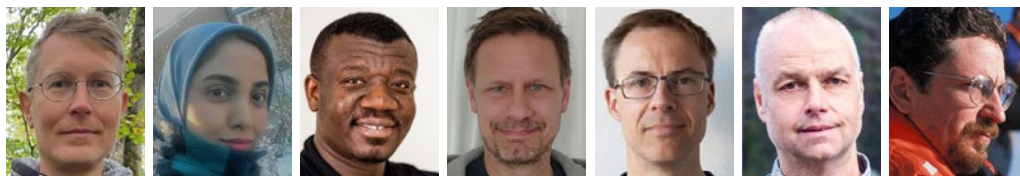


# HUR MYCKET VATTEN BEHÖVER HAVSÖRINGEN? EN JÄMFÖRELSE AV EN KORRELATIV OCH EN INDIVIDBASERAD MODELL FÖR ATT FÖRUTSÄGA EFFEKTER AV FLÖDEN PÅ STRÖMLEVANDE FISKAR

## HOW MUCH WATER DO SEA TROUT NEED? A COMPARISON BETWEEN A CORRELATIV AND AN INDIVIDUAL-BASED MODEL TO PREDICT EFFECTS OF FLOW ON STREAM FISH POPULATIONS



Johan Watz<sup>1,\*</sup>, Mahboobeh Hajiesmaeili<sup>2</sup>, Louis Addo<sup>1</sup>, Olle Calles<sup>1</sup>, Ola Nordblom<sup>2</sup>, Johan Tielman<sup>3</sup>, John J. Piccolo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Naturresurs rinnande vatten (NRRV) Inst. för miljö- och livsvetenskaper, Karlstads universitet, Karlstad

<sup>2</sup> DHI Sverige, Göteborg

<sup>3</sup> Fortum Sverige AB, Laholm

\* E-post: johan.watz@kau.se

### Abstract

Models developed for simulating the effect of flow on stream fish populations are powerful tools to trade off benefits and costs when actions are taken to mitigate negative effects of river regulation on the aquatic environment. We compared a correlative and an individual-based habitat model regarding which flows that the models predicted would benefit a potential sea trout population in the old riverbed at Blankaström hydropower plant in river Emån. The correlative model predicted that a flow between 2 and 3 m<sup>3</sup>/s would maximize the suitable habitat area for the trout. The individual-based model predicted growth rates of the youngest cohort (0+) was highest at 3 m<sup>3</sup>/s, whereas survival was similar among the tested flows. Successful reproduction required higher flows and growth and survival of the older cohort of juveniles (1+) was higher between 5 and 8 m<sup>3</sup>/s than at lower flows. Correlative models are relatively simple to use, can be useful for predicating flow effects on the youngest year classes, but may underestimate flow requirements for larger fish. Contrastingly, individual-based models are relatively complicated, but produces multifaceted data for different life stages. In addition, these models may provide mechanistic explanations for observed phenomena and can be used with dynamic flows.

*Keywords:* fish; flow; habitat; hydropower; modeling; river management; salmon; trout

## Sammanfattning

Modeller för att simulera effekter av flöde på strömlevande fiskpopulationer är kraftfulla verktyg för att avväga miljönytta och kostnad i samband med åtgärder för att minimera vattenkraftens miljöpåverkan. Vi jämförde en korrelativ och en individbaserad fiskhabitatmodell med avseende på vilka flöden respektive modell bedömde var gynnsammast för en potentiell havsöringspopulation i naturfåran vid Blankaströms kraftverk i Emån. Den korrelativa modellen förutsådde att ett optimalt flöde för att maximera arean med högkvalitativt öringhabitat låg mellan 2 och 3 m<sup>3</sup>/s. Den individbaserade modellen fann att flöde spelade mindre roll för överlevnad hos den yngsta årsklassen (0+), samt att tillväxten hos dessa var som högst vid 3 m<sup>3</sup>/s. Högre flöden krävdes dock för lyckad reproduktion och att överlevnaden och tillväxten hos äldre juveniler (1+) gynnades av flöden mellan 5 och 8 m<sup>3</sup>/s. Korrelativa modeller kan vara användbara, då de är enkla att använda, men det är möjligt att de framförallt förutsäger habitatförekomst för 0+-öringar och sämre speglar de miljöförhållanden som krävs för 1+-öringars uppväxt samt lekfiskars reproduktionsframgång. Individbaserade modeller, å andra sidan, är något mer komplicerade, men genererar mångfacetterad data för olika livsstadier, ger mekanistiska förklaringar till observerade fenomen och kan anpassas till dynamiska flöden.

## Bakgrund

Ekologisk modellering genom att simulera ekologiska processer *in silico* har på senare år visat sig vara en kraftfull metod för att besvara forskningsfrågor såväl som generera beslutsunderlag för förvaltning av naturresurser. För fiskpopulationer i rinnande vatten har sådana modeller använts sedan 70-talet och de utgör idag viktiga verktyg för att planera miljöförbättrande åtgärder i vattendrag (Frank m.fl., 2011). I synnerhet har hydrauliska fiskhabitatmodeller varit vanliga för att bedöma och förutsäga effekter av olika scenarion relaterade till förändringar av flödesregimen och vattendragets bottenstruktur (till exempel i samband med restaureringar). Dessa korrelativa modeller baseras på flödessimuleringar som förutsäger vattenhastighet och djup på olika platser vid olika flöden och kombinerar dessa med information om vilka vattenhastigheter och djup olika fiskar föredrar (Booker m.fl., 2004). Modellerna beräknar ytorna som täcks av habitatklasser med olika kvalitet eller kombinerar area och kvalitet i ett samlat mått (till exempel WUA, "weighted usable area"). Dessa mått kan användas för att inbördes rangordna olika åtgärdsalternativ genom att de scenarion som modellen förutsäger ge stor area med bra habitat antas ge en positiv utveckling av fiskpopulationen (Conder & Annear, 1987). Biologiska komponenter och processer inkluderas dock inte, som till exempel förekomst av rovdjur, födotillgång och konkurrens

mellan och inom arter (eller hur dessa interagerar med flödesregimen och bottenstrukturen).

Moderna individbaserade modeller (IBM) utgör en annan typ av verktyg för att simulera hur fiskpopulationer påverkas av miljön och förändringar i densamma. Ibland kallas dessa modeller även för agent-baserade modeller (ABM), eftersom varje individ representeras i modellen (dvs. agenter). Dessa relativt nya modeller (åtminstone i fiskmodelleringssammanhang) är mekanistiska i sin natur och sådana modeller för rinnande vatten har som grund det teoretiska ramverket för strömlevande fiskars födosök (NREI, "net rate of energy intake"; Fausch, 1984; Piccolo & Watz, 2018). Ramverket bygger på att fiskar aktivt väljer habitat som maximerar deras fitness (dvs den framtida avkommans reproduktionspotential) utifrån ett antal ekologiska processer och parametrar. För juvenila fiskar innebär detta att de förväntas maximera födointag, samtidigt som de minimerar energikostnader och predationsrisk. Viktiga ekologiska processer och parametrar som till exempel tillgång till olika födoresurser och gömslen, predation, fiskarnas energiomsättning och reproduktion, kan inkluderas. Detta gör IBM relativt realistiska, jämfört med de korrelativa modellerna, men de är samtidigt mer komplexa och beräkningstunga. Dessa modeller har visat sig kunna reproducera observerade ekologiska mönster och effekter (t.ex. Ayllón m.fl., 2016; Railsback m.fl., 2021a; 2021b), vilket tillsammans

med deras flexibilitet gör dem lämpliga för att besvara forskningsfrågor där fältdata är svåråtkomlig eller för att ge beslutsunderlag till förvaltning av vattendrag, till exempel när man ska välja ett av flera restaureringsscenario för att öka den biologiska mångfalden eller förbättra fisket. Vidare kan modellerna ge mångfacetterade svar, så som fiskarnas beteenden, tillväxt och mortalitet vid olika livsstadier samt deras reproduktiva framgång. Precis som korrelativa modeller, kräver IBM indata i form av vattenhastighets- och djupkartor vid olika flöden och information om bottenstruktur, men även till exempel tidsserier över vattentemperatur och turbiditet, samt en kartläggning av platser med skydd mot snabba vattenhastigheter och predation. För att kunna applicera modellerna krävs ofta grundläggande kunskaper i fiskekologi och GIS (geografiska informationssystem).

Förståelsen hos korrelativa vs. mekanistiska individ-baserade modeller att simulera effekten av habitatet på strömlevande fiskar har diskuterats livligt. Speciellt har användbarheten hos den korrelativa modellen PHABSIM ("Physical Habitat Simulation System") och den individbaserade modellen inSTREAM ("individual-based Stream TRout Environmental Assessment Model") debatterats på senare år (Railsback, 2016; 2017; Beecher, 2017; Kemp, 2017; Stalnaker m.fl., 2017; Reiser & Hilgert, 2018). Trots denna debatt är jämförelser av båda typerna av modeller på samma fiskpopulation sällsynta. Hayes m.fl. (2016) jämförde resultaten från en korrelativ hydraulikbaserad habitatmodell, RHYHABSIM ("River Hydraulics and Habitat Simulation"), och deras egen mekanistiska NREI-baserade modell för öring (*Salmo trutta*) i en älv på Nya Zeeland. Resultaten visade att om man använde data från den korrelativa modellen som mått på hur mycket öringpopulationen gynnas av olika flödesscenarion, så underskattades flödet som fiskarna behövde. Den mekanistiska modellen visade att det troligen berodde på att det fanns komplexa interaktioner mellan födotillgång, födosökseffektivitet och habitat användning. Vidare, i en jämförelse mellan två korrelativa habitatmodeller och en mekanistisk bioenergi-baserad modell för tillväxt och förekomst av havsvandran-

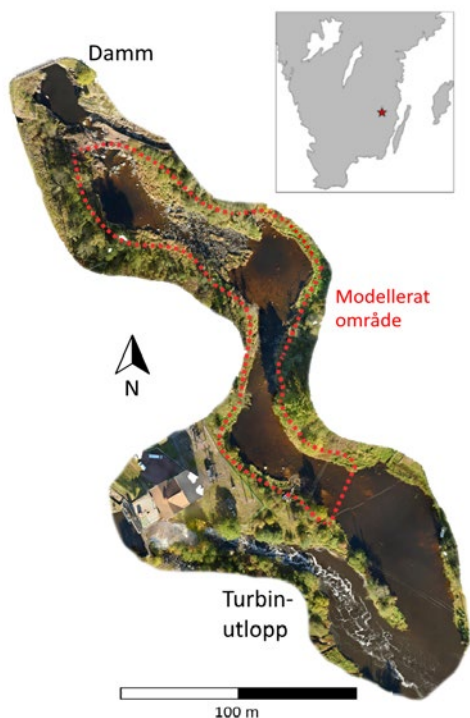
de regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) och strupsnittsöring (*Oncorhynchus clarki*), visade Naman m.fl. (2019) att de korrelativa modellerna värderade grunda, långsamflytande områden högre än den mekanistiska, och den senare modellen förklarade tillväxtskillnader bättre än de korrelativa. Resultaten från båda dessa studier (Hayes m.fl. 2016 och Naman m.fl. 2019) tyder på att enkla korrelationer mellan flöde och habitat användning inte är tillräckligt för att förklara tillväxt och överlevnad, och kanske därför är mindre lämpliga för att uppskatta effekter på populationer över tid.

I den här studien jämförde vi resultaten från (1) en enkel korrelativ fiskhabitatmodell baserad på de flöden och djup som anses vara gynnsamma för lax (*Salmo salar*) och öring mot (2) den mekanistiska NREI-baserade modellen inSTREAM (parametriserad för samma arter; Björnäs m.fl., 2021; Hajjesmaeli m.fl. 2022). Modellerna applicerades på naturfåran vid Blankaströms vattenkraftverk i Emåns huvudfåra för en tänkt havsvandrande öringpopulation. Vi bedömde sex flödesscenarion (olika mycket spillvatten i naturfåran) med avseende på hur fördelaktiga dessa var för öringen. Vi fokuserade endast på hur flöde påverkade öringen genom dess effekt på habitatet, och frågan om samband mellan flöde och longitudinell konnektivitet beaktades alltså inte. Vi baserade bedömningen på (1) hur mycket area med olika habitatkvalitet som den korrelativa modellen beräknade, respektive (2) tillväxt och överlevnad hos juveniler (0+ respektive 1+) och antal lekgropar som lekfiskar producerade, data som genererades från inSTREAM. Vårt mål var att utvärdera om en enkel och lättanvänd korrelativ modell skulle generera liknande rekommendation som den mer komplexa inSTREAM rörande vilket minimiflöde man bör eftersträva för att gynna öringen.

## Metod

### Studieplats

Vid Blankaströms vattenkraftverk (figur 1; WSG 84: N 57,22; Ö 15,92) i Emåns huvudfåra är medellåg-, medel- respektive medelhög vattenföringen (MLQ, MQ resp. MHQ) enligt S-HYPE 7,3, 28,8 och 80,8 m<sup>3</sup>/s. Kraftverket har en slukförmåga på



**Figur 1.** Naturfåran vid Blankaströms kraftverk i Emån. Området som modellerades med en korrelativ respektive en individbaserad modell innesluts av röda punkter.

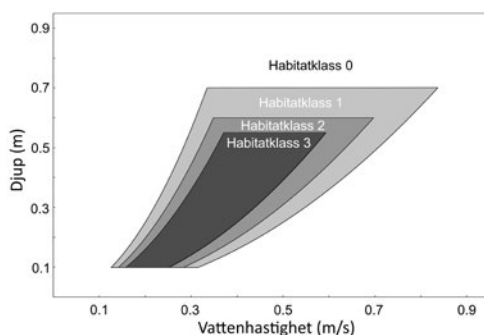
34 m<sup>3</sup>/s och spill till den ca 400 m långa naturfåran sker normalt endast vid flöden som är högre än slukförmågan. Platsen för naturfåran definieras av berg och morän. Kraftverket utgör ett fullständigt vandringshinder för fisk. För att öka longitudinell konnektivitet i Emån har utredningar för att bedöma potentialen att installera funktionsdugliga fiskvägar genomförts (Kriström m.fl., 2010; Nordblom, 2018). Vid Blankaström skulle en sådan fiskväg kunna resultera i att naturfåran kommer att blötläggas, och det har därför diskuterats hur mycket vatten som bör släppas i fiskpassagen och vid dammen för att naturfåran även ska kunna fungera som lek- och uppväxtplats för lax och öring.

I den här studien fokuserade vi på en drygt 200 m lång sträcka i naturfåran, från ca 30 m från dammutskovet och nedströms (figur 1), där flöde och djup skulle kunna vara lämpligt för strömlen-

vande fisk. Sträckans batymetri har tidigare mätts in med hjälp av ekolod, GPS och högupplösta ortofoton från drönare och dess geomorfologi finns även beskriven i detalj (Nordblom 2018). Tvådimensionell flödesmodellering med hjälp av MIKE 21 (DHI) har utförts för att bestämma vattenhastigheter och djup över det modellerade området för olika flöden och modellerna har verifierats med hjälp av manuella punktmätningar. I den här studien använder vi sex flöden i våra scenarion för modelljämförelsen (0,5; 1,0; 1,5; 3,0; 5,0; 8,0 m<sup>3</sup>/s). Alla dessa ligger under MLQ och vattenföringen i Emån antas således inte vara begränsande för spillet till naturfåran.

### Korrelativ modell

Den relativt enkla korrelativa flödes-habitatmodellen (Nordblom 2018, Bergsten m.fl. 2014) som genererat data till vår jämförelse bygger på preferenskurvor för lax och öring i älvar i Norge och Finland. Kurvorna anger att bäst habitatkvalitet erhålls vid vattenhastigheter mellan 0,1 och 0,9 m/s samt djup mellan 0,1 och 0,6 m. Modellen tar inte hänsyn till bottensubstratet. Preferenskurvor för vattenhastighet kan förskjutas något vid olika flöden och därför har habitaterna klassificerats enligt dels djup och dels Froude-tal, som anger kvoten mellan vattenhastigheten och roten ur djupet. Habitatet klassificerades (tabell 1; figur 2) som ej möj-



**Figur 2.** Klassificering av habitatkvalitet för havsvandrande öring (från Bergsten m.fl., 2014). Klass 0 representerar habitat som ej kan användas för lek och uppväxt, medan klass 1, 2 och 3 representerar möjligt, tämligen bra respektive bra habitat.

ligt (klass 0), möjligt (klass 1), tämligen bra (klass 2) eller bra (klass 3). Den korrelativa flödes-habitatmodellen genererade areor för respektive habitatklass 1 – 3 från respektive flödesscenario. Vi beräknade även ett viktat värde för habitatarea genom att addera 20 % av arean med habitatklass 1, 30 % av arean med habitatklass 2 och 50 % av arean med habitatklass 3 för respektive flödesscenario.

**Tabell 1.** *Klassificering av habitatkvalitet för lek och uppväxt av havsvandrande öring (från Bergsten m.fl., 2014).*

Habitatklass	Froude-tal	Djup (m)
1 - möjligt habitat	0,4 – 1,0	0,10 – 0,70
2 - tämligen bra habitat	0,5 – 0,9	0,10 – 0,60
3 - bra habitat	0,6 – 0,8	0,10 – 0,55

### *inSTREAM*

Vi använde modellversionen inSTREAM 7 (Railsback m.fl., 2021a), som programmerats i NetLogo. Modellen och tillhörande dokumentation finns tillgänglig för allmänheten via Humboldt State University (<https://ecomodel.humboldt.edu>). Modellen simulerar fiskindividers beteenden, tillväxt, överlevnad och reproduktion, och utifrån dessa faktorer förutsäger utvecklingen av populationen beroende på olika miljöfaktorer (som till exempel flöde, temperatur, turbiditet, födotillgång och predationstryck). Vi använde de sex tidigare beskrivna flödena och varje flödescenarion replikerades fem gånger, vilket resulterade i totalt 30 simuleringar. Alla simuleringar var ettåriga och startade 1 september och pågick till 30 augusti året efter. Den initiala populationen (1 september) specificerades som 150 årsungar (0+; medellängd och -vikt = 85 mm och 6,5 g), 50 äldre juveniler (1+; 172 mm och 53,9 g), samt 20 lekfiskar (703 mm och 4070 g). En detaljerad beskrivning av modellen finns i dess manual (Railsback m.fl. 2021c) och de inställningar och indata som vi använt, förutom den initiala fiskpopulationen, flöden, samt GIS-data, kan hittas i Hajjesmaeilii m.fl. (2022).

### *Dataanalys*

Data från varje körning av den korrelativa modellen saknar variation och replikering av dessa körningar är därför överflödiga; resultaten från

de olika flödesscenariona jämfördes därför direkt. Data från inSTREAM har viss variation och därför replikerades körningarna ( $n = 5$ ) för de olika flödena. För att analysera samband mellan flöde och tillväxt, respektive flöde och överlevnad, användes linjär regression. Antal lekgropar är en diskret variabel, och för att analysera effekt av flöde på denna responsvariabel användes Spearmans rangkorrelation. Det går inte att direkt jämföra resultaten från den korrelativa modellen och resultaten från inSTREAM. Däremot jämförde vi de rekommendationer som de båda modellerna skulle ge med avseende på vilket flöde som skulle gynna öringen i Blankaströms naturfåra.

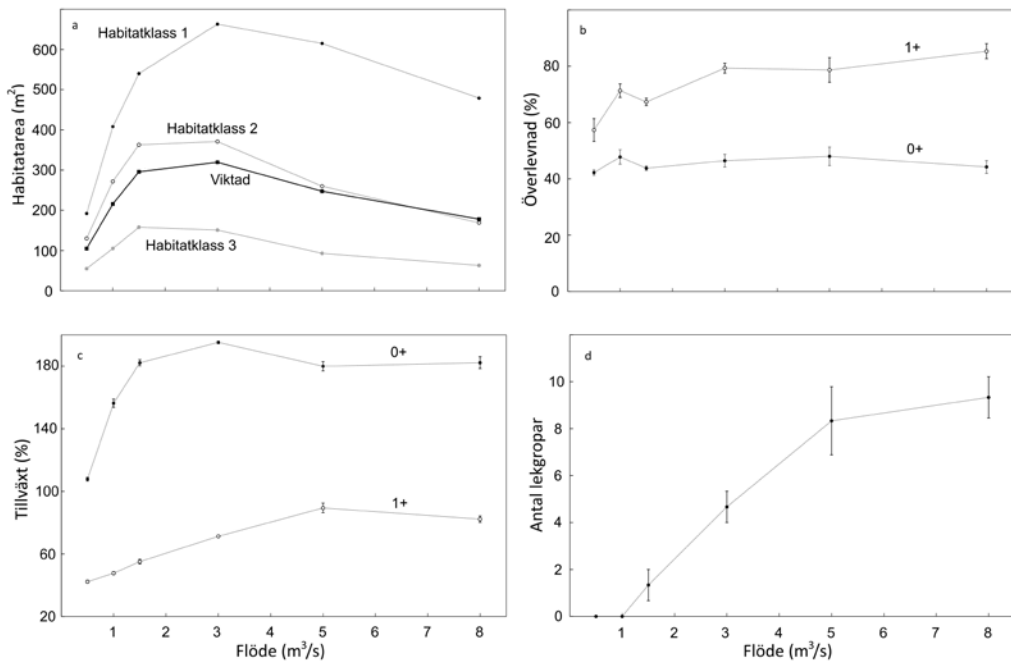
## **Resultat**

### *Modelljämförelse*

Enligt den korrelativa flödes-habitatmodellen ökade habitatarean nästan linjärt med flöde upp till 2 m<sup>3</sup>/s, nådde en plåtå och minskade sedan något vid flöden som var högre 3 m<sup>3</sup>/s (figur 3a). Kurvorna skiljde sig marginellt åt mellan habitatklasser, där kurvan för habitatklass 1 (möjligt habitat) nådde ett maximum vid ett något högre flöde än kurvorna för habitatklasserna 2 och 3 (tämligen bra respektive bra habitat). Det viktade värdet där de tre habitatklassernas respektive areor och kvalitet sammanfogades visade att optimalt flöde för att maximera både habitatets kvantitet och kvalitet bör ligga strax under 3 m<sup>3</sup>/s (figur 3a).

I modelleringarna med inSTREAM inkluderas hur fiskarna använder habitatet och dess konsekvenser för överlevnad, tillväxt och reproduktion. Överlevnaden över året var något högre för öringar i den äldre årsklassen, 1+, (ca 65 – 90 %) än i den yngre, 0+ (ca 40 %) (figur 3b). Den äldre årsklassen uppvisade ett positivt linjärt samband mellan flöde,  $Q$  (m<sup>3</sup>/s), och sannolikhet för överlevnad,  $P$ , under ett år ( $P_{1+} = 64 + 3 \times Q$ ;  $R^2 = 0,61$ ;  $p < 0,01$ ). Detta samband fanns inte för den yngre årsklassen ( $R^2 = 0,01$ ;  $p = 0,74$ ). Med avseende på överlevnad, spelade alltså flödet mindre roll för den yngre årsklassen för flöden över 0,5 m<sup>3</sup>/s, medan den äldre årsklassen gynnades av högre flöden.

Den yngre årsklassen växte i medel mellan 100 och 190 % under ett år (det vill säga dubbel respektive trippel så stor massa vid simuleringens slut



**Figur 3.** Simuleringar av flödeseffekter på en öringpopulation i Blanskaströms naturfåra (Emån) genom en (a) korrelativ respektive (b – d) individbaserad habitatmodell. Panel (a) visar effekten av flöde på habitatarea av olika kvalitet (klass 1 – 3) samt ett viktat mått som tar hänsyn till alla tre klasser. Paneler (b) och (c) anger överlevnaden respektive tillväxt under ett år för årsungar (0+) och äldre juveniler (1+). Panel (d) visar antalet lekgrovar som reproducerande adulta fiskar grävde. I panelerna (b – d) anger felstaplarna standardfelet (SE) baserat på replikerade simuleringar ( $n = 5$ ).

som vid dess start). Det fanns en positiv effekt av flöde på tillväxt hos den yngre årsklassen upp till 2 m³/s, där årstillväxten var cirka 180 %. Mellan 2 och 3 m³/s avtog effekten och planade ut vid högre flöden, med en eventuell lägre tillväxt vid flödena 5 – 8 m³/s än vid 2 – 3 m³/s (figur 3c). Den äldre årsklassen hade årstillväxt mellan 45 och 95 % och fanns det ett linjärt samband mellan tillväxt,  $T$ , och flöde ( $T = 46 + 6 \times Q$ ;  $R^2 = 0,75$ ;  $p < 0,01$ ). Vid högre flöde än 5 m³/s fortsatte dock inte den positiva effekten av flöde (figur 1c).

Det fanns ett tydligt positivt samband mellan flöde och antalet lekgrovar som adulta öringar producerade ( $\rho = 0,94$ ;  $p < 0,001$ ). Inga lekgrovar producerades vid flöden på 1 m³/s eller lägre och antalet lekgrovar ökade i princip linjärt med flöde upp till 8 lekgrovar vid 5 m³/s, varefter ökningen planade av något och vid 8 m³/s producerades ca 9 lekgrovar (figur 3d).

## Diskussion

Potentialen att Blanskaströms naturfåra ska kunna tillföra strömmande habitat för en havsöringspopulation beror delvis på hur mycket spill som släpps vid kraftverkets damm. Vi undersökte vad rekommendationerna för det optimala flödet i naturfåran skulle vara baserat på två olika typer av fiskhabitatsmodeller. Den korrelativa modellen visade att ett optimalt flöde skulle ligga någonstans mellan 2 och 3 m³/s. Både lägre och högre flöden skulle generera mindre arealer öringhabitat med bra kvalitet. Den individ-baserade modellen, å andra sidan, tydde på att olika årsklasser delvis påverkas olika av flöde. För äldre öringjuvenilers (1+) överlevnad och tillväxt och vuxna lexfiskars reproduktion krävdes höga flöden. De yngsta juvenilerna (0+), å andra sidan, påverkades mindre av flödet, förmodligen för att de hittar lämpligt grunthabitat med lämplig vattenhastighet och substrat i naturfårans strandkanter även vid låga flö-

den. Dock fanns en negativ effekt av de allra lägsta flödena även för årsungarnas tillväxt. Därmed ger modellerna delvis skilda rekommendationer.

Den korrelativa modellen verkar främst kvantifiera habitat som de minsta juvenilerna använder för att tillväxa och för att maximera sådant habitat räcker ett flöde på 2–3 m<sup>3</sup>/s. Men om man vill få bra habitat i Blankaströms naturfåra för äldre årsklasser och för potentiell lek bör flödet vara högre. Resultatjämförelsen tyder på att om man vill restaurera ett vattendrag eller anpassa flödesregimen för att skapa habitat för ett specifikt livsstadium (till exempel årsungar), kan en korrelativ habitatmodell vara tillräcklig. Ofta kan just överlevnaden och tillväxten under det första året vara flaskhalsen för ett vattendrags produktionspotential av öringsmolt, åtminstone i produktiva år i södra Sverige. I Blankaström vandrar ca hälften av öringarna ut som smolt mot sin marina uppväxtmiljö efter endast en sommar i vattendraget, och andra hälften efter två eller tre somrar (Kriström m.fl., 2010). Det är därför viktigt att beakta miljöpåverkan på både 0+ och 1+, även om 0+-kohortens överlevnad och tillväxt kanske är något viktigare (eftersom den bidrar både till smoltproduktion direkt och till rekrytering till den blivande 1+-kohorten).

Korrelativa modeller verkar generellt underskatta hur mycket vatten strömlevande fiskar, i synnerhet äldre årsklasser, behöver (Hayes m.fl., 2016; Naman m.fl., 2019; den här studien). Vill man få en nyanserad bild av effekten av flöde och bottenstruktur, samt om man vill finna ett scenario som optimerar förhållandena för flera livsstadier samtidigt (eller alla livsstadier – det vill säga hela populationen), är mekanistiska modeller troligen de kraftfullaste och mer användbara verktygen. Dock kan tidsåtgången skilja sig åt mellan de två typerna av modeller; tiden för att datorn ska processa simuleringar i inSTREAM kan vara lång, och förarbetet (beroende på kunskaper om GIS, fiskekologi och modelleringsvana) kan vara omfattande.

I den här studien undersöktes endast stabila flöden för att vi skulle kunna jämföra modellerna, då den korrelativa modellen inte anpassad för dynamiska flöden. Dynamiska flöden kan å andra sidan enkelt hanteras av inSTREAM och den se-

naste versionen 7-SD är utvecklad för att hantera och förutsäga effekten av snabba förändringar i flöde orsakade av till exempel korttidsreglering (Hajiesmaeili m.fl., 2022). Havsvandrande fiskar har idag inte möjlighet att nå Blankaström (Calles & Greenberg, 2009), så resultaten i vår studie kan främst användas för att jämföra de två modelltyperna. Om fokus för en framtida studie är att modellera fiskar som har tillgång till Blankaströms naturfåra (efter konnektivitetsförbättrande åtgärder i Emån), ska tidsserier om flöde inkorporeras och modellen bör kalibreras genom till exempel elfiske eller inventering av lekgropar.

Individbaserade ekologiska modeller kan bli ett revolutionerande verktyg för förvaltning av våra älvar. Modeller för hur värdefulla fiskpopulationer påverkas av ändringar i flöde och bottenstruktur kan ge värdefull information till vattenkraftsbolag och förvaltande myndigheter innan en ny flödesregim implementeras eller innan grävskopor återställer botten i vattendrag som rensats på struktur för timmerflottning. I samband med genomförandet av NAP (Nationell plan för moderna miljövillkor för vattenkraften; Prop. 2017/18:243; Regeringsbeslut 2022-06-25 M2019/01769/Nm) kommer IBM för fiskpopulationer potentiellt spela en nyckelroll för att sätta ramarna för effekten av de miljöanpassningar som förhandlas, där miljönytta och kostnader ska balanseras.

### Tillkännagivande

Studien finansierades av KK-stiftelsen (anslag 20170129) och Formas (anslag 2019-00543).

### Referenser

- Ayllón, D., Railsback, S.F., Vincenzi, S., Groeneveld, J., Almodóvar, A., & Grimm, V. (2016) InSTREAM-Gen: Modelling eco-evolutionary dynamics of trout populations under anthropogenic environmental change. *Ecological Modelling*, 326, 36–53.
- Beecher, H.A. (2017) Comment 1: Why it is time to put PHABSIM out to pasture. *Fisheries*, 42, 508–510.
- Bergsten, P., Nicolin, S., Frisk, A., Rydgren, B., Björklund, I.P., & Stage, J. (2014) Miljöförbättrande åtgärder i Mörrumsån och Ångermanälven, med fokus på havsvandrande arter. ÅF Industry AB.
- Björnäs, K.L., Railsback, S.F., Calles, O., & Piccolo, J.J. (2021) Modeling Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) population responses and interactions under increased minimum flow in a regulated river. *Ecological*

- Engineering, 162, 106182.
- Booker, D.J., & Dunbar, M.J. (2004) Application of physical habitat simulation (PHABSIM) modelling to modified urban river channels. *River Research and Applications*, 20, 167-183.
- Calles, O. & Greenberg, L.A. (2009) Connectivity is a two-way street - The need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *River Research & Applications*, 25, 1268-1286.
- Conder, A. L., & Annear, T. C. (1987) Test of weighted usable area estimates derived from a PHABSIM model for instream flow studies on trout streams. *North American Journal of Fisheries Management*, 7, 339-350.
- Frank, B.M., Piccolo, J.J., & Baret, P.V. (2011) A review of ecological models for brown trout: towards a new demographic model. *Ecology of Freshwater Fish*, 20, 167-198.
- Fausch, K.D. (1984) Profitable stream positions for salmonids: relating specific growth rate to net energy gain. *Canadian Journal of Zoology*, 62, 441-451.
- Hajiesmaeli, M., Addo, L., Watz, J., Railsback, S.F., Piccolo, J.J. (2022) Individual-based modelling of hydropeaking effects on brown trout and Atlantic salmon in a regulated river. *River Research and Applications* (under granskning).
- Hayes, J.W., Goodwin, E., Shearer, K. A., Hay, J., & Kelly, L. (2016). Can weighted useable area predict flow requirements of drift-feeding salmonids? Comparison with a net rate of energy intake model incorporating drift-flow processes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 145, 589-609.
- Kemp, P.S., & Katopodis, C. (2017) Environmental flows all at sea? Charting a new course through choppy waters. *Journal of Ecohydraulics*, 2, 85-87.
- Kriström, B., Calles, O., Greenberg, L.A., Leonardsson, K., Paulrud, A. & Ranneby, B. (2010) Samhällsekonomisk analys av alternativa åtgärder i flödespåverkade vattendrag: Emån och Ljusnan. *Elforskrappport 10:90*.
- Naman, S.M., Rosenfeld, J.S., Neuswanger, J.R., Enders, E.C., & Eaton, B.C. (2019). Comparing correlative and bioenergetics based habitat suitability models for drift feeding fishes. *Freshwater Biology*, 64, 1613-1626.
- Nordblom, O. (2018) *Blankaström - Kartläggning och modellering*. DHI Sverige AB.
- Piccolo, J.J., & Watz, J. (2018) Foraging behaviour of brown trout: A model species for linking individual ecology to population dynamics?. I *Brown trout: Biology, ecology and management* (redaktörer J. Lobón-Cervia & N. Sanz), s369-382. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Prop. 2017/18:243. *Vattenmiljö och vattenkraft*. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/proposition/2018/04/prop.-201718243/> Webbplats besökt 15 februari 2022.
- Railsback, S.F. (2016) Why it is time to put PHABSIM out to pasture. *Fisheries*, 41(12), 720-725.
- Railsback, S.F. (2017) Why it is time to put PHABSIM out to pasture: Response to comments 1 and 2. *Fisheries*, 42, 517-518.
- Railsback, S.F., Ayllón, D & Harvey, B.C. (2021a). In-STREAM 7: Instream flow assessment and management model for stream trout. *River Research and Applications*, 37, 1294-1302.
- Railsback, S.F., Harvey, B.C., & Ayllón, D. (2021b) Importance of the daily light cycle in population-habitat relations: A simulation study. *Transactions of the American Fisheries Society*, 150, 130-143.
- Regeringsbeslut 2022-06-25 M2019/01769/Nm. Nationell plan för moderna miljövillkor. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/06/nationell-plan-for-moderna-miljovillkor-for-vattenkraften/> Webbplats besökt 15 februari 2022.
- Reiser, D.W., & Hilgert, P.J. (2018) A practitioner's perspective on the continuing technical merits of PHABSIM. *Fisheries*, 43, 278-283. Railsback S. F., Harvey B. C., & Ayllón, D. (2021c) InSTREAM 7 user manual: Model description, software guide, and application guide. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, Kalifornien. <https://ecomodel.humboldt.edu/instream-7-and-insalmo-7>
- Stalnaker, C.B., Chrisholm, I., Paul, A. (2017) Comment 2: Why it is time to put PHABSIM out to pasture – Don't throw out the baby (PHABSIM) with the bathwater: Bringing scientific credibility to use of hydraulic habitat models, specifically PHABSIM. *Fisheries*, 42, 493-560.