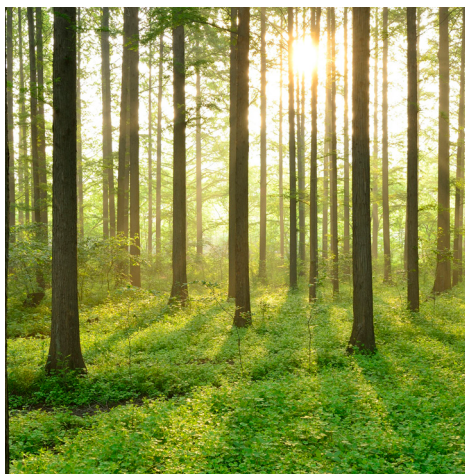


MODELLERING AV FISKVÄGARS BETYDELSE – EN SAMMANFATTNING

RAPPORT 2021:780



VATTENKRAFT

VATTENKRAFTENS
MILJÖFORSKNINGSPROGRAM



Energiforsk

Modellering av fiskvägars betydelse – en sammanfattning

KJELL LEONARDSSON

KARIN NILSSON

ISBN 978-91-7673-780-4 | © Energiforsk okt 2021

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Vattenkraftens utbyggnad har påverkat många fiskbestånd negativt. Förlust av strömhabitat och konnektivitet är de två viktigaste orsakerna till de negativa effekterna.

Det här är en utökad sammanfattning av en rapport, *Modellering av fiskvägars betydelse för fiskbestånden*, Energiforskrapport 2017:765, som beskriver ett antal populationsmodeller för att utvärdera nyetablering eller förbättring av fiskvägar för vandrande fisk. Baserat på modellerna har interaktiva beräkningsverktyg utvecklats. Verktygen kan användas för att utvärdera åtgärder som förbättrar vandringsmöjligheter eller skapar passande strömhabitat för fisk i specifika vattendrag. Verktygen finns tillgängliga på Energiforsks hemsida.

Projektet har genomförts av Karin Nilsson och Kjell Leonardsson (SLU) inom Energiforsks program Vattenkraftens miljöforskningsprogram, som verkar för ny kunskap och en ökad kompetens om åtgärder inför beslut om investeringar i vattenkraft, och EcoHab, som syftar till att ta fram och utvärdera åtgärder som ökar den biologiska mångfalden och förbättrar förbindelsen i reglerade vattendrag. Miljöforskningsprogrammet finansieras av Vattenfall Vattenkraft, Fortum, Sydkraft Hydropower, Statkraft Sverige, Skellefteå Kraft, Holmen Energi, Jämtkraft, Tekniska verken i Linköping, Mälarenergi, Karlstads Energi och Jönköping Energi, och EcoHab finansieras utöver industrifinansiärerna även av Energimyndigheten och Havs- och vattenmyndigheten. SLU har även medfinansierat projektet genom egeninsatser. Energiforsk koordinerar båda programmen.

Projektet har följts av styrgruppen för Vattenkraftens miljöforskningsprogram, bestående av Birgitta Adell och Marco Blixt (Fortum), Erik Sparrevik (Vattenfall), Johan Tielman (Sydkraft Hydropower), Linda Olofsson (Holmen), Susann Handler (Jämtkraft), Jakob Bergengren (Tekniska verken i Linköping), Angela Odelberg (Statkraft), Sandra Åström (Skellefteå kraft) och Olivia Langhamer (Havs- och vattenmyndigheten).

Bertil Wahlund, Energiforsk

Oktober 2021

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Om resultaten

Vattenkraftsutbyggnaden i Sverige har haft stor påverkan på många fiskpopulationer och har medfört minskade möjligheter för vandring och minskad tillgång på strömhabitat. I syfte att förbättra miljön i vattendrag som påverkas av vattenkraft har regeringen beslutat att vattenkraften ska omprövas för att följa moderna miljövillkor. Vattenmyndigheterna har föreslagit konnektivitetsåtgärder vid många kraftverk och dammar för att förbättra förutsättningarna för fiskbestånden, i syfte att nå miljökvalitetsnormen för god ekologisk status och potential.

Vattenkraftsutbyggnaden bygger på dämning av forsar för att skapa fallhöjd som genererar energiproduktion, vilket fått till följd att forsmiljöer för strömlevande fauna är bristvara. Det är därför inte självklart att konnektivitetsåtgärder i alla lägen leder till en avsevärd förbättring för strömvattenlevande fiskpopulationer. För att undersöka om nyetablering eller förbättring av fiskvägar samt habitatåtgärder förväntas leda till att miljöstatusen förbättras föreslås här att man använder matematiska modeller av fiskpopulationer.

Det här är en fristående och utökad sammanfattning av huvudrapporten *Modellering av fiskvägars betydelse för fiskbestånden*, Energiforskrapport 2017:765. Där beskrivs populationsmodeller utvecklade för att utvärdera åtgärder som förbättrar vandringsmöjligheter eller skapar passande strömhabitat för fisk. I tillägg till rapporten finns det separata beräkningsverktyg som baserar sig på dessa modeller, och som kan användas för att utvärdera åtgärder i specifika vattendrag. Verktygen är interaktiva och finns tillgängliga för nedladdning från Energiforsks webb.

Huvudsyftet med rapporten har varit att beskriva de olika modellerna som ligger till grund för modellverktygen och vilka antaganden modellerna baseras på. I modellavsnitten används en hel del formler för att visa hur slutversionerna av modellerna tillkommit. För den som inte är matematiskt intresserad bör det gå bra att läsa rapporten utan att förstå formlerna. Man behöver inte heller ha läst hela rapporten för att kunna använda modellverktygen och det går att välja ut de stycken man är intresserad av. I modellverktygen finns även en del förklarande text gällande vilka antaganden som modellerna baseras på och hur man ska tänka kring parameterisering.

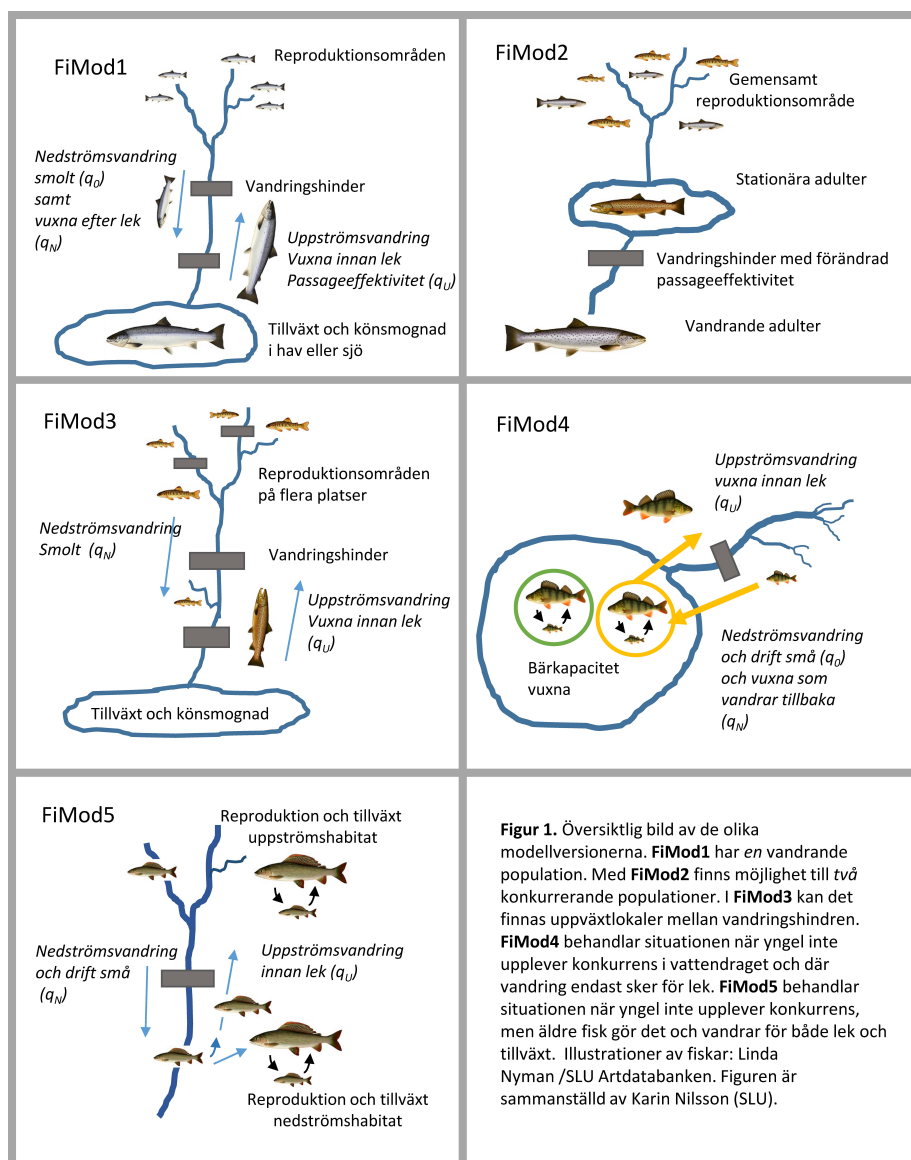
Fokus i rapporten är främst passageeffektivitet och de passageförluster som upp- och nedströmsvandring kan medföra. Här finns möjlighet för olika scenarier, med en eller flera fiskpassager efter varandra. I en av modellerna kan ett nätverk av strömsträckor och passager modelleras. I modellerna förekommer resurskonkurrens antingen i yngelstadiet eller hos adulta fiskar. Vilket alternativ som är aktuellt avgörs av fiskens livshistoria och av bärlkapaciteten för yngel kontra vuxen fisk. Modellerna kan också användas till att undersöka hur habitatförbättring, som att t.ex. att återskapa strömhabitat, kan påverka populationerna. Andra parametrar kan justeras för att reflektera skillnaden mellan olika populationer eller olika arter. En viktig aspekt här är honors fekunditet (antal ägg) och hur den ändrar sig när fisken växer och blir äldre. Med hjälp av

modellerna går det också att undersöka vilka förutsättningar som krävs för att individer med en uttalad vandringsstrategi ska kunna existera.

Modellerna möjliggör analys av många olika scenarier och av den anledningen går det inte att dra några generella slutsatser om vad man kan förvänta sig för resultat. Generella slutsatser tenderar att bli självklarheter, som att få passager med rikliga mängder med strömvattenhabitat ger goda möjligheter till hållbara vandringsfiskbestånd, eller att många fiskpassager med brist på strömvattenmiljöer i habitatet ger låg sannolikhet till hållbara vandringsfiskbestånd. Ett resultat som ofta återkommit i analyserna har varit att effekten av att förbättra passageeffektivitet för nedströmsvandrande utlekt fisk ofta är liten om inte passageeffektiviteten för uppströmsvandrande lekfisk är hög. Ytterligare ett vanligt resultat har gällt förutsättningar för vandringsöring i områden där det redan finns stationär öring. För att en strategi med vandrande öring ska vara framgångsrik i sådana situationer krävs det ofta att vandringsöringarna haft möjlighet att växa sig bra mycket större än de stationära vuxna öringarna.

Beskrivning av populationsmodellerna

Modellerna som beskrivs här representerar olika situationer, där fiskpopulationerna har olika livshistoria och där olika stadier av fiskpopulationen, t.ex. yngel och vuxen fisk, kan befinna sig på olika platser. Det finns fem grundmodeller (FiMod1-5, se figur 1), där reproduktion, uppväxtområden för yngel samt tillväxten hos större individer kan ske i olika habitat, ovan eller nedan vandringshinder. Typexempel på arter som kan passa in på de olika modellerna är lax, asp, öring, harr och abborre. I rapporten används först enklare modellversioner med engångslekare för att visa vilka parametrar som är avgörande för att få hållbara vandringsbestånd. Modellerna blir sen mer komplexa med flergångslekare, men även dessa modeller härleds och redovisas i rapporten. De interaktiva modellverktygen baseras på modeller med flergångslekare.



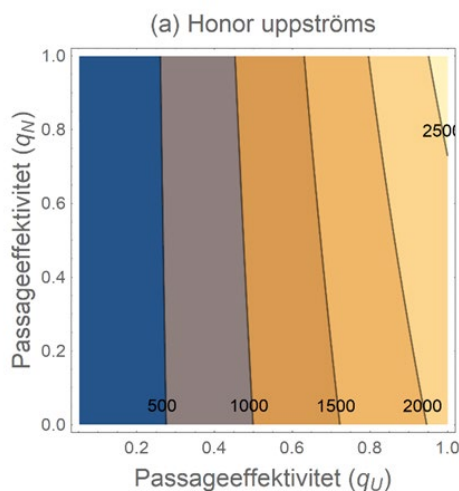
Figur 1. Schematisk beskrivning av de fem grundmodellerna FiMod1-5.

FIMOD1

FiMod1 är den enklaste populationsmodellen och beskriver en population som består av två stadier; juveniler (rekryter) och adulter (vuxna). Täthetsberoende förekommer i det juvenila stadiet som ett resultat av t.ex. resurskonkurrens men saknas i det adulta stadiet. En rekryteringsfunktion av typen Beverton-Holt beskriver täthetsberoendet hos juvenilerna. Med en Beverton & Holt-funktion ökar antal rekryter när antalet lekande honor ökar, men ökningen blir svagare när antalet honor blir högre, och antalet rekryter går mot en asymptot som utgör bärkapaciteten i systemet. Denna modell passar alltså för fiskar där man har ett tydligt täthetsberoende främst i det juvenila stadiet och där t.ex. konkurrens om föda och utrymme begränsar hur många rekryter det kan bli. Det är ett troligt scenario för många populationer av t.ex. lax och öring. Denna modellversion är också tillämpbar på fiskbestånd där de vuxna konkurrerar om lekplatser och där substratbegränsning gör att mängden ägg som "överlever" till utkläckning uppvisar samma form som Beverton-Holt funktionen. Detta scenario skulle kunna gälla för asp.

Exempel på parametervärden som behövs här är; juvenil täthetsberoende överlevnad (bakgrundsöverlevnad), bärkapaciteten i det juvenila habitatet, överlevnad från juvenilstadiet till det först lektillfället och genomsnittlig fekunditet hos lekande honor. Passageeffektivitet nedströms för liten fisk och uppströms för vuxen fisk ingår också och kan anges och/eller varieras. I modellverktyget kan man få fram antal fiskar som en funktion av alla de olika parametrarna. Exempel på resultat man kan ta fram är hur ökad uppströms passageeffektivitet eller bärkapacitet i det juvenila habitatet påverkar antalet vuxna honor vid lek. I rapporten visas exempel på detta där det framgår att om man t.ex. återskapar 10 % habitat av samma kvalitet som redan finns kommer det att bli 10 % mer fisk.

Det finns **en modellversion där fisken endast leker en gång**. Den passar när flergångslekare spelar en liten roll. För denna enkla modellversion finns även beräkningar för hur lång tid det kan ta tills eventuella åtgärder får effekt. Det finns **en annan modellversion med flergångslekare**. Här behövs ytterligare information om hur hög överlevnaden är mellan varje lektillfälle och om hur mycket fekunditeten hos fisk ökar när de blir större – hur mycket mer rom de kan producera – vilket beskrivs av en tillväxtfaktor. Indelning av stadier görs utifrån lektillfällen och ett max antal tillfällen anges. Här finns det dessutom två alternativa modellversioner att välja mellan där de honor som misslyckas med att vandra uppströms för lek antingen försöker vandra upp och leka i samma vattendrag igen kommande år eller så är de inte längre en del av den aktuella vandringspopulationen. I figur 2 ges ett exempel med resultat för lax i Vindelälven.



Figur 2. Förväntat antal vuxna laxhonor uppströms i Vindelälven i som en funktion av olika passageeffektivitet givet specifika parametervärden. Från Figur 7a i rapporten (FiMod1).

FIMOD2

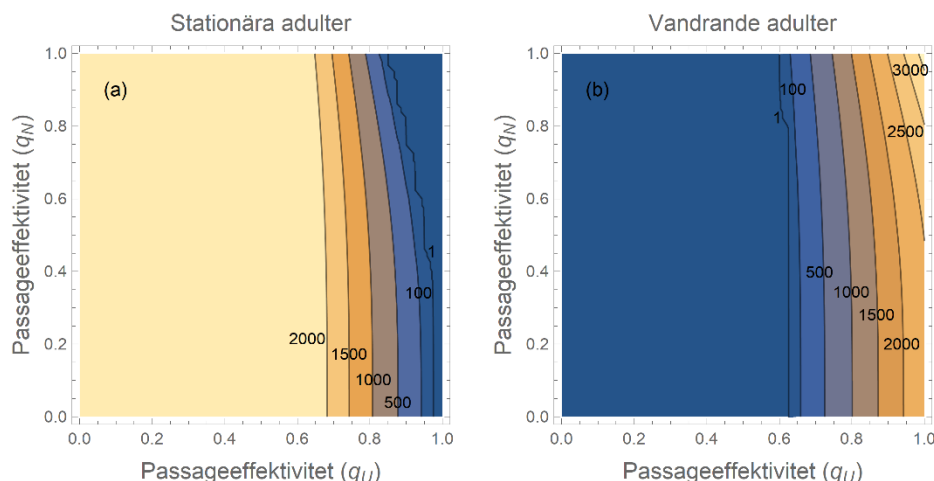
FiMod2 består av flera olika modellversioner, de flesta med **två populationer, där den ena är stationär och den andra vandrar i större utsträckning**. Det går dock att välja att modellera endast **en population**, vilket kan vara relevant om man vill lägga till **resurskonkurrens i det adulta stadiet** (vilket inte är möjligt i FiMod1). I denna modell ingår alltid täthetsberoende i det juvenila stadiet medan det finns olika versioner och val man kan göra gällande situationen i det adulta stadiet.

I rapporten beskrivs först en **enkel modellversion med två populationer** där den ena är stationär och den andra vandrar i större utsträckning. Ynglen från de båda populationerna konkurrerar med varandra, men vi antar att det inte är någon skillnad i deras egenskaper. Den enkla modellen med engångslekare används för att tydligt visa vad som gäller för att en vandringspopulations ska kunna etablera sig. Det krävs att den högre mortalitetsrisken som en längre vandring medför kompenseras av att de vandrande honorna producerar tillräckligt många flera ägg.

Sedan beskrivs en **modellversion med ensamma populationer** – som antingen vandrar eller är stationära - med resurskonkurrens i både det juvenila och adulta stadiet. Det sker återlek men ingen ökning av fekunditeten för varje lektillfälle. Denna version återfinns i verktyget och det går förstås att se på t.ex. effekten av ändrad bärkapacitet i det adulta habitatet, förutom passageeffektivitet och de andra komponenterna.

När bärkapacitet för det stationära adulterna är låg och bärkapacitet i det juvenila habitatet är hög kan det räcka med relativt låg fekunditet för att en vandringspopulations ska etablera sig. Här finns det också möjlighet att lägga in en ökning av fekunditeten för varje reproduktionstillfälle. Även denna version finns att tillgå i modellverktyget.

Ytterligare parametrar som kan behövas här: Vuxenöverlevnad mellan reproduktionstillfällena för det stationära fiskbeståndet uppströms fiskvägen, överlevnad från 0+-stadiet till första lektillfället för fiskbeståndet uppströms fiskvägen och eventuellt en beskrivning av hur fekunditeten ökar per lektillfälle. Situationen med två populationer är främst tänkt för öring, men kan även gälla andra arter. Ett exempel med Siljansöring ges (Fig. 3). Generellt kan FiMod 1-3 passa för t.ex. lax, öring och asp och även harr i vissa fall. För andra arter, och även harr, kan FiMod 4-5 vara att föredra, där yngel drifftar och det saknas täthetsberoende i yngelstadiet.



Figur 3 (a-b). Förväntat antal stationära adulter (a) och vandrande adulter uppströms vandringshindret (b) som en funktion av passageeffektiviteten upp- och nedströms. Stationära öringar har låg fekunditet (500) jämfört med de vandrande (3000) och parametrarna representerar Siljansöring. Motsvarar Figur 19 i rapporten (FiMod2).

FIMOD3

FiMod3 beskriver likt FiMod1 en population med ett yngelstadie där täthetsberoendet följer en Beverton-Holt funktion och ett adult stadie utan täthetsberoende. I modellverktyget för FiMod 3 kan man lägga in vandringshinder och lämpliga lek- och yngeluppväxtområden i en **förenklad karta** när man uppskattar populationstätheter och effekter av förändrad konnektivitet. Här kan det alltså finnas **uppväxtlokaler mellan kraftverken**. Återlekare finns med men alla lekande honor har samma fekunditet (det sker ingen ökning i antalet ägg för varje lektillfälle). Modellen är tänkt att passa t.ex. öring och lax och det finns också möjlighet att lägga in ett tillskott av odlad fisk. Denna modell beskrivs väldigt kortfattat i rapporten eftersom matematiken är i stort sett densamma som i FiMod1.

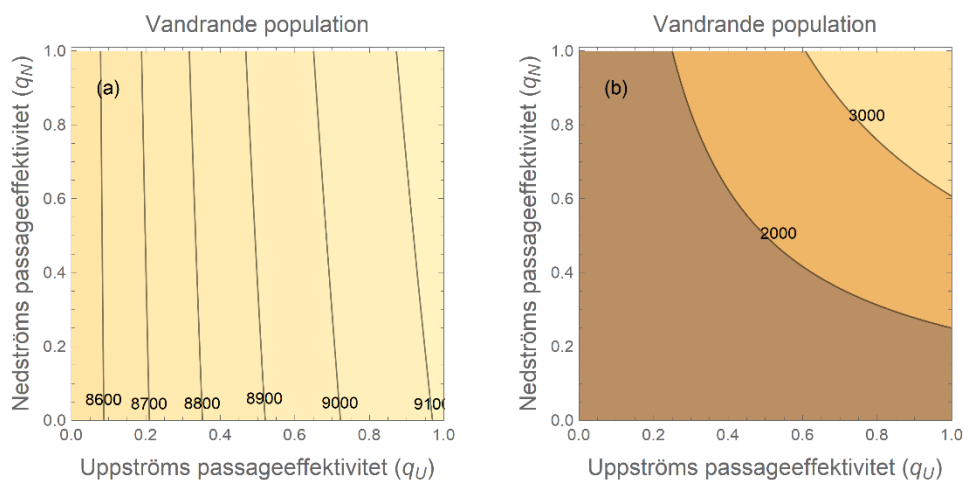
FIMOD4 ABBORRE

FiMod4 ABBORRE beskriver en situation där vuxen fisk kan vandra upp i vattendrag för att leka, vilket kan ge en fördel gentemot de som stannar kvar i sjö eller hav. Ynglen som kläcks i vattendraget drifftar eller vandrar tillbaka till sjön i ett tidigt stadie och ingen resurskonkurrens förväntas uppstå i själva vattendraget. Vi undersöker när ett sådant vandringsbeteende kan vara fördelaktigt och återetableras. Vi har valt att fokusera på vad som är en gynnsam strategi för individen och därigenom en evolutionärt stabil strategi, medan vi också presenterar en del populationstätheter. Två populationer modelleras, en helt stationär och en med vandringsbeteende. Vuxen fisk från båda populationerna antas konkurrera med varandra och täthetsberoendet beskrivs av en logistisk funktion där bärkapacitet i sjön ingår.

Uppströmsvandringen kan ge flera möjliga fördelar, t.ex. kan vattendraget vara en refug från predation. Dessutom kläcks ynglen från vattendraget tidigare, och har därför ha en större storlek än de som kläcks i sjön, vilket kan medföra högre överlevnad. Eftersom de vuxna fiskarna antas vara likadana, förutom med avseende på vandringsbeteendet, kommer det vara den population som producerar flest rekryter som blir mest framgångsrik. Detta beror i sin tur endast på skillnader i överlevnad hos rekryterna. Återigen måste dödligheten som uppstår av vandringshinder kompenseras av en högre överlevnad i en annan fas för att det ska vara gynnsamt.

Det finns här två olika modellversioner beroende på vad man antar om vandringsbeteendet. Avkomman till fisken i vandringpopulationen som misslyckas att vandra uppströms för lek kommer antingen bli en del av populationen med vandringsbeteende (här antas att beteendet är genetiskt betingat), eller så blir den en del av populationen utan vandringsbeteende (här antas att det är ett inlärt beteende). Det senare "homing beteendet" eller "återvändarbeteendet" kan ge samexistens mellan vandrande och icke-vandrande strategier. Även andra faktorer som t.ex. mellanårsvariation och habitatheterogenitet kan möjliggöra samexistens. I figur 4 ges ett exempel på hur den vandrande populationen påverkas av passageeffektivitet givet vissa parametervärden och under antagandet att vandringsbeteendet är genetiskt betingat.

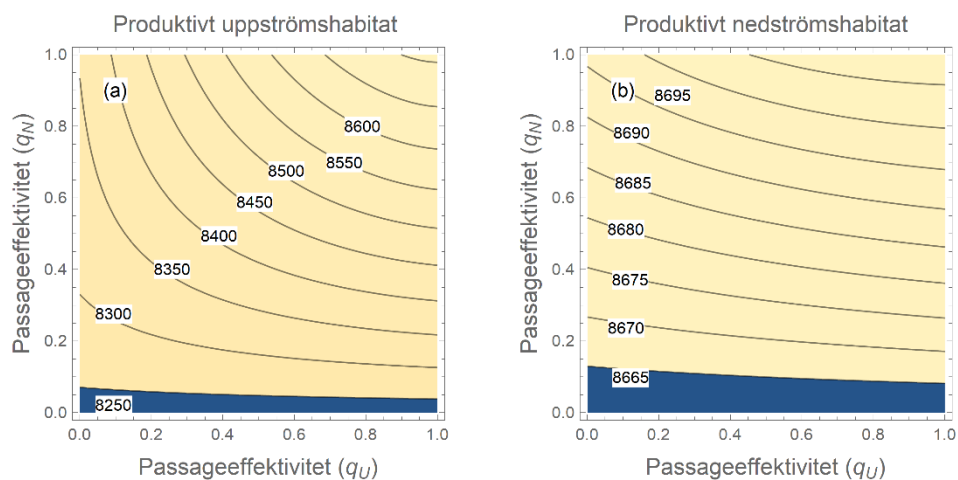
I rapporten och i modellverktyget kan man se på dels vilken strategi som är mest fördelaktig och dels hur tätheten av de vuxna fiskpopulationerna påverkas av olika parametrar. Flera av parametrarna i modellen kan vara relativt svåra att skatta. Det går också att se på den relativa förändringen i antalet fiskar om man har svårt att uppskatta bärkapaciteten till exempel.



Figur 4 (a-b). Adult täthet hos en vandrande population som en funktion av uppströms och nedströms passageeffektivitet, i a) med relativt hög yngelöverlevnad och i b) med lägre yngelöverlevnad. Urval av parametrar för abborre från figur 24 i rapporten (FiMod 4).

FIMOD5 HARR

FiMod5 HARR beskriver en situation där en population har blivit uppdelad av ett kraftverksbygge och där yngel kan drifva nedströms, medan större fisk försöker vandra tillbaka uppströms för tillväxt och lek. Modellen hanterar bestånden uppströms respektive nedströms som delvis skilda. Delpopulationerna delas in i juvenila och adulta stadier där täthetsberoende endast inträffar i de adulta stadierna. Fisken leker flera gånger med det sker ingen ökning av fekunditet för varje lektillfälle. En viss fraktion av juvenilerna i uppströmshabitatet drifvar nedströms. Dessa försöker vandra tillbaka till uppströmshabitatet, men om de misslyckas blir de kvar i nedströmshabitatet och bidrar till den adulta populationen där. Passageeffektiviteten uppströms avgör hur många som tar sig tillbaka uppströms och de yngel som vandrar tillbaka uppströms påverkas inte av konkurrensen i nedströmshabitatet. I rapporten visas exempel med varierande bärkapacitet i de olika habitatet samt passageeffektivitet och fekunditet. Ett av dessa exempel återges i figur 5. En passage gynnar främst det totala antalet vuxna fiskar om det finns större utrymme till tillväxt och högre bärkapacitet uppströms jämfört med nedströms. Typarten som beskrivs i detta avsnitt är harr, men denna modell kan även passa in på t.ex. sik, asp och färna.



Figur 5 (a-b). Totala antalet vuxna fiskar som en funktion av passageeffektiviteter (två delpopulationerna tillsammans). I (a) är bärkapaciteten i uppströmshabitatet högre och i (b) är bärkapaciteten i nedströmshabitatet högre. Urval av parametrar för harr. Från figur 30 i rapporten (FiMod 5).

Val av modell och parameterisering

När täthetsberoendet inträffar påverkar hur man väljer att dela upp stadier och **vilken modell** man använder. Formen på täthetsberoendet eller när det inträffar under livscykeln behöver inte vara artspecifikt, utan är snarare en konsekvens av artens egenskap i kombination med förhållandena i dess miljö. Modellerna utgår inte ifrån något viss geografiskt område, de är väldigt generella i sin struktur och kan tänkas passa för vitt skilda arter och situationer. Det viktiga är använda en relevant modellversion och parametervärden som återspeglar den aktuella situationen.

I ett avsnitt i rapporten beskrivs andra typer av vandring än lekvandring. I rapporten förklaras även begreppet minsta livskraftiga populationsstorlek och det ges ett exempel där det framgår att den minsta livskraftiga populationsstorleken varierar med de förutsättningar, t ex passageeffektivitet, som råder. Av den anledningen föreslår vi att man använder sig av den populationsstorlek som krävs för att den inte ska slås ut av demografiska och slumpmässiga miljövariationer. Små populationer riskerar att ofta slås ut lokalt, med behov av återkolonisation. Fiskpassager skulle ge möjlighet till återkolonisation av utslagna populationer men samtidigt blir fördelen (fitnessen) för de som koloniserar liten om risken för utslagning är stor.

Ett av avsnitten ägnas åt **parameterisering** av modellerna och verktygen. I det avsnittet ges förslag på hur man kan tänka när man ska uppskatta värden för de olika parametrarna. Det kan ofta vara svårt att få tag på data som kan användas till parameterisering och man kan behöva vända sig till litteraturen. Om det inte går att hitta någon information kan man ändå prova att använda några olika parametervärden för att se hur mycket det påverkar resultaten. Ett tillvägagångssätt kan vara att ta till i överkant med parametervärdena, d.v.s. att sätta dem så "positiva" som möjligt. Om det t.ex. är svårt att få till "det antal vandringsfiskar som skulle behövas för ett hållbart bestånd", trots att man använt parametervärden som varit i överkant, blir slutsatsen troligen robust. På motsvarande sätt kan man testa att sätta "negativa" parametervärdena. I de fall modellberäkningen resulterar i betydande mängder vandringsfisk trots de "negativa" parametrarna så torde en generell rekommendation vara att anlägga fiskpassager.

Vi presenterar en del resultat och ger exempel och perspektiv. Det främsta syftet med rapporten är dock att underlätta förståelsen och användningen av modellverktygen för att dessa ska kunna tillämpas på olika fiskpopulationer. Även om modellverktygen är utvecklade med omprövningarna av vattenkraften i åtanke, kan de med fördel även användas inom fiskeförvaltningen, oavsett om vattendraget är reglerat eller oreglerat.

Nyckelord

Vattenkraft, passageeffektivitet, modell, fisk, vandring, fiskvägar

MODELLERING AV FISKVÄGARS BETYDELSE – EN SAMMANFATTNING

Vattenkraftens utbyggnad har påverkat många fiskbestånd negativt. Förlust av livsmiljöer och fri passage i vattendragen är de två viktigaste orsakerna till negativa effekter för fisk.

Det här är en utökad sammanfattning av rapporten Modellering av fiskvägars betydelse för fiskbestånden som mer detaljerat beskriver ett antal populationsmodeller för att utvärdera nyetablering eller förbättring av fiskvägar för vandrande fisk.

Baserat på modellerna har interaktiva beräkningsverktyg utvecklats. Verktøyen kan användas för att utvärdera åtgärder som förbättrar vandringsmöjligheter eller skapar passande strömhäbitat för fisk i specifika vattendrag. Verktøyen finns tillgängliga på Energiforsks hemsida.

Ett nytt steg i energiforskningen

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



Energiforsk