



Nedströmsvandrande laxsmolt (*Salmo salar*) i Testeboån

En akustisk-telemetristudie för undersökning av nedströmspassage och effektiviteten av galleravledaren vid Strömsbro vattenkraftverk

Downstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in Testeboån River

An acoustic telemetry study investigating downstream passage and angled rack efficiency at the Strömsbro hydropower plant

Mattias Harlén

Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap

Biologi

Grundnivå 15 hp

Handledare: Samuel Shry och Olle Calles

Examinator: Johan Watz

2023-04-02

Löpnummer: 23:247

Abstract

Hydropower plants and weirs serve as barriers for both up- and downstream migration for multiple species. To minimize the negative impacts of barriers on migrating fish species, fish passages are constructed to allow for upstream and downstream passage. Angled bar racks together with a bypass are a solution that are meant to lead fish away from the power plants intake. The aim of this study was to investigate the efficiency of an angled bar rack with bypass leading to the old riverbed at Strömsbro hydropower plant in Testeboån River, Sweden. Acoustic telemetry was used to investigate Atlantic salmon smolts passage efficiency at the angle bar rack and subsequent path choice. It was also used to evaluate mortality for both the old riverbed and the passage through the power plant, as well as the difference in time between the two passages. 60 smolts were marked with acoustic transmitters in May 2022 and ten acoustic receivers were placed over the lower 5 km in Testeboån River to evaluate their migration. High mortality (45%) from the release site to the power plant resulted in only 30 individuals being used for the evaluation. The result showed, like former studies at Strömsbro, that the majority (2/3) of the smolt passed through the angled rack and through the power plants intake. There was no mortality for the old riverbed and 25% for the passage through the power plant. Overall, the success of downstream migration past Strömsbro power plant was 35% of marked smolts and 64% of the individuals reaching Strömsbro power plant. Smolt passage took longer through the old riverbed in comparison to the passage through the power plant, which shows some delay for smolts passing Strömsbro power plant through the old riverbed. The result implies low efficiency of the angled bar rack at Strömsbro power plant, leading to increased mortality. The design of the angled rack might be one reason for this. Further investigation about the possibilities to increase the efficiency of the angled rack at Strömsbro power plant should be considered.

Sammanfattning

Vattenkraftverk och dammar utgör vandringshinder både vid upp- och nedströmsvandring för flertalet fiskarter. En åtgärd för att minska vandringshindrens negativa påverkan på migrerande arter är att anlägga fiskpassager som underlättar upp- och nedströmspassage. Galleravledare med flyktöppning är en åtgärd som syftar till att hindra nedströmsvandrande smolt från att simma in i vattenkraftverksturbiner och riskera förhöjd dödlighet. Syftet med studien var att undersöka funktionen av en galleravledare med tillhörande flyktväg till en naturfåra vid Strömsbro kraftverk i Testeboån. Med hjälp akustisk telemetry undersöktes laxsmoltens vägval vid galleravledaren, dess överlevnad vid passage via naturfåran respektive genom kraftverkets turbiner samt skillnaden i tidsåtgång mellan dessa passagealternativ. Totalt märktes 60 smolt med sändare i mitten av maj 2022. Tio mottagare placerades ut på drygt 5 km av Testeboåns nedersta del. Hög dödlighet (45%) från utsläppsplatsen till kraftverket resulterade i att endast 30 individer inkluderades i studien. Resultatet visade, likt tidigare undersökningar vid Strömsbro kraftverk, att majoriteten (2/3) av smolten simmar genom kraftverket.

Ingen dödlighet observerades för smolt som passerade via naturfåran medan dödligheten var 25% för smolten som passerade genom kraftverket. Av de smolt som nådde fram till Strömsbro kraftverk tog sig 64% till Testeboåns mynning, vilket motsvarade totalt 35% av den märkta smolten. Tidsåtgången var betydligt högre i naturfåran jämfört med kraftverket, vilket visar på fördröjning för smolt som passerar Strömsbro kraftverk via naturfåran. Resultaten antyder en dålig funktion av galleravledaren vid Strömsbro kraftverk med förhöjd dödlighet som följd. En orsak kan vara utformningen av galleravledaren. Vidare undersökning av möjligheterna för en förbättrad funktion av galleravledaren vid Strömsbro kraftverk bör vidtas.

Inledning

Vattendrag har historiskt varit viktiga för människan, både som dricksvattentäkter och som transportsystem. Till följd av människans påverkan genom exempelvis flottningsanpassningar samt byggnation av dammar och vattenkraftverk har ekosystemen i älvarna rubbats (Degerman & Näslund, 2021). Detta är en av anledningarna till att biodiversiteten i många älvar världen över är hotad och degraderad (Sullivan et al., 2011). I älvar finns arter vars överlevnad är direkt beroende av strömmande vatten. Både arter som lever hela livet i älvar som flodpärlmussla (*Margaritifera margaritifera*), samt arter som tillbringar en del av livet där likt europeisk ål (*Anguilla anguilla*), atlantlax (*Salmo salar*) och öring (*Salmo trutta*) (Henrikson & Alexanderson, 2011).

En av arterna som minskat markant i antal under senare halvan av 1900-talet är atlantlaxen (Parrish et al., 1998). Laxen simmar från havet upp i älvar för att fortplanta sig (leka). De nykläckta laxarna, som första sommaren kallas parr, kan stanna upp till 8 år i sötvatten innan de genomgår smoltifiering, mer vanligt förekommande är 2–3 år (Klemetsen et al., 2003). Smoltifiering anpassar laxen till livet i havet och sker oftast då laxen är 10–20 cm, som efter detta kallas smolt (Klemetsen et al., 2003; Thorstad et al., 2012). Tidpunkten för nedströmsmigration styrs bland annat av miljöfaktorer som vattenflöde, tid på dygnet, temperatur och älvens geografiska placering (Thorstad et al., 2012). Ungefär 1% av äggen överlever till smolt och endast omkring 8% av smolten återvänder för lek (Cunjak & Therrien, 1998). Förutsättningar för hög överlevnad som fria vandringsvägar mellan uppväxt-, lek-, och födosökområden är därför av stor betydelse (Cunjak & Therrien, 1998).

I Sverige finns cirka 2000 vattenkraftverk. Dessa är en viktig del i den gröna omställningen för svensk elproduktion då den står för 30–45% (50–75 TWh/år) av elanvändningen i Sverige (Naturskyddsföreningen, 2021). Endast omkring 250 av vattenkraftverken står för 98% av elproduktionen, resterande vattenkraftverk producerar ytterst lite el (Naturskyddsföreningen, 2021). Vattenkraftverk av alla storlekar hindrar migrerande arter som lax att förflytta sig upp- och nedströms, vilket kan åtgärdas med fungerande fiskpassager (Nygqvist et al., 2018). Utan fiskvägar kan inte uppströmsvandrande könsmogna laxar nå sina lekplatser. Smolt på väg mot

havet kan försenas av vattenkraftverken, vilket kan leda till ökad risk för predation och desmoltifiering (återgång till parr-stadiet) som följd (Aarestrup & Koed, 2008; Calles & Greenberg, 2009; McCormick et al., 1999; Nyqvist et al., 2017). Mortaliteten för nedströmsvandrande smolt kan också öka om de tvingas simma genom vattenkraftverkens turbiner (Calles & Greenberg, 2009; Norrgård et al., 2013). En studie av Lariner (2008) visar att upp mot 90% av lax- och öringsmolt dör då de simmar genom turbiner av Francis-typ (Lariner, 2008). Förutom direkt dödlighet av en snurrande turbin finns fler risker som; tryckfallsförändringar, skrapskador, skjuvning (fisken utsätts för starka skilda strömhastigheter samtidigt), skador på sidolinjen och balanssinnet eller omfattande turbulens med predation som följd (Calles et al., 2013, Coutant & Whitney, 2000; Gauld et al., 2013). Predation är dock alltid en risk för utvandrande smolt (Jepsen et al., 2006). Dödligheten vid kraftverk kan vara svår att undersöka då den sällan inbegriper fördröjd dödlighet för skadad fisk som driver med strömmen (Stier & Kynard, 1986). Ferguson et al. (2006) visade att 46–70% av den så kallade turbindödligheten kan vara indirekt/fördröjd mortalitet där en stor påverkansfaktor är predation på omtöcknad och skadad fisk nedströms vattenkraftverk (Ferguson et al., 2006).

Beroende på storleken och utformningen av ett vattenkraftverk kan olika typer av fiskpassager för uppströms- och nedströmsvandring vara lämpliga (Clay, 2017). En redogörelse av Calles et al. (2013) visar att galleravledare med en spaltbredd på 18 mm eller mindre, en lutning lägre än 45° i förhållande till strömmens riktning och stor yta i förhållande till strömhastigheten har en avgörande betydelse för att effektivt avleda nedströmsvandrande smolt från kraftverksintag (Calles et al., 2013). Galleravledare med fokus på dessa egenskaper har visat sig vara effektiva för flera arter (Calles, 2021; Nettles & Gloss, 1985; Nyqvist et al., 2018; Tomanova et al., 2021). Nyqvist et al. (2018) undersökte funktionen av ett betagaller för nedströmsvandrande smolt där resultatet visade att 14 av 19 fiskar leddes till en flyktöppning av ett betagaller (74% avledning). Vid Strömsbro kraftverk i Testeboån finns sedan 2014 en galleravledare som syftar till att leda smolt och kelt (utlekt lax) till den gamla naturfåran och hindra passage genom kraftverkets turbiner. Innan åtgärderna implementerades skattades dödligheten till 40–75% (Karlsson et al., 2006; Serrano et al., 2009). Indikationer finns att galleravledaren har en bristfällig funktion, därför behövs fler studier för att undersöka detta såväl som Strömsbro kraftverks påverkan på nedströmsvandrande smolt (Dannewitz et al., 2022).

Syftet med denna studie är att öka kunskapen om effektiviteten för galleravledare med fokus på nedströmsvandrande laxsmolt. Målet är att fastställa om galleravledaren i Testeboån leder ner smolt till naturfåran via flyktöppningen, för att undvika passage genom Strömsbro kraftverks turbiner. Undersökningen utfördes med hjälp av akustisk telemetri för att ta reda på hur laxsmolt förflyttar sig fram till, förbi och bort från vattenkraftverket. Studien utgår från följande frågor: hur stor andel laxsmolt passerar genom flyktöppningen respektive galleravledaren? Hur stor är andelen överlevande laxsmolt för respektive passage förbi kraftverket? Skiljer passagetiden mellan naturfåran och kraftverket? Hypoteserna är att fisken förväntas

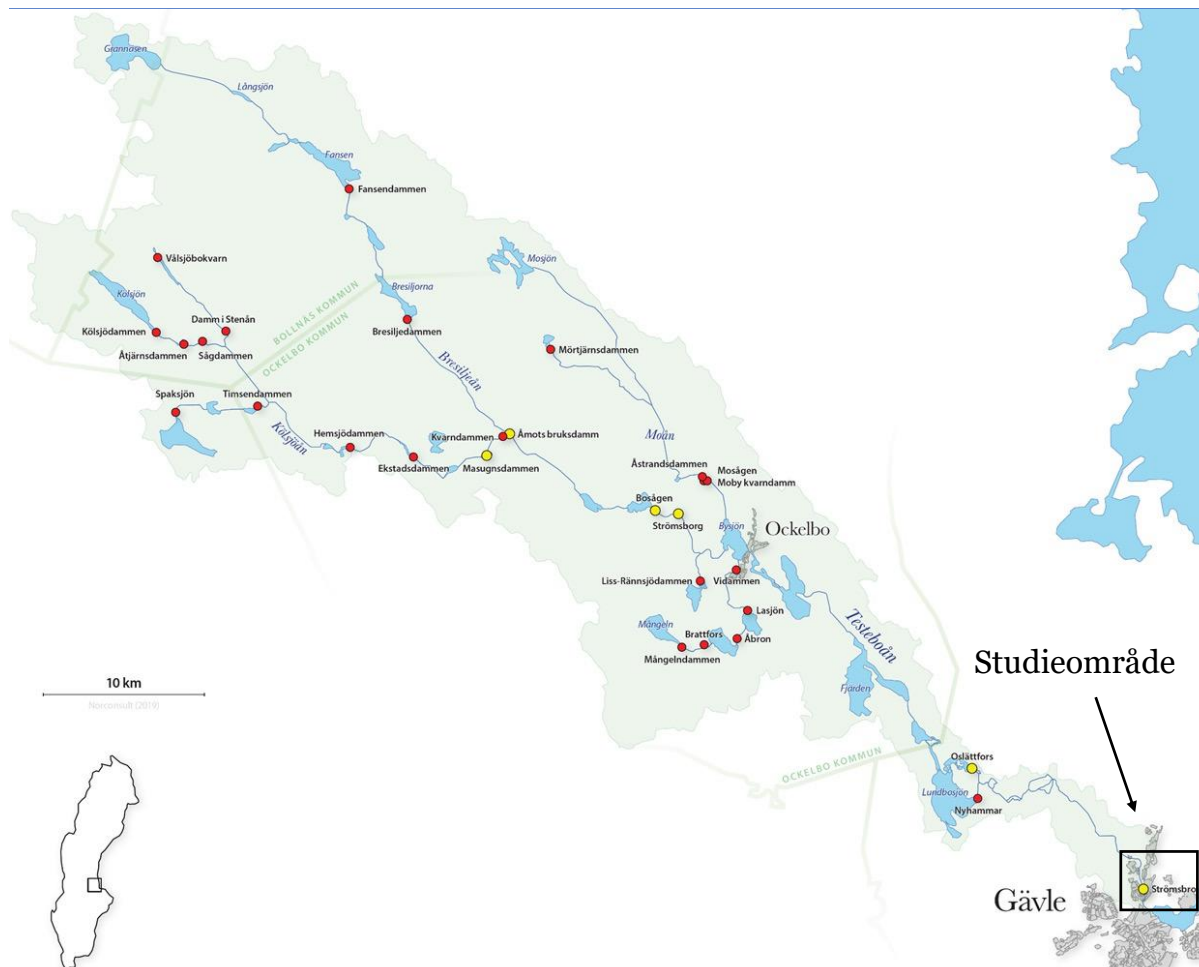
(1) i huvudsak simma genom flyktöppningen, (2) överleva i högre grad genom naturfåran än kraftverket samt (3) ta sig ned fortare genom naturfåran än kraftverket.

Material och metod

Studien utfördes av Sportfiskarna. Den genomfördes i Testeboåns nedersta 5 km maj till juni 2022. Studien var godkänd av Göteborgs djurförsöksetiska nämnd (diarienummer 5.8.18-03818/2018).

Studieområde

Testeboån rinner i nordvästlig till sydöstlig riktning genom Gästrikland med ursprung från Kvarndammen (med tillhörande biflöden) i Åmot (60.96349, 16.44801) omkring 130 meter över havet. Ån rinner ut i Östersjön vid Inre fjärden i Gävle (60.68563, 17.1734) (figur 1). Sträckan är ungefär 85 km lång och innefattar flera kvillområden. Längs Testeboån finns partier av både skog och våtmarker. Fiskarter som förekommer i Testeboån är bland annat; karpfiskar såsom braxen (*Abramis brama*) och vimma (*Vimba vimba*), utpräglade rovfiskar som gädda (*Esox lucius*) och gös (*Sander lucioperca*) samt havsvandrande arter som atlantlax, öring och europeisk ål. Medelvattenföringen för ån är 12,2 m³/s, under 2022 var den dock 6 m³/s (Moberg, 2022). De två nedersta vattenkraftverken i Testeboån (av totalt sex) ligger i Oslättfors (60.77034, 16.96799) och Strömsbro (60.69864, 17.15974). Nedströms Oslättfors varierar ån mellan forsar och lugnare strömmande partier. Precis nedströms Strömsbro kraftverk når ån havsnivån och mynnar 2 km senare ut i Östersjön. Idag kan havsvandrande fisk som lax och öring tas sig upp till kraftverket i Oslättfors 21 km från mynningen. Mindre vattendrag som ansluter Testeboån mellan Oslättfors och Forsby utgör lek- och uppväxtområden för lax och öring (Dannewitz et al., 2022). Smolt av lax och öring behöver således passera Strömsbro kraftverk för att nå havet.

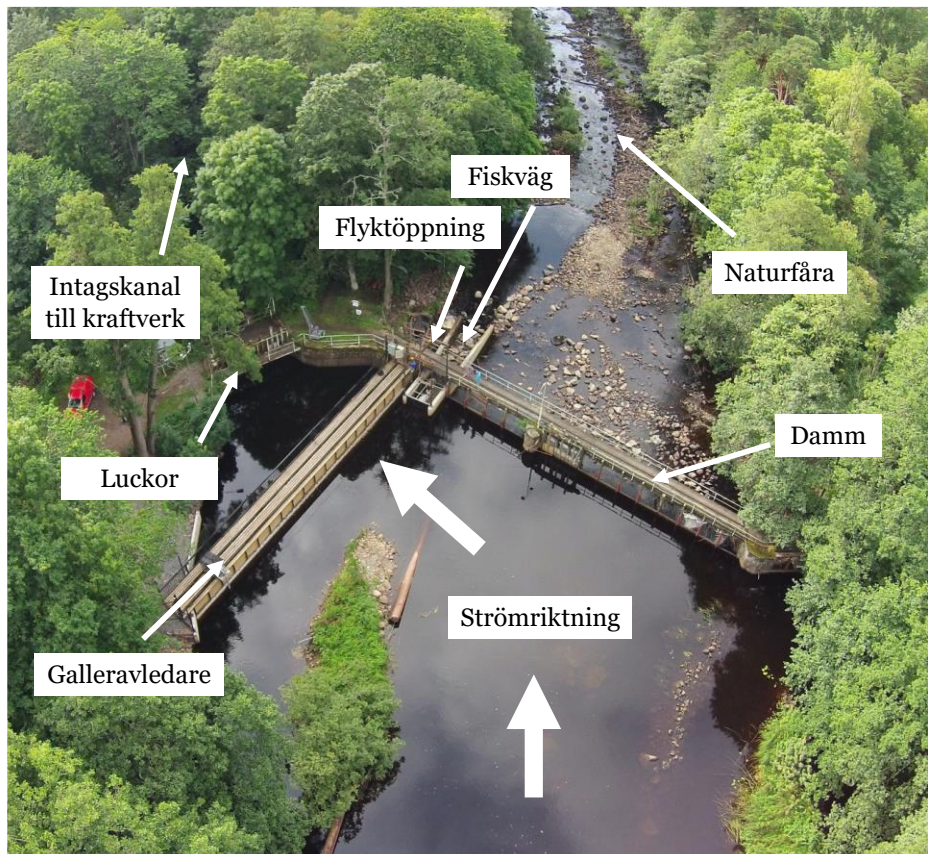


Figur 1. Testeboåns avrinningsområde med tillhörande biflöden och dess utlopp i Inre fjärden i Gävlebukten – Östersjön. Gula markeringar är samtliga sex vattenkraftverk och röda är regleringsdamm. Bildkälla: Länsstyrelsen Gävleborg.

Vattenkraftverket i Strömsbro ägs av Nilsson Kraft AB. Kraftverket har fyra turbiner varav två är av typen dubbel-Francis (80 respektive 60 cm), en flykt propellerturbin (55 cm) samt en hydrokraft propellerturbin (36 cm) (Blennå & Olsson, 2017). Den sammanlagda slukförmågan hos turbinerna är cirka 9 m³/s (B. Moberg, personlig kommunikation, 19 dec 2022). En dammkonstruktion leder vattnet via en intagskanal till kraftverket (figur 2; figur 4).

Tidigare fanns en fiskväg på dammens västra sida vid Strömsbro. Vid en ombyggnation 2014 anlades en ny fiskväg på dammens östra sida för uppströmsvandrande fisk (figur 2). I fiskvägen sitter sedan 2014–2015 en fiskräknare (VAKI Riverwatcher, Island) som registrerar både uppströms- och nedströmsvandrande fisk, samt en PIT (*Passive Integrated Transponder*)-antenn som registrerar PIT-märkta fiskar (Dannewitz et al., 2022). Vid ombyggnationen 2014 byggdes även en galleravledare framför intagskanalen till kraftverket (figur 2). Det är ett betagaller med en längd på 25 m och en spaltbredd på 18 mm. Galleravledaren sträcker sig från dammens östra sida till älvens östra strand från botten upp över vattenytan. Vinkeln på avledaren i förhållande till älvens naturliga strömriktning (genom dammluckorna och den ursprungliga åfåran) är

uppskattningsvis 45 grader. Dammen och den ovanliggande ön styr den faktiska strömriktningen mot intagskanalen nästan vinkelrätt mot galleravledaren (Moberg, 2017; figur 2). Syftet med galleravledaren är att leda fisken till den 60 cm breda flyktöppningen (figur 2), i vilken det tidigare satt en smoltfälla av Wolf-typ (Dannewitz et al., 2022). Fisk kan alltså ta sig uppströms via fiskvägen och nedströms både genom fiskvägen och flyktöppningen som leder fisken till naturfåran (den ursprungliga åfåran; figur 2).



Figur 2. Dammen ovanför Strömsbro vattenkraftverk i Testeboån. Avledaren framför intagskanalen syftar till att leda fisk till flyktöppningen och vidare ner till naturfåran. Foto: Fiskevårdsteknik AB.

Datainsamling

Studien använde sig av akustisk telemetri där fisken märks med sändare som registreras på mottagare. Sändarna implanteras i studiefisken och mottagarna placeras vid strategiskt utvalda platser för att undersöka fiskens färdväg, överlevnad och tidsåtgång för passage. Vid detta försök användes akustiska sändare av typen V5-180 kHz High Residency (HR) och Pulse Position Modulation (PPM) (Innovasea, Nova Scotia, Kanada). Sändarna hade en livslängd på 30 dagar, var 12,7 mm långa och hade en torrvekt på 0,64 g. Av de tio akustiska mottagarna som användes var fem av typen HR2-180 kHz och fem av typen VR2W-180 kHz (Innovasea, Nova Scotia, Kanada).

Fisken som användes vid försöket var 60 vilda nedströmsvandrande laxsmolt från Testeboån. Antalet märkta laxsmolt förutbestämde av Sportfiskarna, likaså urvalet av att välja bort de längdmässigt minsta och största smolten. Smolten fångades i Forsby, cirka 3 km uppströms Strömsbro kraftverk, 17–18 maj 2022 med ett smolthjul av typen ”rotary smolt wheel” (EG Solutions, Oregon, USA) (figur 3). De 60 infångade smolten hanterades i grupper om tio individer. Innan märkning bedövades fiskarna med benzocain (0,45 gram per 1 liter vatten), vägdes (± 1 gram) och mättes (± 1 mm). Fiskarna märktes sedan med de akustiska V5-sändarna som implanterades i bukhålan genom ett cirka 8 mm långt snitt under bröstfenans spets och syddes sedan igen med en sutur (Silon 4–0, DS 19 mm, 45 cm Vitrex, Medical A/S, Herlev Denmark). Smolten i de första fyra grupperna tilläts återhämta sig i cirka 60 minuter och släpptes ut samma dag vid utsläppsplatsen intill mottagare A1 (figur 4). Smolten i de två sista grupperna hölls i en sump i älven över natten och släpptes ut dagen efter (tabell 1).

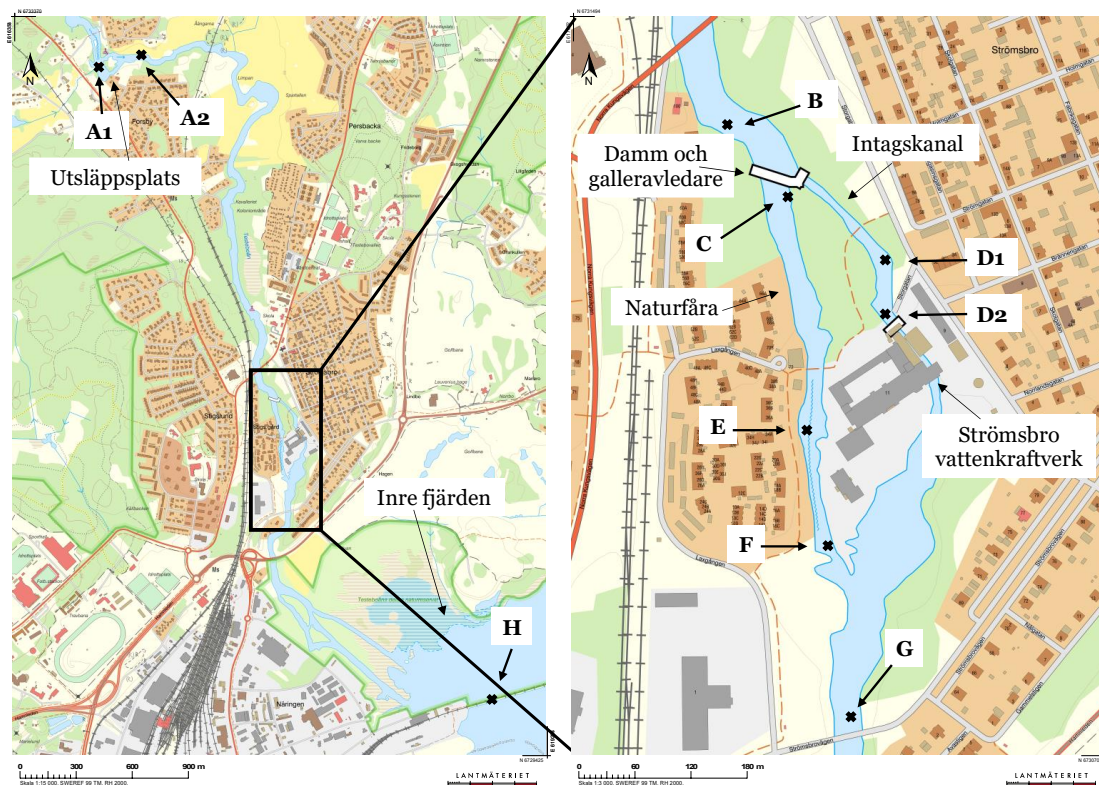
Tabell 1. Antalet smolt för varje grupp med tillhörande fångst- och utsläppsdatum vid märkning av smolt i Forsby – Testeboån.

Grupp	1	2	3	4	5	6
Antal smolt	10	10	10	10	10	10
Fångstdatum	17/5	18/5	18/5	18/5	18/5	18/5
Utsläppsdatum	17/5	18/5	18/5	18/5	19/5	19/5

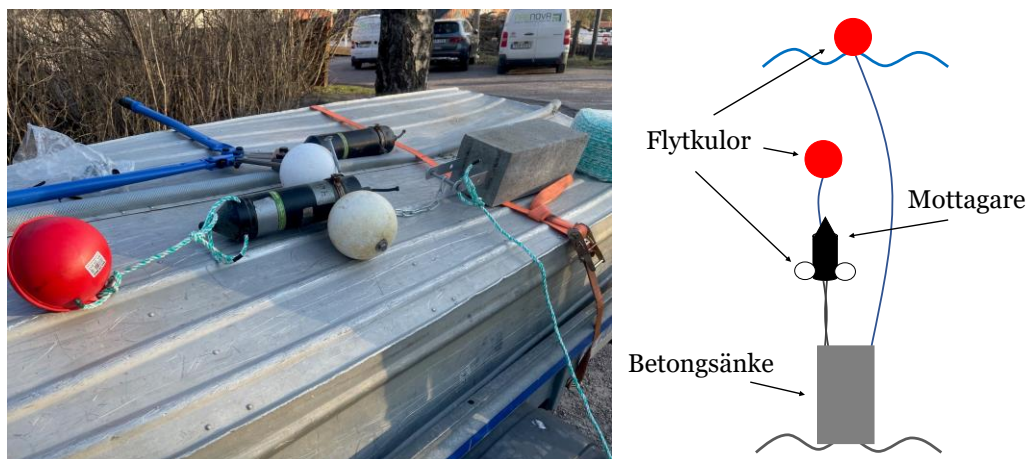


Figur 3. Smolthjulet som användes vid infångandet av laxsmolt vid Forsby i Testeboån. Foto: Sportfiskarna.

Tio akustiska mottagare placerades ut den 13 maj 2022 i Testeboån från Forsby och ned till utloppet i Inre fjärden – Östersjön (figur 4). Mottagarna togs upp den 14 juni 2022. De placerades strax ovanför botten där de hölls på plats av ett betongsänke och markerades i vattenytan med en flytkula (figur 5).



Figur 4. Placering av de tio akustiska mottagarna (A1–H) i Testeboåns nedre del vid Forsby och mynningen i Inre fjärden (vänster) samt vid Strömsbro vattenkraftverk (höger). Bildkälla: Lantmäteriet.



Figur 5. En av tio akustiska mottagare med tillhörande monteringsanordning (vänster) samt illustration av utplacerad mottagare (höger). Foto: Sportfiskarna.

Sammanställning av data och analys

Varje registrering av en sändare hos en mottagare omvandlades till en datapunkt. Totalt sammanställdes 105 431 datapunkter i Excel. Dessa bearbetades och förenklades av Samuel Shry innan de överlämnades för analys. Mottagare C, E och F som var placerade i naturfåran gav få registreringar, sannolikt till följd av omfattande turbulens. Data från dessa tre mottagare exkluderades därför från analysen.

Smolt kan vid nedströmspassage förväntas fördelas efter flödesfördelningen vid vägval och följer oftast huvudströmmen (Hesthagen & Garnås, 1986). De dagar smolten nådde dammen ovan Strömsbro kraftverk var vattenföringen uppskattningsvis 9 och 10 m³/s (B. Moberg, personlig kommunikation, 17 feb 2023). Flödesfördelningen vid 9 m³/s bedömdes till att 83% av vattnet går genom intagskanalen (till kraftverket), 12% genom flyktöppningen och fiskvägen samt 0,05% som spill (läckage och breddavlopp) (B. Moberg, personlig kommunikation, 23 feb 2023). Vid vattenföringen 9 m³/s kunde smolten därför följa 8,6 m³/s av vattnet, antingen genom intagskanalen eller genom flyktöppningen/fiskvägen (figur 2; figur 4). Flödesfördelningen för smolten att följa blev således 87% för intagskanalen och 13% för flyktöppningen/fiskvägen. Detta användes för att prediktera smoltens vägval. Smolt som simmar genom galleravledaren tvingas genom luckorna i början av intagskanalen som förhindrar återpassage (figur 2). Antalet smolt som simmat genom kraftverket baserades på registreringar i intagskanalen (mottagare D1 och D2; figur 4). Antalet smolt som simmat genom naturfåran bestämdes utifrån antalet smolt registrerade både ovan dammen och nedströms kraftverket subtraherat med antalet smolt som simmat genom kraftverket. Analysen av den observerade smoltfördelningen vid dammen i jämförelse med den förväntade (efter flödesfördelningen) utfördes med ett chi-två-test.

Smolt räknades som levande vid fortsatt registrering och som förlorad (död) vid upphörd registrering. Överlevnaden förbi Strömsbro kraftverk bestämdes således utifrån antalet individer som registrerats både ovan dammen och nedströms kraftverket (mottagare B till G; figur 4). Överlevnaden för smolt som simmat genom kraftverket fastställdes utifrån antalet individer som registrerats både i intagskanalen och nedströms kraftverket (mottagare D1/D2 till G; figur 4). Antalet överlevande smolt som simmat genom naturfåran beräknades genom totala antalet överlevande smolt förbi Strömsbro kraftverk subtraherat med smolt registrerade i intagskanalen. Analys av överlevnaden gjordes med ett chi-två-test mot prediktionen att överlevnaden var 100% för båda passagealternativen.

Fastställandet av tidsåtgången för enskilda individer mellan två mottagare beräknades genom differensen mellan avresetiden för en mottagare och ankomsttiden på nästa. Tidsåtgången undersöktes från utsläppsplatsen till dammen (mottagare A2 till B), respektive passage förbi Strömsbro kraftverket (mottagare B till G) samt efter kraftverket till Testeboåns mynning (mottagare G till H; figur 4). Normalfördelningen för passagetiderna förbi kraftverkets två passagealternativ testades med ett Shapiro-Wilk-test och analyserades därefter med ett Mann-Whitney U-test för att jämföra om tidsåtgången statistiskt signifikant skiljde. Vidare undersöktes effektstorleken, enligt $r = \frac{z}{\sqrt{n}}$, hjälp av Cohens riktlinjer (Cohen, 2013).

Datasammanställning gjordes i Microsoft Excel (version 17.7, Microsoft Corp., Redmond, USA) och statistisk analys med hjälp av IBM SPSS Statistics (version 27, IBM Corp., Armonk, USA).

Resultat

Av de märkta smolt (n=60) som släppts vid utsläppsplatsen (mottagare A1) nådde drygt hälften (55%) dammen vid Strömsbro kraftverk (mottagare B) cirka 3 km nedströms (figur 4, tabell 2). Vidare registrerades en tredjedel (35%) av den märkta smolten i Testeboåns mynning (mottagare H), vilket motsvarar 64% av de smolt som nådde fram till Strömsbro kraftverk (tabell 2).

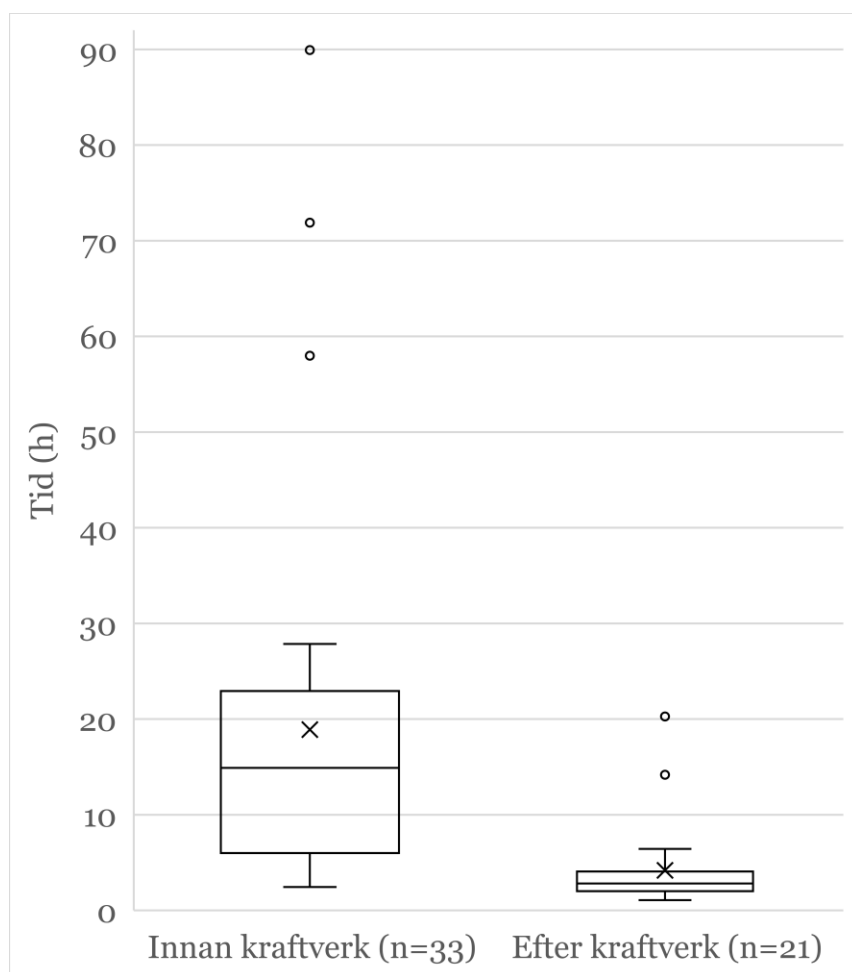
Tabell 2. Antalet smolt registrerade per mottagare för respektive grupp samt totala antalet registrerade smolt per mottagare.

Grupp	Mottagare									
	A1	A2	B	C	D1	D2	E	F	G	H
1	10	10	7	1	5	5	2	2	5	5
2	10	7	3	0	2	2	1	1	3	2
3	10	10	8	0	3	3	1	1	6	3
4	10	10	6	1	3	3	1	1	5	5
5	10	7	4	1	3	3	1	1	3	3
6	10	8	5	1	4	4	0	0	3	3
Total	60	52	33	4	20	20	6	6	25	21

Av de smolt (n=33) som registrerats vid dammen i Strömsbro (mottagare B), registrerades fortsatt 30 individer vid mottagare nedströms. Av dessa registrerades 20 individer (2/3) i intagskanalen och återstående tio individer (1/3) simmade genom naturfåran. Förväntat antal för vardera passagealternativ, enligt flödesfördelningen, var 26 smolt för intagskanalen och 4 för naturfåran. Skillnaden i vägval var inte statistiskt signifikant mellan den förväntade och observerade fördelningen (χ^2 -test, $\chi^2=3,354$, $df=1$, $p=0,125$).

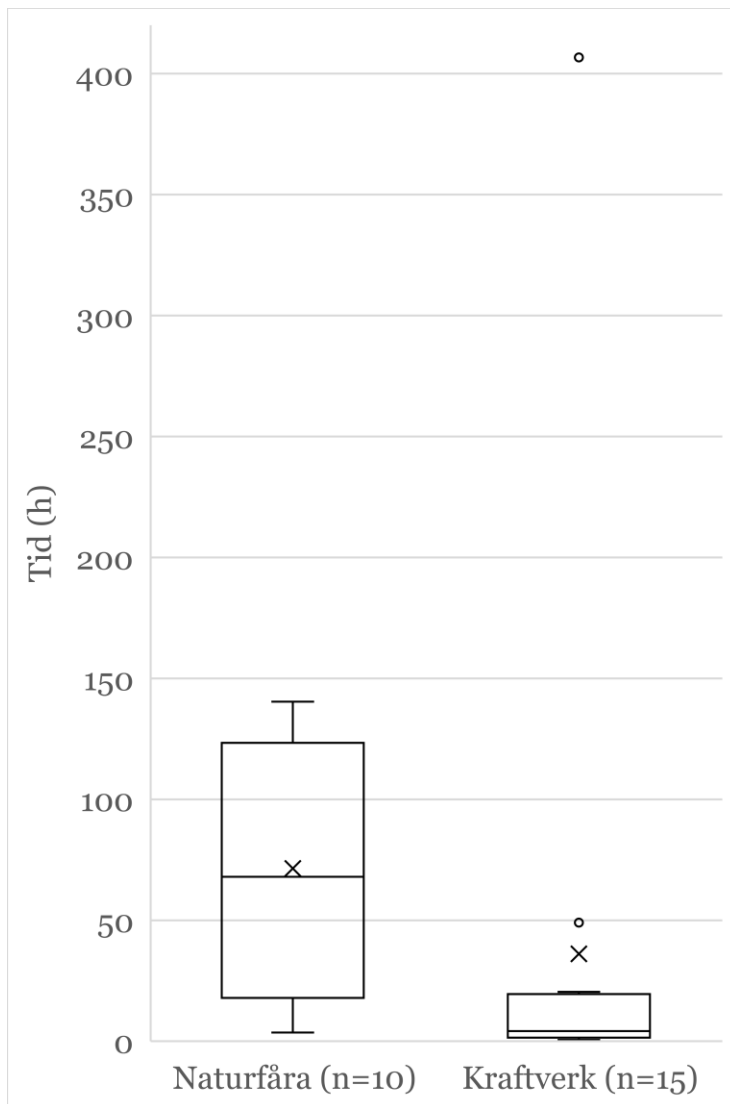
Samtliga tio smolt som simmat genom naturfåran överlevde passagen, medan motsvarande överlevnad för smolt som simmat in i intagskanalen var 75% (15 av 20). Överlevnaden i intagskanalen var signifikant lägre än i naturfåran (χ^2 -test, $\chi^2=5,714$, $df=1$, $p=0,047$). För de smolt som överlevde kraftverkspassagen, var överlevnaden från kraftverket till Testeboåns mynning lägre för smolt som simmat genom naturfåran (70%) än via intagskanalen (93%) (mottagare G till H; figur 4).

Från utsläppsplatsen till dammen var smoltens simhastighet (median) 185 m/h (mottagare A2 till B; figur 4; mediantid=14,9 h, kvartilavstånd=16,94; figur 6) och från kraftverket till Testeboåns mynning 674 m/h (mottagare G till H; figur 4; mediantid=2,82 h, kvartilavstånd=2,05; figur 6).



Figur 6. Passagetid i timmar för laxsmolt, i Testeboån, mellan utsättningsplats och damm (innan kraftverk), respektive nedströms Strömsbro kraftverk och Testeboåns mynning (efter kraftverk). Medelvärde markerat med kryss, median med central linje i boxen samt extremvärden som cirklar.

Smolt som passerade Strömsbro kraftverk via intagskanalen och turbinerna simmade snabbare (mediantid=4,22 h, kvartilavstånd=18,03, hastighet=175 m/h; figur 7) än smolten som simmade via flyktöppningen och naturfåran (mediantid=68 h, kvartilavstånd=105,44, hastighet=10 m/h; figur 7). Skillnaden i passagetid var signifikant (Mann–Whitney, $U=26$, $Z=-2,718$, $p=0,007$). Effektstorleken var 0,54 och passagetiden påverkades således till 54% av vägvalet.



Figur 7. Passagetid i timmar för laxsmolt som passerat Strömsbro kraftverk, i Testeboån, via naturfåran respektive via kraftverket. Medelvärde markerat med kryss, median med central linje i boxen samt extremvärden som cirklar.

Diskussion

Syftet med studien var att få ökad kunskap om galleravledares effektivitet och påverkan på laxsmolts vägval. Mer specifikt var målet att undersöka huruvida galleravledaren ovan Strömsbro kraftverk i Testeboån hindrar laxsmolt från att passera genom kraftverket och turbinerna. Smolten passerade dock i huvudsak genom galleravledaren vid Strömsbro kraftverk. Passagen via intagskanalen genom kraftverket leder till förhöjd dödlighet och passagen genom flyktöppningen till naturfåran till fördröjd tidsåtgång.

Första hypotesen var att fler smolt skulle simma genom flyktöppningen, och vidare ner i naturfåran, än genom kraftverkets turbiner. Hypotesen utgick ifrån undersökningen av Nyqvist et al. (2018) som vid en liknande anläggning och samma

typ av betagaller kom fram till att 70–95% av smolten följde avledaren till flyktöppningen och hindrades från att simma genom kraftverket (Nyqvist et al., 2018). Resultatet från Strömsbro visade att endast 33% procent leddes bort från intagskanalen och passagen genom kraftverket, vilket motsäger hypotesen. Testet som baserades på prediktionen att vägvalet styrs av flödesfördelningen, inte avledaren, bekräftades inte statistiskt. Däremot har inte galleravledaren någon påvisad god avledande funktion i jämförelse med liknande anläggningar (Nyqvist et al., 2018). Resultatet att 66% av smolten simmade genom intagskanalen stämmer överens med en tidigare studie av SLU som kom fram till att 60% av smolten simmade genom kraftverket (Dannewitz et al., 2022). Eftersom studierna visar på liknande resultat kan funktionen av galleravledaren vid Strömsbro kraftverk för laxsmolt anses bristfällig då majoriteten av smolt passerar genom intagskanalen och kraftverkets turbiner. Galleravledarens utformning följer mestadels riktlinjerna som presenterats i Calles et al. (2013) och torde därför ha samma verkan som betagallret i undersökningen av Nyqvist et al. (2018). En orsak till den bristfälliga funktionen kan vara att lutningen på betagallret i Testeboån är $>45^\circ$ i relation till strömriktningen in mot gallret. Calles et al. (2013) framhåller att vinkeln mellan gallret och vattnets rörelseriktning ska vara $<45^\circ$, men helst $\leq 30^\circ$, för bästa funktion (Calles et al., 2013). Precis uppströms galleravledaren i Testeboån finns en liten ö som påverkar vattnets rörelseriktning. Det gör att strömriktningen blir närmare 90° i vinkel mot den nedersta delen av galleravledaren, där dessutom merparten av flödet genom gallret passerar, vilket skulle kunna förklara dess dåliga funktion.

Andra hypotesen var att överlevnaden skulle vara högre för smolt som passerade genom naturfåran än för smolt som passerade genom intagskanalen och kraftverket. Hypotesen baserades på tidigare undersökningar som visar att dödligheten för smolt som hindras av dammar och kraftverk är högre än för naturliga strömsträckor (Calles & Greenberg, 2009; Calles et al., 2013; Coutant & Whitney, 2000; Gauld et al., 2013; Norrgård et al., 2013). Resultatet i den här studien visade på 100% överlevnad för smolt som passerade via flyktöppningen och naturfåran, medan passagen genom kraftverket resulterade i 25% dödlighet, vilket bekräftades statistiskt och stämde med hypotesen. Dödligheten som observerades var betydligt lägre än i tidigare studier från Strömsbro kraftverk där en dödlighet på mellan 40–75% observerats (Dannewitz et al., 2022; Karlsson et al., 2006; Serrano et al., 2009). Därtill har andra studier på samma typ av turbin visat att dödligheten kan vara så hög som 90% (Lariner, 2008). Underlaget i denna undersökning var begränsat, precis som i tidigare studier, vilket innebär att det är svårt att dra några säkra slutsatser om utfallet (Karlsson et al., 2006; Serrano et al., 2009). En av individerna i denna studie som simmat via intagskanalen registrerades nedströms kraftverket två veckor efter sista registreringen i intagskanalen (mottagare D2 till G).

Eftersom havsnivå nås direkt efter kraftverket borde smolt som dödats vid passage inte flyta nedströms och misstas för levande smolt (Stier & Kynard, 1986). Individerna registrerades inte vid något ytterligare tillfälle och kan ha fallit offer för predation som förflyttat sändaren nedströms (Ferguson et al., 2006). Om denna individ räknats

som död i studien hade dödligheten för passagen genom kraftverket varit 30%. En tidigare undersökning visade att predatorer i Testeboån inte förflyttar sig längre sträckor med sändarna och detta kan därför ses som ett undantagsfall (Serrano et al., 2009).

Enligt tredje hypotesen skulle smolten passera snabbare genom naturfåran än kraftverket. Tidigare forskning har visat att nedströmsvandrande smolt ofta blir fördröjda vid kraftverkspassage (Aarestrup & Koed, 2008; Calles & Greenberg, 2009; McCormick et al., 1999; Nyqvist et al., 2017). Resultatet visar att det tog betydligt längre tid för smolten att simma genom naturfåran jämfört med genom kraftverket, vilket inte stämde med prediktionen. Skillnaden i tid bekräftades statistiskt samt att 54% av passagetiden kunde förklaras av vägvalet, vilket klassas som en hög effektstorlek (Cohen, 2013). Simhastigheten för smolten från utsläppsplatsen fram till kraftverket var snarlikt den vid passage genom kraftverket. Efter kraftverket tenderade simhastigheten att öka ut till havet. För naturfåran var passagetiden och således simhastigheten avsevärt längre. Galleravledare kan ha en avskräckande effekt på smolt och leda till problem med att hitta flyktöppningen (Calles & Greenberg, 2009; Nyqvist et al., 2017). Detta har observerats vid galleravledaren i Strömsbro där smolt vänder sig mot strömmen framför avledaren och antingen åker igenom direkt eller står still framför avledaren, ibland i timmar (Moberg, 2017). En ovilja att simma genom galleravledaren och svårigheter att hitta flyktöppningen kan förlänga tiden för nedströmspassage vid Strömsbro kraftverk med risk för ökad predation som följd. Fördröjningen för smolt som simmat genom naturfåran kan förklara den högre dödligheten efter kraftverket till Testeboåns mynning jämfört med smolt som simmat genom kraftverket. Nyqvist et al. (2017) menar att den ökade predationen som följd av förlängd tidsåtgång är av lika stor betydelse att åtgärda som att hindra nedströmsvandrande smolt från att simma in i turbinerna (Nyqvist et al., 2017). Fördröjningen i denna studie verkar inte leda till risk att missa ”utvandringsfönstret” som oftast rör sig om 1–2 veckor (McCormick et al., 1999; Thorstad et al., 2012). Däremot är den betydligt längre tidsåtgången för naturfåran jämfört med resterande sträckor viktigt att ta hänsyn till vid diskussion om Strömsbro kraftverks påverkan på nedströmsvandrande smolt.

Studien har gett ökad kunskap om funktionen för galleravledaren vid Strömsbro kraftverk i Testeboån samt kraftverkets påverkan på nedströmsvandrande smolt, vilket var studiens huvudsakliga syfte. En begränsande faktor var att endast hälften av den märkta smolten kunde inkluderas i studien. Flera smolt gick förlorade direkt när smolten släpptes vid Forsby och många fler under sträckan ned till dammen ovan kraftverket i Strömsbro. Vattentemperaturen var 12–15 grader den 17–24 maj då smolten uppehöll sig mellan Forsby och Strömsbro. Först vid vattentemperatur på 16° kan smolten börja genomgå desmoltifiering (McCormick et al., 1996). Vattentemperaturen borde således inte ha bidragit avsevärt till den stora smoltförlusten. Någon större skillnad i hantering av grupperna tros heller inte ligga bakom förlusten då någon enskild grupps dödlighet inte sticker ut. Ingen av smolten som hölls kvar över natten visade tecken på negativ påverkan av hanteringen, vilket

därför inte kan fastställas vara den största orsaken till smoltbortfallet. Tidigare studier på samma sträcka har visat på stort smoltbortfall till följd av predation (Serrano et al., 2009). Således kan predation även för denna studie haft en stor påverkan på smoltens överlevnad mellan Forsby och Strömsbro, vilket sannolikt är en indirekt effekt av kraftverksdammen.

Resultatet visar att åtgärderna vid Strömsbro kraftverk inte är tillräckliga då majoriteten av smolten vandrade in i intagskanalen och genom kraftverkets turbiner. Konsekvenserna är en högre dödlighet för smolt som simmar genom turbinerna och en förlängd tidsåtgång för smolten som simmar genom naturfåran. För att öka den nedströmsvandrande laxsmoltens överlevnad, och därmed laxens bestånd i Testeboån, bör vidare åtgärder undersökas vid Strömsbro kraftverk. Miljövillkoren för Strömsbro kraftverk, tillsammans med övriga sex vattenkraftverk i Testeboån, ska omprövas i enlighet med NAP (nationell plan för omprövning av vattenkraft), vilket har som syfte att ompröva vattenkraftverk till moderna miljövillkor för att bland annat minska dödligheten för ned- och uppströmsvandrande arter (Regeringsbeslut M2019/01769/Nm). Ett förslag till åtgärd är att undersöka om avlägsnandet av ön uppströms galleravledaren vid Strömsbro kan minska strömmens vinkel mot galleravledaren och därmed öka dess funktion. Resultatet av denna studie kan bidra till framtida rättsliga beslut både för ärenden inom NAP såväl som enskilda rättsprocesser vid liknande anläggningar.

Erkännanden

Jag vill ödmjukast tacka mina handledare Samuel Shry och Olle Calles vid Karlstad Universitet som återkommande hjälpt och stöttat mig med statistik, skrivande och utformning av arbetet. Sportfiskarna, som genom ett LOVA-projekt i samarbete med Länsstyrelsen Gävleborg och Hav- och Vattenmyndigheten gjort studien möjlig. Mer specifikt Bernt Moberg, Lars Ljunggren och Jessica Dolk från Sportfiskarna som utfört den akustiska telemetristudien och som tillmötesgående bidragit med återkommande information, bilder och guidning. Slutligen Johan Dannewitz och Gustav Hellström med flera på SLU som lagt grunden för denna vidarestudie och varit hjälpsamma vid frågor.

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. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00027.x>
- Blennå, I., & Olsson, U. (2017). *Kulturmiljöinventering av sju småskaliga kraftverk*. Länsstyrelsen Gävleborg. https://catalog.lansstyrelsen.se/store/29/resource/DX_2018_5
- 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 Research and Applications*, 25(10), 1268-1286. <https://doi.org/10.1002/rra.1228>
- Calles, O., Degerman, E., Wickström, H., Christiansson, J., Gustafsson, S., & Näslund, I. (2013). *Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar - underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft* (rapport 2013:14). Havs- och vattenmyndigheten. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1366331/FULLTEXT01.pdf>
- Calles, O., Elghagen, J., Nyqvist, D., Harbicht, A., & Nilsson, P. A. (2021). Efficient and timely downstream passage solutions for European silver eels at hydropower dams. *Ecological Engineering*, 170, 106350. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106350>
- Clay, C. H. (2017). *Design of fishways and other fish facilities*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315141046>
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Coutant, C. C., & Whitney, R. R. (2000). Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: a review. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129(2), 351-380. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(2000\)129%3C0351:FBIRTP%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(2000)129%3C0351:FBIRTP%3E2.0.CO;2)
- Cunjak, R. A., & Therrien, J. (1998). Inter-stage survival of wild juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Fisheries Management and Ecology*, 5(3), 209-223. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2400.1998.00094.x>
- Dannewitz, J., Kagervall, A., & Moberg, B. (2022). *Lax och havsöring i Testeboån – datainsamling och beståndsanalys*. SLU. https://pub.epsilon.slu.se/26936/1/dannewitz_j_et_al_220208.pdf
- Degerman, E., & Näslund, I., (2021). *Fysisk restaurering av akvatiska miljöer – vattendrag och sjöar med kantzoner och våtmarker* (GRIP on LIFE:s rapportserie

2021.03). Havs- och vattenmyndigheten.

<https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/projektwebbplatser/grip-on-life-ip/rapporter-grip-on-life/2021.03-fysisk-restaurering-av-akvatiska-miljoer-2.0.pdf>

Ferguson, J. W., Absolon, R. F., Carlson, T. J., & Sandford, B. P. (2006). Evidence of delayed mortality on juvenile Pacific salmon passing through turbines at Columbia River dams. *Transactions of the American Fisheries Society*, 135(1), 139-150.

<https://doi.org/10.1577/T05-080.1>

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, 435-443. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.063>

Henrikson, L., & Alexanderson, S. (2011). *Den levande skogsbäcken*.

Världsnaturfonden WWF.

<https://www.wwf.se/cdn.triggerfish.cloud/uploads/2019/01/den-levande-skogsbacken-2011.pdf>

Hesthagen, T., & Garnås, E. (1986). Migration of Atlantic salmon smolts in River Orkla of central Norway in relation to management of a hydroelectric station. *North American Journal of Fisheries Management*, 6(3), 376-382.

[https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1986\)6%3C376:MOASSI%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1986)6%3C376:MOASSI%3E2.0.CO;2)

Jepsen, N., Holthe, E., & Økland, F. (2006). Observations of predation on salmon and trout smolts in a river mouth. *Fisheries Management and Ecology*, 13(5), 341-343. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2006.00509.x>

Klemetsen, A., Amundsen, P. A., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M. F., & Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of freshwater fish*, 12(1), 1-59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x>

Larinier, M. (2008). Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. *Hydrobiologia*, 609(1), 97-108. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9398-9>

McCormick, S. D., Cunjak, R. A., Dempson, B., O'Dea, M. F., & Carey, J. B. (1999). Temperature-related loss of smolt characteristics in Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the wild. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(9), 1649-1667.

<https://doi.org/10.1139/f99-099>

Moberg, B. (2017). *Fiskevårdsarbetet i Testeboån 2017*. Årsberättelse.

[https://old.gavle.se/PageFiles/247702/Årsberättelse%20för%20fiskevården%20i%20Testeboån%202017%20\(002\).pdf](https://old.gavle.se/PageFiles/247702/Årsberättelse%20för%20fiskevården%20i%20Testeboån%202017%20(002).pdf)

- Moberg, B. (2022). *Fiskevård i Testeboån 2022*. Årsberättelse.
<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AJfNX7AdcbdcYc&id=DAC49538731A7722%2119315&cid=DAC49538731A7722&parId=root&parQt=sharedby&o=OneUp>
- Naturskyddsföreningen. (11 mars 2021). *Hur fungerar vattenkraft?*.
<https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/hur-fungerar-vattenkraft/>
- Nettles, D. C., & Gloss, S. P. (1985). *Outmigration of landlocked Atlantic salmon (Salmo salar) smolts and effectiveness of an angled trash rack/fish bypass structure at a small scale hydroelectric facility.*[*Salmo salar*] (No. DOE/OR/21416-T1). Cornell Univ., Ithaca, NY (USA). Dept. of Natural Resources.
<https://www.osti.gov/biblio/5666672>
- Norrgård, J. R., Greenberg, L. A., Piccolo, J. J., Schmitz, M., & Bergman, E. (2013). Multiplicative loss of landlocked Atlantic salmon *Salmo salar* L. smolts during downstream migration through multiple dams. *River Research and Applications*, 29(10), 1306-1317. <https://doi.org/10.1002/rra.2616>
- Nyqvist, D., Greenberg, L. A., Goerig, E., Calles, O., Bergman, E., Ardren, W. R., & Castro-Santos, T. (2017). Migratory delay leads to reduced passage success of Atlantic salmon smolts at a hydroelectric dam. *Ecology of Freshwater Fish*, 26(4), 707-718.
<https://doi.org/10.1111/eff.12318>
- Nyqvist, D., Elghagen, J., Heiss, M., & Calles, O. (2018). An angled rack with a bypass and a nature-like fishway pass Atlantic salmon smolts downstream at a hydropower dam. *Marine and Freshwater Research*, 69(12), 1894-1904.
<https://doi.org/10.1071/MF18065>
- Parrish, D. L., Behnke, R. J., Gephard, S. R., McCormick, S. D., & Reeves, G. H. (1998). Why aren't there more Atlantic salmon (*Salmo salar*)?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(S1), 281-287. <https://doi.org/10.1139/d98-012>
- Regeringsbeslut M2019/01769/Nm. *Nationell plan för moderna miljövillkor*.
<https://www.havochvatten.se/download/18.1bd43926172bdc4d64881cco/1668421770752/regeringsbeslut-nationell-plan-moderna-miljovillkor.pdf>
- 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.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2009.00688.x>
- Stier, D. J., & Kynard, B. (1986). Use of radio telemetry to determine the mortality of Atlantic salmon smolts passed through a 17-MW Kaplan turbine at a low-head hydroelectric dam. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115(5), 771-775.
[https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1986\)115%3C771:UORTTD%3E2.o.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1986)115%3C771:UORTTD%3E2.o.CO;2)

Sullivan, C. A., Dudgeon, D., et al. (2011). World rivers review. *International rivers*, 26(4). https://archive.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/wrr_dec2011final.pdf

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(2), 500-542. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03370.x>

Tomanova, S., Courret, D., Richard, S., Tedesco, P. A., Mataix, V., Frey, A., ... & Tétard, S. (2021). Protecting the downstream migration of salmon smolts from hydroelectric power plants with inclined racks and optimized bypass water discharge. *Journal of Environmental Management*, 284, 112012. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112012>