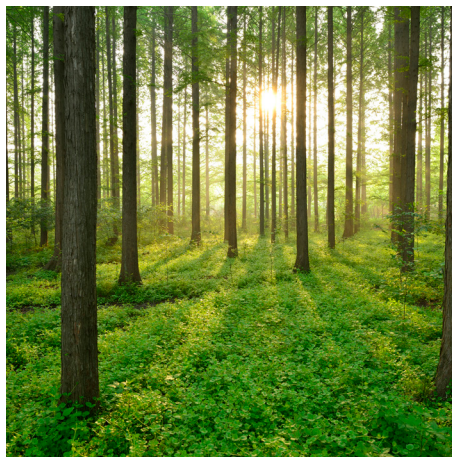
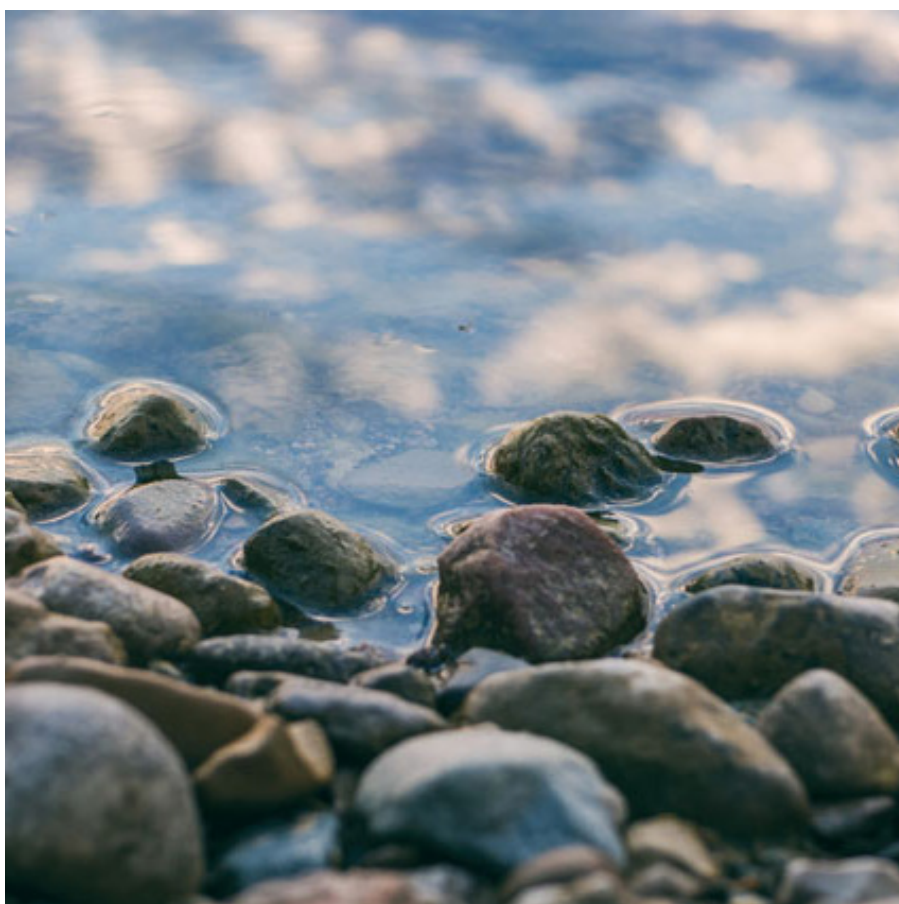


BERÄKNINGSVERKTYG FÖR FISK VID OMPRÖVNING AV VATTENKRAFTEN

RAPPORT 2024:998



VATTENKRAFTENS
MILJÖFORSKNINGSPROGRAM



Beräkningsverktyg för fisk vid omprovning av vattenkraften

Vilka används och hur tillförlitliga är de?

KJELL LEONARDSSON

ISBN 978-91-7673-998-3 | © Energiforsk mars 2024

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

Förord

Vattenkraften i Sverige ska omprövas och erhålla moderna miljövillkor, enligt den nationella prövningsplanen. I omprövningen och miljöanpassning av svensk vattenkraft används olika beräkningsverktyg för fisk för att bedöma miljöförbättrande åtgärdsförslag.

I det här projektet har de beräkningsverktyg som använts av olika aktörer i samband med omprövningarna analyserats och undersökts för att ta fram bättre kunskap om beräkningsverktygen, hur de fungerar, tillgänglighet till beräkningsunderlag och dokumentation samt hur tillförlitliga de är.

Tre typer av beräkningsverktyg, metasamhällesanalys, populationsmodeller och smoltproduktionsmodeller har analyserats och jämförs med linjelutningsmetoden och expertbedömningar, som har använts i samverkansprocessen.

Rapporten har tagits fram av Kjell Leonardsson, SLU, inom Vattenkraftens miljöforskningsprogram, som verkar för att ta fram ett faktabaserat kunskapsunderlag inför beslut om miljöförbättrande åtgärder i vattenkraften. Programmet koordineras av Energiforsk och finansieras av Vattenfall Vattenkraft, Fortum, Sydkraft Hydropower, Statkraft Sverige, Skellefteå Kraft, Holmen Energi, Jämtkraft, Tekniska verken i Linköping, Mälarenergi, Karlstads Energi och Jönköping Energi.

Projektet har följts av programmets styrgrupp bestående av Marco Blixt (Fortum), Erik Sparrevik och Henrik Viklands (Vattenfall), Johan Tielman (Sydkraft Hydropower), Susann Handler och Sara Friberg (Jämtkraft), Jakob Bergengren (Tekniska verken i Linköping), Angela Odelberg (Statkraft) och Sandra Åström (Skellefteå kraft).

Bertil Wahlund, Energiforsk

Stockholm, februari 2024

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

Sammanfattning

En viktig aspekt i samverkansprocessen vid omprövning av vattenkraften är att göra mer ingående analyser av åtgärdsbehoven än vad som varit möjligt för Vattenmyndigheterna inom den tidsram och de ekonomiska resurser de haft till förfogande.

För det ändamålet har några olika beräkningsverktyg för fisk använts i samverkansprocessen för en del av vattendragen. I den här rapporten granskas dessa beräkningsverktyg med avseende på användningsområde, dokumentation, vetenskaplig koppling, samt hur osäkerheten i indata och resultat hanteras. Samtliga metoder finns dokumenterade och där anges även hur osäkerheten i indata hanteras. Alla metoder har vetenskaplig förankring.

Tre typer av beräkningsverktyg/metoder, utöver linjelutningsmetoden och expertbedömningar, har använts hittills i samverkansprocessen vid omprövning av vattenkraften 1) Metasamhällesanalys – statistisk analys för att förutsäga hur fisk samhällena förändras efter etablering av fiskpassager, 2) FiMod – populationsmodeller för att förutsäga hur fiskpopulationer påverkas efter etablering av fiskpassager och 3) Smoltproduktionsmodeller. I princip uppfyller samtliga av dessa metoder det man kan önska sig vad gäller dokumentation, vetenskaplig koppling, samt hur osäkerheten i indata och resultat hanteras. Linjelutningsmetoden finns dokumenterad, men ger liksom de vanligen odokumenterade expertbedömningarna ingen kvantitativ information om vad som kan förväntas efter etablering av fiskpassager.

Metasamhällesanalysen ställer större krav på användarens statistiska kompetens jämfört med de andra metoderna. Utöver den aspekten handlar valet av beräkningsverktyg snarare om vilken metod som lämpar sig bäst för det specifika ändamålet. För att kunna lita på resultaten från metoderna är det viktigt att man utgår från indata (parametervärden) som är så tillförlitliga som möjligt. Det är även önskvärt att man vid redovisning av resultaten inkluderar ett avsnitt med en känslighetsanalys som visar hur resultaten påverkas om man förändrar indata (parametervärdena) något.

Nyckelord

Vattenkraft, konnektivitet, beräkningsverktyg, fisk, fiskvägar, fiskvandring.

Summary

An important aspect of the collaborative process in the reassessment of hydropower is to make more in-depth analyses of the need for measures than has been possible for the Water Authorities within the time frame and the financial resources they have had at their disposal.

To this end, a number of different calculation tools for fish have been used in the collaboration process for some of the watercourses. In this report, these calculation tools are examined with respect to area of use, documentation, scientific connection, and how the uncertainty in input data and results is handled.

Three types of modelling tools, besides the line inclination method and the expert assessments, have been used so far in the collaborative process in the reassessment of hydropower: 1) Meta-community analysis – statistical analysis to predict the effects of fishways on the fish communities, 2) FiMod – population models developed to analyze expected effects of fishways on fish populations, and 3) Smolt production models. In principle, all methods meet what one could wish for in terms of documentation, scientific basis, and how the uncertainty in input data and results is handled. The line inclination method is documented, but like the usually undocumented expert assessments, it does not provide quantitative information on what can be expected after the establishment of fish passages.

Meta-community analyses places greater demands on the user's statistical competence compared to the other methods. In addition to that aspect, the choice of modelling tool is more about which method is best suited for the specific purpose. In order to be able to rely on the results of the methods, it is important to start from input data (parametric values) that are as reliable as possible. It is also desirable to include a section in the resulting report that covers a sensitivity analysis that shows how the results are affected if you change the input data (parameter values) slightly.

Innehåll

1	Inledning	8
2	Syfte	10
3	Material och metoder	11
4	Beräkningsverktyg för fisk i NAP-arbetet	12
4.1	Linjelutningsmetoden	12
4.1.1	Användningsområden	12
4.1.2	Dokumentation	13
4.1.3	Vetenskapligt stöd för metoden	13
4.1.4	Hantering av osäkerhet	13
4.1.5	Fördelar respektive nackdelar jämfört med andra beräkningsverktyg	13
4.2	Expertbedömningar	13
4.2.1	Användningsområden	14
4.2.2	Dokumentation	14
4.2.3	Vetenskapligt stöd för metoden	14
4.2.4	Hantering av osäkerhet	14
4.2.5	Fördelar respektive nackdelar jämfört med andra beräkningsverktyg	14
4.3	MSA – MetaSamhällesAnalys	14
4.3.1	Användningsområden	15
4.3.2	Dokumentation	15
4.3.3	Vetenskapligt stöd för metoden	15
4.3.4	Hantering av osäkerhet	16
4.3.5	Fördelar respektive nackdelar jämfört med andra beräkningsverktyg	17
4.4	FiMod	18
4.4.1	Användningsområden	19
4.4.2	Dokumentation	19
4.4.3	Vetenskapligt stöd för metoden	19
4.4.4	Hantering av osäkerhet	19
4.4.5	Fördelar respektive nackdelar jämfört med andra beräkningsverktyg	19
4.5	Smoltproduktionsberäkningar	20
4.5.1	Användningsområden	20
4.5.2	Dokumentation	21
4.5.3	Vetenskapligt stöd för metoden	21
4.5.4	Hantering av osäkerhet	22
4.5.5	Fördelar respektive nackdelar jämfört med andra beräkningsverktyg	22
5	Alternativa beräkningsverktyg, som inte använts i omprövningarna	23

5.1	European Fish Hazard Index	23
5.2	Indentifikation av kostnadseffektiva konnektivetsåtgärder	23
5.3	Habitat Suitability Index (HSI)	23
5.4	Maskininlärning (populärt kallad för AI-metod)	24
6	Referenslista	25

1 Inledning

I samverkansprocessen har den grupp som sammankallats av Länsstyrelsen att ta ställning till vilka förslag på åtgärder som krävs för att inte äventyra uppfyllandet av de miljökvalitetsnormer som Vattenmyndigheternas vattendelegationer beslutat om. Vattenmyndigheterna har inför samverkansprocessen tagit fram åtgärdsförslag som samverkansgruppen har att ta ställning till.

Ambitionen med samverkansprocessen är att de inblandande parterna ska enas om miljöförbättrande åtgärdsförslag, som inte behöver vara identiska med Vattenmyndigheternas förslag. Det slutgiltiga åtgärdsförslaget utformas dock av verksamhetsutövarna som sedan lämnar in ansökan till Mark och miljödomstolen för beslut.

För att verksamhetsutövarna ska få gehör i domstolsförhandlingarna krävs att man i samverkansprocessen gjort en utförligare konsekvensanalys av vilka åtgärdsförslag som krävs för att inte äventyra uppfyllandet av miljökvalitetsnormen (MKN) än den Vattenmyndigheterna gjort. Ett dilemma med MKN i nuläget är att MKN egentligen förutsätter att det finns fungerande bedömningsgrunder, något som saknas för fisk i dagsläget. Det innebär att det saknas kunskap om vad som utgör god ekologisk status för fisk. I sin tur innebär det att vi inte med säkerhet vet vilken ekologisk status för fisk som råder idag, utom i juridisk mening eftersom Vattenmyndigheterna har bestämt vilken status och MKN som gäller. Det mest problematiska med detta är att det inte heller går att veta vilka förändringar i fisksamhällena som krävs för att uppnå MKN eftersom den inte är kvantifierad i termer av fisk.

Vattenmyndigheternas åtgärdsförslag rörande strömlevande fisk baseras på förekomst av habitat, oavsett kvalitet, beroende på vattendragens lutning, i kombination med expertbedömningar. Ett uttalat antagande är att vandringsframgången för långvandrande fisk kommer att uppgå till 100 % i alla fiskpassager. För icke-långvandrande fisk är förhållningssättet från myndigheterna att fiskarna ska kunna vandra om de vill, underförstått att det är individens vandringsvilja som står i fokus – inte att vandringsmöjligheten måste leda till något positivt för fiskpopulationen. En alternativ tolkning av att införa ”moderna miljövillkor” för vattenkraften är att vidtagna åtgärder ska förväntas få mätbara positiva effekter på fiskbestånden, vilket är en förutsättning för att kunna utvärdera att åtgärderna fått avsedd effekt.

Åtgärdsförslagen behöver därför analyseras i samverkansprocessen med hjälp av kunskap om habitatarealer, habitatens kvalitet och förväntad vandringsframgång i respektive fiskpassage samt hur dessa förväntas påverka förutsättningarna för bestånd av framförallt långvandrande fisk.

Vad gäller åtgärder som handlar om fisk och konnektivitet finns ett antal olika beräkningsverktyg som såväl verksamhetsutövare som myndigheter kan använda sig av för att få en uppfattning om

- vilka åtgärder som krävs,
- hur omfattande åtgärderna behöver vara, t ex vid vilka kraftverk i avrinningsområdet och
- hur välfungerande behöver åtgärderna vara

för att kunna få positiva effekter på fiskbestånden.

Själva idén med att använda beräkningsverktyg i detta sammanhang är att på ett objektivet och vetenskapligt stringent sätt väga samman aspekter som rör habitatet, konnektiviteten och arternas ekologi för att kunna jämföra resultaten från olika åtgärdsscenarioer. Det man kan göra med beräkningsverktygen är att utvärdera olika åtgärdsscenarioer för att undersöka om åtgärderna kan leda till positiva effekter för de utvärderade fiskbestånden. För tilltro till beräkningsverktygen krävs att metoderna finns dokumenterade och att de vilar på vetenskaplig grund. För tilltro till resultaten från beräkningsverktygen krävs dessutom att osäkerheten i indata hanteras på ett transparent sätt, samt hur den osäkerheten fortplantar sig till resultaten.

2 Syfte

Syftet med projektet har varit att gå igenom de olika beräkningsverktyg för fisk som använts hittills i omprövningarna av vattenkraften för att se hur väl de är dokumenterade, dokumentationens tillgänglighet, vetenskaplig koppling, samt hur osäkerheten i indata och resultat hanteras.

Därutöver omnämns några beräkningsmetoder som inte använts i samband med omprövningarna men som eventuellt skulle kunna vara av intresse för kommande omprövningar. I samband med genomgången har även styrkor och svagheter bedömts för metoderna.

Målet är att kunskapen som förmedlas från detta projekt ska vara till hjälp för kommande samverkansgrupper och myndigheter vad gäller val och tillämpning av beräkningsverktyg samt tolkning av tillförlitligheten i resultaten.

3 Material och metoder

För att undersöka vilka beräkningsverktyg gällande fisk som hittills använts i omprövningarna har verksamhetsutövare som hittills varit involverade i samverkansprocessen informerats om projektet och ombetts att tillhandahålla underlag till projektet. Informationen om projektet har sänts till Energiforsks styrgrupp för Vattenkraftens miljöforskningsprogram samt till Vattenkraftens miljöfond som har den samlade kontaktlistan till prövningsgrupperna.

Den huvudsakliga frågan som ställts till verksamhetsutövarna är om beräkningsverktyg använts och i så fall vilka? I de fall beräkningsverktyg använts har dokumentation begärts in för genomgång. Dokumentationen har gått genom med avseende på

- tillgänglighet – var finns dokumentationen?
- utförlighet – ger dokumentationen tillräcklig information för att kunna förstå och tillämpa metoden?
- vetenskaplig koppling – finns information om vilken vetenskaplig grund metoden vilar på?
- hantering av osäkerhet – hur hanterar metoden osäkerhet i indata respektive i resultaten?

I projektet har även dokumentationen från samverkansprocesserna, som lagts ut av länsstyrelserna på deras hemsidor, gått genom för att söka information om användandet av beräkningsverktyg.

Det ställdes även en fråga till verksamhetsutövarna hur användandet av beräkningsverktyg mottagits i samverkansprocessen. Denna fråga handlar om myndigheternas tilltro till beräkningsverktygen jämfört med tilltron till Vattenmyndigheternas förenklade habitatklassningar med hjälp av linjelutningsmetoden i kombination med expertbedömningar som gjorts på länsstyrelserna. Sammanfattningsvis kan sägas att det varierat mellan olika länsstyrelser, en del har varit negativa till beräkningsverktyg och dess resultat medan andra länsstyrelser själva använder beräkningsverktyg. I ett fall, metasamhällesanalys, har man till och med använt ett beräkningsverktyg som bygger på den senaste kunskapen inom samhällsekologisk forskning. Svaret på frågan var delvis känd innan projektet initierades och har varit en av anledningarna till att granska beräkningsverktygen. Ingen vidare analys görs här av denna aspekt, men förhoppning är att innehållet i rapporten ska ge verksamhetsutövare och myndigheter lättillgänglig information om användbarhet och tillförlitlighet gällande de beräkningsverktyg som använts.

4 Beräkningsverktyg för fisk i NAP-arbetet

En grundförutsättning för alla beräkningsmetoder att ge någorlunda rättvisande prognoser är att förutsättningarna utöver antal fiskpassager förblir desamma som i nuläget. För öring och lax är framtidsscenarier känsliga för hur yrkesfisket och sportfisket kommer att förändras framöver till exempel som respons på ökade populationsstorlekar.

I praktiken skulle all ökning av lax och öring, som förväntas bli en följd av att fler reproduktions- och yngeluppväxtområden tillgängliggörs via etablering av fiskpassager, kunna tas upp av fiskare. I ett sådant scenario har åtgärderna genererat två nyttor, ökad produktion av lax och öring samt ökat uttag i fisket. Däremot skulle ett sådant utfall kunna bli problematiskt ur Vattendirektivets perspektiv eftersom antal lekfiskar kanske endast ökar marginellt. Klimatförändringar och miljögifter kan också leda till att de förväntade positiva effekterna av åtgärderna för fisk uteblir på lång sikt.

4.1 LINJELUTNINGSMETODEN

Linjelutningsmetoden är en beräkningsmetod som beräknar lutningar baserat på laserskannade höjddata (Vattenmyndigheterna). Metoden är inte tänkt användas mer än en gång på de nu befintliga laserdata. Med ytterligare förfinade höjddata kan det dock vara motiverat att göra nya lutningsberäkningar.

4.1.1 Användningsområden

Syftet med linjelutningsmetoden är att ta fram ett GIS-skikt som skulle kunna användas för enkel bedömning av var i vattendragen det finns lutningar som motsvarar strömvattenhabitat som är lämpliga för fisk. Där lutningarna är väldigt branta kan man även förvänta sig att det kan vara eller har varit naturliga vandringshinder. Metoden kan även användas för att snabbt identifiera var det kan finnas potential för att restaurera strömvattenhabitat, men kräver uppföljning med fältinventering för närmare analys.

En begränsning med metoden är att den inte säger något om habitatkvaliteten för organismerna eftersom lutningen är en heterogen egenskap i vattendraget. Till exempel kan ett vattendrag ha hundratals olika lutningar längs en transekt tvärs över vattendraget. En annan begränsning med metoden är att den inte ger någon information om den ackumulerade konnektivitetens betydelse för långvandrande fiskarters möjlighet till livskraftiga bestånd.

Förklaringen till varför en sådan förenklad metod valts av Vattenmyndigheterna för att sätta miljö kvalitetsnormer och ta fram åtgärdsförslag är den snäva tidsram och de begränsade ekonomiska resurser de haft till förfogande för ändamålet.

4.1.2 Dokumentation

Beräkningsmetoden för att ta fram lutningarna har beskrivits av Vattenmyndigheterna i Samrådsrapporterna där förslagen till miljökvalitetsnormer redovisades.

4.1.3 Vetenskapligt stöd för metoden

En trivial aspekt inom akvatisk ekologi är att strömlevande organismer kräver strömmande vatten och strömmande vatten finns där vattendraget lutar. Sambandet mellan lutning och strömhastighet påverkas av djupförhållanden i kombination med vattenfårans bredd och beroende på bottensubstratet, vilket framgår av Mannings ekvation (1891). Det innebär att förutsättningarna för strömlevande organismer i olika vattendrag eller i olika delar av vattendraget kan skilja påtagligt trots att lutningen är densamma. Trots begränsningarna torde metoden ge användbar information i de delar av vattendragen som inte är flottledsrensade och som inte påverkats av vattenkraften.

4.1.4 Hantering av osäkerhet

Osäkerheten i lutningarna uppstår som en följd av begränsat antal laserpunkter som träffat stränderna längs vattendragen, då antal träffar på vattenytan är få. Validering användes i ett antal områden för att förbättra metoden. Värt att notera är att lutningen sannolikt ger en bra bild av om det finns strömmande vatten i området, men avgränsningen av strömvattensträckorna har visat sig skilja en del jämfört med resultat från fältkarteringar (Fredrik Nilsson, FUG, pers. komm.).

4.1.5 Fördelar respektive nackdelar jämfört med andra beräkningsverktyg

Linjelutningsmetoden har en fördel och det är att när GIS-underlaget väl är framtaget och validerat ger det goda möjligheter att använda sig av detta underlag för att snabbt bilda sig en uppfattning var det kan förväntas finnas strömsträckor. Lutningen i sig ger ingen information om habitatkvalitet och inte heller om arealer. För att få den informationen krävs antingen granskning av ortofoton eller ännu hellre habitatinventering i fält. Vattendragets lutning ger inte heller någon information om huruvida lekvandrande fiskar kan ta sig till de lutande sträckorna om det finns eller planeras fiskpassager nedströms.

4.2 EXPERTBEDÖMNINGAR

De expertbedömningar som avses här är de som Vattenmyndigheternas beredningssekretariat på länsstyrelserna gjort med resultat från linjelutningsmetoden som grund. Här handlar det till exempel om lokal kunskap om naturliga vandringshinder och vilka fiskarter som funnits i de olika områdena före vattenkraftsutbyggnaden.

4.2.1 Användningsområden

Syftet med dessa expertbedömningar är att komplettera och förbättra beslutsunderlaget, utöver linjelutningsresultatens habitatavgränsningar, inför fastställande av miljökvalitetsnormer och framtagande av åtgärdsförslag.

4.2.2 Dokumentation

Expertbedömningar ska dokumenteras, vilket anges i föreskriften HVMFS 2019:25 § 10. Trots det saknas information från de flesta expertbedömningarna, utöver att en del av bedömningarna gjorts efter fältbesök av områden för att till exempel bedöma förekomst av naturliga vandringshinder.

4.2.3 Vetenskapligt stöd för metoden

Metoden baseras på befintlig kunskap och erfarenhet om fiskars ekologi och beteende, men i frånvaro av dokumentation går det inte att avgöra vilka egenskaper i miljön det var som avgjorde ställningstagandet.

4.2.4 Hantering av osäkerhet

Det framgår inte hur osäkerheten i kunskapsunderlaget använts för att fatta beslut. En osäkerhetsaspekt i detta sammanhang är också att den befintliga kunskapen kan variera från län till län, vilket gör att en del av åtgärdsförslagen kan framstå som att man ställer olika krav i olika delar av landet. Ytterligare en aspekt som kan ha bidragit till att skapa regionala skillnader är att länen har olika många vattenförekomster och därför torde arbetsbelastningen varierat mellan de fiskkunniga på de olika länsstyrelserna som en följd av den begränsade tidsramen som stod till buds.

4.2.5 Fördelar respektive nackdelar jämfört med andra beräkningsverktyg

En fördel med denna metod är att den är tillämplig i situationer där det saknas alternativa beräkningsmetoder. Detta förutsatt att expertbedömningarna dokumenteras så att det går att förstå hur resultatet från bedömningen kommit till, inklusive en bedömning av hur tillförlitligt man kan förvänta sig att resultatet är.

Expertbedömningar utan väldokumenterat tillvägagångssätt är inte att rekommendera eftersom det för utomstående inte går att avgöra hur rimligt resultatet är.

4.3 MSA – METASAMHÄLLESANALYS

Metasamhällesanalys (MSA) är en statistisk analys av artsamhällen och arternas abundanser i relation till miljöförhållandena. Länsstyrelsen i Kronobergs län har använt metoden med hjälp av statistikprogrammet SPSS i samband med omprövningarna i bland annat Mörrumsåns avrinningsområde. Analyserna kopplat till omprövningarna grundar sig huvudsakligen på elfiskedata i kombination med såväl lokala miljödata från elfiskelokalerna såsom djup, bredd, lutning, temperatur vid elfiske etc., som regionala miljödata såsom landskapsdata, vattenkemi, vattenflödets variationsgrad och konnektivitet. De mått på

konnektivitet som anges i indata baseras på avståndsmått inom vattendraget som justeras för passageeffektivitet vid existerande fiskpassager med hjälp av viktade värden. Här uppstår ett möjligt problem om samma viktning används för ett helt fiskkluster, dvs för flera arter, på grund av att olika arter kan ha olika förmåga att passera fiskpassager. Dessutom är det oklart hur väl viktningen matchar passageeffektiviteten.

Man kan använda en del av data från ett avrinningsområde för att validera modellresultaten mot resterande data. För att få så tillförlitliga resultat som möjligt är det dock en fördel om även data från kringliggande liknande vattendrag används i det första steget i analysen. Vid bra överensstämmelse i valideringsskedet går det att gå vidare och till exempel reducera konnektivitetsvärdena i indata för de områden där nya fiskpassager planeras för att analysera det förväntade utfallet.

4.3.1 Användningsområden

Metoden kan användas till att förutsäga vilka tätheter de vanligaste strömlevande arterna, som fångas i elfisket, förväntas uppnå efter miljöåtgärder såsom etablering av fiskpassager eller habitatrestaurering. Notera att metoden även är användbar för att förutsäga effekterna av till exempel ändrade närsaltsförhållanden. Faktum är att metoden skulle kunna fungera som bas för en bedömningsgrund och i nästa steg även för att analysera vilka miljöåtgärder, och omfattningen av dem, som krävs för att uppnå god ekologisk status, givet att god-måttliggränsen sätts med hjälp av samma metod där ett referensdataset används för parameterisering av modellen. Notera att någon sådan bedömningsgrund inte finns i nuläget.

4.3.2 Dokumentation

Metoden finns dokumenterad på Länsstyrelsen i Kronobergs län, kontaktperson: Patrik Larsson. Metodbeskrivning har även bilagts dokumentationen från samverkansgruppen för Mörrumsåns avrinningsområde.

Den statistiska analysen kräver gedigen kunskap och erfarenhet av statistisk analys inom områdena klusteranalys, principalkomponentanalys, generaliserade linjära modeller (Nelder & Wedderburn, 1972). I klusteranalysen görs en automatisk gruppering av artkonstellationer som återfinns i miljöer med likartade miljöförhållanden. Principalkomponentanalysen är en slags regression som identifierar linjära samband i flera dimensioner i datasetet. Generaliserade linjära modeller innebär förenklat att man använder sig av en generalisering av vanlig linjär regression, dvs anpassning av linjer till data. För att tillgängliggöra metoden för en större grupp användare än i dag krävs att utbildning ges i tillämpning av metoden.

4.3.3 Vetenskapligt stöd för metoden

Metoden har vuxit fram inom den samhällsekologiska forskningen (Swan & Brown 2017, Garcia, m.fl. 2018). Metoden har bland annat använts för att analysera konnektivitetens betydelse för strukturering av fiskesamhällen i sötvattensmiljöer

(King m.fl. 2021). Ett annat exempel där en liknande metod använts är förekomsten av fiskesamhällen i en del av Amazonas avrinningsområde (Martins m.fl., 2023).

Ett av de rådande paradigmen inom samhällsekologin försöker förklara struktureringen av artsamhällen utifrån den så kallade artsorteringsteorin, species sorting (Leibold m.fl. 2004). Enligt den teorin utgör miljöförutsättningarna grunden för vilka arter som kan finnas i ett område. Vilka av dessa arter som återfinns där avgörs av vilka som haft möjlighet att ta sig dit och hur väl de klarar de inbördes konkurrens- och predationsförhållandena mellan arterna. Arter som klarar att samexistera i likartade miljöer återkommer ofta tillsammans i många områden med likartade omvärldsförhållanden. I MSA-analysens första steg används klusteranalys för att identifiera sådana artkonstellationer.

Dominansförhållandena inom artkonstellationerna förklaras dock inte av de förenklade födoavsteorierna utan för att förstå dessa krävs kunskap om de populationsdynamiska sambanden hur konkurrens och predation påverkar numerären hos respektive arts populationer. Till skillnad från förenklade populationsmodeller med flera arter för slutna system, utan in- och utvandring, kommer inflödet av individer från den regionala poolen av arter att reducera effekten av de befintliga individernas konkurrens- och predationsförmåga. Detta medger i sin tur samexistens mellan fler arter än vad som skulle varit fallet i frånvaro av in- och utvandring av individer. I områden där konnektiviteten är avskuren minskar därför möjligheten för flera arter att samexistera, inte bara på grund av att vissa arter inte kan ta sig dit – utan också för att samspelet mellan kvarvarande arter förändras.

4.3.4 Hantering av osäkerhet

Osäkerheten (variationen) i underlagsdata fortplantar sig i de statistiska analyserna och hanteras i slutresultatet bland annat i form av grad av signifikansnivå i de statistiska analyserna. Osäkerheten kan även anges i form av konfidensintervall, speciellt avseende de kvantitativa förutsägelserna.

Notera dock att förutsägelserna för framtidsscenarier uppströms nuvarande fiskpassager utgår ifrån att lämpliga habitat nås i tillräcklig omfattning av de lekvandrande individerna samtidigt som deras avkomma framgångsrikt behöver kunna ta sig till uppväxtområdena i havet eller större sjöar för att kolonisationen ska kunna leda till ett livskraftigt bestånd.

Hantering av konnektiviteten i form av index introducerar en annan typ av osäkerhet i analysen. De två konnektivitetsindexen som används baseras på avståndsmått och antal fiskpassager. Det har inte framgått av underlagen hur känsliga slutresultaten är för förändringar i dessa index. Eftersom dessa index är konstruerade är det viktigt att på ett så korrekt sätt som möjligt försöka skapa indexen så att de återger de vandringsförluster som uppstår i alla livsstadier som arterna utsätts för. Vandringsförlusterna för vuxen lax och öring genom en sjö/damm på väg uppströms mot lekområdena torde vara försumbara om sjön/dammen bara är några kilometer lång. Däremot kan vandringsförlusterna bli mycket stora för smolten som ska passera samma sjö/damm på sin väg nedströms, se litteratursammanställning av Löfqvist (2024).

4.3.5 Fördelar respektive nackdelar jämfört med andra beräkningsverktyg

En av fördelarna med MSA är att det inte behövs någon parameterisering av modellen. En annan fördel är att man får förväntat resultat för mer än en art.

En nackdel med metoden är att den kräver mycket statistisk kunskap och erfarenhet för att kunna utföras på korrekt sätt. Metoden kräver också en avsevärd insamling av miljödata att ha med i analysen. I nuläget är det endast en person som kan metoden väl, vilket tillsammans med det stora indatabehovet gör att antalet objekt som hinner analyseras blir begränsat.

En annan nackdel med modellen är att konnektivitetsvärdena är sammansatta av många olika avståndsmått i kombination med antal fiskpassager och inte ger en bild av den kraftigt icke-linjära kumulativa effekten som uppträder i verkligheten. I nuvarande modellversion används dessutom samma konnektivitetsvärden för hela artklustret, vilket inte stämmer med verkligheten eftersom de olika arterna torde uppleva konnektiviteten på olika sätt. Ett exempel är att passageeffektiviteterna i fiskpassagerna förväntas skilja påtagligt mellan till exempel starksimmande och svagsimmande arter. Simkapaciteten mellan arter skiljer sig både på grund av storleksskillnader och beroende av kroppsform. En utvecklingspotential vore här att ange separata konnektivitetsindex för de olika arterna där deras simegenskaper och behov på vandring vägs in. Det är oklart om dagens metod klarar att hantera denna komplexitet utan att bryta isär artklustren. Det skulle i så fall innebära att modellen behöver hantera varje art separat, vilket egentligen mer motsvarar hur det fungerar med metasamhälledynamiken. För att en art skall kunna existera på en plats med gynnsamma miljöförhållanden så är det första kriteriet att individer av arten kan ta sig till platsen. Därefter ska individerna av arten klara av de rådande konkurrens- och predationsförhållandena. Notera att i metasamhällesteorin görs ingen värdering av om arten finns i ett område på grund av att den vandrat dit eller på grund av att dess föräldrar reproducerade sig där.

En komplicerande egenskap med konnektiviteten är att effekten på populationen inte är direkt proportionell mot vandringsförlusterna på grund av den täthetsberoende rekryteringen hos lax och öring (se t.ex. Leonardsson & Nilsson, 2021). I princip skulle man behöva använda sig av en omräkning av konnektivitetsvärdena som justerar för den populationsdynamiska effekten, vilket är vad FiMod-modellerna som presenteras i nästa avsnitt gör automatiskt i samband med analyser som görs med den metoden. Eftersom MSA saknar den dynamiska analysen av hur konnektivitetsaspekten påverkar populationen kan slutresultatet i prognoserna för långvandrande fiskarter bli mycket osäker. Den osäkerhet som uppstår på grund av felaktigt bedömd passageeffektivitet hanteras inte av konfidensintervallen eftersom själva medelvärdena i prognosen kan hamna fel.

Ytterligare en nackdel är att metoden inte kan prognosticera alternativa ekosystemtillstånd om sådana saknas i underlagsdata. Denna aspekt är framförallt aktuell för öring vars lekbestånd kan utgöras av antingen småvuxna mer eller mindre stationära individer eller av mer storvuxna vandringsöringar. För att garantera att båda dessa tillstånd finns tillgängliga som möjliga utfall i

framtidsscenarier behöver underlagsdata omfatta båda alternativen, vilket torde kräva att referensdata från flera olika vattendrag används. Detta torde främst vara aktuellt där frånvaro av fiskpassager har slagit ut det ursprungliga vandringsöringbeståndet. Det som utmärker områden med reproduktion av storvuxen vandringsöring är att yngeltätheterna vanligen är mycket högre än i områden där storvuxen vandringsöring saknas (Bohlin m.fl. 2001).

4.4 FIMOD

FiMod är namnet på en grupp populationsmodeller som utvecklats för att kunna göra prognoser av vilka effekter fiskpassager förväntas ha på fiskpopulationer vid jämvikt (Leonardsson & Nilsson, 2021a, 2021b). Den första FiMod-modellen härleddes utifrån en individbaserad populationsmodell med åldersstruktur för lax som utvecklats för att simulera den potentiella effekten av fiskpassager i Ljusnan (Krström m.fl. 2010). Den individbaserade modellen gav fluktuerande dynamik på väg mot jämvikten och även vid jämvikten, medan FiMod-modellens resultat endast gäller vid jämvikt. Vid jämvikt var medel för den individbaserade modellens resultat nästan identiskt med FiMod-modellens resultat (Krström m. fl. 2010).

Den typ av populationsmodell som FiMod grundar sig på används ofta för att skatta beståndsstorlekar hos marina fiskarter som är av kommersiellt intresse. I dessa sammanhang används populationernas åldersstruktur och individtillväxt explicit i modellerna eftersom prognoserna avser de kommande åren. I många fall har marina fiskarters bestånd överexploaterats, vilket skulle kunna ses som ett misslyckande för användningen av enartsmodeller i tillståndsbedömningen (assessment). Men verkligheten är snarare den att det är den politiska oenigheten om kvoterna som lett till överfiskningen. Det finns dock ett undantag där de politiska besluten följt den rådgivning som ICES tagit fram och det gäller laxen i Östersjön. Bedömningen av laxbeståndet i Östersjön görs med hjälp av en enartsmodell som hanterar samtliga laxförande vattendrag (ICES 2023a). Även om den modellen är mycket mer detaljerad och komplicerad än FiMod-modellerna så är likheten stor mellan WGBAST-modellen och FiMod3. Båda modellerna medger lokalt reproducerande bestånd och räknar fram såväl smoltproduktionen som antal lekvandrande fiskar.

Även om FiMod-modellerna i grunden utgörs av enartsmodeller så hanterar det artens förekomst i form av olika delpopulationer, mellan och uppströms kraftverksdammar. Konkurrens och predation från andra arter hanteras via parametervärdena i modellerna. Om konkurrensen i vissa områden leder till minskad tillväxt återspeglas detta antingen i antal ägg som honorna har vid lek, alternativt lägre överlevnad till könsmognad om konkurrensen leder till att könsmognaden nås senare än i frånvaro av mellanartskonkurrens. Om det förekommer konkurrens med andra arter under den tidiga yngelfasen kan överlevnaden påverkas negativt utan någon nämnvärd inverkan på antalet ägg honorna får vid könsmognad. Predation minskar överlevnaden men detta kan i vissa fall kompenseras för genom ökad tillväxt till följd av minskad inomartskonkurrens. FiMod-modellernas resultat blir därför beroende av hur väl man lyckas identifiera rimliga parametervärden. Ett sätt att uppnå det målet är att

analysera data från populationer i närliggande områden för att få skattningar på överlevnad och fekunditet.

Vad gäller effekten av konkurrens är det främst den mellan öring- och laxyngel som torde ha störst potential på resultaten. Ett sätt att hantera denna situation är att göra analyser med enbart öring respektive enbart lax för att se hur stora populationerna kan förväntas bli i frånvaro av konkurrens. Beslut om åtgärder kan baseras direkt utifrån dessa resultat eftersom utfallet torde hamna någonstans mellan de två ytterligheterna. Enligt data från SERS (elfiskeregistret, <https://www.slu.se/institutioner/akvatiska-resurser/databaser/elfiskeregistret/>) dominerar dock lax i huvudfårorna och öring i de mindre sidovattendragen (se hjälptexten i FiMod3).

4.4.1 Användningsområden

FiMod är speciellt framtagen för att kunna göra prognoser av förväntat utfall av nyetablering av fiskpassager eller förbättring av existerande fiskpassager. Modellerna går även att använda för att utvärdera effekterna av olika fisketryck oberoende av om det förekommer fiskpassager eller inte.

4.4.2 Dokumentation

Samtliga FiMod-modeller och vad man ska tänka på i samband med parameterisering och analyser beskrivs i Leonardsson och Nilsson (2021a). En förenklad version som beskriver de modeller som återfinns i rapporten ges i Leonardsson och Nilsson (2021b).

4.4.3 Vetenskapligt stöd för metoden

Populationsmodellerna som används i FiMod för lax och öring (fungerar även för asp) grundar sig på det icke-linjära täthetsberoende sambandet mellan antal ägg och antal yngel som överlever första sommaren. Den matematiska funktion som används för att beskriva detta samband kallas Beverton-Holt (Beverton & Holt 1957).

4.4.4 Hantering av osäkerhet

I FiMod1 och FiMod 2 anges osäkerheten explicit i parametervärdena. Osäkerheten fortplantas sedan till resultaten i samband med analysen. I FiMod3 och den kommande versionen av FiMod2 är beräkningarna mer krävande och för att hålla nere beräkningstiden i samband med de enskilda analyserna har möjligheten att ange osäkerhetsmått för parametrarna utgått. Däremot kan användaren själv välja att kompensera för detta genom att göra känslighetsanalyser, där separata analyser görs med något skilda värden för en eller flera av modellparametrarna.

4.4.5 Fördelar respektive nackdelar jämfört med andra beräkningsverktyg

Fördelen med FiMod-modellerna är att de är förhållandevis enkla att använda och att det finns flera olika modellvarianter att välja mellan. Det ökar chansen att någon av modellerna kan användas för de scenarier man är intresserad av att utvärdera. FiMod3 är speciellt användbar i samband med omprövningarna

eftersom den möjliggör utvärdering av den förväntade effekten av flera existerande eller tilltänkta fiskpassager på avrinningsområdesnivå.

Nackdelarna med dessa beräkningsverktyg är att de parametrar som används i modellerna kan vara specifika för vattendraget, vilket kräver extra noggrannhet av användaren i samband med förarbetet med att ta fram rimliga parametervärden. I de fall det saknas information som kan vara till hjälp med parameteriseringen är att utföra känslighetsanalyser där man ändrar parametervärdena stegvis i några olika scenarier. Exempel på scenarier kan till exempel vara att variera bärkapaciteten, passageeffektiviteten och överlevnaden efter yngelstadiet i steg från låga till höga värden. Där gränserna för vad som är lågt respektive högt får avgöras från fall till fall vad som kan tänkas vara rimligt.

4.5 SMOLTPRODUKTIONSBERÄKNINGAR

Ett flertal aktörer har utvecklat egna beräkningsmetoder för att skatta den potentiella smoltproduktionskapaciteten för öring eller lax (Jönköpings Fiskeribiologi 2017, 2018, Länsstyrelsens Fiskeutredningsgrupp (FUG) Norrbottens län 2023).

Dessa beräkningsmodeller har gemensamt att de använder elfiskedata för att räkna fram en skattning av den maximala yngelproduktionen i lämpliga yngeluppväxtområden. De utgår de från litteraturbaserade värden på överlevnad för olika årsklasser fram till smoltifieringen. Metoden som Jönköpings Fiskeribiologi använder sig av baserar överlevnadsskattningarna på statistisk analys av elfiskedata. Predationsförlusterna i samband med nedströmsvandringen av smolt är vanligen litteraturbaserade där man gör skillnad på dödlighet/km i strömvatten kontra mer sjöliknande miljöer. Metoden för att beräkna smoltvandringförluster har mycket gemensamt med det angreppssätt som använts av Fiskevårdsteknik AB för att identifiera vandringshinder för smolt i Mörrumsån (Fiskevårdsteknik AB, 2022).

Modellen som FUG-gruppen utvecklat inkluderar även havsöverlevnad, andel honor av återvändande lekfiskar, samt honornas genomsnittliga fekunditet (antal ägg) för att kunna räkna fram resultatet till dess att populationen når jämvikt. Modellen är därför en populationsmodell.

4.5.1 Användningsområden

Båda metoderna kan användas till att räkna ut den maximala smoltproduktionen, givet att det finns tillräckligt med lekfisk.

Smoltproduktionen som räknas fram med hjälp av FUG-gruppens modell utgör förväntad smoltproduktion vid jämvikt, givet de konnektivitetsförhållanden som råder i älven enligt det scenario som modelleras. För att beräkna maximal smoltproduktionspotential för vattendraget behövs ett scenario där alla vandringshinder utelämnas.

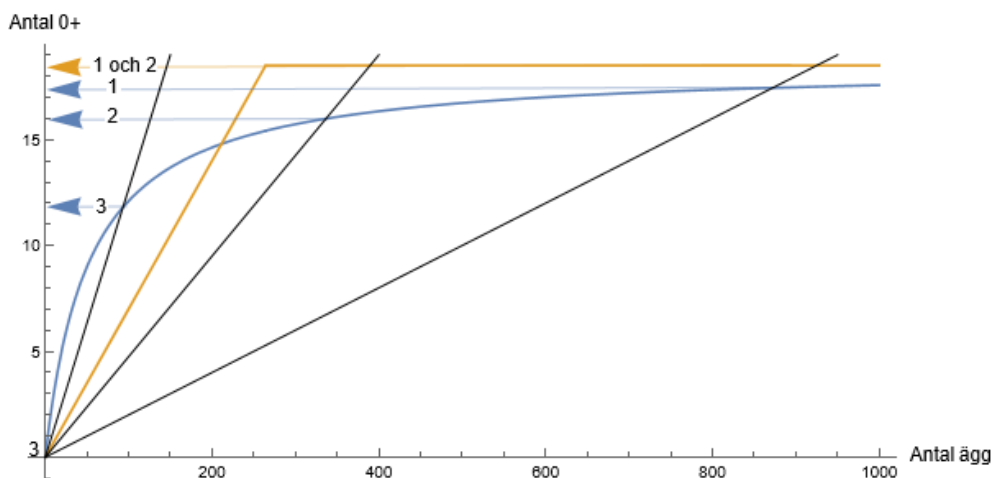
4.5.2 Dokumentation

Det finns rapporter/PM som redovisar metodiken, se Niklasson (2017, 2018) respektive FUG (2023a, 2023b).

4.5.3 Vetenskapligt stöd för metoden

Populationsmodellen som FUG-gruppen utvecklat har samma upplägg som FiMod-modellerna. Den enda skillnaden är egentligen valet av täthetsberoende rekryteringsfunktion. I FUG-gruppens modell används en hockey-stick funktion, till skillnad från Beverton-Holt som används i FiMod. Hockey-stick funktionen ger linjär rekrytering i relation till antal ägg upp till bärkapaciteten. Därefter förblir antalet rekryter konstant vid bärkapaciteten oavsett hur många fler ägg som läggs. Beverton-Holt funktionen ökar något snabbare med antalet ägg vid lågt äggantal jämfört med hockey-stick funktionen, men det omvända råder när antalet ägg närmar sig bärkapaciteten. Hockey-stick funktioner används i några Europeiska regioner för att beskriva rekryteringen av lax i samband med tillståndsbedömning av laxbestånden i Nordatlanten (ICES 2023b).

Resultatet från en modell som baseras på en Beverton-Holt rekryteringsfunktion kommer att skilja marginellt med avseende på antal 0+ jämfört med om en hockey-stick funktion används om antalet ägg är mycket stort. Resultaten divergerar dock i takt med att antalet ägg minskar. Jämvikten i systemet uppstår när yngelproduktionen exakt matchar förlusterna som uppstår mellan 0+stadiet och äggdepositionen vid lektillfället. Om vi utgår ifrån att förlusterna under denna period är täthetsberoende kan förlusterna åskådliggöras med en s.k. ersättningslinje där lutningen = $1/(\text{överlevnad} \cdot \text{fekunditet} \cdot \text{andel honor} \cdot \text{vandningsframgång})$. Ersättningslinjerna skär respektive rekryteringsfunktion där jämvikterna kommer att hamna, se Figur 1. Ökade vandningsförluster ger brantare lutning på ersättningslinjen. Med hockey-stick funktionen förblir antal 0+ vid jämvikt oförändrad tills ersättningslinjen blir brantare än lutningen på hockey-stick funktionen. I den sistnämnda situationen kommer populationen att slås ut. Med en Beverton-Holt funktion kommer antalet 0+ att minska successivt i takt med ökade vandningsförluster. Dock kommer inte populationen att kollapsa vid någon specifik lutning på ersättningslinjen vilket blir fallet med hockey-stick funktionen. I Figur 1 visas tre scenarier med vandningsförluster där vandningsförlusten är lägst i scenario 1, högre i scenario 2 och högst i scenario 3. I scenario 3 kan inte en population med hockey-stick funktionen existera, medan en population med en Beverton-Holt rekrytering fortfarande kan upprätthålla en relativt hög täthet av 0+ i förhållande till bärkapaciteten. Det finns vetenskapligt stöd för att rekryteringsfunktionen har en form som påminner mer om en Beverton-Holt än en hockey-stick funktion. För en komplett hockey-stick funktion krävs att brytpunkten identifieras, vilket inte låter sig göras utan data vid låga tätheter.



Figur 1. Resultaten med modell som baseras på en Beverton-Holt rekryteringsfunktion (blå) skiljer sig marginellt jämfört med om en hockey-stick funktion (gul) används om antalet ägg är mycket stort. De linjära ersättningslinjerna skär respektive rekryteringsfunktion där jämvikterna kommer att hamna. Ökade vandringsförluster 1→2→3 ger brantare lutning på ersättningslinjen. Med hockey-stick funktionen förblir antal 0+ vid jämvikt oförändrad tills ersättningslinjen blir brantare än lutningen på hockey-stick funktionen. I den sistnämnda situationen kommer populationen att slås ut. Med en Beverton-Holt funktion kommer antalet 0+ att minska successivt i takt med ökade vandringsförluster. Dock kommer inte populationen att kollapsa vid någon specifik lutning på ersättningslinjen som blir fallet med hockey-stick funktionen. Antal på axlarna avser per 100 m².

4.5.4 Hantering av osäkerhet

Osäkerheten hanteras inte explicit i dessa smoltproduktionsmodeller, men osäkerheten i de parametervärden som används diskuteras i metodbeskrivningarna där även källhänvisningar ges till de parametervärden som används.

4.5.5 Fördelar respektive nackdelar jämfört med andra beräkningsverktyg

En fördel med smoltproduktionsberäkningarna med hjälp av de beskrivna metoderna är att de är förhållandevis enkla att följa steg för steg eftersom de utförs i kalkylprogram som till exempel Excel. Liksom med FiMod kan man utföra känslighetsanalys genom att ändra parametervärdena något mellan olika scenarier för att undersöka hur känsliga resultaten är för specifika parametervärden.

Dock har de metoder som enbart fokuserar på maximala eller aktuella smoltproduktionsbegränsningar begränsad användbarhet i samband med omprövningarna om de inte hanterar förluster i samband med fiskpassager. I de fall metoderna byggs ut till en populationsmodell bör täthetsberoende i yngelstadiet hanteras explicit, vilket inte den förenklade hockey-stick metoden gör. Hockey-stick metoden förväntas överskatta smoltproduktionen vid låga yngeltätheter och får dessutom den negativa konsekvensen att populationen plötsligt kollapsar om dödligheten senare i livet tillsammans med passageförluster överskrider ett tröskelvärde. Det tröskelvärde beror bland annat på vilka värden som angetts för yngelöverlevnad och antal ägg per hona.

5 Alternativa beräkningsverktyg, som inte använts i omprövningarna

5.1 EUROPEAN FISH HAZARD INDEX

Detta index är ett så kallat Ekologiskt risk-index för enskilda vattenkraftverk/dammar. Underlaget till indexet utgörs av bedömningar av platsspecifika effekter av vattenkraftverk och dess drift, fiskarters känslighet och dödlighet och övergripande bevarande- och miljöutvecklingsmål för en flod (van Treeck 2021, 2022).

I praktiken motsvarar detta index den prioriteringsordning av åtgärder vid vattenkraftverk som flera av Länsstyrelserna haft redan innan Vattenmyndigheterna tog fram åtgärdsförslag i samband med att de fastställde miljökvalitetsnormerna och åtgärdsförslagen. Skillnaderna mellan det europeiska riskindexet och Länsstyrelsernas bedömningar är att Länsstyrelserna även vägde in kostnadsnyttan i form av energiförluster för åtgärder. På grund av de omfattande omprövningarna hamnade dock många av de prioriterade åtgärdsförslagen långt fram i tiden då prioriteringen i omprövningsprocessen mer handlade om att börja med delavrinningsområden som bedömdes enkla att hantera i omprövningsprocessen.

5.2 IDENTIFIKATION AV KOSTNADSEFFEKTIVA KONNEKTIVITETSÅTGÄRDER

Det finns metoder för att identifiera vilka platser för konnektivitetsåtgärder som skulle vara mest kostnadseffektiva för att optimera konnektiviteten i ett avrinningsområde (nätverk), se e.g. King m.fl. (2017). En förutsättning för att kunna tillämpa metoden är att man har kunskap om samtliga passageeffektiviteter i avrinningsområdet.

5.3 HABITAT SUITABILITY INDEX (HSI)

Detta index utvecklades initialt för att användas för enskilda arter för att få en objektiv karakterisering av artens preferenser med avseende på olika habitatvariabler. Exempel på habitatvariabler för fisk i strömmande vatten kan vara strömhastighetsintervall, djupintervall, etc.

Detta index är besläktat med metasamhällesanalysen, men med begränsningen att det hanterar en art i taget. Vid jämförelse av HSI-parametrar har det visat sig att parameteruppsättningar från litteraturen inte nödvändigtvis ger en bra beskrivning när resultaten extrapoleras till nya områden. Ett exempel på det visades för öringungar äldre än ett år i danska åar av Conallin m. fl. (2010). En stor fördel med HSI är att det finns mjukvara som även hanterar geografisk information i GIS-miljö där lager med miljöegenskaperna kan infogas. Exempel på sådana programvaror är PHABSIM och RHYHABSIM där den senare hanterar de hydrauliska egenskaperna i habitatet. En intressant utveckling är utvärdering av HSI i relation till modellresultat från CFD (Computational Fluid Dynamics) för att

bedöma passerbarheten för vandrande fisk i områden med konnektivitetsproblem (Haro m.fl. 2015).

Traditionellt har HSI inte hanterat osäkerhet i parametervärdena, men det finns metoder för att hantera osäkerheten, se e.g. Wilhere (2012).

5.4 MASKININLÄRNING (POPULÄRT KALLAD FÖR AI-METOD)

I princip skulle det vara möjligt att använda sig av maskininläring för att träna upp modellen på ett omfattande referensdataset och sedan göra prognoser för områden uppströms tilltänkta fiskpassager. Ett liknande angreppssätt har använts av Garcia m.fl. (2018) för att identifiera karaktäristiska omvärldsförhållanden för homogena artkluster baserat på marina fiskarter.

Resultaten och tillförlitligheten borde bli motsvarande de som erhålls i MSA-analyser. Fördelen med maskininläring jämfört med MSA i detta fall skulle vara att själva analysen blir enklare och kan utföras av fler aktörer. Det skulle därför vara intressant att jämföra MSA-resultaten med resultaten från några olika maskininlärningsmetoder på de dataset som använts till MSA-analyser.

Tillförlitligheten i resultaten blir liksom för övriga metoder beroende av hur väl man lyckas med att ange konnektivitetsvärdena för varje enskild passage, inklusive för de passager som planeras. Notera att konnektivitetsvärdena behöver väga in både uppströmspassage och nedströmspassage för varje enskild art.

6 Referenslista

- Beverton, R.J.H., and Holt, S.J. 1957. On the Dynamics of Exploited Fish Populations, Fishery Investigations Series II Volume XIX, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Bohlin, T., J. Pettersson, and E. Degerman. 2001. Population density of migratory and resident brown trout (*Salmo trutta*) in relation to altitude: evidence for a migration cost. *Journal of Animal Ecology* 70:112-121.
- Conallin, J., M. Olsen, E. Boegh, J. K. Jensen, and S. Pedersen. 2010. Habitat suitability indices development in Denmark: are international indices applicable under small lowland stream conditions? *International Journal of River Basin Management* 8:151-160.
- FUG. 2023a. PM: Laxens bevarandemål och bevarandetillstånd i Piteälven - Potentiell smoltproduktion i Åbyälven. Länsstyrelsens Fiskeutredningsgrupp, Länsstyrelsen Norrbottens län.
- FUG. 2023b. PM: Laxens bevarandemål och bevarandetillstånd i Åbyälven - Potentiell smoltproduktion i Åbyälven. Länsstyrelsens Fiskeutredningsgrupp, Länsstyrelsen Norrbottens län.
- Garcia, J., D. Pelletier, L. Carpentier, W. Roman, and T. Bockel. 2018. Scale-dependency of the environmental influence on fish diversity: Implications for ecoregionalization and conservation. *Journal of Biogeography* 45:1818-1832.
- Halldén A, Liliegren Y & Lagerkvist G. 2002. Biotopkartering - vattendrag, metodik för kartering av biotoper i och i anslutning till vattendrag. Länsstyrelsen i Jönköpings Län. Meddelande 2002:55.
- Halldén A, Asp T, Andersson L, Degerman E & Nöbbelin F. 2005. Biotopkartering Vätterbäckar. Länsstyrelsen i Jönköpings Län. Meddelande 2005:34.
- Haro, A., M. Chelminski, and R. W. Dudley. 2015. Computational Fluid Dynamics-Habitat Suitability Index (CFD-HSI) Modelling as an Exploratory Tool for Assessing Passability of Riverine Migratory Challenge Zones for Fish. *River Research and Applications* 31:526-537.
- ICES. 2023a. Baltic Salmon and Trout Assessment Working Group (WGBAST). ICES Scientific Reports. 5:53. 465 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.22800983>.
- ICES. 2023b. Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS). ICES Scientific Reports. 5:41. 477 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.22743713>
- King, K. B. S., M. T. Bremigan, D. Infante, and K. S. Cheruvilil. 2021. Surface water connectivity affects lake and stream fish species richness and composition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 78:433-443.

- King, S., J. R. O'Hanley, L. R. Newbold, P. S. Kemp, and M. W. Diebel. 2017. A toolkit for optimizing fish passage barrier mitigation actions. *Journal of Applied Ecology* 54:599-611.
- Kriström, B., B. Ranneby, B. O. Calles, L. Greenberg & K. Leonardsson. 2010. Hydropower - Environmental impacts, mitigation measures and costs in regulated waters Cost-Benefit Analysis of River Regulation: The case of Emån and Ljusnan. Scientific summary report. Vattenkraft – miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten. Slutrapport, etapp 3, Elforsk rapport 10:90.
- Lee-Yaw, J. A., J. L. McCune, S. Pironon, and S. N. Sheth. 2022. Species distribution models rarely predict the biology of real populations. *Ecography* 2022. DOI: 10.1111/ecog.05877.
- Leibold, M. A., M. Holyoak, N. Mouquet, P. Amarasekare, J. M. Chase, M. F. Hoopes, R. D. Holt, J. B. Shurin, R. Law, D. Tilman, M. Loreau, and A. Gonzalez. 2004. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters* 7:601-613.
- Leonardsson, K. och Nilsson, K. 2021a. Modellering av fiskvägars betydelse för fiskbestånden - verktyg för att utvärdera åtgärdsförslag. Rapport 2021:765, Energiforsk.
- Leonardsson, K. och Nilsson, K. 2021b. Modellering av fiskvägars betydelse – en sammanfattning. Rapport 2021:780, Energiforsk.
- Löfqvist, M. 2024. Överlevnad av Lax och öring i två livsstadier och korttidsreglerings inverkan på yngelstadiet. Rapport 2024:999, Energiforsk.
- Manning, R. 1891. On the flow of water in open channels and pipes. *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*. 20: 161–207.
- Martins, A. R., D. A. Bastos, L. M. Sousa, T. Giarrizzo, T. B. Vieira, and L. U. Hepp. 2023. Metacommunity organisation of Amazonian stream fish assemblages: The importance of spatial and environmental factors. *Ecology of Freshwater Fish*.
- Nelder, J.A., Wedderburn, R.W.M., 1972. Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*. 135(3), ss 370-384.
- Nilsson, N. 2017. Beräkning av smoltproduktionen i Dammån och dess tillflöden. Rapport till Länsstyrelsen i Jämtlands län. Jönköpings Fiskeribiologi AB.
- Nilsson, N. 2018. Beräkning av smoltproduktionen i Emån och dess tillflöden. Delrapport i Pilotprojekt Emån – vattenkraft. Meddelande nr 2018:33. Jönköpings län.
- Swan, C. M., and B. L. Brown. 2017. Metacommunity theory meets restoration: isolation may mediate how ecological communities respond to stream restoration. *Ecological Applications* 27:2209-2219. DOI: 10.1002/eap.1602.

- van Treeck, R., J. Radinger, R. A. A. Noble, F. Geiger, and C. Wolter. 2021. The European Fish Hazard Index - An assessment tool for screening hazard of hydropower plants for fish. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 43. DOI: 10.1016/j.seta.2020.100903.
- van Treeck, R., J. Radinger, N. Smialek, J. Pander, J. Geist, M. Mueller, and C. Wolter. 2022. Comparative assessment of hydropower risks for fishes using the novel European fish hazard Index. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 51. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101906.
- Vattenmyndigheterna. Södra Östersjön Bilaga 1 Metodbeskrivning för genomförda beräkningar och avvägningar.
<https://www.vattenmyndigheterna.se/download/18.7da99fd316a5925e298348eb/1559715720846/S%C3%B6dra%20%C3%96stersj%C3%B6n%20Bilaga%201%20Metodbeskrivning%20f%C3%B6r%20genomf%C3%B6rda%20ber%C3%A4kningar%20och%20avv%C3%A4gningar.pdf>
- Wilhere, G. F. 2012. Using Bayesian networks to incorporate uncertainty in habitat suitability index models. *Journal of Wildlife Management* 76:1298-1309.

BERÄKNINGSVERKTYG FÖR FISK VID OMPRÖVNING AV VATTENKRAFTEN

Rapporten handlar om de beräkningsverktyg/metoder för fisk som hittills använts i samband med omprövningarna av vattenkraften, hur de fungerar, om och var metoddokumentation finns, om metoderna hanterar osäkerhet i resultaten, samt för- och nackdelar med de olika metoderna. Samtliga metoder utom expertbedömningar är relativt väldokumenterade och hanterar eller kan även hantera osäkerhet. De metoder som utgör regelrätta beräkningsverktyg resulterar i kvantitativa resultat som gör det möjligt att få en uppfattning om hur vandringsfiskpopulationers numerär kan påverkas av nyetablering av fiskpassager. Den egenskapen torde komma väl till pass med tanke på att de planerade åtgärderna förväntas följas upp för att påvisa de positiva effekterna på populationerna.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

