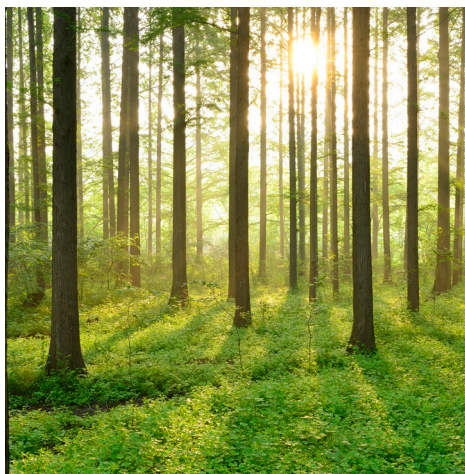


UPPFÖLJNING AV ÅTERVANDRANDE LAX

RAPPORT 2017:456



Uppföljning av återvandrande lax

ANDERS ALANÄRÄ, JÖRGEN RASK OCH LO PERSSON

Förord

Denna rapport är resultatet av projektet Uppföljning av återvandrande lax, även kallat Returlax, som genomfördes 2014–2017. Projektet har studerat havsöverlevnaden hos odlad smolt som fysiologiskt sett liknar en vild lax.

Syftet med projektet var att följa upp lax som ingick i en tidigare genomförd studie. Den handlade om att försöka producera en lax i odling som fysiologiskt är mer lik en vild lax. Det projektet finns avrapporterat i Funktionella metoder för odling av fysiologiskt naturanpassad laxsmolt, Elforsk rapport 14:02.

Projektledare var Anders Alanärrä, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Vilt fisk och miljö. Projektgruppen bestod även av Jörgen Rask, SLU Akvatiska resurser och Lo Persson, SLU Vilt fisk och miljö. Fiskodlingarna vid Norrfors och Älvkarleby engagerades under projektets gång.

En styrgrupp med representanter från Havs- och vattenmyndigheten, Sydkraft Hydropower (Uniper), Fortum, Statkraft, Vattenfall Vattenkraft, Vattenregleringsföretagen, Länsstyrelsen i Norrbotten och Energiföretagen följde projektet. Energiforsk var sammankallande för projektets styrgrupp.

Projektet bekostades av Havs- och vattenmyndigheten samt vattenkraftföretagen Fortum, Skellefteå Kraft, Statkraft, Sydkraft Hydropower och Vattenfall Vattenkraft.

Oktober 2017

Sara Sandberg
Energiforsk

Sammanfattning

Havsöverlevnaden för kompensationsodlad lax har under de senaste 15 minskat i jämförelse med vild lax. Under samma period av tid har den tvååriga smolten från svenska kompensationsodlingar ökat mycket i vikt och avviker därmed starkt från den vilda smoltens storlek och energistatus vid utvandringen till havet.

Syftet med denna studie var att undersöka om en fysiologiskt mer vildlik odlad smolt har bättre förutsättningar att klara sig i havet. Målbilden var att producera en tvåårig smolt i storleken 50 g med en energistatus av 4 % kropps fett. Under de senaste 15 åren har även andelen ettårig smolt ökat starkt och har därför inkluderats i studien. Försöksdesignen var enligt följande; en grupp tvåårig smolt med normal utfodring (kontroll), en grupp tvåårig smolt med reducerade fodergivor under odlingsfasen, samt en grupp ettårig smolt med normal utfodring. Utöver foderreduktion användes även foder med olika fettinnehåll (energimängd). Odlingsförsöken genomfördes under tre år (2011-2013) vid Norrfors kompensationsodling i Umeälven och Älvkarleby kompensationsodling i Dalälven. I syfte att registrera återvändande lax från havet PIT-tag märktes 3000 fiskar från varje behandling och år, vilket gav totalt 54 000 märkta fiskar. Vild lax från Vindelälven ingår även i studien och här märktes ca 2000 smolt per år.

Den tvååriga foderreducerade smolten från Umeälven vägde i genomsnitt 63 g och hade 7,1 % i kropps fett vid utsättning, medan fisk från kontrollgrupper vägde 103 g och hade 7,6 % fett. Motsvarande siffror för ettårig smolt var 43 g respektive 8,8 % fett. Tvåårig foderreducerad smolt från Dalälven vägde 78 g och hade 4,3 % fett, medan smolt från kontrollgrupper vägde 133 g och hade 5,9 % fett. Den ettåriga smolten från Dalälven vägde 23 g och hade 4,8 % fett. En lägre fetthalt hos Dalälvssmolt uppnåddes via ett foder med lägre fettinnehåll. Den önskade smolten med en vikt på 50 g och en energistatus av 4 % kropps fett uppnås endast genom en kombination av reducerade fodergivor och ett foder med lägre fettinnehåll. Den vilda smolten vägde i genomsnitt 24 g vid utvandringen till havet.

Den övergripande havsöverlevnaden var 3,6 ggr högre för odlad smolt från Umeälven jämfört med Dalälven, medan den vilda smolten från Vindelälven hade 3,1 ggr högre havsöverlevnad jämfört med odlad smolt från Umeälven. Det var ingen skillnad i havsöverlevnad mellan grupper av tvåårig smolt som foderreducerats eller kontrollgrupper, varken i Umeälven eller Dalälven. Ettårig smolt från Umeälven hade klart sämre havsöverlevnad jämfört med tvåårig smolt, men det var inte någon skillnad mellan åldersklasser i Dalälven. Variationen i kroppsvikt inom respektive foderbehandling för tvåårig smolt var stor och används till en fördjupad analys av smoltstorlek kontra havsöverlevnad. Den högsta havsöverlevnaden för tvåårig smolt från Umeälven ligger inom intervallet 60-90 g eller 180-200 mm. Smolt större än 120 g vid utsättningen avviker tydligt negativt i havsöverlevnad medan resultatet för smolt mindre än 60 g varierar starkt mellan år. Konditionsfaktorn för tvåårig smolt med bäst havsöverlevnad var ca 1,1 på våren innan utsättning.

Tillväxtnönstret i odling påverkar starkt tidpunkten för könsnognad hos odlad smolt. Det råder ett tydligt samband mellan den tvååriga smoltens storlek vid utsättning och andel individer som vandrar tillbaka som grills. Ju bättre tillväxtförutsättningar i odlingen desto större andel grills. En tvåårig smolt i storleksintervallet 60-90 g har en fördelning av antalet havsvintrar som är mycket lika den vilda laxen från Vindelälven. Produktion av ettårig smolt genererar i huvudsak fisk som är ute i havet under två eller tre vintrar och ytterst få återvänder som grills. Andelen tidigt könsnogna hannar bland tvåårig smolt från Umeälven varierade mellan 10 och 37 % och det var ingen skillnad mellan foderbehandling. Motsvarande siffror för tvåårig smolt från Dalälven var 13-72 %. Denna studie visar att tvååriga hannar som varit könsnogna under hösten innan utsättning har starkt reducerad havsöverlevnad jämfört med de som inte varit könsnogna. Andelen tidigt könsnogna hannar bland ettårig smolt var mycket låg.

Den odlade smoltens status på bröst-, stjärt- och ryggfenor vid utsättning påverkade inte havsöverlevnaden. Smolt med moderata fenskador har lika bra havsöverlevnad som fisk med mer eller mindre intakta fenor. Allvarliga fenskador som skulle kunna inverka negativt på sim- och manöverförmåga samt i sin tur försämra havsöverlevnaden var relativt ovanliga. Bland de fiskar som återvandrat från havet och hade dålig status på ryggfenan vid utsättningen så hade 37 % fortsatt dålig status medan 63 % av fiskarna hade förbättrad status i varierande utsträckning. Denna studie ger dock inget stöd för den exakta gränsen för när en fena i odlingen kan anses vara permanent skadad.

Summary

The sea survival of compensatory reared Atlantic salmon smolt have decreased over the last 15 years in relation to wild salmon smolt. During the same period of time, the body size of hatchery smolt have strongly increased and deviates largely from wild smolt in terms of size and energetic status.

The purpose with this project was to produce a physiologically wild like hatchery reared salmon smolt and to evaluate the effect on sea survival. A physiologically wild like smolt was considered to be about 50 g in size and with body fat content of about 4 %. Hatchery reared one- year old smolt was included in the study because the proportion of one year old smolt have increased dramatically over the last 15 years within the releases from Swedish compensatory rearing programs. The experimental design was as follows; one group with two-year old smolt normally fed (control), one group two-year old smolt given reduced feed ratios, and one group with one-year old smolt without any feed restrictions. The production and release of fish was conducted over three consecutive years (2011-2013) at two different hatcheries; Norrfors hatchery in River Umeälven and Älvkarleby hatchery in River Dalälven. To be able to register returning fish from the sea; 3000 fish from each treatment and year were PIT-tagged. In addition, wild salmon from River Vindelälven was caught during their smolt migration and about 2000 fish were PIT-tagged per year over the period 2011-2013.

The feed reduced two-year old smolt from River Umeälven had a body size of 63 g on average and a body fat content of 7,1 %, while control fed smolt weighted 103 g and had a body fat content of 7,6 %. The corresponding figures for one-year old smolt was 43 g and 8,8 % body fat, respectively. Feed reduced two-year old smolt from River Dalälven weighted 78 g and had a body fat content of 4,3 %, while control fed smolt weighted 133 g and had a body fat content of 5,9 %. The one-year old smolt weighted 23 g and had a body fat content of 4,8 %. The lower fat content in smolt from River Dalälven in relation to smolt from River Umeälven was achieved by using a feed with lower fat and energy content. The wild smolt from River Vindelälven had an average weight of 24 g at the time for sea migration.

The overall return rate from the sea was 3,6 times higher for hatchery smolt from River Umeälven than River Dalälven, while wild smolt had 3,1 times higher return rate than smolt from River Umeälven. There were no difference in return rate between smolt that was given reduced feed ratios in the hatchery and control fed groups of fish. The variation in body size within each feed treatment was large and was used for a deeper analyse of the relationship between body size and return rate from the sea. The highest return rate was found for smolt within the size range 60-90 g or 180-200 mm. Smolt larger than 120 g had clearly lower return rate from the sea, while the return rate for smolt smaller than 60 g varied largely between years; low in one year and high the other year. The condition factor for fish in the size range 60-90 g was about 1,1 at the time for release from the hatchery.

The growth pattern in the hatchery strongly influence the maturation pattern. There was a positive relationship between the body size of two-year old smolt at release and the proportion of returning grilse after one sea winter in the sea. A hatchery reared two-year old smolt of the size 60-90 g have a sea winter distribution that is similar to that of wild smolt, i.e. a comparable reaction norm for maturation. The production of one-year old smolt results in extremely few grilse and most fish return from the sea after two or three sea winters. The proportion of early matured males among two-year old smolt varied between 10 and 37 % in River Umeälven, and there was no difference between feed treatment groups. The corresponding figures for River Dalälven was 13-72 % of maturation among males. This study clearly show that males that have been early matured in the hatchery have lower return rate from the sea in relation to un-matured fish. The proportion of early matured males within one-year old smolt was extremely low.

The status of pectoral, caudal and dorsal fins in hatchery reared fish did not influence the return rate from the sea. Smolt with moderate fin damage had equal return rate as smolt with more or less intact fins. Severe damages on fins that would negatively impact the ability to swim and manoeuvre was relatively rare in this study. Among returning fish from the sea that had poor dorsal fin status at the release from the hatchery, 37 % still showed poor fin status when they returned from the sea while 63 % to various extent had improved fin status. This study, however, cannot point out the exact limit on smolt where a fin can be considered as permanently damage.

Innehåll

1	Inledning	9
2	Material och metod	11
2.1	Foderbehandling	11
2.2	Beräkning av konditionsfaktor	11
2.3	Märkning och antal utsatta smolt	12
2.4	Fenskadebedömning	12
2.5	Utsättning av odlad smolt och utvandring av vild smolt	12
2.6	Registrering av återvandrande lax	13
3	Resultat	18
4	Diskussion	31
4.1	Effekt av ålder och storlek	31
4.2	Låg havsöverlevnad för smolt från Dalälven	33
4.3	Variation i havsöverlevnad mellan år	34
4.4	Reaktionsnorm könsmodnad	35
4.5	Tidigt könsmodna hannar	36
4.6	Timing av smoltvandring och ankomst till havet	36
4.7	Fenstatus	37
4.8	Rekommendationer till odlingar	38
4.9	Förslag till fortsatt forskning och utvecklingsarbete	38
5	Referenser	39

1 Inledning

Till följd av att flera av våra större älvar i Sverige byggdes ut för utvinning av vattenkraft under första hälften av 1900-talet, vilket kulminerade under 1940- och 1950-talen, ålades kraftbolag att kompensera för den uteblivna naturliga reproduktionen av fisk. Den så kallade kompensationsodlingen av i första hand lax och havsöring startade på 1950-talet (Svårdson & Nilsson 1985). Intensiv odling av lax i bassänger på land var helt nytt och under ett antal år kämpade odlingarna med att få fisken att växa tillräckligt snabbt så att de blev smolt efter två år. Data från Bergforsens kompensationsodling i Indalsälven visar att vikten på tvåårig laxsmolt låg mellan 40-60 g från 1970 till slutet av 1990 (Hedman 2011). År 2000 byggdes en ny odling i Bergforsen med bl a större och djupare bassänger, ett nytt utfodringssystem, samt fiskpump för att reducera den manuella hanteringen av fisk vid sortering och flyttningar. Även fiskfodret har förändrats sedan starten på kompensationsodling. Från 1950-talet till idag har energimängden i fodret mer än fördubblats och det är framförallt mängden fett i fodret som ökat (Johnsen & Wandsvik, 1991; Alsted m fl, 1995). Allt det resulterade i en mycket bättre odlingsmiljö som reducerade stress och förbättrade tillväxten dramatiskt. Den tvååriga smolten i Bergforsens kompensationsodling blev t ex 3-4 ggr större jämfört med tidigare (Hedman 2011). Det är inte ovanligt att en tvåårig kompensationsodlad laxsmolt idag väger runt 200 g och har en fetthalt av 8-10 % vid tidpunkten för utsättning (Lans m fl. 2011; Vainikka m fl. 2012). Den odlade smolten avviker därmed drastiskt från den vilda laxsmolten som typiskt väger 20-30 g och har en fetthalt på 2-3 % (Berg & Bremset 1998; Lans m fl. 2011). En annan konsekvens av förbättrade tillväxtvillkor är att en ökad andel fisk blir smolt efter ett år i odlingen.

De flesta av de ca 1,8 miljoner laxsmolt som årligen släpptes ut från kompensationsodlingar i Sverige var tvåårig fram till slutet av 1990-talet (WGBAST, 2016). Under de senaste 15 åren har andelen ettårig smolt ökat dramatiskt och utgör idag 90 % av all smolt som sätts ut i Bottenhavet samt 44 % av all smolt i Bottenviken (WGBAST, 2016). Den ökande andelen ettårig smolt har även medfört att medelvikten på tvåårig smolt minskat eftersom de största fiskarna efter första sommaren i odling sätts ut som ettåringar.

Under 1980- och 1990-talen var ca 90 % av all laxsmolt som nådde havet av odlad ursprung (WGBAST, 2016), samtidigt som ca 90 % av laxen som fångades i Östersjön av yrkesfisket var kompensationsodlad (Koljonen 2006; WGBAST 2016). Som ett resultat av den positiva utvecklingen för en rad vilda laxpopulationer är nu andelen odlad laxsmolt som når havet ca 60 % av det totala (WGBAST, 2016). Andelen odlad smolt motsvarar dock inte längre andelen odlad vuxen lax i fisket. Resultat från fisken i Bottenhavet, Ålands skärgård, Finska viken och egentliga Östersjön pekar på att andelen odlad lax nu är nere på endast 25 % av det totala (WGBAST, 2016). Denna snabba förändring över de senaste 15 åren indikerar att havsöverlevnaden för kompensationsodlad fisk drastiskt har försämrats jämfört med vild lax (Michielsens m fl. 2006; Kallio-Nyberg m fl. 2006; 2011). En liknande nedgång i havsöverlevnad har noterats för havsöring under motsvarande period (Kallio-Nyberg m fl. 2007).

Tidigare studier på odlad laxsmolt har visat på ett positivt samband mellan storlek vid utsättning och havsöverlevnad (Eriksson 1989; Virtanen m fl. 1991; Salminen m fl. 1995; Kallio-Nyberg m fl. 1999; Saloniemi m fl. 2004; Kallio-Nyberg m fl. 2009). Det har föreslagits att en större storlek på odlad smolt kan kompensera för deras generellt sett sämre havsöverlevnad jämfört med vild smolt och därmed utjämna skillnaderna i återvandringsgrad till hemälv (Saloniemi m fl. 2004). Bättre havsöverlevnad blev därför en av drivkrafterna till att producera större smolt i svenska och finska kompensationsodlingar under 1980- och 1990-talen (Kallio-Nyberg m fl. 2009). Den positiva effekten av storlek har dock mer eller mindre försvunnit under 2000-talet (Kallio-Nyberg m fl. 2009). Havsöverlevnaden för kompensationsodlad ettårig smolt i Östersjön är okänd. De stora utvärderingar som genomförts på odlad lax i Östersjön har uteslutande använt tvåårig smolt (Kallio-Nyberg m fl. 2006, 2009, 2011).

Studier på lax och havsöring har visat att fisk med reducerad tillväxt i odlingen vandrar snabbare efter utsättningen (Lans m fl. 2011; Vainikka m fl. 2012), samt att proportionen vandrande fisk ökar (Wysujack m fl. 2009; Lans m fl. 2011; Davidsen m fl. 2014). Norrgård m fl. (2014) visade att odlad laxsmolt med lägre konditionsfaktor i större utsträckning vandrade och lämnade älven än de med hög konditionsfaktor. En svältbehandling under våren innan utsättningen har visat sig ge liknande effekter på vandringsmotivationen hos havsöring (Larsson m fl. 2012).

Det övergripande syftet med denna studie var att följa upp återvandrande lax från den tidigare studien "Funktionella metoder för odling av fysiologiskt naturanpassad laxsmolt" (Alanärrä m fl. 2014). Syftet med det tidigare projektet var att i odling producera en "fysiologiskt vildlik smolt" med avseende på storlek och energireserver.

Den biologiska hypotesen var att mindre smolt med lägre energireserver skulle vara mer motiverade att vandra till havet och väl där snabbare att lära sig att effektivt söka och fånga bytesdjur, vilket i sin tur skulle leda till en bra tillväxt under den första sommaren i havet. Vild smolt har efter en vinter med låg födotillgång små energireserver under våren (Gardiner & Geddes 1980; Berg m fl. 2006), samtidigt som smoltifieringsprocessen och vandringen till havet är energikrävande (Jonsson & Jonsson 2003). De måste därför komma igång med att söka föda direkt de når havet (Levings m fl. 1994; Rikardsen m fl. 2004). De som är i sämst kondition tillbringar sannolikt även tid till att äta under vandring i älven innan de når havet (Larsson m fl. 2011).

De kategorier av smolt som ingick i studien är:

- Tvåårig smolt som inte foderreducerats i odlingen (kontrollgrupp)
- Tvåårig foderreducerad smolt med lägre vikt och energireserver
- Ettårig smolt utan foderreducering
- Vild smolt

Målbilden för den foderreducerade tvååriga smolten var en vikt på ca 50 g och en fetthalt på ca 4 % av kroppsvikten.

Den odlade smolten producerades i Norrfors och Älvkarleby kompensationsodlingar, medan den vilda smolten kom från Vindelälven. För var och en av de fyra grupperna av smolt märktes ca 3000 individer under åren 2011, 2012 och 2013.

2 Material och metod

2.1 FODERBEHANDLING

Dagliga fodergivor beräknades via en metod utvecklad av Alanärä m fl. (2001) och data på laxens energibehov kommer från Alanärä m fl. (2014). Det teoretiska energibehovet kan beräknas enligt följande (TER, kJ per dag):

$$TER = 0.061 \times T^{1.004} \times WE^{0.736}$$

där T (C°) är vattentemperaturen och WE (g) fiskens medelvikt. Det dagliga foderbehovet kan beräknas enligt (FA, g per dag):

$$FA = N \times TER / DE \times R$$

där N är antalet fiskar i odlingsenheten, DE (MJ per kg) fodrets innehåll av smältbar energi och R är en korrigeringsfaktor. Korrigeringsfaktorn för icke foderreducerade grupper (kontroll) sattes till 1,2 vilket innebär 20 % överutfodring. För reducerade grupper under tillväxtsåsongerna 2010 och 2011 användes en justeringsfaktor på 0,7 i Norrfors och Älvkarleby. Under 2012 sänktes justeringsfaktorn till 0,6 för de reducerade grupperna.

I Norrfors användes ett foder med 23 % fett och ett smältbart energiinnehåll på 20,1 MJ per kg, medan fodret i Älvkarleby hade 15 % fett och ett energiinnehåll på 17,8 MJ per kg.

2.2 BERÄKNING AV KONDITIONSFAKTOR

Fulton's konditionsfaktor (KF, Ricker 1975) beräknades enligt följande:

$$K = WE / LE^3 \times 100000$$

där WE är fiskens vikt (g) och LE fiskens längd (mm). Inom vetenskaplig rapportering används vanligen fiskens gaffellängd i beräkningen, eftersom den anses som ett mer stabilt längdmått som inte påverkas av fenskador i lika stor utsträckning som totallängd. Gaffellängd anges som längden från nospetsen till slutet av mittersta stjärtfenstrålen. Längdmätningar genomförda vid odlingarna och i samband med fångst av vild smolt har gjorts på fiskens totala längd. För att omvandla fiskens totallängd till gaffellängd användes följande samband:

$$\text{Ettårig odlad smolt} = 0,9256 \cdot LE_{\text{tot}} + 2,0494$$

$$\text{Tvåårig odlad smolt} = 0,9463 \cdot LE_{\text{tot}} - 1,1685$$

$$\text{Vild smolt} = 0,9091 \cdot LE_{\text{tot}} + 2,7368$$

där LE_{tot} är fiskens totala längd (mm). Om inte annat anges i texten så är konditionsfaktorn beräknat via fiskens gaffellängd.

2.3 MÄRKNING OCH ANTAL UTSATTA SMOLT

Odlad fisk i Umeälven och Dalälven märktes med PIT-tag under mars eller april samma år som de sattes ut. I samband med märkningen noterades om fisken hade varit tidigt köns mogen hösten innan. Efter att ett litet hål gjorts med skalpell fördes märket manuellt in i buken på fisken. Under 2013 användes på försök en märkpistol i Norrfors. Det märke som användes i projektet, Biomark/Allflex (BIO12.B.03/TX708HQ FDX-B), är kompatibelt med ISO Standard 11784 och 11785 och fisk ned till 5 g kan märkas. Totalt märktes 3000 fiskar från varje försöksgrupp och år i Umeälven och Dalälven, utom 2012 då 6000 tvåårig smolt från respektive behandling märktes. Dödligheten av märkt fisk var 2,9 % i Umeälven och 2,3 % i Dalälven, och det var ingen skillnad mellan olika behandlingar.

Vild smolt från Vindelälven fångades i en smoltfälla placerad vid Spöland, ca 13 km uppströms Stornorrfors kraftstation. Ett slumpvist urval av vild smolt märktes dagligen med PIT-tags. Det totala antalet märkt fisk var ca 2000 men varierade något mellan år. Fisken märktes på morgonen, sumpades för återhämtning och sattes ut på eftermiddagen samma dag. Den vilda smolten sattes ut några km ovanför smoltfällan vilket således även innebar transport i en vattentank med bil.

2.4 FENSKADEBEDÖMNING

Inom ramen för projektet prioriterades identifiering av skador på ryggfena, stjärtfena och bröstfenor. Erfarenheter från de odlingar som ingått i projektet är att analfena och bukfenor sällan uppvisar större skador i odling. Detta stöds även av vetenskapliga studier där dessa fenor är mindre skadade jämfört med ryggfena, bröstfenor och stjärtfenor (Turnbull m fl., 1998; Pelis & McCormick, 2003). Graden av fenskadade 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. Inom ramen för projektet förenklades skalan till tre klasser där:

1. Representerade en intakt eller marginellt skadad fena ("Hoyle-skala" 0 & 1)
2. Innebar att upp till 50 % av fenan saknades (2 & 3)
3. Innebar att mer än 50 % av fenan saknades (4 & 5)

I samband med PIT-tag märkningen innan utsättningen på våren bedömdes fenstatus på samtliga märkta fiskar.

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 fenor fick fenindex 3 och en fisk med klass 3 skador på samtliga fenor fick fenindex 9.

2.5 UTSÄTTNING AV ODLAD SMOLT OCH UTVANDRING AV VILD SMOLT

Den vilda smolten i Vindelälven vandrar ut i havet under i huvudsak maj och juni (tabell 1). Toppar i vandringsperioden är till stor del kopplade till flödestoppar i vattenföringen. Under 2011 var det två toppar i antal utvandrande fisk; en mellan 18 maj och 30 maj samt en mellan 8 juni och 16 juni. Även 2012 var det två toppar i

utvandringen; en mellan den 25 maj och 5 juni, samt en mellan 12 juni och 30 juni. Under 2013 var det i huvudsak en topp i utvandringen mellan 18 maj och 1 juni.

Den tvååriga odlade smolten i Umeälven sätts ut runt den 25 maj när vattentemperatur är 8-12°C (tabell 1). Tack vare den snabbare temperaturutvecklingen i Dalälven sätts den tvååriga smolten ut tidigare än i Umeälven men inom samma temperaturintervall (tabell 2). Den ettåriga smoltens utsättningsdatum bestäms efter en besiktning av smoltifieringsgrad, dvs graden av yttre smoltlikt utseende. Fisken bedöms enligt en fyrgradig skala där 0 är en stirr med tydliga stirrfläckar, 1 är en smolt som börjar bli silvrig men fortfarande har tydliga stirrfläckar, 2 är en silvrig smolt med diffusa stirrfläckar och 3 är en silvrig smolt med mörk rygg och mörka fenkanter (för skala se Alanärä m fl. 2014). Laxen bedöms som utsättningsmogen när de nått steg 2 i bedömningsskalan. Tidpunkten för utsättning av ettårig smolt varierar därför relativt mycket mellan år i både Umeälven och Dalälven beroende på när fisken når smoltklass 2 (tabell 1).

Tabell 1. Datum för utsättning från Norrfors kompensationsodling i Umeälven och från Älvkarleby kompensationsodling i Dalälven, samt utvandring av vild fisk från Vindelälven.

Älv	Utsättnings- eller utvandringsår		
	2011	2012	2013
Umeälven			
Ettårig smolt	9 juli	26 juni	17 juni
Tvåårig smolt	24 maj	25 maj	23 maj
Dalälven			
Ettårig smolt	11 maj	22 maj	28 maj
Tvåårig smolt	29 april	10 maj	15 maj
Vindelälven	16 maj – 3 juli	18 maj – 5 juli	16 maj – 21 juni

2.6 REGISTRERING AV ÅTERVANDRANDE LAX

Registreringen av PIT-tags i Umeälven genomfördes vid fyra olika lokaler:

1. Stornorrforfs fisktrappa - automatisk skanning via 14 stycken PIT-tag antenner i trappan
2. Baggböleforsen - automatisk skanning via två fast monterade PIT-tag antenner i forsen
3. Umeälvens mynning – två yrkesfiskare med fasta fällor, handskanning av fångst
4. Nedströms laxtrappan – manuellt poolfiske efter trappans stängning på hösten.

Data på återvandrande lax i Stornorrforfs fisktrappa under åren 2012-2016 användes som referensmaterial till den årliga återvandringen av märkt fisk. I fisktrappan registreras fisk via en så kallad VAKI-räknare, där förutom antal laxar som passerar även typ (odlad/vild), kön (hona/hane) och längd registreras.

Även i Dalälven registrerades PIT-tag märkt fisk på fyra olika lokaler:

1. Centralfisket i Kungsådran – automatisk och manuell skanning.

2. Dalälvens mynning - två stycken yrkesfiskare med fasta fällor, handskanning av fångst
3. Älvkarleby Sportfiske - mätstation där PIT-tag märkt fisk registreras i samband med vägning av fisken.
4. Älvkarleby kraftverk - automatisk skanning via flytande PIT-tag antenner i utloppskanalen från kraftverket (endast under 2015).



Bild 1. De övre bilderna visar nätfiske efter lekmogen lax nedanför Stornorrfors damm, det så kallade poolfisket. All fisk skannas efter PIT-tags (Foto: Anders Alanärä). De nedre bilderna visar laxtrappan i Stornorrfors. Till vänster den så kallade diffusorn där fisk ansamlas innan de vandrar upp i trappan och till höger bilder på PIT-tag antennerna i trappan (Foto: Anders Alanärä).



Bild 2. Den övre bilden visar transportröret från fångstanläggningen i Dalälvens centralfiske till bassängen där fisken skannas efter PIT-tags, vägs och mäts. Notera PIT-tag antennen utanpå röret. Nedre bilden visar fångst och hantering av fisk (Foto: Jörgen Rask).



Bild 3. Den övre bilden visar mätstationen i Dalälven där sportfiskare kan väga, mäta och rapportera sin fångst. Nedre bilden visar den kombinerade mätbrädan och vågen med inbyggd PIT-tag antenn (Foto: Jörgen Rask).



Bild 4. Övre bilden visar vittjning av laxfälla i Umeälvens mynningsområde där fiskaren skannar all lax efter PIT-tags (Foto: Anders Alanärä). Nedre bilden visar de flytande PIT-tag antennerna som monterades i utloppskanalen från en av turbinerna i Älvkarleby. Den totala bredden på de tre antennerna var ca 9 m (Foto: Jörgen Rask).

3 Resultat

I Umeälven var medelvikten på de foderreducerade grupperna 63 g och för kontrollgrupperna 103 g (tabell 2). Mängden kroppsfett hos de foderreducerade fiskarna var i genomsnitt 7,1 % av kroppsvikten och hos kontrollfiskerna 7,6 %. I Dalälven låg medelvikten på de foderreducerade fiskarna på 78 g och 133 g för kontrollgrupperna (tabell 2). Fetthalten hos foderreducerade fiskar var i genomsnitt 4,3 % av kroppsvikten medan kontrollfiskar låg på 5,9 %. Ettårig smolt från Umeälven vägde i genomsnitt 43 g och hade en fetthalt på 8,8 %. Motsvarande siffror för ettårig smolt från Dalälven var 23 g respektive 4,8 % fett. Se Alanärrä m fl. (2014) för mer detaljer rörande resultaten från odlingsförsöken. Den vilda smolten från Vindelälven väger i genomsnitt 24 g och har en konditionsfaktor på 0,90.

I Umeälven stod PIT-tag antennerna i laxtrappan för den övervägande delen av alla registreringar (tabell 3). PIT-tag antennerna i Baggböleforsen var endast i bruk under 2013 och 2014 men gav under det året ett relativt stort antal unika registreringar. Yrkesfisket i Umeälvens mynningsområde gav få märkta fiskar, liksom nätfisket efter lax nedströms fisktrappan efter dess stängning i början av oktober (tabell 3).

I Dalälven var centralfisket i Kungsådran den viktigaste platsen för registrering av märkt fisk (tabell 3). Efter att fångstanläggningen vittjats skickades fisken i en rörledning till sorteringscentralen. Rörledning är försedd med en PIT-tag antenn så att alla fiskar som kommer in i sorteringscentralen registreras. I sorteringscentralen skannades de flesta fiskar även manuellt i samband med vägning och diverse mätningar. Försöket med flytande antenner i utloppskanalen från kraftverket gav endast en registrering av märkt fisk men platsen bör utredas vidare ifall uppföljning av märkt fisk skall fortsätta. Mätstationen för sportfisket i Dalälven gav en del registrering och är en viktig plats med tanke på det stora antalet laxar som fångas. I likhet med Umeälven så gav yrkesfisket i mynningsområdet relativt få fångster av märkt fisk.

Tabell 2. Medelvikt, medellängd (gaffel-längd), konditionsfaktor, fetthalt och andel tidigt könsmogna hannar för olika årsklasser och älvar.

Odling/foderbehandling	År	Vikt (g)	Längd (mm)	Kond. faktor	Fetthalt (%)	Könsmogna hannar (%)
Norrfors Umeälven						
Tvåårig smolt kontroll	2011	104	210	1,13	8,1	9,6
	2012	99	207	1,14	6,7	33,0
	2013	106	212	1,12	8,1	15,7
Tvåårig smolt Foderreducerad	2011	71	186	1,10	7,3	12,7
	2012	51	169	1,09	6,6	36,8
	2013	66	184	1,07	7,5	14,4
Ettåring smolt	2011	57	162	1,34	-	0,0
	2012	42	151	1,21	7,9	1,2
	2013	30	136	1,19	9,8	0,1
Älvkarleby Dalälven						
Tvåårig smolt kontroll	2011	113	212	1,37	6,3	15,4
	2012	151	237	1,26	5,7	71,9
	2013	135	233	1,22	5,6	56,5
Tvåårig smolt Foderreducerad	2011	90	201	1,27	3,8	24,5
	2012	55	178	1,09	5,3	51,0
	2013	89	196	1,30	3,8	13,4
Ettåring smolt	2011	15	112	1,07	4,7	0,0
	2012	27	133	1,15	4,7	0,0
	2013	27	132	1,17	5,1	0,7
Vild smolt Vindelälven						
	2011	25	147	0,95		
	2012	24	145	0,91		
	2013	23	142	0,85		

Tabell 3. Sammanställning av det totala antalet registrerade fiskar vid olika fångstlokaler eller PIT-tag läsare i Umeälven (vild och odlad) och Dalälven under 2012-2016. Notera att antalet fiskar registrerade vid Baggböle PIT-tag antenn är unika individer som inte senare registrerades i fisktrappan.

Registreringslokal	Umeälven	Dalälven
Älvmyrning	22	12
Baggböle	205	-
Poolfiske / Sportfiske	15	13
Trappan/Centralfisket	522	51
Kanal kraftverk	-	1
Totalt	764	77

I Umeälven resulterade inte foderreduktionen i några skillnader i andel tidigt könsmogna tvååriga hannar, i genomsnitt 19 % i kontrollgrupp och 21 % i foderreducerade grupper (tabell 2). Andelen tidigt könsmogna hannar bland ettårig fisk var endast 0,4 % i genomsnitt. I Dalälven var andel tidigt könsmogna tvååriga hannar högre inom kontrollgrupperna (48 %) jämfört med de foderreducerade grupperna (30 %). I likhet med Umeälven var andelen könsmogna hannar bland ettårig fisk i Dalälven mycket låg (0,2 %).

Havsöverlevnaden för hannar som var könsmogna hösten innan utsättning var generellt låg i både Umeälven och Dalälven. I Umeälven återvandre ingen ettårig smolt som varit köns mogen och havsöverlevnad hos tvååriga tidigt könsmogna hannar var lägre jämfört med omogna fiskar (tabell 4). Inga tidigt könsmogna hannar återvände från havet i Dalälven (tabell 4).

Tabell 4. Havsöverlevnad för fiskar som på hösten innan utsättning var antingen icke könsmogna eller könsmogna (hannar). T-test användes för att testa skillnader mellan omogna och könsmogna fiskar.

	Havsöverlevnad (%)			
Älv	Omogna	Könsmogna	t-värde	P-värde
Umeälven				
Ettårig smolt	0,53 ± 0,42	0	-	-
Tvåårig smolt	1,55 ± 0,24	0,60 ± 0,57	2,65	0,057
Dalälven				
Ettårig smolt	0,45 ± 0,24	0	-	-
Tvåårig smolt	0,28 ± 0,10	0	-	-

I den fortsatta presentationen av data på havsöverlevnad kommer alla hannar som varit könsmogna innan utsättning att plockas bort.

Totalt antal registrerade återvandrande laxar var 363 i Umeälven, 77 i Dalälven och 252 i Vindelälven. Havsöverlevnaden var signifikant högre hos den vilda laxen från Vindelälven jämfört med de odlade från Umeälven och Dalälven (Nominell logistisk test, $P < 0,001$, tabell 5). Havsöverlevnaden var även signifikant högre för Umeälvs lax jämfört med Dalälvs lax (Nominell logistisk test, $P < 0,001$), i genomsnitt ca 3,6 ggr högre. Det var även signifikanta skillnader i total havsöverlevnad mellan år (Nominell logistisk test, $P < 0,001$), där antalet återvandrande laxar för utsättningen 2013 var signifikant lägre jämfört med utsättningarna 2011 och 2012 (Nominell logistisk test, Odds ratio post hoc test, $P < 0,001$).

Tabell 5. Total havsöverlevnad (%) för smolt från Umeälven, Dalälven och Vindelälven som vandrat ut i havet olika år samt i genomsnitt.

Älv	2011	2012	2013	Medeltal
Umeälven	1,27	1,52	0,91	1,23
Dalälven	0,23	0,33	0,45	0,34
Vindelälven	5,26	4,56	1,68	3,83

Det var ingen skillnad i havsöverlevnad mellan tvåårig kontrollfisk och foderreducerad fisk i Umeälven (tabell 6). Ettårig smolt hade signifikant sämre havsöverlevnad jämfört med tvåårig smolt i Umeälven. I Dalälven var det ingen skillnad i havsöverlevnad mellan försöksgrupperna (tabell 6).

Den tvååriga smolten från Umeälven, både kontroll och foderreducerad, hade högre havsöverlevnad jämfört med motsvarande grupper från Dalälven (tabell 6). Däremot var det ingen skillnad i havsöverlevnad för ettårig smolt mellan Umeälven och Dalälven (Tabell 6).

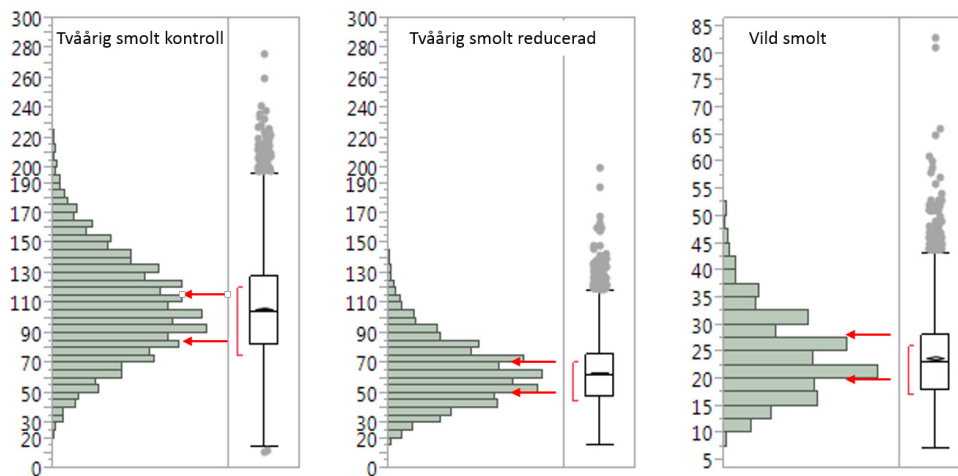
Tabell 6. Havsöverlevnad för smolt av olika ålder och med olika foderbehandlings i Umeälven och Dalälven. ANOVA användes för att testa skillnader mellan behandlingar och T-test användes för att testa skillnader i havsöverlevnad mellan älvar. Olika upphöjda bokstäver anger signifikanta skillnader mellan grupper.

Älv	Tvåårig smolt		Ettårig smolt	F-värde	P-värde
	Kontroll	Reducerad			
Umeälven	1,54 ± 0,04 ^a	1,55 ± 0,12 ^a	0,51 ± 0,42 ^b	16,19	0,004
Dalälven	0,24 ± 0,15	0,34 ± 0,21	0,47 ± 0,30	0,75	0,513
t-värde	14,47	8,80	0,16		
P-värde	<0,001	<0,001	0,881		

Storleksvariationen för tvåårig smolt från Umeälven inom respektive foderbehandling var mycket stor (figur 1). Denna variation används till en fördjupad analys av effekten av smoltens storlek vid utsättning på havsöverlevnad. Inom respektive foderbehandling delades tvåårig smolt från Umeälven upp i tre ungefärligt lika stora delar baserat på deras vikt vid märkning (pilarna i figur 1 indikerar brytpunkter för storleksklasserna). Samma indelning i klasser gjordes även för vild smolt från Vindelälven (figur 1).

På grund av den låga andelen återvandrande tvåårig fisk, delas datamaterialet för foderreducerade grupper och kontrollgrupper från Dalälven upp två lika grupper, d v s smolt mindre eller större än medianvärdet.

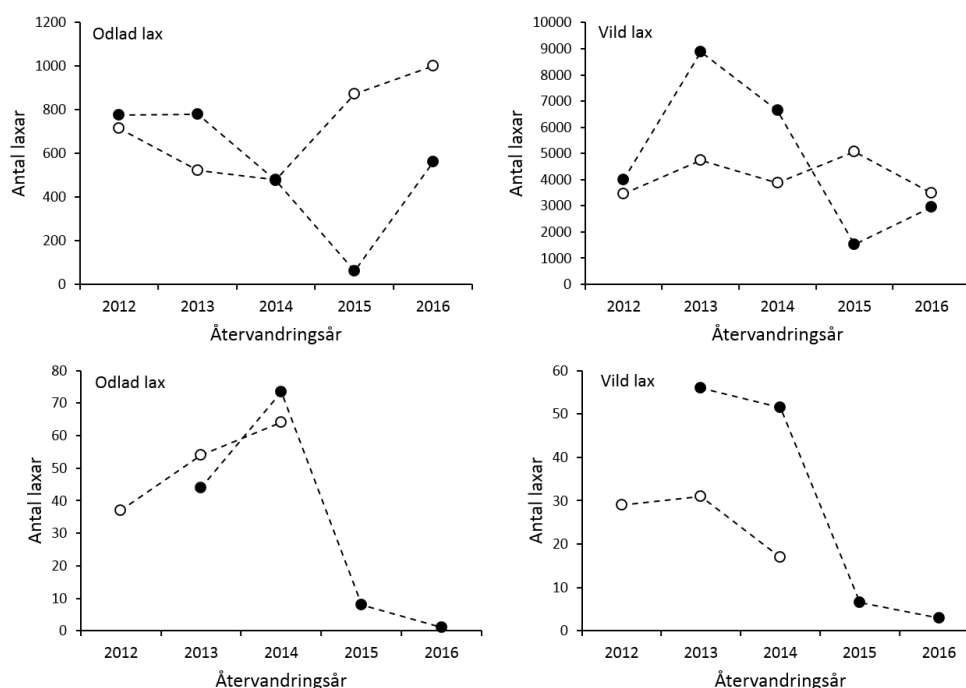
Havsöverlevnaden beräknades därefter på andelen återvändande lax inom varje storleksklass.



Figur 1. Indelning i storleksklasser för tvåårig smolt från Umeälven (kontrollgrupper och foderreducerade grupper), samt vild smolt från Vindelälven. Skalan till vänster anger fisken vikt. Storleksklasserna för kontrollgruppen var <90 g, 90-120 g, samt >120. För foderreducerade grupper var klassindelningen <50 g, 50-80 g, samt >80 g. Storleksklasserna för vild smolt var <20 g, 20-30 g, samt >30 g. Röda pilar visar ungefärliga klassgränser.

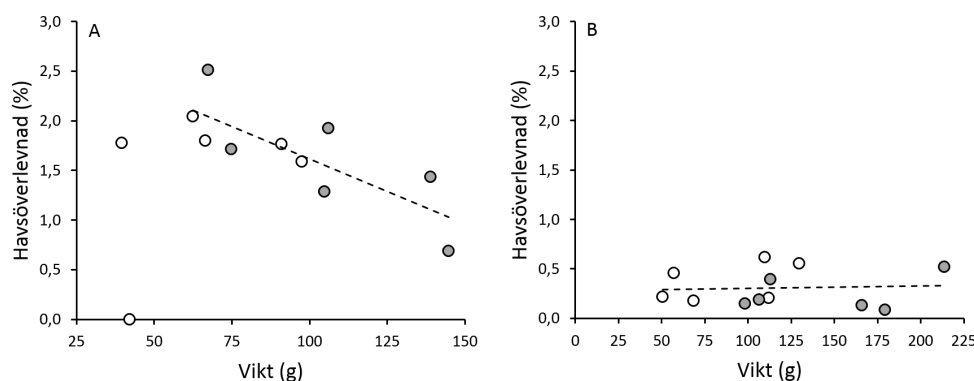
Data från fisktrappan i Stornorrforss på odlad och vild fisk med två eller tre havsvintrar indikerar en stark minskning av det totala antalet återvandrande lax från 2013 till 2015 (figur 2). Den totala återvandringen av lax med en havsvinter uppvisar inte samma negativa trend utan är relativt lika mellan åren för både odlad och vild lax (figur 2). Ett liknande mönster kan ses för de PIT-tag märkta fiskarna i Umeälven respektive Vindelälven (figur 2). Antalet PIT-tag märkta laxar som återvandrar som grills de olika åren är relativt lika medan andelen märkt lax med två eller tre havsvintrar minskar kraftigt under 2015 och 2016. Lax som sattes eller vandrade ut 2013 påverkas således kraftigt av den låga havsöverlevnaden och i princip var det nästan bara grills som återvandrade under 2014 medan individer med två eller tre havsvintrar till stor del saknas. I den fortsatta analysen av smoltstorlek kontra havsöverlevnad för Umeälvs- och Vindelälvs lax används endast data från utsättnings- eller utvandringsåren 2011 och 2012.

I Dalälven finns inga större skillnader i återvandring beroende på utsättningsår utan här ingår alla tre åren.



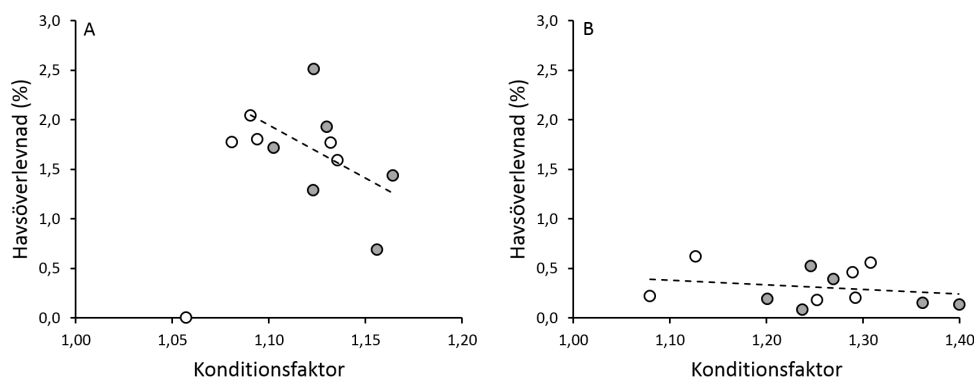
Figur 2. De övre figurerna visar totalt antal odlade respektive vilda laxar som registrerats i VAKI-räknaren i fisktrappan i Stornorrforss under perioden 2012-2016. De nedre figurerna visar antal PIT-tag märkta odlade respektive vilda laxar som registrerats i fisktrappan under samma period. Vita symboler anger fisk med en havsvinter (grills) och svarta symboler fisk med två eller tre havsvintrar.

I figur 3 visas havsöverlevnaden för tvåårig smolt från Umeälven indelade i olika storleksklasser enligt figur 1. Den minsta storleksklassen (<50 g) av foderreducerad smolt uppvisar ett avvikande resultat från de övriga storleksklasserna. Från utsättningen 2011 sker ingen återvandring från havet medan hela 1,8 % återvandrar från utsättningen 2012. Denna storlekskategori hålls därför utanför den statistiska analysen. Det finns ett signifikant negativt samband mellan kroppsvikt och havsöverlevnad för smolt från Umeälven (linjär regression; $P=0,007$). Foderreducerad smolt i storleksklassen 51-80 g har 2,0 ggr högre chans att överleva havsvistelsen jämfört med kontrollfisk större än 120 g (nominell logistisk test, odds ratio, $P=0,005$). Den minsta storleksklassen bland kontrollfisk (<90 g) har 2,1 ggr högre chans att överleva havet jämfört med smolt större än 120 g (nominell logistisk test, odds ratio, $P=0,004$). Merparten av smolt med den bästa havsöverlevnaden ligger i storleksintervallet 60-90 g eller 180-200 mm. Motsvarande analys för smolt från Dalälven uppvisar inga samband mellan smoltstorlek och havsöverlevnad (figur 3, linjär regression, $P=0,846$).



Figur 3. (A) Samband mellan medelvikt inom storleksklass och havsöverlevnad för tvåårig smolt från Umeälven. Notera att den minsta storleksklassen av foderreducerad smolt inte ingår i regressionslinjen. Data från utsättningarna 2011 och 2012. (B) Samband mellan medelvikt inom storleksklass och havsöverlevnad för tvåårig smolt från Dalälven. Data från utsättningarna 2011, 2012 och 2013. Vit symbol är tvåårig foderreducerad smolt och grå symbol tvåårig smolt kontroll.

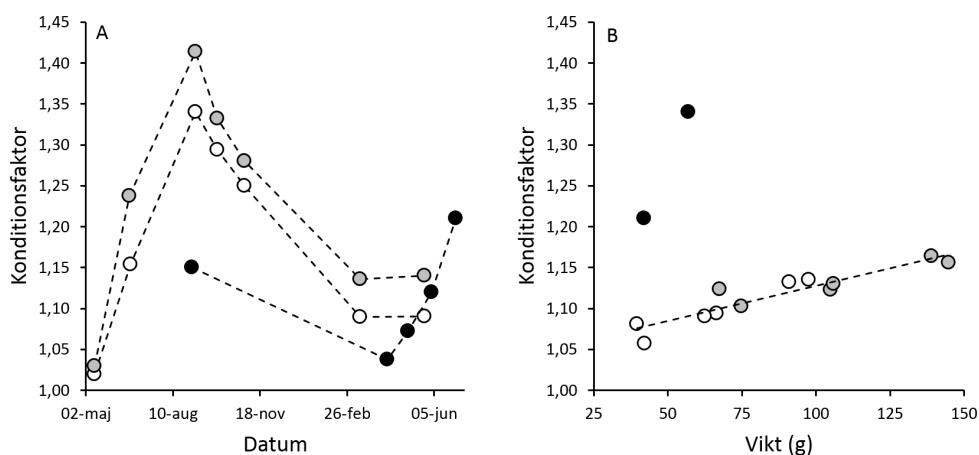
Smolt från Umeälven med låg konditionsfaktor tenderar att ha högre havsöverlevnad än smolt med hög konditionsfaktor (figur 4), men det sambandet är inte signifikant säkert (linjär regression, $P=0,074$). Variationen i konditionsfaktor mellan storleksklasser är dock relativt liten. I data från Dalälven finns inga tecken på samband mellan konditionsfaktor och havsöverlevnad (figur 4, linjär regression, $P=0,478$).



Figur 4. (A) Samband mellan genomsnittlig konditionsfaktor inom storleksklass och havsöverlevnad för tvåårig smolt från Umeälven. Notera att den minsta storleksklassen av foderreducerad smolt inte ingår i regressionslinjen. Data från utsättningarna 2011 och 2012. (B) Samband mellan genomsnittlig konditionsfaktor inom storleksklass och havsöverlevnad för tvåårig smolt från Dalälven. Data från utsättningarna 2011, 2012 och 2013. Vit symbol är tvåårig foderreducerad smolt och grå symbol tvåårig smolt kontroll.

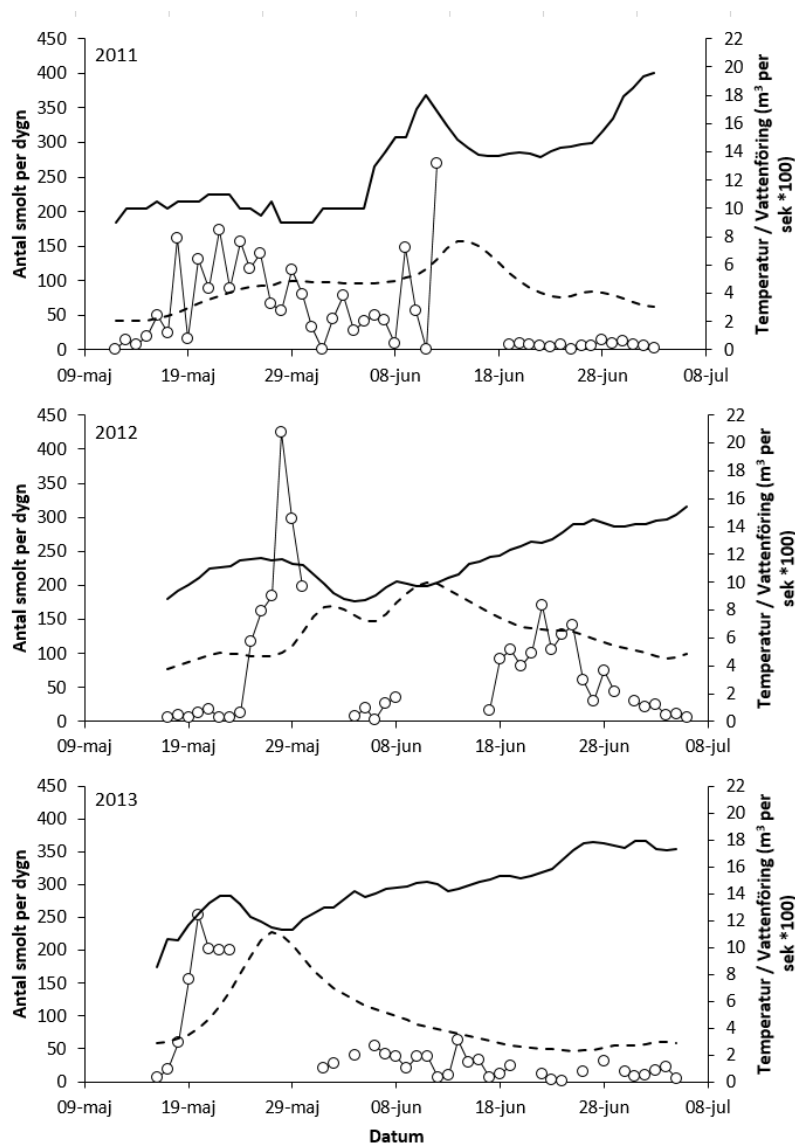
Den smolt som skall sättas ut som tvåårig har en låg konditionsfaktor vid starten av den andra sommaren (figur 5). Under sommaren fram till september sker en dramatisk ökning av konditionsfaktorn som i huvudsak beror på muskeltillväxt och fettinlagring. Mot slutet av september minskar aptiten och fisken förbereder sig för vintern. Det innebär att de börjar förbränna den lagrade energin och fram emot utsättningen i maj har konditionsfaktorn drastiskt minskat (figur 5).

Mönstret är detsamma för foderreducerad fisk och kontrollfisk, men nivån ligger något lägre för den foderreducerade fisken. Smolt som sätts ut efter ett år i odling har en annorlunda utveckling av konditionsfaktorn (Figur 5). Efter den första sommaren har de i jämförelse med smolt som är inne på sin andra sommar en avsevärt lägre konditionsfaktor, vilken reduceras ytterligare under vintern fram emot våren. I början av maj när vattentemperaturen börjar stiga sker dock en dramatisk ökning av muskeltillväxt och anrikning av fett, vilket gör att de når en klart högre konditionsfaktor vid utsättningen i jämförelse med tvåårig smolt. För den tvååriga odlade smolten från Umeälven finns ett starkt samband mellan vikt och konditionsfaktor i april (figur 5). Smolt med den högsta havsöverlevnaden, 60-90 g, har en konditionsfaktor på ca 1,1 (gaffellängd) eller 0,92 (totallängd), medan den största kategorin av smolt har 1,16 i konditionsfaktor. Konditionsfaktorn för ettårig smolt avviker kraftigt från den tvååriga, 1,21 respektive 1,34.



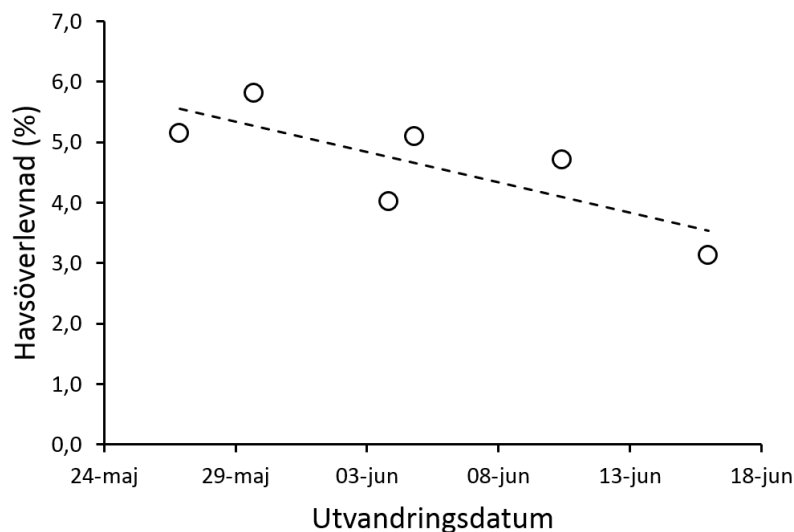
Figur 5. (A) Konditionsfaktorns utveckling över en odlingsäsong och vinter fram till utsättning (konditionsfaktor beräknat på fiskens gaffellängd). Data från utsättningsomgången 2012. Vit symbol är tvåårig foderreducerad smolt, grå symbol tvåårig smolt kontroll, samt svart symbol är ettårig smolt som inte foderreducerats. (B) Samband mellan vikt och konditionsfaktor vid utsättning för smolt från Umeälven. Data från utsättningsarna 2011 och 2012.

Smoltvandringen för den vilda laxen från Vindelälven pågår under ca två månader med start i början av maj och avslutas i början av juli (figur 6). Under åren 2011 till 2013 finns en tydlig topp i vandringen från den 18 maj till början av juni. Temperaturen under den perioden är ca 10°C samtidigt som det sker en ökning av vattenflödet i älven. Ett problem med smoltfällan är att dess känslighet för höga vattenflöden. När flödet överskrider ca 600 m³ per sekund måste fällan demonteras och tas upp på land. Sannolikt missar vi toppen i vandringsaktivitet på grund av detta. Under 2011 och 2012 sker en flödesökning även i mitten av juni som är kopplad till snösmältningen i fjällen, vilket i sin tur leder till två toppar i smoltvandring (figur 6). Under 2013 finns endast en tydlig topp i flöde och smoltvandring.



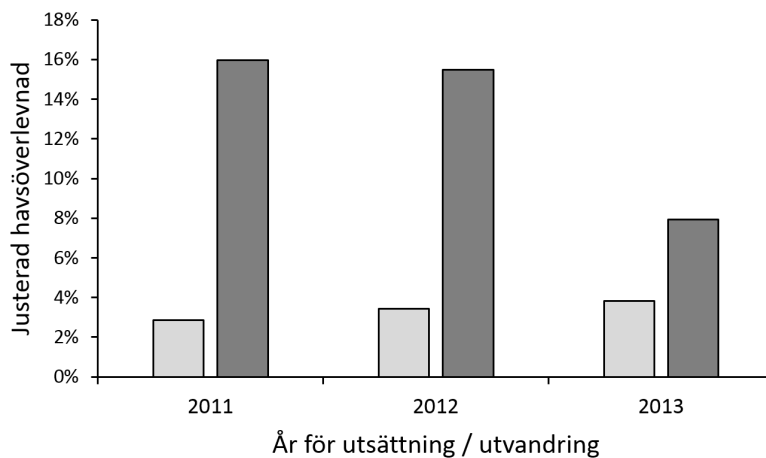
Figur 6. Samband mellan antal smolt som fångades i smoltfällan vid Spöland i Vindelälven (vita cirklar), vattentemperatur (heldragen linje), samt vattenflöde i älven (streckad linje, mätstation Granåker) under 2011-2013. Notera att smoltfällan sätts ut i mitten av maj varvid smolt som vandrar tidigt inte registreras.

Den vilda smolten från Vindelälven uppvisar inget statistiskt signifikant samband mellan datum för utvandring och havsöverlevnad (figur 7, linjär regression, $P=0,066$), men det finns en tendens att de som vandrar ut tidigt har något högre havsöverlevnad.



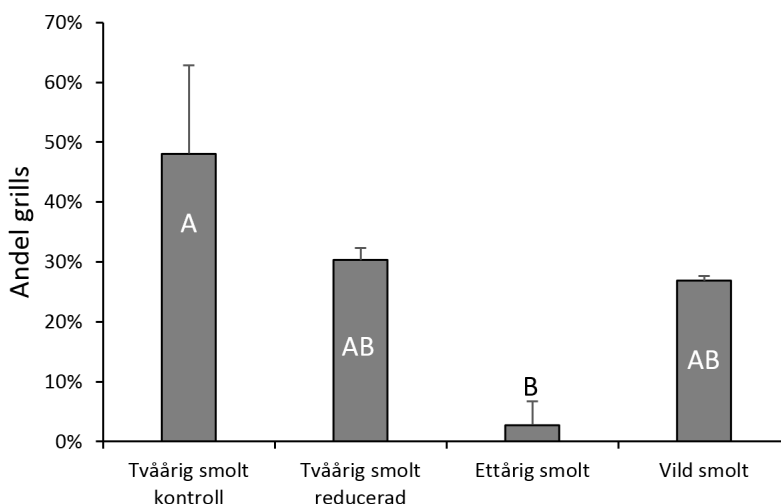
Figur 7. Samband mellan datum för smoltutvandring och havsöverlevnad för vild lax från Vindelälven. Data från utvandringen 2011 respektive 2012.

All fisk som återvandrar till Umeälven efter en tid i havet når inte upp till fisktrappan i Stornorrfors utan blir kvar i älven nedanför dammen. Huvudorsaken till detta är att laxen har problem med att vandra upp i gamla älvfåran som leder till fisktrappan. Inom ramen för ICES arbete med att skatta den totala uppvandringen av lax till Vindelälven har andelen lax som når fisktrappan beräknats till 31 % i genomsnitt för perioden 2012-2016 (ICES 2016). Skattningen bygger på vild lax som fångas i yrkesfisket vid kusten och märks med sändare. I figur 8 har antalet odlade och vilda laxar som registrerats vid PIT-tag antennerna i fisktrappan justerats baserat på antalet som teoretiskt inte nådde trappan de aktuella åren. För den odlade Umeälvlaxen ligger den justerade havsöverlevnaden på 3,4 % i genomsnitt och skillnaden mellan utsättningsår är liten. Att havsöverlevnaden för odlad fisk ligger så högt för utsättningsåret 2013 beror på en hög andel grills (se även figur 2). Den vilda laxen från Vindelälven som vandrade ut 2011 och 2012 har en justerad havsöverlevnad på 16 % i medeltal, men havsöverlevnaden är halverad för de som vandrade ut 2013. Notera att skattningen på total havsöverlevnad för odlad lax bygger på uppvandlingsframgång för vild lax. Den odlade laxen har troligen en lägre andel individer som simmar upp i trappan jämfört med vild lax. Under 2013 PIT-tag märktes både vild och odlad vuxen lax vid kusten i Obbola (Leonardsson m fl. 2013). Av de vilda laxarna registrerades 54 % i fisktrappan medan endast 15 % av de odlade laxarna vandrade hela vägen till trappan. Orsaken till denna skillnad är troligen att odlad fisk är "hemma" när de når vattenutloppet från odlingen som ligger nedanför trappan. Skattningen av total havsöverlevnad är därför sannolikt underskattat för odlad lax.



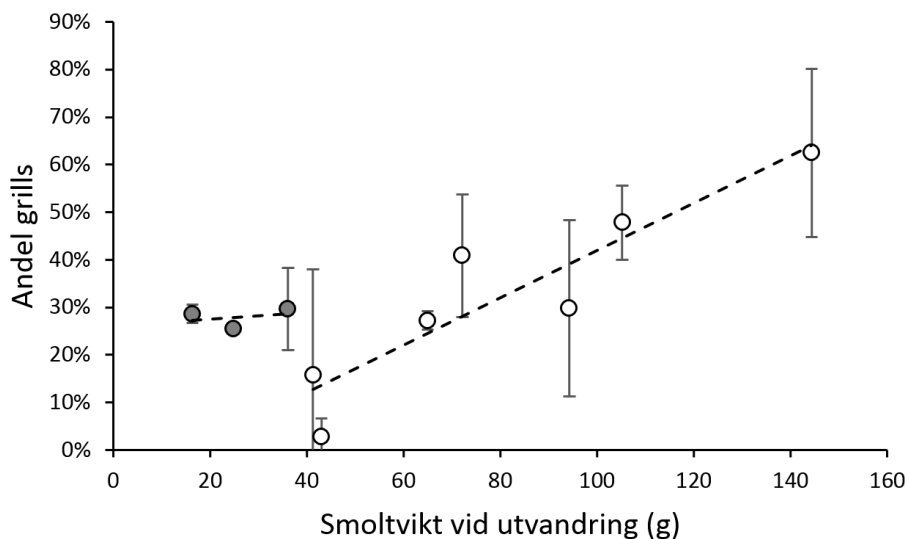
Figur 8. Justerad havsöverlevnad för kompensationsodlad lax från Umeälven (ljusgrå staplar) och vild lax från Vindelälven (mörkgrå staplar). Data bygger på registreringar av PIT-tag märkt lax i Stornorrforss fisktrappa, samt på data över andelen fisk som registrerats i älven men inte vandrar hela vägen upp i trappan under perioden 2012-2016 (ICES 2016).

För att analysera hur tillväxtförhållandena i odling inverkar på ålder vid könsmodnaden används data på andel grills från utsättningarna 2011 och 2012, d v s könsmodnaden efter en vinter i havet. Resultaten visar att det finns en signifikant effekt av behandling i odling (ANOVA, $P=0,019$). Ettårig smolt har signifikant lägre andel grills jämfört med tvåårig smolt (kontroll), men är inte skild från foderreducerad tvåårig smolt eller vild smolt (figur 9). Foderreducerad tvåårig smolt har lägre andel grills jämfört med kontrollgruppen, men skillnaden är inte statistiskt säkerställd. Andelen grills bland de foderreducerade tvååringarna är relativt lika den för vild lax (figur 9).



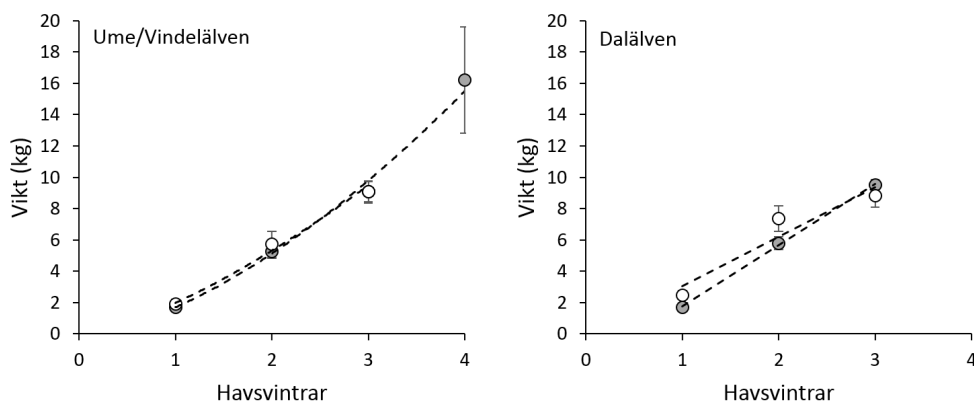
Figur 9. Andel grills (medel + standardavvikelse) i återvandringen från olika behandlingar. Skilda bokstäver i staplarna anger signifikanta skillnader mellan behandlingar (ANOVA, Tukey Post Hoc test). Data för 2013 tas bort på grund av låg överlevnad för individer med två eller tre havsvintrar, vilket ger oproportionerligt hög andel grills.

Det finns ett signifikant positivt samband mellan smoltvikt vid utvandring och andel grills för odlad lax (figur 10; linjär regression, $P < 0,001$). För den vilda laxen finns inget samband mellan storlek och andel grills (linjär regression, $P = 0,741$).



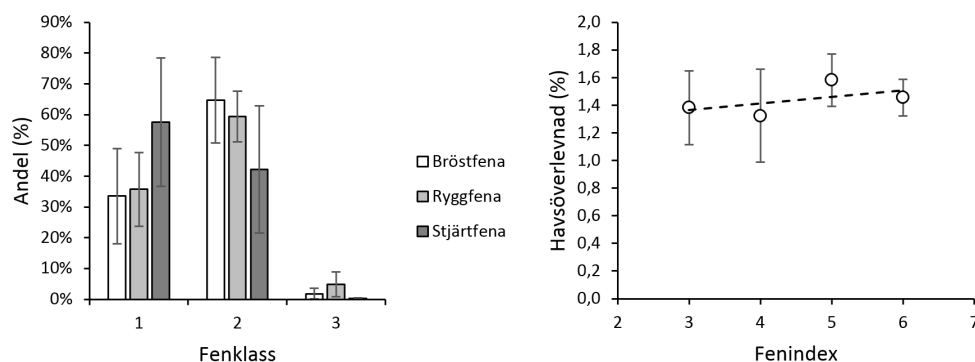
Figur 10. Samband mellan smoltens storlek vid utvandring till havet och andel grills bland återvändande lax från havet. Foderbehandlingarna uppdelade i storleksklasser enligt figur 1. Grå cirklar anger vild smolt från Vindelälven och vita cirklar odlad ett- och tvåårig smolt från Umeälven. Medelvärden ($\pm$ SD) för två utvandringsår (2011 och 2012). Data för 2013 tas bort på grund av låg överlevnad för individer med två eller tre havsvintrar, vilket ger oproportionerligt hög andel grills.

Tillväxten i havet är mycket lika mellan lax från Umeälven, Vindelälven och Dalälven (figur 11). Det finns en tendens i data från Dalälven att ettårig smolt är något mindre än tvåårig smolt efter en respektive två havsvintrar. I genomsnitt är laxen vid återvandring till hem älv 2 kg efter en havsvinter, 6 kg efter två havsvintrar och 9 kg efter tre havsvintrar. Fyra havsvintrar är relativt ovanligt men data från Vindelälven indikerar en medelvikt på ca 16 kg.



Figur 11. Samband mellan antal havsvintrar och vikt vid återvandring till hemälv. Uppgifter på laxens vikt i Ume- och Vindelälven kommer från den så kallade fjälldatabasen (SLU). Bestämning av antal havsvintrar baseras på fjäll-läsning för perioden 1998-2007 med totalt 466 laxar från Umeälven (vita cirklar) och 924 individer från Vindelälven (grå cirklar). Data över laxens vikt på från Dalälven bygger på återfångad ettårig smolt ($n=24$, grå cirklar) och tvåårig smolt ($n=26$, vita cirklar) från projektet.

Fenklassen hos tvåårig smolt från Umeälven domineras av klass 1 och 2 status för samtliga fenor (figur 12). Mycket få individer uppvisade fenklass 3 vilket innebär kraftigt skadade fenor. Det finns inget samband mellan fenindex och havsöverlevnad hos tvåårig smolt från Umeälven (figur 12, ANOVA, $P=0,056$).



Figur 12. Fördelning av skador på bröstfena, ryggfena och stjärtfena hos tvåårig smolt från Umeälven uppdelat i tre fenklasser. Medelvärde för årsklasser och standardavvikelse. Figuren till höger visar sambandet mellan fenindex och havsöverlevnad som ett genomsnitt mellan utsättningsår. Eftersom mycket få individer hade sämre fenindex än 6 slås individer med index 7, 8 respektive 9 ihop med index 6.

Av den smolt som hade god status på ryggfenan vid utsättningen i Dalälven hade drygt hälften av de som återvandrade även god status, men 44 % av fiskarna har försämrad fenstatus (tabell 7). En relativt stor andel lax som hade medelgod status på ryggfenan vid utsättningen har bättre fenstatus vid återvandringen. En liten andel har försämrad fenstatus. Av smolten med dålig status på ryggfenan vid utsättningen så har 63 % förbättrad status och 37 % fortsatt dålig status vid återvandringen till Dalälven (tabell 7).

Tabell 7. Ryggfenans statusklassning vid återvandring till Dalälven i relation till klassning vid utsättning. Totalt ingår 45 fiskar från Dalälven i analysen, varav 14 som återvandrade 2013, 27 från 2014, samt 4 från 2015. Notera att fenklass vid märkning är ca 2-3 månader före utsättning.

Fenklass vid märkning	Fenklass vid återvandring		
	God	Medel	Dålig
God (klass 1)	56 %	38 %	6 %
Medel (klass 2)	60 %	30 %	10 %
Dålig (klass 3)	21 %	42 %	37 %

4 Diskussion

4.1 EFFEKT AV ÅLDER OCH STORLEK

Den uteblivna effekten av foderbehandling kan förklaras av att den minsta kategorin foderreducerad fisk hade sämre havsöverlevnad, samtidigt som den största kategorin av kontrollfisk hade låg havsöverlevnad. Den genomsnittliga havsöverlevnaden för de två försöksgrupperna blev då lika. Genom att dela upp försöksgrupperna i tre delar baserat på vikt vid utsättningen framkommer ett mönster som visar att laxsmoltens storlek och kondition har betydelse för havsöverlevnaden. Tvåårig smolt från Umeälven som vid utvandringen till havet var i storleksintervallet 60-90 g eller 180-200 mm och hade en konditionsfaktor på ca 1,1 har den högsta havsöverlevnaden. Den största fraktionen av tvåårig foderreducerad smolt (>120 g) har signifikant lägre havsöverlevnad jämfört med smolt i storleksintervallet 60-90 g. Resultaten från denna studie verifierar därmed slutsatsen av Kallio-Nyberg m fl. (2009) att det positiva sambandet mellan storlek på odlad smolt och havsöverlevnad som tidigare observerats idag saknas. Den positiva effekten av ökad storlek på överlevnad har tidigare förklarats av lägre risk för predation (Salminen m fl. 1995; Hyvärinen & Vehanen 2004) och en bättre förmåga att nyttja tillgängliga födoresurser efter utsättning (Vehanen m fl. 1993; Salminen m fl. 2001).

Variationen i havsöverlevnad för den minsta kategorin av tvåårig smolt (<50 g) var extremt stor mellan år. Från utsättningen 2011 återvandrade ingen smolt som var mindre än 50 g, medan 35 stycken eller 1,8 % återvandrade 2012, vilket är i paritet med smolt i storleken 50-90 g. Vad som orsakade denna mellanårsvariation är oklart. En faktor som bör beaktas är huruvida det finns en nedre gräns i storlek och kondition som beroende på förutsättningarna i havet kan inverka negativt på havsöverlevnaden. Odlad fisk behöver sannolikt en större mängd lagrad energi med sig jämfört med vild smolt för att kompensera för brister i födoeffektivitet under den första tiden i havet.

Tidigare studier på havsöverlevnad hos kompensationsodlad lax i Östersjön har uteslutande gjorts på tvåårig smolt. Det saknas kunskap om den ettåriga smoltens överlevnad i havet, vilket är oroande med tanke på att andelen ettårig smolt som sätts ut från svenska kompensationsodlingar ökat från noll till 70 % de senaste 15 åren. Resultaten från denna studie visar att ettårig smolt från Umeälven har klart lägre havsöverlevnad jämfört med tvåårig smolt i storleksintervallet 50-120 g. Den huvudsakliga effekten av ålder är sannolikt kopplad till fiskens storlek och energistatus på hösten innan smoltifiering och på våren innan utsättning.

För det första så startar smoltifieringsprocessen hos lax under tidig höst när fisken når ett så kallat "tröskelvärde" vad gäller tillväxt och energistatus (Metcalf m fl. 1988; Thorpe m fl. 1998). Individer som når detta tröskelvärde kommer att fortsätta växa bra under hösten och smoltifiera till våren, medan övriga individer drar ner på födoaktiviteten och inte blir smolt till våren (Metcalf m fl. 1988; McCormick m fl. 1998). I Norrfors kompensationsodling sorteras laxen i tre storleksklasser under sensommar eller tidig höst efter första odlings säsongen. Den största fraktionen av fisk antas bli ettårig smolt, medan minsta och mellan sortering går vidare i

odlingen som tvåårig smolt. Efter sortering väger den största fraktionen av fisk i medeltal 10-12 g på hösten. Om denna storleksgräns är tillräcklig för att merparten av populationen skall utvecklas till smolt är dock okänt. En förklaring till dåliga havsöverlevnaden hos ettårig smolt kan därför vara att en andel av fisken aldrig blev smolt utan stannar kvar i älven efter utsättning. Kesler m fl. (2013) visade t ex att odlad ettårig smolt som stannar i älven efter utsättning har låg överlevnad troligen på grund av hög predation.

För det andra så skiljer sig hanteringen av den ettåriga smolten i odlingen innan utsättning på en rad punkter från den tvååriga smolten. All smolt som sätts ut från svenska kompensationsodlingar skall godkännas av ansvarig tillsynsmyndighet (Länsstyrelsen). Det innebär att den ettåriga smolten inte sätts ut förrän de uppnått de vedertagna riktlinjer som Länsstyrelsen använder, vilket i Umeälven innebär att utsättningen genomförs avsevärt senare än för tvåårig smolt. Från början av maj när vattentemperaturen snabbt stiger och fram till utsättningen sker en avsevärd tillväxtökning för ettårig smolt. Under de ca 2 månader som vattentemperaturen medger god tillväxt ökar den ettåriga smolten från Norrfors kompensationsodling i genomsnitt 3,3 ggr i vikt. De ökar även sin konditionsfaktor från 0,96 i april till ca 1,3 i samband med utsättningen. Detta kan jämföras med den tvååriga smolten som tappar i vikt och kondition innan utsättning trots några veckor med goda tillväxtmöjligheter i maj. Vi har således en ettårig smolt som sätts ut senare och har genomgått en dramatisk tillväxtökning, samt lagt på sig stora mängder fettreserver innan utsättning. Omvänt en tvåårig smolt som tappar i kondition under hela vintern och våren. Det kan inte uteslutas att denna stora skillnad i utsättningsstid och tillväxtmönster kan inverka på vandringsmotivation i älven och beteende när de når havet. Med tanke på den stora andelen ettårig smolt från svenska kompensationsodlingar behövs mer studier där sambandet mellan storlek, energireserver, samt kriterier för sortering och tid för utsättning utvärderas.

Storleksmässigt var den tvååriga smolten från Norrfors kompensationsodling i Umeälven relativt nära målet på 50 g, men fettreserverna överskred rejält målet på 4 %. Överlag var skillnaden i fetthalt mellan foderreducerade fiskar och kontrollfiskar liten. I Älvkarleby kompensationsodling i Dalälven hade den foderreducerade tvååriga smolten lägre fetthalter än de i Umeälven och i närheten av målet på 4 %. Förklaringen till detta är att fisken i Älvkarleby gavs ett foder med 15 % fett medan fodret i Norrfors innehöll 23 % fett. För att nå en fetthalt på 4 % hos odlad laxsmolt är det sannolikt helt nödvändigt att använda ett foder med en låg fetthalt. Däremot fungerade inte reduktionen av fodergivor i Älvkarleby lika bra som i Norrfors varför fisken blev större än målet på 50 g. Studier har visat att fiskens vikt och fetthalt kan styras oberoende av varandra genom att använda olika fodernivåer och mängd fett i fodret (Shearer m fl. 1997; Alanärä m fl. 2014). En rätt avvägd kombination av fodergiva och fetthalten i fodret skulle således kunna ge den önskade storleken och fetthalten.

Den vilda laxen från Vindelälven har i genomsnitt 3,1 ggr högre havsöverlevnad jämfört med odlad tvåårig smolt från Umeälven. I en Finsk studie erhöles 4,5 ggr högre havsöverlevnad för vild lax jämfört med odlad (Saloniemi m fl. 2004), samt att skillnaden i havsöverlevnad var större mellan vild och odlad smolt under år när den generella havsöverlevnaden var låg. I denna studie är resultatet det omvända;

den generella havsöverlevnaden var hög för utsättningsår 2011 och där var skillnaden i havsöverlevnad mellan vild och odlad lax 4,1 ggr. För utsättningsår 2013 var den generella havsöverlevnaden låg och skillnaden mellan vild och odlad fisk 1,8 ggr. Huvudskälet till denna skillnad är att odlad smolt genererar en högre andel grills som inte drabbades lika negativt av låg havsöverlevnad som lax med två eller tre havsvintrar.

Det första året i havet utgör den mest kritiska perioden för överlevnad hos både vild och odlad smolt (Hansen & Quinn, 1998; Potter & Crozier, 2000; Friedland m fl., 2009). Enligt Salminen m fl. (1995) är dödligheten som störst under de första månaderna i havet. Den ökade post-smolt dödligheten slår på både odlad och vild lax (Jutila m fl., 2005; Kallio-Nyberg m fl., 2006), men drabbar sannolikt den odlade fisken proportionellt hårdare (Jonsson m fl. 1991; Saloniemi m fl. 2004). De faktiska orsakerna till ökad dödlighet har föreslagits bero på en växande population av gråsäl och ökad predation, medan variation i havsöverlevnad mellan år sammanfaller med rekryteringen av strömmingens yngel som är en viktig födoresurs för post-smolt under den första sommaren i havet (Mäntyniemi m fl. 2012). Predation av gråsäl är troligen av störst betydelse under perioder när odlad post-smolt rör sig i kustområdet, särskilt under de första månaderna efter utsättning (Suuronen & Lehtonen 2012). Odlad fisk saknar erfarenhet av predatorer och det tar tid innan de lärt sig vad som skall undvikas och hur de skall bete sig (Healey 1982; Reisenbichler & Rubin 1999; Huntingford 2004). Även förmågan att effektivt fånga bytesdjur är relaterat till erfarenhet och det tar en viss tid att bli en effektiv predator i havet (Soziak m fl. 1979; Johnsen & Ugedal 1989).

Det går inte att med säkerhet uttala sig om den biologiska förklaringen till försämrade havsöverlevnad hos stor smolt med betydande energireserver. Givet att det tar en period av tid att bli en effektiv predator, bör det vara en fördel med stora energireserver under den första tiden i havet. Däremot kan en stor, relativt fet och otränad kropp vara till nackdel när det gäller förmågan att undvika predation.

4.2 LÅG HAVSÖVERLEVAD FÖR SMOLT FRÅN DALÄLVEN

Havsöverlevnaden för smolt från Dalälven var avsevärt lägre jämfört med smolt från Umeälven. Fisken i både foderreducerade grupper och kontrollgrupper var avsevärt större i Dalälven jämfört med Umeälven. Även konditionsfaktorn klart högre hos smolt från Dalälven. Foderreducerad fisk och kontrollfisk hade i genomsnitt en konditionsfaktor på 1,22 respektive 1,28. Som diskuterats ovan pekar denna studie på att stor smolt med hög konditionsfaktor har sämre havsöverlevnad än mindre och magrare smolt. Den ettåriga smolten i Dalälven sätts ut mycket tidigare än i Umeälven och hinner därför inte växa så mycket och framförallt inte lagra så mycket fett. Konditionsfaktorn för den ettåriga smolten var 1,13, vilket kan vara en anledning till att ettårig smolt från Dalälven hade något bättre havsöverlevnad än tvåårig smolt från Dalälven.

Stora sjöfåglar som skarv kan fånga stora mängder fisk, vilket kan leda till allvarliga negativa effekter på lokala fiskpopulationer (Barrett m fl. 1990). Skarv är dessutom duktig på att snabbt på att exploatera nya födoresurser (Leopold m fl. 1998). Kolonier med häckande skarv (mellanskarv) etablerades i Dalälvens

mynningsområde runt 1993 (Engström 2001). Under 2005 och 2006 genomfördes en studie på skarvens inverkan på odlad laxsmolt och havsöring från Dalälven (Boström m fl. 2009). Resultaten visar att skarvens inverkan på dödlighet hos lax och öring var liten. Avståndet från Dalälvens mynning och de fyra skarvkolonier som studerades låg minst 12 km bort och det är möjligt att skarven i stor utsträckning sökte föda i kolonins närområde (Boström m fl. 2009). Under perioden 2008-2014 var ett par öar (Båkharen och Skräddarhällen), ca 10 km norr om Dalälvens mynning, de enda kända häckningsplatserna i området (Ageheim m fl. 2016). Det fanns således inga kända skarvkolonier i Dalälvens mynningsområde vid tidpunkten för utvandring av smolt under 2011-2013. I enlighet med resultaten av Boström m fl. (2009) indikerar avståndet från kolonierna till Dalälven att predationen förmodligen inte varit särskilt stor. Här finns dock en möjlighet att studera skarvens inverkan på smoltdödlighet inom projektet genom att skanna kolonierna på Båkharen och Skräddarhällen efter PIT-tags.

Det storskaliga industriella fisket efter strömming och skarpsill i Bottenhavet (ICES, subdivision 30) har ökat kraftigt under perioden för projektet. Under perioden 2011 till 2013 när smolten sattes ut i Dalälven ökade fisket från 3 428 ton till 10 983 ton. Fisket har därefter fortsatt öka och låg 2016 på 22 500 ton. Det mesta av fisket (ca 50 %) sker under kvartal 2 vilket sammanfaller med utvandring av smolt till havet. Vid trålning efter strömming förekommer laxsmolt som bifångst, men det är okänt hur stort problem detta är (Valdemarsen 2003).

4.3 VARIATION I HAVSÖVERLEVNAD MELLAN ÅR

Resultaten visar på en stor mellanårsvariation i havsöverlevnad som gäller både odlad och vild lax. Andelen återvandrande lax i Umeälven och Vindelälven var som lägst under 2015, men även 2014 och 2016 var svaga år. Låg havsöverlevnad vissa år gäller främst för lax som tillbringar två eller tre vintrar i havet, medan de som endast är en vinter i havet ser ut att vara relativt opåverkade. Andelen grills under de år som studerats är ungefär densamma.

Under åren 2014 till 2016 har en hög grad av sjuklighet och dödlighet påvisats hos nystigen lax i flera svenska älvar (SVA 2017). Det har rapporterats om sårig fisk med eller utan svampangrepp, samt kraftigt allmänpåverkade fiskar utan synliga skador. Under sommaren 2016 provtogs fisk från i första hand Mörrumsån, Umeälven och Torneälven i syfte att försöka utreda orsaken till sjukdomsproblemen (SVA 2017). Resultaten visar att hudblödningarna verkar orsakas av en infektion men de sjukdomsframkallande virus eller bakterier har inte kunnat verifieras. SVA utesluter inte att M74 och tiaminbrist kan inverka på sjukdomsproblematiken eftersom det inkommit ett mindre antal rapporter om svag fisk utan yttre symptom. Sammantaget kan inte SVA ge något entydigt svar på problematiken med laxdöd i våra älvar utan föreslår att mer omfattande och systematisk provtagning måste genomföras.

Syndromet M74 hos Östersjölax har kännetecknats som dödlighet hos avkomman under gulesäcksperioden (Bengtsson m fl., 1999). Brist på tiamin (vitamin B1) anses vara den omedelbara orsaken till M74 dödlighet (Lundström m fl., 1999b; Vuorinen and Keinänen, 1999), vilken kan lindras eller undvikas genom

tiaminbehandling av honorna innan lek (Koski m fl., 1999) och tiaminbadning av ägg och yngel (Brown m fl. 2005). Effekten av tiaminbrist på laxfiskyngel har även noterats i Nordamerikas stora sjöar som ett "early mortality syndrome (EMS) (Honeyfield m fl., 1998; Fitzsimons m fl., 1999), samt ett Cayuga syndrome hos Atlantlax i New York Finger Lakes (Fisher m fl., 1995). I de flesta fall har M74 och EMS beskrivits som ett syndrom som endast slår på yngel hos en rad olika fiskarter, men idag finns bevis för att syndromet även påverkar vuxen fisk (Futia m fl. 2017). Brist på tiamin kan påverka cellernas energimetabolism och i allvarliga fall påverka centrala nervsystemet (Fitzsimons, 1995; Jaroszevska m fl., 2009, Bettendorff, 2013). Vuxen laxfisk kan som ett resultat av allvarlig tiaminbrist bli apatiska och uppvisa ett "vingligt" sim beteende, vilket vanligen leder till att fisken slutligen dör (Brown m fl., 2005; Fitzsimons m fl., 2005).

Problemen med tiaminbrist (M74 och EMS) hos laxfisk är tydligt kopplade till stor kroppsvikt och hög konditionsfaktor (Wolgamood m fl., 2005; Werner m fl., 2006; Ketola m fl., 2009; Mikkonen m fl., 2011), vilket i sig indikerar ett högt fettintag (Alvarez m fl., 1998; Hemre and Sandnes, 1999). Tiaminbrist hos lax från Östersjön tros komma av en obalanserad diet av fet fisk som skarpsill där tillskottet av tiamin är otillräckligt i relation till det tillskott av fett som behövs för att genomföra en lång lekvandring från havet till hemälv (Keinänen m fl. 2012). Olikheter i M74 förekomst mellan år och mellan populationer beror sannolikt på skillnader i mängd av skarpsill mellan år, samt skillnader i förekomst av skarpsill mellan födoområden (Keinänen m fl. 2012). Dieten för lax i Östersjön består nästan helt av skarpsill och strömming, medan dieten i Bottenhavet domineras av strömming (Karlsson m fl., 1999; Hansson m fl., 2001). En uppväxt i Bottenhavet ger därför liten sannolikhet att utveckla M74 medan en uppväxt i Östersjön kan orsaka en hög sannolikhet för M74 om dieten domineras av skarpsill (Mikkonen m fl. 2011). En till synes opåverkad havsöverlevnad för grills under 2014-2016 kan indikera att dessa i huvudsak växt upp i Bottenhavet medan de som tillbringat två eller tre vintrar i havet till stor del befunnit sig i Östersjön (Niva, 2001; Ikonen, 2006), vilket skulle kunna förklara skillnaden i återvandring.

Det som talar emot M74 som huvudorsak till den låga återvandringen av lax med två eller tre havsvintrar under 2014-2016 är att effekten av tiaminbrist borde ha observerats tidigare när förekomsten av M74 var som störst i början av 1990-talet. En viktig skillnad mellan nuläge och början av 1990-talet är dock att avsevärt fler laxar återvänder till sina hemälvar, varför sannolikheten att upptäcka fiskar som uppvisar avvikande beteende ökar. I början 1990-talet var antalet återvandrande laxar få och chansen att allmänheten skulle upptäcka en sjuk lax var mycket liten.

4.4 REAKTIONSNORM KÖNSMOGNAD

Tillväxtförutsättningarna i odling påverkar starkt reaktionsnormen för könsmognad. Ju större smolten är vid utsättning desto större andel återvandrar som grills. Det positiva sambandet mellan storlek på odlad smolt och andel återvandrande grills överensstämmer med resultatet från en tidigare studie i Finland (Salminen 1997). Flera studier har också påvisat att odlad smolt genererar en högre andel grills än vild smolt (Petersson m fl. 1996; Kallio-Nyberg & Koljonen 1997; McGinnity m fl. 1997; Kallio-Nyberg m fl. 2011; 2015). I denna studie leder

stor smolt till fler grills jämfört med vild smolt, men liten foderreducerad tvåårig smolt och ettårig smolt ger färre grills. Genom att styra tillväxten i odling är det möjligt att producera laxsmolt som har ett könsmognadsmönster liknande den vilda laxen. En ökad andel lax med två eller tre havsvintrar skulle vara positivt för yrkesfisket och sportfisket.

4.5 TIDIGT KÖNSMOGNA HANNAR

Hannar som varit könsmogna under hösten året innan utsättning har signifikant sämre havsöverlevnad jämfört med omogen fisk. Denna observation verifieras i en rad tidigare studier på tidigt könsmogna hannar (Lundqvist m fl. 1988; Vehanen m fl. 1993; McKinnell and Lundqvist 2000; Kallio-Nyberg m fl. 2009). Den förhöjda dödligheten har förklarats av en dålig fysiologisk anpassning till marin miljö (McKinnell & Lundqvist 2000), samt att de i hög grad stannar i älven efter utsättning med ökad risk för predation (Eriksson m fl. 1987; Lundqvist m fl. 1994)

Till följd av den låga havsöverlevnaden hos hannar som varit tidigt könsmogna bör utfodringen i odling genomföras så att andelen minimeras. Foderreducering i kombination med foder med lägre fettinnehåll under odlingssäsongen har visat sig ge en minskad andel könsmogna hanar. En motsvarande effekt kan uppnås med en period av ca tre veckors foderreduktion i början av den andra tillväxtsåsongen när vattentemperaturen börjar stiga (Alanärä m fl. 2014).

4.6 TIMING AV SMOLTVANDRING OCH ANKOMST TILL HAVET

Tidpunkten för starten av vandring är starkt relaterad till två så kallade "smoltfönster"; ett fysiologiskt "smoltfönster" som innebär en tidsperiod där smolten är anpassad för ett liv i saltvatten, samt ett ekologiskt "smoltfönster" som är kopplat till miljöfaktorer i havet som vattentemperatur, födotillgång och predatorer (McCormick m fl. 1998).

Längden på det fysiologiska smoltfönstret varierar mellan olika laxpopulationer beroende på i huvudsak den lokala temperaturen. Urke m fl. (2014a) visade i en Norsk studie att laxsmolt var fysiologiskt förberedda för saltvatten från mitten av maj till slutet av juni och att smoltvandringen i huvudsak skedde under denna period. I en nordamerikansk studie visade Whalen m fl. (1999) på ett kortare fönster för hög saltvattenstolerans, cirka tre veckor från slutet av april till mitten av maj. Handeland m fl. (2014) konstaterade att längden på det fysiologiska smoltfönstret är kortare vid högre vattentemperaturer men att antalet dygnsgrader är ungefär detsamma oberoende av temperatur. Längden på smoltfönstret har i olika studier beräknats till 300-500 dygnsgrader för laxsmolt (Stefansson m fl. 1998; McCormick m fl. 1999; Zydlewski m fl. 2005; Urke m fl. 2014b). Under åren 2011-2013 registrerades vandrande vild smolt i Vindelälven från mitten av maj till början av juli, vilket motsvarade 600-700 dygnsgrader. Detta indikerar att längden på smoltfönstret inte är helt oberoende av temperatur utan att nordliga vattendrag som Vindelälven har fler dygnsgrader. Smoltfällan i Vindelälven öppnades dock inte före det att smolten börjat vandra och man kan anta att smoltvandringen startade något tidigare. Smoltfönstret för vandring till havet i Vindelälven är således ca två månader. Den tvååriga smolten från Umeälven sätts ut i slutet av

maj vilket är samtidigt som en stor andel av den vilda smolten vandrar ut i havet. Den vilda smoltens vandring är relaterad till ökade flöden i älven, vilket ofta sker i slutet av maj då vårfloden kommer. I samband med ökade flöden ökar även grumligheten i vattnet kraftigt (Davies-Colley & Smith 2001), vilket sannolikt är positivt för den vandrande smolten då risken att upptäckas av predatorer minskar (Ward m fl. 2016). En tänkbar utsättningsstrategi för odlad smolt är därför att invänta vårfloden och grumligheten i vattnet.

Det ekologiska smoltfönstret är en anpassning för att möta de mest optimala miljöförhållandena i havet och skillnader utvandring har utvecklats mellan olika populationer som ett resultat av naturlig selektion (McCormick m fl. 1998; Thorstad m fl., 2012). Otero m fl. (2014) visade i en omfattande studie med 67 olika populationer över hela Atlantlaxens utbredningsområde att tidpunkten för utvandring var tidigare hos sydliga populationer jämfört med nordliga. Liknande resultat erhöles av Hvidsten m fl. (1998; 2009) där olika laxpopulationer längs Norges kust nådde havet vid ungefär samma vattentemperatur, vilket visar att smolt från sydliga populationer startar sin vandring tidigare än nordliga populationer. Data från denna studie indikerar att det finns ett samband mellan tid för utvandring och havsöverlevnad hos vild lax från Vindelälven. Mängden data är något begränsat men indikerar att smolt som vandrar ut sent har lägre havsöverlevnad jämfört med de som vandrar ut tidigt. Det går dock inte att utesluta att den behandling som fisken utsatt för i form av märkning och återutsättning ovan smoltfällan i älven påverkar överlevnaden över tid för den vilda smolten. Ju senare på säsongen desto högre vattentemperatur vilket påverkar känsligheten för behandling. Den tvååriga smolten i Umeälven sätts ut i slutet av maj, d v s relativt tidigt i den vilda smoltens ekologiska "fönster" och där havsöverlevnaden är bra.

4.7 FENSTATUS

Skillnader i laxsmoltens fenstatus vid utsättningen påverkade inte havsöverlevnaden. Den stora merparten av smolten från Umeälven hade klass 1 eller klass 2 skador på bröst-, rygg- och stjärtfenor. Fördelningen av skador på olika fenor var relativt jämt fördelad. En klass 1 skada motsvarar en mer eller mindre intakt fena, medan en klass 2 skada innebär att upp till 50 % av fenan saknas. En mycket liten andel smolt hade klass 3 skador där skador på ryggfenan ligger något högre än de övriga fenorna. Baserat på över 40 års data på Carlin-märkt kompensationsodlad fisk från Dalälven, visade Petersson m fl. (2013) att lax med skador på ryggfenan hade lägre havsöverlevnad än fisk utan skador. Studien visade även att andelen skador på ryggfena och stjärtfena var korrelerad till andra typer av skador. En liknande fisk sammanställning över kompensationsodlad Carlin-märkt lax i Finland fann dock inget samband mellan fenskadorna och försämrade havsöverlevnad (Kallio-Nyberg m fl. 2009). Sannolikt är det så att fenskadorna måste vara av klass 3 typ för att det skall inverka på fisken manöver- och simförmåga, vilket i sin tur kan påverka överlevnad.

En viktig fråga är om skadade fenor läker under tiden i havet. Petersson m fl. (2013) argumenterar att kraftigt skadade fenor inte läker efter utsättning utan att fisken kommer att ha en "amputerad" fena resten av livet. Inom ramen för detta

projekt har vi kunnat följa upp skador som fisken hade med sig från odlingen och jämföra med dess fenstatus när de återvänder från havet. Resultaten är inte entydiga. Av de fiskar som hade kraftigt skadade ryggfenor vid utsättningen så hade 37 % fortsatt klass 3 skador, 42 % uppvisade förbättrad status och 21 % var mer eller mindre helt läkta. Detta indikerar att även en till synes kraftigt skadad ryggfena kan läka och fenstatusen förbättras. Resultaten visar även på svårigheten att med säkerhet fastställa ifall en fisk har en permanent skada eller inte. Troligen är den tre-gradiga skala som används i detta projekt för grov för att kunna fånga upp permanenta skador.

4.8 REKOMMENDATIONER TILL ODLINGAR

- Tvåårig smolt bör vid utsättningen vara i storleksintervallet 60-90 g eller 180-200 mm och ha en konditionsfaktor på ca 1,1 (gaffellängd) eller 0,92 (totallängd).
- Ettårig smolt från Umeälven rekommenderas att sättas ut under första hälften av juni förutsatt att de nått önskvärd storlek och påbörjat smoltifieringen. Resultaten för vild smolt i denna studie indikerar att bättre havsöverlevnad erhålls om smolten når havet under denna tidpunkt.
- Hannar som varit könsmogna under hösten innan utsättning har sämre chanser att överleva efter utsättning. Nyttja metoder som minimerar andelen tidigt könsmogna hannar.

4.9 FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNING OCH UTVECKLINGSARBETE

- Med tanke på den höga andel ettårig smolt som idag produceras i Svenska kompensationsodlingar och de indikationer på låg havsöverlevnad som presenteras i denna studie bör fortsatta studier genomföras. Hur bör en ettårig smolt fysiologiskt se ut vid tidpunkten för utsättning? Specifikt gäller detta fiskens vikt och kondition på hösten innan utsättning, behov av ytterligare tillväxt under våren för att smoltifiera, samt tidpunkt för utsättning. Effekt av behandling kan testas via semi-naturella vandringsbassänger, telemetri i älv, samt havsöverlevnad på märkt fisk.
- Mycket tyder på att vi står inför en period med allvarliga M74 problem. Det finns goda erfarenheter av att tiaminbehandling lindrar effekten och minskar dödlighet. Ett behandlingsprogram för både vuxen fisk och rom/ungel bör tas fram. Tiaminbehandling förekommer idag men omfattningen varierar mellan odlingar. För den vilda laxen från Vindelälven finns möjlighet till behandling när de passerar trappan. Denna möjlighet bör utvärderas.
- Utreda möjliga skarvkolonier i Dalälvens mynningsområde under åren 2011-2013 och skanna dessa efter PIT-tags från projektet.
- Fördjupad studie av andelen bifångst av post-smolt i samband med strömmingsfiske i framförallt Bottenhavet.

5 Referenser

- Ageheim, S., Lindqvist, S. & Waern, S. 2016. Förvaltningsplan för skarv I Gävleborgs län. Länsstyrelsen Gävleborg, Rapport 2015:8 version 2.
- Alanärä, A., Kadri, S. and Paspatis, M. (2001). Feeding management. In: Food intake in fish (eds. Houlihan, D., Boujard, T. and Jobling, M.). Blackwell Science, Oxford.
- Alanärä, A., Schmitz, M., and Persson, L. 2014. Funktionella metoder för odling av fysiologiskt naturanpassad laxsmolt. Elforsk rapport 14:02.
- Alsted, , N., Hjermsley, Due, N. & Andreassen, A. 1995. Practical experience with high energy diets, FCR, growth and quality. J. Appl. Ichthyol., 11: 329-335.
- Alvarez, M. J., Lopez-Bote, C. J., Diez, A., Corraze, G., Arzel, J., Dias, J., Kaushik, S. J., et al. 1998. Dietary fish oil and digestible protein modify susceptibility to lipid peroxidation in the muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*). British Journal of Nutrition, 80: 281–289.
- Barrett, R.T., Røv, N., Loen, J., Montevecchi, W.A., 1990. Diets of shags *Phalacrocorax aristotelis* and cormorants *P. carbo* in Norway and possible implications for gadoid stock recruitment. Marine Ecology Progress Series 66, 205–218.
- Bengtsson, B.E., Hill, C., Bergman, Å., Brandt, I., Johansson, N., Magnhagen, C., Södergren, A., Thulin, J., 1999. Reproductive disturbance in Baltic fish: a synopsis of the FiRe project. Ambio 28, 2–8.
- Berg, O. K. & Bremset, G. (1998). Seasonal changes in the body composition of young riverine Atlantic salmon and brown trout. Journal of Fish Biology 52, 1272–1288.
- Berg, O. K., Arnekleiv, J. V. & Lohrmann, A. (2006). Seasonal changes in body composition of young, riverine, Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) below a hydroelectric power station. River Research and Applications 22, 993–1008.
- Bettendorff, L., 2013. The chemistry, biochemistry and metabolism of thiamin (vitamin B1). In: Preedy, V.R. (Ed.), B Vitamins and Folate: Chemistry, Analysis, Function and Effects. Royal Society of Chemistry, London, England, pp. 71–92.
- Boström, M. K., Lunneryd, S.-G., Karlsson, L. & Ragnarsson, B. 2009. Cormorant impact on trout (*Salmo trutta*) and salmon (*Salmo salar*) migrating from the river Dalälven emerging in the Baltic Sea. Fisheries Research 98: 16–21.
- Brown, S. B., Arts, M. T., Brown, L. R., Brown, M., Moore, K., Villella, M., Fitzsimons, J. D. 2005. Can diet-dependent factors help explain fish-to-fish variation in thiamine-dependent early mortality syndrome? Journal of Aquatic Animal Health, 17: 36–47.

- Brown, S.B., Honeyfield, D.C., Hnath, J.G., Wolgamood, M., Marcquenski, S.V., Fitzsimons, J.D., Tillitt, D.E., 2005. Thiamine status in adult salmonines in the Great Lakes. *J. Aquat. Anim. Health* 17, 59–64.
- Davidsen, J.G., Daverdin, M., Sjørnsen, A.D., Ronning, L., Arnekleiv, J.V. & Koksvik, J.I. 2014. Does reduced feeding prior to release improve the marine migration of hatchery brown trout *Salmo trutta* smolts? *Journal of Fish Biology* 85: 1992–2002.
- Davies-Colley, R. J. & Smith, D. G. 2001. Turbidity, suspended sediment, and water clarity: A review. *Journal of the American Water Resources Association* 37:5.
- Engström, H., 2001. The occurrence of the Great Cormorant *Phalacrocorax carbo* in Sweden, with special emphasis on the recent population growth. *Ornis Svecica* 11, 155–170.
- Eriksson, T. 1989. Delayed release of young salmon smolts (*Salmo salar* L.) in the Baltic area. Comparative releases of salmon from different salmon river stocks. *Nordic Journal of Freshwater Research*, 65: 88–98.
- Eriksson, T., Eriksson, L.-O., Lundqvist, H., 1987. Adaptive flexibility in life-history tactic of mature male Baltic salmon parr in relation to body size and environment. In: *Am. Fish. Soc. Symp.* 1. Common Strategies of Anadromous and Catadromous Fishes, pp. 236–243.
- Fisher, J. P., Spitsbergen, J. M., Iamonte, T., Little, E. E., and DeLonay, A. 1995. Pathological and behavioral manifestations of the “Cayuga syndrome”, a thiamine deficiency in larval landlocked Atlantic salmon. *Journal of Aquatic Animal Health*, 7: 269–283.
- Fitzsimons, J. D., Brown, S. B., Honeyfield, D. C., and Hnath, J. G. 1999. A review of early mortality syndrome (EMS) in Great Lakes salmonids: relationship with thiamine deficiency. *Ambio*, 28: 9–15.
- Fitzsimons, J.D., 1995. The effect of B-vitamins on a swim-up syndrome in Lake Ontario lake trout. *J. Great Lakes Res.* 21, 286–289.
- Fitzsimons, J.D., Williston, B., Amcoff, P., Balk, L., Pecor, C., Ketola, H.G., Hinterkopf, J.P., Honeyfield, D.C., 2005. The effect of thiamine injection on upstream migration, survival, and thiamine status of putative thiamine-deficient coho salmon. *J. Aquat. Anim. Health* 17, 48–58.
- Friedland, K. D., MacLean, J. C., Hansen, L. P., Peyronnet, A. J., Karlsson, L., Reddin, D. G., O’Maoile’idigh, N., et al. 2009. The recruitment of Atlantic salmon in Europe. *ICES Journal of Marine Science*, 66: 289–304.
- Futia, M.H., Hallenbeck, S., Noyes, A.D., Honeyfield, D.C., Eckerlin, G.E. & Rinchar, J. 2017. Thiamine deficiency and the effectiveness of thiamine treatments through broodstock injections and egg immersion on Lake Ontario steelhead trout. *Journal of Great Lakes Research* 43: 352–358.
- Gardiner, W. R. & Geddes, P. (1980). The influence of body composition on the survival of juvenile salmon. *Hydrobiologia* 69, 67–72.

- Handeland, S.O., Imsland, A.K., Ebbesson, L.O.E., Nilsen, T.O., Hosfeld, C.D., Teien, H.C. & Stefansson, S.O. 2014. Osmoregulation and growth in offspring of wild Atlantic salmon at different temperatures. *Environ Biol Fish* 97: 285–296.
- Hansen, L. P., and Quinn, T. P. 1998. The marine phase of Atlantic salmon (*Salmo salar*) life cycle, with comparison to Pacific salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(Suppl. 1): 104–118.
- Hansson, S., Karlsson, L., Ikonen, E., Christensen, O., Mitans, A., Uzars, D., Petersson, E., et al. 2001. Stomach analyses of Baltic salmon from 1959–1962 and 1994–1997: possible relations between diet and yolk-sac-fry mortality (M74). *Journal of Fish Biology*, 58: 1730–1745.
- Healey, M.C., 1982. Timing and relative intensity of size selective mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39: 952–957.
- Hedman, L. 2011. Försök med utsättning av ettårig smolt 2003 - 2005. Elforsk rapport 11:21.
- Hemre, G. I., and Sandnes, K. 1999. Effect of dietary lipid level on muscle composition in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Nutrition*, 5: 9–16.
- Honeyfield, D. C., Fitzsimons, J. D., Brown, S. B., Marcquenski, S. V., and McDonald, G. 1998. Introduction and overview of early life stage mortality. In *Early Life Stage Mortality Syndrome in Fishes of the Great Lakes and Baltic Sea*, pp. 1–7. Ed. by G. McDonald, J. D. Fitzsimons, and D. C. Honeyfield. American Fisheries Society, Bethesda, MD. 177 pp.
- 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.
- Huntingford F. A. 2004. Implications of domestication and rearing conditions for the behaviour of cultivated fishes. *Journal of Fish Biology* 65 (Supplement A), 122–142.
- 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.
- Hvidsten, N. A., Jensen, A. J., Rikardsen, A. H., Finstad, B., Aure, J., Stefansson, S., Fiske, P. & Johnsen, B. O. (2009). Influence of sea temperature and initial marine feeding on survival of Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts from the Rivers Orkla and Hals, Norway. *Journal of Fish Biology* 74, 1532–1548.
- Hyvärinen, P., Vehanen, T., 2004. Effect of brown body size on post-stocking survival and pike predation. *Ecol. Freshwater Fish* 13, 77–84.
- WGBAST. 2016. Report of the Baltic Salmon and Trout Assessment Working Group (WGBAST), 30 March–6 April 2016, Klaipeda, Lithuania. ICES CM 2016/ACOM:09. 257 pp.

- Ikonen, E. 2006. The role of the feeding migration and diet of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in yolk-sac fry mortality (M74) in the Baltic Sea. PhD thesis, Department of Biological and Environmental Sciences, Faculty of Biosciences, University of Helsinki, and Finnish Game and Fisheries Research Institute, Finland. 34 pp.
- Jaroszewska, M., Lee, B.J., Dabrowski, K., Czesny, S., Rinchar, J., Trzeciak, P., Wilczyńska, B., 2009. Effects of vitamin B1 (thiamine) deficiency in lake trout (*Salvelinus namaycush*) alevins at hatching stage. *Comp. Biochem. Physiol.* 154A, 255–262.
- Johnsen, B. & Ugedal, O. 1989. Feeding by hatchery-reared brown trout, *Salmo trutta* L. released in lakes. *Aquaculture and Fisheries Management* 20, 97–104.
- Johnsen, F. & Wandsvik, A. 1991. The impact of high energy diets on pollution control in the fish farming industry. In: *Nutritional Strategies & Aquaculture Waste*. Cowey, C. B. and Cho, C. Y. (Eds.), pp. 51–63.
- Jonsson, B., Jonsson, N., Hansen, L.P., 1991. Differences in life history and migratory behaviour between wild and hatchery-reared Atlantic salmon in nature. *Aquaculture* 98, 69–78.
- Jonsson, N. & Jonsson, B. 2003. Energy density and content of Atlantic salmon: variation among developmental stages and types of spawners. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60: 506–516.
- Juttila, E., Jokikokko, E. & Julkunen, M. (2005). The smolt run and postsmolt survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in relation to early summer water temperatures in the northern Baltic Sea. *Ecology of Freshwater Fish* 14, 69–78.
- Kallio-Nyberg, I., H. Peltonen, and H. Rita. 1999. Effects of stock-specific and environmental factors on the feeding migration of Atlantic salmon in the Baltic Sea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 853–861.
- Kallio-Nyberg, I., Juttila, E., Jokikokko, E., Saloniemi, I., 2006. Survival of reared Atlantic salmon and sea trout in relation to marine conditions of smolt year in the Baltic Sea. *Fish. Res.* 80, 295–304.
- Kallio-Nyberg, I., Koljonen, M.-L., 1997. The genetic consequence of hatchery-rearing on life-history traits of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): a comparative analysis of sea-ranched salmon with wild and reared parents. *Aquaculture* 153, 207–224.
- Kallio-Nyberg, I., Romakkaniemi, A., Jokikokko, E., Saloniemi, I., and Juttila, E. 2015. Differences between wild and reared *Salmo salar* stocks of two northern Baltic Sea rivers. *Fisheries Research* 165: 85–95.
- 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.

- Kallio-Nyberg, I., Saloniemi, I., Jutila, E., Jokikokko, E., 2011. Effect of hatchery rearing and environmental factors on the survival, growth and migration of Atlantic salmon in the Baltic Sea. *Fish. Res.* 109, 285–294.
- Kallio-Nyberg, I., Saloniemi, I., Jutila, E., Saura, A., 2007. Effects of marine conditions, fishing, and smolt traits on the survival of tagged, hatchery-reared sea trout (*Salmo trutta trutta*) in the Baltic Sea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 64, 1183–1198.
- Karlsson, L., Ikonen, E., Mitans, A., Hansson, S., and Uzars, D. 1999. Thiamine levels in migrating salmon spawners (*Salmo salar*) in the Gulf of Riga and in the Gulf of Bothnia. *Nordic Research Cooperation on Reproductive Disturbances in Fish. Report from the Redfish project. TemaNord*, 530: 67–88.
- Keinänen, M., Uddstrom, A., Mikkonen, J., Casini, M., Pönni, J., Myllyla, T., Aro, E., Vuorinen, P., 2012. The thiamine deficiency syndrome M74, a reproductive disorder of Atlantic salmon (*Salmo salar*) feeding in the Baltic Sea, is related to the fat and thiamine content of prey fish. *ICES J. Mar. Sci.* 69, 516–528.
- 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.
- Ketola, H. G., Rinchar, J., O’Gorman, R., Begnoche, L. J., Bishop, D. L., and Greulich, A. W. 2009. Thiamine content of eggs and lengths of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in relation to abundance of alewife (*Alosa pseudoharengus*) in eastern Lake Ontario, 2003–2006. *Journal of Freshwater Ecology*, 24: 247–254.
- Koljonen, M. –L. 2006. Annual changes in the proportions of wild and hatchery Atlantic salmon (*Salmo salar*) caught in the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1274-1285.
- Koski, P., Pakarinen, M., Nakari, T., Soivio, A., and Hartikainen, K. 1999. Treatment with thiamine hydrochloride and astaxanthine for the prevention of yolk-sac mortality in Baltic salmon fry (M74 syndrome). *Diseases of Aquatic Organisms*, 37: 209–220.
- Lans, L., Greenberg, L.A., Karlsson, J., Calles, O., Schmitz, M. & Bergman, E. 2011. The effects of ration size on migration by hatchery-raised Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Ecology of Freshwater Fish* 20: 548-557.
- Larsson, S., Linnansaari, T., Vatanen, S., Serrano, I., and Haikonen, A. 2011. Feeding of wild and hatchery reared Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts during downstream migration. *Environ. Biol. Fishes* 92(3): 361-369.
- Larsson, S., Serrano, I., and Eriksson, L.-O. 2012. Effects of muscle lipid concentration on wild and hatchery brown trout (*Salmo trutta*) smolt migration. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 69(1): 1-12.

- Leopold, M.F., Van Damme, C.J.G., Van der Veer, H.W., 1998. Diet of cormorants and the impact of cormorant predation on juvenile flatfish in the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 40, 93–107.
- Levings, C.D., Hvidsten, N.A. & Johnsen, B.O. 1994. Feeding of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) postsmolts in a Norwegian fjord in central Norway. *Canadian Journal of Zoology* 72: 834–839.
- Lundqvist, H., Clarke, W.C., and Johansson, H. 1988. The influence of precocious sexual maturation on survival to adulthood of river stocked Baltic salmon, *Salmo salar*, smolts. *Ecography*, 11(1): 60–69.
- Lundqvist, H., McKinnell, S., Fängstam, H., Berglund, I., 1994. The effects of time, size and sex on recapture rates and yield after river releases of *Salmo salar* smolts. *Aquaculture* 121 (1–3), 245–257.
- Lundström, J., Börjeson, H., and Norrgren, L. 1999a. Histopathological studies of yolk-sac fry of Baltic salmon (*Salmo salar*) with the M74 syndrome. *Ambio*, 28: 16–23.
- McCormick SD, Cunjak RA, Dempson B, O'Dea MF, Carey JB (1999) Temperature-related loss of smolt characteristics in Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the wild. *Can J Fish Aquat Sci* 56:1649–1658.
- McCormick SD, Hansen LP, Quinn TP, Saunders RL (1998) Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55, 77–92.
- McGinnity, P., Stone, C., Taggart, J.B., Cooke, D., Cotter, D., Hynes, R., McCamley, C., Cross, T., Ferguson, A., 1997. Genetic impact of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) on native populations: use of DNA profiling to assess freshwater performance of wild, farmed and hybrid progeny in a natural river environment. *ICES J. Mar. Sci.* 54, 998–1008.
- McKinnell, S.M., Lundqvist, H., 2000. Unstable release strategies in reared Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Fish. Manage. Ecol.* 7, 211–224.
- 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.
- Michielsens, C.G.J., McAllister, M.K., Kuikka, S., Pakarinen, T., Karlsson, L., Romakkaniemi, A., Perä, I., Mäntymaa, S., 2006. A Bayesian state-space mark-recapture model to estimate exploitation rates in mixed-stock fisheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63, 321–334.
- Mikkonen, J., Keinänen, M., Casini, M., Pönni, J., and Vuorinen, P. J. 2011. Relationships between fish stock changes in the Baltic Sea and the M74 syndrome, a reproductive disorder of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *ICES Journal of Marine Science*, 68: 2134–2144.
- Mäntyniemi, S., Romakkaniemi, A., Dannewitz, J., Palm, S., Pakarinen, T., Pulkkinen, H., Gårdmark, A., & Karlsson, O. 2012. Both predation and feeding

- opportunities may explain changes in survival of Baltic salmon post-smolts. *ICES Journal of Marine Science*, 69(9), 1574–1579.
- Niva, T. 2001. Results of salmon smolt releases in the Bothnian Bay from 1959–1999. Riista-ja kalatalouden tutkimuslaitos, Kalatutkimuksia—Fiskundersökningar, 179. 67 pp. (in Finnish with English Abstract).
- Norrgård, J.R., Bergman, E., Schmitz, M. & Greenberg, L.A. 2014. Effects of feeding regimes and early maturation on migratory behaviour of landlocked hatchery-reared Atlantic salmon *Salmo salar* smolts. *Journal of Fish Biology* 85: 1060–1073.
- Otero, J., L'Abée-Lund, J.H., Castro-Santos, T., Leonardsson, K., Størvik, G.O., Jonsson, B., Dempson, B., Russell, I.C., Jensen, A.J., Bagliniere, J.-L., Dionne, M., Armstrong, J.D., Romakkaniemi, A., Letcher, B.H., Kocik, J.F., Erkinaro, J., Poole, R., Rogan, G., Lundqvist, H., MacLean, J.C., Jokikokko, E., Arnekleiv, J.V., Kennedy, R.J., Niemela, E., Caballero, P., Music, P.A., Antonsson, T., Gudjonsson, S., Veselov, A.E., Lamberg, A., Groom, S., Taylor, B.H., Taberner, M., Dillane, M., Arnason, F., Horton, G., Hvidsten, N.A., Jonsson, I.R., Jonsson, N., McKelvey, S., Naesje, T.F., Skaala, O., Smith, G.W., Saegrov, H., Stenseth, N.C., and Vollestad, L.A. 2014. Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Global Change Biol.* 20(1): 61–75.
- Pelis, R. M. & McCormick, S. D. (2003). Fin development in stream- and hatchery-reared Atlantic salmon. *Aquaculture* 220, 525–536.
- Petersson, E., Järvi, T., Steffner, N.G., Ragnarsson, B., 1996. The effect of domestication on some life history traits of sea trout and Atlantic salmon. *J. Fish Biol.* 48, 776–791.
- Petersson, E., Karlsson, L., Ragnarsson, B., Bryntesson, M., Berglund, A., Stridsman, S., and 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.
- Potter, E. C. E., and Crozier, W. W. 2000. A perspective on the marine survival of Atlantic salmon. In *The Ocean Life of Atlantic Salmon: Environmental and Biological Factors Influencing Survival*, pp. 19–36. Ed. by D. Mills. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford. 228 pp.
- Reisenbichler, R. R., and S. Rubin. 1999. Genetic changes from artificial propagation of Pacific salmon affect the productivity and viability of supplemented populations. *ICES Journal of Marine Science* 56:459–466.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. In *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, p. 382. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 191:382.
- Rikardsen, A.H., Haugland, M., Bjørn, P.A., Finstad, B., Knudsen, R., Dempson, J.B., Holst, J.C., Hvidsten, N.A. & Holm, M. 2004. Geographical differences in

- marine feeding of Atlantic salmon post-smolts in Norwegian fjords. *Journal of Fish Biology* 64: 1655–1679.
- Salminen, M. 1997. Relationships between smolt size, postsmolt growth and sea age at maturity in Atlantic salmon ranched in the Baltic Sea. *J. Appl. Ichthyol.* 13: 121-130.
- Salminen, M., Erkamo, E., Salmi, J., 2001. Diet of post-smolt and one-seawinter Atlantic salmon in the Bothnian Sea, Northern Baltic. *J. Fish Biol.* 58, 16–35.
- Salminen, M., Kuikka, S., and Erkamo, E. 1995. Annual variability in survival of sea-ranched Baltic salmon, *Salmo salar* L.: significance of smolt size and marine conditions. *Fisheries Management and Ecology*, 2: 171–184.
- Saloniemi, I., Jokikokko, E., Kallio-Nyberg, I., Jutila, E., and Pasanen, P. 2004. Survival of reared and wild Atlantic salmon smolts: size matters more in bad years. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 782–787.
- Shearer, K.D., Silverstein, J.T. & Dickhoff, W.W. 1997. Control of growth and adiposity of juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture* 157: 311-323.
- Soziak, A., Randall, R. & McKenzie, J. 1979. Feeding by hatchery-reared and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr in streams. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 36, 1408–1412.
- Stefansson SO, Berge ÅI, Gunnarsson GS (1998) Changes in seawater tolerance and gill Na⁺, K⁺ –ATPase activity during desmoltification in Atlantic salmon kept in freshwater at different temperatures. *Aquaculture* 168:271–277.
- Suuronen, P. & Lehtonen, E. 2012. The role of salmonids in the diet of grey and ringed seals in the Bothnian Bay, northern Baltic Sea. *Fisheries Research* 125–126: 283–288
- SVA. 2017. Sjuklighet och dödlighet i svenska laxälvar under 2014–2016. Slutrapport avseende utredning genomförd 2016. Statens Veterinärmedicinska Anstalt. Rapport 2017/59.
- Svårdson, G. & Nilsson, N.-A. 1985. Fiskebiologi. LTs förlag, Stockholm.
- Thorstad EB, Whoriskey F, Uglem I, Moore A, Rikardsen AH, Finstad B (2012) A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology*, 81, 500–542.
- 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.
- Turnbull, J. F., Adams, C. E., Richards, R. H. & Robertson, D. A. (1998). Attack site and resultant damage during aggressive encounters in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr. *Aquaculture* 159, 345-353.

- Urke, H. A., Arnekleiv, J. V., Nilsen, T. O. & Nilssen, K. J. (2014b). Development of seawater tolerance and subsequent downstream migration in wild and stocked young-of-the-year derived Atlantic salmon *Salmo salar* smolts. *Journal of Fish Biology* 84, 178–192. doi:10.1111/jfb.12276
- Urke, H. A., Arnekleiv, J. V., Nilsen, T. O., Nilssen, K. J., Rønning, L., Ulvund, J. B. & Kristensen, T. (2014a). Long-term hypo-osmoregulatory capacity in downstream migrating Atlantic salmon *Salmo salar* L. smolts. *Journal of Fish Biology* 85, 1131–1144. doi:10.1111/jfb.12508
- Vainikka, A., Huusko, R., Hyvarinen, P., Korhonen, P.K., Laaksonen, T., Koskela, J., Vielma, J., Hirvonen, H. & Salminen, M. 2012. Food restriction prior to release reduces precocious maturity and improves migration tendency of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 69: 1981-1993.
- Valdemarsen, J. W. 2003. Report from a Workshop on discarding in Nordic fisheries. Nordic Council of Ministers. TemaNord 2003:537.
- Ward, D. L., Morton-Starner, R. & Vaage, B. 2016. Effects of Turbidity on Predation Vulnerability of Juvenile Humpback Chub to Rainbow Trout and Brown Trout. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 7:1.
- 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. *Ann. Zool. Fennici* 30, 277–285.
- Werner, R. M., Rook, B., and Greil, R. 2006. Egg-thiamine status and occurrence of early mortality syndrome (EMS) in Atlantic salmon from the St Marys River, Michigan. *Journal of Great Lakes Research*, 32: 293–305.
- 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.
- Virtanen, E., L. Söderholm-Tana, A. Soivio, L. Forsman, and M. Muona. 1991. Effect of physiological condition and smoltification status at smolt release on subsequent catches of adult salmon. *Aquaculture* 97: 231–257.
- Wolgamood, M., S. B. Brown, J. G. Hnath, J. D. Fitzsimons, D. E. Tillitt, J. P. Hinterkopf, and D. C. Honeyfield. 2005. Temporal and spatial variation of early mortality syndrome in salmonids from Lakes Michigan and Huron. *Journal of Aquatic Animal Health* 17:65–76.
- Vuorinen, PJ, & Keinänen, M. 1999. Environmental toxicants and thiamine in connection with the M74 syndrome in Baltic salmon (*Salmo salar*). *TemaNord*; 530: 25–37.
- Wysujack, K., Greenberg, L.A., Bergman, E. & Olsson, I.C. 2009. The role of the environment in partial migration: food availability affects the adoption of a migratory tactic in brown trout *Salmo trutta*. *Ecology of Freshwater Fish* 18: 52-59.

Zydlewski, G. B., Haro, A. & McCormick, S. D. (2005). Evidence for cumulative temperature as an initiating and terminating factor in downstream migratory behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62, 68–78.

UPPFÖLJNING AV ÅTERVANDRANDE LAX

Resultaten visar här att tvååring laxsmolt med en storlek av 60 till 90 gram har dubbelt så hög sannolikhet att återvända från havet jämfört med en smolt som är större än 120 g.

Erfarenhet från tre odlingssäsonger visar att foderbegränsningar går att genomföra utan problem med ökad andel fenskador eller dödlighet. Ettårig smolt har avsevärt lägre havsöverlevnad än tvåårig smolt, vilket kan bero på att de inte utvecklas till smolt i samma utsträckning som tvåårig smolt och därmed stannar i älven eller att de sätts ut för sent.

Eftersom en stor del av dagens kompensationsutsättning består av ettårig smolt bör fortsatta studier genomföras för att optimera odlings- och utsättningsmetodik. Tillväxten i odling påverkar även hur länge laxen stannar i havet. Ju större smolt desto större sannolikhet att de återvandrar som grills efter en vinter i havet. En mindre tvåårig smolt leder alltså inte bara till att fler återvänder från havet utan även att de stannar längre tid i havet och att medelvikten blir större.

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



Energiforsk