UPPSALA
UNIVERSITET

Hur påverkas migrerande fiskar av vattenkraftverk och dammar?

Erik Johansson

Independent Project in Biology
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, vårterminen 2015
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

Sammandrag

Ett vattenkraftverk producerar elektricitet genom att turbiner drivs av vattnets lägesenergi som omvandlas till rörelseenergi. De flesta kraftverk drivs av antingen en Francisturbin eller en Kaplanturbin. I Sverige finns ungefär 2100 vattenkraftverk och de står för hälften av den totala elproduktionen i landet. Turbiner utgör en fara för fisk uppströms kraftverket då fisken riskerar att skadas eller dödas av de rörliga delarna i turbinen. Kaplanturbinen har en lägre mortalitet än Francisturbinen.

Även det skyddsgaller som skyddar turbinerna från drivved och annat material utgör också en risk för fisken uppströms kraftverket. Galler med för små hålrum kan fisken fastna i och dö på grund av det stora vattentrycket då de inte klarar av att simma därifrån. Även vid byggnation av vattenkraftverk ovanför lekplatsen kan påverka fisken då flöden ändras och de tidigare lekplatserna får en annan struktur. Kraftverksutbyggnad kan också sära på populationer och genetiska skillnader kan uppstå. Namsenlaxen är ett bra exempel på en laxpopulation som skildes från den atlantiska laxen för över 9000 år sedan av naturliga orsaker och som anpassat sig att leva hela sitt liv i vattendrag.

Fisk som ska uppströms för lek fastnar ofta nedströms kraftverket oavsett om det finns en fisktrappa/omlöp eller inte. Problemet med fisktrapporna eller omlöpen är att fisken inte lockas dit utan stannar kvar i den starka strömmen som kommer från turbinerna. Genom att anpassa vattenmängden och öka flödet från fisktrappan eller omlöpet är chansen större för fisken att hitta dit. Ett omlöp är den bästa konstruktionen då dessa fungerar för alla arter.

De flesta vattenkraftverk har idag tillstånd genom den äldre vattenlagen från 1918 som är bristfällig ur ekologisk synpunkt. Genom EU:s ramvattendirektiv kan dessa vattenkraftverk behöva omprövas enligt nuvarande lagstiftning (Miljöbalken) vilket skulle innebära att alla kraftverk skulle utrustas med någon typ av faunapassage eller behöva rivas om tillstånd inte kan ges.

Inledning

Vattenkraft är den näst största energiproducenten i Sverige efter kärnkraften. Den står för nästan hälften av den totala elproduktionen. Vattenkraften är alltså en viktig energikälla för Sverige och med dagens elanvändning är vi helt beroende av den. Ungefär 85 % av Sveriges alla vattendrag är exploaterade av kraftverk och de flesta, 90 %, har tillstånd enligt 1918 års vattenlagstiftning där inget krav på någon typ av miljöanpassning finns (SOU 2013:69).

De få som har tillstånd enligt miljöbalken, cirka 2 %, har krav på sig att ta hänsyn till miljön och anpassa verksamheten så att miljöskadorna blir så små som möjligt (SOU 2013:69). En anpassning kan till exempel vara en faunapassage där fisk kan vandra upp- och nedströms. Problemet är alltså att vi har en bra lagstiftning men har de tillstånd enligt äldre vattenlagen (ÄVL) är det svårare att kräva dem att utföra några ändringar (SOU 2013:69). Den som äger

företaget kan själv ansöka om att få omprövas och få ett tillstånd enligt miljöbalken istället vilket kan locka kunder, en omprövning av tillståndet kan också ske då en om- eller nybyggnation ska ske på kraftverket då det prövas enligt miljöbalken istället (Miljöbalken).

Vattenkraft har länge ansetts vara en grön energikälla, mest för att koldioxidutsläppen näst intill är obefintlig (EON 2015), men är den verkligen så grön? Ett kraftverk skapar många förändringar i miljön. Dammbyggnaden skapar en konstgjord sjö uppströms kraftverket vilket väsentligt påverkar och förändrar den tidigare miljön. Vattenflödet i vattendraget ändras, från fors till nästintill stilla vatten. Det kan även skapas torrfåror nedströms kraftverket då för lite vatten släpps igenom (SOU 2013:69). Om en damm skulle spricka skulle det kunna ha katastrofala följder för städer, människor och djur nedströms dammen.

Lekvandrande fisk, till exempel ål och laxfiskar, är beroende av att vandra upp i vattendrag för att kunna reproducera sig eller för föda (Kottlelat & Freyhof 2007). I de flesta fall kommer de mötas av ett totalt stopp när de ska uppströms och många vattenkraftverk har någon typ av faunapassage där fisk kan ta sig förbi kraftverket (Calles *et al.* 2013). De flesta av dessa passager är dock dåligt konstruerade och fisken hittar inte till dem eller att fisken inte kan passera. Är det fisk som ska ta sig nedströms möts de istället av en turbin eller ett skyddsgaller som skadar eller dödar dem (Greenberg *et al.* 2012, Marhon *et al.* 2014).

Syfte

Syftet med denna uppsats är att undersöka hur lekvandrande fiskar påverkas av vattenkraftverk och dammar. Den svenska lagstiftningen kommer studeras och hur bra den är på att styra verksamheten till en mer miljöanpassad lösning. Denna miljöanpassning kan se ut på olika sätt och fungera olika bra, detta kommer också att undersökas.

Hur fungerar ett vattenkraftverk?

Ett vattenkraftverk producerar el genom att vatten driver en turbin som är kopplad till en generator. Lägesenergi omvandlas till rörelseenergi då vatten från högre höjd faller mot en lägre höjd. Kraftverken är oftast placerade på en plats i vattendraget där fallhöjden är som störst för att få ut så mycket energi som möjligt. Vatten strömmar via en tunnel ner till turbinen som då börjar rotera (Energimyndigheten 2011, EON 2013). Generatorn som är kopplad till turbinen börjar generera spänning som förs vidare till en transformator som omvandlar den till högre spänning så att den kan skickas ut i kraftnätet. Den genererade spänningen kan inte lagras. Därför lagras vattnet istället. Stora vattenmagasin uppströms kraftverket skapas genom att man dämmer upp så att vatten ansamlas. Kraftbolagen styr elproduktionen efter efterfrågan och genom att släppa på den mängd vatten som behövs genom att öppna och stänga en dammlucka. Vattnet som passerat turbinen fortsätter

nedströms kraftverket. Dammen har också ett utskov som släpper igenom vatten då vattenmängden blir för hög i magasinet (Energimyndigheten 2011, EON 2013).

Olika typer av turbiner
Det finns flera olika turbiner som används idag men dem två vanligaste är Francis- och Kaplanturbiner. Francisturbinen är den vanligaste förekommande turbinen. Den kan arbeta på många olika fallhöjder från tio meter och uppåt, vilket gör att den fungerar att använda på många olika ställen. Kaplanturbiner används vid fallhöjder på två till 20 meter. Det är en propeller som man kan ställa in vinkel på och som snurrar när vattnet strömmar igenom (Energy 2015).

Vattenkraft i Sverige

Det första moderna kraftverket i Sverige byggdes 1891 (EON 2015) men det var 1909 som statliga Vattenfall bildades och utbyggnaden av vattendragen tog fart. I dagsläget står vattenkraft för lite mindre än hälften av den totala producerade elen i Sverige. Vid ett normalår produceras 65 terawattimmar (Svensk energi 2014). Detta motsvarar 13 000 000 hushåll om de har en elförbrukning på 5000 kilowattimmar per år vilket är en normalförbrukning för en villa (EON 2014). Det finns ungefär 2100 kraftverk i Sverige (Svensk energi 2014) och av dessa räknas 208 stycken som storskaliga, det vill säga en effekt på mer än tio megawatt (SOU 2013:69). De storskaliga kraftverken står för ungefär 60 terawattimmar per år, alltså ungefär 90 % av all vattenkraftproduktion (Näslund *et al*. 2013). 1030 av kraftverken har en effekt på mindre än 125 kilowatt (Näslund *et al*. 2013) vilket kan jämföras med ett vindkraftverk som har en effekt på 3 megawatt (Svensk energi 2015). Dessa 1030 kraftverk kan alltså bytas ut mot cirka 40 moderna vindkraftverk.

Vattenkraft och fiskars vandring

I en rapport från Havs- och Vattenmyndigheten (Näslund *et al.* 2013) redovisar de att endast 10 % (cirka 200 stycken) av alla vattenkraftverk i Sverige har en uppströms passage för fisk och troligen ännu färre för nedströms passage (Näslund *et al.* 2013). Båda vägarna är viktiga för flera olika fiskarter. Fiskar har flera anledningar till att migrera, till exempel kan de migrera för lek, för tillväxt och födosök. De fiskarter som har studerats mest är lax (*Salmo salar*) och ål (*Anguilla anguilla*). Dessa är exempel på lekvandrande fiskarter (Kottlelat & Freyhof 2007, Claudia *et al.* 2013). Dessa arter måste kunna ta sig upp, ålen för föda och laxen för lek. Tvärtom gäller att ålen måste kunna ta sig ned till havet för att leka och laxen för att äta upp sig inför leken.

Kraftverksdammarna påverkar också det naturliga vattenflödet. De naturliga forsarna försvinner vilket stör fiskens migration när vattnets flöde ändras från högt till lågt beroende på hur mycket vatten som kraftverket släpper igenom (Ugedal *et al.* 2008). Vattentemperatur ändras också på grund av uppdämningar och detta kan påverka fisken negativt under vintertid. På platser där isen ligger under vinterhalvåret skyddas fisken från predatorer, till exempel fåglar (Ugedal *et al.* 2008). Studier visar också att fiskar som lever längre norrut sparar mer energi när det är mörkt, vilket blir lägre tid på året på grund av isen. Att isen försvinner gör alltså att fisken har större energiförlust (Ugedal *et al.* 2008). Uppdämningar som påverkar vattenflödet har en positiv effekt för andra fiskarter. Gädda (*Esox lucius*) och gös (*Sander*

lucioperca) gynnas av detta (Kottlelat & Freyhof 2007) vilket i sin tur verkar negativt för lax- och öringyngel då predationstrycket blir högre.

Lekvandrande fiskarter

Många fiskarter vandrar från saltvatten till sötvatten för att leka (anadroma). De kan också leva till sin största del i sötvatten och leka i havet (katadroma). Två av de arter som studerats mest när det gäller vattenkraftens påverkan på fiskar är det den anadroma laxen och den katadroma ålen. Både laxen och ålen har påverkats negativt av vattenkraftexploateringen genom åren. Under 40-talet lekte laxen i ungefär 70 olika älvar i länderna kring Östersjön (Eriksson & Eriksson 1993). Efter vattenkraftexploateringen sjönk antalet älvar som laxen skulle kunna ha möjlighet att leka i. År 1993 fanns det 20 stycken möjliga lekälvar som var anslutna till Östersjön (Eriksson & Eriksson 1993). Rekryteringen av ål har sjunkit med 90 % på ungefär 20 år, en av anledningarna är vattenkraftutbyggnaden (Russon *et al.* 2010).

Laxens vandring

Laxen är en anadrom fiskart. Detta betyder att de leker i sötvatten men lever till största delen av sitt liv i saltvatten. Laxen leker på olika tider beroende på vilken plats de befinner sig. I Sverige leker laxen i november. Smoltifiering (när laxen för första gången vandrar mot havet) sker när de når en längd av 100-150 millimeter (efter två till tre år) och börjar vandra mot havet på våren när temperaturen börjar stiga upp mot åtta grader (Kottlelat & Freyhof 2007). När vårflod och vattnets grumlighet blir hög börjar de flesta sin vandring. Lekvandring tillbaka till sin födelseplats (homing) sker när de spenderat en till fyra vintrar till havs. Efter leken dör de flesta hanar. Honor kan däremot leka flera gånger innan de dör. Uppströms vandring från hav eller sjö styrs av att fisken måste lägga sina rom i sötvatten. Den återvänder till sitt hemmavatten för att leka då fisken lärt sig att denna plats fungerar som en bra plats att växa upp på. Om vandringen störs av en uppdämning kan reproduktionen bli utesluten (Kottlelat & Freyhof 2007).

Ålens vandring

Ålen leker i saltvatten men lever till största delen av sitt liv i sötvatten. Detta beteende kallas att ålen är katadrom. Ålen leker i Sargassohavet och när ynglens kläcks driver de med vattenströmmar till Europa (Havs- och vattenmyndigheten 2014). De vandrar sedan upp i sötvattensjöar genom att ta sig upp för vattendrag. Ålen stannar sen i sötvatten för att äta och växa sig större. Ålen blir kvar i två till 20 år innan den börjar sin vandring till havet. Väl i havet följer de sedan havsströmmarna tillbaka till Sargassohavet för att leka. När de lekt färdigt dör ålen (Havs- och vattenmyndigheten 2014).

Problem vid nedströms passage

10 % av kraftverken har en fisktrappa där fisk kan ta sig upp förbi kraftverket (Calles *et al.* 2013). Problemet är när fisken ska ta sig nedströms då de flesta vattenkraftverk inte har en struktur som gör att fisken lockas att gå runt kraftverket. De möts istället av turbiner eller av skyddsgaller som i värsta fall dödar fisken.

Mortalitet i turbiner
De två vanligaste turbinerna som används idag är Kaplanturbiner och Francisturbiner. Skillnaden är att en Kaplanturbin har få blad och ett större utrymme för fisken att ta sig igenom. Francisturbinen däremot har flera blad och litet mellanrum mellan bladen, och speciellt större fisk har svårt att ta sig igenom (Greenberg *et al.* 2012).

Flera studier visar på att Francisturbinen har en högre mortalitet än Kaplanturbinen. Calles *et al.* (2012) utförde en studie med smolt och hur de klarade sig genom turbinerna i två olika kraftverk där det ena använde sig av Kaplanturbiner och det andra Francisturbiner. De kom fram till att 68 % av de smolt som gått genom Francisturbinen dog och 31 % som dog i Kaplanturbinen. Vidare visar Greenberg *et al.* (2012) i en studie bland annat mortaliteten i två kraftverk liggandes i samma älv, Emån, där ena kraftverket använder sig av en Kaplanturbin och det andra av Francisturbiner. De kom fram till att dödligheten i Francisturbinen låg på 68 % av de smolt som gått genom, medan 31 % dog i Kaplanturbinen, samma resultat Calles *et al.* (2012) kom fram till.

I ett vattenkraftverk i älven Ätran i Sverige där Francisturbiner används var mortaliteten av ål i turbinerna på ungefär 50 % (Calles *et al.* 2010). Ålen dör direkt eller senare på grund av de skador som uppkommer vid passagen av turbinen. Denna studie ägde rum på det andra vandringshindret av sex. Att 50 % klarade sig förbi detta kraftverk medför att för varje hinder dör eller skadas en stor andel ål. I en liknande studie i älven Meuse där två kraftverk använder sig utav Kaplanturbiner, låg dödligheten under 2002 och 2004 på ungefär 20 % vid båda kraftverken, vilket är mycket lägre än i studien med Francisturbinen (Winter *et al.* 2007, Calles *et al.* 2010). Detta visar att Kaplanturbiner medför en lägre mortalitet än vad Francisturbinerna gör. Vid om- eller nybyggnation bör Kaplanturbinerna vara den bästa möjliga turbinen att använda (Calles *et al.* 2013).

Storleken har betydelse hur bra fisken klarar sig genom turbinen (Calles *et al.* 2010). Större ålar klarar sig sämre än små ålar då de löper större risk att bli träffade av rörande objekt inne i turbinen. Medelstorleken på ål ökar, vilket kan bero på att densiteten ål minskar vilket leder till en lägre konkurrens om föda, vilket kommer göra att fler individer kommer få det svårare i passage av ett kraftverk (Calles *et al.* 2010).

Mortalitet vid skyddsgaller
Ovanför turbinerna är galler uppsatta för att skydda turbinerna från skräp och bråte. De ska också verka för att fisk inte ska ta sig in. Det finns en skillnad i storleken på gallrets hålrum mellan olika kraftverk, oftast 200 eller 300 millimeter. Detta kan verka som en dödsfälla för fisken då trycket från vattnet ner i turbinen ibland är så pass högt att fiskarna inte klarar av att simma därifrån utan fastnar och dör (Marohn *et al.* 2014).

Vid kraftverk där 200 millimeter hålrum används klarar bara små individer, i detta fall ål, att ta sig igenom. I Calles *et al.* (2010) studie var det 16 av 35 märkta ålar (46 %) som klarade sig genom gallret, resterande dog för att de inte klarade av att simma därifrån. När de rensade gallret hittade de dessutom 250 omärkta ålar som också fastnat. Storleken på de ålar som fastnat i gallret låg på över 650 millimeter. Då de större ålarna är honor, är det nästan bara de som fastnar i gallret. Hanar blir runt 45 centimeter (Marohn *et al.* 2014) och simmar alltså igenom gallret. Enligt Marohn *et al.* (2014) var det bara 13 % av de ålarna de fångat, inför studien, mindre än 700 millimeter och de flesta av dem var hanar. Även fast det studerade kraftverket har en fiskväg så var det ändå 32 % av de märkta ålarna som dog i gallret.

Vid ett kraftverk i älven Meuse använder de sig av ett galler med 300 millimeter hålrum. Där klarade alla individer sig av ta sig genom gallret. Efter gallret väntade dock en turbin (Kaplanturbin) där 30 % av fiskarna dog (Winter *et al.* 2007). Hade gallret haft hålrum på 200 millimeter hade en större del av individerna dött då sammanlagda dödligheten blivit högre än 30 %. Hade både galler och turbin utgjort en fara för fisken hade ungefär 50 % dött i gallret (Calles *et al.* 2010) och av de som klarat sig genom gallret hade 30 % dött av turbinerna (Winter *et al.* 2007). Av 50 fiskar skulle alltså 32,5 fiskar dött (65 %) om gallret haft ett större hålrum.

Vattenkraftsutbyggnad ovanför lekplatsen

Vattenkraften påverkar också miljön nedanför kraftverken. Att bygga ett vattenkraftverk ovanför lekplatsen påverkar också fisken negativt. Flöden som stiger eller sjunker påverkar den naturliga geologiska karaktären så som lekplatser och ståndplatser. Vandringen kan också störas på grund av de onaturliga flödena.

I en stor studie av Ugedal *et al.* (2008) mellan åren 1981 och 2005 undersökte de hur laxar och laxyngel påverkats av ett vattenkraftverk som byggdes i älven 1987. Detta kraftverk låg ovanför de lekplatser som observerats. De elfiskade två områden, en metod där ström bedövar fisken som sedan håvas in, i älven och räknade ut densiteten laxyngel per 100 kvadratmeter. Mellan 1981 och 1984 var medelantalet laxyngel på de båda platserna 62 respektive 54 fiskar. Efter kraftverksutbyggnaden sjönk antalet laxyngel på platserna och mellan 1992 och 1996 var det bara 13 laxyngel per område, en sänkning på ungefär 20 %. Några år senare ökar dock antalet efter 2001 då 39 respektive 65 individer hittades på samma platser. Vad ökningen beror på diskuteras inte av Ugedal *et al.* (2008) men ökningen kan bero på att laxen kan anpassa sig till en ny omgivning efter ett antal år.

Vidare undersökte de också hur många vuxna laxar som fångats av fiskare under perioden 1981 till 2005 där de tittat på fångstrapporter. Skillnaden i antal fångade laxar efter exploateringen skilde sig beroende på vilken del av älven som undersöktes. Längre upp i vattendraget (närmare kraftverket) blev fångsterna inte lika stora. Mellan åren 1996 och 2000 varierade fångsterna mellan 31 och 64 laxar där man innan kraftverket byggdes fångat mellan 100 till 210 fiskar (Ugedal *et al*. 2008). Denna skillnad kan bero på att några år tidigare då laxynglen var så få att antalet vuxna laxar några år senare blivit färre. Men med hjälp av ett catch-and-release-program (fisken släpps tillbaka) i denna del av älven har gjort att antal fiskar ökat.

Utbyggnaden av kraftverket har alltså haft en påtaglig effekt på laxen även om det byggs ovanför lekplatsen. Orsaken kan vara att flödet ändras och platserna för lek inte blir optimala för laxen. Laxen verkar dock kunna anpassa sig och med ett fiske som utgör en mindre belastning på bestånden kan göra att antalet fiskar inte påverkas lika kraftigt.

Fragmentation kan orsaka genetiska skillnader

Det finns i Europa idag ett flertal populationer av lax som lever hela sitt liv i sötvatten (eng. landlocked salmon). Ett exempel från Sverige är laxen som lever i Vänern. Det finns också

åtta populationer i Ryssland, en i Finland och två i Norge som lever på samma vis. Dessa populationer är patadrom, alltså att de leker i vattendrag men lever största delen av sitt liv i sötvattensjöar. En population i Norge skiljer sig från dessa genom att den lever i rinnande vatten hela sitt liv (Sandlund *et al.* 2014).

Namsenlax, som också kallas småblank, är en population som lever i älven Namsen i Norge. Den har levt skilt från den havslevande laxen i 9500 år. Sandlund *et al.* (2014) har undersökt genetiska skillnader mellan den havslevande atlantiska laxen och Namsenlaxen, och även inom dess population. De kom fram till att småblank har 50 % lägre genetisk variation än den havslevande laxen, vilket inte är så konstigt då inga immigranter tillför nytt genetiskt material. Populationen har dessutom särats på genom dammutbyggnader och kraftverk som pressar beståndet än hårdare. Kraftverksutbyggnad påverkar inte bara anadroma eller katadroma arter, den påverkar också arter som är stationära i älven. I detta fall kan utbyggnaden i värsta fall göra att Namsenlaxen dör ut helt.

Olika miljöanpassningar

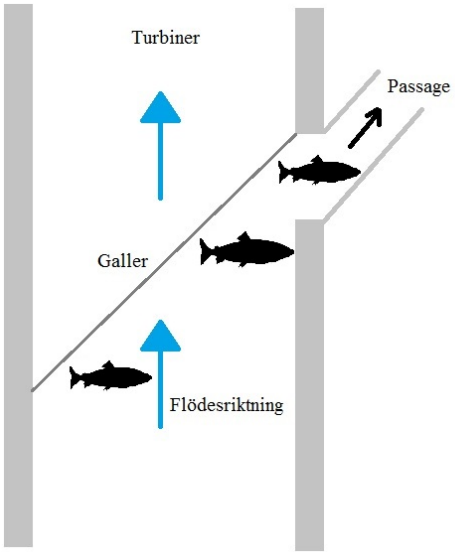
Det finns flera sätt att miljöanpassa ett vattenkraftverk. En teknisk fiskväg kan konstrueras, dessa är oftast anpassade för en viss fiskart där de flesta är anpassade för laxfiskar. En annan anpassning kan vara ett omlöp eller inlöp. Dessa är byggda som en naturlig fors eller en att en restaurering sker av den tidigare huvudfåran, som ofta varit en torrfåra.

För att en fisk ska hitta till fisktrappan behöver vägen dit uppfylla två kriterier. Det måste vara en plats där den största delen fisk vandrar förbi och att de hydrologiska förhållandena ska vara optimala (Lindberg *et al.* 2013). Problemet i många lägen är att fisktrappan inte lockar till sig fisk (Lundqvist *et al.* 2008). De går oftast mot den starkaste strömmen och den brukar komma från kraftverkets utlopp (Lundqvist *et al.* 2008). Uppdämningen ligger också i huvudfåran där fisken vanligen hade vandrat. Vid ett omlöp runt ett kraftverk valde fiskarna att börja vandra upp när vattenflödet låg på ungefär 50 kubikmeter per sekund (Lundqvist *et al.* 2008) vilket visar att de kräver ett högt flöde. När vattenflödet från turbinen och omlöp är lågt vandrar fisk tillbaka ner i vattendraget, ibland flera kilometer vilket ödslar på energin då laxen inte äter under sin lekvandring. Varför fisken gör detta diskuteras inte, men det kan bero på att när vattenflödet sjunker kraftigt blir förhållandet inte normalt och fisken väljer då att vandra tillbaka för att hitta en annan väg upp. Väl inne i omlöpet måste det finnas forsar för att locka fisken uppåt, i detta fall stannade fisken vid vissa forsar då de kan ha varit för branta. Första forsen har en fallhöjd på sju meter där många fiskar blev stående, speciellt när flödet av vatten var högt, och kan möjligen ha väntat på de bästa förutsättningarna (Lundqvist *et al.* 2008). Längst upp i omlöpet finns en fisktrappa där 30 % av fiskarna går upp (medelvärde på de tio åren studien utfördes).

Problemet i många älvar är att det är fler än ett hinder. I Emån, en av Sveriges mest kända lax- och havsöringälvar för fiske, finns flera vandringshinder. Problemet i detta är att alla fiskvägar runt hindren måste vara effektiva. Calles & Greenberg (2009) har gjort studier på hur effektiva fiskvägarna i Emån är. De kom fram till att effektiviteten i genomsnitt per fisktrappa var 81 % av fiskarna som klarade sig. Detta medför i slutändan att av de individer som tagit sig upp för alla åtta fisktrappor är enbart 19 %. Fisktrappan måste också vara så pass effektiv att fisken hinner ta sig upp för att inte missa leken (Calles & Greenberg 2009).

Fisktrappans effektivitet kan vara 100 %, men om 50 % av fiskarna missar leken på grund av att de inte klarat av att passera tidigare har fisktrappans syfte inte uppnåtts.

En studie från Emån utförd av Greenberg *et al.* (2012) undersökte de bland annat skillnaden mellan två kraftverk i älven. Det ena kraftverket använder sig av Francisturbiner (övre kraftverket) och det andra av en Kaplanturbin (nedre kraftverket). De kom fram till att 68 % av de smolt som gått genom Francisturbinen dog och 31 % som dog i Kaplanturbinen. En annan skillnad mellan de två kraftverken var att alla smolt i övre kraftverket gick genom turbinerna istället för i utskovet medan 50 % valde utskovet i nedre. Skillnaden i vattenflöde genom utskovet kan vara det som lockar mer fisk, då det genomsnittliga vattenflödet för övre kraftverket på 1,4 kubikmeter per sekund och 3,0 för det undre (Greenberg *et al.* 2012). Med detta kan man dra slutsatsen att mängden vatten som släpps på via utskoven är av betydelse då fisken dras med åt den med högre vattenflöde.



Figur 1. Skyddsgaller med lutning som leder fisken till faunapassagen. (Ritat fritt från Hav- och vattenmyndighetens rapport 2013:14)

Lutningen på skyddsgaller (Figur 1) kan påverka om fisken kommer fastna eller inte (Russon *et al.* 2010). Om gallret har en vinkel på 15, 30 eller 45 grader mot strömmen blir mortaliteten lika med noll i de fall där gallret styr fisken till omlöp, fisktrappa eller utskov (Russon *et al.* 2010). Utskovet måste dock ha ett konstant flöde av vatten, annars riskerar fisken att dö i den torrfåra som bildas. Eftersom ålen är en ganska dålig simmare, om den jämförs med laxen, måste den ha hjälp att ta sig bort från gallret, denna hjälp kan vara vinkeln på gallret (Russon *et al.* 2010). I Russon *et al.* (2010) experiment kom de fram till att alla utom en av alla ålarna klarade att ta sig till omlöpet med alla olika vinklar på gallret. Ingen av fiskarna fastnade eller åkte igenom gallret som hade ett hålrum på 12 millimeter (Russon *et al.* 2010).

Svensk lagstiftning

För att driva ett vattenkraftverk måste man ha ett tillstånd (Miljöbalkens elfte kapitel). För att bygga ett nytt kraftverk behövs idag ett tillstånd enligt miljöbalken men de flesta kraftverk och dammar har idag tillstånd enligt den äldre vattenlagen (ÄVL) från 1918, en lag som var exploateringsinriktad med lite tänk på miljön. Av de 3727 vattenkraft och dammar som har tillstånd har endast 73 stycken tillstånd enligt miljöbalken (SOU 2013:69). Miljöbalkens reglering är hårdare och kräver en mer miljöanpassad konstruktion av kraftverken, till exempel en högre minimitappning, den minsta mängden vatten som alltid måste passera kraftverket för att motverka torrfåror. Miljöbalken kräver en minimitappning på 15 % av totalmängden vatten och minimitappning för äldre tillstånd är 5 %. Inom dessa tillstånd är det också möjligt med korttidsreglering, vilket innebär att man snabbt kan stänga av all vattenföring nedströms. Fisken hinner då inte flytta sig utan blir fast i pölar eller i värsta fall utanför vattnet (SOU 2013:69).

I miljöbalkens allmänna hänsynsregler (Miljöbalkens andra kapitel) står det: ”Alla som bedriver eller avser att bedriva en verksamhet eller vidta en åtgärd skall skaffa sig den kunskap som behövs med hänsyn till verksamhetens eller åtgärdens art och omfattning för att skydda människors hälsa och miljön mot skada eller olägenhet.” Vidare ska verksamhetsutövaren välja den bästa möjliga tekniken till sin verksamhet, i detta fall kanske tekniken kan handla om en fungerande faunapassage där alla organismer ska kunna vandra fritt i hela vattendraget (SOU 2013:69). Havs- och vattenmyndigheten håller på att utreda vad den bästa möjliga tekniken ska vara och denna rapport kommer under 2015.

EU:s ramdirektiv för vatten (Rådets direktiv 2000/60/EG) införlivades 2000 vilket ska styra medlemsstaternas förvaltning av deras ytvatten. Vattenverksutredningen (VVU) har gjort en utredning av hur detta ska fungera i Sverige, detta på uppdrag av regeringen (SOU 2013:69). De kom fram till att alla vattenverksamheter ska omprövas genom miljöbalken (SOU 2013:69). Detta skulle medföra att alla som driver ett vattenkraftverk kommer behöva rätta sig efter miljöbalken och gör de inte det så blir verksamheten olaglig. Denna omprövning skulle ta väldigt lång tid, bara vattenkraftverken är 2100 stycken. Sen har vi dammar och markavvattningsföretag där det finns ungefär 10 000 respektive 50 000 stycken som ska omprövas (SOU 2013:69). Problemet är att de stora kraftverken kan kommas prövas först, ofta är det de små som är sämst anpassade för ekosystemet då de ofta ligger i vatten som är väl anpassade för lek. Många kraftverk kommer med omprövning behövas läggas ner på grund av för stora kostnader. Detta kan medföra att det nationella energimålet om 50 % förnybara energikällor i landet försvåras att nå. Dock är det inte de som inte har råd som producerar den största andelen energi och kommer därför inte påverka elproduktionen nämnvärt. VVU har dock gett förslag på att de har tio år på sig att utföra kraven (SOU 2013:69).

Diskussion

Alla studier som studerats visar att problematiken för lekvandrande fisk är stor när det gäller att konstruera ett vattenkraftverk som är väl anpassad för både uppströms och nedströms passage. I de fall där en Kaplanturbin används har dödligheten varit lägre och borde därför föredras framför en Francisturbin (Winter *et al.* 2007, Greenberg *et al.* 2012). Alla platser fungerar dock inte för en Kaplanturbin då de inte klarar av lika höga fallhöjder som en Francisturbin (Energy 2015)

Problemet i många fall är också att de inte har en fungerande konstruktion för nedströmspassage där fisken lockas att gå runt kraftverket, detta medför att fisken antingen skadar sig eller dör i turbinerna (Calles *et al.* 2010, Greenberg *et al.* 2012, Winter *et al.* 2007), eller att de fastnar i skyddsgallret som skyddar turbinerna och dör där (Calles *et al.* 2010, Marohn *et al.* 2014). Genom att konstruera ett galler med en vinkel där fisken tvingas mot ett visst håll kan de flesta av dödsfallen undvikas (Russon *et al.* 2010).

För att locka fisken till fisktrappor eller omlöp för passage uppströms måste vattenflödet från dessa vara hög då fisken brukar simma mot den starkaste strömmen, speciellt laxfiskar (Calles *et al.* 2013), i huvudfåran (Lundqvist *et al.* 2008). Detta kan åstadkommas genom att kraftverken släpper på mer vatten genom dessa passager vissa perioder på året då leken sker, problematiken kring detta är att olika fiskarter leker under olika perioder under året (Calles *et*

al. 2013). Calles *et al.* (2013) rekommenderar att fiskvägen hålls öppen under tio till elva månader under året för att gynna alla arter som ska migrera förbi kraftverket.

De flesta av ålarna som dör i kraftverken är honor eftersom de är större än hanarna (Marohn *et al.* 2014), och har därför större risk för att fastna i gallret eller skadas i turbinerna. Detta kan medföra att färre ägg är tillgängliga för befruktning och reproduktionen får sämre effekt. Med tanke på att medellängden på ålarna också blivit högre kommer andelen av honor som kommer dö vid kraftverken öka (Calles *et al.* 2010).

I Holländska älven Meuse gjordes en studie av Jansen *et al.* (2007) där de jämförde om fisket eller turbinerna gjorde störst skada på ål som är på väg till havet. Två stycken kraftverk är närvarande i älven. En fisktrappa är byggd runt kraftverket och andelen ålar som nådde ända ner till havet var 33,9 %. Om man jämför med både Calles *et al.* (2007) och Winter *et al.* (2007) så var det bara 9,1 % av ålarna som dog genom turbinskador och 16 % som rapporterades in av fiskare. Det som ska läggas till är att flera av ålarna försvann (38 %) och de inte riktigt vet vad som hände med dem. De kan ha blivit offer för turbinerna, dött av naturliga orsaker (till exempel predation) eller att fiskare inte rapporterat in fångsten. Antalet som rapporterar in sin fångst brukar ligga på 75-80 % så estimerat värde kan därför vara ungefär 20 % som dog på grund av fiskare. Det kan diskuteras om skillnaden mellan dessa är att fångade ålar kommer till nytta då människan äter dem, dock kan de turbinskadade ålarna också bli föda för andra organismer i vattnet. Oavsett för ålens bästa är i detta fall turbinerna ett mindre hot än fisket. Detta är också beroende av hur många kraftverk de måste passera, som ofta är fallet, vilket gör att slutliga mortaliteten blir högre än hos fisket. Hur fisket påverkar antal fisk är viktigt att titta på i detta sammanhang då avvägningar ska göras kring vattenkraften. Detta för att jämföra de två stora delarna som påverkar fisken. Det kan också vara viktigt för allmänheten då kraftverkmotståndare ofta kan vara fiskare som enbart bryr sig om sig själv och inte ålens bästa.

Slutsats

Om en passage ska byggas vid ett kraftverk är ett omlöp att föredra. Om passagen är uppbyggt som en naturlig fors runt vandringshindret är den mest optimala lösningen då det fungerar åt båda hållen och åt alla fiskarter. Är den uppbyggd med forsar blandat med lugnflytande delar är det väl anpassat för fisken och om kraftbolagen släpper på ordentligt med vatten kan fisken också lockas till dessa omlöp. Just att locka fisken till den naturliga fiskvägen är det stora problemet. Kraftbolagen vill dock släppa på så lite vatten som möjligt då de förlorar pengar på att släppa på vatten från reservoaren (Williams *et al.* 2012). Genom att placera ingången till passagen intill utflödet från turbinerna lockas fisken till platsen genom att vattenströmmen är starkast från dessa (Calles *et al.* 2013). Kravet på en minimitappning på 15 % är tillräckligt med vattenflöde för att fisken ska lockas upp i passagen (Calles *et al.* 2013). Vid vissa anläggningar fungerar inte att bygga ett omlöp då terrängen inte tillåter det, i dessa fall får man använda någon typ av teknisk fiskväg (till exempel fisktrappa).

Problematiken kring nedåtvandrande fisk är större än för de som migrerar uppströms då de följer strömmen och kommer därför fastna i skyddsgaller eller turbiner (Williams *et al*. 2012). Genom att använda sig av ett skyddsgaller som har en lutning (parallellt mot flödesriktingen) så kommer fisken lockas eller tvingas att simma mot passagen som sedan leder dem till andra sidan kraftverket (Calles *et al.* 2013, Russon *et al.* 2010).

Lagstiftningen är det som i slutändan avgör om kraftbolagen kommer att miljöanpassa eller inte. Som det ser ut nu styrs de inte att använda de bästa teknikerna som finns till förfogande och ekosystemet blir lidande. Om vattenkraftutredningens utredning blir antagen kommer detta verka för att vattendragen och organismerna som lever i dessa kan börja återhämta sig.

Tack

Jag skulle vilja tacka Monika Schmitz för handledning. Ett stort tack till Joakim Wester och Ola Ylikiiskilä för all hjälp jag fått genom er återkoppling på mitt arbete.

Referenser

Calles O, Degerman E, Wickström H, Christiansson J, Gustafsson S, Näslund I. 2013. Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:14.

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

Calles O, Greenberg L. 2009. Connectivity is a two-way street—the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. River Reaserch and Applications **25:** 1268-1286.

Energimyndigheten. 2011. Vattenkraft. WWW-dokument 2011-12-27: http://www.energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/Energibarare/Fornybar-energi/Vatten/Vattenkraft/. Hämtad 2015-04-21.

Energy.gov. 2015. Types of hydropower turbines. WWW-dokument 2015-05-13: http://energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines Hämtad 2015-05-13.

EON. 2013. Så fungerar vattenkraft. WWW-dokument 2013-09-17: http://www.eon.se/om-eon/Om-energi/Energikallor/Vattenkraft/Sa-fungerar-vattenkraft/. Hämtad 2015-04-21.

EON. 2014. Har du normal elförbrukning?. WWW-dokument 2014-09-30: http://www.eon.se/privatkund/Energieffektivisering/energiradgivning/normal-elforbrukning/. Hämtad 2015-05-08.

EON. 2015. Vattenkraft. WWW-dokument 2015-03-05: http://www.eon.se/om-eon/Om-energi/Energikallor/Vattenkraft/. Hämtad 2015-05-13.

Eriksson T, Eriksson LO. 1993. The status of wild and hatchery propagated Swedish salmon stocks after 40 years of hatchery releases in the Baltic rivers. Fisheries Research **18:** 147-159.

Greenberg L, Calles O, Andersson J, Engqvist T. 2012. Effect of trash diverters and overhead cover on downstream migrating brown trout smolts. Ecological Engineering **48**: 25-29.

Havs- och vattenmyndigheten. 2014. Ål (*Anguilla anguilla*). WWW-dokument 2014-02-12: https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/arter/al/artfakta-al.html Hämtad 2015-05-30.

Jansen HM, Winter HV, Bruijs MCM, Polman HJG. 2007. Just go with the flow? Route selection and mortality during downstream migration of silver eels in relation to river discharge. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil **64**: 1437–1443.

Kottelat M, Freyhof J. 2007. Family Salmonidae. Handbook of European freshwater fishes, ss. 395-457. Publications Kottelat, Cornol.

Lindberg D-E, Leonardsson K, Andersson AG, Lundström ST, Lundqvist H. 2013. Methods for locating the proper position of a planned fishway entrance near a hydropower tailrace. Limnologica – Ecology and Management of Inland Waters **43**: 339-347.

Lundqvist H, Rivinoja P, Leonardsson K, McKinnel S. 2008. Upstream passage problems for wild Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) in a regulated river and its effect on the population. Hydrobiologia **602**: 111-127.

Marohn L, Prigge E, Hanel R. 2014. Escapement success of silver eels from a German river system is low compared to management-based estimates. Freshwater Biology **59**: 64-72.

Näslund I, Kling J, Bergengren J. 2013. Vattenkraftens påverkan på akvatiska ekosystem – en litteratursammanställning. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:10.

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

Sandlund OT, Karlsson S, Thorstad EB, Berg OK, Kent MP, Norum ICJ, Hindar K. 2014. Spatial and temporal genetic structure of a river-resident Atlantic salmon (*Salmo salar*) after millennia of isolation. Ecology and Evolution **4**: 1538–1554.

Statens offentliga utredningar 2013:69. Ny tid ny prövning- förslag till ändrade vattenrättsliga regler. http://www.regeringen.se/content/1/c6/22/52/62/0245ed3e.pdf

Svensk energi. 2015. Vindkraft.WWW-dokument 2015-02-16: http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Elproduktion/Vindkraft/. Hämtad 2015-05-04.

Ugedal O, Næsje TF, Thorstad EB, Forseth T, Saksgård LM, Heggberget TG. 2008. Twenty years of hydropower regulation in the River Alta: long-term changes in abundance of juvenile and adult Atlantic salmon. Hydrobiologia **609**: 9-23.

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

Williams JG, Armstrong G, Katopodis C, Larinier M, Travade F. 2012. Thinking like a fish: A key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstruction. River Research and Application **28**: 407-417.