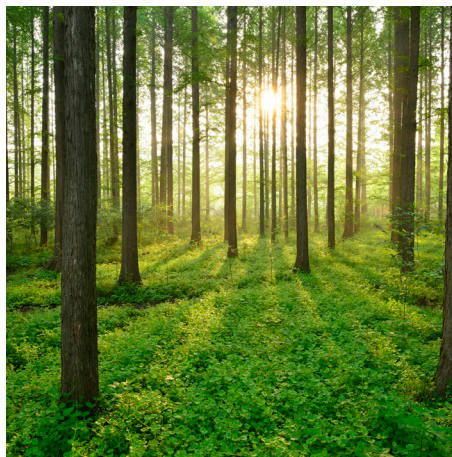
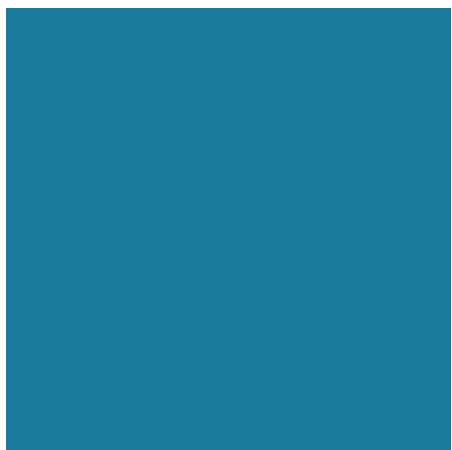


SMOLTÖVERLEVNAD OCH INVERKAN AV KORTTIDSREGLERING – EN LITTERATURSTUDIE

RAPPORT 2024:999



VATTENKRAFTENS MILJÖFORSKNINGS-
PROGRAM



Smoltöverlevnad och inverkan av korttidsreglering – en litteraturstudie

MAGNUS LÖFQVIST

ISBN 978-91-7673-999-0 | © Energiforsk mars 2024

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

Förord

I omprövningen och miljöanpassning av svensk vattenkraft används olika verktyg för att bedöma den ekologiska nyttan med miljöanpassningsåtgärder. Ett sådant verktyg är populationsmodeller.

I det här projektet har en litteraturstudie genomförts för att samla och beskriva kunskapsläget för lax och örings överlevnad i två livsstadier som är kritiska indata för populationsmodelleringar, samt korttidsregleringens påverkan på lax och öringsyngel. I projektet har även kunskapsluckor identifierats för att kunna ge förslag till fortsatt forskning och kunskapsuppbyggnad inom området. Huvudinriktningen har varit svenska förhållanden, men en utblick mot områden med likartade förutsättningar, till exempel Nordamerika, Finland, Norge och brittiska öarna har inkluderats.

Rapporten har tagits fram av Magnus Löfqvist (Afry) 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).

David Aldvén (Vattenfall), Dag Cederborg (Fortum), Johnny Norrgård och Johan Tielman har utgjort projektets referensgrupp.

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

Omprovningar av miljövillkoren för Sveriges vattenkraftverk planeras ske mellan åren 2022 – 2040. I uppnående av beslutade miljö-kvalitetsnormer förutsätts ofta att konnektivitetsförbättrande åtgärder och flödesanpassningar genomförs. Det finns dock skäl att i förväg beräkna de miljöeffekter som åtgärder kan resultera i. För att förbättra dessa beräkningar är det dock önskvärt att om möjligt precisera vissa av de faktorer som är avgörande för resultatet.

För att bedöma miljöåtgärders förväntade effekt på fiskpopulationer, framför allt laxfisk, används olika metoder, bland vilka populationsmodeller är ett ofta använt verktyg. Populationsmodellering visar ett förväntat utfall, preciserat i antal fiskar, om t.ex. överlevnad i vissa livsstadier eller tillgänglig yta eller kvalitet av reproduktionsområden förändras. Populationsmodellering är således ett funktionellt verktyg för att jämföra förväntade effekter av olika åtgärder vilket bl.a. kan användas för att prioritera åtgärder. Modellering av lax- och öringpopulationer kan också motiveras av att dessa arter har en stor inverkan på bedömning av ekologisk status som resultat av elfisken.

Bland de parametrar som används i populationsmodelleringar kan värden för vissa vara mer påverkade av vattenkraftens miljöförändringar än andra. Till faktorer som påverkar dessa värden hör bl.a. överlevnad för smolt vid vandring genom lugnvatten och påverkan på reproduktionen till följd av korttidsreglering. Vidare förekommer också olika värden på insjöörings överlevnad från postsmolt till lekvandrande. Sammantaget medför osäkerheter i dessa värden att stor spridning mellan modelleringsresultat fås.

Denna litteraturstudie undersöker det befintliga kunskapsläget för dessa tre faktorer som utgör viktiga indata till populationsmodelleringar för lax och öring.

Studien visar att det finns ett relativt stort antal undersökningar där smolt-dödligheten vid utvandring genom lugnvatten beräknats för lax (*Salmo salar*) och öring (*Salmo trutta*). Underlaget är dock inte tillräckligt stort för att det ska vara möjligt att med någon större säkerhet kunna urskilja exempelvis geografiska skillnader eller skillnader mellan olika typer av vattensystem.

Det finns i dagsläget få studier med data avseende överlevnad för icke-havsvandrande insjööring i fasen från smoltutvandring till återvändande adult lekmogen fisk.

Avseende påverkan av korttidsreglering på yngelstadierna av laxfisk (*Salmo salar* och *Salmo trutta*) är läget något oklart. En viss negativ påverkan är sannolik, men svår att kvantifiera. Det finns även indikationer på att öring är mer känslig än lax för påverkan av korttidsreglering.

Vidare konstateras i studien att sambandet mellan klassgränserna för vattenförvaltningens hydromorfologiska kvalitetsfaktor *Hydrologisk regim* och den biologiska kvalitetsfaktorn *Fisk* är obefintligt.

Nyckelord

Populationsmodell, hydrologisk regim, lax, öring, överlevnad, smolt, korttidsreglering, omprövning, vattenförvaltning

Summary

A comprehensive reassessment of the environmental permits regulating Swedish hydropower plants is scheduled to take place in the years 2022-2040. To achieve the relevant Environmental Quality Standards there are often requirements to undertake measures improving connectivity and to implement environmental flows. However, there are good reasons to attempt to estimate the ecological effects of such measures in advance. In order to improve these calculations, it is desirable to try to reduce the uncertainty for some of the governing factors.

To evaluate the effect of environmental measures on fish populations, especially salmonids, there are different methods, among which population modelling is a frequently used tool. Population modelling yields an expected outcome, expressed as a number of fishes, if for example survival at certain life stages or available surface or quality of habitats for reproduction is altered. Population models are thus useful tools to compare the expected outcome of environmental measures, which can be used to assign priority to various measures. Modelling of salmon and trout populations can also be motivated by the fact that these species have a significant impact on the evaluation of ecological status as a result of electrofishing.

Among the parameters used for population modelling, some may be more impacted by the environmental effects of hydropower than others. Among the relevant factors the survival of smolt migrating through lakes, estuaries or impounded waters and the effect of hydropeaking on reproduction has been identified. There are also variable values on the survival of adfluvial trout in the stage from post-smolt to returning adult spawners. Uncertainties in these factors results in a large spread in the results of modelling scenarios.

This literature review examines the existing situation regarding knowledge of these three factors, which provides an important input for population models for salmon and trout.

This study shows that there exists a relatively large number of studies where smolt mortality resulting from migration through standing waters have been calculated for salmon (*Salmo salar*) and trout (*Salmo trutta*). However, the number of studies is not large enough to enable any more detailed break-down on mortality in for example different geographical regions or different types of watercourses.

There exist few studies containing data regarding survival of adfluvial trout in the phase from smolt migration to returning adult spawners.

Regarding the effects of hydropeaking on the juvenile stages of salmonids (*Salmo salar* and *Salmo trutta*) the picture is somewhat unclear. A certain negative impact is likely, but difficult to quantify. There are also studies indicating that trout could be more sensitive than salmon to the effects of hydropeaking.

Furthermore, this study concludes that there seem to be no relationship between the classification of the hydromorphological quality element “Hydrological regime”

and the biological quality element “*Fish*” as used in the Swedish implementation of the EU Water Framework Directive.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Rapportens syfte	10
1.3	Genomförande och avgränsningar	10
2	Överlevnad smoltutvandring genom lugnvatten	12
2.1	Bakgrund	12
2.1.1	Litteratursökning	12
2.1.2	Tidigare studier	12
2.2	Resultat	13
2.2.1	Parametervärden	13
2.2.2	Betydelsen av predation	18
2.2.3	Passage av dammar	21
2.2.4	Hög andel förluster på kort sträcka	22
2.2.5	Vandringshastighetens betydelse	23
2.3	Diskussion	24
2.4	Slutsats	25
3	Överlevnad postsmolt till påbörjad lekvandring för insjööring	27
3.1	Bakgrund	27
3.1.1	Litteratursökning	27
3.2	Resultat	27
3.3	Slutsats	29
4	Påverkan av korttidsreglering på lax- och öringyngel	30
4.1	Bakgrund	30
4.1.1	Litteratursökning och tidigare studier	30
4.2	Resultat	31
4.2.1	Labförsök	31
4.2.2	Modellstudier	32
4.2.3	Fältstudier	33
4.2.4	Data- och litteraturstudier	34
4.3	Korttidsreglering i vattenförvaltningen	35
4.4	Diskussion	36
4.5	Slutsats	37
5	Referenser	39

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Omprovningar av miljövillkoren för Sveriges vattenkraftverk planeras ske mellan åren 2022 – 2040. I uppnående av beslutade miljö-kvalitetsnormer förutsätts ofta att konnektivitetsförbättrande åtgärder och flödesanpassningar genomförs. Det finns dock skäl att i förväg beräkna de miljöeffekter som åtgärder kan resultera i. För att förbättra dessa beräkningar är det dock önskvärt att om möjligt precisera vissa av de faktorer som är avgörande för resultatet.

Enligt vattenförvaltningens krav ska miljöåtgärder genomföras om de kan förväntas ge mer än lätta förbättringar på biologin och de krävs för att nå beslutade miljö kvalitetsnormer. För kraftigt modifierade vatten ska miljöåtgärder inte genomföras om de *”kan antas på ett betydande sätt negativt påverka kraftproduktion”*. För vattenkraften i Sverige utgör bl.a. en total produktionsförlust om 1,5 TWh ett riktvärde för när miljöåtgärder kan anses medföra betydande negativ påverkan på vattenkraftproduktion.

Vid beslut om vilka åtgärder som ska anses utgöra moderna miljövillkor för vattenkraften finns således anledning att bedöma förväntade effekter av miljö-åtgärder, för att avgöra vilka åtgärder som leder till mer än lätta förändringar. Det kan också finnas skäl att prioritera åtgärder utifrån vilka åtgärder som inryms inom beslutade HARO-värden samt vilka kostnader genomförande av åtgärder medför.

För att bedöma miljöåtgärders förväntade effekt på fiskpopulationer, framför allt laxfisk, används olika metoder, bland vilka populationsmodeller är ett ofta använt verktyg. Populationsmodellering visar ett förväntat utfall, preciserat i antal fiskar, om t.ex. överlevnad i vissa livsstadier eller tillgänglig yta eller kvalitet av reproduktionsområden förändras. Populationsmodellering är således ett funktionellt verktyg för att jämföra förväntade effekter av olika åtgärder vilket bl.a. kan användas för att prioritera åtgärder. Modellering av lax- och öring-populationer kan också motiveras av att dessa arter har en stor inverkan på de VIX-värden som används för bedömning av ekologisk status som resultat av elfisken.

Vattenkraften har generellt medfört stora förändringar av vattenmiljön. Förutom att dammar och kraftverk medför vandringshinder för fisk har också strömvatten-miljöer ersatts med uppdämda sjöliknande miljöer. En variation av vattenföring som bestäms av nederbörd och avsmältning har förändrats till att följa samhällets elbehov.

Bland de parametrar som används i populationsmodelleringar kan värden för vissa vara mer påverkade av vattenkraftens miljöförändringar än andra. Till faktorer som påverkar dessa värden hör bl.a. överlevnad för smolt vid vandring genom lugnvatten och påverkan på reproduktionen till följd av korttidsreglering. Vidare förekommer också olika värden på insjöörings överlevnad från postsmolt

till lekvandrande. Sammantaget medför osäkerheter i dessa värden att stor spridning mellan modelleringsresultat fås.

1.2 RAPPORTENS SYFTE

Syftet med detta projekt är att bidra med ett bättre underlag för att kunna identifiera kunskapsluckor avseende vissa parametrar som utgör viktiga indata vid populationsmodellering.

Nedanstående stadier för öring och lax får stort genomslag i populationsmodelleringar pga. stora osäkerheter kring tillämpade parametervärden:

- Överlevnad under smoltutvandring för både lax och öring.
- Överlevnad under perioden postsmolt till påbörjad lekvandring för adult öring.

Därtill finns en osäkerhet kring i vilken utsträckning habitatkvalitet på grund av avvikande hydrologisk regim vid framför allt korttidsreglering kan påverka förutsättningar för reproduktion av laxfisk.

Studiens huvudsakliga inriktning är att med en genomgång av publicerad litteratur framför allt beskriva nuvarande kunskapsläge avseende ovan nämnda punkterna, samt ge förslag till fortsatt forskning och kunskapsuppbyggnad inom området.

Vidare har beträffande effekten av korttidsreglering en ansats gjorts till att utreda vilka samband som finns mellan avvikande hydrologisk regim och påverkan på fisk som legat till grund för bestämning av gällande klassgränser för hydrologisk regim enligt HVMFS 2019:25.

1.3 GENOMFÖRANDE OCH AVGRÄNSNINGAR

Denna rapport utgör i huvudsak en genomgång av litteratur, baserad på sökning i vetenskapliga databaser och i andra källor, s.k. grå litteratur (ej vetenskapliga publiceringar).

Därutöver har ett stort antal personer som arbetar med frågor kopplade till studiens ämne på till exempel myndigheter, inom vattenkraftsbranschen, universitet med mera kontaktats i syfte att fånga upp relevanta studier och data.

Huvudinriktningen har legat på svenska förhållanden, men med en utblick mot områden med likartade förutsättningar, till exempel Nordamerika, Finland, Norge och brittiska öarna.

Fokus har legat på arter och naturtyper som förekommer under svenska förhållanden. Mer specifikt har sökningen inriktats på atlantlax (*Salmo salar*) och öring (*Salmo trutta*), men även studier där andra laxartade fiskar ingått har inkluderats i de fall de bedömts tillföra information av intresse.

Studier från älvar på amerikanska västkusten i huvudsak avgränsats bort eftersom Stillahavslax delvis har en annan livscykel än Atlantlax och öring.

Fokus i de tre delar som beskrivs under syfte ovan ligger på sötvattenmiljöer. Studier som huvudsakligen berör marina miljöer har av den anledningen avgränsats bort.

Denna rapport går inte närmare in på olika populationsmodellers funktion eller uppbyggnad. En genomgång av populationsmodeller finns exempelvis i Energiforsk Rapport 2021:765, Modellering av fiskvägars betydelse för fiskbestånden och Energiforsk Rapport 2021:780, Modellering av fiskvägars betydelse – en sammanfattning.

2 Överlevnad smoltutvandring genom lugnvatten

2.1 BAKGRUND

2.1.1 Litteratursökning

Sökningar gjordes i de vetenskapliga databaserna Scopus och World of Science Core Collection.

En stor mängd studier behandlade parasiter på lax. För att få mer relevanta träffar exkluderades därför "parasite" och "lice".

((Smolt) and (surviv* or predat* or mortal*) and (Atlantic salmon or brown trout or trutta or salar) and (Estuar* or Pond or lake) and (telemetry) not (parasite or lice))

Antalet träffar uppgick till 100 unika studier.

((Smolt) and (surviv* or predat* or mortal*) and (Atlantic salmon or brown trout or trutta or salar) and (Estuar* or Pond or lake) and (telemetry) not (parasite or lice or marine))

Exkluderas marine ur sökningen sjunker antalet träffar till 34.

En vidare sökning har därefter gjorts genom andra källor, referenser i granskade studier samt kontakter med sakkunniga. Totalt har 51 studier identifierats som relevanta för den aktuella studien i det avseendet att de innehåller värden på dödlighet för lax- och/eller öringsmolt vid utvandring genom lugnvatten.

Nedan återges en sammanfattning av innehållet i några av de identifierade studierna. Det görs även ett försök att identifiera relevanta parametervärden på smoltdödlighet vid utvandring genom lugnvatten.

2.1.2 Tidigare studier

Gerhard Sandell genomförde år 1995 på uppdrag av Höje å vattendragsförbund och Saxån-Braåns vattenvårdskommitté en litteraturstudie som framför allt syftade till att undersöka effekten av små (0,5–3 ha) anlagda dammar och våtmarker på havsöring (Sandell, 1995).

På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten har en rapport tagits fram som underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. Rapporten undersöker påverkan på strömlevande fisk av anlagda lugnvatten och innehåller bl.a. en litteraturgenomgång rörande ökad dödlighet i lugnvatten med tonvikt på laxfiskar (Degerman m.fl., 2013).

En frekvent citerad studie för att kvantifiera dödligheten på utvandrande laxsmolt (*Salmo salar*) är Thorstad m.fl. (2012). Artikeln utgör en litteraturstudie, och i den anges att en summering av de få existerande studierna av vandringsbeteende, miljöfaktorer och överlevnad för lax i smolt- och inledande post-smolt-fasen visar

på en total dödlighet på 0,3–7,0 % (median 2,3) /km vid utvandring i strömmande vatten. Den högsta dödligheten anges förekomma i flodmynningar och havsvikar nära flodmynningar, där dödligheten anges till 0,6–36 % (median 6,0 %) /km (Thorstad m.fl., 2012).

2.2 RESULTAT

2.2.1 Parametervärden

De studier som bedömts relevanta har analyserats för att se om det är möjligt att utläsa någon siffra på dödlighet uttryckt i procent per kilometer. Vattenområden som studierna omfattat har indelats i tre kategorier; sjö, semilentiskt och strömmande vatten.

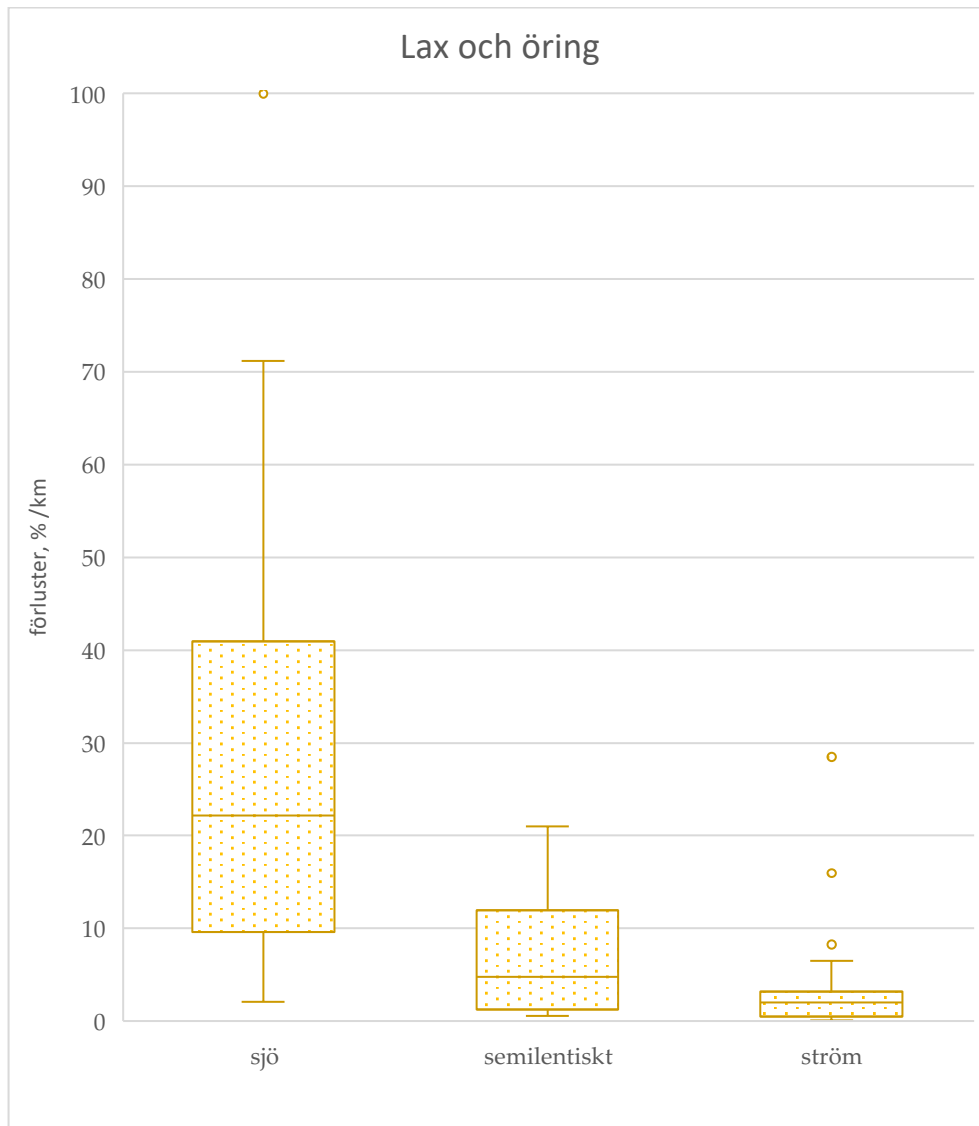
Då det inte finns några skarpa gränser i naturen, och då studierna inte alltid beskriver de fysiska förhållandena i studieområdet utförligt får denna indelning naturligtvis en viss osäkerhet. Indelningen har dock gjorts så att vattenområden som har tydlig sjökaraktär, oavsett om de är naturliga eller anlagda, har klassats som sjö. Lugnvattenområden som inte har tydlig sjökaraktär, t.ex. flodutlopp, övergång till havsvikar, älvar med mindre dämningsområden/ älvregleringsmagasin och liknande har klassats som semilentiska.

Kategorin strömmande vatten är främst sådana områden som utgör referenssträcka, studier före ett anläggande av en våtmark eller liknande. Då denna studie fokuserar på dödlighet vid utvandring genom lugnvatten har inte studier som enbart omfattar strömmande vatten inkluderats, men i de fall data funnits för att beräkna dödlighet på strömsträckor i de inkluderade studierna har det tagits med som jämförelsematerial.

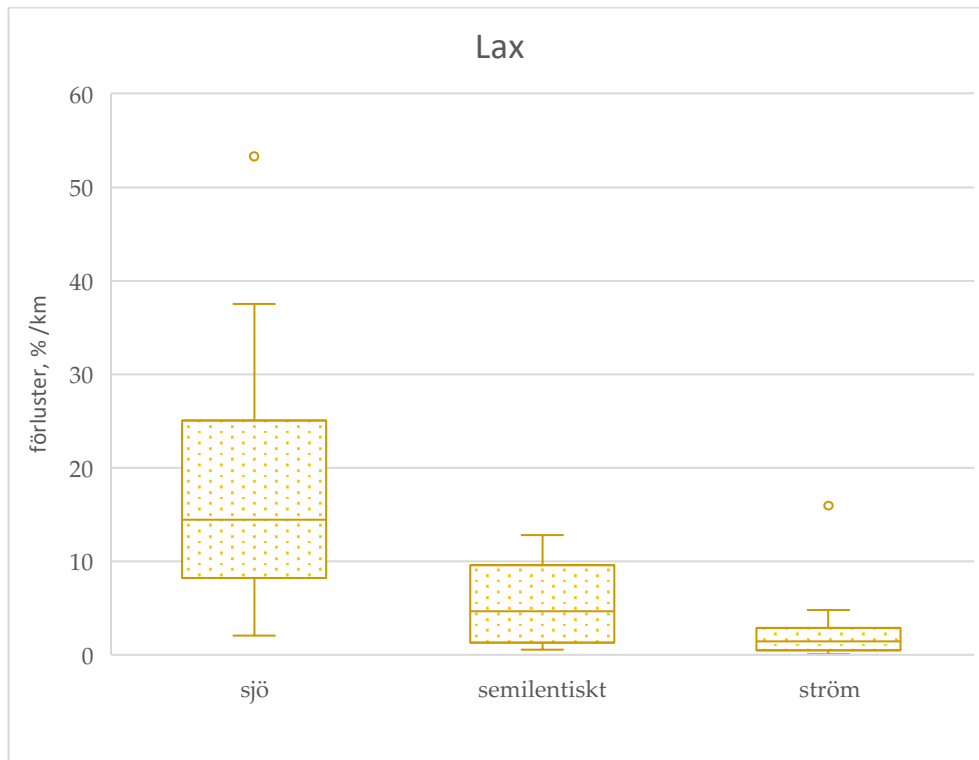
En sammanställning av värden på smoltdödlighet per kilometer för de studier som inkluderats i denna genomgång redovisas med s.k. låddiagram (box plots) i Figur 1 för lax och öring samlat, samt i Figur 2 för enbart lax (*Salmo salar*) och i Figur 3 för enbart öring (*Salmo trutta*).

Kvartilavståndet kallas avståndet mellan övre och undre kvartilen, det vill säga längden på lådan. Den undre kvartilen markerar 25 % värdet, och den övre kvartilen markerar 75 % värdet. Medianen indikeras av strecket inuti lådan. Extremvärden betraktas som utliggare och markeras med cirklar. Statistiken sammanfattas även i Tabell 1.

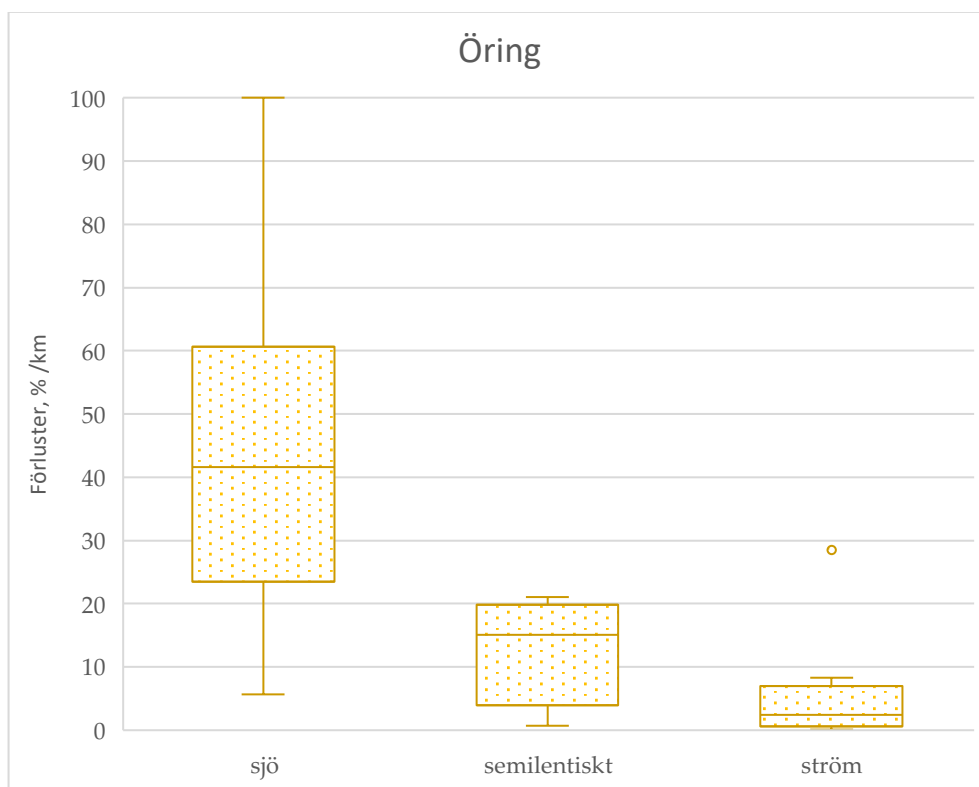
Resultatet visar som förväntat att förlusterna per kilometer är högst i kategorin sjö och lägst i strömmande vatten, medan de semilentiska miljöerna intar ett mellanläge.



Figur 1. Sammanställning av smoltdödighet per kilometer för sjö, semilentiska respektive strömvattenmiljöer för lax (*Salmo salar*) och öring (*Salmo trutta*) samlat.



Figur 2. Sammanställning av smoltdödlighet per kilometer för sjö, semilentiska respektive strömvattenmiljöer för lax (*Salmo salar*).



Figur 3. Sammanställning av smoltdödlighet per kilometer för sjö, semilentiska respektive strömvattenmiljöer för öring (*Salmo trutta*).

Tabell 1. Sammanfattning, resultat av % smoltdödlighet per kilometer.

	Sjö, % dödlighet/km	Semilentiskt, % dödlighet/km	Ström, % dödlighet/km
Lax och öring	2,1–71,2	0,6–21,0	0,1–6,5
Lax	2,1–37,6	0,6–12,9	0,1–4,8
Öring	5,7–100	0,7–21,0	0,1–8,3

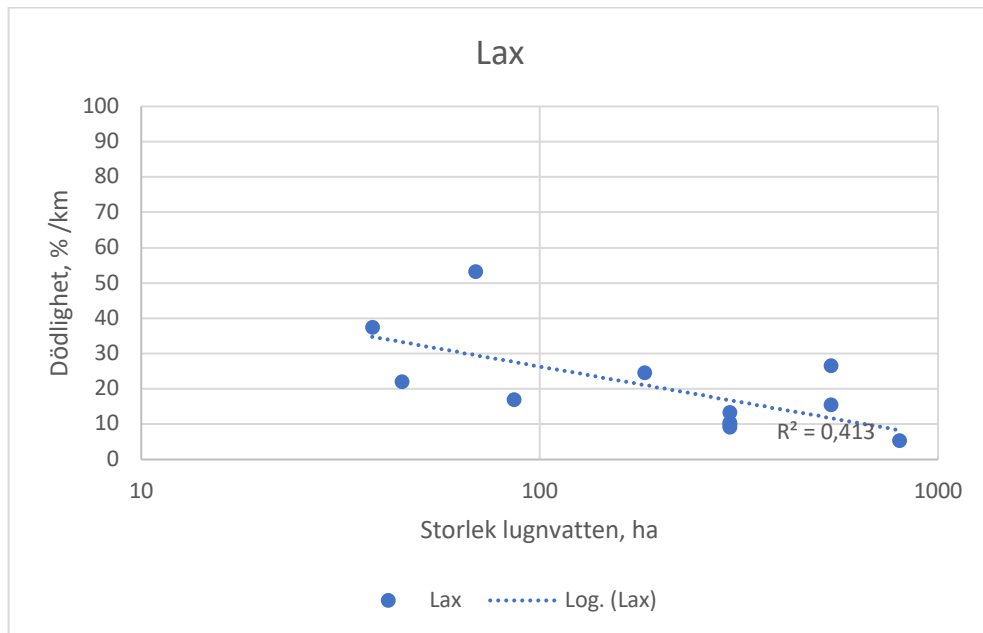
Sammanställning för att relatera värdena på dödlighet per kilometer till areal på lugnvatten har tagits fram för kategorin sjöar (Figur 4 och Figur 5), i de fall denna gått att utläsa ur respektive studie. Vidare har sambandet mellan dödlighet per kilometer och storleken på vattendrag, uttryckt som medelvattenförling, undersökts för kategorierna sjöar och semilentiska miljöer (Figur 6 och Figur 7).

Storleken på vattendrag anges som vattendragets medelvattenförling, vilket inte är identiskt med de flöden som förekommit vid de aktuella studierna. Medelvattenförlingen har dock bedömts vara en mer relevant parameter för att kunna jämföra storleken på olika vattendrag.

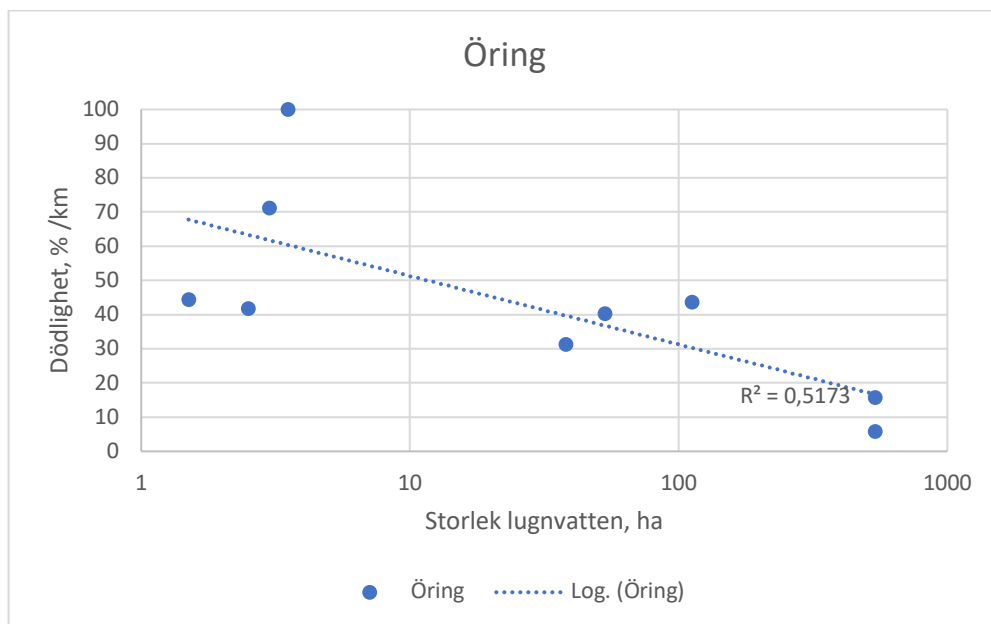
I flera fall inkluderar studier resultat av märkningsförsök upprepade under flera år. Då dessa är publicerade i en rapport har ett medelvärde beräknats för de ingående resultaten. Där studier utförts vid olika tidpunkter och av olika forskare, men i samma vattenförekomst, har dock dessa studier inkluderats som separata värden i figurerna nedan.

Som framgår av Figur 4-7 nedan finns en tendens till avtagande dödlighet både med ökande storlek på lugnvatten och med ökande storlek på vattendrag. Sambanden är dock relativt svaga. Det tydligaste sambandet finns mellan dödlighet hos öringsmolt och storlek på vattendrag uttryckt som medelvattenförling, med logaritmisk trendlinje. Motsvarande samband för lax är dock mycket svagt, vilket gör det svårt att dra några tydliga slutsatser. För dödlighet relaterat till storlek på lugnvatten är skillnaden mellan arterna mindre markant.

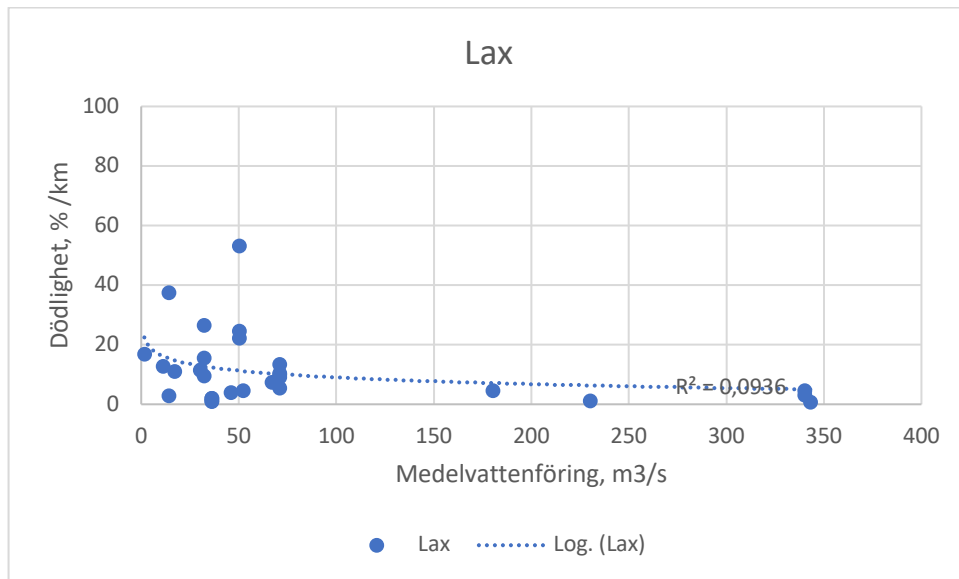
Ett intressant område att forska vidare på vore att undersöka om det finns en tydlig skillnad i smoltdödlighet mellan lax och öring kopplad till storlek på vattendrag, eller om det är en effekt av någon annan faktor i ingående studier.



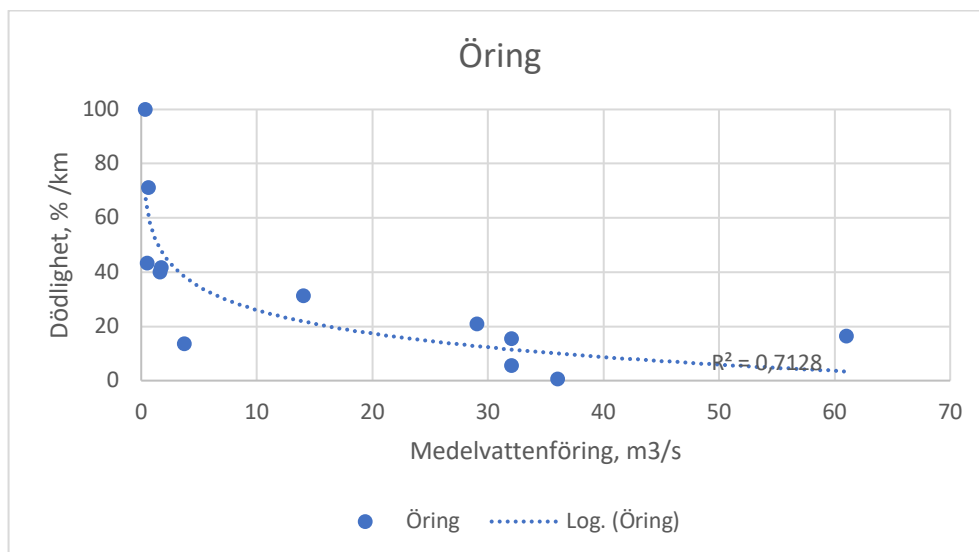
Figur 4. Dödlighet hos laxsmolt i sjöar uttryckt i % /km, medelvärde relaterat till storlek på lugnvatten uttryckt i hektar (logaritmisk skala på x-axel).



Figur 5. Dödlighet hos öringssmolt i sjöar uttryckt i % /km, medelvärde relaterat till storlek på lugnvatten uttryckt i hektar (logaritmisk skala på x-axel).



Figur 6. Dödlighet hos laxsmolt i sjöar och semilentiska miljöer uttryckt i % /km, medelvärde relaterat till storlek på vattendrag uttryckt som medelvattenföring (m³/s).



Figur 7. Dödlighet hos öringssmolt i sjöar och semilentiska miljöer uttryckt i % /km, medelvärde relaterat till storlek på vattendrag uttryckt som medelvattenföring (m³/s).

2.2.2 Betydelsen av predation

Nedströmsvandring är en känslig fas för smolt och predation är en viktig faktor för att bestämma dödligheten (t.ex Jepsen m.fl., 2000; Olsson m.fl., 2001; Thorstad m.fl., 2012). Bland vanligt förekommande predatorer på smolt av salmonider under europeiska förhållanden nämner Schwinn (2018) gädda (*Esox lucius*), lake (*Lota lota*), gös (*Sander lucioperca*), vuxen öring (*Salmo trutta*), mink (*Neovison vison*), utter (*Lutra lutra*), gråhäger (*Ardea cinerea*), storskarv (*Phalacrocorax carbo*), måsar (*Larus spp.*), skrakar (*Mergus spp.*) och doppingar (*Podiceps spp.*).

Det finns åtskilliga studier från Danmark som visar på hög fågelpredation (skarv) (t. ex. Dieperink m.fl., 2001; Baktoft, 2003; Koed m.fl., 2006; Jepsen m.fl., 2010; Koed m.fl., 2019).

Koed m.fl. (2006) visar att dödligheten för både lax- och öringsmolt i Skjern Å på Jylland mer än fördubblades 2002 jämfört med 2000 till följd av ökande predation från framför allt skarv. Niels Jepsen, seniorforskare på DTU Aqua i Danmark, anger i en konferenspresentation att det är vanligt med förluster av lax- och öringsmolt på mellan 40–60 % till följd av skarvpredation i danska vattendrag. Enligt Jepsen (2022) finns ingen annan förklaring till observerade minskningar av strömlevande fisk, och enda sättet att förbättra situationen uppges vara att minska predationen från skarv.

Det är dock inte självklart att detta gäller vid alla förhållanden och i alla vatten, inte ens sådana där skarv finns i hög omfattning. I en studie från Dalälvens mynning (Boström m.fl., 2009) visas på låg predation från skarv på salmonider. Ingen skarvpredation på laxsmolt kunde iakttas, medan den totala skarvpredationen på öringsmolt skattades till mellan 0,8–2,3 %. En nyligen publicerad svensk kunskapssammanställning menar att kunskapsläget gällande storskarvens predation på fisk i strömmande vatten i Sverige är mycket begränsad, men hänvisar till en studie under granskning, som tycks motsäga resultaten i Boström m.fl. (2009). Enligt den nya studien sker predation av storskarv på en förhållandevis stor andel av den utvandrande smolten i Dalälven; ~31 % av den odlade öringen, ~19 % av den vilda öringen, ~13 % av den odlade laxen, ~8 % av den vilda laxen, i Dalälven. Denna studie tyder även på att laxen är betydligt mindre känslig för skarvpredation än öringen (Lundström m.fl., 2023).

Sandells litteraturstudie (Sandell, 1995) konstaterar att gädda är en betydande predator på havsöringsmolt. I studien förs ett resonemang kring betydelsen av storleken på dammen, då en stor areal skulle kunna förlänga "kontakttiden" mellan smolt och predator vilket i sin tur skulle kunna bidra till högre förluster. I små dammar borde således risken vara mindre än i stora.

En sådan trend illustreras även i Kävlingeån och Råån (Olsson m.fl., 2009), där det vid en analys av nio våtmarker med en storlek mellan ca 1,5–5 ha ses ökande migrationsförluster per kilometer vid ökande areal på lugnvattnet. På flera lokaler i Kävlingeån och Råån konstateras genomsnittliga förluster av havsöringsmolt på 40 % /km vid passage genom våtmarkshabitat i storleksordningen 1–3 ha. I Önnerupsbäcken (Olsson m.fl., 2001) konstateras mycket hög dödlighet av havsöringsmolt; totala förluster på 77–81,5 % (motsvarande 100 % /km) vid passage genom en våtmark på 3,5 ha. I Knipån, som är ett tillflöde till Vättern, konstaterades totala förluster av utvandrande öringsmolt på i snitt 36 % (71 % /km) genom en damm på 3 ha (Nilsson, 2013).

Smoltförluster av öring i en betydligt större anlagd sjö i det danska vattendraget Egå på Jylland har studerats under ett flertal år (Schwinn m.fl., 2017a, 2017b, 2018b, 2019.; Schwinn 2018a). Egå Engsø är en artificiell sjö på 112 ha som anlades i Egå för att minska näringsläckage till havet. Sjöns inverkan på utvandrande öringsmolt har följts upp genom telemetristudier före (2005–2006) och efter (2007–2017) anläggandet av sjön. Före anläggandet av sjön var förlusterna på sträckan noll.

Efter att sjön anlades har förlusterna för vild smolt varierat mellan 35–87 % (medel 70 %) och för odlad fisk mellan 50–82 % (medel 70 %) (Schwinn, 2018a). Sträckan mellan avlyssningsstationerna vid inlopp och utlopp var 1,4 km, så förlusterna per kilometer motsvarar 50 % /km som medelvärde.

I den danska ån Gudenå genomfördes en studie för att kartlägga orsakerna till hög smoltdödlighet i Tange Sø, ett 12 km långt, grunt vattenkraftsmagasin. 50 laxsmolt (odlade) och 24 öringsmolt (vilda) radiomärktes och följdes under tre veckor. Under denna period dog alla öringsmolt och 90 % av laxsmolten. I studien gjordes även försök att fastställa dödsorsaken. Det konstaterades att gädda (*Esox lucius*), svarade för 56 % av den observerade dödligheten, medan predation från fågel skattades till 31 %. Studien drar slutsatsen att det under rådande förhållanden är orealistiskt att etablera ett naturligt bestånd av strömlevande laxfisk uppströms Tange Sø (Jepsen m.fl., 1998).

I märkningsförsök 1996 och 1999 där man följt märkta laxsmolt utsatta nedströms Tange kraftverk nådde endast två av 44 märkta smolt havet. Av de fiskar som ingick i studien 1999 påträffades 70 % av mottagarna i magarna på gös, gädda eller i hägerbon (Koed m.fl., 2002).

Från Pyhäjoki i Finland uppskattas i en studie att gädda svarar för en predation på 29 % av det totala antalet utvandrande laxsmolt på en 2,5 km lång sträcka nära mynningen (Kekäläinen m. fl. 2008).

I Nash m.fl. (2022) märktes både vildfångade laxsmolt och vuxen öring i Evangervatnet i älven Vosso i Norge, för att närmare studera predationsförluster och beteende hos predatorer och bytesfisk. 11 av 22 märkta smolt konstaterat döda och sannolikt prederade av öring. 7 av 22 (32 %) tog sig genom hela sjön. Resterande fyra tros ha dött mellan mottagarstationer eller försvunnit ur sjön genom andra predatorer än öring.

I en migrationsstudie med vilda laxsmolt i Klarälven (Norrgård m.fl., *in press*) hade man en dödlighet på 3 %/km på två semilentiska älvavsnitt. Ingen fisk dog på sträckorna där vare sig dammar eller semilentiska miljöer förekom. Fisken migrerade långsammare i de semilentiska älvavsnitten (2,4 kroppslängder/s vs 4,9 kroppslängder/s). Utmed ett älvavsnitt har fisken möjlighet att välja två olika rutter, antingen älvens huvudfåra, eller en kortare omväg via en grävd kanal in till sjön Lusten för att sen återansluta till älven längre nedströms. Lusten användes under flottningen som uppehållsplats för timmer. En del av stenkonstruktionerna som anlades för att styra in timmer mot Lusten finns kvar. Ingen av fiskarna som följde älven föll bort på det aktuella älvavsnittet, medan 28 % av fisken som migrerade via Lusten (6,2 %/km) bedömdes som prederade innan de återanslöt till huvudfåran. Vid standardiserat fiske fångades signifikant mer gädda, gös och lake i Lusten än i älvfåran.

Under perioden 2006–2010 märktes totalt 360 smolt (vild lax samt odlad lax och öring) med telemetrisändare i nedre delen av Klarälven (Norrgård, 2014). Dessa sattes ut ca 25 km uppströms mynningen. Av dessa nådde 50,6 % Väneren. Förlusterna på vattendragsavsnitt med hög andel vattenvegetation och vattendjup 0–3 meter var 5,7 %/km. På vattendragsavsnitt med djuphål och bakvatten var förlusterna 3,6 %/km. Lägst förluster, 0,3 %/km, var det på vattendragssträckor

med homogen sandbotten och 2–4 meters djup. Vid standardiserat fiske fångades signifikant minst gädda på vattendragssträckor med homogen sandbotten och 2–4 meters djup.

2.2.3 Passage av dammar

Ett specialfall av passage genom lugnvatten är där smolten även måste passera artificiella strukturer i form av dammvallar, kraftverk med nedströmpassager och liknande, vilket kan leda till fördröjning och ökad predation. Flera studier finns även där dödligheten till följd av passage genom kraftverksturbiner undersökts. Dessa ligger dock utanför avgränsningen för denna litteraturgenomgång.

Det kan ändå nämnas att en av de studier som inkluderats då den även innehåller siffror på dödlighet genom lugnvatten i Testeboån, visar på hög dödlighet i lugnvattenhabitat närmast uppströms Strömsbro kraftverk, där mellan 56–65 % av märkta laxsmolt förlorades på de närmsta tre kilometrarna innan kraftverket. Även passagen genom kraftverkets Francisturbin orsakade höga momentana förluster på 60–75 % (Serrano m.fl., 2009).

I en kanadensisk studie undersöktes effekten av två mindre överfallsdammar i Credit River, som mynnar i Lake Ontario, på överlevnad och migrationshastighet för laxsmolt (*Salmo salar*). Dödligheten för utvandrande smolt var generellt låg, 0–5,7 % /km (medel 1 % /km). Dammarna konstaterades inte ha någon effekt på dödligheten. Vildfångad smolt hade väsentligt större framgång i migrationen ut i Lake Ontario än odlad smolt (Larocque m.fl., 2019).

Som kontrast till studierna ovan hade laxsmolt som passerade en kraftverksdamm och en överfallsdamm i floden Sieg, som är en biflod till Rhen, i Tyskland låga förluster 2016, då flödet var högt. Då beräknades passageförlusten till följd av kraftverksdammen till 2,9 %. År 2014 och 2015 var flödet betydligt lägre, vilket resulterade i högre förluster; 9,9 % respektive 12,8 %. Kraftverket var försett med fingaller, vilket gjorde att ingen passage genom turbinerna förekom. De ökade förlusterna vid låga flödet bedöms snarare uppstå till följd av längre uppehållstid och ökad exponering för predatorer. Passage av överfallsdammen beräknades orsaka förluster på mellan 3,4–5,7 % (Havn m.fl., 2018).

I en studie 2010–2011 i River Tweed i Skottland sågs också en tydlig effekt av flödets betydelse vid passage av överfallsdammar, där framför allt passagen av en specifik damm orsakade höga förluster vid låga flöden år 2010. De momentana förlusterna vid dammpassager varierade mellan 2–44 % 2010 och 5–9 % 2011. Förlusterna per kilometer totalt genom hela utvandringen var dock inte anmärkningsvärt höga; 0,88 % /km 2010 och 0,55 % /km 2011 (Gauld m.fl. 2013).

Det konstaterades även höga momentana förluster av lax- och öringsmolt i försök i de danska åarna Salten och Mattrup (biflöden till Gudenå på Jylland). Vid överfallsdammar, som bl.a. utgjorde intag till fiskodling, uppmättes den totala dödligheten för laxsmolt till 53 % (1 lokal) och för öringsmolt 18–71 % på fyra lokaler. Predation av gädda och vuxen öring nämns som möjliga orsaker. Några siffror på förluster per kilometer anges inte i denna studie (Aarestrup & Koed, 2003).

I försök med märkta öringsmolt i Emån uppskattar Calles & Greenberg (2009), förluster på sträckan kring Finsjö övre och nedre kraftverk som inte kan förklaras med turbindödlighet till 36,7 %. Av denna andel uppskattas 25 % vara förluster till följd av predation, vilket ger en förlust per kilometer på 13,9 %. Detta konstateras vara betydligt högre än förlusterna nedströms de båda kraftverken, där förlusterna uppskattas till 2,2–2,3 % /km.

En studie från 2008 som jämför det reglerade Columbia-Snake River-systemet med det oreglerade Fraser-Thompson River-systemet i västra USA visade något överraskande på jämförbara förluster hos utvandrande smolt av arterna kungslax (*Oncorhynchus tshawytscha*) och regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) i de båda systemen (Welch m.fl., 2008). Huusko m.fl. (2017) har gjort en studie med liknande upplägg för lax (*Salmo salar*) i Torne älv och Kemijoki. Deras studie visar på sex gånger högre överlevnad i nedre delarna av den oreglerade Torne älv jämfört med den reglerade Kemijoki. Alla vattenkraftverk i Columbia-Snake River har nedströms-avledare, vilket inte är fallet i Kemijoki.

2.2.4 Hög andel förluster på kort sträcka

Lough Erne är ett stort sjösystem i Nordirland, med en yta på ca 168 km² och en medelavrinning (MQ) på 100 m³/s. Sjön har flera tillflöden i vilken atlantlax (*Salmo salar*) leker. I en telemetristudie (Kennedy m.fl., 2018) märktes 90 laxsmolt och sattes ut i fyra tillflöden (längd 7,3–59 km) till Lough Erne. Förlusterna i de strömmande vattendragen varierade mellan 0–9,4 % /km, vilket i studien ses som normalt och förväntat jämfört med angivet intervall i Thorstad m.fl. (2012) på 0,3–7,0 % /km.

De första två kilometrarna efter att laxsmolten simmat in i sjön uppmäts emellertid mycket höga förluster; mellan 22,7–40,9 % /km (medel 31,2 % /km). De smolt som klarar sig genom de första två kilometrarna uppvisar sedan betydligt lägre förluster genom resterande del av sjön (ca 10 km), motsvarande 0–7,2 % /km (medel 2,4 % /km). Studien pekar på predation från framför allt gädda i de grunda, bevuxna mynningsområdena där de laxförande åarna rinner in i Lough Erne som en sannolik orsak till de höga förlusterna.

Nedströmsvandringen av lax genom Evangervatnet i älven Vosso och Bolstadselva (vattendraget byter namn nedströms Evangervatnet) i Norge är ett välstuderat fall. (Nash m.fl., 2022; Hanssen m.fl., 2021; Haugen m.fl., 2017; Haugen m.fl., 2016, Vollset m.fl., 2016a).

Evangervatnet är en ca 6,5 km lång sjö, med en areal på ca 3 km². En del av flödet i Vosso avleds till Evanger kraftverk, som har sitt utlopp i Evangervatnet. Bolstadelva har vid Evangervatnets utlopp en medelvattenföring på 71 m³/s.

Systemet uppvisar mycket höga förluster av laxsmolt. En bidragande orsak är predation från öring i insjöarna. Som tänkbara orsaker till hög dödlighet genom Evangervatnet föreslås förutom predation även abiotiska faktorer som försurning och gasövermättnad från vattenkraftverk (Haugen m.fl., 2016). En ytterligare faktor som kan påverka smoltens utvandring genom Evangervatnet negativt är att det från utloppet av Evanger kraftverk kommer ett flöde av kallare vatten än det

som rinner till från naturfåran. Vattnet från kraftverksutloppet skapar en bakström som kan medföra att smolten får svårare att orientera sig.

Vid en studie 2021 märktes 20 smolt av vildfångad lax, men av odlad ursprung. Åtta smolt (40 %) lyckades passera Evangervatnet. Resterande tolv (60 %) dog i sjön. Hälften av dessa (30 %) registrerades som säkerställd predation från öring. Dödligheten var högst i de första 2 kilometerna nedströms inloppet i Evangervatnet, där 45 % (22,5 % /km) dog. I mitten av sjön uppgick förlusterna till 9 % eller 3,6 % /km och nära utloppet 20 % eller 10 % /km. Passagetiden genom sjön uppmättes till i medeltal 7,9 dagar (Hanssen m.fl., 2021)

I märkningsförsök i Haugen m.fl. (2016 och 2017) gick 80 % av alla märkta laxsmolt från Vosso förlorade före utloppet i Bolstadfjorden. Överlevnaden hos vild lax utsatt uppströms Evangervatnet var hög (95 %) innan inloppet i Evangervatnet, men väldigt låg överlevnad genom sjön (8 %). Odlad lax hade lägre överlevnad ner till Evangervatnet (63 %) men högre överlevnad genom sjön (24 %). Både vild och odlad lax tillbringade lång tid i de övre 3,5 km av Evangervatnet (i snitt 9,5 dagar för vild och 17,3 dagar för odlad smolt).

Laxsmolt som sattes ut nedströms Evangervatnet hade högre överlevnad till Bolstadfjorden; 93 % för vild smolt och 55 % för odlad (2016) och 50 % (2017).

Det är emellertid inte bara i sjöar och dammar som höga förluster kan uppkomma. I märkningsförsök i vattensystemet runt Loch Lomond i Skottland konstaterades högre förluster både per kilometer och i absoluta tal i River Endrick uppströms Loch Lomond än i själva sjön. (Lilly m.fl., 2021). Även i River Bush på Nordirland konstateras höga förluster i ett estuarie utan några uppenbara större lugnvatten (Flavio m.fl., 2019).

I det skotska vattensystemet River Conon, som mynnar på Skottlands östkust konstateras höga förluster av migrerande laxsmolt både genom sjöar och längs strömsträckor. Förluster på 22,2–53,3 % /km konstaterades genom tre sjöar (två reglerade och en oreglerad). Det gick inte att se någon signifikant skillnad mellan reglerade och oreglerade förhållanden. Förluster längs strömsträckor varierade mellan ca 4–28 % /km. Totalt lyckades bara 10 % av de märkta utsatta smolten ta sig till River Conons mynning (Honkanen m.fl., 2021). Några undersökningar av predatorer gjordes inte i studien, men som tänkbara orsaker till de höga förlusterna lyfts predation från både fågel (ex storskrake och fisk (ex gädda, gös och öring) fram.

2.2.5 Vandringshastighetens betydelse

Vandringshastigheten genom lugnvatten är en indikator på att tiden då utvandrande smolt uppehåller sig i lugnvatten har betydelse.

I Nilsson (2013) dras slutsatsen att ju längre tid smolten tillbringar i en damm för att försöka hitta utloppet desto större är sannolikheten att mortaliteten ökar pga. predation från både piscivora fiskar och fåglar. Vid en jämförelse av fyra grupper av märkta öringsmolt i Knipån visas att då vattenflödet minskar så ökar samtidigt migrationsmortaliteten för passagen genom dammen.

Generellt kan sägas att migrationshastigheten minskar genom lugnvatten. Genom Loch Lomond förflyttade sig sändarmärkta laxsmolt med en migrationshastighet av 0,05–0,09 (medel 0,07) m/s. Det kan jämföras med snitthastigheter på 0,21 m/s i River Endrick, vattendraget uppströms sjön, och 1,15 m/s i River Leven, vattendraget nedströms (Honkanen m.fl., 2018).

Som framgår i avsnittet ovan uppmättes även mycket långa uppehållstider för laxsmolt i Evangervatnet vid studierna i Vosso, motsvarande vandringshastighet på mellan 0,004 - 0,026 m/s (medel 0,01 m/s) (Hanssen m.fl., 2021).

Även vid passage genom den anlagda sjön Egå Engsø sker passagen för öringsmolt mycket långsamt, med snitthastigheter runt 0,003 m/s, vilket kan jämföras med en passagehastighet över samma sträcka på mellan 0,008–0,04 m/s innan sjön anlades (Schwinn, 2018a).

Som en jämförelse anges den genomsnittliga migrationshastigheten för lax- och öringsmolt i två större svenska älvar (Umeälven och Piteälven) till 0,46 m/s (Rivinoja m.fl., 2004).

2.3 DISKUSSION

Förluster uttryckt i procent per kilometer ger sällan heller hela bilden när det gäller smoltöverlevnad. Det kan ifrågasättas huruvida förluster uttryckt i procent per kilometer överhuvudtaget är ett relevant mått för både vattendrag och större sjöar. Då den faktiska sträckan som smolt vandrar genom en sjö kan vara många gånger längre än den kortaste vägen mellan inlopp och utlopp blir även uppehållstiden en väsentlig faktor. En annan sak som kan ha betydelse för värden på dödlighet per kilometer är om en stor del av smolten försvinner på en kort sträcka.

Barry m.fl. (2017) drar i en summering av flera artiklar slutsatsen att siffror på genomsnittlig smoltdödlighet för atlantlax (*Salmo salar*) varierar kraftigt och att överföring av värden på smoltdödlighet från en lokal till en annan därför bör göras med försiktighet.

Det kan konstateras att i åtskilliga fall har en betydande del av de totala förlusterna av utvandrande smolt skett på en mycket begränsad sträcka. Detta gör att det kan vara väldigt osäkert att, utan någon detaljerad kunskap om det aktuella vatten-systemet, applicera schablonvärden på migrationsförluster och få ett rättvisande resultat. Även om några förslag till generella parametervärden därför är svåra att ge kan ändå en del jämförelser göras med några tidigare tillämpade förslag till migrationsmortalitet uttryckt i % /km.

Resultaten i Tabell 1 ovan kan närmast jämföras med resultaten i Thorstad m.fl. (2012) för kategorin lax. I den studien delades vattenområdena in i ström, estuarie och marint. Denna studie omfattar inte dödlighet i marina miljöer, men innehåller ett relativt stort antal lugnvatten av sjökaraktär, något som mer eller mindre saknas i Thorstad m.fl. (2012).

Det kan konstateras att värdena för strömmande vatten är något lägre i intervall, men med högre medianvärde, i denna studie (0,1–4,8 (median 2,6) % /km) jämfört med Thorstad m.fl. (0,3–7,0 (median 2,3) % /km).

Kategorin estuarie i Thorstad m.fl. (2012) (0,6–36 (median 6,0) % /km) överlappar både kategorierna semilentiska miljöer (0,6–12,9 (median 5,8) % /km) och sjö (2,1–37,6 (median 17,8) % /km) i denna studie. Medianen för estuarie i Thorstad m.fl. ligger mycket nära medianen för semilentiska miljöer i denna analys, medan medianen för kategorin sjö i denna studie är betydligt högre.

För öring finns inte några motsvarande värden att jämföra med, men generellt tycks dödligheten per kilometer för öring ligga något högre än dödligheten för lax. Tendensen blir tydligare när man rör sig från strömmande vatten vid semilentiskt till sjöar, där medianen för dödlighet per kilometer för öring är mer än dubbelt så hög som för lax. En möjlig förklaring till detta kan vara att lax har en mer riktad och fokuserad vandring nedströms, medan öring tenderar att ha ett mer ofokuserat vandringsbeteende, där den gärna stannar till och uppehåller sig på ståndplatser.

Min- och maxvärden på dödlighet genom kategorin sjöar/dammar/våtmarker på 25 % och 71 % används i en uppdaterad smoltproduktionsmodell för beräkning av öringsmoltproduktion (Nilsson m.fl., 2010).

I ett examensarbete avseende validering av en smoltproduktionsmodell för öring (*Salmo trutta*) i två av Vätterns tillflöden (Nilsson, 2013) föreslås, baserat på resultaten från den aktuella studien samt opublicerade uppgifter från Erik Degerman att värdena på migrationsmortalitet/km borde vara i storleksordningen 5–10 % i strömmande habitat; 10–20 % i lugnflytande habitat; 20–50 % i sel med snabb genomströmning och 70–80 % i kortare dammar.

Utifrån resultaten i denna studie förefaller värdena ovan för kortare dammar något högt. Visserligen finns exempel på studier med upp till 100 % dödlighet för öring, men medianen för dödlighet hos öringsmolt i kategorin sjö ligger på 44 %.

Vad gäller effekten av storlek på lugnvatten syns möjligen för mycket små lugnvatten ett samband som skulle kunna styrka antagandet i Olsson m.fl. (2009) att ökad storlek på lugnvatten leder till ökad dödlighet till följd av längre uppehållstid. För större lugnvatten än 3–4 hektar är dock trenden snarare en minskande dödlighet per kilometer med ökande storlek på lugnvatten.

Effekten av storlek på vattendrag är mer tvetydig; för öring finns en tendens till minskad dödlighet per kilometer med ökande storlek på vattendrag, men för lax är det sambandet mycket svagt.

2.4 SLUTSATS

Vid mer djuplodande vandringsstudier i vattendrag ser man ofta att mortaliteten inte är jämnt fördelade utmed vattendragen utan snarare att förlusterna sker på vattendragsavsnitt med ofördelaktiga förhållanden, t.ex. hög förekomst av predatorer inte sällan kopplat till specifika fysiska förhållanden (tex bakvatten, stora grundområden med mycket vegetation och avsnitt med låg vattenhastighet utan tydlig strömvattenfåra). Även i ett långt vattendrag är det inte ovanligt att den huvudsakliga dödligheten sker på en kortare sträcka.

Sammantaget är dock underlaget i den genomgångna litteraturen inte tillräckligt omfattande för att det ska vara möjligt att dra några slutsatser om samband mellan

smoltdödlighet och mer specifika förhållanden, exempelvis nord-sydlig gradient, jordbruksdominerade vattendrag jämfört med skogsälvar etc.

Vattenkraften kan vara en bidragande orsak till hög dödlighet på nedströmsvandrande lax- och öringmolt även genom andra mekanismer än dödlighet vid turbinpassage. Genom uppdämning tillskapas artificiella lugnvatten, vilka kan leda till förhöjd predation med höga lokala förluster.

Det finns dock åtskilliga exempel på fall där man sett en mycket hög dödlighet även i delar som inte alls eller i liten grad är påverkade av vattenkraftsutnyttjande. Stora naturliga sjöar kan utgöra ett betydande hinder, där nedströmsvandrande fisk kan utsättas för hög predation i framför allt inlopp och utlopp, och även ha svårt att hitta vägen genom sjön.

Det är sammantaget tydligt att variationen i relativa förluster av lax- och öringmolt mellan olika studier är mindre i strömmande vatten än i lugnvatten. Inriktning på ytterligare forskning borde därför ligga på att försöka identifiera fler kritiska faktorer för områden i vilka mycket höga förluster sker, och hur det är möjligt att förutse och kvantifiera i vilken utsträckning dessa områden medför en begränsning av nyttan med miljöåtgärder vid vattenkraftverk.

3 Överlevnad postsmolt till påbörjad lekvandring för insjööring

3.1 BAKGRUND

3.1.1 Litteratursökning

En litteratursökning efter studier som behandlar överlevnad mellan smoltstadiet till återvandrande för lek genomfördes i World of Science och Scopus med följande sökterm:

((“brown trout” OR “salmo trutta”) AND (surviv* OR "smolt-to-adult returns" OR sar OR post-smolt) AND (adfluvial OR potamodrom* OR land-locked))

Sökningen ger 19 unika träffar i WoS och Scopus. Av dessa berör dock flertalet andra faktorer än överlevnadstal, och endast en av studierna i resultaten (Piccolo m.fl., 2012) har bedömts ha direkt relevans för den aktuella studien. Att även inkludera “return rate” gör ingen skillnad i sökresultaten.

Sökning i andra källor har gett ytterligare några studier som bedömts vara av generellt intresse avseende populationsdynamik för insjööring. Intressanta delar av dessa beskrivs nedan.

3.2 RESULTAT

Det har varit svårt att hitta relevanta studier där överlevnad genom hela fasen smolt-återvandrande lekmogen fisk kunnat beräknas.

Ett examensarbete vid Karlstads universitet (Andersson, 2011) har analyserat återfångstdata för Carlin-märkt lax och öring i Vänern 1965–2005.

Återfångsterna av Gullspångsöring i Vänern var som högst 1974 med 20 % av de märkta öringarna åter. Under 80-talet varierade återfångsterna mellan 5 och 15 % men minskade sedan och var i början på 2000-talet nere i ca 1 %. I Klarälven har utsättningsgrupper av Gullspångsöring från 1993 och 1994 gett de högsta återfångstandelarna, 1,7 respektive 1,6 %. Medelvärde för återfångst i Klarälven av i Klarälven utsatt Gullspångsöring under 1965–2005 var 0,5 %.

Utsättningar av Klarälvsöring startade först 1982. Klarälvsöring har endast satts ut i Klarälven. Av utsättningsmaterial från Klarälven 1985 fångades 6,6 % åter i Vänern. Under 90-talet minskade återfångsterna och var för 2002 års utsättningar 0,3 %. Medelvärde under hela tidsperioden var 2,1 % märkt Klarälvsöring återfångad i Vänern. Medelvärde för återfångst av märkt Klarälvsöring i Klarälven över tid är 0,5 %. Dessa siffror inkluderar dock inte enbart återvändande lekmogen adult fisk, utan samtliga återfångade fiskar.

I Piccolo m.fl. (2012) där återfångst vid avelsfisket i Klarälven studerats anges ett medelvärde för överlevnad/återvändande på ca 1 % som en trolig siffra för tre av

fyra stammar salmonider i Vänern. Denna siffra sägs emellertid också innehålla betydande osäkerheter i dataunderlag. Siffran avser odlad fisk utsatt för fisketryck.

Piccolo et al. (2011) har noterat i en undersökning att antalet återfångster av Carlinmärkt Vänerlax till fisket i Vänern har minskat kraftigt från 1982. Medelvärdet av årliga återfångster har gått från >10 % till <1 %.

En trolig förklaring till detta är en minskad rapporteringsvilja. Carlinmärkningar har också svagheten att återfångsten beror på fisketrycket, som kan variera över tid. Det finns vidare en uppenbar risk att Carlinmärkt fisk är mer utsatt för predation än omärkt fisk.

I de livshistoriebaserade modellscenarion för Klarälvslox som presenteras i rapporten Vänerloxens fria gång. Två länder, en älv (Hedenskog m.fl., 2015) räknar man med 30 % överlevnad från smolt till lekvandrande adult fisk. Denna siffra skiljer sig väsentligt från övriga återfångstdata från Vänern. Den är en teoretisk beräkning baserad på vild fisk, som ska återutsättas vid fångst. Underlaget till modellen bygger på studier rörande yngeltäthet, smoltproduktion och smoltens utvandringöverlevnad, fiskfällans effektivitet och fångster av lekvandrande fisk vid det första vandringshindret samt lekfishens reproduktionsframgång och keltens utvandringsöverlevnad. Dock påpekas att det behövs en ökad kunskap om den totala dödligheten under fasen smolt-vuxen fisk i Vänern (Bergman m.fl., 2015).

Ett examensarbete vid Linnéuniversitetet (Kaiskog, 2020), där bl.a. överlevnaden av vild respektive odlad öring i Siljan studerats, visade en hög överlevnad hos vilda (86 %) och frilevande odlade aduler (77 %) över en period på åtta månader, medan överlevnaden konstaterades vara låg bland nyutsatta odlade 2-åriga smolt (3 %) och 4-åriga aduler (25 %). I studien anmärks att data på årlig överlevnad hos vild respektive frilevande odlad adult öring i sjömiljö har inte kunnat påträffas vid sökningar i databaser med vetenskaplig litteratur. Överlevnaden av smolt efter de har nått sjön eller havet under det så kallade post-smolt-stadiet är heller inte väl studerat. Resultaten från studien konstateras därför vara svårt att jämföra med annan tillgänglig vetenskaplig litteratur.

Återfångstdata för Siljansöring från centralfisket i Säs 2010–2015 tyder på en överlevnad från utplantering till förstagångslekare på ca 1 %. Denna bedömning innehåller dock betydande osäkerheter i underlaget, och får ses som en grov indikation.

En dansk studie på havsvandrande öring märkt med PIT-tags konkluderar att andelen utvandrande smolt som återvänder efter havsvistelsen är väsentligt högre för öring från vild stam (6,4 %) än för öring som härstammar från odlade smolt (0,85 %) (Schwinn m.fl., 2017a).

I den nordirländska sjön Lough Erne var 10 % av mindre öring (<45 cm) och 40 % av större öring (>45 cm) i ett märkningsförsök med insjööring fortfarande aktiva i sjön efter ett år, vilket indikerar lägsta överlevnadsnivåer på 10–40 %. Denna siffra hade sannolikt varit högre om det inte varit för att märken förlorats. Den högre detektionsgraden av större fisk skulle kunna bero på olikheter i märkesretention. Detta bedöms dock osannolikt i den aktuella studien, då den procentuella andelen

av märkets vikt i förhållande till kroppsvikten är mycket låg både för små och stora fiskar. Mer sannolikt är att de större fiskarna i mindre grad faller offer för predatorer. 9 av 80 märkta fiskar fångades av sportfiskare, vilket ger en exploateringsgrad genom fiske på populationen på åtminstone 11,25 %. Det bedöms som en anmärkningsvärt hög siffra med tanke på det ringa antalet märkta fiskar i studien samt sjöns storlek (Kennedy m.fl., 2021).

Beträffande förhållanden i Finland härstammar huvuddelen av insjööring i de större sjöarna från utsättningar. Utsättningarna har varit måttligt framgångsrikt och fisketrycket högt (Syrjänen m.fl., 2017). I studien har tagits fram en enkel populationsmodell för att utvärdera alternativa bevarandemetoder för insjööring i Oulankajoki i Finland. Studien har inga direkta data på smoltöverlevnad, men hänvisar bl.a. till Kekäläinen m.fl. (2008) och som exempel på att överlevnaden kan vara låg. Resultatet av modellen visar att reglering av fisket är en nyckelfaktor för att få hållbara vilda öringbestånd samt att nuvarande fiskeregler driver populationen mot utrotning.

Huusko m.fl. (2018) påtalar rörande populationsdynamiken hos insjööring i Finland att det förekommer en mängd olika kombinationer mellan smoltålder och sjöålder, och att bilden kompliceras ytterligare när flergångslekare inkluderas. Vidare gör mänsklig påverkan (fisketryck, hydromorfologi etc.) att det är mycket svårt att fastställa några naturliga siffror på överlevnad etc.

Även Nater m.fl. (2020) och Stubberud m.fl. (2022) konstaterar avseende öringen i Mjøsa med tillflöden att dödligheten genom uttag generellt har större inverkan än bakgrundsdödligheten, vilket indikerar att fisketryck är en betydande faktor för denna population.

3.3 SLUTSATS

Som konstaterats i resultatredovisningen ovan finns mycket fåtaliga datakällor för att komma fram till ett värde på överlevnad hos insjö- (adfluvial) öring mellan smoltutvandring och återvändande adulta öringar för lek.

Underlaget är inte tillräckligt för att göra några antaganden om rimliga parametervärden på överlevnad under den aktuella fasen. Det är också med hänsyn till mängden data svårt att dra några slutsatser kring vattenkraftens påverkan. Det kan emellertid ändå konstateras att fisketryck kan vara en betydande faktor för populationsstrukturen för insjööring.

Det finns således ett stort behov av ytterligare studier på detta område, för att om möjligt kunna minska osäkerheten vid populationsmodellering. Med nuvarande kunskapsunderlag får resultat av populationsmodelleringar på adfluvial öring betraktas som innehållande en stor osäkerhetsfaktor.

Det som framför allt skulle behövas för att minska dessa osäkerheter torde vara fler långsiktiga märkningsförsök.

4 Påverkan av korttidsreglering på lax- och öringyngel

4.1 BAKGRUND

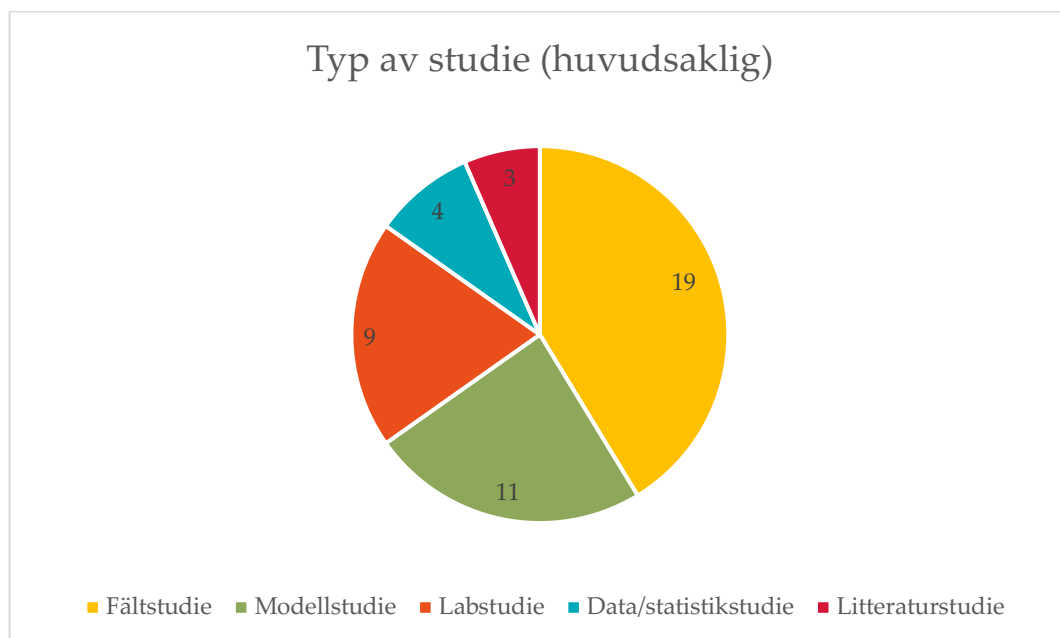
4.1.1 Litteratursökning och tidigare studier

Nyligen har inom ramen för Energiforsk gjorts en pilotstudie av korttidsregleringens effekter generellt på fisk, bottenfauna och vegetation (Widén m.fl., 2023). Denna studie inriktar sig mer specifikt på lax och öring, och effekter på yngelstadiet som skulle kunna ha betydelse för resultatet vid en modellering av exempelvis att nya habitat tillgängliggörs med hjälp av en fiskväg.

Söktermer kombinerades till följande sökfras:

((“Hydropeak”) and (juvenile) and (brown trout or salmo trutta or Atlantic salmon or Salmo salar) and (surviv* or densit* or behavi* or mortal*))

Sökningen gav 58 unika träffar i Web of Science och Scopus. 37 av dessa bedömdes vara relevanta utifrån syftet med denna studie, dvs påverkan på juvenilstadiet på laxartade fiskar till följd av korttidsreglering. Genom ytterligare sökning i t.ex. Google Scholar och s.k. ”snöbollssökning” påträffades ytterligare nio studier som inkluderades. Studierna har kategoriserats i fem huvudsakliga typer, se Figur 8.



Figur 8. Typ av studie i urval som resulterat av litteratursökning inom korttidsregleringens påverkan på lax- och öringyngel.

4.2 RESULTAT

4.2.1 Labförsök

Vid laboratorieförsök i akvariet på Karlstads universitet (Addo m.fl., 2023) konstaterades en signifikant sämre tillväxt hos öringyngel vid varierande flöde jämfört med stabilt flöde. Dock observerades ingen motsvarande skillnad för laxyngel.

Skillnaderna i resultat mellan denna studie och exempelvis Puffer m.fl. (2017) och Flodmark m.fl. (2006) föreslås kunna bero på att den aktuella studien gjorts på lax- och öringyngel, medan tidigare studier utförts på parr.

Det föreslås att den negativa effekten på öring skulle kunna bero på minskad framgång i födosök och ökad energiförbrukning i fluktuerande flöden. Studien föreslår fler försök på yngel för att skapa en bättre förståelse för sambanden. Experimentet simulerade inte förändringar i djup eller temperatur; faktorer som kan ha stor betydelse i ett vattendrag.

Puffer m.fl. (2014) kunde vid försök i artificiella strömfåror utomhus inte se någon effekt av korttidsreglering vintertid på lax (*Salmo salar*). Sommartid uppvisade lax som exponerades för korttidsreglering något sämre tillväxt och en högre grad av förflyttningar än fisk som inte exponerades för snabba flödesvariationer. Effekten var liten, men negativ inverkan på smoltifiering och överlevnad vintertid kunde inte uteslutas.

I ett senare försök i artificiella strömfåror utomhus av Puffer m.fl. (2017) demonstreras en liten och ej signifikant effekt på tillväxt till följd av korttidsreglering. Slutlig längd, vikt och kroppsfett i laxyngel som exponerats för flöden som skulle simulera korttidsreglering skilde sig med -9 %, -7 % och +2 % jämfört med kontrollpopulationen.

I studien undersöktes även konkurrens genom att studera två olika populationer med hög och låg täthet av lax, samt en där lax och öring blandats. En tydlig effekt kunde ses där lax i populationen med lägre täthet hade en betydligt högre tillväxt både i längd (27–33%) och vikt (30–38%) jämfört med populationen med högre tätheter och populationen där lax- och öringyngel blandats. Studien drar slutsatsen att effekten på energiåtgång för laxyngel till följd av korttidsreglering är liten, och att stress och dödlighet till följd av strandning är den främsta mekanismen genom vilken korttidsreglering kan ha en inverkan på populationsstrukturen (Puffer m.fl., 2017).

I ytterligare försök med strandning i artificiella strömfåror (Puffer m.fl., 2019) konstateras att laxyngels utnyttjande av grunda områden med risk för strandning är oberoende av populationernas täthet. Låga tätheter leder alltså inte till en minskad risk för strandning, vilket kan innebära en risk att sårbara populationer slås ut. Dock så visas i Hedger m.fl. (2018) att täthetsberoende dödlighet av lax delvis kan kompensera för dödlighet till följd av strandning, vilket kan innebära en negativ feedback som dämpar effekten av strandning på en population.

I ett annat experiment med artificiella strömfåror (Flodmark m.fl., 2006) utsattes parr av öring (*Salmo trutta*) för antingen konstanta eller varierande flödesregimer. Studiens resultat visade inte på några tydliga skillnader i tillväxt eller beteende. I studien dras slutsatsen att korttidsreglering sannolikt har en relativt liten direkt effekt på strömlevande laxfiskar förutsatt att strandning kan undvikas.

Flodmark m.fl. (2004) visar i försök i artificiell miljö (tankar) med odlade ettåriga öringyngel (*Salmo trutta*) att en varierande vattennivå och varierande temperatur kan ha en potentiellt negativ effekt på tillväxten. Denna effekt ses även vid konstant låg vattennivå. Effekten är påtaglig bland kvartilen med långsammast tillväxt, medan någon motsvarande negativ trend inte kan ses bland snabbväxande fiskar.

Försök i artificiell strömmiljö inomhus (Halleraker m.fl. 2003) studerade specifikt strandning av öringyngel i olika åldrar vid varierande avsänkningshastigheter, vattentemperaturer samt i ljus respektive mörker. Studien visar att det framför allt är yngre öring (0+) som strandar vid avsänkning. En minskning av avsänkningshastigheten från 60 cm/h till 20 cm/h ledde till 50 % minskning av strandning. En minskning till 10 cm/h medförde ytterligare minskning, men även vid denna avsänkningshastighet strandade en del 0+ yngel. Kallt vatten kombinerat med grovt substrat, låg gradient och höga vattenhastigheter gav de största strandningsförlusterna.

4.2.2 Modellstudier

En studie med en IBM (s.k. individbaserade modell; inSTREAM) i Gullspångsälven (Hajiesmaeili m.fl., 2023) visar på en liten negativ effekt av korttidsreglering på både tillväxt och överlevnad för lax och öring. Studien tyder på en begränsad negativ påverkan på både tillväxt och överlevnad för båda populationerna. Överlevnad påverkades mer än tillväxt, och liten fisk påverkades mer än stor fisk. Höglöden resulterade i sämre födosöksförhållanden och högre predation.

I Sauerleute m.fl. (2017) visas genom en IBM att smoltproduktionen i Dalelva i Norge har störst känslighet för dödlighet genom strandning av >0+ parr, vilket indikerar att dödlighet för äldre juveniler har större inverkan på populationen än dödlighet bland yngre individer.

En annan modellstudie på laxparr i Nidelva i Norge visar att dödlighet till följd av strandning tycks bero mer på avsänkningshastigheten än på låglödens varaktighet. I studien lyfts fram att fiskens respons på avsänkning beror på en rad faktorer såsom art, ålder, grad av aktivitet etc. Att generalisera från enstaka studier kan vara otillräckligt för att bygga en robust modell. Det finns ett behov av ytterligare forskning inom området, inriktat på biologisk respons på korttidsreglering (Hedger m.fl. 2023).

Studier med en IBM (IB-Salmon) på lax i Mandalselva, Norge indikerar att korttidsreglering (fem händelser per vecka) minskade förekomsten av parr och därmed smoltproduktionen i jämförelse med kontrollgrupp utan korttidsreglering. Kortsiktigt visade dock resultaten att den negativa påverkan till största delen kompensades av att täthetsberoende dödlighet, dvs dödlighet till följd av att tätheten av laxungar överstiger älvens produktionskapacitet, minskade. Effekten

av korttidsreglering bedöms därför framför allt vara långsiktig; genom en minskad smoltproduktion som minskar antalet återvändande lax. Modellsimuleringar visar också att med ett eller några års korttidsreglering återhämtar sig populationen om korttidsregleringen avbryts, men med 10 års korttidsreglering fås en bestående effekt, där populationen inte återhämtar sig naturligt (Hedger m.fl., 2018).

En modellstudie i Ljungan visar att lågflödeshändelser vinter- och sommartid kan utgöra hydrologiska flaskhalsar för laxproduktionen nedströms Viforsens kraftverk. Framför allt kan låga flöden vintertid minska reproduktionen genom avvattning av lekbottnar (Adeva-Bustos m.fl., 2019).

I ett examensarbete där elfiskedata analyserats på samma sträckning påvisas inte någon statistiskt säkerställd skillnad mellan Ljungan nedströms Viforsen och en kontrollsträcka i den oreglerade Vindelälven för lax (0+), öring (1+) eller gädda. Däremot finns en statistiskt säkerställd skillnad för lax (1+), som är vanligare i Vindelälven, samt för öring (0+), abborre, mört, stensimpa och elritsa, som förekommer i högre tätheter i Ljungan (Eklund, 2021).

4.2.3 Fältstudier

Ett par studie från den franska älven Oriège (Lagarrigue m.fl., 2002; Liebig m.fl., 1999) visar på lägre tätheter av framför allt årsyngel av öring (*Salmo trutta*) omedelbart nedströms ett korttidsreglerat kraftverk, jämfört med likartade, ej korttidsreglerade lokaler uppströms. Någon motsvarande effekt på adulta individer kunde dock inte konstateras. Saltveit m.fl. (2020) gör liknande observationer i Storåne (Hallingdalselva) i Norge, där upp till 300 snabba flödesförändringar per år leder till stora förändringar i tätheten av årsyngel av öring närmast nedströms kraftverksutloppet. Där konstateras dock höga tätheter längre nedströms i vattendraget.

Ett försök att dokumentera lekbeteende hos lax och öring med hjälp av undervattenskameror nedströms ett korttidsreglerat kraftverk i Daleelva i Norge visar att även om snabba flödesförändringar kan interferera med leken är effekten snabbt övergående då flödesförhållandena återgår till flöden gynnsamma för lek (Vollset m.fl., 2016b). Någon nolltappning förekom inte nedströms kraftverket. Flödena varierade typiskt mellan ca 40 m³/s och 5–6 m³/s. Vid låg tappning lämnade lekande laxhonor lekområdet för att undgå strandning, men vid återgång till högre vattenföring återvände de ofta inom en timme efter att flödet ökats. Lekande öring stannade dock i högre utsträckning kvar inom lekområdet även vid låg vattenföring. Vissa honor fortsatte lekbeteendet även vid låga flöden, vilket kan innebära en konkurrensfördel för öringen gentemot laxen. Skillnader i kroppsstorlek medförde att de lekande öringarna löpte mindre risk att stranda än laxen.

I ett vattendrag i Spanien, i Pyrenéerna, konstaterades öring på den lokal som var påverkad av korttidsreglering ha ett högre födointag än öring på kontrolllokalen. Studien tyder på att öringen har ett opportunistiskt födosöksbeteende under högflödespulser. Korttidsregleringen verkade inte orsaka några direkta negativa effekter på vuxen öring. Däremot konstaterades en lägre täthet av öring på den korttidsreglerade lokalen jämfört med kontrolllokalen. Även åldersfördelningen var påverkad, med än större andel äldre öring jämfört med kontrolllokalen.

Negativa effekter av korttidsregleringen kan därför inte uteslutas, men ett behov ses av ytterligare forskning för att klarlägga orsakssambanden (Rocaspana m.fl., 2016).

Fältstudier på laxungar (*Salmo salar*) i ett mindre vattendrag på Newfoundland, Kanada, tyder på att korttidsreglering innebär en ökad energiåtgång för fisken, vilket på sikt kan påverka vinteröverlevnaden negativt. (Scruton m.fl., 2005 & 2008).

Casas-Mulet m.fl. (2014) har i ett fältförsök studerat överlevnad för laxägg i Lundesokna i Norge. Försöken visar att även en lång tids torrläggning inte behöver innebära total dödlighet så länge det finns kontakt med vattenytan genom substratet. I de försöksytor som påverkades av korttidsreglering förekom upp till 25 % dödlighet, medan ytor ej påverkade av korttidsreglering vanligen hade en överlevnad på >99 %. Dödligheten på de försöksytor som påverkats av korttidsreglering skedde uteslutande i de övre lagren av substratet, och bedöms framför allt orsakas av en kombination av uttorkning och låga temperaturer. Områden med grundvattenutströmning kan förbättra överlevnad av laxägg i reglerade vatten (Saltveit m.fl., 2013).

I ett fältförsök i Nidelva i Norge där strandning av vilda öringyngel och både vilda och odlade laxyngel studerades konstateras att, förutom avsänkingshastigheten, har även vattentemperatur, årstid och ljusförhållanden stor betydelse för graden av strandning. I studien dras också slutsatsen att strandning inte behöver vara likställt med dödlighet, i de fall korttidsregleringen innebär relativt snabba flödesvariationer. Strandad fisk kan överleva en tid i substratet, och här kan grundvatteninströmning ha betydelse för dödligheten.

Studien landar i att några gränsvärden för avsänkingshastighet, uttryckt i cm/h, inte kan rekommenderas, eftersom det är ett för enkelt mått för att spegla komplexiteten i de faktorer som kan leda till strandning. Det observeras även att de odlade laxynglen tycks vara mindre benägna att stranda kort efter utsättningen. Det förklaras med att de då har ett stimbeteende som gör att de är mindre benägna att söka skydd, och därför inte strandar i lika stor utsträckning som vild fisk. Med tiden avtar troligen detta beteende (Saltveit m.fl., 2001).

4.2.4 Data- och litteraturstudier

I en studie av data från österrikiska vattendrag visas att habitatförhållanden, frekvensen av toppar i vattenföring per år, variation i vattennivåer samt interaktionen mellan habitat och avsänkingshastighet vid korttidsreglering kan förklara stora delar av observerade variationer i "Fish Index Austria". Höga flöden nattetid förefaller orsaka mer skada på fisksamhällen än motsvarande toppar dagtid.

Resultaten indikerar att dödlighet till följd av strandning, där avsänkingshastigheten överstiger 15 cm/h och förekommer mer än 20 gånger per år är huvudorsak till ohållbara fiskpopulationer. Dock ses även en påtaglig effekt av morfologiskt tillstånd, där vattendrag med hög grad av kanalisering har kraftig påverkan på fiskpopulationernas sammansättning oavsett grad av korttidsreglering (Schmutz m.fl. (2015).

Även i Hayes m.fl. (2021) studeras österrikiska vattendrag utifrån statistiska data, men i detta fall specifikt med fokus på harr. Totalt undersöktes 69 stationer i 30 vattendrag, där 36 stationer var påverkade av korttidsreglering, 21 av lågintensiv korttidsreglering. 12 lokaler utgjorde kontroll. Studien identifierar en kritisk nivå på amplitudförändring på mellan 10–25 cm, och en kritisk nivå på avsänkningstakt på 0,2–0,4 cm/min, över vilka negativ påverkan på harr blir tydlig. Vattendragens morfologi och konnektivitet konstateras också ha betydelse.

En amerikansk studie (Coutant, 2023) har analyserat data från regleringar i nedre Snake River, och för fram att stående vågor, s.k. seicher, till följd av korttidsreglering kan vara en orsak till att utvandringen av kungslax (*Oncorhynchus tshawytscha*) fördröjs.

Hayes m.fl. (2019) konstaterar i en samlad litteraturgenomgång av effekterna av korttidsreglering på salmonider (*Salmo salar*; *Salmo trutta*; *Thymallus thymallus*) att ägg kan vara relativt toleranta mot avvattning, men att stadierna efter kläckning är mycket känsliga. Studien rekommenderar därför att perioder med låga flöden minimeras under tiden närmast efter kläckning, samt att en tillräcklig minimivattenföring upprätthålls. När ynglen sedan växer blir de succesivt mindre känsliga för flödesvariationer.

4.3 KORTTIDSREGLERING I VATTENFÖRVALTNINGEN

I den svenska vattenförvaltningen används hydromorfologiska kvalitetsfaktorer ofta för klassning av ekologisk status när biologiska data saknas. Att hydromorfologisk påverkan kan försämra den ekologiska statusen torde vara okontroversiellt att hävda. Frågan är dock ifall det finns någon koppling mellan de klassgränser som används för klassning av hydromorfologisk respektive biologisk status.

En litteratursökning gjordes även för att undersöka förekomsten av litteratur med koppling till bedömningsgrunder för kvalitetsfaktorer som används inom ramvattendirektivet.

Söktermer kombinerades till följande sökfras:

((Hydropeak*) and ("Water Framework Directive" or WFD or EQS)
and ("biological quality elements" or BQE))

Sökningen gav inga träffar.

Försök gjordes med att bredda sökningen till följande sökfraser:

((("Hydropeak*") AND ("Water Framework Directive" or "biological
quality elements"))

((Water Framework Directive) AND (biological quality elements)
AND (hydropower))

Detta gav ett fåtal träffar, men inga som bedömdes vara relevanta för den aktuella studien.

I Cederborg m.fl. (2018) framgår att det är en mycket liten andel av Sveriges vattenförekomster som klassats med stöd av biologiska kvalitetsfaktorer. Den absoluta majoriteten är klassad med stöd av en expertbedömning grundad på hydromorfologisk påverkan. Det har i denna rapport inte gjorts någon ny kontroll av andelen vattenförekomster som idag klassats med biologiska data, men den är med stor sannolikhet fortfarande mycket låg. I utredningen 2018 eftersöktes vetenskapligt underlag för klassgränserna för hydrologisk regim och morfologiskt tillstånd utan att röna någon framgång. Det underlag som gått igenom i föreliggande litteraturstudie styrker antagandet att de svenska bedömningsgrunderna med klassgränser inte vilar på något vetenskapligt underlag.

Den hydromorfologiska parameter som främst speglar påverkan av korttidsreglering är "*Flödets förändringstakt i vattendrag*". Parametern uttrycks i procent och jämför flödesvariationerna mellan två tidsserier som beskriver reglerad respektive oreglerad vattenförling. God status innebär avvikelse på mellan 5–15 % från referensförhållandet, medan parametern klassas till dålig status om avvikelsen från referensförhållandet är över 100 %.

Vattenförekomster som klassificerats som KMV med anledning av vattenkraft har ofta en påtagligt avvikande hydrologisk regim till följd av korttidsreglering. Avvikelsen är vanligtvis så stor att status för hydrologisk regim klassificeras som "*otillfredsställande*" eller "*dålig*" utifrån bedömningsgrunder i föreskrifter. I ett korttidsreglerat vattensystem uppgår avvikelsen från ett oreglerat referensförhållande oftast till flera 1000 % (HaV, 2022).

Detta medför att parametern i stället för att spegla grad av påverkan från korttidsreglering i praktiken får en mer binär funktion; dvs. i ett icke-korttidsreglerat vattendrag kan parametern ha en bättre status än dålig, medan den i ett korttidsreglerat vattendrag i princip per automatik får dålig status. Den säger således egentligen ingenting om graden av påverkan som på något meningsfullt sätt går att överföra till en klassning av biologiska kvalitetsfaktorer.

Ofta används emellertid kvalitetsfaktorn hydrologisk regim (eller andra hydromorfologiska kvalitetsfaktorer) som motiv för att klassa de biologiska kvalitetsfaktorerna genom en expertbedömning, på ett sätt som antyder att de har ett 1:1-förhållande. Slutsatserna av denna litteraturgenomgång är att det inte finns något som styrker ett sådant förhållande, åtminstone vad avser effekterna av korttidsreglering på laxfisk. Att göra en expertbedömning av biologiska kvalitetsfaktorn "*Fisk*" enbart utifrån en klassning av kvalitetsfaktorn hydrologisk regim baserad på korttidsreglering blir därför en förutsägelse med låg säkerhet- och sannolikt missvisande.

4.4 DISKUSSION

Litteraturstudien i Widén m.fl. (2023) styrker bilden av att den ekologiska effekten på vattenmiljön i stort av korttidsreglering generellt sett är övervägande negativ.

Beträffande den direkta påverkan på laxfiskar (framför allt atlantlax och öring) tycks dock den direkta effekten vara mindre påtaglig.

Den främsta mekanismen för direkt påverkan är strandning till följd av snabba förändringar i vattennivå, där flera studier (t ex Hayes m.fl., 2021; Halleraker m.fl., 2003) föreslagit nivåer på avsnäkningshastighet för att minimera skadeverkningar. Både modellförsök och laboratorieförsök indikerar att det skulle kunna finnas en negativ påverkan även genom andra mekanismer än direkt strandning, men att övriga effekter är svårare att kvantifiera.

De flesta studierna rör vattendrag, laboratorieförsök eller modellsimuleringar där korttidsreglering bedrivs mellan högre och lägre flöden, men utan nolltappning. Korttidsreglering med nolltappning är i praktiken vanligt, både från större magasin och i älvmagasin. Att studera effekterna av nolltappning på strömsträckor som kan utgöra lek- och uppväxtområden för strömlevande laxfisk är dock sannolikt av begränsat intresse, eftersom strömsträckor ganska snart torrläggs helt om flödet minskas till noll. På sträckor med lägre lutning, t ex i älvmagasin, där vattendraget inte torrläggs vid nolltappning, finns begränsat med områden för yngel. Flera studier i denna sammanställning tyder på att adulta individer påverkas i mindre utsträckning.

Harby & Noack (2013) identifierar i en sammanställning av effekter av korttidsreglering primärt från norska erfarenheter ett behov av ytterligare forskning bl.a. avseende effekter på andra fiskarter än salmonider, effekter på näringsvävar, bottenfauna etc., effekter till följd av termisk påverkan och långsiktiga effekter på fisk som utsätts för korttidsreglering utan att stranda, eller som överlever strandning.

Ett fortsatt arbete som vore angeläget är att i brist på biologiska data om möjligt hitta andra parametrar som med större säkerhet kan användas som underlag för expertbedömningar. Den effekt av korttidsreglering som denna litteraturgenomgång visar på skulle kunna vara möjlig att använda för att kvantifiera grad av påverkan är avsnäkningshastighet i regleringsmagasin, som kan leda till strandning av framför allt unga fiskar.

Möjligheten att använda elfiskedata för jämförande studier mellan korttidsreglerade / ej korttidsreglerade vattendragssträckor togs upp vid planeringen av denna studie. Det rymdes dock inte inom avgränsningen för studien, men skulle kunna vara ett intressant område för vidare forskning. Ett tänkbart problem med detta är att tillgången till elfiskedata är begränsad i många av de vattendrag som skulle vara av intresse att studera, då vadningselfiske som metod främst är utformad för och möjlig att använda i mindre vattendrag.

Det finns indikationer på att öring skulle kunna vara mer känslig för påverkan av korttidsreglering än lax. Detta skulle också vara en intressant aspekt att studera vidare. Även vilka yngelstadier man väljer att studera skulle kunna ha stor betydelse för resultatet, vilket läggs fram i Addo m.fl. (2023).

4.5 SLUTSATS

Denna litteraturgenomgång leder till slutsatsen att det är svårt att kvantifiera påverkan av korttidsreglering på juvenila stadier av lax och öring. Det saknas stöd för att anta att korttidsregleringen i vattendrag har en betydande negativ

påverkan. En mindre negativ effekt, framför allt genom strandning av yngel och ökad energiåtgång under fiskyngels tillväxtfas kan dock inte uteslutas, utöver den uppenbara påverkan vattenkraften generellt kan medföra i form av förlorade habitat till följd av torrläggning och indämning.

Detta för med sig bl.a. att de expertbedömningar som är vanligt förekommande i vattenförvaltningens statusklassning, där hydromorfologisk påverkan används för att klassa ekologisk status i brist på biologiska data, kan ifrågasättas, åtminstone vad avser effekterna av korttidsreglering på fisk.

5 Referenser

- Aarestrup, K., Koed, A. 2003. Survival of migrating sea trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts negotiating weirs in small Danish rivers. *Ecology of Freshwater Fish*, 12(3):169 – 176.
- Addo, L., Hajiesmaeili, M., Piccolo, J.J. & Watz, J. 2023. Growth and mortality of sympatric Atlantic salmon and brown trout fry in fluctuating and stable flows. *Ecology of Freshwater Fish*, 32: 282–290.
- Adeva-Bustos, A., Hedger, R.D. Fjeldstad, H-P., Stickler, M. & Alfredsen, K. 2019. Identification of salmon population bottlenecks from low flows in a hydroregulated river. *Environmental Modelling and Software*, 120:104494.
- Aldvén, D., Hedger, R., Økland, F., Rivinoja, P. & Höjesjö, J. 2015. Migration speed, routes, and mortality rates of anadromous brown trout *Salmo trutta* during outward migration through a complex coastal habitat. *Marine Ecology Progress Series*, 541:151–163.
- Andersson, A. 2011. Carlin-märkt lax (*Salmo salar*) och öring (*Salmo trutta*). Utsättningar och återfångster i Vänern och Klarälven, 1965–2005. Karlstads universitet. Avdelningen för Biologi. D-Uppsats, VT11.
- Baktoft, H. 2003. Udvandringen av örred- (*Salmo trutta*) og laksesmolt (*Salmo salar*) fra Skjern Å 2002. Specialerapport, Biologisk Institut, Århus Universitet, sept 2003.
- Barry, J., Whelan, K., Llewelyn, I. & Campbell, R. 2017. From Headwater to Headland: Improving smolt survival in rivers and estuaries. Conference paper, Atlantic Salmon Trust and The Tweed Foundation in Berwick-upon-Tweed Tuesday, 14th and Wednesday, 15th March 2017.
- Bergman, E., Greenberg, L., Norrgård J. & Piccolo, J. 2015. Produktion av vild laxsmolt i Klarälven. Biologi, Institutionen for miljö- och livsvetenskaper, Karlstads Universitet. I rapporten: Hedenskog M, Gustafsson P, Qvenild T. (Red.). 2015. Vänerlaxens fria gång. Två länder, en älv. Ekologisk status och underlag till åtgärdsprogram för Klarälven, Trysilelva och Femundselva med biflöden. Länsstyrelsen i Värmlands län publ nr 2015:17, ISBN 0284-6845.
- Bergman, E. & Norrgård, J. 2015. Nedströmsvandring av vildfödd laxsmolt. I rapporten: Hedenskog M, Gustafsson P, Qvenild T. (Red.). 2015. Vänerlaxens fria gång. Två länder, en älv. Ekologisk status och underlag till åtgärdsprogram för Klarälven, Trysilelva och Femundselva med biflöden, pp 136–142. Länsstyrelsen i Värmlands län publ nr 2015:17, ISBN 0284-6845.
- Boström, M.K., Lunneryd, S-G., Karlsson, L. & Ragnarsson, B. 2009. Cormorant impact on trout (*Salmo trutta*) and salmon (*Salmo salar*) migrating from the river Dalälven emerging in the Baltic Sea. *Fisheries Research*, 98:16–21.

- Brevé, N., Vis, H., Spierts, I., de Laak, G., Moquette F. & Breukelaar, A. 2013. Exorbitant mortality of hatchery-reared Atlantic salmon smolts *Salmo salar* L., in the Meuse river system in the Netherlands. *Journal of Coastal Conservation*, 18(2).
- Calles, O. & Greenberg, L. 2009. Connectivity is a two-way street—the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *River. Res. Applic.*, 25: 1268–1286.
- Casas-Mulet R., Saltveit, S.J., & Alfredsen, K. 2014. The Survival of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Eggs During Dewatering in a River Subjected to Hydropeaking. *River Research and Applications*, 31(4).
- Cederborg, D., Löfqvist, M. & Hallberg, K. 2018. Analys av miljö kvalitetsnormer – ur ett vattenkraftsperspektiv. WSP Sverige AB, uppdragsnummer 10260590.
- Chaput, G., Carr, J., Daniels, J., Tinker, S., Jonsen, I. & Whoriskey, F. 2018. Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt and early post-smolt migration and survival inferred from multi-year and multi-stock acoustic telemetry studies in the Gulf of St. Lawrence, northwest Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, 76(4).
- Coutant, C.C. 2023. Hydropower peaking and stalled salmon migration are linked by altered reservoir hydraulics: A multidisciplinary synthesis and hypothesis. *River Res Applic.* 39:1439–1456.
- Daniels, J., Sutton, S., Webber, D. & Carr, J. 2019. Extent of predation bias present in migration survival and timing of Atlantic salmon smolt (*Salmo salar*) as suggested by a novel acoustic tag. *Animal Biotelemetry*, 7:16.
- Degerman, E., Calles, O., Näslund, I. & Wickström, H. 2013. Påverkan på strömlevande fisk av anlagda lugnvatten Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:15.
- Dieperink, C., Pedersen, S. & Pedersen, M.I. 2001. Estuarine predation on radiotagged wild and domesticated sea trout (*Salmo trutta* L.) smolts. *Ecology of Freshwater Fish*, 10(3).
- Eklund, R. 2021. Regleringens effekter på vattenståndsvariationer nedströms Viforsens kraftverk i Ljungan. Umeå universitet. Examensarbete, 15 hp. Kandidatprogrammet i miljö- och hälsoskydd, 180 hp. Vt 2021.
- Flávio, H., Aarestrup, K., Jepsen, N. & Koed, A. 2019a. Naturalised Atlantic salmon smolts are more likely to reach the sea than wild smolts in a lowland fjord. *River Research and Applications*, 35:216-223.
- Flávio, H., Kennedy, R., Ensing, D., Jepsen, N. & Aarestrup, K. 2019b. Marine mortality in the river? Atlantic salmon smolts under high predation pressure in the last kilometres of a river monitored for stock assessment. *Fisheries Management and Ecology*, vol 27(1):92-101.

- Flodmark, L. E. W., Forseth, T., L'Abée-Lund, J. H., & Vøllestad, L. A. 2006. Behaviour and growth of juvenile brown trout exposed to fluctuating flow. *Ecology of Freshwater Fish*, 15:57–65.
- Flodmark, L.E.W., Vollestad, L.A. & Forseth, T. 2004. Performance of juvenile brown trout exposed to fluctuating water level and temperature. *Journal of Fish Biology*, 65(2):460–470.
- Gauld, N. R., Campbell, R. N. B. & Lucas, M. C. 2013. Reduced flow impacts salmonid smolt emigration in a river with low-head weirs. *Science of The Total Environment*, 458–460:435–443.
- Hagelin, A. & Nilsson, F. 2021. Åtgärdsplan för Gullspångslax Slutrapport för projekt GRAP, GullspångRiverActionPlan 2018–2020. Länsstyrelsen Västra Götaland, Rapport 2021:06.
- Hagelin, A. 2018. Smoltöverlevnad under nedströmsmigration i fjärdmiljö. I rapport: LIV - Laxfisk i nedre Dalälven. Länsstyrelsen Gävleborg, Rapport 2018:4.
- Hajiesmaeili, M., Addo, L., Watz, J., Railsback, S.F. & Piccolo, J.J. 2023. Individual-based modelling of hydropeaking effects on brown trout and Atlantic salmon in a regulated river. *River Research and Applications*, 39(3): 522–537.
- Halfyard, E.A., Gibson, A.J.F., Ruzzante, D.E., Stokesbury, M.J.W. & Whoriskey, F.G. 2012. Estuarine survival and migratory behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Journal of Fish Biology*, 81:1626-1645.
- Halleraker, J.H., Saltveit S.J., Harby A., Arnekleiv J.V., Fjeldstad H-P. & Kohler B. 2003. Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and Applications*, 19(5–6):589 – 603.
- Hanssen, E.M., Vollset, K.W., Salvanes, A.G.V., Barlaup, B., Whoriskey, K., Isaksen, T.E., Normann, E.S., Hulbak, M. & Lennox, R.J. 2021. Acoustic telemetry predation sensors reveal the tribulations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts migrating through lakes. *Ecology of Freshwater Fish*, 31(3).
- Harby, A. & Noack, M. 2013. Rapid Flow Fluctuations and Impacts on Fish and the Aquatic Ecosystem. I bok: *Ecohydraulics: An Integrated Approach*, kap 19. Editors:Ian Maddock, Atle Harby, Paul Kemp, Paul Wood.
- Haugen, T.O., Kristensen, T., Nilsen, T.O. & Urke, H.A. 2017. Vandringsmønsteret til laksesmolt i Vossovassdraget med vekt på detaljert kartlegging av åtferd i innsjøsystema og effektar av miljøtilhøve. MINA fagrapport no 41, Noregs miljø- og biovitenskaplege universitet.
- Haugen, T.O., Ulvund, J.B., Lunde, R., Kristensen, T., Barlaup, B.T. & Urke, H.A. 2016. Vandringsmønster og overleving hjå laksesmolt frå Bolstadelva og Vosso. INA fagrapport 32. 54 s.

- Havn, T.B., Økland, F., Heermann, L., Thorstad, E.B., Teichert, M.A.K., Sæther, S.A., Tambets, M. & Borcharding, J. 2018. Downstream migration of Atlantic salmon smolts at Unkelmühle power station and Buisdorf dam in 2016. NINA Report 1412, Norwegian Institute for Nature research.
- Havs- och vattenmyndigheten. 2022. Statusklassning av hydrologisk regim. Exemplifiering av HVMFS 2019:25. Rapport 2022:01.
- Hedger, R.D., Sundt-Hansen, L.E., Juárez-Gómez, A., Alfredsen, K. & Foldvik, A. 2023. Exploring sensitivities to hydropeaking in Atlantic salmon parr using individual-based modelling. *Ecohydrology*, 16(6):e2553
- Hedger, R.D., Sauterleute, J., Sundt-Hansen, L.E., Forseth, T., Ugedal, O., Diserud, O.H. & Bakken, T.H. 2018. Modelling the effect of hydropeaking-induced stranding mortality on Atlantic salmon population abundance. *Ecohydrology*, 11(5):e1960.
- Honkanen, H.M., Orrell, D.L., Newton, M., McKelvey, S., Stephen, A., Duguid, R.A. & Adams, C.E. 2021. The downstream migration success of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts through natural and impounded standing waters. *Ecological Engineering*, 161(2):106161.
- Honkanen, H.M., Rodger, J.R., Stephen, A., Adams, K., Freeman, J. & Adams, C.E. 2018. Counterintuitive migration patterns by Atlantic salmon *Salmo salar* smolts in a large lake. *Journal of Fish Biology*, 93(1):159–162.
- Huusko, A., Vainikka, A., Syrjänen, J.T. & Orell, P. 2018. Life-History of the Adfluvial Brown Trout (*Salmo trutta* L.) in Eastern Fennoscandia: Biology, Ecology and Management. In book: Brown Trout, Biology, Ecology and Management, (pp.267-295).
- Huusko, R., Hyvärinen, P., Jaukkuri, M., Mäki-Petäys, A., Orell, P. & Erkinaro, J. 2017. Survival and migration speed of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in two large rivers: one without and one with dams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75(8).
- Jepsen, N. 2022. Documentation of cormorant impact on river fish. In Proceedings of the EIFAAC Symposium on Inland Fisheries and Aquaculture: Advances in technology, stock assessment and citizen science in an era of climate change (pp. 20-21). Food and Agriculture Organization of the United Nations. EIFAAC Occasional Paper No. 51.
- Jepsen, N., Klenke, R., Sonnesen, P. & Bregnballe, T. 2010. The Use of Coded Wire Tags to Estimate Cormorant Predation on Fish Stocks in an Estuary. *Marine and Freshwater Research*, 61(3):320-329.
- Jepsen, N., Aarestrup, K., Økland, F. & Rasmussen, G. 1998. Survival of radiotagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) – and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia*, 371:347–353.

- Kaiskog, F. 2020. Habitatutnyttjande och överlevnad hos odlad och vild öring i Siljan - En undersökning baserad på akustisk telemetri. Linnéuniversitetet, Examensarbete 15 hp, VT20.
- Kekäläinen, J., Niva, T. & Huuskonen, H. 2008. Pike predation on hatchery-reared Atlantic salmon smolts in a northern Baltic river. *Ecology of Freshwater Fish*, 17(1).
- Kennedy, R.J., Rosell, R. & Allen, M. 2021. Some observations on the behaviour of lake dwelling brown trout in Lough Erne. *Biology & Environment Proceedings of the Royal Irish Academy*, 121B(1):1.
- Kennedy, R.J., Rosell, R., Millane, M., Doherty, D. & Allen, M. 2018. Migration and survival of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in a large natural lake. *Journal of Fish Biology*, 93:134-137.
- Kocik, J.F., Sheehan, T., Hawkes, J., Music, P.A. & Beland, K.F. 2009. Assessing Estuarine and Coastal Migration and Survival of Wild Atlantic Salmon Smolts from the Narraguagus River, Maine Using Ultrasonic Telemetry. *American Fisheries Society Symposium*, 69:293-310.
- Koed, A., Larsen, S., Jepsen, N., Aarestrup, K., Iversen, K. & Flávio, H. 2019. Udtræk af ørred- og laksesmolt fra Skjern Å og Omme Å samt laksesmoltdødeligheden i Ringkøbing Fjord 2016 og 2017. DTU Aqua og Danmarks Center for Vildlaks.
- Koed, A., Baktøft, H. & Bak, B.D. 2006. Causes of mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) smolts in a restored river and its estuary. *River Research and Applications*, 22(1).
- Koed, A., Deacon, M., Aarestrup, K. & Rasmussen, G. 2005. Overlevelsen af laksesmolt i Karlsgårde Sø i foråret 2004. Danmarks Fiskeriundersøgelser, DFU-rapport 145-05.
- Koed, A., Jepsen, N., Aarestrup, K. & Nielsen, C. 2002. Initial mortality of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts following release downstream of a hydropower station. *Hydrobiologia*, 483: 31-37.
- Lagarigue, T., Céréghino, R., Lim, P., Reyes-Marchant, P., Chappaz, R., Lavandier, P & Belaud, A. 2002. Diel and seasonal variations in brown trout (*Salmo trutta*) feeding patterns and relationship with invertebrate drift under natural and hydropeaking conditions in a mountain stream. *Aquatic Living Resources*, 15(2):129-137.
- Larocque, S.M., Johnson, T.B. & Fisk, A.T. 2019. Survival and migration patterns of naturally and hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in a Lake Ontario tributary using acoustic telemetry. *Freshwater Biology*, 65(2).
- Leonardsson, K. & Nilsson, K. 2021. Modeller av fiskvägars betydelse för fiskbestånden. Verktyg för att utvärdera åtgärdsförslag. Energiforsk Rapport 2021:765.

- Leonardsson, K., Östergren, J., Hellström, G., Leander, J. & Bergman, E. 2016. Passageeffektivitet för nedströmsvandrande laxsmolt förbi ett integrerat vattenintag till spill och turbin vid Bruksfors, Rickleån. SLU, Rapport 9, 2016.
- Liebig, H., Céréghino, R., Lim, P., Belaud, A. & Lek, S. 1999. Impact of hydropeaking on the abundance of juvenile brown trout in a Pyrenean stream. *Archiv für Hydrobiologie*, 144(4):439–454.
- Lilly, J., Honkanen, H.M., McCallum, J.M., Newton, M., Bailey, D.M. & Adams, C.E. 2021. Combining acoustic telemetry with a mechanistic model to investigate characteristics unique to successful Atlantic salmon smolt migrants through a standing body of water. *Environ Biol Fish*, 105:2045–2063.
- Lundström, K., Ovegård, M. Karlsson, M. (red.). 2023. Storskarvens (Phalacrocorax carbo) ekologi, roll i ekosystemet och effekter på fiskbestånd
Sammanställning av kunskap och kunskapsbehov. Sveriges Lantbruksuniversitet, promemoria SLU ID: SLU.aqua.2023.4.4-47.
- Länsstyrelsen Västra Götaland. 2022. Smolttelemetri i Gullspångsälven 2020 och 2021, Fiskeutredningsgruppen, 2022-11-03.
- Moe, S.J, Nater, C.R, Rustadbakken, A., Vøllestad, L.A., Lund, E., Qvenild, T., Hegge, O. & Aass, P. 2020. Long-term mark-recapture and growth data for large-sized migratory brown trout (*Salmo trutta*) from Lake Mjøsa, Norway. *Biodiversity Data Journal*, 8:e52157.
- Nash, A., Vollset, K.W., Hanssen, E.M., Berhe, S., Salvanes, A.G.V., Isaksen, T.E., Barlaup, B.T. & Lennox, R.J. 2022. A tale of two fishes: depth preference of migrating Atlantic salmon smolt and predatory Brown trout in a Norwegian lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 79(12).
- Nilsson, N. 2018. Beräkning av smoltproduktionen i Emån och dess tillflöden
Delrapport i Pilotprojekt Emån – vattenkraft. Länsstyrelsen i Jönköpings län, Meddelande nr 2018:33.
- Nilsson, N. 2013. Utvärdering av resultat från 2008 års valideringsförsök av smoltproduktionsmodell för öring i Vätterns tillflöden. FAKTA från Vätternvårdsförbundet Nr 4:2013.
- Nilsson, N., Degerman, E., Andersson, H.C. & Halldén, A. 2010. Fisk i vattendrag och stora sjöar - Metoder för övervakning, Delrapport: Uppdatering av modell för beräkning av öringsmoltproduktion. Länsstyrelsen i Stockholms län, rapport 2010:07.
- Norrgård, J.R., Nyqvist, D., Bergman, E. & Greenberg, L. *In press*. Downstream migration of landlocked Atlantic salmon smolt in a regulated river – effects of multiple passage at dams with programmed spill.

- Norrgård J.R. 2014. Migration and quality of landlocked Atlantic salmon smolt
Implications for conservation and management. Dissertation, Karlstad
University Studies 2014:29. Paper 5. Norrgård JR, Ludvigsson A,
Bergman E. 2014. Predation by northern pike *Esox lucius* on migrating
hatchery-reared salmonid smolts.
- Norrgård, J.R., Greenberg L.A., Piccolo J.J., Schmitz M. & Bergman E. 2012.
Multiplicative loss of landlocked Atlantic salmon *Salmo salar* L. smolts
during downstream migration through multiple dams. *River Research and
Applications*, 29(10).
- Nyqvist, D., McCormick, S.D., Greenberg, L.A., Calles, O., Bergman, E., Ardren,
W.R. & Castro-Santos, T. 2017. Downstream Migration and Multiple Dam
Passage by Atlantic Salmon Smolts. *North American Journal of Fisheries
Management*, 37:816–828.
- Olsson, I.C., Eklöv, A. & Degerman, E. 2009. Effekter av våtmarker och kraftverk
på havsöringsmolt (*Salmo trutta* L.) och ål (*Anguilla anguilla* L.).
Länsstyrelsen Skåne, rapport 2009:36.
- Olsson, I.C., Greenberg, L.A. & Eklöv, A.G. 2001. Effect of an Artificial Pond on
Migrating Brown Trout Smolts. *North American Journal of Fisheries
Management*, 21(3):498-506.
- Piccolo, J.J., Norrgård, J.R., Greenberg, L.A., Schmitz, M. & Bergman, E. 2012.
Conservation of endemic landlocked salmonids in regulated rivers: a
case-study from Lake Vänern, Sweden. *Fish and Fisheries*, 13(4):418–433.
- Puffer, M., Berg, O.K., Hamnes, F.B., Bentsen, V., Koch, W., Ugedal, O., Forseth, T.,
Arnekleiv, J.V. & Einum, S. 2019. Density-independent use of shallow
riverine areas in juvenile Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and
Aquatic Sciences* 76(7).
- Puffer, M., Berg, O.K., Huusko, A., Vehanen, T. & Einum, S. 2017. Effects of intra-
and interspecific competition and hydropeaking on growth of juvenile
Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Ecology of Freshwater Fish*, 26: 99–107.
- Puffer, M., Berg, O. K., Huusko, A., Vehanen, T., Forseth, T., & Einum, S. 2015.
Seasonal effects of hydropeaking on growth, energetics and movement of
juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *River Research and Applications*,
31:1101–1108.
- Rasmussen, G., Aarestrup, K. & Jepsen, N. 1996. Mortality of sea trout (*Salmo trutta*
L.) and Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts during seaward migration
through rivers and lakes in Denmark. ICES Council Meeting papers.
Copenhagen. C.M. 1996/T:9.
- Rivinoja, P., Östergren, J., Leonardsson, K., Lundqvist, H., Kiviloog, J., Bergdahl, L.
& Brydsten, L. 2004. Downstream migration of *Salmo salar* and *S. trutta*
smolts in two regulated northern Swedish rivers. Conference: Fifth
International Symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats: Analysis
& Restoration. Sept 12-17, 2004, Madrid, Spain.

- Saltveit, S.J., Brabrand, Å., Juárez, A., Stickler, M. & Dønnum, B.O. 2020. The Impact of Hydropeaking on Juvenile Brown Trout (*Salmo trutta*) in a Norwegian Regulated River. *Sustainability*, 12(20).
- Saltveit, S.J. & Brabrand, Å. 2013. Incubation, hatching and survival of eggs of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in spawning redds influenced by groundwater. *Limnologia*, 43(5): 325–331.
- Saltveit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V. & Harby, A. 2001. Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regulated Rivers Research & Management*, 17(4–5):609 – 622.
- Sandell, G. 1995. Anlagda dammar och våtmarker - hot mot utvandrande smolt? En litteraturstudie. Terra-Limno Gruppen AB.
- Schmutz, S., Bakken, T.H., Friedrich, T., Greimel, F., Harby, A., Jungwirth, M., Melcher, A., Unfer, G. & Zeiringer, B. 2015. Response of Fish Communities to Hydrological and Morphological Alterations in Hydropeaking Rivers of Austria. *River Research and Applications*, 31(8).
- Schwinn, M., Baktoft, H., Aarestrup, K. & Koed, A. 2019. Artificial lakes delay the migration of brown trout *Salmo trutta* smolts: a comparison of migratory behaviour in a stream and through an artificial lake. *Journal of Fish Biology*, 94(5):745-751.
- Schwinn, M. 2018a. Effects of artificial lakes on migrating juvenile brown trout (*Salmo trutta*). PhD Thesis. Technical University of Denmark National Institute for Aquatic Resources Section for Freshwater Fisheries and Ecology.
- Schwinn, M., Baktoft, H., Aarestrup, K., Lucas, M.C. & Koed, A. 2018b. Telemetry observations of predation and migration behaviour of brown trout (*Salmo trutta*) smolts negotiating an artificial lake. *River Research and Applications*, 34(8):898–906.
- Schwinn, M., Baktoft, H., Aarestrup, K. & Koed, A. 2017a. A comparison of the survival and migration of wild and F1-hatchery-reared brown trout (*Salmo trutta*) smolts traversing an artificial lake. *Fisheries Research*, 196:47-55.
- Schwinn, M., Aarestrup, K., Baktoft, H. & Koed, A. 2017b. Survival of Migrating Sea Trout (*Salmo trutta*) Smolts During Their Passage of an Artificial Lake in a Danish Lowland Stream. *River Research and Applications*, 33(4): 558-566.
- Scruton, D.A., Pennell, C., Ollerhead, L.M.N., Alfredsen, K., Stickler, M., Harby, A., Robertson, M., Clarke, K.D. & LeDrew, L.J. 2008. A synopsis of 'hydropeaking' studies on the response of juvenile Atlantic salmon to experimental flow alteration. *Hydrobiologia*, 609:263–275.

- Scruton, D.A., Pennell, C.J., Robertson, M.J., Ollerhead, L.M.N., Clarke, K.D., Alfredsen, K., Harby, A. & McKinley, R.S. 2005. Seasonal response of juvenile Atlantic salmon to experimental hydropeaking power generation in Newfoundland, Canada. *North American Journal of Fisheries Management*, 25:964–974.
- Serrano, I., Rivinoja, P., Karlsson, L. & Larsson, S. 2009. Riverine and early marine survival of stocked salmon smolts, *Salmo salar* L., descending the Testebo River, Sweden. *Fisheries Management and Ecology*, 16(5):386 – 394.
- Stevens, J.R., Kocik, J.F. & Sheehan, T.F. 2019. Modeling the impacts of dams and stocking practices on an endangered Atlantic salmon (*Salmo salar*) population in the Penobscot River, Maine, USA. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 76(10).
- Stich, D.S., Zydlewski, G.B., Kocik J.F. & Zydlewski, J.D. 2015. Linking Behavior, Physiology, and Survival of Atlantic Salmon Smolts During Estuary Migration. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 7:68-86.
- Stubberud, M.W., Nater, C.R., Vindenes, Y., Asbjørn Vøllestad, L. & Langangen, Ø. 2022. Low impact of first-time spawners on population growth in a brown trout population. *Climate Research*, Vol. 86:65–78.
- Syrjänen, J.T., Vainikka, A., Louhi, P., Huusko, A., Orell, P. & Vehanen, T. 2017. History, Conservation and Management of Adfluvial Brown Trout Stocks in Finland. In book: *Brown Trout: Biology, Ecology and Management* (pp.697-733).
- Thorstad, E.B., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A.H. & Finstad B. 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology*, 81:500–542.
- Vehanen, T., Bjerke, P.L., Heggenes, J., Huusko, A. & Mäki-Petäys, A. 2000. Effect of fluctuating flow and temperature on cover type selection and behaviour by juvenile brown trout in artificial flumes. *Journal of Fish Biology*, 56(4):923–937.
- Vollset, K.W., Mahlum, S., Davidsen, J. G., Skoglund H. & Barlaup B.T. 2016a. Interaction between migration behaviour and estuarine mortality in cultivated Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Journal of Fish Biology* 89:1974–1990.
- Vollset, K.W., Skoglund, H., Wiers, T. & Barlaup. B.T. 2016b. Effects of hydropeaking on the spawning behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Journal of Fish Biology*, 88(6):2236-2250.

- Welch D.W., Rechisky, E.L., Melnychuk, M.C., Porter, A.D., Walters, C.J., Clements, S., Clemens, B.J., McKinley, R.S. & Schreck, C. 2008. Survival of Migrating Salmon Smolts in Large Rivers With and Without Dams. *PLOS Biology*, 6(12):e314.
- Widén, Å., Renöfält, B.M., Ahonen, J. & Jansson, R. 2023. Ecopeaking – Pilotstudie om korttidsreglering. Energiforsk rapport 2023:935.

SMOLTÖVERLEVNAD OCH INVERKAN AV KORTTIDS- REGLERING – EN LITTERATURSTUDIE

Denna litteraturstudie beskriver det befintliga kunskapsläget för tre faktorer som utgör viktiga indata till populationsmodelleringar för lax och öring. I studien konstateras att det, även om det finns ett relativt stort antal studier kring smoltförluster vid nedströmsvandring genom lugnvatten, fortsatt finns betydande osäkerheter på området. Det faktum att stora förluster kan uppträda på korta avsnitt i en vattenförekomst gör att det är svårt att applicera schablonvärden utan någon detaljkunskap om området.

Gällande överlevande för insjööring i fasen mellan smoltutvandring till återvandrande adult fisk finns fortsatt stora kunskapsluckor. Korttidsreglering bedöms kunna ha en liten negativ påverkan på yngelstadierna av lax och öring, framför allt genom risk för strandning. Det finns dock inte belägg för någon betydande negativ påverkan som styrker att korttidsreglering kan användas som substitut för biologiska data vid klassning av vattenförekomster i vattenförvaltningen.

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.

