (2005). Låt laxen växa och vandra hem. Krönika - Havsutsikt, Nr. 1/2005.
42. Ferguson, J.W., 2005. The behaviour and ecology of downstream migrating Atlantic salmon (*Salmo salar*) and Brown trout (*Salmo trutta*) in regulated rivers in northern Sweden. Dept of Aquaculture, SLU, 901 83 Umeå., Introductory research essay no 44. ISSN 1101-6620 <http://publikationer.slu.se/Filer/ACF505D.pdf>
43. Rivinoja, P., 2004. Passage problems of Atlantic salmon in regulated rivers. Dept of Aquaculture, SLU, 901 83 Umeå., Introductory research essay no 39. ISSN 1101-6620. <http://publikationer.slu.se/Filer/ACF147.pdf>

**Referenser**

Christensen, O., Larsson, P.-O. 1979. Review on Baltic salmon research. ICES Coop. Res Rep. No. 89, 124 p.

Håkansson, C., Krström B., Leonardsson K., Lundqvist H., Johansson S.S..E.P.O. 2004. Salmon and Hydropower: Dynamic cost-benefit analysis. Proceedings, 5th International Symposium on Ecohydraulics, 12-17 september 2004. Madrid, Spain.

ICES CM 2001/ACFM:14. Report of the Baltic salmon and trout assessment working group. Pärnu, Estonia 28 March–6 April 2001.

Karlsson, L. and Karlström, Ö. 1994. 'The Baltic salmon (*Salmo salar* L.): its history, present situation and future', Dana 10, 61-85.

Kiviloog, J. 2005, "Three dimensional numerical modelling for studying smolt migration in regulated rivers". Fil.Lic-avhandling 18 maj 2005, Chalmers, Göteborg.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

Lundqvist, H., Östergren, J., and McKinnell, S. 2005. Interannual variation in spawning migration for radio-tagged wild Salmon (*Salmo salar*) females, Manuscript.

McKinnell, S. 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar* L) life history variation: implications for the Baltic Sea fishery. Ph.D.- Thesis, Department of Aquaculture, Swedish University of Agricultural Science, Umeå 1998.

McKinnell, S., Lundqvist, H., Johansson, H. 1994. Biological characteristics of the upstream migration of naturally and hatchery-reared Baltic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture and fisheries management* 25, Suppl. 2, p.46-63.

Monten, E. 1988. Fiskodling och vattenkraft, Vattenfall, Sverige. p. 139. (In Swedish).

NRC. 1996. *Upstream: Salmon and society in the Pacific Northwest anadromous salmonids.* National Academy Press, Washington , D.C.

Rivinoja, P. 2005. Migration Problems of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Flow Regulated Rivers. Doctor's dissertation. ISSS: 1652-6880. ISBN: 91-576-6913-9.

Rivinoja, P., McKinnell, S. and H. Lundqvist. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish river caused by a hydroelectric power-station. *Regulated rivers: Research & Management* 17:101-115

Sandström, H., K-A Wallin, B. Svensson, S. Westbergh och H. Lundqvist. 2002. Förbättring av Lax- och Havsöringsbestånden i Vindelälven – Ett åtgärdsförslag, Rapport från Vindelälvens Fiskeråd, 2002-03-23

## 2.2 Fiskvägar som restaureringsåtgärd för fragmenterade fiskpopulationer i reglerade vattendrag

### **Projektdeltagare**

*Projektledare:*

Larry Greenberg, Professor.  
Biologi, Karlstads universitet  
651 88 KARLSTAD  
054-700 1543  
Larry.Greenberg@kau.se

*Projektdeltagare:*

Marianne Löwgren  
TEMA Vatten  
Linköpings universitet  
581 83 LINKÖPING  
013-282291  
marlo@tema.liu.se

*Projektdeltagare:*

Jan Forsberg  
Energi- o Miljöteknik,  
Karlstads universitet  
651 88 KARLSTAD  
054-700 1543  
Jan.Forsberg@kau.se

*Doktorand:*

Olle Calles  
Biologi, Karlstads universitet  
651 88 KARLSTAD  
054-700 1454  
Olle.Calles@kau.se

### **Bakgrund och problemställning**

Många arter och processer i rinnande vatten är beroende av en fri passage längs vattendraget, mellan källa och mynning. Det är alltså viktigt att vattendragets så kallade korridorfunktion bibehålls (Dynesius & Nilsson 1994). Att återförening fiskpopulationer längs ett vattendrag anses vara viktigt för att bibehålla ett gott genflöde, genetisk diversitet och för att göra lek- och uppväxtområdena tillgängliga (Stanford et al. 1996). Rent tekniskt finns det många olika åtgärder man kan vidta för att återförening fiskpopulationer längs ett vattendrag, och åtgärderna är ofta olika för uppströms och nedströms vandrande fiskar (Gore 1985, Odeh 1999a, 2000). Fortfarande saknas åtgärder i många reglerade vattendrag. Enligt en amerikansk studie från 1994, hade endast 9.5% respektive 13% av statens kraftstationer åtgärder för uppströms respektive nedströms vandrande fiskar. Dessutom har många insatser för att återförening olika delar av reglerade vattendrag inte lyckats tillräckligt bra (Johlander 1998). Dessa insatser skulle kunna förbättras genom bättre design, bättre kunskap om de fysiska och hydrauliska förhållandena vid dammarna, kunskap om fiskbeteende, och effektivare drift och underhåll av kraftstationerna (Odeh 1999b). För att de lösningar som används skall fungera på ett tillfredsställande sätt, krävs alltså att man anpassar de tekniska lösningarna till de biologiska målen.

Många studier har utvärderat olika typer av fiskvägar och hur effektivt de tillåter fiskpassage (Odeh 1999a, 2000, Laine et. al 2002). En relativt ny typ av fiskväg, som kallas för "bypass channel" eller omlöp, efterliknar en naturlig å med låg gradient och hög habitat heterogenitet (Jungwirth 1996). Den största fördelen med denna typ av fiskväg är att den skall kunna fungera för många olika arter, inte bara för de stora kommersiellt viktiga arterna med god simförmåga. Dessutom finns indikationer på att de vuxna laxfiskar som vandrat uppströms genom omlöpen kan även använda dem vid nedströms vandring.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

Det är viktigt att utvärdera effekterna av olika åtgärder, inte enbart utifrån de biologiska målen men även utifrån ett ekonomiskt perspektiv. Frågan är då om sådana investeringar är ekonomiskt berättigade. Detta kan, exempelvis, göras med hjälp av samhällsekonomiska analyser på regional nivå (Löwgren, 1988). Med sådana analyser tar man hänsyn till intäkter och kostnader för både vattenföretaget och till eventuell påverkan på övriga intressenter, med större hänsyn till helheten. Användarvärdet kan uppskattas i termer av ökat fritidsfiske, hushållsfiske eller yrkesfiske. Andra värden som har betydelse i en ekonomisk analys inkluderar rekreationsvärde, optionsvärden och existensvärden (Turner et al. 1994, Hanley & Spash, 1998).

**Erhållna resultat från Emån**

I ett småländskt vattendrag, Emån, invigdes två stycken sådana omlöp vid nedre och övre Finsjö under hösten 2000. Omlöpen har en lutning av 2-3%, en bredd i botten på 1 m och en krönbredd på 6-7 m. Vattenföring och djup ligger mellan 0,5 m<sup>3</sup>/s och 1,5 m<sup>3</sup>/s respektive 50 och 100 cm djup. Omlöpet vid Finsjö nedre kraftverk är ca. 370 m långt och vid Finsjö övre kraftverk ca. 150 m. Efter dessa fiskvägars uppförande har fisken tillgång till ytterligare c:a 24 km av ån, upp till Högsbys kraftstation. Detta tillskott på minst 3,8 ha lekbotten motsvarar en total ökning av lekbottenar med c:a 20% för havsvandrande laxfiskar i hela Emån nedströms Högsby. För att nå omlöpen från Östersjön måste fiskarna simmar förbi ytterligare två kraftverk, Emsfors (5 km från Östersjön) och Karlshammar (8 km från Östersjön), som båda är utrustade med konventionella fisktrappor.

Med ekonomiskt stöd administrerat av Energimyndigheten under 2000-2002 utvärderade vi omlöpens funktion och gjorde en ansats till en samhällsekonomisk analys av denna åtgärd. Studien omfattade alla vandrande fiskarter men datainsamlingen fungerade bäst för laxartade fiskar. Vi tittade på hur många individer och arter som utnyttjade dessa fiskvägar och undersökte om tätheten av juvenila fiskar ökade uppströms omlöpen.

Vid Karlshammar fångades och märktes 33 karp-artade fiskar med PIT tags, främst färna och vimma, under 2001 och 2002. Endast 2 av dessa fiskar vandrade de 20 km upp till Finsjö (registrerades med PIT-antennar där). Betydligt fler laxartade fiskar fångades och c:a 94% av dessa var öring; de övriga var lax. Vi fann att cirka 17 % av öringarna simmade från Karlshammar, där de märktes med PIT tags, till omlöpets ingång vid nedre Finsjö men bara hälften av dessa simmade förbi både nedre och övre omlöpet. Dessutom verkade lek ha fungerat uppströms Finsjö eftersom yngeltätheten under hösten 2002 (första gången man kunde mäta reproduktionsframgång) var betydligt högre på 5 av 6 uppströms lokaler än det var under 2000 och 2001. Ingen märkbar förändring noterades i de fem kontrollokalerna nedströms omlöpen.

**Projektbeskrivning**

Syftet med studien som pågått 2003-2005 har varit att undersöka om byggandet av omlöp leder till att den vandrande delen av fiskpopulationerna i Emån ökar, och om intäkterna från sportfisket och turismen i området (som förväntas öka då fisken kan vandra högre upp i systemet) överstiger kostnaderna för åtgärderna. Projektets nyhetsvärde ligger i att vi försöker ta ett helhetsgrepp om fiskvandningsproblemet, dels genom att studera potentiella problem med alla öringens livsstadier, dels genom att studera både laxartade och icke-laxartade fiskar och dels genom att sammanföra forskare från tre olika vetenskapsområden då studien innefattar

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

ekologiska, ekonomiska och hydrauliska delar. Vår förhoppning är att våra erfarenheter från Emån skall kunna användas för att visa hur man framgångsrikt kan restaurera andra reglerade vattendrag med liknande fragmenteringsproblem.

För att kunna skatta den direkta nyttan av de nya fiskvägarna krävs information om hur bra fiskvägarna fungerar för uppströms och nedströms vandrande fiskar. Frågorna som vi vill få svar på är:

1. *Hur många lekvandrande laxar och öringar vandrar förbi Finsjö?*
2. *Varför vandrar inte alla fiskar som fångas vid Karlshammar upp till Finsjö?*
3. *Varför vandrar bara hälften av alla fiskar som når det nedre omlöpet förbi det övre omlöpet?*
4. *Hur effektiva är omlöpen för andra fiskarter?*
5. *Ökar årsyngeltätheten av lax och öring uppströms omlöpen?*
6. *Hur mycket smolt och utlekta fiskar (kelts) kan ledas av vid kraftverken?*
7. *Hur hög är smoltöverlevnaden när de passerar turbinerna?*
8. *Överstiger intäkterna från fisketurism anläggnings- och driftkostnader av omlöpen?*

**Uppströmsvandrande fiskar**

1) *Hur många lekvandrande laxar och öringar vandrar förbi Finsjö?* Vi förväntar oss att c:a 100-180 laxartade fiskar kommer att vandra förbi Finsjö per år, baserat på den befintliga arealen lek- och uppväxtområden uppströms Finsjö (Sjöstrand 2000). Så många fiskar har vi inte sett. Därför ville vi fortsätta att följa utvecklingen under ytterligare några år. Vi fortsätter att fånga fiskar vid fisktrappan vid Karlshammar och märker dem med PIT tags. De som vandrar de 20 km upp till omlöpet vid nedre Finsjö registreras av PIT-antennerna där.

2) *Varför vandrar inte alla fiskar som fångas vid Karlshammar upp till Finsjö?* Vi ville utreda om det sedan tidigare dokumenterade bortfallet (c:a 80%) av lekfisk mellan Karlshammar och Finsjö berodde på att en stor del av de märkta individerna finner lekplatser på denna sträcka eller om det beror på svårigheter för fisken att lokalisera fiskvägarna. C.a 20 vuxna individer fångades under 2003 vid Karlshammar, märktes med ATS-radiosändare (Advanced Telemetry System, OH, USA; se Rivinoja et. al 2001) och följdes sedan medan de vandrade uppströms.

3) *Varför vandrar bara hälften av alla fiskar som når nedre Finsjö förbi övre Finsjö?* Vi ville utreda om fiskarna har svårt att lokalisera omlöpen. Vi fångade fiskarna vid Karlshammar, utrustade dem med radiosändare, och körde sedan dem uppströms i bil och släppte dem några hundra meter nedströms nedre Finsjö. Totalt radiomärkte vi 56 fiskar under 2003 och 2004. Förutom att vi har följt deras vägval förbi kraftstationer har vi experimentellt manipulerat flödet i den gamla fåran vid övre Finsjö för att testa om detta påverkar öringens förmåga att hitta omlöpet. På så sätt kunde vi följa fiskarnas förmåga att hitta fiskvägarna under de olika flödesförhållanden i den gamla fåran.

4) *Hur effektiva är omlöpen för andra fiskarter?* Fiskvägar bör fungera för alla fiskarter (Cooper 1999, Lucas et al. 1999). Icke-laxartade fiskar fångades i Wolf-fällor, vid fällan vid Karlshammar och via spöfiske och märktes med PIT-tags. Fiskarna släpptes nedströms båda omlöpen och på sått kunde vi mäta passageeffektiviteten för fiskvägarna.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

5) *Ökar årsyngeltätheten av lax och öring ovanför Finsjö övre kraftverk?* Detta är en fortsättning på de elfiskeundersökningarna som gjordes på 11 lokaler, 6 uppströms och 5 nedströms Finsjö, under 2000-2002. Vi genomför ett kvantitativt elfiske (3 fiskningar) på varje lokal i början på september 2003, 2004 och 2005. Med dessa data uppskattar vi öring och laxtätheter av årsyngel. Data kommer att jämföras med tidigare elfisken.

**Nedströmsvandrande fiskar**

6) *Hur hög är överlevnaden för smolt som passerar turbinerna?* Med hjälp av radiosändare undersökte vi hur smolten betedde sig när de kom i kontakt med dammarna vid Finsjö. Dessutom kunde vi uppskatta mortaliteten från turbinerna och andra källor. Totalt märkte vi 82 smolt under 2004 och 2005 (högt vatten gjorde att vi misslyckades med att fånga smolt i 2003), som fångades i Wolf-fällor i 3 olika dammutskov i Finsjö. Vi försåg fiskarna med radiosändare och släppte ut dem några hundra meter uppströms övre Finsjö. Därefter följde vi deras rörelser till och förbi kraftverken med hjälp av bärbara och stationära mottagare. Dessutom mätte vi de hydrauliska förhållanden vid övre och nedre Finsjö för att bättre förstå smoltens vägval.

7) *Tar sig utlekt fisk och smolt nedströms förbi Finsjö?* För att konnektiviteten skall fungera fullt ut är det viktigt att utlekta fiskar finner vägen tillbaka till havet. Därför följde vi dem när de vandrade till Finsjö med hjälp av radiosändare, PIT-tag antenner i omlöpen och Wolf-fällor vid dammarna.

**Kostnads-nyttoanalys**

8) *Överstiger intäkterna från fisketurism anläggnings- och driftkostnader av omlöpen?* En pilotstudie genomfördes vid två platser under april månad år 2002. Intervjuer genomfördes med 20 fiskare om deras fiske i Emån och om fiskevanor i allmänhet. En grupp fiskade vid Ems herrgård, alldeles vid mynningen, där ett anrikt spöfiske bedrivits sedan 1920-talet. Här är tillgången på platser strängt reglerad. Besökarna är mycket erfarna och kunniga fiskare som ofta återkommer år efter år för att fiska havsöring och lax. Den andra platsen drivs av Fliseryds Sportfiskeklubb, och hit kan alla komma. Antalet laxfiskar där har hittills varit begränsat, så fisket är mera varierat. Besökarna fiskar mest vanliga arter som gädda och abborre, men drömmen är att få fånga lax och öring. Respondenterna, alla män, tillfrågades om sin betalningsvilja (WTP, Willingness To Pay) för att fiska i Emån och om hur mycket de satsade på fiske i allmänhet. De besvarade också frågor om avståndet till hemorten och om yrke och inkomst.

Ett annat sätt att uppskatta den nytta som konsumenterna tillskriver en vara eller en tjänst är att analysera hur mycket pengar och tid som besökarna faktiskt har offrat. Våren 2005 genomfördes en studie av rekreationsvärdena vid Em med resekostnadsmetoden, på engelska TCM, Travel Cost Method. Samtliga bokningar under sex säsonger kodades och avstånden mättes. Genom Ems belägenhet kommer besökarna så gott som uteslutande med bil, och kostnaderna beräknades med en genomsnittlig kostnad av 25 kr per mil.

**Projektets resultat**

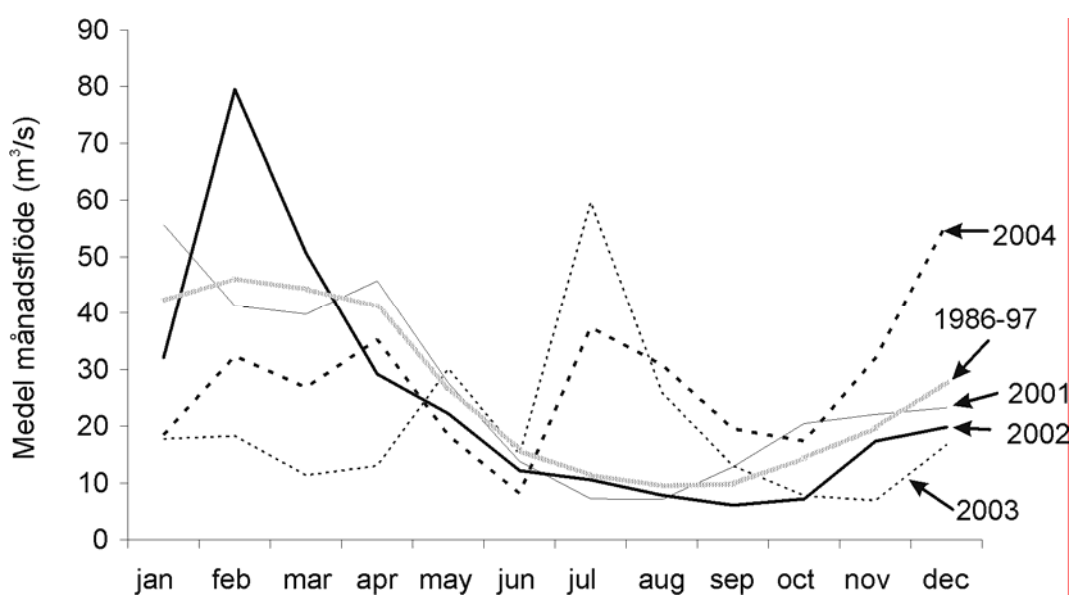
Flödesförhållandena i Emån under studieperioden 2001-2005 var mycket variabla både inom och mellan år. (Fig. 1). En flödestopp inträffade på våren varje år, men denna inträffade redan i februari 2002 men inte förrän i maj 2003. Ett normalflöde juni-augusti ligger på 10 m<sup>3</sup>/s (juni-augusti 1986-1997), men under 2003 och 2004 inträffade extrema högflöden under juli med

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

flödestoppar på 105 m<sup>3</sup>/s (2003) och 60 m<sup>3</sup>/s (2004). Flödet under lekuppvandningsperioden för öring (september-oktober) var huvudsakligen stabilt och minskande 2002 och 2003, samt ökande 2001 and 2004. Nedan presenteras i första hand våra resultat från de studier vid bedrivit 2003-2005, men i vissa fall ta även resultat in från perioden 2000-2002 för att stärka resultaten och möjliggöra jämförelser mellan år.

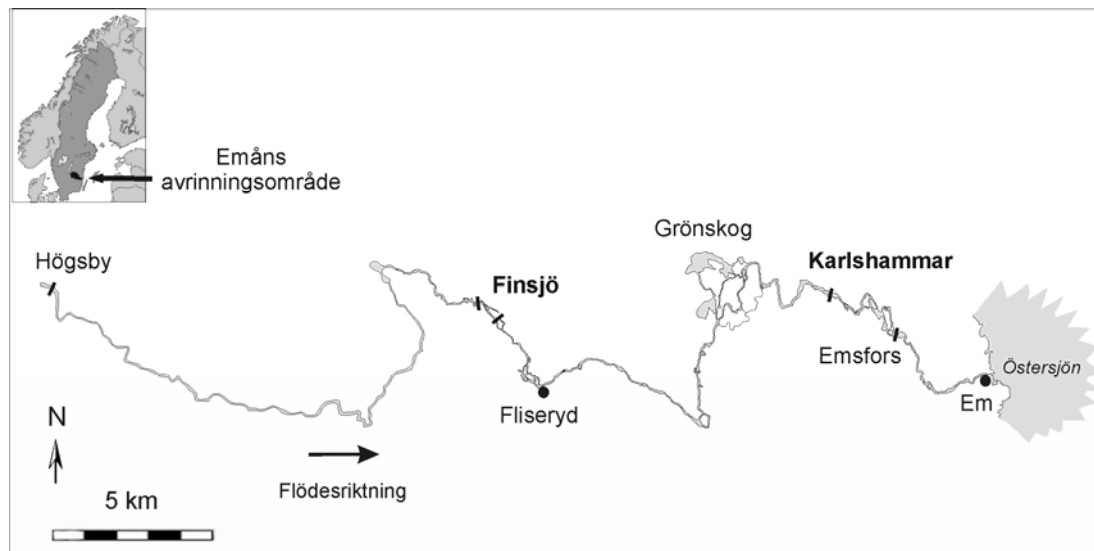
**Uppströmsvandrande fiskar***Vandring till fiskvägen vid nedre Finsjö*

Våra fångstdata i kombination med information från fiskräknaren i fiskvägen vid Karlshammar visade att totalt 66% av alla laxfiskar som passerade Karlshammar 2001-2004 hade fångats och märkts. Av de totalt 844 fiskar som märktes i Karlshammar 2001-2004 (för detaljer se avhandlingen, Tabell I, s16 ), så registrerades 121 individer (14%) av den första antennen i fiskvägen vid nedre Finsjö (Fig. 2). Merparten av dessa fiskar var öring (112 st, 15% av alla märkta), följt av lax (6 st, 11%), vimma (2 st, 6%), och färna (2 st, 25%). Andelen fiskar som vandrade från Karlshammar till fiskvägarna i Finsjö var högre bland öringar som varit till Finsjö tidigare år (44%) än bland dom som inte varit dit tidigare (13%). Andelen öringar som vandrade från Karlshammar till Finsjö (20 km) varierade mellan år och var 11-20%, vilket var proportionellt mot medelflödet under lekvandningsperioden (Fig. 3).



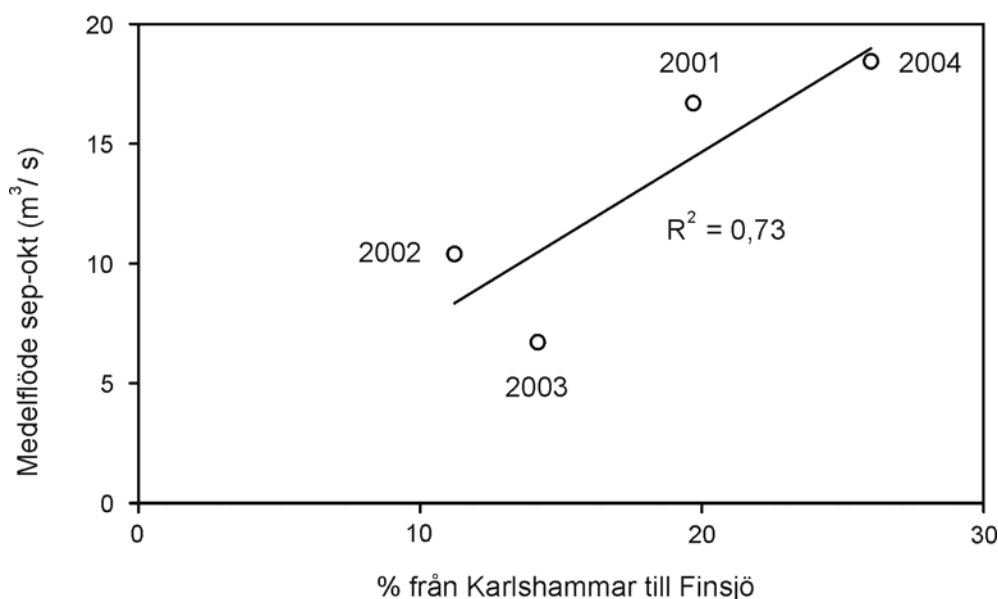
Figur 1. Månadsmedelflöden i Emån 1986-97 och 2001-2004.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



Figur 2. De nedre 54 km av Emån samt kraftverk (svarta streck) försedda med fiskvägar längs denna sträcka: Emsfors (5.3 km från havet), Karlshammar (8.8 km), nedre Finsjö (28.8 km) och övre Finsjö (29.6 km).

Av de fiskar som märktes vid Karlshammar, så kom alltså merparten aldrig fram till Finsjö. När vi pejlade de radiomärkta fiskarnas vandring från Karlshammar till Finsjö hösten 2003, fann vi att 88% av dem stannade nedströms Finsjö. Merparten av dem stannade på lokaler som bedömdes vara goda lekplatser, t.ex. så stannade 65% i Grönskogsområdet (Fig. 2). Totalt utgörs 2.5% av ån mellan Karlshammar och Finsjö av lekområden, vilket innebär att öringen visade en stark positiv selektion för att stanna på område som bedöms som bra lekplatsområden.

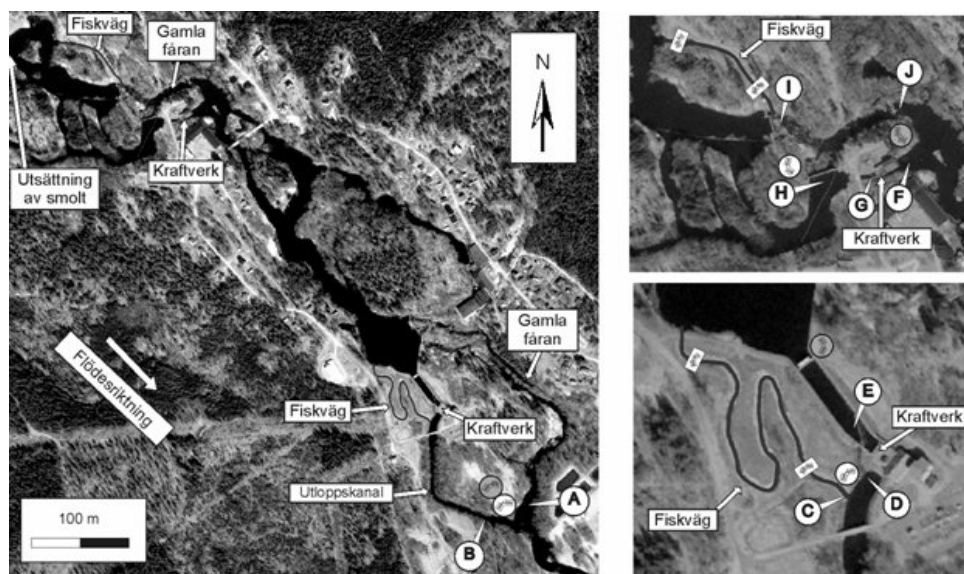


Figur 3. Medelvattenföringen i Emån september-oktober mot andelen PIT-tagmärkta öringar som vandrat från Karlshammar och därefter vandrat upp i fiskvägen vid nedre Finsjö.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

När fisken kom till Finsjö var de tvungna att välja mellan att vandra upp i gamla fåran eller utloppskanalen från kraftverket (Fig. 4). Hösten 2003 kom endast 2 st radiomärkta öringar till Finsjö och båda valde att simma upp i gamla fåran, vilken hade högst flöde vid denna tidpunkt. Hösten 2004 var flödet högst från kraftverket och alla 36 radiomärkta öringar simmade då upp i utloppskanalen mot kraftverket (100% attraktionseffektivitet för utloppskanalen). Det tog ungefär 13 dagar (median) för fisken att simma de 20 km från Karlshammar till Finsjö (2001-2004), vilket motsvarar 1.5 km/dag. Variationen mellan individer var dock stor och sträckte sig från 1 till 311 dagar (60 m -19.6 km/dag).

När öringen anlände till kraftverksutloppet (Fig. 4, C & D), dröjde det 3,2 h (12 min till 25 dagar) innan de simmade upp i den nedre fiskvägen. Det var stor skillnad mellan individer med avseende på hur många gånger de besökte fiskvägens ingång (1-46 gånger), men de flesta av fiskarna simmade upp i fiskvägen första gången de uppehöll sig vid kraftverket (73%). Den nedre fiskvägens attraktionseffektivitet var 83%. Alla 35 radiomärkta öringar som kom fram till kraftverket simmade vid något tillfälle in i, eller alldeles intill, fiskvägens ingång. De sex individer som inte simmade upp i fiskvägen, uppehöll sig 2-29 dagar nedströms kraftverket innan de simmade tillbaka nedströms, tappade radiosändaren eller stod kvar i utloppskanalen till studiens slut.



Figur 4. Finsjö kraftverk och fiskvägar med två PIT-antennar per fiskväg (☞) samt de tre automatiska telemetrystationernas placering på hösten (☉) och på våren (☼). Till höger visas respektive kraftverk i förstoring (övre Finsjö överst).

#### *Fiskvägen vid nedre Finsjö*

Märkt öring registrerades i fiskvägarna från maj till december vid vattentemperaturer från 1,6 till 22,3°C. Under 2001-2004 simmade totalt 112 PIT-märkta och 29 radiomärkta öringar upp i fiskvägen vid nedre Finsjö och passageeffektiviteten var 94% (variation mellan år 89-97%). I de flesta fall lyckades individerna passera fiskvägen på första försöket, d.v.s. de simmade hela fiskvägens längd efter att de passerat den nedre antennen. I snitt tog det 1,9 h för öringen att

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

simma från den nedre till den övre antennen (300 m, 155 m/h) och tiden varierade från 34 min till 21.4 h (14 till 529 m/h).

*Vandring till fiskvägen vid övre Finsjö*

Av de 28 radiomärkta öringar som passerat det nedre kraftverket 2004, simmade 27 till det övre kraftverket på en mediantid av 9,5 h ( $79 \text{ m h}^{-1}$ , 1,4 h till 4 d). Merparten av dem tycktes ha problem att hitta in i gamla fåran och förbi vattenfallet, vilket illustrerades av att de simmade till kraftverket (Fig. 4, F) fler gånger än till gamla fårans utlopp (Fig. 4, J). Ytterligare stöd för att de hade svårigheter att hitta rätt väg återfanns i antalet gånger de försökte simma in i kraftverket vid övre Finsjö (median 3 gånger, Fig. 4, F) jämfört med vid nedre Finsjö (median 1 gång, Fig. 4, D). Dessutom tog det mera tid för fisken att hitta rätt vid det övre kraftverket (mediantid 80,4 h) än vid det nedre (mediantid 3,2 h). De öringar som besökte det övre kraftverket vid upprepade tillfällen, sågs simma fram och tillbaka i kraftverksdammen mellan de två kraftverken.

Våra test med att försöka locka upp fisken i den gamla fåran vid övre Finsjö med hjälp av korta perioder av högflöden hade ingen direkt effekt, eftersom bara två individer simmade upp i gamla fåran under kontrollperioderna och ytterligare två under flödesförsöken. Däremot tillbringade fisken mer tid vid vattenfallet i den gamla fårans utlopp under tre av högflödesperioderna jämfört med kontrollperioderna för respektive testperiod. Flera individer stannade kvar i kraftverksdammen mellan de två kraftverken ända tills en naturlig flödesökning i ån inträffade, vilket ledde till att kraftverkets kapacitet överskreds och tappningen av spillvatten i gamla fåran ökades. Vid denna flödesökning ökade rörligheten bland fiskarna i dammen och sex dagar senare hade alla öringar lämnat dammen (efter att då ha tillbringat upp till 30 dagar i dammen). Den slutgiltiga attraktionseffektiviteten för den gamla fåran 2004 var 89%, till följd av den naturliga flödesökningen.

*Fiskvägen vid övre Finsjö*

Totalt simmade 25 radiomärkta öringar förbi vattenfallet (vid J i Fig. 4) i gamla fåran vid övre Finsjö 2004. Samtliga individer som passerade vattenfallet fortsatt uppströms till fiskvägen. Den 200 meter långa sträckan mellan vattenfallet och fiskvägen avverkades på 0,5-21,3 h (median 1,3 h). Av de PIT-märkta individer som passerat nedre Finsjö, nådde 50-86% fiskvägen vid övre Finsjö (2001-2004). Tidsåtgången för att simma från den nedre till den övre fiskvägen var 1,8 d (1,5 h till 78,5 d; 2001-2004). Passageeffektiviteten för den övre fiskvägen var 99% (94-100%) och passagetiden varierade från 18 min till 1,0 h, vilket motsvarar 79 to 267 m/h (median 28 min =  $163 \text{ m h}^{-1}$ ).

Totalt 60,5% av alla märkta fiskar som nådde Finsjö 2001-2004 lyckades passera båda fiskvägarna och fortsätta uppströms. De individer som misslyckades stannade kvar mellan kraftverken under en lång tid (11,6%) eller vände tillbaka nedströms (27,9%). Fler hanar än honor passerade båda kraftverken (51 hanar vs. 37 honor), men om hänsyn tas till totala antalet av respektive kön vid Finsjö, fanns ingen större skillnad (61% av hanarna vs. 66% av honorna). Kön fördelningen vid Finsjö var ungefär densamma som vid Karlshammar, d.v.s. något större

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

andel hanar än honor. De radiomärkta öringar som passerade båda kraftverken i Finsjö återfanns vid uppströms belägna lekplatser längs hela den 24 km långa sträckan upp till Högsby.

**Fiskvägarnas funktion för andra arter**

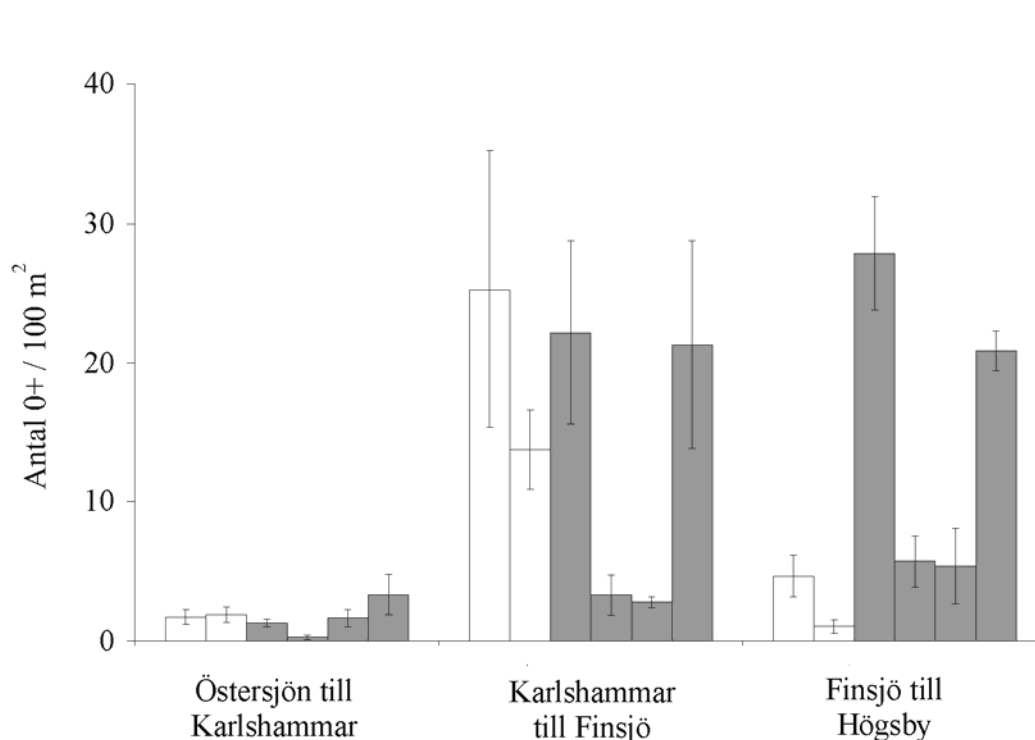
När fiskvägarna elfiskades återfanns åtta olika arter med individer av olika storlek (för detaljer se avhandlingen [1], tabell II, s 20). Vid Finsjö PIT-märktes totalt 187 individer från 11 olika arter som sedan släpptes ut i ingången till respektive fiskväg (obs att provstorleken var låg för vissa arter). De arter som visade störst tendens att vandra upp i fiskvägarna var lake (83%), sutare (50%), färna (38%), abborre (32%) och mört (23%) (för detaljer se avhandlingen, Tabell III, s 21). Av de individer som simmade upp i respektive fiskvägarna fullföljde 74% passagen (74% passageeffektivitet). De individer som inte fullföljde en påbörjad passage stannade kvar inne i fiskvägen (21% i nedre och 17% i övre) eller så vände de och simmade tillbaka nedströms (5% i nedre och 9% i övre). De individer som stannade inne i fiskvägarna var oftast lake och öring. De individer som avbröt en påbörjad passage var vanligen små cyprinider.

Av de 14 fiskar som simmade igenom hela den nedre fiskvägen, var det bara en individ som fortsatte uppströms och passerade även den övre fiskvägen (en braxen). Totalt använde åtta fiskarter fiskvägarna för passage både uppströms och nedströms, medan ytterligare fyra arter använde dem för nedströms passage.

**Reproduktion**

Tätheten av öringsyngel på lokaler uppströms Finsjö var markant högre 2002 och 2005, än tätheterna före fiskvägarna öppnades (2000-2001) (Fig. 5). Tätheterna var låga 2003 och 2004, efter sommarens höga vattenflöden, men det gällde samtliga lokaler i Emån och inte bara lokalerna uppströms Finsjö. De högsta tätheterna av laxårsyngel återfanns nedströms det första kraftverket i Emån (Emsfors, >70 individer/100 m<sup>2</sup>). Tätheterna var lägre mellan Karlshammar och Finsjö ( $2.1 \pm 3.9$  (S.A.)) och endast enstaka individer påträffades uppströms Finsjö.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



Figur 5. Medeltätheterna ( $\pm$  S.F.) av öringårsungel på lokaler längs tre delar av Emån. Resultaten visar två år före fiskvägarna öppnats (2000-2001, vita staplar) och åren efter fiskvägarna tagits i bruk (2002-2005, grå staplar i årsordning). De olika sträckornas läge framgår av Figur 2.

## Nedströmsvandrande fisk

### Utlekt fisk

Av de utledda öringarna (kelt) som befann sig uppströms Finsjö observerades 57% passera Finsjö på väg nedströms. Vissa simmade nedströms redan på hösten ( $N = 15$ , 25%), men de flesta väntade till nästkommande vår ( $N = 45$ , 75%). Vandrigen nedströms inträffade vid c:a 10 °C vattentemperatur både vår och höst, men flödet var vanligen högre på våren än hösten. Datumet för keltens utvandring var 29 april (median), och pågick från 1 april till 26 maj. På våren 2002-2004 vandrade alla kelt ut genom fiskvägarna. Våren 2005 hade de möjlighet att välja andra vägar och då gick fler ut genom isutskoven vid turbinintagen (70%) än genom fiskvägarna (30%).

Av de öringar som fångades vid Karlshammar 2003-2004 utgjorde återfångade individer 20%. De återfångade individerna dominerades av honor (81% 2003 och 58% 2004), vilket inte stämmer med den jämna könsfördelningen bland hela lekfiskpopulationen som fångats vid Karlshammar (46% honor,  $N_{tot}=659$ ). Återvandrarerna hade i genomsnitt gått upp  $0,78 \pm 0,07$  kg/år (S.F.) och ökat  $52 \pm 4$  mm/år, vilket motsvarar  $25 \pm 4\%$  viktökning och  $8 \pm 1\%$  längdökning. De flesta återvandrarare återfångades bara en gång ( $N=52$ ), men vissa individer fångades en tredje gång ( $N=10$ ) och en hona fångades fyra år i rad. De flesta återvandrarare kom tillbaka två år i rad. Endast fyra individer stannade två vintrar till havs och en individ tre vintrar till havs, innan de återvände. Återvandrarerna kom tidigare till Karlshammar andra gången (median 11 september) än första gången (median 20 september). De individer som kom tillbaka

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

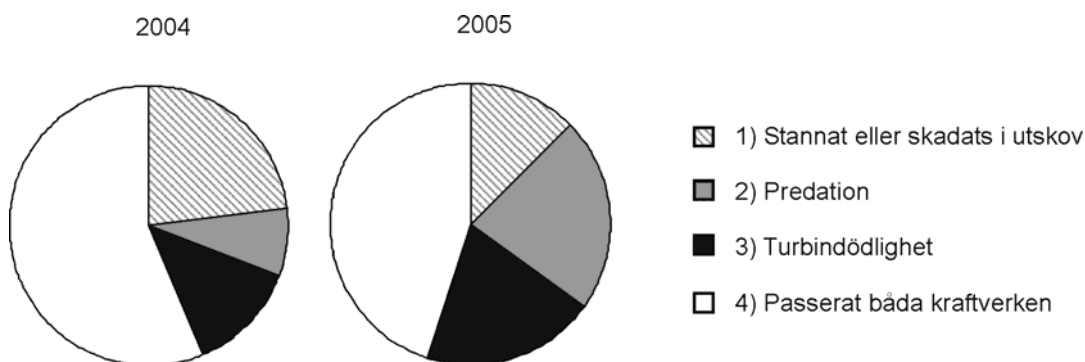
3 år kom även de tidigare för varje år (N=10): första gången kom de 26 september (median), andra gången 13 september och tredje gången 26 augusti.

*Smoltutvandring*

Smoltstudien genomfördes april till maj 2004 och 2005. Totalt märktes 42 smolt 2004 och 40 smolt 2005. De märkta fiskarna sattes ut ett par hundra meter uppströms övre Finsjö (Fig. 4 "Utsättning av smolt"). När smolten simmade mot övre Finsjö tog det upp till 10 dagar innan de passerat magasinet. De som simmade mot kraftverket blev mer fördröjda än de som simmade ner i den gamla fåran (median 21,4 h vs. 1,1 h). Turbindödligheten i det övre kraftverkets två "tvilling-Francis" var 40% både 2004 och 2005. Predatorer tog motsvarande 8-10% av smolten vid övre Finsjö 2004 och 2005.

De individer som klarade sig förbi övre Finsjö simmade snabbt genom kraftverksmagasinet ned till nedre Finsjö (median 51 min) och sedan direkt fram till kraftverksintaget. Där stannade de flesta mindre än ett dygn innan de simmade genom gallret och turbinen (88%, Fig. 4, E). Turbindödligheten i det nedre kraftverkets Kaplanturbin var 10-13%.

Försök att leda bort smolt från kraftverksintaget 2005 visade på 44% avledningseffektivitet vid det övre kraftverket och 16% vid det nedre kraftverket. Totalt klarade sig i medeltal c:a 50% av smolten sig förbi båda kraftverken i Finsjö 2004-2005. Förlusten berodde på predation (12%), turbindödlighet (16%) och de resterande individerna avbröt sin vandring eller blev skadade/dödade i de olika utskoven (18%, Fig. 6). Av de smolt som överlevde passagen av båda kraftverken 2005, försvann 17%, 28% stannade i ån, 22% togs av predatorer och 33% nådde havet. Om man räknar in alla smolt som radiomärktes 2005, så klarade sig 15% till havet.

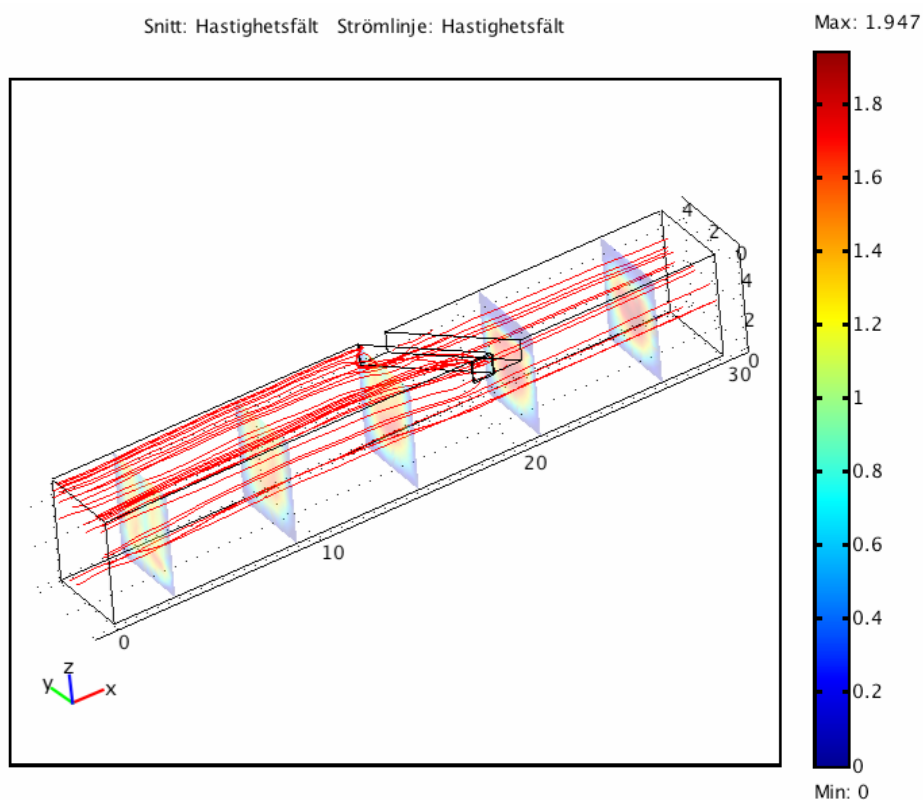


**Figur 6. Resultatet av smoltstudierna i Emån 2004 (N=39) och 2005 (N=40). De smolt som släpptes ut stannade (1), blev uppätta (2), dog i kraftverkens turbiner (3) eller överlevde passagen av båda kraftverken och fortsatta nedströms(4).**

De hydrauliska undersökningarna vid kraftverken i Finsjö visade att huvudströmmen leder fisken direkt till kraftverksintaget vid nedre Finsjö, men att den vid övre Finsjö istället leder fisken till gamla fåran. Dessa observationer bidrog till att förklara smoltens vandringmönster som var entydiga vid nedre Finsjö där alla smolt simmade direkt till kraftverket, men mer varierade vid övre Finsjö där smolten valde många olika vägar och endast en liten del simmade fram till och igenom turbinen.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

Mätningar vid kraftverksintagen visade att strömningen inte påverkas speciellt djupt av ledarmarna vid utskoven. Hastigheten i intagskanalen har varit ca 1 m/s vid båda kraftstationerna vid de tillfällen mätningar genomförts. Intagskanalen är grundare och smalare i övre Finsjö än i nedre och dess ledarm vid utskovet går grundare. Skillnaden i avledningseffektivitet mellan övre och nedre Finsjö kan inte förklaras utifrån de hydrauliska undersökningarna. För att utreda de hydrauliska förutsättningarna för avledning behöver man göra upprepade mätningar i ett större område omkring ledarmarna och stämna av med simuleringar. Därefter skulle man simulera resultatet av modifieringar av utformningen. Preliminära simuleringar av intagskanalen vid nedre Finsjö visar att strömlinjer i flödet som passerar under en ledarm inte omedelbart leder upp till ytan igen (Fig. 7).



Figur 7. Strömförhållanden vid nedre Finsjö, som visar strömlinjer som dels viker av ut genom utskovet och som dels dyker under ledarmen.

### Ekonomisk utvärdering

#### *Nytta, mätt som betalningsvilja (WTP)*

Respondenterna, alla män, tillfrågades om sin betalningsvilja (WTP) för laxfiskpopulationer i Emån och om hur mycket de satsade på fiske i allmänhet. De besvarade också frågor om avståndet till hemorten och om yrke och inkomst (Tabell 1).

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"****Tabell 1: Jämförelse mellan två grupper av sportfiskare i Emån, april 2002.**

Information om fiskevanor (N=20 <sup>*</sup> )	Besökare i Em	Besökare i Fliseryd
Avståndet hemifrån till Emån (km)	387	237
Årliga utgifter för fritidsfiske	35 000	16 000
Maximal betalningsvilja för en dags fiskekort (SEK)	1 300	600
Maximal betalningsvilja för ett års fiskekort (SEK)	33 000	6 000
Genomsnittsålder (år)	43	43
Årlig inkomst efter skatt (SEK)	357 000	212 000

\* alla siffror är aritmetiska medelvärden.

Denna pilotstudie visar på intressanta skillnader mellan de två grupperna i form av de enkla genomsnittssiffrorna, men ger ett för litet underlag för en grundlig statistisk analys. När det gäller antalet fisketurer under det senaste året och genomsnittsåldern så skiljer sig inte grupperna åt. Men i alla andra avseenden bekräftas intrycket att fiskarna vid Ems Herrgård är en exklusiv grupp. De ägnar mer tid åt att fiska lax och öring, tillbringar flera nätter utanför hemmet och reser längre sträckor för att komma till attraktiva fiskeplatser. De lägger också ut mer pengar och uttrycker en högre betalningsvilja än Fliserydsgruppen. Fliserydsgruppen betalade 150 kr för en dags fiskekort. Övernattning i stuga, mat och lokala transporter uppskattades till 250 – 400 kr per dag. Vid Em kostade ett fiskekort 650 kr/dag och logi 400 kr. Övriga kostnader, d. v. s. mat, öl och viss komplettering av utrustningen beräknades till 300 – 500 kr/dygn. Men dessa utgifter representerar inte det totala "värdet" av fiskresurserna, siffrorna visar bara vad besökarna faktiskt betalar. Som antydde av deras betalningsvilja skulle åtminstone en del vara beredda att betala mer. Det existerar vad som brukar kallas ett konsumentöverskott (*consumer surplus*).

#### *Nytta, mätt som resekostnad (TCM)*

Antalet besökare vid Em har delats in i tre kategorier. Närboende, definierade som personer boende inom 10 mils radie (Tabell 2). Dessa besökare kommer i allmänhet över dagen och gör ofta flera besök under en säsong. Den andra gruppen är utländska besökare. De flesta är danskar, men även normmän och tyskar är vanliga. Övriga kommer från södra och mellersta Sverige.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"****Tabell 2. Antal fiskare vid Emåns mynning (Ems herrgård), andel närboende och utländska besökare. Avstånd från hemmet, totalt och per person.**

Säsong	Besökare (N)	Bortfall N (%)	Närboende (%)	Utländska besökare (%)	Total sträcka (km)	Resa * (km/person)
Våren 1995	292	42 (14)	21	12	79950	320
Våren 2000	286	31 (11)	19	16	74138	291
Våren 2004	389	26 (7)	21	13	96710	266
Hösten 1995	219	38 (17)	11	12	66694	368
Hösten 1999	242	32 (13)	6	10	73090	348
Hösten 2004	312	34 (11)	8	19	84100	303

\* Resa per person har beräknats som det totala antalet kilometer dividerat med antalet besökare, minus bortfall.

Besökarna är nästan uteslutande män. De är i regel mycket erfarna och kunniga fiskare som ofta också utövar sin hobby på andra ställen: i Norge, i Skottland, på Kolahalvön, osv. Många återkommer dock år efter år för att fiska havsöring och lax vid Em. År 2004 besöktes anläggningen av 700 personer. Antalet har stigit sedan 1995 och efterfrågan på platser är stor, men tidigare gäster har förtur. Generellt verkar det vara något flera besökare från närområdet under vårsäsongen, jämfört med hösten, medan andelen utländska besökare ligger ungefär på samma nivå.

Resekostnaderna uppskattas till totalt cirka 500 000 kronor, om vi antar att personerna i bortfallsgruppen har genomsnittsavstånd. Denna beräkning ligger sannolikt i underkant. Inklusivt utgifterna för fiskeavgifter och övernattnings, och en mindre summa för extra mat och dryck, skulle en fiskedag vid Em motsvara direkta utgifter på i genomsnitt cirka 1200 kronor.

### Kostnader

I de flesta studier av fritidsfiske behöver man inte ta hänsyn till kostnader – fisk är en resurs som finns att hämta gratis. I Emån, däremot, finns investeringar och drifts- och underhållskostnader för de nya fiskvägarna som ska ställas mot de intäkter som kan bli följden om lax och havsöring passerar längre upp i ån och därigenom skapar möjligheter för ett utökat turistfiske. Hitintills är det bara på kostnadssidan som det finns pålitliga data.

Investeringskostnaderna (år 2000) för de nya fiskvägarna uppgick till MSEK 2.9, inklusive projektering och planering. Om man diskonterar beloppet med en realränta på 4% och avskrivningsperiod på 25 år, eller 50 år, hamnar den årliga kapitalkostnaden i intervallet SEK 184 000 – 227 000. De årliga drifts- och underhållskostnaderna uppskattas till SEK 150 000. Sammanlagt hamnar då de årliga kostnaderna i storleksordningen SEK 334 – 377 000, i snitt SEK 355 000.

Vi vet nu, att både laxfiskar och andra arter klarar av att passera de nya omlöpen, både upp till nya lekbottnar och tillbaka till Östersjön. Men det är ännu för tidigt att beräkna vilka

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

populationer som kommer att etablera sig i de nya områdena. Det kommer att ta ett antal år innan läget har stabiliserats. Inte heller går det att säga vilken mängd fiskar som behövs per fiskesträcka för att locka sportfiskare.

Man kan då ställa frågan: hur många fiskekort skulle behöva säljas för att räkna hem de nya anläggningarna? Det beror naturligtvis på priset. Om vi väljer Fliserydsgruppens maximala betalningsvilja, 600 kr, krävs en försäljning av 592 styck, med den högre betalningsviljan vid Em bara 296 stycken per år.

Som jämförelse kan nämnas att Appelblad (2001) har rapporterat betydligt lägre siffror från några norrlandsälvar. Han fann en betalningsvilja bland turister för fiskekort i Byskeälven på 122 kronor per dag och 1155 kr för årskort. Här kan man misstänka att avstånden spelar in. Em har till skillnad från Byske fördelen att ligga på 30-35 mils avstånd från alla de stora tätorterna i Sverige, Stockholm, Göteborg och Malmö. Genom Öresundbron finns också stora delar av Danmark inom räckhåll.

***Projektets mål och måluppfyllelse***

Syftet med studien 2003-2005 har varit att undersöka om byggandet av omlöp leder till att den vandrande delen av fiskpopulationerna i Emån ökar, och om intäkterna från sportfisket och turismen i området (som förväntas öka då fisken kan vandra högre upp i systemet) överstiger kostnaderna för åtgärderna. Vår förhoppning har varit att våra erfarenheter från Emån skall kunna användas för att visa hur man framgångsrikt kan restaurera andra reglerade vattendrag med liknande fragmenteringsproblem.

Nedan presenteras de delmål/delfrågor vi ställde upp vid projekttidens början och i vilken utsträckning vi har uppnått dessa mål.

1. *Hur många lekvandrande laxar och öringar vandrar förbi Finsjö?*
2. *Varför vandrar inte alla fiskar som fångas vid Karlshammar upp till Finsjö?*
3. *Varför vandrar bara hälften av alla fiskar som når det nedre omlöpet förbi det övre omlöpet?*

Delmålen 1-3 har uppnåtts i mycket hög grad. Vi har fått ytterligare information om den totala uppgången förbi Finsjö samt att vi har utrett varför merparten av öringen aldrig når Finsjö. Slutligen har vi identifierat problemet med att många fiskar simmar förbi det nedre, men inte det övre kraftverket i Finsjö.

4. *Hur effektiva är omlöpen för andra fiskarter?*

Många andra arters nyttjande av omlöpen i Finsjö har dokumenterats via elfisken och PIT-tagstudier, vilket visade att fiskvägarna fungerar som habitat och att passageeffektiviteten var hög. Vi anser dock att ett större material skulle behövas för att säkert kunna fastställa fiskvägarnas funktion för de många fiskarterna i Emåns nedre lopp.

5. *Ökar årsyngeltätheten av lax och öring uppströms omlöpen?*

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

Resultaten blev inte som förväntat då elfiskeundersökningarna visade stor variation i yngeltätheter. Det låga antalet yngel under 2003 och 2004 verkar bero på ovanligt höga sommarflöden, eftersom tätheterna var låga för hela Emån. Dock gav resultaten för 2002 och 2005 indikation på att tätheterna av årsyngel av öring uppströms Finsjö ligger på en ny högre nivå efter det att fiskvägarna öppnats. Yngelproduktionen i Emån behöver bevakas i framtiden för att ge säkrare svar.

6. *Hur hög är överlevnaden för smolt som passerar turbinerna?*
7. *Tar sig utlekt fisk och smolt nedströms förbi Finsjö?*

Målen för smoltstudierna uppnåddes i hög grad, till stor del p.g.a. att vi beviljades ökad finansiering för att upprepa studien 2005. Studierna visade att en mycket liten del av smolten använde omlöpen för nedströms passage, vilket var väntat. I stället valde de att i de flesta fall att vandra med huvudströmmen och försöka passera kraftverken via olika utskovsluckor eller via turbinerna. Försök att leda av smolten från turbinintagen med befintliga ledarmar och utskov visade att en stor andel smolt kan ledas av vid det övre kraftverket, men att bara en liten andel kunde ledas av vid det nedre kraftverket. Båda årens smoltstudier visar på en högre dödlighet i det övre kraftverkets Francis-löphjul än i det nedre kraftverkets Kaplan-löphjul. En effektivisering av avledningen beskriven ovan är således mycket angelägen.

Måluppfyllelsen var mycket god för ökad kunskap om den utlekte fiskens (keltens) möjlighet att ta sig nedströms förbi Finsjö. Keltens tycks också i stor utsträckning först gå mot kraftverket och försöka komma ut den vägen. Fiskvägarna fungerar i dag som en alternativ väg förbi kraftverken, men resultat från avledningsförsöken visar på en mycket stor potential för att minska förseningen för dessa individer vid kraftverken. Att kombinera förbättrade utvandringmöjligheter för smolt och kelt ligger mycket högt på listan över framtida åtgärder.

8. *Överstiger intäkterna från fisketurism anläggnings- och driftkostnader av omlöpen?*

Undersökningar om WTP och TCM har gjorts som planerat. Dock är antalet individer som intervjuades något lågt, vilket gör att underlaget för en bedömning av rekreativvärden inte tillåter för stora generaliseringar.

***Projektets resultat i förhållande till programmets övergripande mål och syfte***

Projektets frågeställning faller under de övergripande förutsättningarna för programmet. Projektet har varit väldigt åtgärdsinriktat, vilket har resulterat i många förslag på insatser. Ett exempel är att det under våren 2006 kommer att skrivas åtgärdsförslag för Emån på uppdrag av Kammarkollegiet och Länsstyrelsen Jönköping, vilket ska ligga till grund för framtida omprövning av vattendomar i Emån samt vid implementeringen av ramdirektivet för vatten. Åtgärdsplanen kommer helt att baseras på arbetet inom projektet och kommer att inbegripa hur förutsättningarna för fiskpassage skall optimeras i Emån och vilka andra åtgärder som krävs för att maximera den totala effekten. Lärdomar från arbetet i Emån kommer att användas vid planerade studier i bl.a. Ätran och Klarälven.

Projektet har också relevans till programmets strategiska mål. Det har inbegripit samverkan mellan ekologer, hydrauliker och en ekonom. Data om strömförhållanden kring kraftstationerna har bidragit till att tolka öringens vägval vid nedströmspassage. Delstudien

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

angående den ekonomiska nyttan av fiskvägarna är en av få av sitt slag och är nödvändig från ett samhällsperspektiv. Eftersom responsen på fiskvägarnas effekt på antalet vuxna fiskar i ån förväntas ta flera år, skulle en uppföljning behöva göras om några år för att kunna uppskatta de mer långsiktiga effekterna av fiskvägarna för sportfisket.

Dessutom har projektet kvantifierat olika problem kring fiskpassagerna från ett helhetsperspektiv, vilket vanligen inte är fallet när fiskvägar utvärderas. Detta har lett till en viss publicering i vetenskapliga tidskrifter och flera artiklar är inplanerade. Slutligen ligger projektet under ett av de fyra prioriterade områden, nämligen, "Förbättrade förutsättningar för vattenorganismers vandring".

***Nationellt och internationellt samarbete***

Projektet har löpande haft kontakt med berörda intresseorganisationer (t.ex. Emåområdets intresseförening och Gustav Ulfsparrs stiftelse), myndigheter (Länsstyrelser, kommuner, Fiskeriverket, Naturvårdsverket) samt kraftverksägare (E.ON, Lars Läggeberger, IR kraft, Ålem energi m.fl.). Resultaten har presenterats och diskussioner har förts om hur förutsättningarna för fiskpopulationerna ska förbättras i reglerade vatten. Flera av dessa åtgärder har redan utförts vid bl.a. Finsjö kraftstationer. Åtgärder och det löpande arbetet i projektet vid kraftverken har underlättats enormt av gott samarbete och hjälp från E.ON:s Johan Tielman.

Arbete med Emån har under årens lopp inbegripit många kontakter såväl nationellt som internationellt (se sammanställning under "Nationellt och internationellt samarbete" nedan). Kontakterna har bl.a. berört frågor angående metodik och åtgärder och ett kontaktnät inom området har utvecklats bl.a. genom deltagande i olika nätverk, t.ex. doktorandnätverket NoWPaS (O. Calles), nätverket COST-626 (L. Greenberg och O. Calles) samt Diadfish (L. Greenberg och O. Calles). Dessa kontakter har inneburit olika typer av utbyte, t.ex. har Stefan Schmutz grupp från University of Agricultural Sciences, Vienna skickat Christian Frangez till Sverige för utbyte av idéer och metodik genom deltagande i COST 626.

***Nätverk***

- EAMN (<http://www.eamn.org/>, European Aquatic Modelling Network) - COST 626 - europeiskt nätverk för akvatisk modellering. Larry är svensk representant i styrelsen.
- NoWPaS (<http://www.nowpas.org/>) - Nordic Workshop for PhD students on Anadromous Salmonid Research. Olle Calles är svensk representant i styrelsen.
- Diadfish (<http://www.diadfish.org/>) - nätverk för europeiska forskningsinstitut som arbetar med diadroma fiskarter. Syftet är att testa metoder för att skydda dessa arter, vilket är tätt förknippat med bl.a. ramdirektivet för vatten och Natura 2000.

***Internationella kontakter***

- Stefan Schmutz, Andreas Zitek & Christian Frangez. University of Agricultural Sciences, Vienna (BOKU), Austria.
- Alex Haro. USGS-BRD Conte Anadromous Fish Research Center, Turners falls, US.
- Jean-Marc Roussel, INRA, Laboratoire d'Ecologie Aquatique, Rennes, France.
- David Scruton. Canadian Department of Fisheries and Oceans. St. John's, Canada.
- Martyn Lucas. Department of Biological Sciences, Durham University, UK.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

- Paul Kemp. School of Civil Engineering and the Environment. University of Southampton. UK.
- Ari Huusko. Finnish Game and Fisheries Research Institute. Finland.
- Jo Halleraker. SINTEF Energy Research. Trondheim. Norway.
- Christian Skov. Danmarks Fiskeriundersøgelser, Afdeling for Ferskvandsfiskeri. Silkeborg. Denmark.
- John Ferguson. Fish Ecology Division, Northwest Fisheries Science Center, Seattle, U.S.

*Nationella kontakter*

- Hans Lundqvist & Peter Rivinoja, Vattenbruk, SLU, Umeå.
- Håkan Gustavsson och Elianne Wassvik, Avdelningen för strömningslära, Luleå tekniska universitet.
- Länsstyrelserna i Jönköping, Östergötland, Västra Götaland, Kalmar.
- Kommunerna i Oskarshamn, Mönsterås, Högsby, Hultsfred, Vetlanda.
- Fiskeriverket i Älvkarleby, Örebro, Jönköping, Göteborg.
- Vattenmyndigheten Södra Östersjön - Dea Carlsson.
- Projektet har haft anknytning till det nu avslutade MISTRA-programmet VASTRA, Vattenstrategiska Forskningsprogrammet.

***Vetenskapliga resultat*****Doktorsavhandlingar**

1. Calles, O. 2006. Re-establishment of connectivity for fish populations in regulated rivers

**Artiklar i (eller avsedda för) referee-granskade vetenskapliga tidskrifter**

2. Calles, O. & Greenberg, L. 2005. Evaluation of nature-like fishways for re-establishing connectivity in fragmented salmonid populations in the River Emån. *River Research & Applications* 21: 951-960.
3. Calles, E.O. & Greenberg, L.A. (2005). The pre- and postspawning movements of anadromous brown trout in relation to two low-head power plants. Manuscript.
4. Calles, E.O. & Greenberg, L.A. (2005). Survival and movement of wild brown trout smolts past two power plants. Manuscript.
5. Calles, E.O. (2005). The use of two nature-like fishways by some fish species in the Swedish River Emån. Manuscript.
6. Calles, E.O., Nyberg, L. & Greenberg, L.A. (2005). Temporal and spatial variation in quality of hyporheic water in one unregulated and two regulated boreal rivers. Manuscript.
7. Nyberg, L., Calles, E.O. & Greenberg, L.A. (2005). Impact of short-term regulation on hyporheic water quality in a boreal river. Manuscript.
8. Löwgren, Calles & Greenberg: Improving fish migration – a tentative assessment of costs and benefits in lower Emån, Sweden. (manuskript för publicering i *Tourism Management*)
9. Löwgren, M. 2005. Vad är fisken värd? Fritidsfisket i Emåns avrinningsområde. *Vatten* 61: 133-140, Lund 2005.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"****Konferensbidrag**

10. Calles, O. and Greenberg L. 2003. Evaluating the effectiveness of bypass channels in a regulated river. AFS Annual Meeting, Quebec, Canada, 10-14 augusti, 2003.
11. Calles, O. and Greenberg, L. 2003. Fishways as Remedial Measures in Regulated Rivers (posterpresentation). OIKOS symposium. Karlstads universitet. 10-12 februari, 2003.
12. Greenberg, L. (inbjuden föreläsare) 2004. Omlöp som restaureringsåtgärd för fragmenterade fiskpopulationer i reglerade vattendrag "Svensk/Norsk försumnings- och kalkningskonferens", Umeå, 7-9 September 2004
13. Greenberg, L. (inbjuden föreläsare), Calles, O., Löwgren, M & Forsberg, J. 2005. Naturlika fiskvägar som restaureringsåtgärd för reglerade vattendrag "Vattendagarna" 2005. Rinnande vatten- Påverkan, åtgärder och restaurering", Jönköping, 30 november- 1 december 2005.
14. Calles, O. and Greenberg, L. 2004. Muntlig presentation. Use of bypass channels for re-establishing connectivity in a regulated river. Nordic Mini Workshop: "Fish passage and restoration efforts in natural and flow-regulated rivers". Umeå. 15-16 juni, 2004.
15. Calles, O. (inbjuden föreläsare). 2004. "En temadag om kalkning och biologisk återställning i Värmland". Länsstyrelsen Värmland och Värmlands vattenvårdsförbund. Karlstad. 29 oktober, 2004.
16. Calles, O. and Greenberg, L. 2005. Evaluating fishway function in a regulated river (posterpresentation). Fish and Diadromy in Europe. Bourdeaux, Frankrike. 29 mars - 1 april, 2005.
17. Calles, O. 2005. Muntlig presentation: Re-establishing connectivity. "Nordic Workshop for PhD students within Anadromous Salmonids" (NoWPAS). 6-10 april, 2005.
18. Löwgren, M. 2003. Värdera vattentjänster. "Vattendagarna 2003". Vatten i en föränderlig värld. Roller, ansvar och möjligheter till förbättringar vattensituationen när nya EU-direktiv införs. 3-4 december 2003, Stockholm

**Examensarbeten**

19. Brodin, M. 2004. Havsöringars och laxars lekvandring i anslutning till nybyggda omlöp i det reglerade vattendraget Emån. D-uppsats, Karlstads universitet
20. Danielsson, A. 2005. Hur påverkas öringens (*Salmo trutta*) lekvandring av manipulerat flöde? C-uppsats, Karlstads universitet
21. Juhl, M. 2005. Passageeffektiviteten hos icke laxartade fiskar vid omlöpen i Emån. D-uppsats, Karlstads universitet
22. Olson, M. 2005. Nedström av havsöringsmolt (*Salmo trutta*) förbi vattenkraftverk i Emån. D-uppsats, Karlstads universitet
23. Woronin, S. 2003. Effekt av flödesmanipulation på hyporheisk vattenkemi. D-uppsats, Karlstads universitet

**Övrigt**

24. Löwgren, M. 2002. Emåns nyttjande och hävd. VASTRA Rapport 2. [www.vastra.org](http://www.vastra.org)

## 2.3 Restaurering av regleringsmagasin – optimering av fisk- och planktonproduktion genom balanserad näringsanrikning

### **Projektdeltagare**

*Projektledare:*  
Göran Milbrink, professor  
Avd. för Zooekologi,  
Inst. För ekologi och evolution  
Uppsala Universitet  
752 36 Uppsala  
018/4712664  
Goran.milbrink@ebc.uu.se

*Projektdeltagare:*  
Staffan Holmgren, fil.dr.  
Mithögskolan  
831 25 Östersund  
063/165578  
Staffan.Holmgren@telia.com

*Projektdeltagare:*  
Mats Jansson, professor  
Institutionen för ekologi och  
geovetenskap  
Umeå Universitet  
901 87 Umeå  
060/7866098  
Mats.Jansson@eg.umu.se

*Doktorand:*  
Jonas Persson, fil.mag.  
Avd. för Limnologi, Inst. För  
ekologi och evolution  
Uppsala Universitet  
752 36 Uppsala  
018/4712728  
Jonas.Persson@ebc.uu.se

*Projektdeltagare:*  
Tobias Vrede, fil.dr.  
Avd. för Limnologi,  
Inst. För ekologi och evolution  
Uppsala Universitet  
752 36 Uppsala  
018/4712725  
Tobias.Vrede@ebc.uu.se

*Projektdeltagare:*  
Lars Tranvik, professor  
Avd. för Limnologi,  
Inst. För ekologi och evolution  
Uppsala Universitet  
752 36 Uppsala  
018/4712722  
Lars.Tranvik@ebc.uu.se

*Projektdeltagare:*  
Emil Rydin, fil.dr.  
Avd. för Limnologi,  
Inst. För ekologi och evolution  
Uppsala Universitet  
752 36 Uppsala  
018/4712714  
Emil.Rydin@ebc.uu.se

### **Bakgrund och problemställning**

Det *övergripande målet* med projektet har varit att undersöka om det är möjligt samt ekologiskt försvarbart att förbättra fiskproduktionen i regleringsskadade sjöar i fjällregionen genom kompensatorisk näringstillsättning.

Huvudproblemet är att de reglerade sjöarna utarmas på näring – oligotrofiering (Ney, 1996; Stockner et al., 2000), och att de stora vattenståndsfluktuationerna förstör litoralzonen. Dessa skador leder i längden fram till svaga och långsamtväxande fiskpopulationer.

Den bärande tanken i projektet är att stimulera produktionen i planktonnäringsväven genom en försiktig tillsats av näringsämnen och att därigenom i slutänden stimulera fiskproduktionen så att den når en nivå som motsvarar den som rådde innan regleringen. Kompensatorisk näringstillsats är en möjlighet att kompensera oligotrofieringen och uppnå naturlig produktivitet i fiskbestånden i redan reglerade system, men åtgärden innebär ingen total restaurering av andra typer av skador som uppkommer i samband med reglering.

För att utröna hur näringstillsatser kan restaurera/återföra framför allt rödingpopulationer till konditionsnivåer som rådde före reglering måste hela näringskedjan från näringsämnen till fisk

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

följas i kvalitativa och kvantitativa termer. De ekologiska effekterna av tillsatserna måste också utredas. Det är självklart viktigt att den tillförda näringen ger upphov till ökad produktion, men det är samtidigt nödvändigt att beakta vart näringen tar vägen. Det måste säkerställas att näringstillsatserna stimulerar den befintliga sammansättningen av näringsväven och att inte oönskade arter av växt- och djurplankton breder ut sig. Utvecklingen av biodiversiteten bör också noggrant följas. Frågeställningar som behandlats inom projektet är:

- Vilka är orsakerna till näringsutarmningen?
- Kan kompensatorisk näringstillsats (fosfor och kväve) bygga upp biologisk produktion i den fria vattenmassan som ersätter den förlorade produktionen i strandzonen?
- Vart tar den näring som tillsätts vägen? I vilken utsträckning sker fastlåsning i sedimenten och hur mycket förloras nedströms? Vad händer med näringen efter sedimentation?
- Hur snabbt svarar planktonkonstituenterna på den ökade näringsgivan och hur är successionsordningen?
- I vad mån förändras födokvaliteten hos växtplankton efter näringstillsats? Stimulerar näringstillsatsen organismer av hög födokvalitet som via en kort näringsväv i sin tur stimulerar fiskproduktionen?
- Bibehålls den kvalitativa sammansättningen av växtplankton på längre sikt?
- Hur förändras bottenfaunans kvantitativa och kvalitativa sammansättning efter näringstillsats? Stämmer det som tidigare observerats att bottenfaunan kraftfullt svarar men med några års försening?
- Leder ökad primärproduktion till att fiskpopulationerna restaureras, och är det möjligt att på så vis förbättra fiskens kondition så att den tål att jämföras med den som rådde före regleringen?
- Förändras graden av piscivori i röding- och öringspopulationerna efter en längre tids näringstillsättning något som skulle kunna påverka fiskpopulationernas strukturella sammansättning (top-down-effekter).
- I vad mån stämmer det att rödingen som planktonspecialist i första hand gynnas av näringstillsättning? I vad mån gynnas också öringen av näringstillsättningen och i vilket tidsperspektiv?
- Svarar alla rödingar på samma positiva sätt på riklig tillgång på pelagiskt zooplankton?
- Hur är den ekonomiska lönsamheten vid åtgärder av detta slag?

***Projektbeskrivning***

Projektet är en fortsättning på föregående treårsprojekt inom ämnesområdet habitatförstärkning som löpte 2000-2002. Kompensatorisk näringstillsats har prövats experimentellt i helsjöskala i sjöarna Stora Mjölkvattnet och Burvattnet (i övre delen av Långsåns avrinningsområde, ett biflöde till Indalsälven i NV Jämtland). Efter förstudier i båda sjöarna under åren 2000-2001 har näringstillsats genomförts i Stora Mjölkvattnet under åren 2002-2005, varvid Burvattnet har fungerat som omanipulerat kontrollsystem. Parallellt med näringstillsatserna har ett omfattande provtagningsprogram för vattenkemi (i utlopp och större inlopp, samt i sjöarna) och biologiska analyser (fr.a. plankton och fisk) genomförts i båda sjöarna. Dessutom har mätningar av sedimentationshastigheter och fysikaliska och kemiska analyser av bottensediment i Stora Mjölkvattnet genomförts.

## **Projektets resultat**

### **Vilka är orsakerna till näringsutarmningen?**

Målsättningen var att *kvantifiera* och utreda orsakerna till den näringsutarmning som har skett på grund av regleringen av Mjölkvattnet och Burvattnet 1942. Detta utgör grunden för att en näringstillsats ska kunna dimensioneras och bli kompensatorisk.

En hypotes var att den kontinuerliga vattenståndsförändringen i den reglerade sjön hindrar de minsta näringsrika partiklarna från att sedimentera och håller dem kvar i vattenmassan, vilket gör att de förloras nedströms. Därigenom förloras möjligheten för en långsam nedbrytning och fosforfrigörelse från dessa partiklar, vilket skulle kunna förklara näringsutarmningen.

Projektet har inte lyckats kvantifiera en förändring (minskning) av fosforretentionen i Mjölkvattnet under de drygt 60 år som har gått sedan reglering genom att analysera fosfordepositionen i sedimenten. Fyra sedimentproppar har analyserats men variationen i resultatet var för stor för att kunna dra entydiga slutsatser.

Andra indikatorer för hur näringsstatusen har försämrats har därför använts som underlag för dimensioneringen av den årliga fosforgivan.

Projektet har visat att:

1. Regleringen medför en frånvaro av labila biogena fosforföreningar i sedimenten, men att dessa återfinns i naturliga koncentrationer efter tre års näringstillsatser (Ahlgren et al. manuskript).
2. Den naturliga vattenståndsförhöjningen i ett oreglerat system i samband med vårfloden har potential att ge ett signifikant fosfortillskott till vattnet under den delen av året då primärproduktionen skall vara maximal.

För att undersöka det senare sattes förnaprover från Mjölkvattnets strandzon under vatten och förvarades mörkt och kallt (4°C) under syrgasfria förhållanden i över en månad. 3% av förnans fosforinnehåll lakades då ut i form av fosfat. Omräknat till den översvämmande arean vid oreglerade förhållanden motsvarar denna frigörelse en ökning på 2 µg fosfatfosfor per liter av Mjölkvattnets översta tredjedel av vattenmassan. Det motsvarar en tredjedel av den årliga fosforimporten från avrinningsområdet till Mjölkvattnet. Det är rimligt att anta att syrgasbrist råder i dessa lager, men det behöver undersökas hur effektiv transporten av mobiliserad fosfat är till vattenmassan. Förutom fosfatfrigörelse från detta gamla organiska material vid vattenståndsförhöjning utgjorde fjolårets växtlighet i strandzonen en ytterligare möjlig näringskälla innan regleringen.

Projektet föreslår att näringsutarmning bör mätas i termer av mängd fosfor lagrad i biota snarare än totalfosforkoncentrationen i vattenmassan som är det klassiska sättet att mäta näringsstatus i akvatiska system (Rydin et al., ms). Används denna definition är Mjölkvattnets näringsutarmning påtaglig; endast hälften av den potentiellt biotillgängliga fosfor finns kvar i vattenmassan.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

**Kan kompensatorisk näringstillsats (fosfor och kväve) bygga upp biologisk produktion i den fria vattenmassan som ersätter den förlorade produktionen i strandzonen?**

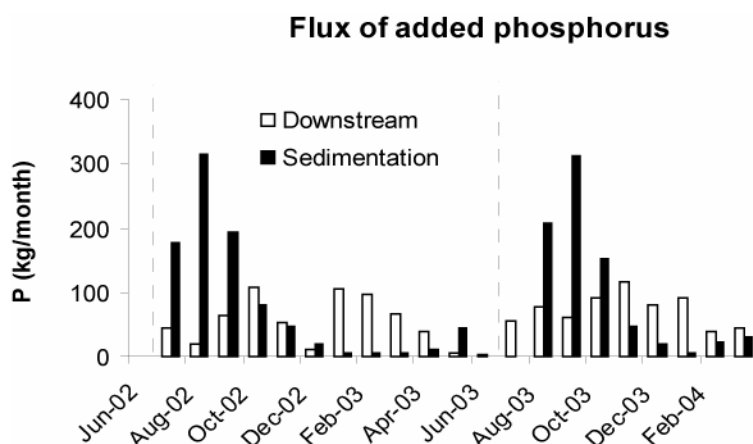
Målet med den kompensatoriska näringstillsatsen är att stimulera den pelagiska primärproduktionen och uppnå effektivast möjliga överföring av energin till fisk. Detta kan uppnås genom att näringen tillsätts vid en tidpunkt då den väl kan tas till vara av plankton, samt att dosen och proportionerna mellan olika näringsämnen är sådan att ätliga växtplankton som inte sedimenterar gynnas och att näringen därmed transporteras effektivt i näringsväven.

Baserat på resultaten från förundersökningar och ett mesokosmexperiment i Mjölkvattnet 2001 tillsattes fosfor (i genomsnitt cirka 1 ton P i form av  $H_3PO_4$  i vattenlösning) och kväve (mellan 7 och 9 ton N i form av  $Ca(NO_3)_2$  i vattenlösning) till Mjölkvattnet i månadsskiftet juni-juli 2002-2005. Nitrat tillsattes också för att inte riskera att stimulera tillväxten av växtplankton av låg kvalitet, fr.a. cyanobakterier. Mesokosmexperimentet visade att fosfor var det primärt begränsande ämnet, emellertid blev växtplankton redan vid måttliga fosfordoser begränsade av något annat näringsämne. Tidigare har t ex visats att betydelsen av järn blir större i kraftigt oligotrofa system med låga halter av löst organiskt material.

För att kunna avgöra om förändringar i Mjölkvattnet är en effekt av näringstillsats eller mellanårsvariation har vi fortsatt att studera Burvattnet som omanipulerat referenssystem.

**Vart tar den näring som tillsätts vägen? I vilken utsträckning sker fastlåsning i sedimenten och hur mycket förloras nedströms?**

Under det hydrologiska året 2001/2002 (ingen näringstillsats) beräknades fosforretentionen till 15%. Fosforretentionen ökade till 40% under åren med näringstillsats. Av den tillsatta fosfor sedimenterade mer än 50% i form av växtplankton. Mellan 30 och 50% av den tillsatta fosfor förlorades nedströms (Fig. 1). Som jämförelse kan nämnas att detta är mindre än 25% av det totala naturliga utflödet av fosfor ur Mjölkvattnet. En mindre andel av det tillsatta kvävet sedimenterade, medan cirka en tredjedel avgick till luften genom denitrifikation (Rydin et al. ms).



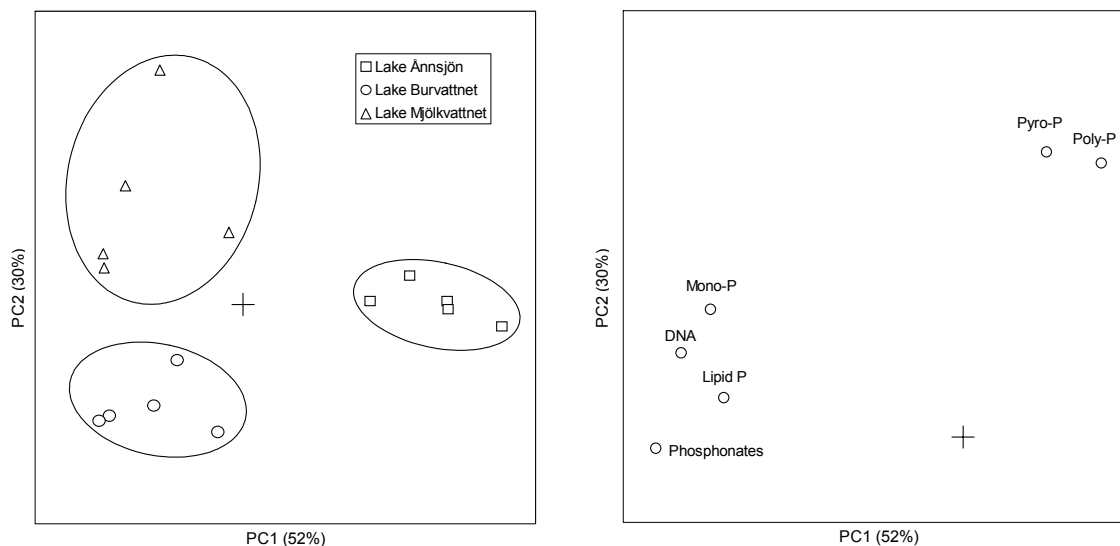
Figur 1. Sedimentation samt nedströmstransport av fosfor tillsatt till Mjölkvattnet över två år.

**Vad händer med näringen efter sedimentation?**

Då det är en central fråga i vilken utsträckning näringen i ytsedimenten kommer att komma systemet till godo igen, analyserades ytsedimentprover från Mjölkvattnet och Burvattnet med

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

$^{31}\text{P}$ -NMR (nuclear magnetic resonance). Genom jämförelser med hur organisk fosfor är bunden i en oligotrof oreglerad sjö (Ånnsjön i Indalsälven) dras slutsatsen att åren av näringstillsats har återfört sammansättningen av organiska fosforformer i ytsedimenten till naturliga nivåer (Fig. 2; Ahlgren et al., ms).



**Figur 2.** Figuren (principal component analysis) visar att markörerna för ett biologiskt produktivt system (Pyro-P och Poly-P) i ytsedimenten saknas i Burvattnet och att de håller samma halter i Mjölkvattnet (efter tre års näringstillsats) som i den oreglerade Ånnsjön.

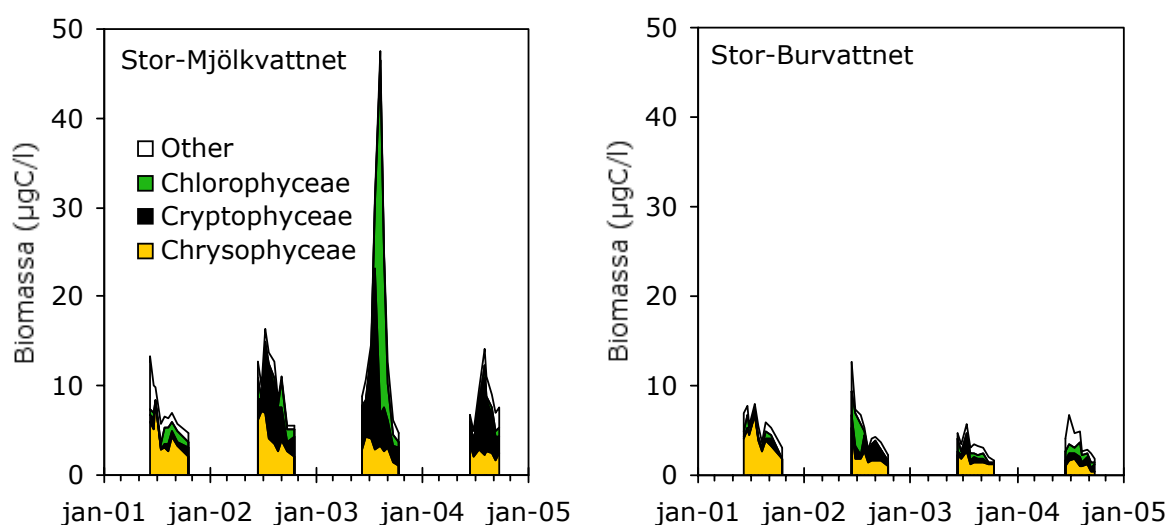
### Hur snabbt svarar planktonkonstituenterna på den ökade näringsgivan och hur är successionsordningen?

Mätning av produktion och biomassa på olika trofiska nivåer ger information om näringsvävens struktur före och efter näringstillsats. De kraftiga responser i plankton som observerades 2002 förväntades upprepas vid återkommande näringstillsatser. Däremot föreföll de oklart hur artsammansättning och näringsvävsstruktur eventuellt skulle förändras. Sådana förändringar har betydande effekter på hur effektivt energin transporteras i näringsväven från primärproducenter till fisk.

*Projektets hypotes var att näringstillsatsen stimulerar organismer av hög födokvalitet som via en kort näringsväv stimulerar fiskproduktionen.* För att testa den hypotesen gjordes mätningar av biomassa och produktion av planktonisk biota (bakterier, växtplankton, djurplankton) samt fortsatta studier av sambanden mellan födokvalitet (C:N:P-stökiometri och biokemisk sammansättning i växtplankton) och djurplanktonproduktion. Resultaten från dessa studier beräknas vara helt klara först under 2006.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

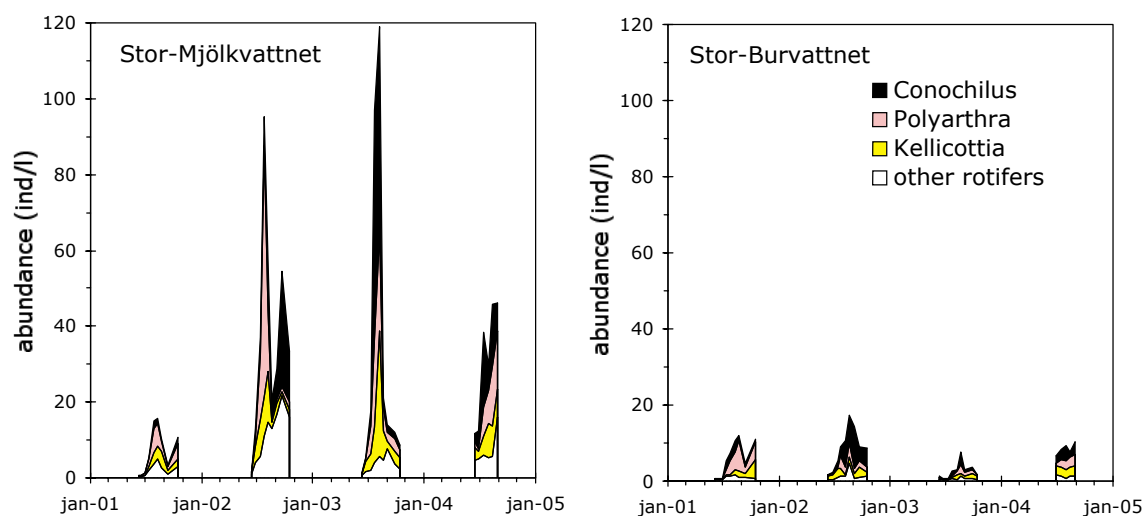
Tidigare funna tydliga stimulering av samtliga trofiska nivåer bekräftats av projektet. Såväl abundans som biomassa av växtplankton (Figur 3) ökade i Stora Mjölkvattnet efter näringstilläts. Framför allt gynnades flagellater (Cryptophyceae) – en högvärdig näringskälla för djurplankton. Uppgången var snabb och kraftig, vilket en jämförelse med utvecklingen i Burvattnet visar. Under sommarsens lopp 2003 ökade först flagellaterna mycket stort för att sedan också kompletteras med en kraftig topp av grönalger (Chlorophyceae) under eftersommarsens. Dessa anses inte vara lika högvärdig föda för djurplankton som flagellaterna, och de indikerar att betningstrycket på växtplankton är tämligen kraftigt. Den procentuella ökningen av grönalger sensommars 2003 gav upphov till beslutet att halvera näringsgivorna under 2004. Detta fick avsedd effekt så till vida att flagellaterna återigen var det totalt dominerande algslaget under 2004.



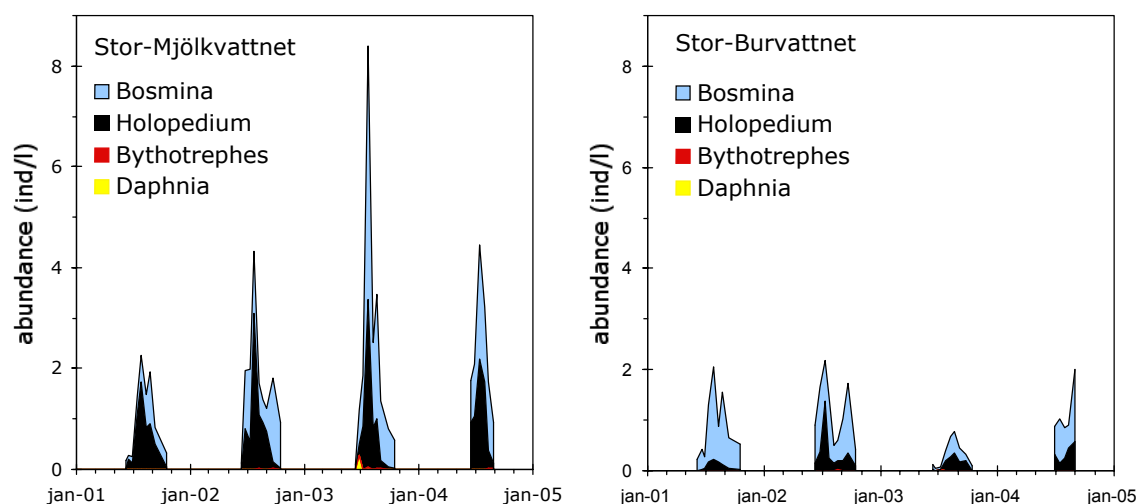
Figur 3. Växtplanktonbiomassa i Stora Mjölkvattnet och Burvattnet 2001–2004.

Bland djurplankton fyrdubblades abundansen av rotatorier i Mjölkvattnet under 2002 och 2003 som en följd av näringstilläts (Fig. 4). Rotatorierna svarade oerhört snabbt på uppgången av flagellater. Abundanserna var ungefär halverade 2004 - också i det fallet som en direkt följd av den reducerade näringstillätsen det året. Rotatorier utgör en viktig föda för fisklarver samt för evertebratpredatorer såsom *Bythotrephes longimanus*, vilken senare är en viktig föda för större fiskar (se nedan). Abundanserna av hinnkräftorna *Holopedium gibberum* och *Bosmina coregoni* ökade kraftigt 2002 och 2003 (Fig. 5) som en effekt av näringstilläts, men framför allt ökade fekunditeten hos *H. gibberum* avsevärt. Trots lägre näringsgivor förblev abundanserna av cladocerer på en hög nivå 2004, vilket också återspeglas i fiskmagarnas innehåll. De pelagiska provena ger inte några säkra data över abundanserna av *B. longimanus*, som genom sin stora mobilitet och vertikala dygnsvandring är svårfångad, eller av den storvuxna semibentiska cladoceren *Eurycercus lamellatus* som kan säjas vara den art som normalt i första hand gynnas av den positiva dämningseffekten (Nilsson, 1963). *E. lamellatus* är som regel ett särskilt begärligt födoobjekt för fisk, vilket också bekräftas av utförda maganalyser (jämför nedan). Sammantaget indikerar planktonprovena en starkt ökad produktion av planktiska kräftdjur som till stor del konsumeras av röding men även av öring. Det är emellertid viktigt att komma ihåg att de ökande abundanser och biomassor vi avläser är nettovärden, när fiskarna tagit sin del.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



Figur 4. Rotatoricabundans i Stora Mjölkvattnet och Burvattnet 2001–2004.



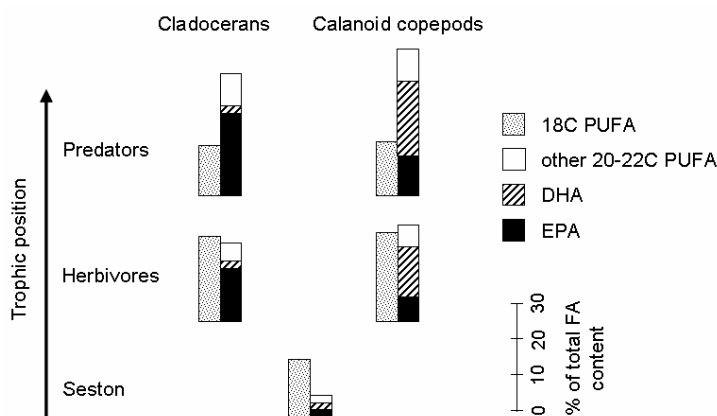
Figur 5. Cladocer-abundans i Stora Mjölkvattnet och Burvattnet 2001–2004.

För att få en oberoende uppskattning av i vilken mån näringstillräskningen ökar nettoproduktionen av organiskt material, och med vilken effektivitet näringstillräskningen resulterar i sådant material, har vi kvantifierat kol i biota, sediment och utflöde, samt den mängd atmosfärisk koldioxid som konsumeras via primärproduktionen. Dessa mätningar påbörjades före näringstillräskningen 2002, och de har fortsatt i både Mjölkvattnet och referenssystemet (Burvattnet). En preliminär analys av resultaten visar att koldioxidhalten i vattnet sjönk kraftigt, vilket indikerar att primärproduktionen ökade kraftigt i Stora Mjölkvattnet efter näringstillräskningen och att sjön därigenom blev nettoautotrof.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

### I vad mån förändras födokvaliteten hos växtplankton efter näringstillsats? Stimulerar näringstillsatsen organismer av hög födokvalitet som via en kort näringsväv i sin tur stimulerar fiskproduktionen?

Födokvaliteten var efter näringstillsats fortsatt mycket hög, eller till och med ökade, med avseende på sammansättning av grundämnen (C:N:P-stökiometri) och essentiella fettsyror, vilket är en god förutsättning för att stimulera djurplanktonproduktion och för att tillåta ett effektivt utnyttjande av växtplankton som födoresurs. I en regional studie (inkluderande Mjölkvattnet och Burvattnet) av fettsyrasammansättning i seston (partiklar i vattnet, huvudsakligen växtplankton) och växtätande och rovlevande djurplankton i 15 jämtländska sjöar har vi visat att födokvaliteten generellt är hög i näringsfattiga sjöar och att essentiella fettsyror anrikas i näringsväven (Fig. 6). Därtill har vi observerat att det föreligger stora skillnader i fettsyrasammansättning mellan olika grupper av djurplankton (Fig. 6). Därmed kan sammansättningen av djurplanktonssamhället potentiellt ha stor betydelse för fiskarnas tillgång på essentiella fettsyror.



Figur 6. Förekomst av essentiella fettsyror (Omega-3 och Omega-6) i planktonnäringsvävar i näringsfattiga sjöar. I växtplankton (seston) förekommer de essentiella fettsyrorerna (som endast kan nyproduceras av växter) mest i form av fettsyror med 18 kolatomer i varje molekyl. I växtätare (herbivores) och i än högre grad rovdjur (predators) anrikas de längre omega-3-fettsyrorerna EPA och DHA. Dessa fettsyror är viktiga för djurens reproduktion, tillväxt och fysiologiska funktion. Studien visar också att tillgången på essentiella fettsyror i dessa sjöar är god och den försämrar inte som en följd av näringstillsats. Detta betyder också att fisken har en högvärdig föda i termer av djurplankton rika på essentiella fettsyror. (från Persson & Vrede 2006).

### Bibehålls den kvalitativa sammansättningen av växtplankton på längre sikt?

Sammanfattningsvis har projektet visat att näringstillsatsen stimulerar produktionen av såväl växt- som djurplankton, att födokvaliteten är fortsatt hög, samt att det under tidsperioden inte har skett några betydande förändringar i planktonsamhällets sammansättning

### Hur förändras bottenfaunans kvantitativa och kvalitativa sammansättning efter näringstillsats? Stämmer det vi tidigare sett att bottenfaunan kraftfullt svarar men med några års försening?

Bottenfaunaprovtagningar utfördes i båda sjöarna i augusti 2001. Ett femtiotal bottenhugg med Ekmanhuggare slumpmässigt fördelade inom olika djupzoner i vardera sjön genomfördes. Dessa provtagningar upprepades i augusti 2005.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

*Projektets hypotes var att bottenfaunan, främst fjädermygglarver och oligochaeter, kommer att öka kraftigt som svar på ökad primärproduktion men först efter 2:a och 3:e årens näringstillsatser (jmf. Milbrink & Holmgren, 1999).*

Bottenproverna från 2001 visade mycket låga abundanser av exempelvis fjädermygglarver och oligochaeter på alla djup i båda sjöarna, vilket tyder på ultraoligotrofa förhållanden. Stickprovsanalyser av proverna från 2005 visar något förhöjda abundanser framför allt av fjädermygglarver i Mjölkvattnetproverna. Ökningen av kläckande puppor av fjädermyggor i vattenytan var dessutom mycket påtaglig i augusti 2005. Någon ökning av oligochaeter har ännu inte kunnat noteras. Hypotesen om bottenfaunans utveckling kan efter det tredje årets näringstillsats för närvarande vare sig bekräftas (en viss uppgång dock vad gäller fjädermygglarver) eller förkastas.

Bottenfaunamaterial insamlat 2001 resp. 2005 för stabila isotop-analyser i avsikt att belysa kvävetransporten i systemet före respektive efter näringstillsättning beräknas bli analyserat efter årsskiftet 2005/2006 tillsammans med övrigt biologiskt och sedimentologiskt material som frusits in för ändamålet.

**Leder ökad primärproduktion till att fiskpopulationerna restaureras, och är det möjligt att på så vis förbättra fiskens kondition så att den tål att jämföras med den som rådde före regleringen?**

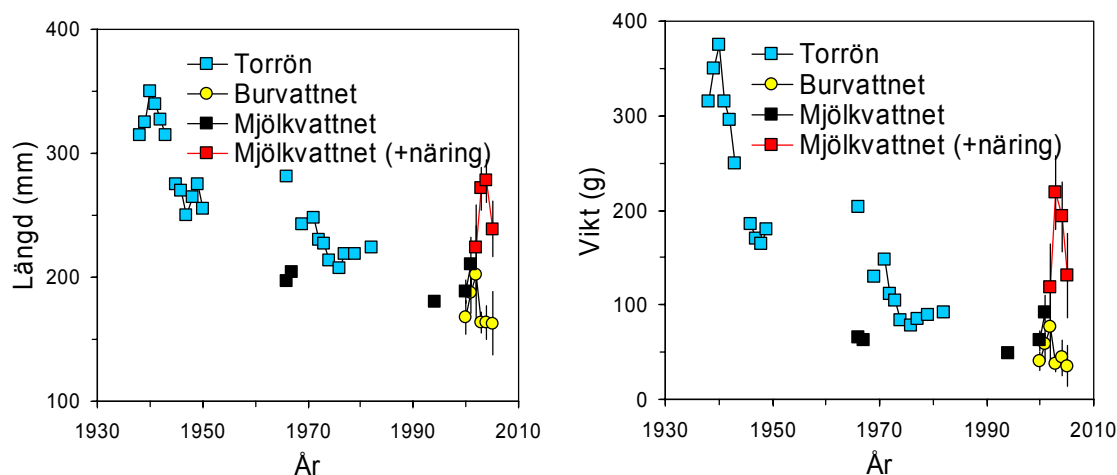
Analyser av fiskpopulationernas utveckling i Stora Mjölkvattnet och Burvattnet grundar sig på standardiserade höstprovfisken 15-25 augusti varje år utförda enligt de riktlinjer som lämnats från Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium i Drottningholm, d.v.s. med bottensatta nät av typ "Norden" utslumpade inom de olika djupzonerna (Appelberg, 2000; CEN, 2005).

Fisksammansättningen i båda sjöarna domineras kraftigt av röding, d.v.s. till c:a 2/3. Öringen utgör nära 1/3 och därutöver förekommer fåtalig lake.

Baserade på tidigare gödningsprojekt, bl.a. i nedströms liggande Övre Lilla Mjölkvattnet 1990-94, med samma fisksamansättning (Milbrink & Holmgren, 1999), ställde projektet upp följande hypoteser rörande fiskens utveckling i Stora Mjölkvattnet: 1. *Rödningens tillväxt och fekunditet skulle ytterligare komma att öka från 2002 och framåt, likaså öringens, men med viss eftersläpning.* 2. *Näringsanrikningen skulle få selektiva effekter på rödingen på så sätt att vissa individer och stammar har större potential att svara på resursökningen än andra.*

Genom att jämföra konditionsutvecklingen hos röding i tre närliggande medelstora (c:a 1.500 – 10.000 ha) regleringsmagasin i Indalsälven (Stora Mjölkvattnet, Burvattnet resp. Torrön) som alla reglerades ungefär samtidigt, 1938–1942, kan den generella utvecklingen i fisktillväxt fram till idag visas (Fig. 7). När en sjö regleras för vattenkraftsändmål uppstår först den s.k. positiva dämningseffekten på fisken, och den effekten kan kvarstå under maximalt några år (Nilsson, 1963). Sedan följer en enda lång nedgångsfas i fiskens kondition och tillväxt, vars slutpunkt det rått delade meningar om. Fortsätter nedgångsfasen utan egentligt slut, eller kan det ske en återhämtning med tiden? Enligt våra resultat fortsätter nedgången.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

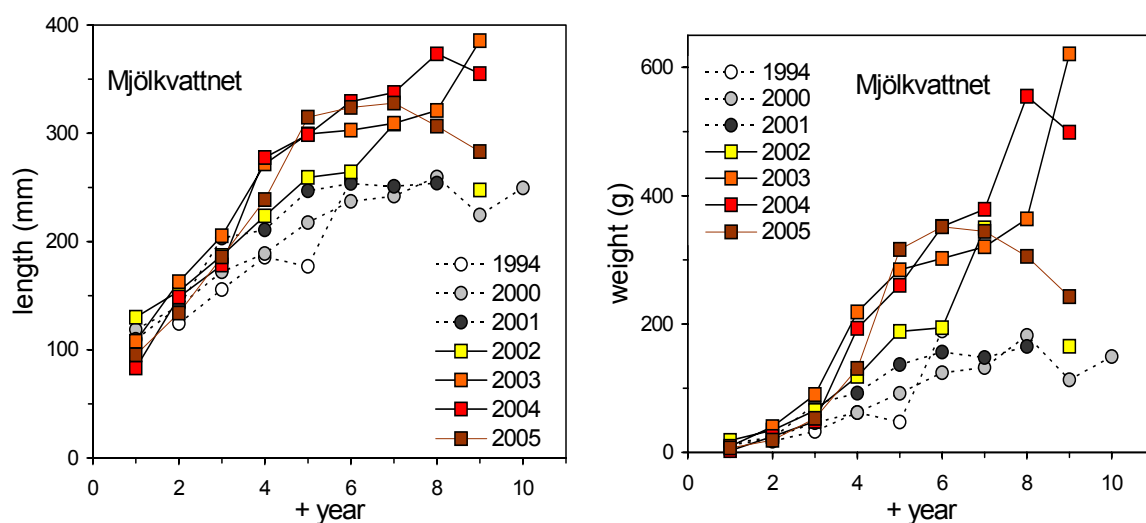


Figur 7. Längd- och vikt (medelvärden) för 4+ röding i de tre närliggande regleringsmagasinen Torrön, Stora Mjölkvattnet och Burvattnet från tiden före reglering (1938, 1942 resp 1942) t.o.m. 2005. Näring tillsattes i Stora Mjölkvattnet under åren 2002–2005.

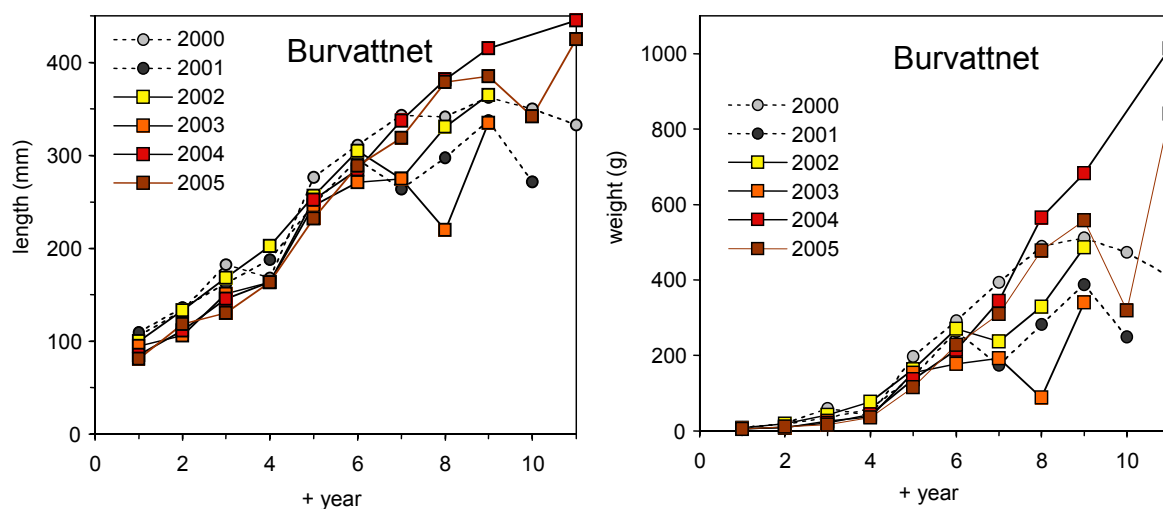
Projektet dokumenterar över c:a 65 år av vad som egentligen sker med fisken efter reglering. Figur 7 visar utvecklingen av femåriga (4+) rödingar i de tre sjöarna med avseende på såväl längd som vikt. Fyråriga (3+) rödingar uppvisar ett mycket likartat mönster. Det är ställt utom allt tvivel att vattenreglering av sjöar leder till näringsutarmning, vilket avspeglar sig i rödingens konditionsutveckling under denna tidsperiod.

Efter fyra år av näringstillsättning i Stora Mjölkvattnet (2002-2005) visar projektet att rödingens medelvikt och medellängd (Fig. 7) starkt förbättrats och närmast sig rödingens tillstånd före regleringen. Övergången till det naturliga tillståndet kan enbart förklaras med tillsättningen av ny näring i kompensatoriskt syfte. Rödingens utveckling har skett helt parallellt i de tre sjöarna. Fiskens kondition i samtliga tre sjöar före reglering var mycket god (Dr Thorolf Lindström och Dr Nils-Arvid Nilsson, Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm, muntl.inf.). Det är viktigt att påpeka att fiskar fångade från 1966 och framåt alla har tagits vid höstprovfisken med provfiskenät av Nordentyp (Appelberg, 2000), och åldersbestämningarna grundar sig på otolithläsningar. Före 1966 har däremot höstprovfiskena gjorts med bomullsnät och ålderläsningarna grundar sig på fjällläsningar. Nätselektiviteten jämfört med dagens nylonnät skiljer sig otvetydigt men bör inte på ett avgörande sätt påverka längd- resp. viktmedelvärdena för de olika åldersklasserna. Vi har tillsammans med Sötvattenslaboratoriet i Drottningholm (Dr. Johan Hammar) gjort bedömningen att läsnings av rödingfjällen har varit tillförlitliga, åtminstone upp till ålder 4+. Däröver avtar fjällens läsbarhet.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



Figur 8. Längd- och viktmedelvärden för röding av olika åldrar från Stora Mjölkvattnet. Näring tillsattes åren 2002–2005. I de äldre åldersklasserna (8+ och äldre) baserar sig medelvärdet endast på ett fåtal fiskar.



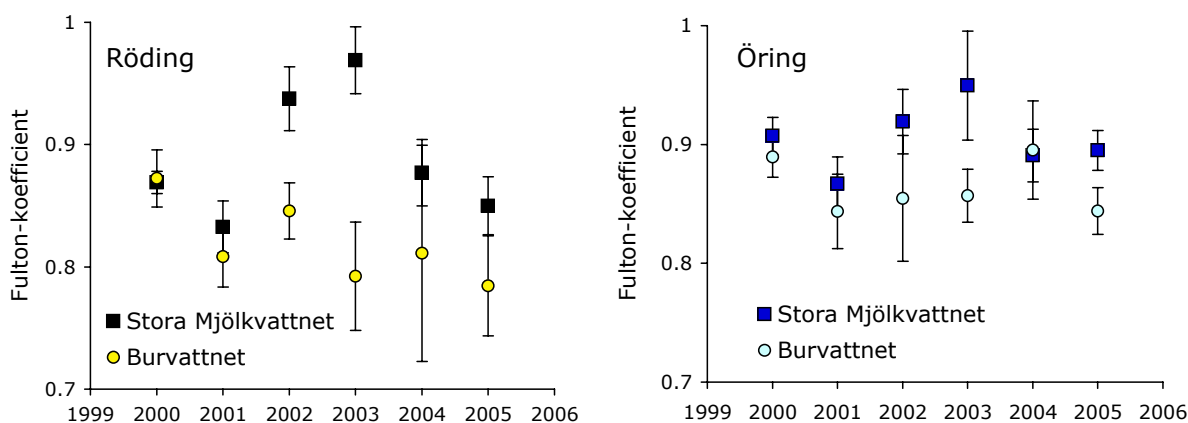
Figur 9. Längd- och viktmedelvärden för röding av olika åldrar från referenssjön Burvattnet. I de äldre åldersklasserna (8+ och äldre) baserar sig medelvärdet endast på ett fåtal fiskar.

Figur 8 visar rödingens medellängd resp. medelvikt i successiva åldersklasser i höstprovfiskena utförda 1994 och 2000-2004. Från och med åldern 4+ (nära fem år) ser man en kraftig tillväxtökning hos fiskar fångade 2003-2005. Vid jämförelse mellan 2001 (före näringstillsättning) och 2003 är den genomsnittliga längdökningen c:a 45% och motsvarande viktökning c:a 100%. Figur 9 visar motsvarande resultat för rödingen i Burvattnet. Det föreligger här inga statistiskt säkerställda skillnader i tillväxt mellan åren vare sig det varit varma eller kalla somrar. Temperaturfaktorns inverkan tycks vara begränsad jämfört med den tydliga effekten av näringstillsats.

Figur 10 visar konditionen hos samtliga rödingar som fångats i höstprovfiskena 1994 - 2005. Hos röding i Stora Mjölkvattnet har konditionen (enl. Fulton; Ricker, 1975) ökat från i

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

medeltal 0,85 år 2001 till 0,98 år 2003 men fallit tillbaka till 0,88 år 2004, med stor säkerhet beroende på att näringsgivan det året halverades (jmf. också Fig. 11). I Burvattnet har medelkonditionen förblivit oförändrad eller t.o.m. sjunkit något under samma tidsperiod. Samtidigt med konditionsökningen i Stora Mjölkvattnet har utvecklingen också gått mot allt större medellängd.



Figur 10. Kondition (Fulton-koefficient) för röding och öring från Mjölkvattnet och Burvattnet. Näring tillsattes i Mjölkvattnet under åren 2002–2005. Felstaplar visar 95% konfidensintervall för medelvärdet.

### Förändras graden av piscivori i röding- och öringspopulationerna efter en längre tids näringstillsättning något som skulle kunna påverka fiskpopulationernas strukturella sammansättning (top-down-effekter).

Ett generellt mönster är att efter näringstillsättning syns samma stora tillväxtökning även hos äldre åldersklasser, t.o.m. en accelererad tillväxt hos äldre fiskar, vilket skulle kunna förklaras med piscivora inslag (Fig. 8). Före tillsättningen skedde i princip ingen ytterligare tillväxt hos röding äldre än 5+ till 6+. Resultatets tillförlitlighet minskar dock för de äldsta åldersklasserna p.g.a. färre fiskar fångade.

Analyser av maginnehåll hos röding från båda sjöarna 2002–2004 visar att magarna från Stora Mjölkvattnet var helt fyllda av främst *B. longimanus* men också *H. gibberum* och *Eurycercus lamellatus* (se ovan). Samma sak gäller till stor del öringen men med den skillnaden att större öring i betydande grad varit piscivor (i båda sjöarna). Maginnehållet har varit mera varierat i Burvattnet med dels mindre cladocerer såsom *Bosmina* spp. och med en relativt hög andel ytfauna, främst av inflygande insekter. Magfyllnadsgraden var också betydligt lägre hos rödingarna från Burvattnet. Öringen i Burvattnet har ett betydande inslag av piscivori. Det är en gammal sanning att piscivori hos röding kan få tillväxten att accelerera kraftigt. Vi har ännu inte efter att en stor mängd maganalyser utförts fram t.o.m. 2004 fått säkra belegg för att rödingarna i Stora Mjölkvattnet, med undantag för ett mindre antal stora fiskar, blivit mera piscivora.

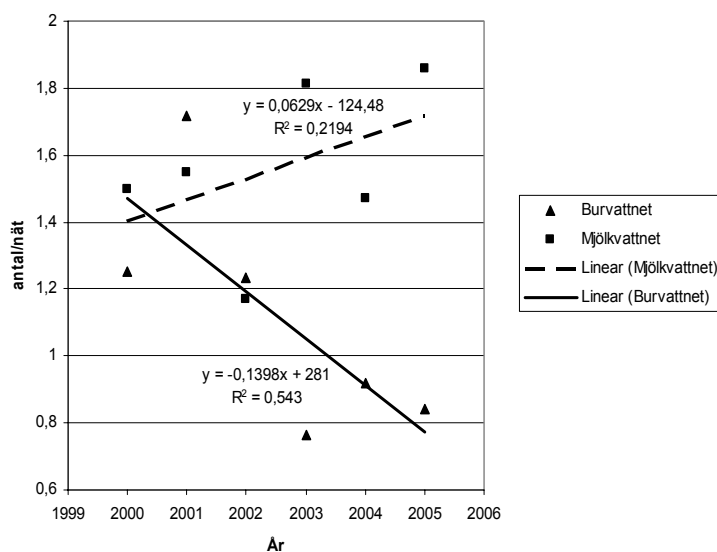
## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

### I vad mån stämmer det att rödingen som planktonspecialist i första hand gynnas av näringstillsättning? I vad mån gynnas också öringen av näringstillsättningen och i vilket tidsperspektiv?

Vi ser liknande generell tillväxtökning i längd och vikt hos öringen i Stora Mjölkvattnet, men utvecklingen går långsammare (Fig. 10). Medelkonditionen var för öringen 2003 uppe i 0,95 medan den i Burvattnet, som i utgångsläget för båda sjöarna, låg kvar på 0,85.

Den relativa konditionsnedgången från 2004 till 2005 i båda vattnen för såväl röding som öring speglar med största säkerhet det faktum att sommaren 2005 var c:a tre veckor försenad, och respektive tillväxttoppar inföll först i början av september, vilket då upprepade provfisken tydligt visade. En konditionsfaktor omkring 0,8 eller strax däröver innebär erfarenhetsmässigt att fisken är i dålig kondition medan motsvarande omkring 1,0 eller högre räknas som välmående. I de pelagiska höstprovfisken som utfördes 2001 och 2005 har rödingens medelkondition ökat från 0,91 till resp. 1.04 och medelviktarna från c:a 125 g till resp. 300 g.

I samband med det pelagiska fisket i Stora Mjölkvattnet 2001 utfördes simultan ekointegrering



av fiskbeståndet i samarbete med professor Sture Hansson, Systemekologiska Institutionen, Stockholms Universitet. Fisktätheten visade sig av resultaten att döma vara utomordentligt låg – c:a 5 fiskar/ha (åldersklasser 2+ och uppåt; de yngre åldersklasserna är svårare att identifiera med ekolod). En uppskattning vi gjort 2005 baserad på nätfångsterna i det årets provfiske gav c:a 15 fiskar/ha, vilket också är mycket låg täthet. En kompletterande ekointegrering planerades också samtidigt med det pelagiska fisket 2005 men beräknas komma till stånd först under 2006.

**Figur 11. Antal fångade fiskar per nät i höstprovfiskena i Mjölkvattnet och Burvattnet 2000–2005.**

Nätfångsterna av fisk (CPUE), vilka rimligtvis speglar beståndstätheten i resp. vatten, har sedan 2001 ökat i Stora Mjölkvattnet medan de minskat i Burvattnet (Fig. 11).

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"****Svarar alla rödingar på samma positiva sätt på riklig tillgång på pelagiskt zooplankton?**

För att få ett begrepp om den genetiska bredden och hur lokalbunden rödingen är i Stora Mjölkvatnet, d.v.s. vilka rödingar som har svarat på det pelagiska näringsöverskottet (zooplankton), har vävnadsprover tagits från ca 250 rödingar för populationsgenetiska (mikrosatelliter) analyser (Fraser & Bernatchez, 2005). Är det en begränsad del av rödingbeståndet som svarat eller gäller det i princip alla rödingarna? Förberedelserna för dessa analyser startade i december 2005. I materialet ingår också prover av rödingar fångade i det pelagiska höstprovfisket 2005. Vi har än så länge inga svar på den frågan.

**Hur är den ekonomiska lönsamheten vid åtgärder av detta slag?**

Metoden skulle mycket väl kunna visa sig vara samhällsekonomiskt effektiv, särskilt i beaktande av det ökade sportfiskevärdet.

Om rödingbeståndet ökat i storlek 50 gånger efter 10 år, och fiskuttaget är på 10% (cirka 10 ton röding per år) blir kostnaden för näringstillsatsen omkring 25 kr per kg röding som fiskas upp.

Ett starkt rödingbestånd torde också utgöra en bra bas för ett bestånd av storvuxen, fiskätande öring. Den så kallade multiplikatoreffekten, det vill säga vad sportfiskare totalt är beredda att betala för fisken och fiskeupplevelsen, pekar också på utmärkt lönsamhet. Man har räknat fram att fiskens rätta värde är 10-15 gånger det kommersiella kilopriset (se exempelvis Alatalo, 2001).

I det perspektivet kan en landad kilosröding vara värd mellan 1.500 och 2.000 kr. Man behöver därmed inte fånga många fiskar av utmärkt kvalitet för att insatta åtgärder ska löna sig.

För metodutvecklingen har vi använt oss av dyra näringstillsatser av exceptionell renhet (exempelvis helt fria från kadmium). Vid fortsatt praktisk tillämpning bör alternativa och väsentligt billigare näringsformer användas. Likaså kan man göra avsevärda logistiska vinster genom att tillföra näringen i löst form till större inflöden.

Minskat behov av kompensationsutsättning medför en besparing. Likaså elimineras behoven av onaturliga s.k. put-and-take-vatten i fjällnära områden.

***Projektets mål och måluppfyllelse***

Projektets slutmål är att nå fram till en metod för kompensatorisk näringstillsats som på ett ekologiskt försvarbart sätt kan tillämpas i utvalda starkt regleringsskadade sjöar i norra Skandinavien. Vi har nått långt men inte riktigt ända fram med denna målsättning. Vi har tekniken, manualerna för dimensioneringen av näringstillsatserna och periodiciteten för optimala tillsatser. Tillsatsmetoden stimulerar på ett effektivt sätt produktionen i planktonnäringsväven och vi har lyckats återställa fisktillväxten till en naturlig nivå utan negativa effekter på vattenkvalitet eller biodiversitet i planktonsamhället. Dock är mellanårsvariationen i klimatologiska förutsättningar så stora att det föreligger ett behov av erfarenheter från ytterligare några säsongers kontinuerlig näringstillsättning innan vi säkert kan fastslå att sådana negativa effekter kan undvikas helt. Vi har också påpekat behovet av att kunna följa långtidseffekterna på fiskpopulationerna över en period som tillåter att bestånden hinner stabilisera sig i ett nytt jämviktsläge, och detta är ännu inte nått såvitt vi kan bedöma.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

Vi har översiktligt kunnat räkna på ekonomin i företag av det här slaget och också registrerat acceptansen hos allmänheten för dylika åtgärder, som vi f.ö. har upplevt vara mycket stor. För att forskningsmässigt kunna arbeta med gödningsmedel med största möjliga renhet har kostnaderna för sådana varit relativt stor. I en tillämpad situation kan man tänka sig att använda kommersiella gödningsmedel i jordbruket såsom ammoniumnitrat och superfosfat. Då sjunker kostnaderna med betydligt mer än hälften, vilka med råge torde uppvägas av värdet av laxartad fisk i mycket god kvalitet, av sportfiskevärdet med multiplikatoreffekterna inkluderade samt av turistvärdet. Motsvarande positiva erfarenheter har gjorts främst i British Columbia i Kanada, där man i stället för röding och öring arbetat med den ekologiska ekvivalenten till röding nämligen sockeye salmon, med regnbågslax och Dolly Varden-röding. Avgörande förutsättningar för att kunna tillämpa metoden i fler sjöar är dock att:

1. Metoden appliceras på kraftigt reglerade vatten som är oligotrofierade. Således kan metoden inte tillämpas generellt enbart i syfte att höja fiskproduktionen i godtyckligt utvalda sjöar.
2. Näringstillsatsens sammansättning och storlek samt tidpunkt är utvald så att biodiversiteten i planktonnäringssvåven eller vattenkvalitet inte påverkas negativt och att fiskproduktionen stimuleras så att den når en nivå som motsvarar den som råder i oregrerade system.
3. Den ökade näringsbelastningen nedströms inte påverkar nedströms liggande system negativt.

Vi är medvetna om att den sista punkten kan vara kontroversiell bland många inom natur- och miljövårdande organisationer och myndigheter eftersom oligotrofieringsproblematiken är så okänd i förhållande till den vitt spridda kunskapen om eutrofiering. Det är därför viktigt att göra oligotrofieringsproblematiken mera känd och att klargöra att oligotrofiering och eutrofiering sker parallellt, men i olika typer av system. Vår bedömning är att höjningen av näringshalter och planktonbiomassor är så liten i de system som behandlas att de fortfarande är oligotrofa eller till och med ultraoligotrofa efter näringstillsatsen och att vattenkvaliteten därmed inte försämras. Vi har vidare mycket svårt att tänka oss att effekterna nedströms skulle vara kraftigare än i de behandlade systemen, och att sådana effekter därmed skulle vara av avgörande negativ art. Detta beror på att i) en stor andel av näringen stannar kvar i systemet, ii) näringstillsatsen sker högt upp i avrinningsområdet och en stor del av den tillsatta näring som rinner nedströms fångas i närmast nedströms liggande sjöar och regleringsmagasin innan den når mera låglänt liggande sjöar med större befintlig näringsbelastning och som därmed kan ligga i riskzonen för eutrofiering. Dessa sjöar har därtill en betydligt högre vattenföring än regleringsmagasinen i älvarnas övre delar, vilket innebär en utspädning av tillsatt näring. Näringsbelastningen på potentiellt eutrofieringskänsliga system är därmed försumbar enligt vår mening.

Delmålen har varit i) att öka förståelsen för mekanismerna bakom oligotrofieringen, ii) att kvantifiera hur näring omsätts i systemet och hur mycket av den tillsatta näringen som förloras ur systemet, iii) att studera kvalitativa och kvantitativa effekter av näringstillsats på planktonnäringssvåvens struktur och funktion, iv) att kvantifiera effekterna av näringstillsats på bestånden av röding och öring, samt v) att visa att rödingens successiva nedgång i kondition och tillväxt alltsedan regleringen beror på näringsbrist och ingenting annat, och att kompensatorisk näringstillsats kan återställa fiskbeståndens tillväxt. Har projektet levt upp till sina målsättningar? Även om inte alla pusselbitar är klara därför att vissa analyser återstår

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

(framför allt av material som insamlats under 2005) är vi beredda att i huvudsak svara ja på den frågan.

Vi har i) ökat förståelsen bakom oligotrofieringen genom att identifiera möjliga mekanismer, även om vi inte fullt ut lyckats visa vilka processer som är kvantitativt viktiga, ii) kvantifierat var tillsatt näring tar vägen, iii) kvalitativa och kvantitativa mått på effekterna av näringstillsats på planktonnäringsvävens struktur och funktion, iv) kvantifierat effekterna av näringstillsatser på fiskpopulationerna, v) visat att fiskens gradvisa konditionsförsämring till en absolut bottennivå i regleringsmagasin i fjällkedjan beror på näringsbrist och inget annat.

***Projektets resultat i förhållande till programmets övergripande mål och syfte***

De långsiktiga och övergripande förutsättningarna för programmet är dels att de ingående projekten ska vara åtgärdsinriktade och ge underlag för åtgärder som kan bli aktuella vid implementeringen av de nationella miljö kvalitetsmålen och EU:s ramdirektiv för vatten, dels att vattenkraft ska kunna bedrivas effektivt efter anpassning till samma miljö kvalitetsmål och ramdirektiv.

Forskargruppens klara uppfattning är att balanserad näringsanrikning som kompenserar de näringsförluster som ett starkt regleringsskadat vatten successivt genomgår, är väl förenlig med ovan nämnda långsiktiga och övergripande förutsättningar. Försiktig och kontrollerad näringstillsättning under vederbörande myndigheters överinseende, samt relevanta kontrollprogram i samband med kompensatorisk näringstillsats säkerställer att den generella miljö kvaliteten inte förändras. EU:s ramdirektiv talar om att kunna nyttiggöra en resurs i kraftigt modifierade system, vilket det i högsta grad är fråga om här. Förvandling från ett i biologisk mening i det närmaste impediment till ett produktivt naturvattenliknande tillstånd med naturliga populationer av laxfisk i utmärkt kondition måste i allmänhetens, likväl som i naturvårdande myndigheters ögon te sig mycket positivt. Motsvarande tillämpningar i British Columbia i Kanada och även på andra håll i Nordamerika är praktiska exempel på en enastående samsyn mellan miljövårdande, fiskevårdande, skogsvårdande och vattenkraftsföreträdande myndigheter. En liknande samsyn vore önskvärd också i Sverige.

Kompensatorisk näringstillsats påverkar heller inte på något sätt ett effektivt utnyttjande av vattenkraften, vilket torde vara av stor betydelse i ekonomiskt hänseende. Man kan fullt ut utvinna energi samtidigt som man kan erbjuda ett utmärkt fiske. Detta står i överensstämmelse med den andra punkten ovan i programmets långsiktiga och övergripande förutsättning, d.v.s. att "vattenkraft skall kunna bedrivas effektivt".

Det är naturligtvis viktigt att de resultat som framkommit ur projektet kan ge generaliserbar information om hur ett vatten kan restaureras så att naturliga arter skall kunna leva i hållbara bestånd. För forskningsprogrammet anges som prioriterat område att "det gäller att förbättra de rådande förhållandena i vattenförekomsten så att de närmar sig naturliga förhållanden så långt det är möjligt utan att ändringen/regleringen av vattendraget förlorar sitt syfte". En annan målsättning med en habitatförstärkande åtgärd ska vara att säkerställa och om möjligt även förbättra befintlig ekologisk potential i reglerade vatten. Det är just detta metoden balanserad näringsanrikning handlar om.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

En omständighet som är värd att poängtera är att tillämpning av balanserad näringstillsats på intet sätt kolliderar med andra åtgärder som kan företas i habitatförstärkande riktning för att exempelvis förbättra reproduktions- och tillväxtpotentialer i reglerade vatten, t.ex. tillskapande av lekbottnar.

***Nationellt och internationellt samarbete****Nationellt samarbete*

Balanserad näringsanrikning som metod har i Sverige utvecklats sedan 1970-talet vid dåvarande Fiskeristyrelsens Sötvattenslaboratorium i Drottningholm under professor Gunnar Svärdsons ledning. Fortfarande sker ett intimt samarbete, särskilt beträffande provfiskemetodik och åldersläsningar, mellan projektet och Sötvattenslaboratoriet (Johan Hammar, Olof Filipsson, Gunnar Svärdson fram till dennes död 2004).

Projektet har alltsedan dess start 2000 haft ett mycket fint samarbete, särskilt på det logistiska planet och i ekonomiskt hänseende, med Regleringsföretagen AB och med Jämtkraft AB och dess forskningsstiftelse. Många problem som uppstått under arbetets gång har löst sig tack vare detta samarbete som fungerat utmärkt på alla plan.

E. Rydin har inlett ett samarbete med avdelningen för Analytisk Kemi (Joakim Ahlgren), UU, för analyser av organiska fosforformer, samt med Umeå Universitet (Peter Rosén) för att utveckla analyserna av det organiska materialets sammansättning i sedimentprofiler.

I samarbete med Gunnel Ahlgren, Avdelningen för limnologi, Uppsala universitet, har T. Vrede inlett ett samarbete rörande essentiella fettsyror i planktonnäringssvavar och hur förhållandet mellan olika fettsyror påverkar sekundärproduktionen i planktonnäringssvaven.

*Internationellt samarbete*

Utvecklingen av metoden balanserad näringsanrikning, som grundar sig på erfarenheter från sent 60-tal i British Columbia i Kanada (Hyatt & Stockner, 1984), kom att ske parallellt i Sverige (Milbrink & Holmgren, 1981) och i Norge (Reinertsen & Langeland, 1982). Ömsesidigt informationsutbyte inom ämnesområdet har fortlöpande ägt rum mellan de sistnämnda och vårt projekt samt med NIVA (Geir Dahl Hansen).

Intensivt samarbete inom ämnesområdet har skett med motsvarande projekt i Nordamerika, främst i British Columbia, Kanada. Största samarbetet under det senaste decenniet har skett med University of British Columbia (UBC), Vancouver och forskargrupper kring prof. John Stockner (tidigare på Fisheries Canada, och dessutom visiting professor i limnologi vid Uppsala Universitet 1998), Dr. Ken Ashley (Fisheries Canada och UBC) och prof. T.G. Northcote (U.B.C.). I samband med "The International Conference: Restoring nutrients to Salmon Ecosystems" i Eugene, Oregon, 2001 fick vi (d.v.s. Göran Milbrink och Staffan Holmgren) genom Fisheries Canada möjlighet att besöka ett flertal av de största (världens största) näringsanrikningsprojekten i British Columbia, däribland Kootenay Lake, Arrow Lakes Reservoir, Ravelstoke Reservoir, etc. (se Reserapport (2001) som bifogats föregående projektrapport). Metodiken vi tillämpat bygger främst på erfarenheter från British Columbia. Samarbete har också fortlöpande skett med prof. David Schindler, University of Alberta, Kanada (tidigare chef för Experimental Lakes-projektet i Ontario) och forskargruppen kring

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

prof. John Hobbie, Woods Hole Laboratories, Boston, med projektområde i Kuparuk River i norra Kanada.

Samarbete har också etablerats med prof. Michael T. Brett vid Univ. of Washington, Seattle, USA, rörande födokvalitet och djurplanktontillväxt. Jonas Persson är sedan mars 2005 (och t.o.m. mars 2006) gästforskare i Bretts forskargrupp, som också inkluderar samarbete med Mike Kainz på UBC, Canada.

T. Vrede har också fortsatt ett sedan tidigare etablerat samarbete med prof. Dag O Hessen, Biologisk institutt, Universitetet i Oslo, Norge. Vrede tillbringade 2 veckor i Juni 2004 som gästforskare hos prof. Hessen och påbörjade då en fördjupad analys av sambanden mellan halter av löst organiskt material, närsalthalter och växtplanktonsamhällets sammansättning.

### **Vetenskapliga resultat**

#### **Disputationer**

1. Jonas Persson skall disputerar i april 2007 på material som i huvudsak kommer från projektet.
2. Joakim Ahlgren disputerar den 21 april 2006 i analytisk kemi. Ett centralt arbete i den avhandlingen är Ahlgren et al 2005.

#### **Artiklar i (eller avsedda för) editorgranskade vetenskapliga tidskrifter**

3. Ahlgren G, & Vrede T. Ratios between omega-3 and omega-6 fatty acids in fish and zooplankton – is there an optimum? Manuscript in prep.
4. Ahlgren J, Reitzel K, Gogoll A, & Rydin E. *Biogenic phosphorus in oligotrophic mountain lake sediments: Does water level regulation affect its composition?* Submitted manuscript.
5. Milbrink, G., Rydin, E. & Vrede, T. *Devastating long-term effects on Arctic char populations in Scandinavia caused by large-scale hydro-power development.* Manuscript in prep.
6. Milbrink, G., Rydin, E., Vrede, T., Holmgren, S., Persson, J. Tranvik, L. & Jansson, M. *Restoration of Arctic char and brown trout populations in the impounded Lake Stora Mjölkvattnet, Sweden, by controlled nutrient enrichment.* Manuscript in prep.
7. Persson J, & Vrede T. *Fatty acid composition of herbivorous and carnivorous crustacean zooplankton in oligotrophic lakes.* Freshwater Biology, accepted.
8. Rydin E, Vrede T, Persson J, Holmgren S, Tranvik L, Jansson M, & Milbrink G. *Compensatory nutrient enrichment in an oligotrophic mountain reservoir in Scandinavia – Effects and fate of added nutrients.* Manuscript.
9. Vrede T, & Tranvik L. (2006) *Iron constraints on primary production in oligotrophic lakes.* Ecosystems, accepted.

#### **Konferensbidrag**

10. Ahlgren G & Vrede T. Ratios between omega-3 and omega-6 fatty acids in fish and zooplankton – are there differences between herbivores and carnivores? Oral presentation at American Society for Limnology and Oceanography (ASLO) conference, Savannah, USA, June 2004.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

11. Milbrink G. Compensatory nutrient enrichment in an oligotrophicated reservoir in northern Scandinavia – fate of added nutrients. Oral presentation at ASLO conference, Santiago de Compostela, Spain, June 2005.
12. Persson, J. & T. Vrede. Fatty acids in crustacean zooplankton. Oral presentation at ASLO conference, Savannah, USA, June 2004.
13. Persson, J., T. Vrede & P. Blomqvist. Fatty acid composition of seston in enriched mesocosms. Poster presentation at ASLO conference, Victoria, Canada, June 2002.
14. Vrede, T. & L. Tranvik. Planktonic primary production in lakes – are the limits set by iron? Oral presentation at inauguration symposium of the Department of Ecology and Evolution, Uppsala University, Sweden, March 2004.
15. Vrede, T., J. Persson, S. Sobek, P. Blomqvist, M. Jansson, & L. Tranvik. Response of plankton to nutrient enrichment. Oral presentation at ASLO conference, Victoria, Canada, June 2002.

**Övrigt**

*Projektarbetsrapporter i Akvatisk Ekologi för Civilingenjörer, Miljö- och vattenteknikprogrammet, åk 4.Handledare: Emil Rydin*

16. Eklund F, Eriksson G, Karlsson J, & Larsson K. (2003) Näringstillsats till regleringsmagasin. Hur mycket röding blir det?
17. Evertsson E & Åstrand S. (2004) Näringstillsats till regleringsmagasin. Hur fort växer rödingen?
18. Blied L, Karlsson M, & Weiss P. (2005) Näringstillsats till regleringsmagasin. Hur fort växer rödingen?

**Referenser**

Alatalo, M. 2001. Sportfisketurism I Västerbottens Läns inland och fjällområden. Gerum Kulturgeografi. Lic.avh. 2001:1, Umeå Universitet.

Appelberg, M. 2000. Swedish standard methods for sampling fish with multi-mesh gill-nets. Fiskeriverkets Informationssida 11:3-32.

CEN: Water Quality – sampling of fish with multi-mesh gill-nets. EN 1457:2005.

Fraser, D.J. & Bernatchez, 2005. Allopatric origins of sympatric brook charr populations: colonization history and admixture. *Mol. Ecol.* 14(5):1497-1509.

Hyatt, K.D. & Stockner, J.G. 1985. Response to sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) to fertilization in British Columbia lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 42:320-331.

Milbrink, G. & Holmgren, S. 1981. Addition of artificial fertilizers as a means of reducing negative effects of “oligotrophication” in Lakes after impoundment. *J. Freshw. Res. Drottningholm* 59: 97 – 120.

Milbrink, G. & Holmgren, S. 1999. Nutrient enrichment of a regulated lake in Sweden to restore salmonid fish populations and biodiversity. In: Stockner & Milbrink (Eds.)

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

Proc.Int.Workshop "Restoration of Fisheries by Enrichment of Aquatic Ecosystems", Uppsala March, 30. - April, 1., 1998, 117-135.

Nilsson, N.-A. 1963. Interactions between trout and char in Scandinavia. Trans. Am. Fish. Soc. 92(3): 276-285.

Ney, J.J. 1996. Oligotrophication and its discontents: effects of reduced nutrient loading on reservoir fisheries. American Fisheries Society Symposium 16: 285-295.

Reinertsen, A & Langeland, A. 1982. The effect of lake fertilization on the stability and material utilization of a limnetic ecosystem. Holarctic Ecology 5: 311-324.

Ricker, W.I 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 191. 382 pp.

Stockner, J., Rydin, E. & Hyenstrand, P. 2000. Cultural oligotrophication. Fisheries, American Fisheries Society 25(5):7-14.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"****2.4 Naturlik sättfisk*****Projektdeltagare***

*Projektledare:*  
Erik Petersson, Docent  
Fiskeriverket, Sötvattenslaboratoriet  
Stångholmsvägen 2  
178 93 Drottningholm  
08-699 06 02  
erik.petersson@fiskeriverket.se

*Doktorand:*  
Sofia Brockmark  
Göteborgs universitet  
Zoologisk Inst, avd., Zooekologi  
Box 463  
405 30 Göteborg  
031-773 36 60  
sofia.brockmark@zool.gu.se

*Projektdeltagare:*  
Jörgen Johnsson, Docent  
Göteborgs universitet  
Zoologisk Inst, avd., Zooekologi  
Box 463  
405 30 Göteborg  
031-773 36 65  
jorgen.johnsson@zool.gu.se

*Projektdeltagare:*  
Torgny Bohlin, Docent  
Göteborgs universitet  
Zoologisk Inst, avd., Zooekologi  
Box 463  
405 30 Göteborg  
031-773 36 35  
torgny.bohlin@zool.gu.se

*Projektdeltagare:*  
Torbjörn Järvi, Professor  
Fiskeriverket, Sötvattenslaboratoriet  
Stångholmsvägen 2  
178 93 Drottningholm  
08-699 06 02  
torbjorn.jarvi@fiskeriverket.se

*Projektdeltagare:*  
Jonas Dahl, Dr  
Fiskeriverket, Sötvattnekologiska  
laboratoriet  
Brobacken 2  
814 94 Drottningholm  
026-852 07  
jonas.dahl@fiskeriverket.se

***Bakgrund och problemställning***

När man tar in ett djur i fångenskap hamnar det i en onaturlig miljö. Djuret kan vänja sig vid den nya miljön, men det är långt ifrån säkert att det trivs, hela dess organism är ju anpassad till den naturliga miljön. Denna tillvänjning är det första steget i en biologisk process som kallas domesticering. Ett sådant djur hålls i syfte att ge människan någon form av utbyte, oftast ekonomiskt utbyte i vid mening. Människan har kontroll över djurets fortplantning, livsmiljö och födotillgång. Långt ifrån alla arter kan dock leva och fortplanta sig om de hamnar i fångenskap. Anpassningen till den artificiella miljön (t.ex. en zoologisk trädgård eller en fiskodling), kommer att innebära vissa förändringar i djurets morfologi och beteende.

Arter, eller populationer, som är hotade eller som delvis berövats sin naturliga miljö, räddas kvar till eftervärlden genom att man förökar dem i fångenskap och försöker återetablera individer till vilda förhållanden. Detta förfarande har en lång tradition, men dras med flera problem, såsom sjukdomar, administrativa defekter, dåliga resultat vid återetableringar, man bortser från andra alternativ, dålig reproduktion, höga kostnader och domesticering. De individer som sätts ut i det vilda har med sig ett genetiskt och/eller erfarenhetsmässigt bagage som inte till fullo är anpassat till förhållandena i det vilda. Domesticeringen blir således ett problem bland många när det gäller att odla/föda upp djur i fångenskap i syfte att bevara arten eller stammen till eftervärlden.

Med anledning av att det sätts ut stora mängder odlad fisk i naturen, har fauna- och fiskevårdsintresserade forskare börjat bli oroade för vilka konsekvenser dessa utsättningar har för både odlade och vilda bestånd.

Den fisk som odlas produceras främst för två användningsområden: (1) Ren konsumtionsodling där fisken hålls i odling tills den färdig för slakt. (2) Kompensationsodling

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

där fisken sätts ut i naturen, antingen som ersättning för bortfall p.g.a. kraftverksbyggnader eller för att förstärka ett svagt naturligt bestånd.

I det första fallet är anpassningen till odlingsmiljön en önskad effekt. Fisken blir lättare att hantera och mår bättre ju bättre anpassad den är till odlingsmiljön. Fiskens välbefinnande förbättras allteftersom selektionen i odling gynnar de individer som bäst klarar av denna nya miljö.

I det andra fallet är situationen mer komplicerad. En fisk som är bra anpassad till odlingen blir ofta sämre anpassad till ett liv i det vilda. Det paradoxala inträffar då att en fisk som mår bra i odlingen mår dåligt när den kommer ut i det vilda. Detta innebär ökad stress för fisken och därmed större dödlighet. Dessutom har inte den fisk man tar in för avel en helt naturlig uppväxt, men är inte heller riktigt anpassad till odling. Den har odlad bakgrund, men har selekterats till vild miljö under livet till havs. En mer naturlig odlingsmetod är således inte bara önskvärd ur djuretisk synvinkel, utan kan även medföra att ett mindre antal fiskar behöver odlas och sättas ut för att få önskad återfångst. Priset per utsatt fisk skulle öka, men troligtvis skulle den ökade kostnaden kunna kompenseras med reduktionen av antal fiskar i odling. En huvudsaklig effekt är dock fisk som mår bättre, både i odling och efter utsättning.

Senare tids forskning har visat på betydelsen av lokal anpassning hos fiskbestånd, vilket lett till att främmande stammar används mer sällan. Även om älveget genetiskt material (föräldrafiskar) används kvarstår dock problem orsakade av den artificiella odlingsmiljön. Dessa miljöeffekter kan minimeras om fisken sätts ut redan som romkorn. Detta är dock ofta inte möjligt i reglerade vatten som ofta saknar lekplatser och/eller vandringsvägar för lekfisk. Den enda möjlighet som kvarstår är då att förbättra miljön så att den odlade fisken blir bättre förberedd för livet efter utsättningen.

Miljön i en konventionell fiskodling skiljer sig från naturmiljön i flera avseenden som är centrala för en god anpassning till livet i naturen:

- (1) I odlingen har fisken generellt större och mera förutsägbar tillgång på föda än i naturen. Denna föda är av en enda typ (pellets) medan naturen erbjuder en större diversitet av födoorganismer. Dessutom innehåller kommersiellt fiskfoder generellt en högre andel fett än naturlig diet. Studier har visat att odlad öring är mindre skicklig i att fånga levande byten jämfört med vild fisk. Den odlade fisken blir dock skickligare på detta om de får öva.
- (2) Tätheten av individer är mycket högre i odlingen än i naturen, vilket kan påverka fiskens beteende. Ung öring och lax är t.ex. territoriella i naturen, ett beteende som inte kan uttryckas vid den höga tätheten i odling. Hög täthet kan också orsaka stress och minskad tillväxt.
- (3) Den strukturella komplexiteten är lägre i odlingen. Fisken odlas i regel i tankar utan bottenstruktur eller annat skydd som ofta erbjuds i naturen, vilket påverkar utvecklingen av beteendet. Studier visar att fisk (regnbåge) som odlats i berikad miljö, med bottenstruktur och skydd, får högre konkurrensförmåga och social status än fisk från konventionell odlingsmiljö.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

(4) Odlad fisk exponeras inte för predatorer under uppväxten vilket kan påverka deras möjligheter att överleva efter utsättning. Flera studier har visat att fisk kan konditioneras till att bättre undvika/undkomma predatorer.

Till dessa specifika faktorer ska läggas det generellt lägre selektionstrycket i odlingen. Ägg- och yngelöverlevnad är normalt mycket högre i odlingen än i naturen. Mot denna bakgrund är det inte förvånande att utsatt odlad fisk generellt har lägre tillväxt och överlevnad i naturen än vild fisk. Detta gäller både internationellt och vid svenska utsättningar.

Man kan sammanfatta kunskapsläget i tre punkter: (1) Forskningen har identifierat ett antal nyckelfaktorer i odlingsmiljön som påverkar fiskens beteende och fysiologi och därmed potentiellt dess förmåga att klara sig i naturen. (2) Odlad fisk är plastisk och kan lära sig ett mer adaptivt beteende om den ges möjlighet. (3) Konventionellt odlad fisk har generellt lägre fitness i naturen än vild och ger därför ofta låg avkastning.

I nuläget saknas, både i Sverige och internationellt, kunskap om vilka förändringar i odlingsmiljön som ger den effektivaste förbättringen av fiskens anpassning till ett liv i naturen.

### **Projektbeskrivning**

För att kunna utvärdera de metoder som listas i litteraturen har vi försökt driva ett brett upplagt forskningsprojekt, som huvudsakligen har inriktat sig på: (1) Manipulering av relevanta miljöfaktorer. (2) Replikerade utsättningar och återfångststudier av behandlad utsatt fisk i naturliga och/eller seminaturella vattendrag. (3) Statistisk analys av resultat och utvärdering: är förbättringen i avkastning tillräcklig för att motivera eventuella merkostnader för odling? (4) Förslag till åtgärds paket för odling av naturlig sättfisk.

### **Manipulering av miljöfaktorer: födokonditionering**

Den föda som används vid kompensationsodling är framtagen för att maximera tillväxt. Mycket tyder emellertid på att maximal tillväxt inte är det optimala i naturen. Det finns en balans mellan tillväxthastighet och risktagande; för att kunna inta en större mängd föda måste en individ vara mer aktiv, ägna mer uppmärksamhet åt födosök och mindre åt att spana efter rovdjur. Individer som satsar på att maximera sin tillväxt kan därför ha ett alltför riskfullt beteende mot predatorer. Initialt hade vi tänkt angripa detta problem eftersom vi antar att det kan ha stor betydelse för fisken. Men p.g.a. nedskärning av vår ursprungliga budget i ansökan strök vi detta helt och hållet från försöken. Vi har dock gjort en del korrelativa studier och ämnet togs upp på en workshop som vi anordnade i Älvkarleby 14-16 september 2005. Resultaten från den sammanfattas i [12,13].

### **Manipulering av miljöfaktorer: predatorconditionering**

Vi kombinerade olika typer av stimuli för att sedan göra laboratoriestudier för att undersöka hur länge effekten sitter i.

1. Levande predator
2. Levande predator + byteslukt
3. Predatorlukt
4. Predatorlukt + byteslukt

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

De minst arbetskrävande metoderna användes på fisk som ska sättas ut. Predatorlukta kan presenteras för fisken på två olika sätt, dels med levande predator, dels med substanser som samlats in från diverse rovdjur, t.ex. hudslim från gädda (vi använde oss inte av denna metod). Den levande fisken sänks ned i ett odlingsstråg i en bur som predatorn inte kan lämna, men som laxen/öringen kan simma in i. Initialt hade vi tänkt oss att även använda predatormodeller eftersom dessa kan göras mer standardiserade. Men eftersom tiden och pengarna var begränsande inriktade vi oss på riktiga djur eftersom det är det som den kompensationsodlade fisken möter i naturen. Byteslukta var en nyligen avlivad lax eller öring. Till största delen berörde dessa försök öring, eftersom vi har mest erfarenhet av den arten.

**Manipulering av miljöfaktorer: habitatstruktur och täthet**

Manipulering av täthet och habitatstruktur utfördes vid E.ON Vattenkrafts fiskodling i Laholm på laxungar från Smedjeån (2003-4) samt på öring från Norumsån och Jörlandaån (2004-5).

Följande faktorer manipulerades samtidigt i en 2 x 2 faktoriell design, alltså totalt fyra behandlingar:

1. Hög täthet utan struktur (standardodlingsförhållanden).
2. Låg täthet (50 % av standardtäthet) utan struktur.
3. Hög täthet med struktur.
4. Låg täthet med struktur.

Strukturen utgjordes av plastremmar som hänger ned i odlingsstanken och därmed upplevs som skyddande, samt begränsar fiskens synfält. Strukturen kan enkelt lyftas upp när tanken behöver rengöras. Varje behandling (tank) replikerades minst tre gånger för att möjliggöra analys av tankeffekter. Under odlingsperioden mättes fiskens tillväxt i de olika behandlingsgrupperna.

**Utsättning och återfångst av utsatt fisk**

För att undersöka skillnader i "performance" under naturliga betingelser mellan de olika odlingsregimerna (predatorconditionering eller manipulering av habitatstruktur och täthet) hölls fisken i odling under dess första sommar tills den var stor nog att individmärkas (transpondrar). Utsättningarna skedde i två typer av miljöer: (1) I naturliga laxfiskbiotoper (Smedjeån och Dalälven), (2) I experimentbäckarna i Älvkarleby och Kärlarne.

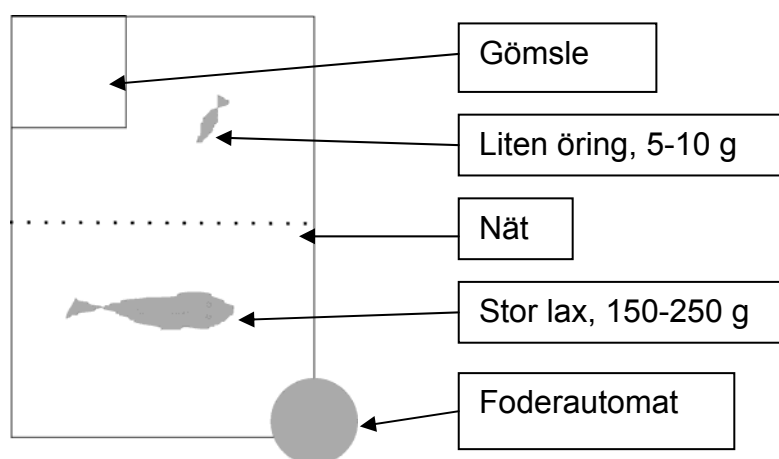
**Projektets resultat****Predatorconditionering. Laboratieförsök I.**

**Sammanfattning:** Dessa laboratieförsök bestod av två delar. I delförsök 1 jämförde vi vild och odlad fisk och i det andra predatorconditionerad och naiv fisk. Dessa försök visade att vild och odlad fisks beteende skiljer sig åt när en predator finns närvarande. Det skulle kunna betyda att odlad fisk, om den kunde tränas att komma i närheten av den vilda fiskens beteende, förmodligen skulle ha större sannolikhet att överleva när den sätts ut. I delförsök två undersökte vi huruvida detta är möjligt. Resultatet blev att fiskens beteende går att korrigera, men i det upplägg vi hade blev utfallet att den conditionerade fisken inte betedde sig som den vilda. Man kan uttrycka det så här: vild fisk håller sig borta från predatorn, conditionerad fisk gömmer sig.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

Försöket bestod av två delar: (1) I det första jämfördes fisk från odlingen med fisk som fångats med elfiske i den invallade delen av Kungsådran. Både fisken i Kungsådran och fisken från odlingstrågen härstammar från samma föräldrauppsättning, men en del av romkornen sattes ut i Kungsådran och en del gick till odlingen. Således hade fisken i detta försök samma genetiska bakgrund, men olika uppväxt. (2) I det andra försöket användes fisk från odlingen, där hälften sattes ut i strömakvariet (35000 liter, 0.5 m/s) tillsammans med åtta stora (0.238-1.670 kilo) laxar och öringar. Den andra hälften hölls kvar i odlingstråg tills experimentet började.

Försöken följde en enkel beprövad modell för att utröna hur riskbenägna olika individer är. Maten ges i ett riskfyllt område (där predatoren är) och det finns ett säkert område med gömsle. I båda försöken videofilmades åtta akvarier med en time-laps-videoutrustning. Sammanlagt användes 44 försöksfiskar. Varje försök varade i en vecka. Sekvenserna från inspelningarna gick igenom. Från varje timme under dygnet utvaldes slumpmässigt två sekvenser. För varje sekvens noterades, förutom tidpunkten på dygnet, var fisken befann sig (säkert område/riskfyllt område) och i gömsle/utanför gömslet. Beteendet analyserades med s.k. repeated ANOVA och tillväxten, storlek etc. med t-test.

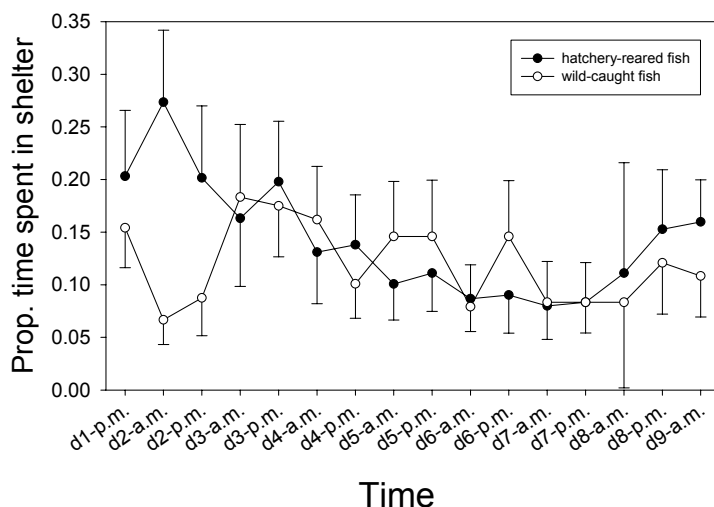


**Figur 1. Försöksupställning för att undersöka skillnaden mellan vild och odlad öring och skillnaden mellan predatorconditionerad och naiv fisk. Akvariet avdelades på mitten med ett nät som öringen kunde simma igenom, men inte laxen. Gömslet var placerat i det säkra området.**

I det första delförsöket (vildfångad kontra odlad fisk) skiljde sig inte vild och odlad fisk åt med avseende på initiallängden, predatorns längd, eller tillväxt. Vild fisk hade dock större variation i tillväxt än odlad fisk. Det kan vara en effekt av att den vilda fisken har vuxit upp i en mer komplex miljö, och därför uppvisar ett mer komplext beteende i förhållande till försökssituationen.

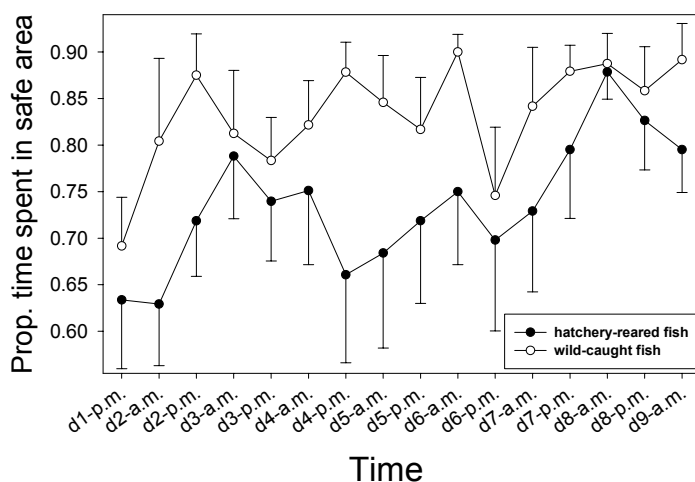
Vild och odlad fisk använde gömslet i samma utsträckning, sett över hela försöksperioden. Det fanns en klar tidseffekt, där utnyttjandet av gömslet minskade under försökets gång. Interaktionen (d.v.s. om de två grupperna av fisk hade skilda "banor" under försökets gång) tenderade till att vara signifikant.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



Figur 2. Proportion tid som tillbringades i gömslet för vild och odlad fisk.

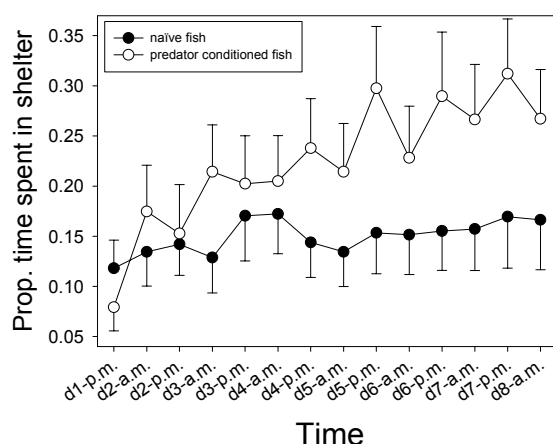
Vild och odlad fisk tillbringade olika mycket tid i säkra området, sett över hela försöksperioden. Vild fisk tillbringade mer tid där än odlad fisk (Fig. 3).



Figur 3. Proportion tid som tillbringades i det säkra området (det utan predator) hos vild och odlad fisk.

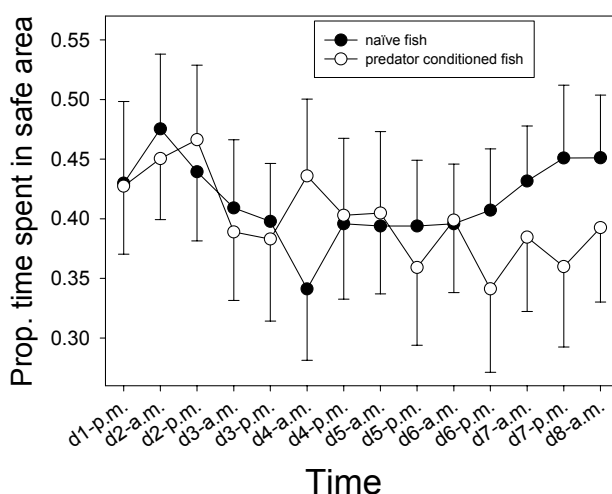
I det andra delförsöket (predatorconditionerad kontra naiv fisk) skiljde sig inte kategorierna åt med avseende på initiallängden, predatorns längd eller tillväxt. Det fanns en klar tidseffekt där utnyttjandet av gömslet ökade under försökets gång. Sett över hela försöksperioden använde konditionerad fisk gömslet i större utsträckning än naiv fisk och interaktionen (d.v.s. om de två grupperna av fisk förändrade beteendet olika under försökets gång) var signifikant. Den naiva fisken låg på samma nivå hela tiden, medan den konditionerade fisken ökade sitt nyttjande av gömslet ( Fig. 4).

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



Figur 4. Proportion tid som tillbringades i gömslet för predatorconditionerad och naiv fisk.

Predatorconditionerad och naiv fisk tillbringade lika mycket tid i det säkra området, sett över hela försöksperioden. Det fanns ingen tidseffekt och totalt sett tillbringade fiskarna lika mycket tid det säkra området under försökets gång.



Figur 5. Proportion tid som tillbringades i det säkra området (det utan predator) hos predatorconditionerad och naiv fisk.

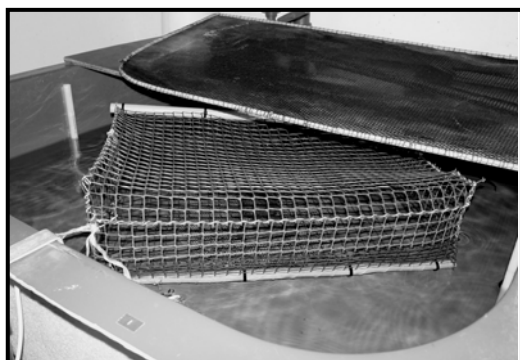
### Predatorconditionering. Laboratorieförsök II.

**Sammanfattning:** Meningen med det här försöket var att testa huruvida predatorconditioneringen fungera i en mer realistisk odlingssituation. Fisken "skrämdes" i tråg med en levande gädda i bur, (Fig. 6) i vissa replikat förstärkt med skinnextrakt från avlivad öring. Försöket gjordes på öringar som härstammade från fyra olika populationer. Resultaten visade att öringen har en nedärvd respons att undvika gädda, men ingen effekt av conditioneringen kunde påvisas. Dock fanns det skillnader mellan populationer i beteende, vilket är väl värt att beakta i andra sammanhang (t.ex. förstärkningsutsättningar).

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

Tidigare studier har visat att fisk kan lära sig undvika/undkomma predatorer efter konditionering med levande predatorer eller predatormodeller tillsammans med avskräckande stimuli (t.ex. lukt från en skadad fisk av den egna arten). Här använde vi oss av nyss dödad öring som mosats och frusits in i "iskuber". Flera laxfiskarter uppvisar en mängd anti-predator beteenden då de utsätts för byteslukt från artfränder. Studier har visat att regnbåge även kan lära sig associera byteslukt med lukten från en potentiell predator.

Ettårig öring, som vuxit upp i odlingsmiljö i Älvkarleby, härstammande från fyra olika populationer (Dalälven, Åva-, Jörlanda- och Norumsån) konditionerades i tre olika behandlingar: (1) Kontroll, (2) Levande gädda i bur, (3) Levande gädda i bur samt byteslukt (iskuber). Effekten av behandlingen studerades i seminaturell miljö i strömvattenakvariet i Älvkarleby. Öringen exponerades i åtta timmar (Figur 6). Gädda sänktes ned i trägen i en nätbur (65x30x90 cm), som öringen kunde simma in, men som gäddan inte kunde simma ut ur.



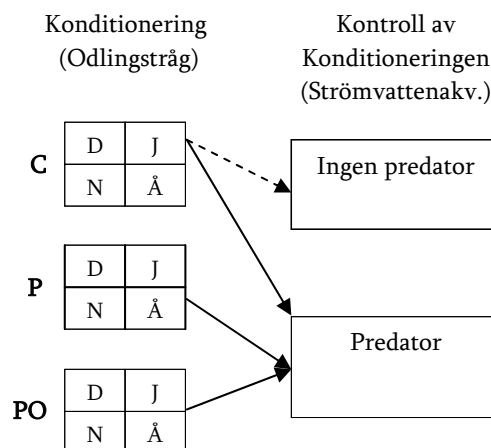
Därefter överfördes fisken till strömvattenakvariet. Akvariet var avdelat i fyra sektioner, varje sektion bestod av en uppströmsdel där gädda (om den var med) sattes, och en nedströmsdel där öringen sattes. Återigen kunde öringen simma in till gädda, men gäddan var fast där den var.

**Figur 6. En av de nätburar som användes vid predator-konditioneringen.**

Konditioneringen hade ingen effekt på födointaget. Under försökets andra och tredje dag åt fisken mer när ingen gädda fanns. Öring från Jörlandaån åt mer än öring från de andra populationerna under försökets första dag, men det var ingen skillnad mellan populationerna de följande två dagarna.

Gäddans närvaro minskade aktiviteten under experimentets alla tre dagar, men det fanns ingen skillnad i beteendet mellan konditionerad och icke-konditionerad fisk. Simaktiviteten i replikaten utan gädda skiljde dock mellan populationerna. Öring från Jörlandaån var mer aktiv under försökets första dag, men det var ingen skillnad de följande två dagarna.

Öring från Norumsån var mer aggressiv än öring från de andra populationerna, särskilt de som inte konditionerats med kontroll-iskuber (endast vatten, ingen gädda), och särskilt markant under



**Figur 7. De fyra populationerna: Dalälven (D), Jörlandaån (J), Norumsån (N) och Åvaån (Å) exponerades antingen till inget stimuli (C), en levande gädda (P) eller gädda plus öringlukt (PO). Försöksfisken testades sedan i strömvattenakvariet, antingen med levande gädda (36 replikat) eller ingen gädda (12 replikat).**

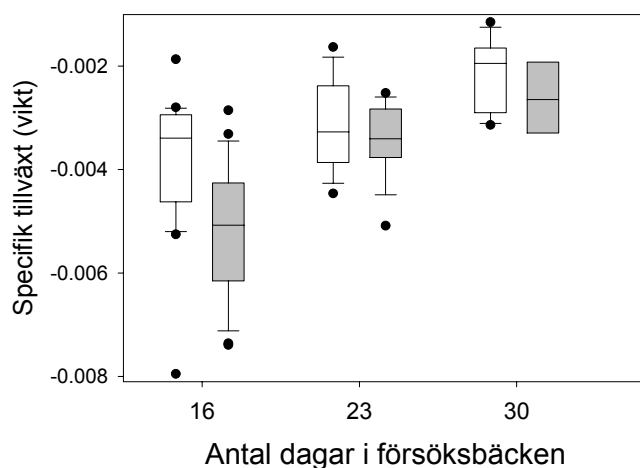
## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

försökets tredje dag. I övrigt hade inte konditioneringen någon effekt på aggressiviteten.

### Predatorconditionering. Utsättningsförsök i experimentbäcken.

Ettårig öring, som vuxit upp i odlingsmiljö i Älvkarleby, härstammande från fyra olika populationer (Dalälven, Åva-, Jörlanda- och Kävlingeån), konditionerades i två olika behandlingar: (1) Kontroll, (2) Levande gädda i bur samt byteslukt (iskuber). Effekten av behandlingen studerades i seminaturell miljö i experimentbäcken i Älvkarleby. Fisken hade individmärkts med s.k. PIT-tags. Exponeringen varade i 24 timmar. Försöket upprepades tre gånger, varje gång med 40 fiskar i vardera behandlingen. Fisken i den första omgången fick vara i bäcken 30 dagar innan den togs upp, andra omgången 23 dagar, och tredje 16 dagar.

Det var ingen skillnad mellan populationerna i överlevnad och det var ingen skillnad mellan behandlingarna i överlevnad. I genomsnitt överlevde 42 % av fiskarna. En intressant sak kan dock noteras: I genomsnitt minskade all fisk i vikt under försökets gång, mycket beroende på att försöket gjordes på hösten (okt-nov). Av den fisk som överlevde minskade den predatorconditionerade fisken mer i vikt än kontrollfisken (0,37 % /dag respektive 0.30 %/dag). Detta antyder att konditioneringen ändå haft en viss effekt. Eftersom fisken konditionerades och sattes ut i ett svep, d.v.s. utan återhämtning däremellan kan man tänka sig att detta är en effekt av stress. Detta styrks av att skillnaden var störst efter en vecka, men mindre därefter (Fig. 8). Detta beror sannolikt på att den konditionerade fisken återhämtar sig och kommer ifatt.



Figur 8. Tillväxt (ungefär procent per dag) för öringyngel som antingen konditionerades med gädda och öringslem (grå) eller kontroll (vit). Som synes minskade fisken som bara var 16 dagar i bäcken mer än de som var där längre tid. Likaså minskade konditionerad fisk mer än icke-konditionerad efter 16 dagar. Dessa minskningar kan vara en effekt av stress.

### Predatorconditionering. Utsättningsförsök i Dalälven.

I slutändan är det överlevnaden från smoltutsättning till återmigration som avgör hur många individer som måste odlas respektive sättas ut. Därför märktes predatorconditionerade och predatornaiva fiskar med Carlin-märken (som vid vanlig driftsmärkning) och sattes ut i Dalälven. Konditioneringen gick till som ovan, dvs (1) Kontroll, (2) Levande gädda i bur samt

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

byteslukt (iskuber), men det gjordes i odlingstråg med laxsmolt. Storlek vid märkning noterades före utsättning. Fisk som fångats i havet inrapporteras av yrkesfiskare och fritidsfiskare till Fiskeriverket. Återvändande fisk noteras vid centralfisket i Älvkarleby. En sådan utsättning gjordes, men inga återfynd har ännu rapporterats.

**Slutsatser predatorconditionering**

Vissa av projektets resultat tyder på att man kan "justera" beteendet hos odlad fisk. I noggranna laboratoriestudier kan effekten avläsas, men frågan är om den respons man konditionerat fram hos fisken är adekvat för ett liv i det vilda. De påföljande mer storskaliga försöken med kontroll i mer naturlig miljö visar ingen effekt i form av ökad överlevnad. Däremot visar tillväxten hos den överlevande fisken från försöksbäcken att en effekt kan finnas initialt i tillväxten. Kanske hade vi fått en bättre effekt på överlevnaden om fisken fått återhämta sig efter exponeringen innan den sattes ut. Resultaten från det kontrollerade laboratorieresultat antyder att det skulle kunna vara bra att fortsätta studera predatorconditioneringen, för att försöka optimera metoden. Men å andra sidan visar de mer storskaliga försöken att det förmodligen ger mycket liten utdelning. Därför kan predatorconditionering inte rekommenderas i dagens läge.

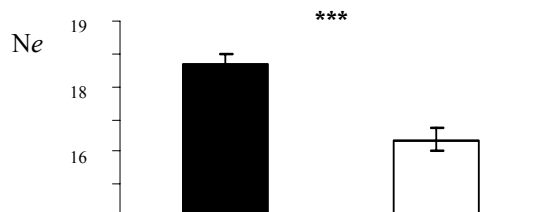
**Habitatstruktur och täthet**

***Sammanfattning:** Avsikten med försöken (i Laholm och Kälarne 2004 och 2005) var att undersöka hur fisken tillväxer, hur pass mycket "odlingsskador" (fenskador) den får, hur genetisk variation påverkas och hur den klarar sig efter utsättning i det vilda beroende på hur tätt fisken odlats och hur trägen är utformade. Från ett av försöken konstateras att den genetiska variationen hos fisken i ett odlingstråg är negativt täthetsberoende, d.v.s. ju tätare fisken odlas, desto mindre blir den genetiska variationen. Detta är, enligt projektets kännedom, den första experimentella studie på fisk som visat att populationstäthet kan påverka effektiv populationsstorlek (=genetisk diversitet). I odlingen hade fisk som odlats i låga tätheter med struktur en högre tillväxt än konventionellt odlad fisk. Fisk i låga tätheter hade dessutom lägre andel fenskador, vilket ur djuretisk synpunkt är positivt. Fisk i låga tätheter hade i försöken högre konkurrensförmåga än de som odlats i konventionella tätheter. Detta är, enligt projektets kännedom, den första experimentella studie som påvisar ett sådant samband. Låga tätheter påverkade inte fiskens överlevnad efter utsättning, men väl dess tillväxt. Däremot hade inte struktur i odlingstrågen någon inverkan på tillväxt eller överlevnad efter utsättning.*

**Habitatstruktur och täthet: försök i Kälarne 2004.**

Öring från tolv familjer odlades i modifierade tråg för att testa hypotesen att homogena miljöer och höga populationstätheter leder till en lägre effektiv populationsstorlek ( $N_e$ ), ett mått som speglar graden av inavel och förlust av genetisk variation i en population. Resultaten visar att  $N_e$  är negativt täthetsberonde (Figur 9). Hög täthet gynnade några familjer medan andra missgynnades, vilket medförde en relativt hög variation i framgång bland familjer under tidiga livsstadier. Däremot fanns det inget samband mellan strukturell komplexitet och genetisk diversitet.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

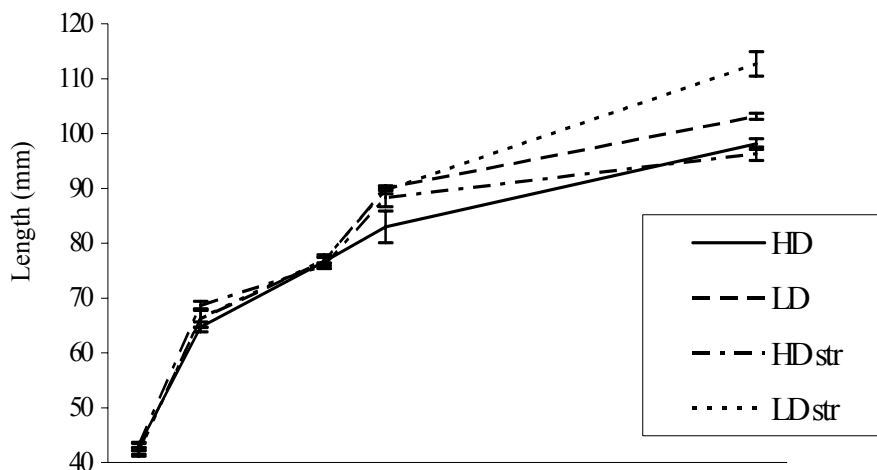


Figur 9. Den effektiva populationsstorleken ( $N_e$ ), (medel ± SE) hos öring odlad i hög täthet (vit stapel; 120/m<sup>2</sup>) och låg täthet (svart stapel; 60/m<sup>2</sup>).

### Habitatstruktur och täthet: försök i Laholm.

Lax odlades i olika tätheter med och utan struktur i en fullskalig odlingsmiljö. En andel laxungar sattes ut efter 135 dagar medan resten behölls på odlingen till nästa vår. Fisk som hade odlats i låga tätheter växte snabbare under de första månaderna efter utsättning, en skillnad som inte fanns kvar då fisken återfångades efter ytterligare ett halvår.

Behandlingarna hade ingen effekt på överlevnad efter utsättning. I odlingen hade fisk som odlats i låga tätheter med struktur en högre tillväxt än konventionellt odlad fisk (Figur 10). Fisk i låga tätheter hade dessutom klart lägre andel fenskador (efter 301 dagar).



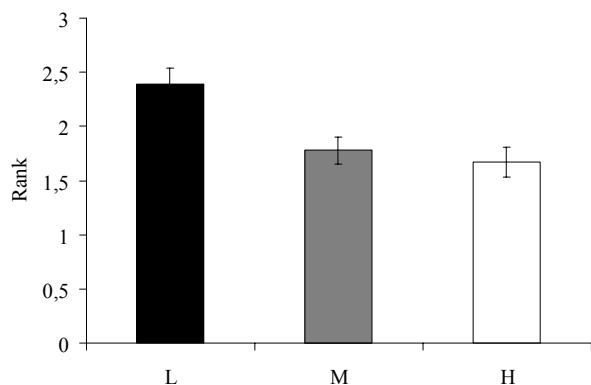
Figur 10. Medellängd (± SE) och hur den förändrades hos ung lax från juni 2004 till april 2005. Fisken odlades under fyra olika förhållanden; hög täthet (HD; standardtätheten på odlingen 3,75 kg/m<sup>3</sup>), låg täthet (LD; ca en tredjedel av standardtäthet 1,35 kg/m<sup>3</sup>), hög täthet med struktur (HDstr) och låg täthet med struktur (LDstr). Strukturen bestod av plastremсор som svajade i vattnet. Efter ca 135 dagar PITtag-märktes 1200 fiskar och sattes ut i Smedjeån, söder om Göteborg.

### Täthet: försök i Kälarne 2005

Öring odlades i tre tätheter, där den högsta tätheten motsvarar standardförhållande i odling och den lägsta motsvarade tätheten i en naturlig miljö. Efter fyra månaders behandling jämfördes fisk från de olika tätheterna i förmåga att konkurrera om föda. Vi samma tillfälle sattes även fisk ut i en experimentbäck där den fick tillväxa under en månad. Resultat från

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

beteendestudierna visar att fisk som odlats i låga tätheter har en konkurrensfördel pga ett snabbare och därmed högre födointag än fisk som odlats i höga tätheter (Fig. 11). Denna effekt var oberoende av fiskens storlek. Detta är, enligt projektets kännedom, den första experimentella studie som påvisar direkta samband mellan täthet och konkurrensförmåga (dominans) i odling. Höga tätheter visade sig även ha en negativ effekt på fiskens tillväxt i fält.



**Figur 11. Fisk som tillväxt i tankar med låga tätheter (L) har en högre rank, dvs de har ett högre födointag och är aggressivare än fisk som odlats i högre tätheter (M & H).**

### Slutsatser Habitatstruktur och täthet

Tidigare forskning har visat att smoltens marina överlevnad är storleksberoende, samt att fenskador ökar känsligheten för infektioner. Det är därför sannolikt att struktur och reducerade tätheter i odling kan öka smoltens marina överlevnad. Höga populationstätheter leder till en lägre effektiv populationsstorlek ( $N_e$ ), ett mått som speglar graden av inavel och förlust av genetisk variation i en population. Det är således ingen bra idé att försöka tränga ihop mer fisk i ett tråg. Även om det är möjligt med hänsyn till tillväxt, fenskador, syrehalt, föroreningar i vattnet, produktionsmål, etc. så minskar den odlade populationens genetiska bas. Dels är resultaten från våra studier så pass uppmanande att vi kan rekommendera att minska odlingstätheterna och fortsätta att göra storskaliga försök och följa fisken under hela dess livscykel.

### Födokonditionering: korrelativ studie.

Den föda som getts till laxen och öringen i Älvkarleby har inte varit densamma under åren. Under 1960-talet låg fetthalten i fodret på 5 %, under 1970-talet 8-10 %, och under 1980- och 90-talen 18-20 %. Under samma tid har antalet smolt som satts ut ökat, men antalet återvandrande vuxna fiskar har inte ökat.

En hypotes är att födans fetthinnehåll kan påverka fiskens överlevnadsmöjligheter efter utsättning. Inom projektet samlades data in på yrkesfiskets fångster, älvtempertur, vattenföring, sportfiskets fångster och smoltstorlek. Data analyserades i en s.k. ordinationsanalys. Den visar att det finns ett negativt samband mellan födans fetthinnehåll (både startfodret och yngelfodret) och andel återvandrande laxar. För öringen är bilden lika klar.

Även om det kan finnas andra faktorer som påverkar fiskens överlevnad och samvariationer som är svåra att korrigera för, verkar födans betydelse väl värd att studera vidare. Det kan gälla födans sammansättning och sättet som födan ges.

### **Projektets mål och måluppfyllelse**

Vissa förändringar mot vad som sagts i ansökan har gjorts under arbetets gång, de viktigaste är:

1. Vi använde oss inte av predatormodeller, eftersom det är en alltför standardiserad metod. Rent laborativt är det relevant och intressant, men sett ur ett vilt perspektiv är det inte.
2. Vi strök initialt allt som har med föda att göra, eftersom neddragningen av anslaget inte gav utrymme för sådana studier. Detta meddelades i en reviderad projektbeskrivning. Vi har ändå gjort en korrelativ studie, vilken genererat intressanta frågor. I kombination med det som kom fram under en internationell workshop i Älvkarleby 14-16 september 2005 ger detta uppslag för framtida studier.
3. Utsättningar av fisk som konditionerats på olika sätt har genomförts, men inte i den utsträckning som sades i ansökan. Efter neddragningen med 20 % hade vi inte medel för en storskalig märkning. Vi fick dock en del extra finansiering och kunde genomföra en större utsättning. Detta skedde dock senare än tänkt. Därför har vi inte hunnit få in märkningsresultat inom projektets tidsram.

Från projektbeskrivningen kan man extrahera tre mål.

(1) *Öka kunskapen om hur fisken påverkas av odlingsmiljön och hur odlingsmiljön kan anpassas efter hur fisken ska användas, i detta fall till utsättning.* Detta har vi gjort, vi har studerat en del metoder och funnit att odlingsmiljön påverkar fisken. Den enda faktor som genomgående har varit betydelsefull är täthet, där vi funnit att sänkta tätheter ökar tillväxt efter utsättning och i odling samt reducerar fenskadorna på smolt. Kunskapen har ökat, men samtidigt har många nya frågor och problem blivit uppenbara.

(2) *På basis av resultaten i detta projekt och annan befintlig information ska vi utvärdera om förbättringarna i avkastning är tillräckliga för att motivera eventuella merkostnader.* Eftersom vi inte funnit direkta effekter på överlevnad, är det tveksamt om det i dagsläget är möjligt att säga om det är lönsamt att använda sig av de mer komplicerade konditioneringsmetoderna. Resultaten indikerar snarare att enklare åtgärder som att reducera tätheter kan vara väl så effektiva, men mer studier behövs för att få en klarare bild av alternativa åtgärders effekter.

(3) *Vi ämnar också göra utsättningar och återfångststudier av behandlad utsatt fisk i naturliga och/eller seminaturliga vattendrag.* Detta har gjorts, i flera olika vattendrag, experimentbäckar och helt naturliga vattendrag.

Som sammanfattande slutsats för hela projektet rekommenderas att odlingsstätheterna för sättfisk minskas. På sikt kommer det att innebära att den genetiska variationen blir större, vilket motverkar inavelseffekter och ökar populationens anpassningsmöjligheterna till förändringar i utsättningsmiljön. Effekterna av struktur i odlingsstrågen liksom födans sammansättning och hur den presenteras för fisken bör studeras vidare. Predatorkonditionering kan inte rekommenderas. Enligt projektets försök och en del försök gjorda på andra platser i Europa och Nordamerika ger det oftast ingen eller endast marginella resultat.

På det hela taget anser deltagarna i projektet själva att måluppfyllelsen varit mycket god.

**Projektets resultat i förhållande till programmets övergripande mål och syfte**

Forskningsprogrammets strategiska mål är att:

- *pröva och utvärdera hypoteser och teoretiska modeller i försöks- och pilotanläggningar samt i naturliga vatten.* Projektet har innefattat en god teoretisk bas och försök har gjorts både på laboratorium och i naturliga vatten.
- *vid högskolor och universitet och företag långsiktigt öka kompetensen inom programmets prioriterade områden samt att främja samarbetet mellan högskolor, universitet, forskargrupper och företag nationellt och internationellt.* Arbetet har varit ett synnerligen fruktsamt samarbete mellan tre odlingar (Laholm, Älvkarleby och Kälarne), Fiskeriverket och Göteborgs universitet. Projektet har kontinuerligt haft informella kontakter med olika forskargrupper, främst utomlands. Seminariet som hölls i Älvkarleby gav projektet möjlighet att presentera resultat, knyta internationella kontakter och få del av nationella och internationella ståndpunkter inom området.
- *stärka samarbete mellan olika vetenskapliga discipliner samt industrin då flertalet frågeställningar är av tvärvetenskaplig karaktär.* Industrin i detta sammanhang är fiskodlingarna. Projektet har på många sätt bidragit till att en mer ömsesidig förståelse mellan forsknings- och odlingsperspektiv har upprättats, även om det inte är fullbordat på långa vägar. Projektet har inte varit särskilt tvärvetenskapligt. Det var tänkt från början då fisknutrition och fysiologi skulle komma in mer, men det föll bort pga den begränsade finansieringen. Projektet har mestadels rört beteende, genetik och livshistoria, vilket deltagarna i projektet är mer eller mindre väl förtrogna med. Framtida samarbete med andra discipliner, bl.a. neuroendokrinologi (Universiteten i Göteborg, Uppsala och Oslo) har initierats.
- *projekten skall ha sådan vetenskaplig kvalitet att resultaten publiceras i vetenskapligt granskade tidskrifter.* Sådana publikationer har inte gjorts ännu, men det är ett realistiskt mål är att så ska ske (ca. 4-6 publikationer), särskilt inom ramen för Sofia Brockmarks doktorsavhandling. Sofia avlade licentiatexamen 6 december 2005.

I programbeskrivningen står det specifikt om kompensationsodling att syftet är (1) *att utveckla funktionella och kostnadseffektiva metoder för odling av mer naturanpassad fisk.* Detta har påbörjats, men projektet har också visat på problemen. (2) *Befintlig och ny kunskap används för att utforma och utvärdera kompensationsutsättning av fisk i reglerade vatten.* I projektet detta berörts. Utan arbetet i projektet hade inte Fiskeriverkets regeringsuppdrag "Analys av möjligheter för och konsekvenser av en förändrad inriktning på kompensationsåtgärder avseende fiske i nuvarande och kommande vattendomar" fått den stringens den fick. Rapporten finns på Fiskeriverkets hemsida ([www.fiskeriverket.se](http://www.fiskeriverket.se) under publikationer/övriga rapporter, regeringsuppdrag). (3) *Ett viktigt syfte är att säkerställa bevarandet av befintlig genetisk variation i vildlevande populationer.* Detta har berörts, projektet har visat att minskade tätheter ökar den genetiska variationen. Ämnet var också hett debatterat på workshopen.

**Nationellt och internationellt samarbete**

Projektet har stärkt samarbete mellan Göteborgs universitet och Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium. Dessutom har samarbete med Universiteten i Uppsala och Oslo initierats. Samarbetet mellan odlingar och forskare har också stärkts. Det senare är det som kan utvecklas mer i framtiden.

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

Det internationella samarbetet har stärkts, inte minst genom workshopen i Älvkarleby där ytterligare samarbete t.ex. i form av doktorand- och forskarutbyte och andra samarbetsprojekt, t.ex. EU-projekt, diskuterades. Ett annat resultat av samarbetet är en gemensam reviewartikel (inviterad) om odlingseffekter på odlad och vild fisk i *Appl. Anim. Behav. Sci.* av I. Fleming., E. Petersson och J.I. Johnsson (in prep) som publiceras under 2006.

**Vetenskapliga resultat****Licentiatavhandling**

1. Brockmark, S. (2005). 'Nature-like fish for release – environmental effects on pre- and post-release performance in brown trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*)', Licentiate Thesis in Animal Ecology, Göteborg University

**Artiklar i (och avsedda för) editorgranskade vetenskapliga tidskrifter**

2. Brockmark, S., Petersson, E., Johnsson, J.I., Dahl, J., Dannewitz, J. & Löf, A. Effects of predator conditioning on the behaviour of hatchery-reared brown trout in a nature-like stream. *submitted J. Fish. Biol.*

**Konferensbidrag**

3. Brockmark, S., Johnsson, J.I., Petersson, E., Bohlin, T., Dahl, J., Dannewitz, J. & Löf, A., 'Production of nature-like fish for release – environmental effects on development (summary of 2003-2004)', Vattenkraft, åtgärder och kostnader i nu reglerade vattendrag", Eلفorsk, Stornorrfor, 17-18 juni 2004
4. Brockmark, S., Johnsson, I.J. and Bohlin, T., 'Free at l(e)ast', Doktoranddagen, Zoologen, Göteborg, 12 november 2004
5. Brockmark, S., Dannewitz, J. and Bohlin, T. 'Environmental effect on phenotypic and genetic expression in brown trout', Nordic Workshop for PhD students on Anadromous Salmonid Research, Agdenes, Norge, 7-10 April 2005
6. Brockmark, S., Johnsson, J.I., Petersson, E., Bohlin, T., Dahl, J., Dannewitz, J. & Löf, A., 'Nature-like fish for release - environmental effects on development (summary of 2003-2005)', Vattenkraft, åtgärder och kostnader i nu reglerade vattendrag, Eلفorsk, Oskarshamn, 16-17 juni 2005
7. Brockmark, S., Johnsson, I.J. and Bohlin, T. 'Can the post-release performance of hatchery fish be improved by environmental alterations?', FSBI, "Fish habitat Ecology and Conservation", Bangor, Wales, 17-22 July 2005
8. Brockmark, S., Dannewitz, J. and Bohlin, T. 'Environmental effect on phenotypic and genetic expression in brown trout', Evaluating of methods for improving the quality of fish reared for stocking, Älvkarleby, Sverige, 14-16 September, 2005
9. Brockmark, S., Johnsson, I.J. and Bohlin, T. 'Can the post-release performance of hatchery fish be improved by environmental alterations?', Evaluating of methods for improving the quality of fish reared for stocking, Work-shop, Älvkarleby, Sverige, 14-16 September, 2005

**Examensarbeten**

10. Jönsson, A. (2003). Smedjeån – en inventering av lämpliga biotoper för utsättning av lax inom projektet Produktion av naturlig sättfisk. Examensarbete för filosofie magisterexamen, Zoologiska Institutionen, Göteborgs Universitet

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

11. Lindberg, S. (2005). Is it possible to obtain a more wildlike hatchery fish by manipulating the rearing environment? Examensarbete för filosofie magisterexamen, Zoologiska Institutionen, Göteborgs Universitet

**Övrigt**

12. Petersson, E., Johansson, J. (2006), Summary of groupdiscussions from the workshop "Evaluating of methods for improving the quality of fish reared for stocking", Älvkarleby, Sweden 14 – 16 September 2005
13. Petersson, E., Johansson, J. (2006), Abstracts from the workshop "Evaluating of methods for improving the quality of fish reared for stocking", Älvkarleby, Sweden 14 – 16 September 2005

I regleringsbrevet för 2004 fick Fiskeriverket uppdraget att i samverkan med berörda myndigheter utreda möjligheter och konsekvenser av en förändrad inriktning på kompensationsåtgärder avseende fiske i nuvarande och kommande vattendomar. Uppdraget skulle redovisas senast den 1 december år 2004. 2004-11-29 översändes en rapport till regeringen med titeln: "Analys av möjligheter för och konsekvenser av en förändrad inriktning på kompensationsåtgärder avseende fiske i nuvarande och kommande vattendomar".

## 2.5 Anordning för lockvattenströmmar vid vattenkraftverk

### Projektdeltagare

#### 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

#### Projektdeltagare:

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

#### Projektdeltagare:

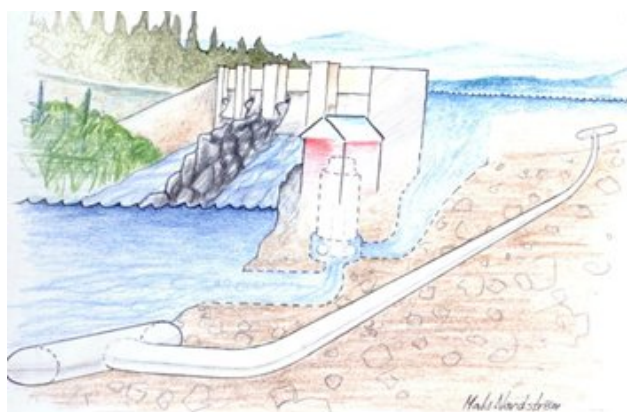
Jan-Erik Almqvist, innovatör  
J&K Teknik  
Allégatan 23  
961 67 Boden  
0921-15339  
070-3427243

#### Projektdeltagare:

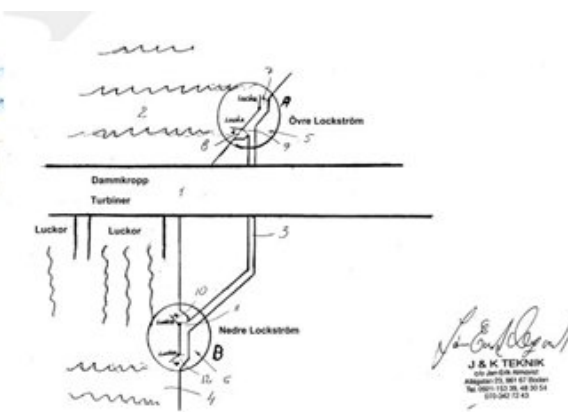
Allan Holmgren, tekniker  
Avd Strömningslära  
Luleå tekniska universitet  
971 87 Luleå  
0920-49 17 23  
allan.i.holmgren@ltu.se

### 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: Locksystem 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 labbskala 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.

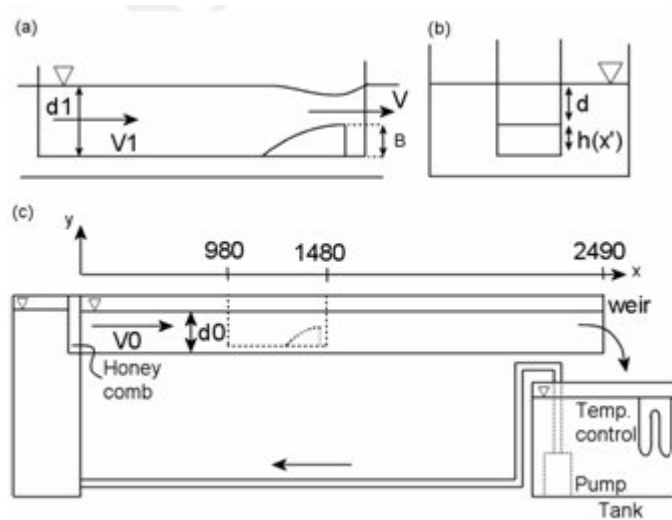


**Figur 3: Strömning över förhöjd botten i lockvattenanordning. Strömning från höger till vänster.**

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

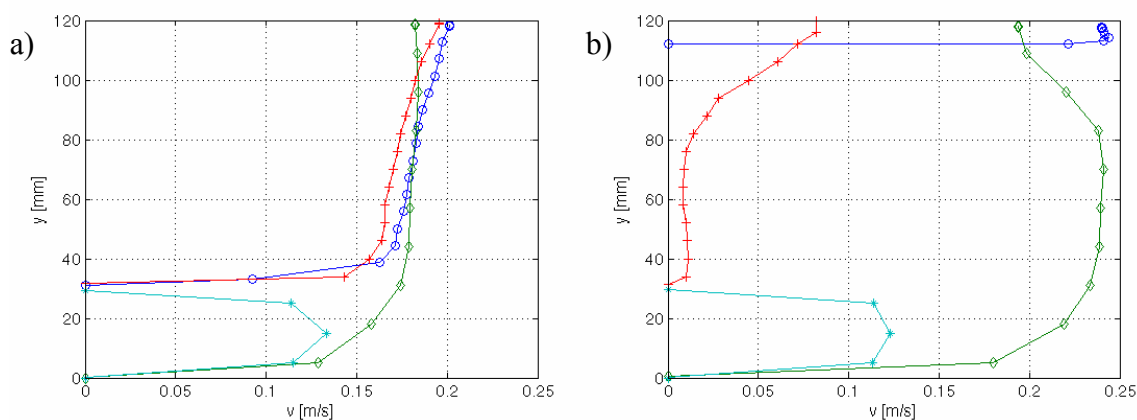
### Modellförsök



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.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

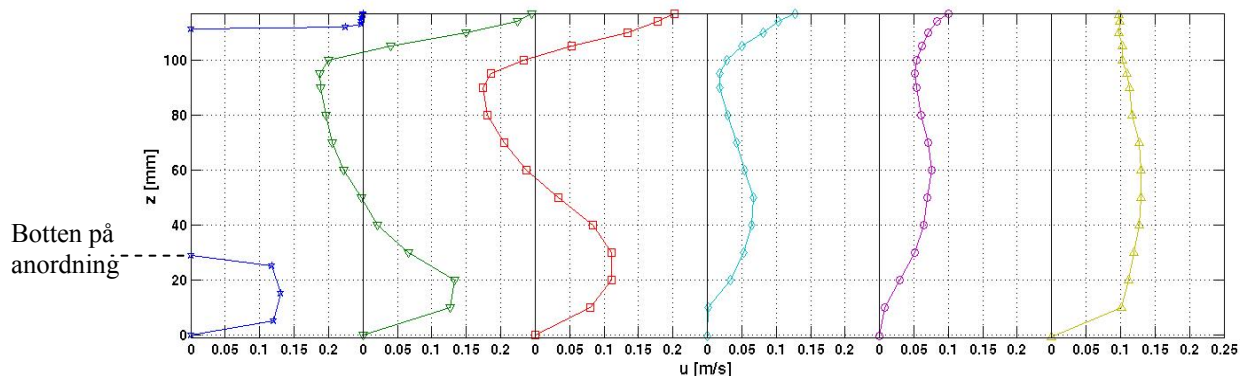


**Figur 5: Hastighetsprofiler i och kring modellen av lockvattenanordningen utan förhöjning (a) och med förhöjning (b). ○: hastighetsprofil över förhöjningen, +: hastighetsprofil i inloppet till lockvattenanordningen, ◇: hastighetsprofil i kanalen utanför lockvattenanordningen och \*: hastighetsprofil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

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



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

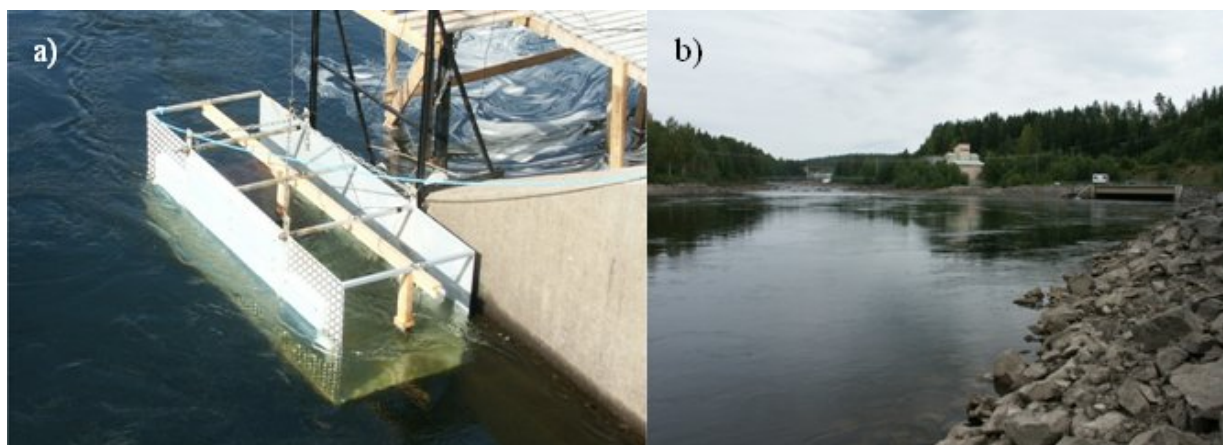
### Fältförsök

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.

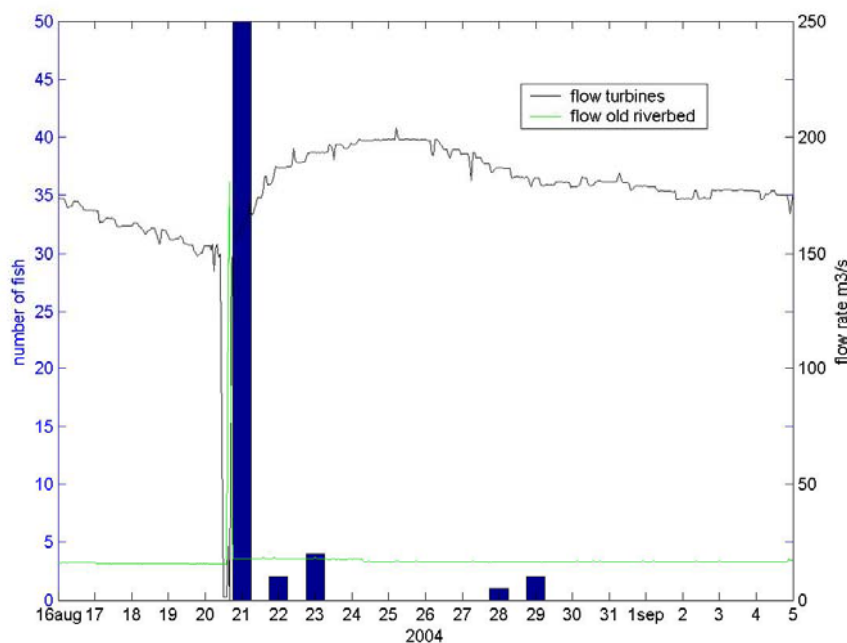
Lockvattenanordningen övervakades med undervattenskameror och efter försöken studerades upptagningarna och antalet fiskar som simmade igenom räknades. Det visade sig att ytterst få fiskar simmade genom slussen, förutom en dag. Det var dagen efter ett stopp i kraftstationen; jfr figur 8. Andra observationer 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 skrämna fisken och ii) att den bör ligga i vattnet dygnet runt. Strömbilden vid utloppet från kraftstationen är väldigt tidsberoende och komplext så därför bestämdes att lockvattenanordningen även bör testas på ett ställe med en enklare strömbild 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.

## "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"



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  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ . 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,

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"**

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.



**Figur 9: Flytande lockvattenanordning vid Hednäs kraftstation i Åbyälven.**

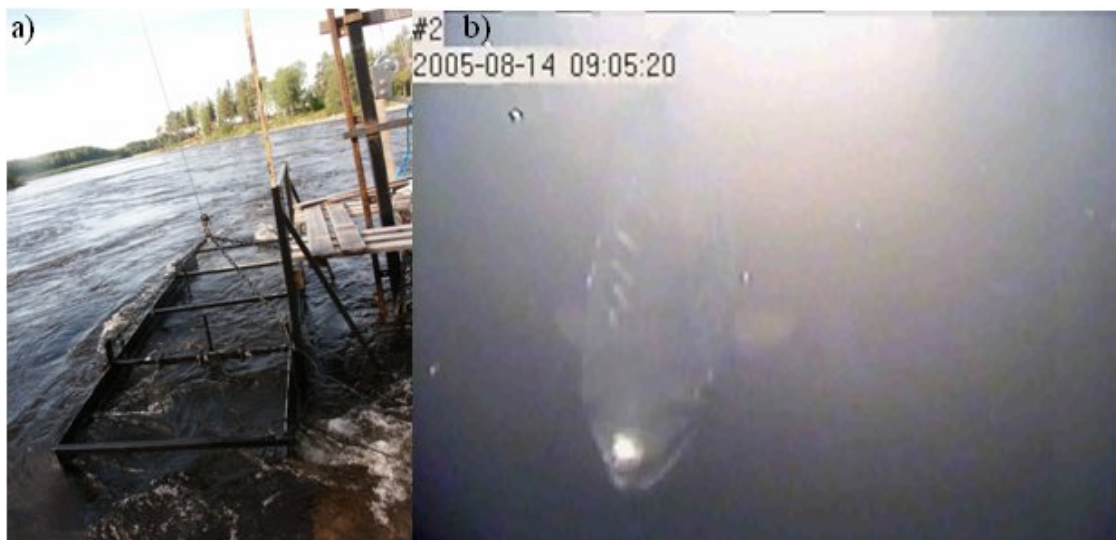
I Sikfors repeteras försöket från föregående år med några förändringar. Lockvattenanordningen målas helt svart för att inte skrämma fisken (jmf figur 10a), den låg i vattnet dygnet runt och togs endast upp en gång per vecka för byte av förhöjning. Försöket pågick under tre veckor (9/8-1/9). Första veckan används förhöjningen (9-17/8), andra veckan används inte förhöjningen (20-25/8) och sista veckan används förhöjningen igen (25/8-1/9).

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 åt fel håll eller vänder och simmar ut räknas inte med.

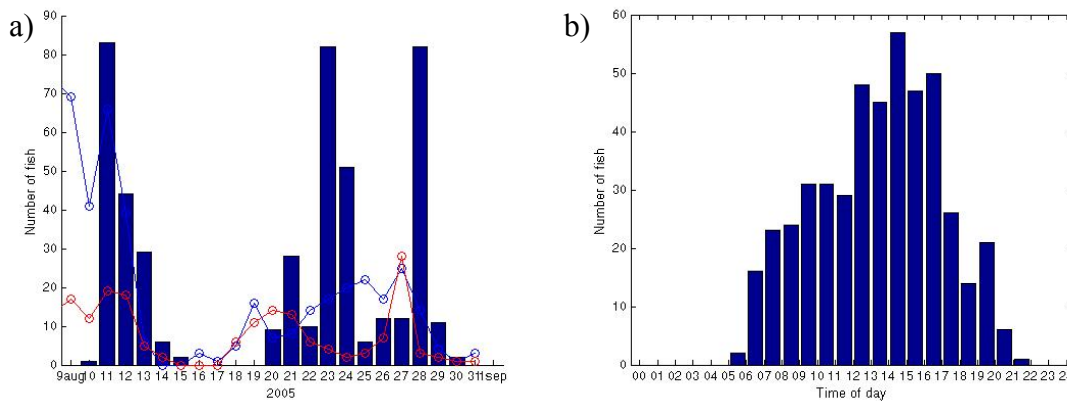
Det passerade totalt 470 fiskar genom lockvattenanordningen under försöket. Antalet fiskar som simmade igenom jämförs med hur mycket fisk som passerade fisktrappen som är placerad vid dammen och resultatet visas i figur 11a. Antalet fiskar som simmade genom anordningen följer samma trend som de som simmade 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.

"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"

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 t. ex genom 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 genom 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.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"****Framtid**

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

***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 uppstyning av strömningen genom anordningen utan förhöjning. Detta skulle kunna attrahera fisken på ställen som Sikfors, där strömningen är speciellt kaotisk. 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 universiteterna knutna till programmet. Detta har även lett till att ett nytt kompetensområde skapats på avdelningen för strömninglära på LTU som 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 är knutet 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.

---

**"Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten"*****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 LTU 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 referensgruppsmöte, där sommarens försök diskuterades. Deltagare var; Jan-Erik Almqvist (Uppfinnare), Cristian Andersson (Elforsk), Lars Bergdahl (Chalmers), Fredrik Engstöm (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 referensgruppsmöte, där projektet diskuterades. Speciell vikt las vid att diskutera fältförsöken 2005 och eventuella fortsatta fältförsök. Deltagare var; Jan-Erik Almqvist (Uppfinnare), Cristian Andersson (Elforsk), Fredrik Engstöm (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**

1. 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**

2. 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**

3. Perman M., Sandqvist A., Stenvall J., Forsell J. & Öhrvall F. (2003). Lokal Strömningsacceleration. Projektkurs i vattenkraft, Luleå tekniska universitet.
4. 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.
5. Wassvik E. Anordning för lockvattenströmmar vid vattenkraftverk. SMD (Svenska Mekanikdagar) 13-15 Juni 2005, Lund, Sverige.

### **Referens**

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

# **ELFORSK**

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB  
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31  
Telefon: 08-677 25 30 Telefax: 08-677 25 35