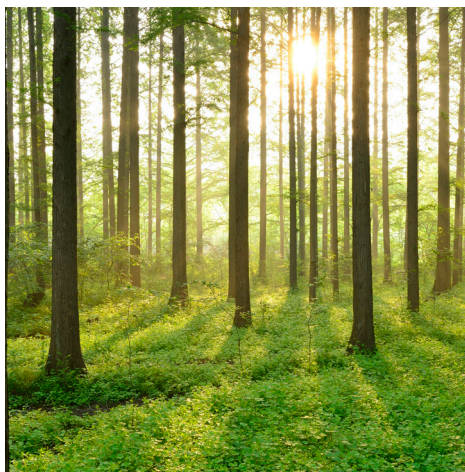
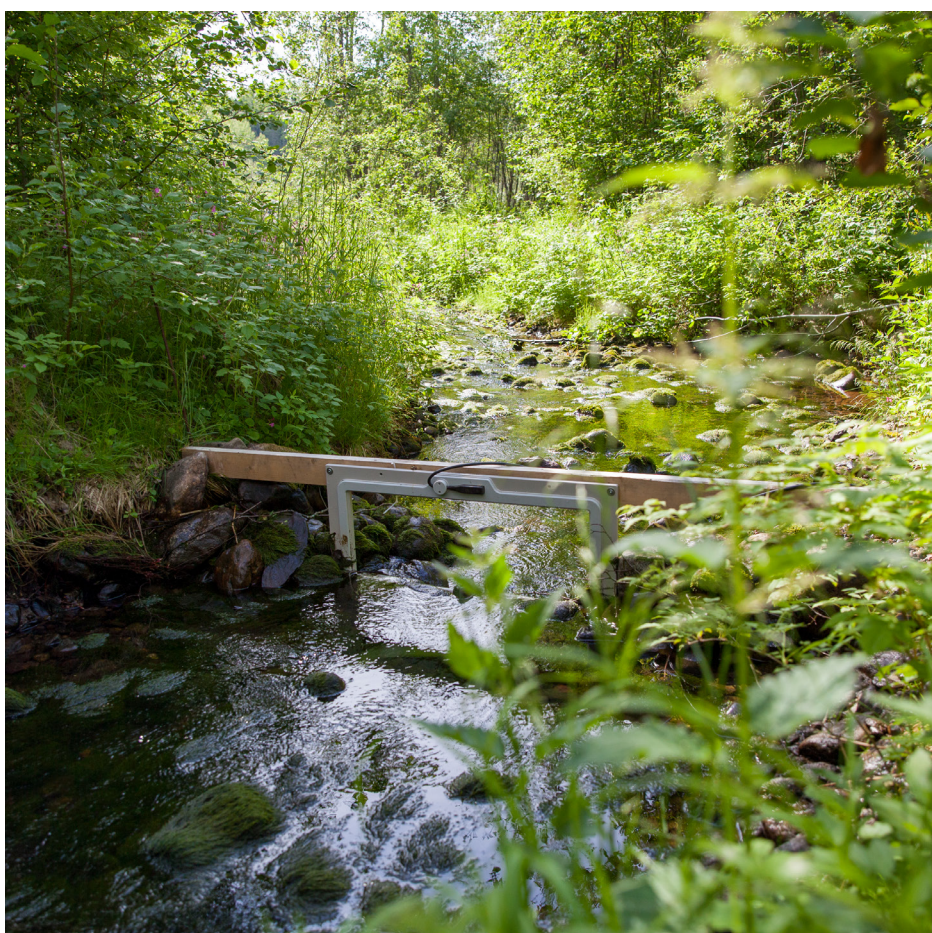


# HUR STOR BEHÖVER EN ETTÅRIG ÖRING ELLER LAX VARA?

RAPPORT 2021:722



VATTENKRAFTENS  
KOMPENSATIONSODLING





# Hur stor behöver en ettårig öring eller lax vara?

Förslag till en strategi för att sortera ut ensamrig fisk på  
hösten som blir smolt till våren

ANDERS ALANÄRÄ, ERIN MC CALLUM OCH LO PERSSON

ISBN 978-91-7673-722-4 | © Energiforsk januari 2021

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: [kontakt@energiforsk.se](mailto:kontakt@energiforsk.se) | [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



## Förord

**Projektet Ettårig smolt initierades för att förse industri och akademi med en fylligare kunskap om vad som utgör en fysiologiskt naturanpassad ettårig smolt med god vandringsbenägenhet och havsöverlevnad.**

Då tvåårig smolt, på grund av bland annat varmare vattentemperaturer och längre tillväxtsång blivit allt svårare att producera på många platser i Sverige har andelen ettårig smolt stadigt ökat. Ettårig smolt har därför sedan länge varit brett accepterat inom svensk kompensationsodling men en vetenskaplig grund har saknats för att vägleda uppfödning och utsättning. Istället har verksamheten i stor utsträckning förlitat sig på långtgående erfarenheter av kompensationsodling och antaganden kring för- eller nackdelar med ettårig smolt.

Projektet och den resulterande rapporten var därför ett naturligt steg i utvecklingen av kompensationsodlingens processer och arbetssätt för ökad fiskkvalitet och -hälsa. I denna rapport finner kompensationsodlare tillämpbara rekommendationer för att producera en bättre ettårig smolt.

Projektledare var Anders Alanärä, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Vilt fisk och miljö. Projektgruppen bestod även av, Erin McCallum och Lo Persson, SLU Vilt fisk och miljö. Projektet finansierades vattenkraftföretagen Vattenfall Vattenkraft, Fortum, Skellefteå Kraft, Statkraft och Sydkraft Hydropower.

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

## Sammanfattning

**Ett av de svåraste momenten inom kompensationsodling av lax och havsöring är att bedöma om fisken är tillräckligt stor för att utvecklas till ettårig smolt. Syftet med detta projekt var att testa en sorteringsstrategi för att förenkla denna bedömning för odlingspersonalen. Strategin gick ut på att ensamrig lax och öring på hösten delades upp i olika storleksklasser och under den kommande våren undersöktes deras prestanda som ettårig smolt i vandringsbassänger och i en bäck.**

På sensommaren eller hösten året innan odlad fisk ska vandra ut i havet startar den fysiologiska utvecklingen till smolt om fisken nått en viss kritisk storlek. Den exakta tidpunkten för när storleken ska ha uppnåtts är dock oklar vilket gör det svårt för personal på odlingarna att veta när fisken ska sorteras. Resultatet från detta projektvisade att en lax som är minst 10 cm lång i november med hög sannolikhet kommer att bli smolt till våren. Dessa laxar uppträdde i de flesta avseenden som en vandringsfärdig smolt följande vår och betedde sig mycket likt den tvååriga laxsmolten.

Dock förekom det en storleksrelaterad predationsrisk i bäcken efter utsättning där ettårig lax drabbades i större utsträckning än tvåårig lax. Vi föreslår en strategi där laxen sorteras i tre storleksklasser i månadsskiftet augusti-september. Om någon av de tre storleksklasserna i medeltal ligger nära 10 cm i november föreslås en andra sortering för att plocka ut fisk större än 10 cm. All fisk mindre än 10 cm bör hållas kvar i odlingen och sättas ut som tvåårig smolt.

För ettårig öring var resultaten mer komplexa. I vandringsbassängerna uppvisade fisk i storleksintervallet 10–16 cm ett beteende som indikerade att de var vandringsfärdiga smolt. Efter utsättningen i bäcken vandrade de dock mycket långsamt och predationen från i första hand skrattnås och fisknås var hög, speciellt för de minsta öringarna. Jämfört med tvåårig öring var det få ettåriga individer som klarade att lämna bäcken efter utsättning. Om detta berodde på att de inte utvecklats till smolt eller om deras vandring i bäcken påverkades av predationsrisken i bäcken är oklart. Mer data behövs för att förstå den storleksrelaterade tröskeeffekten hos ettårig öring innan förslag på sorteringsrutiner kan ges.

Vi föreslår att utsättningen av speciellt öring men också lax bör ske i en miljö med stort vattendjup och högt flöde för att minimera predationsrisken från i första hand fåglar.

**Nyckelord:** Kompensationsodling, lax, öring, ettårig smolt, sortering, utsättning



## Summary

**One of the most difficult elements in the compensatory farming of salmon and sea trout is to assess whether the fish are large enough to develop into one-year old smolt. The aim of this project was to test a sorting strategy that could make the evaluation easier for staff at the fish farm. The strategy entailed one-summer-old salmon and trout to be divided into different size classes. Their performance as a one-year-old smolt was then examined in the spring in migration pools and in a natural stream.**

In late summer or autumn of the year before they are to migrate into the sea, physiological development starts for the fish to become smolt if they have reached a certain critical size. However, the exact time when this size is reached is unclear, which makes it difficult for farm staff to know when the fish should be sorted. The results showed that a salmon that is at least 10 cm long in November is very likely to become smolt in the spring. These salmon appeared in most respects as a migrating smolt the following spring and behaved very much like the two-year-old salmon smolt.

However, there was a size-related predation risk in the stream after release where one-year-old salmon were affected to a greater extent than two-year-old salmon. We propose a strategy where the salmon are sorted into three size classes at the end of August-September. If any of the three size classes are on average close to 10 cm in November, a second sorting is proposed to pick out fish larger than 10 cm. All fish less than 10 cm should be kept in the farm and put out as two-year-old smolt the next season.

For one-year-old trout, the results were more complex. In the migration pools, fish in the size range of 10-16 cm exhibited a behaviour indicating that they were ready-to-migrate smolt. After the release into the stream, however, they migrated very slowly and the predation from primarily Black-headed gull and Common gull was high, especially for the smallest trout. Two-year-old trout were more successful at migrating out of the stream compared to the one-year-old trout, as there were few one-year-old individuals who managed to leave the stream after release. Whether this was due to the fact that they did not develop into smolt or if their migration in the stream was affected by the risk of predation is unclear. More data is needed to understand size-based thresholds for one-year-old trout before a sorting recommendation can be made.

We suggest that the release of especially trout, but also salmon, should take place in an environment with high water depth and high flow to minimize the risk of predation, especially from birds.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Material och metoder</b>	<b>8</b>
2.1	Fisk och sortering	8
2.2	Tidpunkter för utsättning och vandringsstudier	9
2.3	Bedömning av fenskador	9
2.4	Bedömning av yttre smoltstatus	9
2.5	PIT-tag märkning	9
2.6	Vandringsbassänger	10
2.7	Vandring i utsättningsbäcken	11
2.8	Uppdelning i storleksklasser	11
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	<b>12</b>
3.1	Bimodalitet	12
3.2	Tillväxt	12
3.3	Effekt av sortering	13
3.4	Toppar i vandring	14
3.5	Vandringsbassänger	15
3.6	Stimbeteende	16
3.7	Start av vandring i bäcken	16
3.8	Tid att lämna bäcken	17
3.9	Andel som lämnar bäcken	18
3.10	Yttre smoltstatus	18
3.11	Fenstatus	19
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>21</b>
4.1	Predation efter utsättning	21
4.2	Smoltstatus ettårig öring	21
4.3	Smoltstatus ettårig lax	22
4.4	Sorteringsstrategi	22
4.5	Timing utsättning	23
4.6	Stimbeteende	23
4.7	Yttre smoltstatus	24
4.8	Fenstatus	24
4.9	Studier i vandringsbassänger	25
4.10	Rekommendationer	25
4.11	Framtida uppföljning av återvandring från havet	25
<b>5</b>	<b>Referenser</b>	<b>26</b>



# 1 Inledning

En av de viktigaste frågeställningarna inom kompensationsodling av lax och havsöring är storleken på fisken under våren innan utsättning och huruvida den är smolt eller inte. Enligt Thorpe m fl. (1998) avgörs detta för lax under sensommar eller tidig höst, 8–9 månader innan smoltutsättning. Det viktiga är fiskens storlek efter sommaren och hur stora fettreserver den hunnit bygga upp. Elson föreslog redan 1957 att laxstirr måste vara minst 10 cm lång under hösten för att bli smolt den kommande våren. Andra studier har bekräftat att fisken bör vara inom intervallet 8–12 cm (Kristinsson m fl. 1985; Metcalfe m fl. 1988; Skilbrei 1991; Bjerknes m fl. 1992). Den exakta tidpunkten för när storleken ska ha uppnåtts är dock oklar och studierna ovan anger olika tider, från sensommar till senhöst. Sammantaget indikerar tidigare litteratur att en lax som inte initierat smoltifieringsprocessen under hösten sannolikt inte blir smolt till våren oavsett hur bra den växer innan utsättning.

En liknande storlekseffekt har observerats hos havsvandrande öring, där snabbväxande individer blir smolt tidigare än de som växer långsammare (Jonsson 1985; Bohlin m fl. 1993; Økland m fl. 1993). Skillnaden i storlek hos havsvandrande individer är dock större jämfört med lax (Jonsson 1985; Økland m fl. 1993; Boel m fl. 2014; Villar-Guerra m fl. 2019), vilket indikerar ett mer flexibelt tröskelvärde för storlek. I en dansk studie på havsöring visade Villar-Guerra m fl. (2019) att stirr utan synbara smolttecken vandrade ut i havet och hade högre andel återvandrande individer än de som till det yttre bedömdes vara smolt. Merparten av dessa vandrade dock tillbaka mindre än ett år efter utvandring (Villar-Guerra m fl. 2019). Uppgifter på faktiska tröskelvärden saknas för havsöring, samt även när på hösten innan smoltifiering man med säkerhet kan säga att de blir ettårig smolt.

Juvenil lax som nått det kritiska tröskelvärdet för smoltifiering efter sommaren har visat sig fortsätta växa bra under hösten jämfört med övriga individer (Metcalfe m fl. 1988; Skilbrei 1991). Teoretiskt innebär detta att en sortering på hösten eller vintern efter att tillväxten avtagit skulle kunna leda till att ettårig fisk kan sorteras ut med större säkerhet.

Syftet med detta projekt var att testa en sorteringsstrategi där ensamrig lax och öring delades upp i olika storleksklasser under hösten och deras prestanda som ettårig smolt sedan undersöktes under våren i vandringsbassänger och i en bäck.

## 2 Material och metoder

### 2.1 FISK OCH SORTERING

Ensomrig öring sorterades den 18 september 2018 i tre olika storleksklasser (tabell 1). Notera att öringen endast sorterades en gång. Tvåårig öringsmolt härstammade från den minsta storlekssorteringen 2017. I samband med PIT-tag märkningen i mars flyttas 200 öringar från respektive kategori till SLU:s försöksodling. Odlingsstrågen i SLU:s anläggning är 1 m i diameter och 0,6 m djupa.

Ensomrig lax sorterades i tre storleksklasser den 29 augusti 2019 (tabell 1). Notera att endast den största sorteringen och mellansorteringen användes i försöket. Tvåårig laxsmolt härstammade från den minsta sorteringen 2018. Den 5 september flyttades 400 fiskar från Vattenfalls odling till SLU:s försöksodling. De utgjordes av 200 från den största sorteringen och 200 från mellansorteringen. I samband med flytten individmärktes dessa med PIT-tags. Den individuella tillväxten följdes via månatliga registreringar av storlek. I februari 2020 sorterades fiskarna i SLU:s försöksodling en andra gång. Sorteringen utgick ifrån den tillväxt fisken hade haft under hösten och var oberoende av fiskens storlek vid sorteringstillfället. Både grupperna från sorteringen i augusti, stor och mellan, delades upp i en snabbväxande (snabb, tabell 1) och en långsamväxande (långsam, tabell 1). I enlighet med försöksdesignen genomfördes även en andra sortering på grupperna i Vattenfalls odling den 25 februari 2020. Dessa grupper, stor och mellan, delades utifrån storlek vid sorteringstillfället upp i två grupper och benämns stor eller liten (tabell 1). De gick kvar i Vattenfalls yngelhall fram till vandringsstudierna i maj och juni. Vattenfalls odlingsstråg i yngelhallen är 4 m i diameter och 0,8 m djupa. Fisk som sorterades som liten från mellansorteringen användes inte i försöket. I princip kan man säga att grupperna "snabb" och "stor" var jämförbara med varandra eftersom urvalet byggde på tillväxten efter den första sorteringen.

**Tabell 1.** Uppgifter på storlek vid första respektive andra sorteringstillfället, samt om fisken ingick i både vandringsbassänger och utsättning i bäcken eller bara i bäcken.

Första sortering	Längd september	Andra sortering	Längd mars	Längd utsättning	Vikt utsättning	Vandringsförsök
<b>Öring</b>						
Största	11,5	-	14,1 ± 0,9	15,4 ± 1,3	38 ± 11	Bassäng + bäck
Mellan	10,2	-	12,1 ± 0,9	13,6 ± 1,3	27 ± 9	Bassäng + bäck
Minsta	9,0	-	10,9 ± 0,8	11,8 ± 1,0	17 ± 5	Bassäng + bäck
Tvåårig		-	20,3 ± 1,5	21,5 ± 1,5	96 ± 19	Bassäng + bäck
<b>Lax</b>						
Största	10,1 ± 0,6	Stor	13,3 ± 0,7	14,3 ± 0,9	26 ± 5	Bassäng + bäck
		Liten	12,0 ± 0,8	13,0 ± 1,0	20 ± 4	Bassäng + bäck
		Snabb	11,6 ± 0,7	12,7 ± 0,8	18 ± 3	Bassäng + bäck
		Långsam	11,1 ± 0,8	12,2 ± 1,0	16 ± 4	Bassäng + bäck
Mellan	8,6 ± 0,5	Stor	11,7 ± 0,5	13,3 ± 0,7	22 ± 4	Bäck
		Snabb	9,9 ± 0,7	11,0 ± 0,8	13 ± 3	Bäck
		Långsam	9,0 ± 0,7	10,1 ± 0,9	10 ± 3	Bäck
Tvåårig			19,5 ± 2,4	19,7 ± 2,4	78 ± 29	Bäck

## 2.2 TIDPUNKTER FÖR UTSÄTTNING OCH VANDRINGSSTUDIER

I vandringsbassängerna testades fyra olika grupper av öring respektive lax (tabell 1). För öring ingick alla tre storleksorteringar av ettårig smolt samt en grupp tvåårig smolt. Samtliga fyra grupper testades vid sex tillfällen mellan den 22 maj till den 18 juni 2019. Två vandringsbassänger användes parallellt och grupper om 25 individer per tillfälle per vandringsbassäng testades under 48 timmar. Upplägget för lax var något annorlunda. I vandringsbassängerna testades grupperna stor, liten (Vattenfalls odling), snabb och långsam (SLU:s försöksodling) – alltså endast fisk som sorterats som stor vid första sorteringstillfället i augusti. Två vandringsbassänger användes och i likhet med öring, testades varje grupp sex gånger under perioden 22 maj till den 17 juni 2020. De olika storlekssorteringarna hölls var för sig i vandringsbassängerna och antalet varierade mellan 15–25 individer per bassäng. Efter avslut i vandringsbassängerna bedövades fisken och längd, vikt, smoltstatus, samt fenskador noterades. Efter en timmes återhämtning sattes fisken ut i bäcken. Mellansortering och tvåårig lax ingick endast i försöket med utsättning i bäcken och sattes ut vid tre tillfällen efter att motsvarande individuppgifter som ovan noterats (tabell 1).

## 2.3 BEDÖMNING AV FENSKADOR

Graden av fenskador bedömdes efter en skala framtagen av Hoyle m fl. (2007). Den bygger på fotografier av skador på regnbåge och är uppdelad i sex klasser där 0 är en fullständigt intakt fena utan skador och 5 innebär att fenan mer eller mindre saknas (se Alanärä m fl. 2014 för exemplifiering av skalan).

För att skatta den samlade effekten av fenstatus på havsöverlevnad skapades ett index där värdet för respektive fena summerades ihop. En fisk med klass 1 på samtliga tre fenor fick följaktligen fenindex 3 och en fisk med klass 3 skador på samtliga fenor fick fenindex 9.

## 2.4 BEDÖMNING AV YTTRE SMOLTSTATUS

En vanlig metod för att bedöma smoltifieringsgrad är att skatta fiskens yttre smoltkaraktär utifrån ett färgindex med en 4-gradig skala (Staurnes m fl. 1993). Klass 0 representerar en fisk som inte påbörjat sin smoltifiering, d v s med tydliga stirrfläckar och utan silvrig färg. Klass 1 är fiskar med viss silvrig färg men som fortfarande har tydliga stirrfläckar på sidorna (dessa har troligen påbörjat smoltifieringen). Klass 2 är fiskar som är mer silvriga, har diffusa stirrfläckar och fenkanter som börjar bli mörkare. Klass 3 är fiskar som är fullt silvriga, stirrfläckarna syns inte längre, samt fenkanter och rygg är mörka.

## 2.5 PIT-TAG MÄRKNING

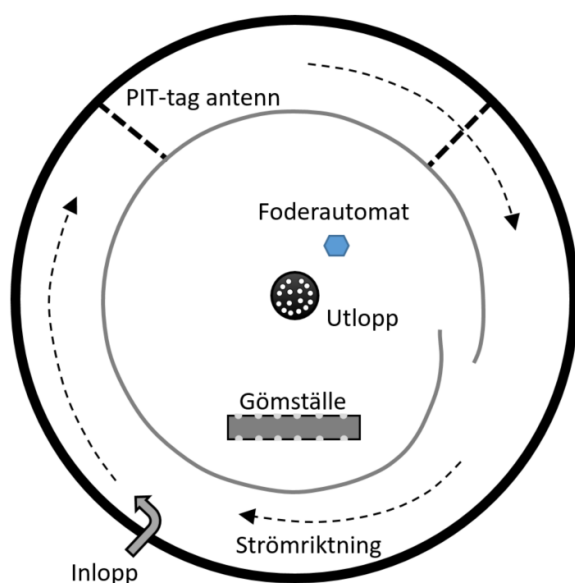
PIT-tag märkningen genomfördes med en märkpistol. Det märke som användes i projektet, Biomark/Allflex (BIO12.B.03/TX708HQ FDX-B), var 12 mm, kompatibelt med ISO Standard 11784 och 11785 och fisk ned till 5 g kunde märkas. Ettårig öring märktes mellan 15–21 mars och tvåårig öring 12–15 mars 2019. Ettårig lax märktes mellan 10–13 mars och tvåårig lax 24–25 mars 2020.

## 2.6 VANDRINGSBASSÄNGER

I syfte att i mer detalj och under kontrollerade förhållanden kunna följa fiskens vandringsbeteende efter utsättning, byggdes två stycken vandringsbassänger. Vandringsbassängerna utgjordes av ordinarie odlingsbassänger i Norrfors kompensationsodling vilka är byggda i betong och är 11 m i diameter och ca 1 m djupa. En inre vägg (sarg) byggdes med plexiglasskivor för att skapa en kanal i bassängen. Ett poolområde skapades i mitten av bassängen för att ge fisk en möjlighet att uppehålla sig i ett lugnt område (figur 1), här fanns även en foderautomat och ett gömställe. Fisken kunde passera in och ut i poolområdet via en glipa i sargen. Gömstället bestod av ett halvt PVC-rör (diameter 40 cm). På långsidorna borrades hål där fisken kunde simma in och ut. Längden på skyddet var ca 3 m. Kanalens bredd var 1,4 m och längden mätt i mitten av kanalen var 32 m. Beroende på vattentrycket i inloppsledningen varierade strömhastigheten mellan 0,2–0,3 m/s och vattendjupet mellan 35–40 cm.

För att kunna registrera fiskens simriktning och hastighet placerades två PIT-tag-antennerna ut i kanalen med ca 5 m avstånd mellan varandra. Fiskens sattes ut i vandringsbassängerna vid kl 10–12 dag ett och togs ut ur bassängen på förmiddagen dag tre varav hela dygnet dag två används för analys. Timmarna under dag ett får ses som en aklimatiseringsperiod.

Genom att analysera tiden det tog att passera mellan antenner kunde simriktning identifieras. I princip all rörelse skedde nedströms. Vandringsaktivitet beräknades som det totala antalet varv simmande under ett dygn multiplicerat med varvets längd och uttrycktes som meter per timme. Vandringshastigheten för individer inom varje omgång var inte normalfördelad varför medianvärdet användes. För att skatta andel tid i stim sattes en tidsmarginal om en sekund, d v s en fisk fick inte vara mer än en sekund efter en annan fisk för att räknas till stimmet. På så sätt kunde antalet antennpassager i stim skattas och sättas i relation till det totala antalet antennpassager.

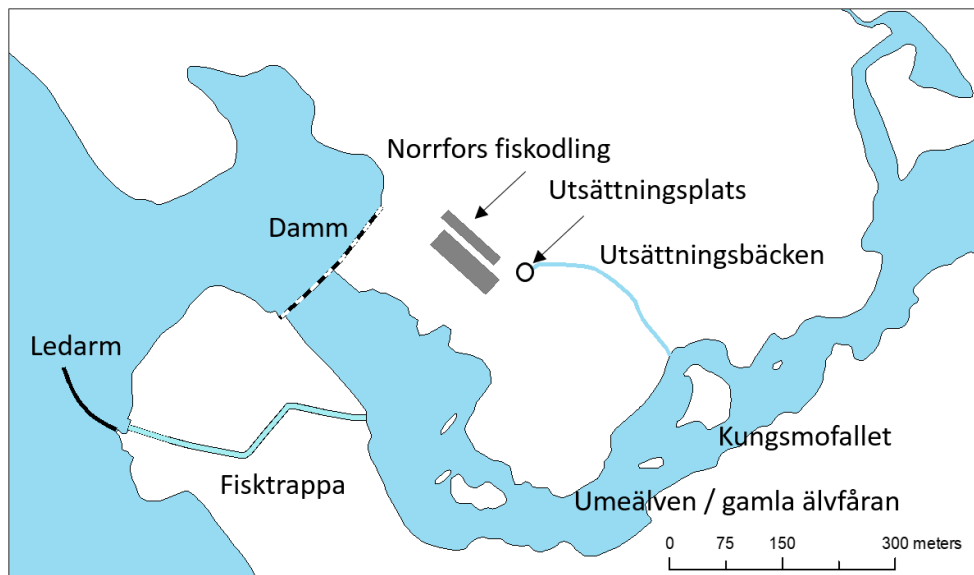


Figur 1. Schematisk skiss över en vandringsbassäng.

## 2.7 VANDRING I UTSÄTTNINGSBÄCKEN

Utsättningsbäcken är ca 250 m lång och vattnet kommer från odlingen. Den startar vid Norrfors kompensationsodling och mynnar i Umeälven nedströms Kungsmofallet. Fisken sattes ut i ett mindre poolområde där vattnet från odlingen kommer ut via ett rör (figur 2). PIT-tag antenner var placerade ca 16 m nedströms utsättningsplatsen och nära bäckens utlopp i Umeälven, 180 m nedströms utsättningsplatsen.

Start av vandring beräknades som tiden mellan utsättning och registrering på den första antennen i bäcken. Tid att lämna bäcken beräknades som tiden från utsättning till registrering på den andra antennen i bäcken. Start av vandring och tid att lämna bäcken var inte normalfördelad mellan individer varför medianvärden användes som mått på utsättningsgrupp.



Figur 2. Schematisk karta över Stornorrfors damm, fisktrappa, fiskodling och utsättningsbäcken.

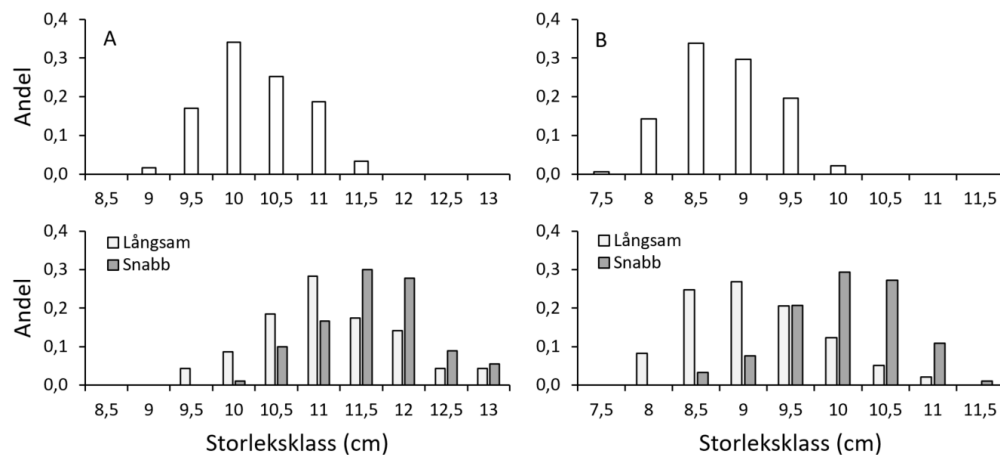
## 2.8 UPPDELNING I STORLEKSKLASSER

För att ge en klarare bild över storleken betydelse för olika smoltparametrar delades alla ettåriga individer upp i 0,5 cm längdklasser. Längden baserades på mätningar i mars och kan anses representera storleken på fisken under hösten efter den föregående tillväxtsåongen. I försöken med vandringsbassänger varierade antalet individer i olika storleksklasser mellan 15–53 för ettårig öring och 8–71 för ettårig lax. I utsättningsbäcken minskade antalet individer till följd av predation. Vid skattning av andelen som lämnade bäcken låg öring på 2–10 individer per storleksklass och lax på 5–43 individer per storleksklass.

## 3 Resultat

### 3.1 BIMODALITET

Som nämndes i introduktionen så utgick en möjlig sorteringsstrategi från att en bimodal fördelning av fiskens storlek skulle utvecklas under hösten. I figur 3a redovisas längdfördelningen på lax som utsorterades som stora i augusti. I samma figur visas även storleksfördelningen på de som senare sorterades ut som snabbväxande respektive långsamväxande under hösten. Man kan se en antydning till bimodal fördelning, men skillnaderna i tillväxt under hösten var inte tillräckligt stor för att de två grupperna skulle bli mer åtskilda. För fisk som sorterades ut i mellanklassen var skillnaderna större mellan snabbväxande respektive långsamväxande (figur 3b). Det resulterade i att grupperna skiljde sig mer åt i storlek efter höstens tillväxt.

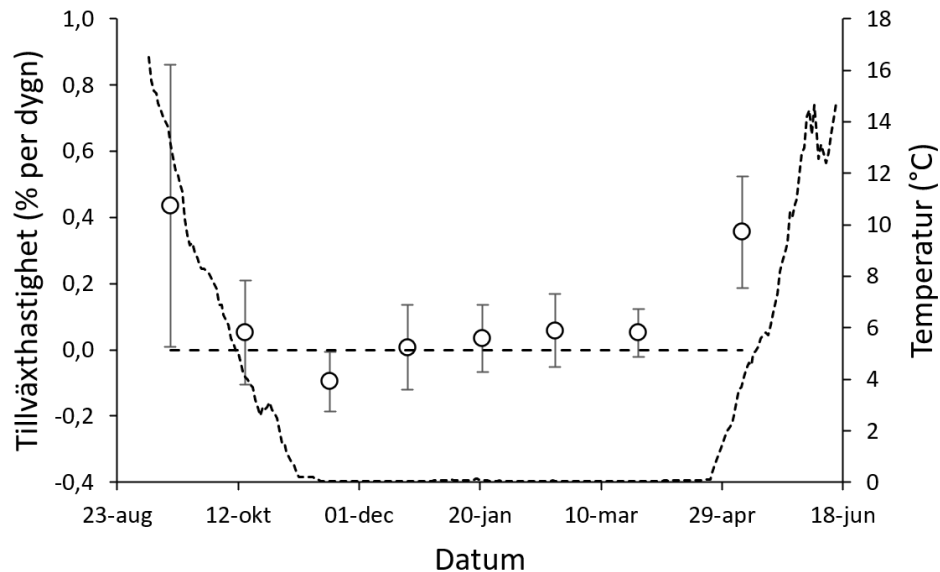


**Figur 3.** (A) Histogram över fisk som sorterats ut som stora i augusti. (B) Histogram över fisk som sorterats ut som mellanstora i augusti. Övre figurerna visar frekvensfördelning över laxynglens längd i slutet av augusti och nedre figurerna frekvensfördelning över kroppslängd i november uppdelat på de mest snabbväxande respektive långsamväxande individerna under hösten.

### 3.2 TILLVÄXT

Tillväxthastigheten för lax var i genomsnitt 0,43% per dygn i september (figur 4). Från oktober till april var tillväxten i stort sett noll, vilket innebär att de endast bibehöll sin vikt från hösten. När temperaturen ökade i maj skedde en viss tillväxt fram till utsättningen.





**Figur 4.** Tillväxthastighet (% per dygn) hos lax under september 2019 till juni 2020. Medelvärde för alla grupper och spridningsmått anger standardavvikelse. Streckad horisontell linje anger 0-tillväxt och punktstreckad linje vattentemperaturen under försöket.

### 3.3 EFFEKT AV SORTERING

Vandringsaktiviteten hos öring i vandringsbassängerna skiljde sig tydligt åt mellan olika sorteringar av ettårig fisk och var positivt kopplad till storleken (tabell 2). Dessutom vandrade tvåårig öring klart snabbast. Andelen öring som uppvisade ett nedströms riktat vandringsbeteende i bassängerna var hög (tabell 2). Ettårig öring tog mycket lång tid på sig att lämna bäcken efter utsättning, mer än två dygn i genomsnitt (tabell 2). Notera den stora standardavvikelsen för ettårig öring (tabell 2). Eftersom det var få individer som lämnade bäcken, i de flesta fall färre än tre fiskar per utsättningsgrupp, blev tiden det tog att lämna bäcken mycket varierande mellan utsättningsgrupper. Medeltiden för alla ettåriga öringar oavsett utsättningsomgång var 50 timmar. Tvåårig öring däremot var snabb och medelvärdet för utsättningsomgångarna låg på 4,7 timmar. Andelen ettåriga öringar som framgångsrikt lämnade bäcken var liten och det var ingen effekt av sortering (tabell 2). Däremot lämnade en hög andel tvååriga öringar bäcken.

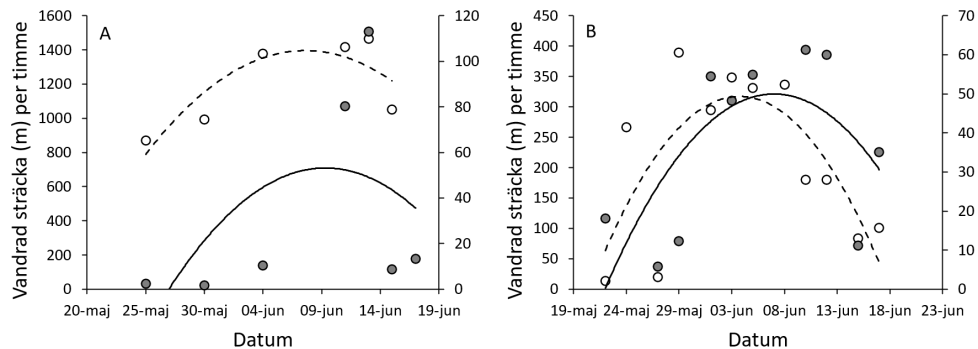
Ettårig lax uppvisade inga skillnader i vandringsaktivitet beroende på sortering och andelen som vandrade var hög (tabell 2). All lax som lämnade bäcken, oavsett sortering och ålder, gjorde det inom ett fåtal timmar (tabell 2). Det var ingen effekt av sortering på andelen ettåriga laxar som lämnade bäcken. Bland tvåårig lax var andelen som lämnade bäcken signifikant högre än för ettårig lax (tabell 2).

**Tabell 2.** Resultat på gruppnivå för olika storlekssorteringar vid studier i vandringsbassäng (vandrad sträcka, meter per timme och andel individer som uppvisade ett vandringsbeteende) och utsättningsbäck (tid att lämna bäcken och andel som lämnade bäcken). Skillnader mellan gruppernas medel- eller medianvärden testades med Anova och skilda bokstäver anger signifikanta skillnader mellan grupper. P-värden i fet stil anger signifikanta skillnader.

Första sortering	Andra sortering	Vandringsbassäng		Utsättningsbäck	
		Vandrad sträcka (m) per tim.	Andel som vandrar	Tid att lämna bäcken (tim.)	Andel som lämnar bäcken
<b>Öring</b>					
Största	-	1230 ± 210 <sup>ab</sup>	0,94 ± 0,09	58,9 ± 46,1	0,15 ± 0,08 <sup>b</sup>
Mellan	-	741 ± 371 <sup>bc</sup>	0,99 ± 0,02	57,4 ± 42,5	0,13 ± 0,10 <sup>b</sup>
Minsta	-	522 ± 178 <sup>c</sup>	0,94 ± 0,12	83,1 ± 100,0	0,08 ± 0,07 <sup>b</sup>
Tvåårig		1526 ± 562 <sup>a</sup>	1,00	4,7 ± 4,0	0,61 ± 0,22 <sup>a</sup>
<i>F-värde</i>		<i>9,43</i>	<i>0,94</i>	<i>1,62</i>	<i>20,21</i>
<i>P-värde</i>		<b>&lt;0,001</b>	<i>0,438</i>	<i>0,216</i>	<b>&lt;0,001</b>
<b>Lax</b>					
Största	Stor	238 ± 138	0,98 ± 0,04	5,8 ± 3,7	0,60 ± 0,18 <sup>ab</sup>
	Liten	198 ± 124	0,92 ± 0,09	9,2 ± 4,4	0,46 ± 0,10 <sup>ab</sup>
	Snabb	237 ± 159	0,97 ± 0,08	7,2 ± 5,4	0,47 ± 0,14 <sup>b</sup>
	Långsam	228 ± 98	0,93 ± 0,09	13,7 ± 15,8	0,42 ± 0,11 <sup>b</sup>
Mellan	Stor			8,9 ± 7,8	0,44 ± 0,06 <sup>ab</sup>
	Snabb			3,2 ± 0,3	0,42 ± 0,10 <sup>b</sup>
	Långsam			9,4 ± 4,3	0,33 ± 0,23 <sup>b</sup>
Tvåårig			4,1 ± 3,4	0,81 ± 0,04 <sup>a</sup>	
<i>F-värde</i>		<i>0,51</i>	<i>0,60</i>	<i>0,70</i>	<i>3,74</i>
<i>P-värde</i>		<i>0,682</i>	<i>0,628</i>	<i>0,670</i>	<b>0,008</b>

### 3.4 TOPPAR I VANDRING

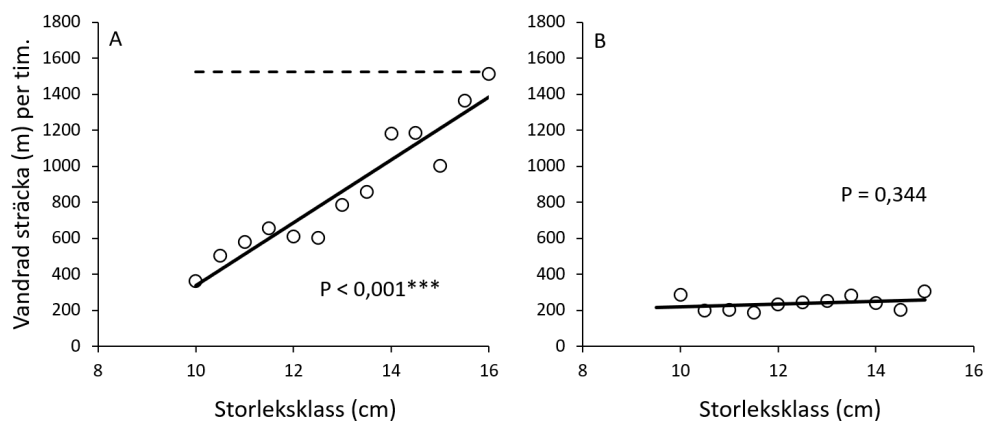
Ettårig öring uppvisade en tydlig topp i vandrigen vid den 11–13 juni, speciellt efter utsättning i bäcken (figur 5a). Endast öring från den största sorteringen ingick i analysen på grund av stort bortfall i bäcken för de två mindre sorteringarna. Toppen i vandring sammanföll med en vattentemperatur av 15°C. Under de tre första omgångarna låg temperaturen på ca 11°C. Skillnaden i vandringsintensitet var stor mellan vandringsbassänger och bäck; vid den 11–13 juni vandrade öringen ca 15 gånger snabbare i bassängen jämfört med i bäcken. Den ettåriga laxen hade en tydlig topp i vandrigen från den 1 juni till den 12 juni (figur 5b). Här ingår all fisk i analysen eftersom det inte var några skillnader i vandringsaktivitet mellan olika sorteringar. Inledningen av perioden med hög vandringsaktivitet sammanföll med en stigande vattentemperatur från 10°C. Vandringsaktiviteten var 5 gånger högre i bassängerna jämfört med bäcken. För bägge arterna minskade vandringsaktiviteten mot slutet av försöksperioden. Notera dock att det enda sambandet mellan tid vid utsättning och vandringsaktivitet som var signifikant var för ettårig lax i vandringsbassängerna ( $\chi^2$ -test,  $P < 0,001$ ). Övriga samband får ses som indikativa.



**Figur 5.** (A) Nedströms riktad vandring hos ettårig öring i vandringsbassänger (vita cirklar & streckad linje) och i utsättningsbäcken (grå cirklar & heldragen linje) vid olika utsättningsomgångar 2019. Endast den största sorteringen för öring användes i analysen. (B) Nedströms riktad vandring hos ettårig lax i vandringsbassänger (vita cirklar & streckad linje) och i utsättningsbäcken (grå cirklar & heldragen linje) vid olika utsättningsomgångar 2020. Samtliga sorteringar av lax ingick i analysen. Notera att vandrad sträcka i bassäng anges i vänster y-axeln och vandring i bäcken i höger y-axel. Data anpassat till en andra gradens polynomfunktion.

### 3.5 VANDRINGSBASSÄNGER

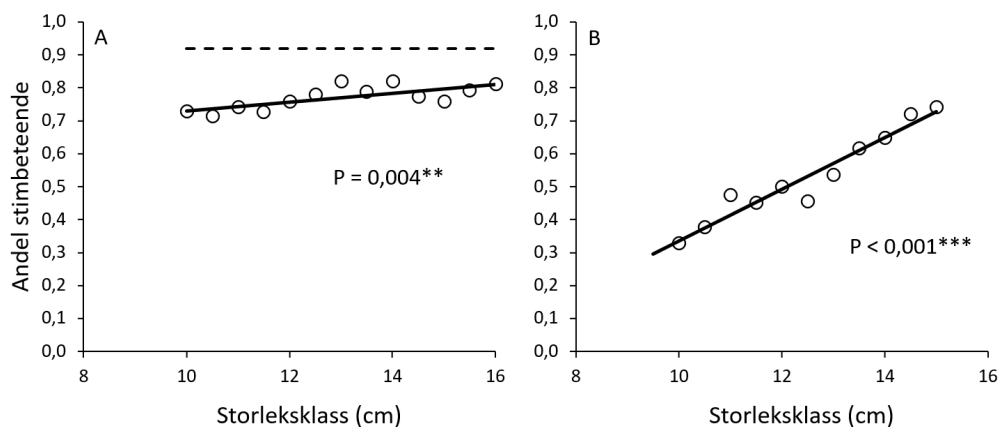
Det rådde ett starkt positivt samband mellan öringens storlek och vandringsaktivitet i vandringsbassängerna (figur 6). Ettårig öring i de största storleksklasserna låg nära vandringsaktiviteten hos tvåårig öring (figur 6a). I motsats till öring fanns inget samband mellan storlek och vandring hos ettårig lax. Alla vandrade ungefär lika mycket och i paritet med de minsta ettåriga öringarna (figur 6b). Notera att öring och lax inte simmade med konstant maximal hastighet hela tiden. Ett varv med aktiv simning i bassängen tog ca 1 minut. Fisken simmade då med en hastighet av 0,5–0,6 meter per sekund. Eftersom ett varv var 32 meter så skulle den maximala sträckan en fisk kunde simma på en timme vara ca 1900 meter. Tvåårig öring och stor ettårig öring låg relativt nära maxnivån, men övriga fiskar simmade inte eller simmade långsamt under en varierande del av tiden och nådde därför inte lika långt.



**Figur 6.** Vandrad sträcka hos ettårig öring (A) och lax (B) i vandringsbassänger (meter per timme). Streckad linje anger vandringshastighet hos tvåårig öring och kan ses som en referenslinje för smolt. Data anger medianvärde för en grupp av fiskar inom 0,5 cm klasser. Statistisk test: linjär regression. \*\*\*  $P < 0,001$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*  $P < 0,05$ .

### 3.6 STIMBETEENDE

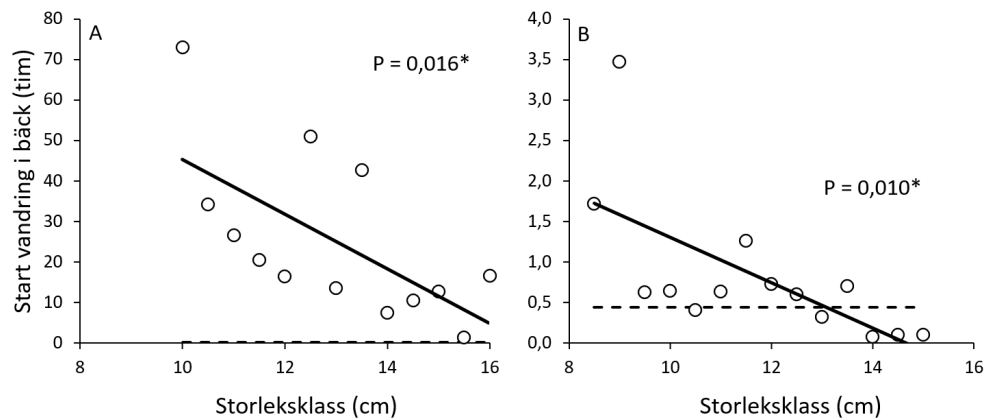
Ettårig öring uppvisade generellt en hög andel tid i stim av total vandringstid och det var ett svagt positivt samband med storlek (figur 7a). Ettårig öring avvek inte heller så mycket från tvåårig öring. Hos ettårig lax rådde ett starkt positivt samband mellan storlek och andel tid i stim (figur 7b). Notera att andel stimbeteende utgick från den totala tiden varje individ uppvisade aktiv simning och var därför oberoende av vandrad sträcka. Efter utsättning i bäcken hade både öring och lax svårt att upprätthålla ett stimbeteende. I endast 1% av alla registreringar på den sista antennen i bäcken var tiden mellan individer 1 sekund eller mindre hos ettårig lax. I medeltal var det 23 ( $\pm 18$ ) minuter i passage mellan ettåriga laxar på den sista antennen. För ettårig öring i bäcken var motsvarande andel 2% och medeltiden mellan individer var 207 ( $\pm 208$ ) minuter. Även för tvåårig fisk var det långt mellan passagera för olika individer; i medeltal 25 ( $\pm 27$ ) minuter för lax och 71 ( $\pm 76$ ) minuter för öring.



**Figur 7.** Andel tid ettåriga fiskar simmade i stim av total aktiv vandringstid (A = öring, B = lax). Streckad linje anger stimbeteende hos tvåårig öring och kan ses som en referenslinje för smolt. Data anger medianvärde för en grupp av fiskar inom 0,5 cm klasser. Statistisk test: linjär regression. \*\*\*  $P < 0,001$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*  $P < 0,05$ .

### 3.7 START AV VANDRING I BÄCKEN

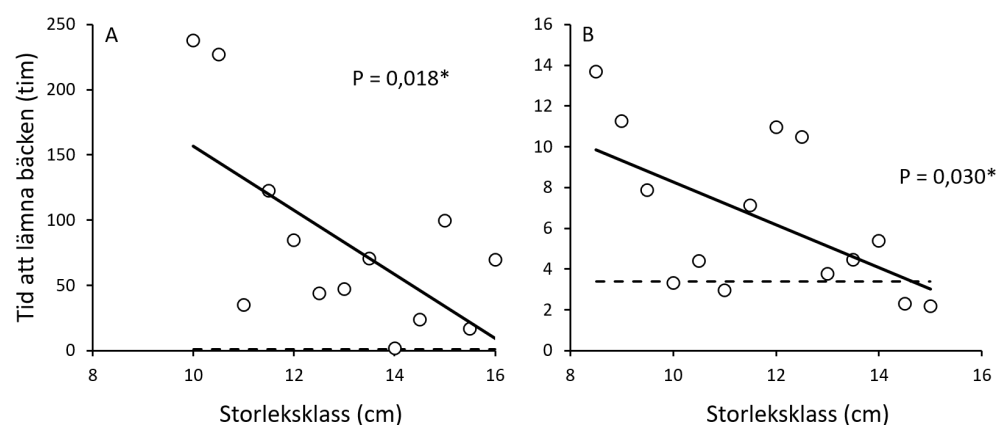
Hos både ettårig öring och lax rådde ett negativt samband mellan storlek och start av vandring i bäcken efter utsättning (figur 8). Öring tog generellt längre tid på sig att starta vandringen jämfört med lax (observera skillnad i skala i figuren). För ettårig öring större än 14 cm tog det i medeltal 10 timmar innan de startade vandringen i bäcken, vilket var avsevärt mer än de 15 minuter som det tog för tvåårig öring (figur 8a). Sambandet mellan storlek och start av vandring hos lax var relativt svagt och det var framförallt de två minsta storleksklasserna som avvek (figur 8b). För ettårig lax som var från 10 cm och uppåt tog det i genomsnitt 30 minuter att starta sin vandring, vilket var ungefär lika snabbt som för tvåårig fisk.



**Figur 8.** Samband mellan storlek på ettårig fisk och start av vandring i utsättningsbäcken (A = öring, B = lax). Streckad linje anger tiden för tvåårig öring och lax, vilket kan ses som en referenslinje för smolt. Data anger medianvärde för en grupp av fiskar inom 0,5 cm klasser. Statistisk test: linjär regression. \*\*\* P < 0,001; \*\* P < 0,01; \* P < 0,05.

### 3.8 TID ATT LÄMNA BÄCKEN

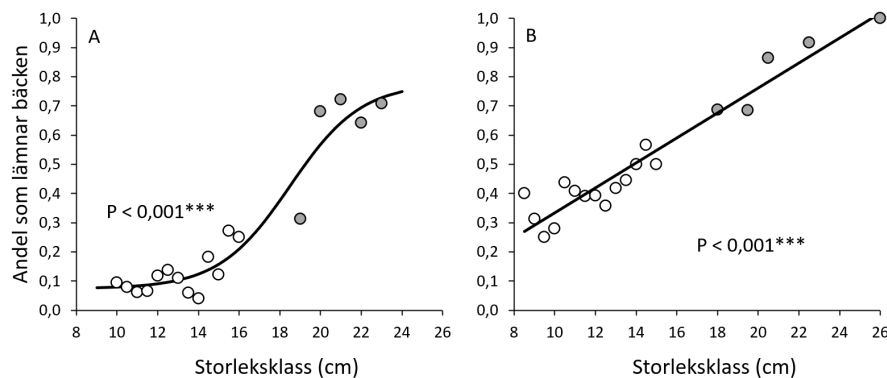
Det var ett negativt samband mellan storleksklass och tid att lämna bäcken hos ettårig öring och det var framförallt de två minsta storleksklasserna som avvek (figur 9a). För ettårig öring större än 11 cm tog det i genomsnitt 61 timmar innan de lämnade bäcken, vilket kan jämföras med de 48 minuter det tog för tvåårig öring. Även för ettårig lax rådde ett negativt samband mellan storlek och tid att lämna bäcken, men variationen mellan storleksklasser var stor (figur 9b). Ettårig lax var avsevärt snabbare att lämna bäcken än ettårig öring (notera skillnad i skala). I genomsnitt tog det 6,4 timmar för den ettåriga laxen att lämna bäcken, vilket kan jämföras med tvåårig lax som lämnade bäcken på 3,4 timmar.



**Figur 9.** Samband mellan storlek på ettårig fisk och den tid det tog att lämna utsättningsbäcken (A = öring, B = lax). Streckad linje anger tiden för tvåårig öring och lax, vilket kan ses som en referenslinje för smolt. Data anger medianvärde för en grupp av fiskar inom 0,5 cm klasser. Statistisk test: linjär regression. \*\*\* P < 0,001; \*\* P < 0,01; \* P < 0,05.

### 3.9 ANDEL SOM LÄMNAR BÄCKEN

Det rådde ett starkt positivt samband mellan storlek och andel individer som framgångsrikt lämnade bäcken hos ett- och tvåårig öring (figur 10). Ettårig öring större än 14 cm hade något högre andel som lämnade bäcken (21%) jämfört med mindre fisk (8%), men i jämförelse med tvåårig öring var andelen låg (figur 10a). Vid slutet av studien med öring 2019 reducerades flödet i bäcken och hela sträckan skannades av med hjälp av PIT-tag antenner. Av de märkta fiskar som registrerades kom 5 av 52 från utsättningen tre dagar innan (omgång 10) och 11 av 50 från utsättningen dagen innan bäcken skannades av (omgång 11). Några enstaka fiskar kom också från tidigare omgångar. Samtliga öringar vars märken påträffades i bäcken var ettåriga. Antalet ettåriga öringar som hade registrerats vid den nedersta antennen vid bäckens utlopp var 9 i omgång 10 och 6 i omgång 11. Detta pekar på att merparten av fisken troligtvis blev uppäten en kort tid efter utsättningen eftersom märkena varken påträffades i bäcken eller hade registrerats av den nedersta antennen. Även för ett- och tvåårig lax fanns ett starkt positivt samband mellan storlek och framgångsrik utvandring från bäcken (figur 10b). Samtliga storleksklasser av ettårig lax låg över andelen ettårig öring som lämnade bäcken, men klart under tvåårig lax.

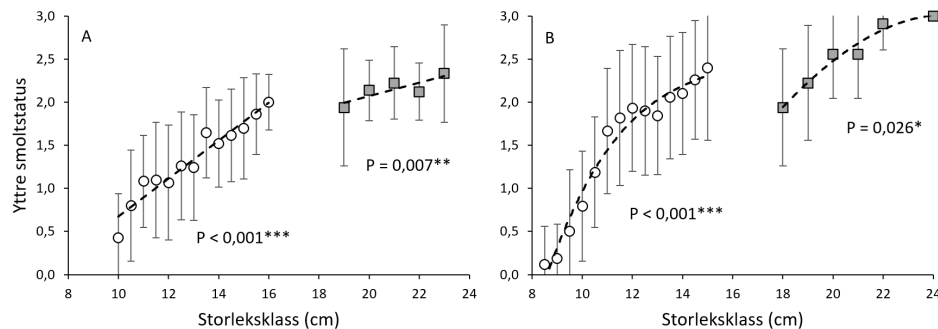


**Figur 10.** Samband mellan storlek på fisk och andel som lämnade utsättningsbäcken (A = öring, B = lax). Vita cirklar är ettårig fisk och grå cirklar tvåårig fisk. Helt dragen linje för öring anger en logistisk funktion och linjen för lax en linjär funktion. Statistisk test: Chi2 test för öring och linjär regression för lax. \*\*\*  $P < 0,001$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*  $P < 0,05$ .

### 3.10 YTTRE SMOLTSTATUS

Det rådde ett positivt samband mellan fiskens storlek vid utsättning i bäcken och yttre smoltstatus hos både öring och lax (figur 11). Variationen i smoltstatus inom storleksklasser var stor hos både öring och lax. Den yttre smoltstatusen hos lax klassades generellt något högre jämfört med hos öring vid lika kroppslängder.





**Figur 11.** Samband mellan storlek på fisk vid utsättning och yttre smoltstatus (A = öring, B = lax). Vita cirklar anger ettårig fisk och grå fyrkanter tvåårig fisk. Streckade linje för öring anger en linjär anpassning till data, medan streckad linje för lax anger en polynom anpassning till data. \*\*\*  $P < 0,001$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*  $P < 0,05$ .

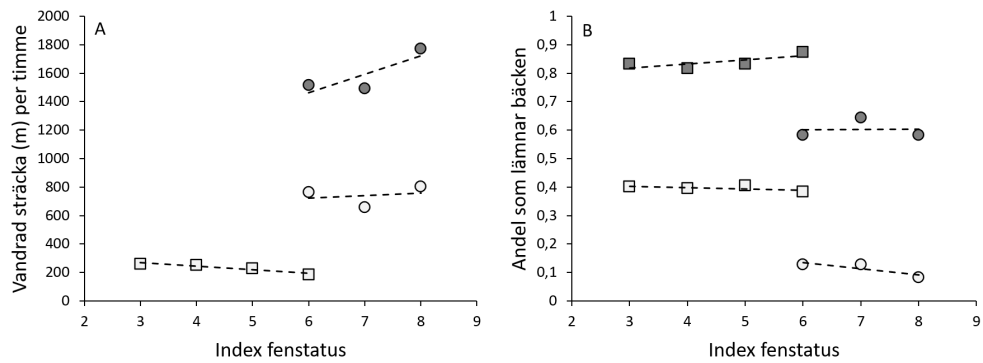
Ettårig öring och lax som via yttre smoltbesiktning klassades som 0 eller 1 (ett icke smoltlikt utseende) avvek inte i någon parameter från fisk som klassades som 2 och 3 (smoltlikt utseende) (tabell 3). Det fanns ingen skillnad med avseende på längd i mars, vandrad sträcka i vandringsbassänger, andel individer som lämnade utsättningsbäcken eller den tiden det tog att lämna bäcken.

**Tabell 3.** Längd vid märkning, vandrad sträcka i vandringsbassänger, andel individer som lämnade utsättningsbäcken, samt tid att lämna bäcken hos ettårig öring och lax med olika yttre smoltstatus (smoltlikt utseende). Avsaknad av smoltlikt utseende motsvarar smoltklass 0–1 och smoltliknande utseendeklass 2–3. Skillnader mellan grupper testades med en t-test.

Art	Smoltlikt utseende	Längd (cm)	Vandrad sträcka (m) per tim.	Andel som lämnar bäcken	Tid att lämna bäcken (tim.)
Öring	Nej	12,1 ± 1,2	831 ± 462	0,12 ± 0,10	88,5 ± 75,2
	Ja	12,8 ± 1,3	881 ± 361	0,13 ± 0,07	95,7 ± 157,7
	<i>Test</i>	$P=0,112$	$P=0,729$	$P=0,726$	$P=0,900$
Lax	Nej	11,6 ± 1,0	236 ± 167	0,43 ± 0,15	7,2 ± 4,6
	Ja	12,1 ± 0,8	206 ± 135	0,44 ± 0,13	6,6 ± 4,8
	<i>Test</i>	$P=0,054$	$P=0,340$	$P=0,830$	$P=0,765$

### 3.11 FENSTATUS

Öring hade generellt sett mer fensskador än lax. Grava klass 3 skador återfanns framförallt på ryggfenan hos både öring och lax (6-18% av fiskarna). Tvåårig öring hade även en relativt hög andel grava skador på bröstfenorna (16%). Ettårig öring som hade grava skador på både ryggfena och bröstfenor var totalt 0,4%, medan motsvarande siffra var 5,7% för tvåårig öring. Ett- och tvåårig lax hade små eller inga skador på stjärt- respektive bröstfenor (0-1,3%), samt liten andel med grava skador på både ryggfena och bröstfenor (0,3%). Olika grader av fensskador, summerat som ett fenskadeindex, påverkade inte simprestandan hos varken öring eller lax (figur 12). De vandrade lika aktivt i vandringsbassängerna och andelen som lämnade bäcken var lika mellan grupper av individer med olika grad av fensskador.



**Figur 12.** (A) samband mellan index för fenstatus och vandringsaktivitet i vandringsbassänger hos ettårig lax (ljusgrå fyrkant), tvåårig lax (Mörkgrå fyrkant), ettårig öring (ljusgrå cirkel), samt tvåårig öring (mörkgrå cirkel). Notera att tvåårig lax inte användes i vandringsbassängerna. (B) samband mellan index för fensador och andel som lämnar bäcken efter utsättning.

## 4 Diskussion

### 4.1 PREDATION EFTER UTSÄTTNING

Andelen öring och lax som lämnade bäcken var positivt kopplad till storleken på fisken. Fisk större än 20 cm hade högre sannolikhet att framgångsrikt lämna bäcken än mindre fisk. Vi tolkar detta som att det förekom en tydligt storleksrelaterad predation på mindre fisk då fåglar lockades till bäcken i samband med utsättningarna. En studie av Garthe & Hüppop (1994) visade att skrattnås och fiskmås väljer strömming i storleksintervallet 15–17 cm respektive 12–20 cm, medan havstrut har ett bredare storleksintervall på 11–31 cm. Liknande resultat erhöll Garthe & Scherp (2003) för fiskmås. Eftersom skrattnås och fiskmås dominerade i området stämmer en fisklängd av 18–20 cm väl överens med vad fåglarna maximalt klarade av att fånga.

Det har inte varit möjligt att kvantifiera hur mycket måsfågel som befann sig i närområdet de olika åren som tester utfördes, men visuella observationer i samband med utsättningarna indikerar stora mängder. Merparten av de ettåriga öringarna försvann sannolikt från bäcken inom några dagar efter utsättningen. Liknande resultat för ettårig öring, i samma bäck som i denna studie, erhöles av Alanära m fl. (2018) där endast 9% av fiskarna framgångsrikt lämnade bäcken.

Bäcken för utsättning är smal och grund vilket gör det enkelt för fågelpredatorer att upptäcka och fånga fisken. Den långsamma starten av vandring hos ettårig öring kan ha bidragit till det förhållandevis dåliga resultatet i jämförelse med ettårig lax. De exponerades för fåglarna under en mycket längre period i jämförelse med ettårig lax som uppvisade ett mycket mer distinkt nedströmsriktat vandringsbeteende. Alternativt var det tvärtom, vandringen i bäcken hos öring fördröjdes på grund av närvaron av predatorer. Det kan vara så att de kände av predationsrisken i och med att måsar hela tiden flög över bäcken eller satt och väntade på stenar och grenar i bäcken. Detta blir en kritisk fråga, stannar ettårig öring i bäcken för att de inte utvecklats till smolt eller blir de fördröjda i vandringen på grund av predationsrisken och därmed blir uppätta<sup>1</sup>.

### 4.2 SMOLTSTATUS ETTÅRIG ÖRING

De ettåriga öringarnas status som smolt är oklar och något tydligt tröskelvärde med avseende på storlek kunde inte observeras. I vandringsbassängerna uppvisade alla storleksklasser av ettårig öring ett tydligt nedströmsriktat vandringsbeteende och de simmade i stim i stor utsträckning. Efter utsättning i bäcken försvann dock merparten av de ettåriga öringarna, vilket försvårar analysen av den ettåriga öringens prestanda som smolt.

<sup>1</sup> Vattenfall använder bäcken för utsättning av lax och öring. Till skillnad mot metodiken i detta projekt ökas flödet i bäcken vid utsättning. Fisken sätts ut på kvällen och på morgonen dagen efter minskas flödet så att fisken snabbt tvingas att lämna bäcken. För att påskynda passagen vid Kungsmofallet ökas även flödet i den gamla älvfåran i samband med utsättningen. Åtgärderna syftar till att reducera effekten av fågelpredation.

Beroende på om öringen stannar i bäcken på grund av att de inte utvecklas till smolt eller för att de blir fördröjda på grund av predation går det att dra olika slutsatser. Det första fallet indikerar att ettårig öring i det storleksintervall vi testat inte bör sättas ut. I det andra fallet kan problemet åtgärdas genom att sätta ut fisken i en miljö där predationsrisken minimeras. Att fisken snabbare når ett större vattendjup i älven kan vara en viktig faktor.

Det goda sambandet mellan vandring i vandringsbassäng och bäck hos ettårig lax kan tas som en indikation på att även ettårig öring utvecklats till smolt eftersom aktiviteten i vandringsbassängerna var hög. Tvåårig öring vandrade snabbare, tillbringade mer tid i stim, startade vandringen i bäcken snabbt och hade en hög andel som lämnade bäcken (61%). I studien av Alanärrä m fl. (2018), i samma utsättningsbäck som i denna studie, uppvisade den tvååriga öringen en utvandring på 80%.

### 4.3 SMOLTSTATUS ETTÅRIG LAX

Det klassiska tröskelvärde på 10 cm för lax att bli smolt som Elson (1957) presenterade, och som även identifierats i flera andra studier (Kristinsson m fl. 1985; Metcalfe m fl. 1988; Skilbrei 1991; Bjerknes m fl. 1992), verifierades i denna studie. Ettårig lax som var minst 10 cm på hösten uppträdde i de flesta avseenden som en vandringsfärdig smolt följande vår och betedde sig mycket likt den tvååriga laxsmolten. Även lax mindre än 10 cm uppvisade ett smoltliknande beteende men hade en lägre vandringsintensitet efter utsättning i bäcken, vilket ledde till ökad predation.

Enligt Thorpe m fl. (1998) startar smoltifieringsprocessen för lax redan under sensommar eller tidig höst, 8–9 månader innan smoltutsättning. Det viktiga är fiskens storlek efter sommaren och hur stora fettreserver den hunnit bygga upp. En lax som inte initierat smoltifieringsprocessen under hösten kommer sannolikt inte blir smolt oavsett hur bra den växer under våren innan utsättning. Utsättning av fisk som inte utvecklats till smolt kommer troligen leda till att de stannar kvar i älven. Kesler m fl. (2013) visade att odlad ettårig smolt som stannar i älven efter utsättning har låg överlevnad troligen på grund av hög predation.

En fisk som växt upp under två somrar i odling har inga problem att uppnå den kritiska storleksgränsen för att bli smolt den kommande våren. Tvåårig lax startade också vandringen i bäcken snabbt och dödligheten från predation var liten.

### 4.4 SORTERINGSSTRATEGI

Vi föreslår en strategi där laxen sorteras i tre storleksklasser i månadsskiftet augusti-september. Beroende på tillväxthastigheten under hösten kan teoretiskt alla tre storleksklasserna vara större än 10 cm i november. Med de tillväxtförutsättningar som råder i Norrfors kompensationsodling är det sannolikt att den största gruppen blir större än 10 cm och att den minsta sorteringen inte når 10 cm. Mellangruppens storlek varierar sannolikt med tillväxtförutsättningarna under sommaren mellan år.

Om medellängden i någon av storleksklasserna ligger nära 10 cm efter det att tillväxten avtagit under hösten rekommenderas en andra sortering där fisk över 10 cm sorteras ut för att bli ettårig smolt. Tillväxten hos ettårig lax föll snabbt under hösten och från mitten på oktober till slutet av april bibehöll fisken endast sin storlek. Den längd på fisken som erhöles i mars i samband med PIT-tag märkningen kan därför anses representera fiskens storlek efter föregående tillväxtsång. Eftersom fisken inte växer mycket under vintern kan den andra sorteringen ske någon gång under november till april.

Den bimodalitet i storlek som uppstår till följd av att individer som ska bli smolt till våren växer bättre än de övriga kunde inte verifieras i denna studie (Metcalf m fl. 1988; Skilbrei 1991). De laxar som sorterades ut som stora i augusti uppvisade en svag tendens till bimodalitet, men skillnaden i tillväxt mellan grupperna var för liten under hösten. Skillnaden i tillväxt mellan snabb- respektive långsamväxande individer i gruppen som sorterades som mellanstora i augusti var något större och gav därför en lite tydligare bild av påbörjad bimodalitet. Det är troligt att ett bimodalt mönster hade synliggjorts tydligare om man inte sorterat fisken i augusti eftersom skillnaden i tillväxthastighet efter sorteringen var relativt stor mellan grupperna. Med den sorteringsstrategi som föreslås ovan behöver man dock inte invänta att en bimodalitet utvecklas under hösten.

#### 4.5 TIMING UTSÄTTNING

Förändringar i dagslängd, vattentemperatur och vattenflöde har alla identifierats som nyckelfaktorer till initieringen av smoltvandring hos laxfiskar (Jonsson & Jonsson, 2009; McCormick m fl. 1998; Otero m fl. 2014; Thorstad m fl. 2012; Whalen m fl. 1999). Flera studier har visat att en vattentemperatur av 8–10°C fungerar som ett tröskelvärde för start av smoltvandring för lax (Haraldstad m fl. 2017; Hvidsten m fl. 1998; Otero m fl. 2014). Den ettåriga laxen i denna studie uppvisade en klart ökad vandringsaktivitet när temperaturen steg till 10°C. Det överensstämmer med vandring hos vild lax i Vindelälven som uppvisade en topp i vandringen när vattentemperaturen steg över 10°C (Alanärä m fl. 2017).

Däremot kunde inte motsvarande topp i vandring ses hos ettårig öring. Vid 10°C var aktiviteten låg och toppen i vandring för ettårig öring skedde inte förrän temperaturen steg till ca 15°C. Från mitten av juni avtog vandringen hos både ettårig öring och lax, vilket indikerar att det optimala tidsfönstret för utsättning passerats.

I en studie på vild smolt från Sävarån i Västerbotten uppvisade både lax och öring en topp i vandringen vid stigande temperatur och vid 8–10°C (Lundqvist m fl. 2007). Merparten av laxsmolten vandrade ut till havet under ca 3 veckor, från den 25 maj till 10 juni, vilket också överensstämde med öring med skillnaden att deras topp i vandringen var ca 1 vecka tidigare (Lundqvist m fl. 2007).

#### 4.6 STIMBETEENDE

Resultaten från denna studie visade att både öring och lax hade ett tydligt stimbeteende i vandringsbassängerna. Det var dock svårare för öring- och laxsmolt att upprätthålla ett stimbeteende i en mer komplex miljö, som bäcken utgjorde,

jämfört med vandringsbassängerna. I samband med smoltifieringen övergår lax och öring från ett territoriellt beteende i rinnande vatten till ett stimbeteende. I älven under smoltvandringen samlas de i stim av varierande storlek och vandrar nedströms relativt nära ytan (Jonsson & Jonsson 2011).

Ett stimbeteende kan ha flera funktioner men de viktigaste är att stärka gruppens förmåga att upptäcka och undvika predatorer, samt att effektivt upptäcka och fånga byten (Pitcher & Parrish, 1993). Svårigheten att upprätthålla ett stimbeteende i vår studie kan därför ha inverkat negativt på överlevnaden efter utsättning i bäcken.

#### 4.7 YTTRE SMOLTSTATUS

Den yttre smoltstatusen hade ingen inverkan på vandringsintensiteten i vandringsbassängerna eller på vandring efter utsättning i bäcken. Däremot var den yttre smoltstatusen hos öring och lax starkt korrelerad med storlek. Ju större fisken var desto mer smoltlik såg den ut.

Alanärä m fl. (2014) visade att fysiologiska parametrar som överlevnad i saltvattenstest och nivå på ATPas-aktiviteten i gälarna var dåligt korrelerade med den yttre smoltstatusen och föreslog att smoltbesiktningen av ettårig fisk bör kompletteras med saltvattentest.

I en studie på laxsmolt i Norge kunde man inte hitta något samband mellan olika grad av yttre smoltstatus och överlevnad i havet (Staurnes m fl. 1993). Liknande resultat erhöles av Vehanen m fl. (1993) i en finsk studie på Carlinmärkt smolt. Virtanen m fl. (1991) menade att silvrighet eller smoltliknande utseende inte var ett tillräckligt känsligt mått för att identifiera olika stadier i smoltifieringsprocessen eller för att identifiera optimal utsättningstid. I en studie på öring var yttre smoltstatus inte korrelerat med vandringen i vandringsbassänger (Alanärä m fl. 2018).

Vi föreslår att bedömningen av en vandringsfärdig laxsmolt i första hand bör utgå från fiskens storlek och inte efter den yttre smoltstatusen. Saltvattenstest kan vara ett bra komplement för att säkerställa smoltstatus men bedöms inte vara nödvändigt för lax i dagsläget.

#### 4.8 FENSTATUS

Fenstatusen hos öring och lax påverkade inte deras simförmåga i vandringsstudierna och inte heller utvandringen från bäcken. Lax hade generellt klart bättre fenstatus än öring. För bägge arterna var skador på ryggen vanligast, samt hos öring även på bröstfenorna. Alanärä m fl. (2017) visade att moderata fenskadorna hos lax inte påverkade återvandring från havet negativt.

Baserat på över 40 års data på Carlin-märkt kompensationsodlad fisk från Dalälven, visade Petersson m fl. (2013) att lax med skador på ryggen ofta hade någon annan typ av skada och att detta tillsammans ledde till en lägre havsöverlevnad än för fisk utan skador. En liknande sammanställning över kompensationsodlad Carlin-märkt lax i Finland fann dock inget samband mellan



fenskador och försämrad havsöverlevnad (Kallio-Nyberg m fl. 2009). Vehanen m fl. (1993) visade att en mindre grad av fenskador inte påverkade havsöverlevnaden.

Sannolikt är det så att fenorna måste ha multipla klass 3 skador för att det skall inverka så kraftigt på fisken manöver- och simförmåga att det blir mätbara effekter på havsöverlevnad.

#### 4.9 STUDIER I VANDRINGSBASSÄNGER

Det var en relativt god samstämmighet mellan vandringsaktivitet i vandringsbassängerna och utsättningsbäcken. Detta visar att vandringsbassängerna kan vara ett bra komplement till studier i naturlig miljö. Det rådde dock en stor skillnad i nivån på vandringsaktivitet mellan miljöerna. Bäckmiljön var avsevärt mer komplicerad att vandra i och det tog sannolikt tid för odlad fisk att bemästra variationen i flödes hastighet och habitatets komplexitet. Som tidigare nämnts går det inte heller att utesluta att predationsrisken från fåglar i bäcken påverkade vandringsbeteendet.

#### 4.10 REKOMMENDATIONER

Praktiska rekommendationer till kompensationsodlare:

1. Efter den första sommaren i odling bör en lax vara minst 10 cm i november för att utvecklas till smolt under våren.
2. Vi föreslår en strategi där laxen sorteras i två omgångar. En första omgång under andra hälften av augusti och en andra omgång under vintern för grupper av fisk som i medeltal ligger nära 10 cm.
3. Ettårig lax bör sättas ut vid en stigande vattentemperatur och vid 10°C.
4. Kritisk storleksgräns är den viktigaste faktorn som korrelerar med smoltlikt beteende hos lax och yttre smoltstatus bör ges lägre betydelse.
5. Utsättningen av öring och lax bör ske i en miljö där de så snabbt som möjligt når ett stort vattendjup och högt flöde för att minimera predationsrisken från i första hand fåglar.
6. Observera att fler studier behövs för att kunna avgöra om ettårig öring har god prestanda som smolt. Efter utsättning i en naturlig miljö (bäck) uppvisade ettårig öring ett svagt vandringsbeteende och hög dödlighet.

#### 4.11 FRAMTIDA UPPFÖLJNING AV ÅTERVANDRING FRÅN HAVET

En del av försöksgrupperna som ingick i denna studie märktes även med PIT-tag med syfte att följa upp havsöverlevnad. Av grupper med öring märktes 6000 tvååriga, samt 6000 utsorterat stora respektive mellanstora individer. Totalt märktes 18 000 öringar 2019. Av lax märktes 6000 tvååriga individer, samt den största storleksklassen i augusti och som sedan sorterades en andra gång i februari som stora (4000) och små (4000). Även 4000 individer från mellansortering i augusti och som sorterades som stora i februari märktes, vilket gav totalt 18 000 märkta laxar 2020. Återvandringsdata från havet kommer att publiceras under hösten 2023.

## 5 Referenser

- Alanära, A., Rask, J. & Persson, L. (2017). *Uppföljning av återvandrande lax*. Energiforsk, rapport 2017: 456.
- Alanära, A., Schmitz, M. & Persson, L. (2014). *Funktionella metoder för odling av fysiologiskt naturanpassad laxsmolt*. Elforsk rapport 14:02.
- Alanära, A., Shry, S., Hägglund, J. & Hellström, G. (2018). *Påverkar hunger och energistatus öringens vilja att vandra till havet?* Energiforsk, rapport 2018:517.
- Bjerknes, V., Duston, J., Knox, D. & Harmon, P. (1992). *Importance of body size for acclimation of underyearling Atlantic salmon parr (salmo salar L.) to seawater*. *Aquaculture* 104; 357–366
- Boel, M., Aarestrup, K., Baktoft, H., Larsen, T., Søndergaard Madsen, S. & Malte, H. (2014). *The physiological basis of the migration continuum in brown trout (Salmo trutta)*. *Physiol. Biochem. Zool.* 87, 334–345. doi: 10.1086/674869
- Bohlin, T., Dellefors, C. & Faremo, U. (1993). *Optimal time and size for smolt migration in wild sea trout (Salmo trutta)*. *Can J Fish Aquat Sci* 50:224–232
- Elson, P. F. (1957). *The importance of size in the change from parr to smolt in Atlantic salmon*. *Can Fish Culturist* 21:1–6
- Garthe, S. & Hüppop, O. (1994). *Distribution of ship-following seabirds and their utilization of discards in the North Sea in summer*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 106: 1-9.
- Garthe, S. & Scherp, B. (2003). *Utilization of discards and offal from commercial fisheries by seabirds in the Baltic Sea*. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 980–989. doi:10.1016/S1054–3139(03)00099-7
- Haraldstad, T., Kroglund, F., Kristensen, T., Jonsson, B. & Haugen, T.O. (2017). *Diel migration pattern of Atlantic salmon (Salmo salar) and sea trout (Salmo trutta) smolts: an assessment of environmental cues*. *Ecology of Freshwater Fish*, 1–11. DOI: 10.1111/eff.12298.
- Hoyle, I., Oidtmann, B., Ellis, T., Turnbull, J., North, B., Nikolaidis, J. & Knowles, T. G. (2007). *A validated macroscopic key to assess fin damage in farmed rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)*. *Aquaculture* 270, 142-148.
- Hvidsten, N. A., Heggberget, T. G. & Jensen, A. J. (1998). *Sea water temperature at Atlantic salmon smolt entrance*. *Nordic Journal of Freshwater Research* 74, 79–86.
- Jonsson, B. (1985). *Life history patterns of freshwater resident and sea-run migrant brown trout in Norway*. *Trans Am Fish Soc* 114:182–194
- Jonsson, B. & Jonsson, N. (2009). *Migratory timing, marine survival and growth of anadromous brown trout (Salmo trutta) in the River Imsa, Norway*. *Journal of Fish Biology* 74, 621–638.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. (2011). *Ecology of Atlantic salmon and brown trout, habitat as a template for life histories*. Vol. 33. New York: Springer.
- Kallio-Nyberg, I., Salminen, M., Saloniemi, I. & Kannala-Fisk, L. (2009). *Marine survival of reared Atlantic salmon in the Baltic Sea: the effect of smolt traits and annual factors*. *Fish. Res.* 96, 289–295.

- Kesler, M., Vetemaa, M., Saks, L. & Saat, T. (2013). *Survival of reared Atlantic salmon (Salmo salar) smolts during downstream migration and its timing: a case study in the Pirita River*. Boreal Environment Research 18: 53-60.
- Kristinsson, J. B., Saunders, R. L. & Wiggs, A. J. (1985). *Growth dynamics during the development of bimodal length-frequency distribution in juvenile Atlantic salmon (Salmo salar L.)*. Aquaculture 45, 1–20.
- Lundqvist, H., Leonardsson, K., Karlsson, L., Larsson, S., Östergren, J. Nilsson, J. Serrano, I. & Carlsson, U. (2007). *Tre års smoltutvandring i Sävarån (2005–2007): Blir Sävarån svenskt indexvattendrag för skogsälvar? Rapport, SLU, Institutionen för Vilt, Fisk och Miljö, 901 83 Umeå*
- McCormick, S. D., Hansen, L. P., Quinn, T. P. & Saunders, R. L. (1998). *Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (Salmo salar)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55, 77–92.
- Metcalfe, N.B., Huntingford, F.A. & Thorpe, J.E. (1988). *Feeding intensity, growth-rates, and the establishment of life-history patterns in juvenile Atlantic salmon Salmo-salar*. Journal of Animal Ecology 57: 463-474.
- Otero, J. et al. (2014). *Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (Salmo salar)*. Global Change Biology 20, 61–75, doi: 10.1111/gcb.12363
- Petersson, E., Karlsson, L., Ragnarsson, B., Bryntesson, M., Berglund, A., Stridsman, S., & Jonsson, S. (2013). *Fin erosion and injuries in relation to adult recapture rates in cultured smolts of Atlantic salmon and brown trout*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 70(6): 915-921.
- Pitcher, T. J. & Parrish, J. K. (1993). *Functions of shoaling behaviour in teleosts*. In Behaviour of Teleost Fish, 2nd edn (Pitcher, T. J., ed), pp. 363–439. London: Chapman & Hall.
- Skilbrei, O. T. (1991). *Importance of threshold length and photoperiod for the development of bimodal length-frequency distribution in Atlantic Salmon (Salmo salar)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 48, 2163–2172.
- Staurnes, M., Lysfjord, G., Hansen, L.P. & Heggberget, T.G. (1993). *Recapture rates of hatchery-reared Atlantic salmon (Salmo salar) related to smolt development and time of release*. Aquaculture 118, 327–337.
- Thorpe, J. E., Mangel, M., Metcalfe, N. B. & Huntingford, F. A. (1998). *Modelling the proximate basis of salmonid life-history variation, with application to Atlantic salmon, Salmo salar L.* Evolutionary Ecology 12, 581–599.
- 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*. J. Fish Biol. 81, 500–542. doi: 10.1111/j.1095-8649.2012.03370.x
- Vehanen, T., Aspi, J. & Pasanen, P. (1993). *The effect of size, fin erosion, body silvering and precocious maturation on recaptures in Carlin-tagged Baltic salmon (Salmo salar)*. Ann. Zool- Fennici 30: 277-285.
- Whalen, K.G., Parrish, D.L. & McCormick, S.D. (1999). *Migration Timing of Atlantic Salmon Smolts Relative to Environmental and Physiological Factors*. Transactions of the American Fisheries Society 128: 289–301.

- Villar-Guerra, D., Larsen, M.H., Baktoft, H., Koed, A. & Aarestrup, K. (2019). *The influence of initial developmental status on the life-history of sea trout (Salmo trutta)*. Scientific reports, Nature research, 9:13468 | <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49175-0>.
- Virtanen, E., Söderholm-Tana, L., Soivio, A., Forsman, L. and Muona, M. (1991). *Effect of physiological condition and smoltification status at smolt release on subsequent catches of adult salmon*. Aquaculture, 97: 231-257.
- Økland, F., Jonsson, B., Jensen, A. J. & Hansen, L. P. (1993). *Is there a threshold size regulating seaward migration of brown trout and Atlantic salmon*. Journal of Fish Biology 42, 541–550.



# HUR STOR BEHÖVER EN ETTÅRIG ÖRING ELLER LAX VARA?

Ett av de svåraste momenten inom kompensationsodling av lax och havsöring är att bedöma om fisken är tillräckligt stor för att utvecklas till ettårig smolt. Här har därför en sorteringsstrategi utvecklats och testats för att förenkla bedömningen.

Lax och öring som är en sommar gamla deladesfj upp i olika storleksklasser för att deras prestanda skulle kunna testas som ettårig smolt. Resultaten visar att ettårig lax som är större än 10 cm visar ett beteende som på många sätt representerar en vandringsmogen smolt. Det innebär att all lax mindre än 10 cm bör hållas kvar i odlingen och i sättas ut som tvåårig smolt i stället.

För ettårig öring var resultaten mer komplexa. Öring som är mellan 10 och 16 cm har på vissa sätt ett beteende som indikerar att de utvecklats till smolt. Men utvandringen efter utsättning i en naturlig miljö är dålig och de flesta individer äts upp av måsfåglar.

Resultaten visar att utsättning av öring speciellt, men också av lax bör göras i en miljö med ett stort vattendjup och ett högt flöde för att minimera predationsrisken från i första hand fåglar.

## Ett nytt steg i energiforskningen

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