



Funktionella metoder för odling av fysiologiskt naturanpassad laxsmolt

Elforsk rapport 14:02



Anders Alanärä, Monika Schmitz & Lo Persson

februari 2014

**Havs
och Vatten
myndigheten**

ELFORSK

Funktionella metoder för odling av fysiologiskt naturanpassad laxsmolt

Elforsk rapport 14:02

Förord

Vattenkraftindustrin gav Institutionen för Vilt, Fisk och Miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) i Umeå i uppdrag att genomföra en litteraturstudie för att identifiera vad som karaktäriserar en utvandringsfärdig smolt (Eriksson *m fl.* 2008). Uppdraget avslutades med en två dagars workshop i oktober 2007 i Umeå med inbjudna föredragshållare, representanter för kompensationsodling, samt övrig lax- och öringexpertis. Vid ett avslutande möte på workshopen beslöts att tillsätta en arbetsgrupp (smoltkvalitetsgruppen) bestående av representanter för Fiskeriverket, kraftindustrin och universiteten (SLU och Karlstads universitet) som skulle arbeta vidare med frågorna. Smoltkvalitetsgruppen diskuterade möjliga åtgärder för att förbättra kvalitén på kompensationsodlad smolt, samt utvecklade en handlingsplan inriktad på att ta fram och utvärdera metoder för odling av fysiologiskt naturanpassad laxsmolt.

Umeå februari 2014
Anders Alanärä
SLU

De identifierade behoven i handlingsplanen resulterade i ett projekt med vattenkraftföretagen (E.ON Vattenkraft Sverige AB, Fortum Generation AB, Skellefteå Kraft AB, Statkraft Sverige AB och Vattenfall AB Vattenkraft) som kunder genom Elforsk samt med stöd av Havs- och vattenmyndigheten (fram till 1 juli 2011 av Fiskeriverket).

Projektet har genomförts under perioden 2009-2013 i samverkan mellan projektledaren Anders Alanärä, SLU, Monika Schmitz, Uppsala Universitet, Lo Persson, SLU och fiskodlingarna vid Heden, Norrfors och Älvkarleby. En styrgrupp med representanter från Havs- och vattenmyndigheten, E.ON Vattenkraft Sverige AB, Fortum Generation AB, Statkraft Sverige AB, Vattenfall AB Vattenkraft, Vattenregleringsföretagen, Länsstyrelsen i Norrbotten, Svensk Energi, SLU Aqua och Elforsk har följt projektet. Projektet har haft samarbete med ett annat fyraårigt projekt, SMOLTPRO, som finansierats av Formas.

Stockholm februari 2014
Sara Sandberg
Elforsk

Sammanfattning

Det finns en rad tecken på att havsöverlevnaden för kompensationsodlad laxsmolt har minskat sedan slutet av 1990-talet. Orsaken till detta är oklar men den lägre överlevnaden sammanfaller med en drastisk ökning av utsättningsvikten, från 50-60 g på 1990-talet till dagens 100-200 g. Den högre vikten vid utsättningen innebär även att smolten är fetare och har mycket högre konditionsfaktor jämfört med vild smolt. En viktig faktor som bidrar till att den vilda laxen lämnar sina uppväxtområden i rinnande vatten för att vandra ut i havet är försämrad tillväxt och möjlighet att lagra fett. Under våren, före smoltvandringen, har den vilda laxen förbrukat det mesta av sitt energiförråd och är starkt motiverad att så snabbt som möjligt ta sig till havet där födotillgången är bättre. Huvudsyftet med detta projekt har därför varit att försöka producera en lax i odling som fysiologiskt är mer lik en vild. Vi tror att en tvåårig lax i storleken 50 g och med en fetthalt om 3-4 % är mer motiverad att vandra till havet jämfört med en 150 g tvåårig lax med större energiförråd (10 % fett).

Metod

Projektet genomfördes i full skala vid kompensationsodlingarna i Heden (Luleälven), Norrfors (Umeälven) och Älvkarleby (Dalälven). Effekten av olika foderbehandlingar testades i vandringsbassänger i Norrfors och via telemetri efter utsättning i Umeälven. Försöken med tillväxtstyrning gjordes endast på tvåårig smolt, men ettårig smolt ingick som jämförelse. För att studera effekten av tillväxtstyrning på havsöverlevnad märktes fisk med PIT-tag. På varje odling märktes 3000 tvååriga smolt med reducerad storlek och 3000 utan behandling (kontroll), samt 3000 ettåriga smolt under tre år. Totalt märkets 72 000 smolt inom ramen för projektet. En slutrapport avseende havsöverlevnad är planerad till 2018.

Tillväxtmodell

Den tillväxtmodell som skapats i projektet stämde väl överrens med den verkliga tillväxten för tvåårig smolt i Heden och Norrfors. Modellen utgjorde därmed ett bra verktyg för att kunna planera verksamheten och styra slutvikten mot ett önskat mål i dessa odlingar. I Älvkarleby var avvikelser mellan teoretisk och verkligt tillväxt större under odlingssäsongen, vilket berodde på att vattentemperaturen under stor del av sommaren var hög och därmed påverkar tillväxten negativt. Nu kompenseras dock detta av att laxen växte bättre än vad modellen beräknade under hösten och slutvikten blev ungefär densamma mellan odlingar. Detta visade att förutsättningarna ofta är unika för varje odling och att tillväxtmodellen bör byggas på data från den egna odlingen.

Tillväxtstyrning

Vi lyckades inte riktigt med målet att producera en tvåårig smolt i storleken 50 g. Vikten på foderreducerade grupper låg vanligen i storleksintervallet 60-70 g, förutom i Heden under ett av åren. Tillväxtstyrningen fungerade bäst i Heden och Älvkarleby där avvikelser från den teoretiska slutvikten oftast var mindre än 10 g. I Norrfors var avvikelser större beroende på svårigheter att anpassa utfodringssystemet efter modellen för tillväxtstyrning. Resultaten från tillväxtstyrningen visade på betydelsen av

att kunna ställa in utfodringssystemet efter givna förutsättningar, samt att fodernivån systematiskt måste provas fram för att hitta rätt nivå.

Fenskador

När man reducerar fodret ökar ofta aggressionen med fenskador som följd. Därför kontrollerades fenskador kontinuerligt under försöket. Av de fenor som studerades i projektet var ryggfenan den som hade klart störst andel tydliga skador. Andelen svåra fenskador var liten på bröstfenor och stjärtfena och fördelningen var ungefär lika mellan odlingar. Ettårig fisk hade generellt betydligt mindre fenskador än tvåårig fisk. Norrfors hade generellt den bästa statusen på fiskens fenor, medan Heden och Älvkarleby låg något sämre och relativt lika. Överlag hade de flesta grupper av fisk i alla tre odlingar skadade ryggfenor redan vid starten av försöket den andra odlingssäsongen. Till viss del berodde detta på att fisken hade med sig en dålig fenstatus från föregående odlingssäsong och till viss del på att skadorna uppkom tidigt på säsongen innan första fenkontrollen hade gjorts. Hos kontrollgrupperna förbättrades statusen på ryggfenan betydligt under odlingssäsongen i de flesta fall. I några av de foderreducerade grupperna kvartstod den dåliga statusen efter säsongens slut, medan den i andra fall förbättrades. Effekten av foderreduktion på ryggfenans status var således väldigt olika mellan odlingar och år.

Fetthalt

Mängden kroppsfett som den tvååriga smolten hade vid tidpunkten för utsättning påverkades av både fodernivå och fettinnehåll i fodret. Endast genom att kombinera en låg fodernivå med foder som innehöll mindre fett än vad som normalt används vid kompensationsodling kunde vi uppnå målet med en fetthalt i fisken som var lägre än 4 %. Kontrollfiskar som gavs foder med högt fettinnehåll låg i de flesta fall på 8-10 % fett. Liknande skillnader i fetthalt observerades för ettårig smolt som inte foderbegränsades. Foder med högt fettinnehåll resulterade i en fisk med 8-10 % fett, medan ett lägre fettinnehåll i fodret gav ca 5 % fett i fisken. Detta visar att fettinnehållet i fodret var viktigare för fiskens anrikning av fett jämfört med fodernivån. Foder med olika fettinnehåll hade ingen inverkan på tillväxten eller slutvikten.

Smoltifieringsgrad

Försöksgruppernas smoltifieringsgrad bedömdes via yttre smoltkaraktär och saltvattenstest. Tvåårig smolt visade generellt en hög överlevnad i saltvatten och en stor andel hade yttre smoltkaraktär som indikerade fullständig smoltifiering, d v s de var fullt silvriga, stirrfläckarna syntes inte längre, samt att fenkanterna och ryggen var mörka. Foderreduceringen påverkade inte nämnvärt överlevnaden av tvåårig smolt i saltvatten däremot minskade andelen fiskar som klassades som fullt silvrig smolt. Smoltifieringsgrad hos ettårig smolt studerades dels vid tidpunkten för utsättning av tvåårig smolt och dels vid utsättningen en viss tid senare. Överlevnaden i saltvatten var likvärdig mellan dessa två tidpunkter, däremot observerades att yttre smoltkaraktär förändrades och att andelen silvriga fiskar ökade vid det senare tillfället.

Sambandet mellan olika metoder för att bedöma ettåriga fiskars smoltifieringsgrad testades i Norrfors och Älvkarleby. Metoderna var (1) bedömning av yttre morfologiska förändringar i form av silvrighet och

förekomst av stirrfläckar, (2) test av överlevnad i saltvatten, samt (3) analys av ATPas-aktiviteten i gälarna (fysiologiskt mått på förmågan att reglera saltbalansen i saltvatten). Resultaten visade på starka samband mellan ATPas-aktiviteten i gälarna och överlevnad i saltvattenstest i både Norrfors och Älvkarleby. Däremot var den yttre smoltkaraktären svagt kopplad till både ATPas-aktivitet i gälarna och överlevnad i saltvattenstest, vilket begränsar den visuella bedömningsmetodens användning i praktiken. För bedömning av ettårig smolt bör man använda sig av flera parametrar som storlek, smoltkaraktär, samt överlevnad i saltvatten. Saltvattenstest är en enkel och kostnadseffektiv metod för bedömning av smoltifieringsgrad.

Tidigt köns mogna hanar

Andelen tidigt köns mogna hanar hos tvåårig smolt som inte tillväxtbegränsats varierade både mellan odlingar och år. Som högst låg den i Älvkarleby på 72 % och som lägst i Heden på 10 %. Motsvarande siffra för ettårig lax låg i det närmaste på noll. Foderreduktionen hade en tydlig effekt på andelen köns mogna hanar i Heden och Älvkarleby. I flera fall mer än halverades andelen jämfört med kontrollgrupper. I Norrfors var effekten marginell, troligen beroende på att det knappt blev någon tillväxtreduktion där. I Älvkarleby studerades även effekten av fettinnehåll i fodret och resultaten visade att ett lägre fettinnehåll reducerade andelen köns mogna hanar. Foderreduktion, utan att påverka slutvikten, kan också användas enbart för att minska andelen köns mogna hanar. En period av tre veckor med 50 % foderreduktion under våren när köns mognaden initieras, reducerade andelen köns mogna hanar senare på hösten. I Älvkarleby låg detta tidsfönster under maj och efter denna period kan fisken utfodras normalt.

Tidpunkt för och kroppsstorlek vid utsättning

Optimal tidpunkt för och kroppsstorlek vid utsättning av laxsmolt testades i en serie av kontrollerade försök i vandringsbassänger i Norrfors. Resultaten för ettårig smolt visade att "tidsfönstret" för utsättning var relativt smalt, ca 2 veckor i mitten av juni. Under denna period vandrade smolten snabbt och uppvisade hög saltvattenstolerans. Vid utsättningen bör den ettåriga fisken ha uppnått en storlek om minst 20 g. Den tvååriga smolten hade ett bredare tidsfönster. I Norrfors handlade det om ca en månad från den 20 maj till den 20 juni. Vandringshastigheten var starkt temperaturberoende, vilket gjorde att smolten vandrade snabbast i mitten av juni. Därefter avtog vandringen och fiskens saltvattentolerans. Resultaten från vandringsförsöken visade tydligt att storleksreduktionen hade en positiv effekt då tvåårig smolt som var 50 g eller mindre uppvisade en klart högre vandringshastighet jämfört med smolt i storleken 100-180 g. Inte bara storleken utan även fiskens kondition hade en avgörande betydelse. Genom att kombinera låg fodernivå under sommaren med efterföljande svält på våren innan utsättning skapades en smolt med låga fetthalter och låg konditionsfaktor. Dessa vandrade avsevärt snabbare än smolt med högre konditionsfaktor.

Den positiva effekten av reducerad storlek på tvåårig smolt som observerades i vandringsbassängerna kunde inte verifieras via utsättning i Umeälven. Under de två av tre år vandrade stor smolt (>100 g) snarare snabbare än liten smolt på ca 60 g, medan hastigheten det tredje året var identiskt mellan storleksklasser. Stor smolt hade en förhöjd dödlighet jämfört

med liten smolt under 2011, medan ingen skillnad i dödlighet kunde observeras de övriga åren. Under de första 8 km i älven vandrade fisken i den gamla älvfåran där flödet styrs av hur mycket vatten som släpps vid dammen i Norrfors. Resterande 20 km innan de nådde havet simmade de i älven med stort flöde av vatten. Hur snabbt smolten nådde havet var starkt beroende av vattenflödet i gamla älvfåran. Vid ett flöde på $10 \text{ m}^3/\text{s}$ under 2011 hade smolten svårt att ta sig fram och det tog upp till tre veckor att passera gamla älvfåran och dödligheten var hög. Vid ett högre flöde under 2013 ($23 \text{ m}^3/\text{s}$) lämnade de flesta fiskarna gamla älvfåran inom två dygn och dödligheten var låg. I älven gick vandringen snabbt och de nådde havet inom några timmar med en simhastighet av 60-80 km per dygn.

Summary

There are several indications that the sea survival of hatchery-reared smolts has decreased since the end of the 1990s. The reason for the decrease is unclear but it coincides in time with a substantial weight increase in hatchery-reared smolts; from 50-60 g during the 1990s to 100-200 g today. At the time of release the smolts are not only larger but also considerably fatter compared to wild smolts. Reduced growth and limited ability to store energy contribute to trigger juvenile salmon to leave their rearing habitat in the river and migrate to the sea where the feeding conditions are better. One of the aims with this project has been to produce a physiologically more wild-like salmon. We believe that a two year old salmon that weighs 50 g and has a fat content of 3-4 % will be more motivated to migrate to sea after release, compared to a two year old salmon that weighs 150 g and has a fat content of 10 %.

Aims

The overall purpose of the project was to develop methods to regulate the growth of hatchery-reared salmon. In order to achieve this we focused on:

- Identifying the parameters needed to estimate the growth and the energy need of salmon in the hatchery.
- Studying the effects of different feeding regimes and feeds with different fat contents on:
 - growth
 - energy storage
 - fin damages
 - frequency of early sexual mature males
 - the smoltification process and salt water tolerance
- Experimentally test the effect of growth-control on:
 - timing of release
 - optimal size at release
 - migratory behaviour
 - sea survival

One year old smolts have been part of the project as a comparison to two year old smolts with regards to long term sea survival.

Method

This project was carried out at a large scale at three hatcheries; Heden in river Luleälven, Norrfors in river Umeälven, and Älvkarleby in river Dalälven. The effect of different feeding regimens on migration was tested in Norrfors in artificial migration pools and also by acoustic telemetry in the river Umeälven after release. The experiments with growth control were done during their second growing season on fish that would become two year old smolts. Fish were tagged with Passive Integrated Transponders tags (PIT-tags) to enable long term evaluation of sea survival. Every year for three years, 3000 fish from each treatment (reduced or control feeding regimes and one year old smolts) were tagged at the different hatcheries. In total 72,000 fish were tagged in the project. The final report on sea survival is planned for 2018.

Growth model

The theoretical growth predicted by the model that was developed for the project matched the actual growth in Heden and Norrfors. Hence, the model was a good tool to control growth and to predict the final size of fish at these two hatcheries. In Älvkarleby the theoretical growth and the actual growth did not match as well during the growing season. This was probably due to high temperatures during the summer when fish did not grow as well as predicted. Compensatory growth in the fall, when fish grew better than predicted, resulted in final weights that matched the final weights at the other hatcheries. This highlighted that the growth of the fish differ in different hatcheries and that the growth model should be based on data from the hatchery its intended for.

Growth-control

We did not fully succeed to reach the aim of a 50 g two year old smolt. The average weight of the feed restricted group was often between 60-70 g, except for one year in Heden. The growth-control worked best in Heden and Älvkarleby where the difference between the predicted weight and the actual weight was less than 10 g. The difference was larger in Norrfors probably due to difficulties getting the feeding system to work in accordance with the growth model. The results showed that it is important to get the feeding system to work with the growth model according to the prevailing conditions, and systematically have check the level of the feeding to find the correct level at your hatchery.

Fin damage

When feed is reduced the aggression increases, which often leads to increased occurrence of fin damages. Therefore fin damage was monitored during the project. The dorsal fin was the most affected of the fins monitored. There was overall little damage on the caudal and the pectoral fins at all three hatcheries. One year old fish had in general better fin status than two year old fish. Fish in Norrfors had better fin status than fish at the other two hatcheries, and in Heden and Älvkarleby the fin status was about the same. Fish often had bad dorsal fin status at the start of the second growing season and this was true at all hatcheries. This could partly be due to bad fin status from the previous growing season but also fin damage that originated early in the spring before the first assessment took place. In the control groups, the status of the dorsal fin improved, sometimes considerably, during the growing season. In groups with restricted feeding regimes, the dorsal fin status either remained in the same bad status throughout the experiment or improved over the growing season. Hence, the effect of restricted feeding regimen on the dorsal fin status varied among hatcheries and among years.

Fat content

The fat content of the fish at the time of release was dependent on both feeding regimen and the fraction of fat in the feed. Only by combining the two, low feed ration and feed with low fraction of fat, could we produce a fish with a fat content of less than the desired 4 %. Fish in the control groups often had a fat content of about 8-10 % after they had been given a high feed ration and a standard feed with high fraction of fat. Similar differences were

observed in one year old fish that all had been given high feed rations but fed with feed with different fractions of fat. A feed with high fraction of fat produced a fish with 8-10 % fat content and feed with a low fraction of fat produced a fish with approximately 5 % fat content. Hence, the fraction of fat in the feed was more important for the fat content of the fish compared to the feed ration. Different fractions of fat in the feed did not affect the growth or the final weight of the fish.

Assessment of smoltification

Smolt status of the experimental groups was assessed visually using a colouration index. Seawater tolerance was assessed by a salt water test. Two year old fish generally had a high survival in the salt water test and the visual assessment indicated that most were fully smolted; i.e. silvery, no sign of parr marks, and darker back and fin edges. The feed restriction regime did not affect the survival in the salt water test much, but less fish were classified as fully smolts by the visual assessment. The smoltification process in one year old fish was assessed both at the time of release of two year old fish and later at the time of release of one year old fish. The survival in the salt water test did not differ between the times of assessment, but the fraction of fish that were classified as fully smolts increased over time.

The smoltification process among one year old fish was assessed in more detail in Norrfors and Älvkarleby. The methods that were evaluated was (1) the visual assessment where the silvery appearance and the occurrence of parr marks were assessed, (2) the survival in salt water test, and (3) analysis of the Na^+/K^+ -ATPase activity in the gills, which is a physiological measure of how well the fish can handle salt water. There was a strong correlation between the Na^+/K^+ -ATPase activity and the survival in the salt water test in both Norrfors and Älvkarleby. The visual assessment however, was weakly linked to the survival in salt water test and the Na^+/K^+ -ATPase activity in the gills, indicating limitations for visual assessment of the smoltification process in one year old fish. For the assessment of the smoltification process in one year old fish a combination of several parameters should be used such as size, visual assessment, and survival in salt water test. The salt water test is a cost-efficient method to assess the smoltification process.

Early sexual mature males

The frequency of early mature males in the control groups varied among hatcheries and years. The highest frequency of 72 % was observed in Älvkarleby and the lowest of 10 % was observed in Heden. The equivalent in one year old fish was almost 0 %. The feed restriction regimen had a clear effect on the frequency of early maturing males in both Heden and Älvkarleby. The effect was small in Norrfors and most likely due to the fact that the feed restriction regimen overall had a small effect in Norrfors. The effect of fat content in the feed on the occurrence of precocious males was studied in Älvkarleby. A lower content of fat in the feed resulted in a lower frequency of precocious males. A feed restriction regime during a short period of time can also be used to lower the frequency of early maturing males. Reducing the feed ration by 50 % during a three week period in the spring when maturation is initiated, resulted in a reduced frequency of early maturing males the

coming fall. In Älvkarleby this period is in May and after that the fish can be given a normal feed ration.

Timing of release and optimal size at release

The timing of release and the optimal size at release were tested in controlled migration experiments in semi-natural stream channels in Norrfors. The results indicated that the “window” for release of one year old smolts was quite narrow; around two weeks in the middle of June. During this period the fish migrated at a high speed and had high survival in the salt water test. The one year old smolt should have reached a size of at least 20 g at the time of release. The two year old fish had a wider “window” of about one month and in Norrfors this was approximately from the 20th of May until the 20th of June. The migration speed was strongly affected by temperature and therefore the fish migrated at the highest speed in the middle of June. After that migration activity declined as well as seawater adaptability, as indicated by lower gill Na^+/K^+ -ATPase activity. The results showed that the feed restriction had a positive effect on the migration. Two year old fish that were smaller than 50 g had a much higher migration speed compared to fish that were 100-180 g. Not only the size but also the condition factor of the fish (indirect measure of energy reserves) had a strong effect. By combining a low feed ration during the growing season with a following period of starvation before release, a smolt of a small size with low condition factor was produced. This fish migrated much faster than fish with a higher condition factor.

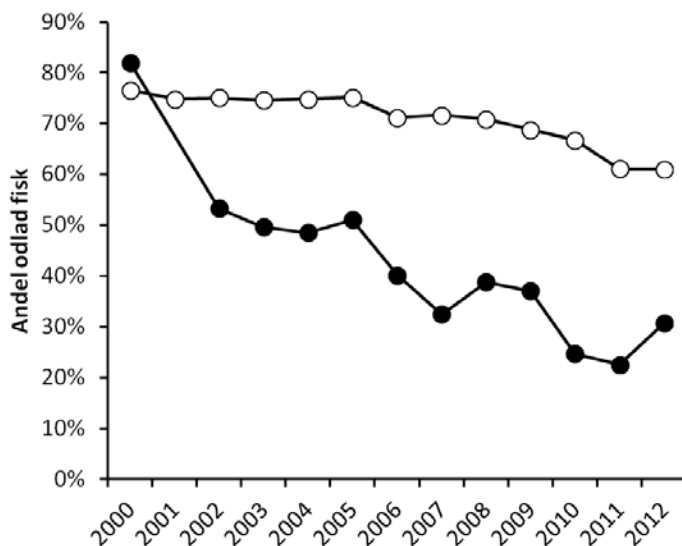
The positive effect of feed restriction on migration could not be validated in the telemetry studies in the river Umeälven. Instead large smolts (>100 g) migrated faster than small ones (<60 g) in two out of three years. During the third year there was no difference among size classes. The large smolts had a higher mortality than small smolts during the first year, but no differences in mortality were seen during the other two years. The first eight kilometres after release the fish migrated in the old river channel where the amount of water is regulated by the discharge at the hydro power dam. The remaining 20 km to the sea the flow is high since the water from the hydro power plant has come back into the river again at the confluence. The total time it took for the smolts to reach the sea was strongly dependent on the discharge in the old river channel. The first year the discharge was 10 m³/s in the old river channel and the smolts spent almost three weeks in the old river channel with high mortality as a consequence. The last year the discharge was 23 m³/s and the fish migrated through the old river channel in less than two days and the mortality was low. In the remaining part of the river, after the confluence, the migration speed was 60-80 km/day and fish reached the sea within hours.

Innehåll

1	Bakgrund till projektet	1
2	Mål med projektet	5
3	Metoder	6
3.1	Laxens foderbehov	6
3.2	Försöksgrupper och behandling.....	11
3.3	Fodersystem.....	15
3.4	Foder.....	16
3.5	Fenskador	16
3.6	Fettanalyser	17
3.7	Märkning med PIT-tag	17
3.8	Bedömning av smoltifieringsgrad	18
3.9	Tidigt köns mogna hanar.....	18
3.10	Vandringsbassänger	19
3.11	Akustisk telemetri i Umeälven.....	20
4	Resultat och diskussion	23
4.1	Tillväxtmodell	23
4.2	Tillväxtstyrning	25
4.3	Vikt vid utsättning.....	26
4.4	Fenskador	30
4.5	Fetthalt.....	35
4.6	Smoltifieringsgrad	36
4.7	Tidigt köns mogna hanar.....	40
4.8	Vandringsbeteende.....	44
5	Kunskapsluckor och framtida forskning	58
6	Tillkännagivande	60
7	Referenser	61
8	Bilagor	66
8.1	Bilaga 1. Exempel på hur ekvationer skall uttryckas för beräkning av dagligt foderbehov i ett kalkylprogram.....	1
8.2	Bilaga 2. Exempel på hur justeringsfaktorn kan användas för att beräkna en teoretisk slutvikt efter en odlingssäsong.....	3
8.3	Bilaga 3. Värderingsmall för fenskador.....	4
8.4	Bilaga 4. Skala för bedömning av yttre smoltkaraktär (S0 – S3)	5
8.5	Bilaga 5. Saltvattenstest för ett- och tvåårig laxsmolt	6

1 Bakgrund till projektet

Efter utsättning har studier visat på en generellt lägre överlevnad hos odlad laxsmolt jämfört med vild (Jonsson *m fl.* 2003; Saloniemi *m fl.* 2004). Odlingssmiljön är väldigt annorlunda jämfört med en naturlig miljö och odlad fisk saknar till exempel erfarenhet av predatorer och att fånga byten vilket kan påverka överlevnaden efter utsättning. Sedan slutet av 1990-talet finns det bevis för att havsöverlevnaden hos odlad lax försämrats. Inom ICES (International Council for the Exploration of the Sea, WGBAST) arbete med att följa statusen på vilda och odlade laxpopulationer i Östersjön samlas prover in från yrkesfisket i tre delområden, egentliga Östersjön, Ålands hav och Bottenviken. År 2000 utgjorde andelen odlad smolt ungefär 80 % av det totala antalet som vandrade ut i Östersjön samtidigt som andelen odlad vuxen lax i fisket var ungefär densamma (figur 1, (ICES, 2013)). Under perioden 2000-2012 har andelen vild smolt som vandrar till havet ökat till följd av minskat havsfiske och olika förbättrande åtgärder i älvarna. Andelen odlad smolt 2012 utgjorde ca 60 % av det uppskattade totala antalet som vandrade ut i havet, men andelen vuxen odlad fisk i fångsterna var nere på ca 30 %. En liknande nedgång i havsöverlevnad har observerats för odlad lax i finska kompensationsutsättningar under motsvarande period (Kallio-Nyberg *m fl.* 2009).

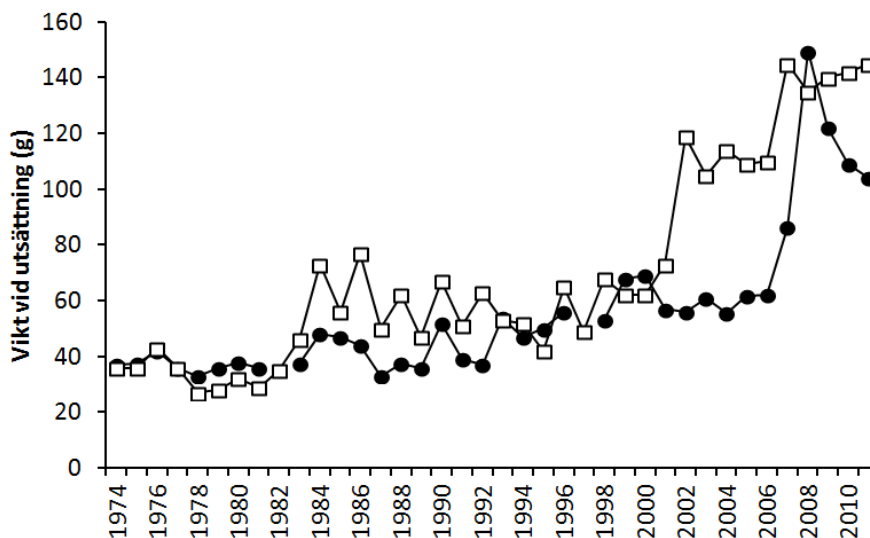


Figur 1. Andel kompensationsodlad lax (vita cirklar) av det uppskattade totala antalet utvandrande smolt i Östersjöregionen under 2000-2012 och andel odlad vuxen lax (svarta cirklar) som i medeltal fångats i yrkesfisket vid tre områden i Östersjön under samma period (data från ICES 2013). De vita cirkelnarna kan ses som den förväntade andelen odlad fisk i yrkesfisket.

Orsaken till den snabba nedgången är oklar. En nyligt publicerad artikel pekar ut sälpredation som en huvudorsak till dödlighet efter smoltens utvandring till havet, detta tillsammans med årsvariationer i rekryteringen av

strömmingsyngel vilket påverkar födotillgången för smolten (Mäntyniemi *m fl.* 2012). Sälpopulationen i Östersjön har växt under de senaste åren och det är troligt att odlad smolt är mer känslig för predation när de når havet jämfört med vild smolt. Tillgången på föda under första tiden i havet är viktig för smoltens överlevnad och det är troligt att odlad fisk drabbas hårdare vid låg tillgång på strömmingsyngel eftersom de saknar erfarenhet att hitta och fånga bytesdjur.

Det finns många faktorer som kan påverka överlevnaden av odlad smolt men en faktor som verkar sammanfalla med den försämrade havsöverlevnaden är laxens tillväxt i kompensationsodlingar. Sedan början av 2000-talet har på flera odlingar en dramatisk ökning av vikten vid utsättning observerats (Eriksson *m fl.* 2008; Kallio-Nyberg *m fl.* 2011). Vi saknar en heltäckande bild av situationen i svenska kompensationsodlingar, men data från kompensationsodlingar i Umeälven och Indalsälven indikerar att ökningen i tillväxt skett relativt sent, långt efter att verksamheten startade (figur 2). Den tvååriga odlade laxsmolten väger idag vanligen över 100 g vid utsättningen vilket t ex kan jämföras med vikten för vild smolt från Vindelälven som i medeltal ligger på 28 g vid utvandringen. Vad som orsakat denna ökning i tillväxt är oklart, men olika faktorer som bättre odlingsmiljö, foderutveckling, klimatförändring och genetisk drift har lyfts fram som tänkbara förklaringar (Eriksson *m fl.* 2008). Med ökad vikt följer även ökade fetthalter. En jämförelse mellan odlad laxsmolt från Umeälven och vild smolt från Sävarån norr om Umeå visade att fetthalten i muskeln på den odlade fisken låg på 5,9 % medan de vilda endast hade 1,6 % vid tidpunkten för utvandring (Lundqvist *m fl.* 2006).



Figur 2. Laxsmoltens medelvikt vid utsättning i Umeälven (svarta cirklar) och Indalsälven (vita fyrkanter) under perioden 1974 till 2011.

Vad är det som gör att en vild lax väljer att lämna älven och vandra ut i havet? Troligen är detta kopplat till möjligheterna att växa och lagra energi. Efter en viss tid i älven blir födotillgången begränsande för den unga laxen. Låg tillväxt och begränsade möjligheter att lagra fett fungerar som trigger för

utvandring till havet där födotillgången är avsevärt högre (Jonsson & Jonsson 1993; Thorpe 1994). Ett intressant exempel på detta är en Japansk population av indianlax (*Oncorhynchus nerka*) som normalt har hela sin livscykel i sötvatten. Genom att skapa dåliga tillväxtmöjligheter i odlingsmiljön under vintern så förbrukades fiskens energireserver vilket gjorde att de smoltifierade och blev havsvandrande, något som tidigare var okänt för denna population (Shirahata 1985).

För att klara av att byta miljö från sötvatten till saltvatten måste den unga laxen smoltifiera vilket innebär morfologiska, fysiologiska och beteendemässiga förändringar. Under smoltifieringen ökar enzymaktiviteten av Na^+/K^+ -ATPas i gälarna för att laxsmolten ska kunna upprätthålla sin saltbalans när den vandrar från sötvatten till saltvatten, konditionsfaktorn sjunker, fenkanterna och ryggen mörknar, stirrfläckarna bleknar och den får en silvrig färg (McCormick *m fl.* 1998).

Tillväxtförutsättningarna under det första året i odlingen påverkar fiskens storlek och mängd kroppsfett, vilket i sin tur påverkar smoltifieringsprocessen och graden av tidig könsmognad hos laxhanar (Thorpe 1994, Schmitz & Maugars 2007). Andelen laxhanar som blir tidigt könsmogna under andra hösten i svenska kompensationsodlingar är ofta betydligt högre än vad man finner i naturliga bestånd och har i enstaka fall visat sig uppgå till 90 % (Lundqvist, 1983). Flera faktorer påverkar om en laxhane blir tidigt könsmogen, där bland annat tillväxtförhållanden, kroppsvikt, mängden kroppsfett och genetiska faktorer har betydelse. Det är dock inte känt vilka enskilda faktorer som triggar igång initieringen av könsmognad. Tidigt könsmogna hanar har en högre mortalitet under senhöst och vintern i odlingen, främst på grund av aggressiva interaktioner, skador och ökad benägenhet för svampangrepp (Eriksson *m fl.* 2008). Under nästa vår genomgår tidigare könsmogna hanar antingen en andra könsmognad eller smoltifierar. Tidigare undersökningar visar att smoltifieringen hos hanar som tidigare varit könsmogna i många fall är hämmad jämfört med omogen fisk (Berglund *m fl.* 1992) och att de stannar kvar i större omfattning vid utsättningslokalerna. I vissa försök har det resulterat i en 3-5 ggr lägre sannolikhet till återfångst jämfört med utsatt fisk som inte varit könsmogna tidigare (McKinnell & Lundqvist, 1998). En hög andel tidig könsmognad hos hanar under odlingsfasen kan bidra till den odlade smoltens lägre överlevnad jämfört med vild.

Skador på fiskens fenor eller fenerosion uppstår av nötning, bakterieinfektion eller bitattacker (Latremouille 2003), varav den senare orsaken anses vara den vanligaste (Arndt *m fl.* 2001). När man begränsar fodertillgången i odling blir ofta följden att aggressionen mellan individer ökar. Laxungar är territoriella och försvarar sitt födoområde med utfall mot andra individer. Dessa utfall riktas ofta mot konkurrentens fenor (Canon Jones *m fl.* 2011). Studier har visat att ryggfenan, stjärtfenan och bröstfenorna är de fenor som får motta mest attacker hos lax och därmed ofta uppvisar störst skada (Turnbull *m fl.* 1998; Petersson *m fl.* 2013). Att ge laxungar begränsade foder mängder ställer höga krav på hur fisken utfodras. Studier har visat att en god spridning av fodret över odlingsytan minskar interaktioner mellan individer (Grant 1993; Ryer & Olla 1995), samt att mer koncentrerade måltider under t ex morgon och kväll begränsar tiden för interaktioner (Jobling *m fl.* 2012), vilket minskar risken att fenskador uppstår.

Som indikerats ovan har den vilda laxen små fettreserver kvar när den startar sin vandring och det är viktigt att så snabbt som möjligt nå havet för att finna föda. Den grundläggande iden med detta projekt var därför att göra den odlade laxen fysiologiskt mer lik den vilda med avseende på storlek och fetthalt för att på så sätt minska graden av tidigt könsmogna hanar och öka motivation att vandra till havet hos alla individer. Ett försök på kungslax (*Oncorhynchus tshawytscha*) i Nordamerika har tydligt visat att både fiskens storlek och fetthalt går att manipulera med hjälp av olika fodernivåer och mängd fett i fodret (Shearer *m fl.* 1997).

2 Mål med projektet

Det övergripande syftet med projektet har varit att utveckla och testa praktiska metoder för att reglera laxens tillväxt i odling. Målet har varit att producera en tvåårig smolt i storleken 50 g och med maximalt 4 % fett. De olika delmålen har varit att:

- ta fram de modellparametrar som behövs för att med precision skatta laxens tillväxt och energibehov i kompensationsodling
- studera effekten av olika fodernivåer och foder med olika fetthalt på
 - tillväxt
 - anrikning av kroppsfett
 - fenskador
 - frekvens tidigt könsmogna hanar
 - smoltifiering och saltvattenstolerans
- testa effekten av tillväxtstyrning med avseende på
 - optimal tidpunkt för utsättning
 - optimal storlek vid utsättning
 - vandringsbeteende
 - havsöverlevnad

Ettårig smolt har ingått i projektet som jämförelse till tvåårig smolt vad gäller havsöverlevnad. Intresset för att producera ettårig smolt har dock ökat under projektets gång varför denna kategori även ingår i försök som syftar till att utreda optimal storlek och tidpunkt för utsättning.

Utöver den eventuella effekten av att producera en fysiologiskt mer vildlik smolt finns en rad andra åtgärder som kan inverka på laxsmoltens överlevnad efter utsättning, men som inte beaktats inom ramen för detta projekt. Predatorträning i odlingen har t ex visat sig ge positiva effekter på överlevnaden och tillförsel av levande bytesdjur i odlingen tränar fisken i att känna igen och fånga byten (Olla *m fl.* 1998). Att odla fisken i en mer naturlig miljö med strukturer av olika slag har visat på positiva effekter för tillväxt (Berejikian *m fl.* 2000; 2001) och överlevnad efter utsättning (Maynard *m fl.* 1996; Hyvarinen & Rodewald 2013). Odling i mer naturliga tätheter har även visat sig ge positiva effekter på fiskens överlevnad efter utsättning (Brockmark & Johnsson 2010; Brockmark *m fl.* 2010).

3 Metoder

3.1 Laxens foderbehov

I syfte att styra fiskens tillväxt efter på förhand ställda mål måste odlaren ha tillgång till en modell som väl beskriver fiskens foderbehov, en så kallad foderbudgetmodell. Vid kompensationsodling används vanligen kommersiella fodertabeller eller programvaror för att beräkna fiskens dagliga foderbehov, vilka ofta leder till överutfodring. Möjligheten till att göra egna justeringar baserat på lokala förutsättningar är dock ofta begränsad. Ett bättre förhållningssätt vore därför att odlarna själva skapade sina egna modeller för beräkning av foderbudget.

Ett av delmålen med projektet var att utveckla en modell för tillväxtstyrning och beräkning av dagligt foderbehov. För att kunna göra detta behövs information om (A) hur mycket fisken växer per dag (g per dygn) och (B) hur mycket smältbar energi det går åt för att producera 1 g fisk (kJ per g). Beräkningen av foderbudget bygger på en generell modell av Alanärä *m fl.* (2001). Den har sedan specificerats för bl a regnbåge och röding (Alanärä & Staffan 2008), abborre (Strand *m fl.* 2011), samt torsk (Bailey *m fl.* 2005). I detta projekt har de nödvändiga modellparametrarna tagits fram för kompensationsodlad lax.

Information om (A), den teoretiska dagliga tillväxten, kan fås från publicerade tillväxtmodeller eller från egna uppgifter som bygger på mätningar i odlingen. Tidigare publicerade modeller på fiskens tillväxt kan vara användbara men det finns alltid en risk att förhållandena i den egna odlingen är annorlunda och att tillväxten därmed skiljer sig från modellen. Inom ramen för detta projekt utvärderades tillväxten i Heden och Norrfors mellan 1999 till 2010¹. Älvkarleby ingick inte i detta arbete då provvägningar under sommaren inte skett tillräckligt ofta. För att uppskatta laxens tillväxthastighet under en period användes tillväxtkoefficienten TGC (Thermal Growth Coefficient), vilken matematiskt uttrycks som:

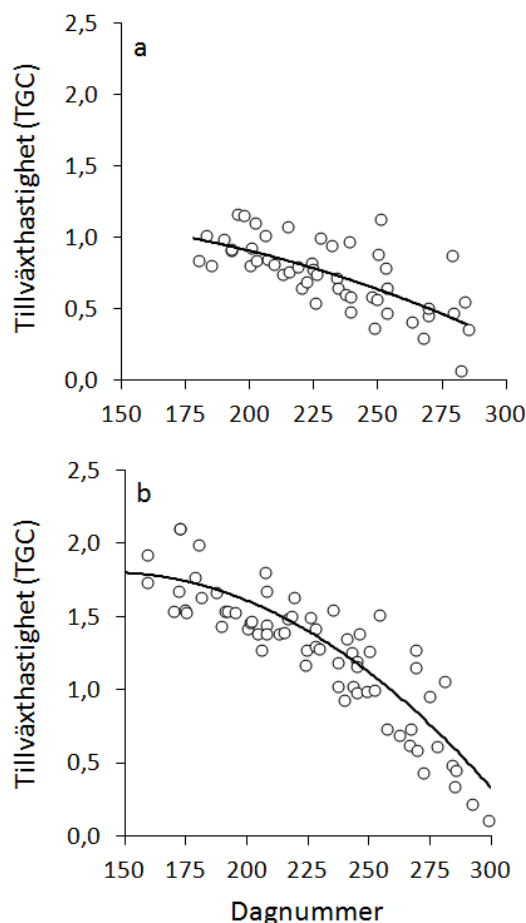
$$TGC = [(W_2^{1/3} - W_1^{1/3}) / (T * D)] * 1000 \quad (\text{Ekvation 1})$$

där W_2 är slutvikten (g), W_1 är startvikten (g), T är vattentemperatur (°C) och D är antalet dagar mellan vägningar (T multiplicerat med D utgör temperatursumman i dygnsgrader).

Insamlingen av data gällde för både första och andra tillväxtsäsongen med totalt 169 mättillfällen. Efter analys av TGC-värden och bortplockning av datapunkter som avvek kraftigt så kvarstod 50 värden för den första odlingssäsongen och 67 värden för den andra. Vi kunde inte se någon skillnad i tillväxt hos lax mellan Heden och Norrfors. Data på TGC visade på en mycket tydlig säsongseffekt, där tillväxtkapaciteten var som högst i början av juni och

¹ Insamlingen av data skedde inom ramen för ett projektarbete på kursen Fiskodling 15 hp vid SLU under 2010. Rapport: Laxens (*Salmo Salar*) tillväxt under en odlingssäsong i Vattenfalls Kompensationsodlingar av Stefan Eriksson, Ann Larsson och Johan Molin.

därefter avtog gradvis under säsongen för att gå mot noll i november (figur 3).



Figur 3. Samband mellan tid på året (dagnummer) och tillväxthastighet (TGC) under a) första respektive b) andra tillväxtsäsongen. Data från Heden och Norrfors.

Sambandet mellan tid på året och tillväxthastighet (TGC) under den första tillväxtsäsongen (figur 3a) kan beskrivas som:

$$TGC = -0,00002 * DN^2 + 0,0034 * DN + 1,0075 \quad (\text{Ekvation 2})$$

där DN är dagnummer. Motsvarande samband för den andra odlingsäsongen (figur 3b) kan beskrivas som:

$$TGC = -0,00006 * DN^2 + 0,0172 * DN + 0,5685 \quad (\text{Ekvation 3})$$

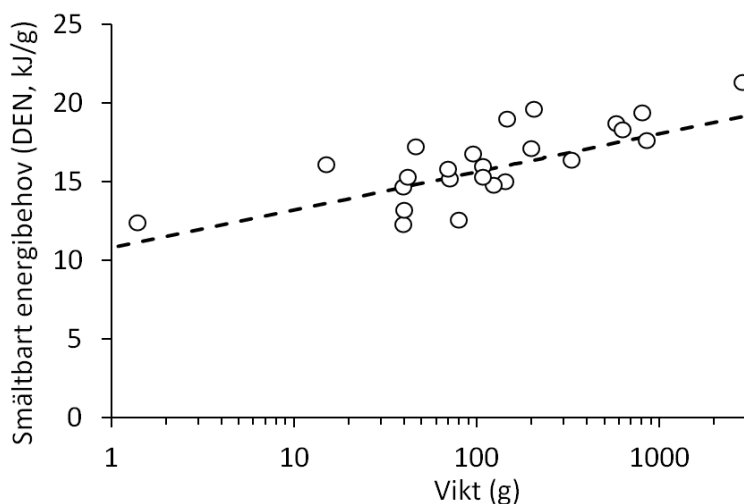
För att kunna styra tillväxten till en önskad slutvikt multipliceras ekvation 2 eller 3 med en justeringsfaktor. Genom att reducera fiskens teoretiska tillväxthastighet via justeringsfaktorn reduceras även den beräknade dagliga fodermängden (se ekvation 6 nedan). Se bilaga 1 för exempel på hur justeringsfaktorn används.

Den teoretiska vikten (W_2) efter en period kan beräknas med hjälp av TGC (ekvation 2 eller 3) enligt följande:

$$W_2 = [W_1^{1/3} + (TGC / 1000 * T * D)]^3 \quad (\text{Ekvation 4})$$

Notera att D ska vara 1 vid beräkning av daglig tillväxt och dagligt foderbehov.

Information om (B) erhålls genom att uppskatta hur mycket smältbar energi det går åt för att producera ett g viktökning (Digestible Energy Need, DEN). Med smältbar energi (Digestible Energy, DE) menas den mängd energi i protein, fett och kolhydrater som fisken kan ta upp via mag- tarmkanalen. På grund av skillnader i hur lax lagrar energi vid olika kroppsstorlekar, muskeltillväxt kontra fettlagring, ökar behovet av smältbar energi (DEN) med ökande kroppsvikt (figur 4). Desto större en lax blir desto mer av energin i födan lagras som fett.



Figur 4. Samband mellan vikt och av smältbart energibehov (DEN) hos lax.

Uppgifter på hur mycket smältbar energi som går åt för att producera ett g lax har hämtats från olika vetenskapliga studier som sammanställts av Bailey & Alanärä (2006a). Sambandet mellan kroppsvikt och DEN för lax kan matematiskt beskrivas som:

$$DEN = 10.77 + 1.05 * \ln(W) \quad (\text{Ekvation 5})$$

där DEN är fiskens behov av smältbar energi (MJ/kg eller kJ/g) och W är kroppsvikt (g).

Med hjälp av komponent A och B kan laxens teoretiska energibehov (TER, MJ DE) per fisk och dygn, beräknas enligt följande ekvation:

$$TER = DEN * W_i \quad (\text{Ekvation 6})$$

där W_i är den dagliga viktsökningen ($W_2 - W_1$)(g/d).

Laxens optimala temperatur för tillväxt anges i litteraturen till ca 17°C, medan den övre gränsen för tillväxt anges till ca 25°C (Elliott & Elliott 2010). Vid temperaturer över 17°C ökar behovet av smältbar energi (DEN) för lax kraftigt medan tillväxthastigheten (TGC) minskar i motsvarande grad ned till 0 vid 25°C (figur 5a). Om data från dessa två kurvor används för att beräkna laxens teoretiska energibehov enligt ekvation 6 ges en bild där behovet ökar linjärt upp till ca 22°C (figur 5b). Vad som händer med energibehovet vid höga temperaturer är dock oklart och påverkas starkt av syrehalten i vattnet. Eftersom utfodring vid höga temperaturer ökar syreförbrukning vilket kan leda till syrebrist, bör fodertillförseln minska med ökad temperatur upp till 25°C för att däröver upphöra. När temperaturen närmar sig 25°C är man farlig nära den dödliga temperaturen för lax.

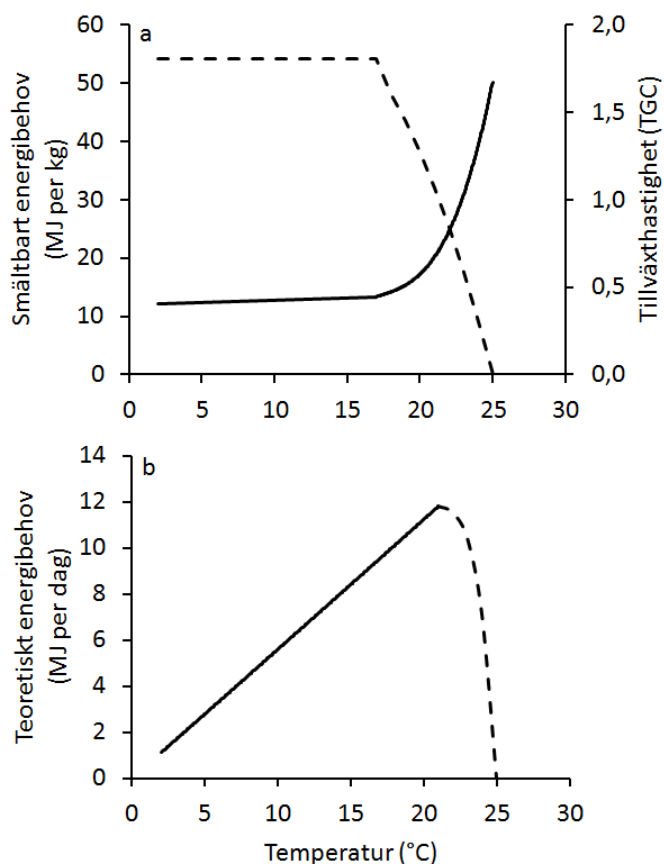
För att ta hänsyn till den exponentiella ökningen av DEN vid temperaturer över 17°C kan följande modell användas för att ta fram en justeringsfaktor (JF-DEN):

$$JF-DEN = 0,0058 * T^3 - 0,2938 * T^2 + 5,0499 * T - 28,341 \quad (\text{Ekvation 7})$$

På motsvarande sätt kan TGC korrigeras för temperaturer över 17°C (JF-TGC):

$$JF-TGC = -0,0071 * T^2 + 0,1778 * T - 0,0095 \quad (\text{Ekvation 8})$$

Värdet på justeringen enligt ekvation 7 och 8 multipliceras sedan med respektive modell för DEN (ekvation 5) och TGC (ekvation 2 eller 3) vid temperaturer över 17°C. Ekvation 7 tar hand om ökningen av DEN vid temperaturer över 17°C och ekvation 8 om minskningen av TGC (figur 5). I bilaga 1 ges exempel på hur temperaturjusteringarna kan användas löpande i beräkningen.



Figur 5. a) Samband mellan temperatur och behov av smältbar energi (DEN data från Koskela *m fl.* 1997, Larsson & Berglund 2005) för 1 g tillväxt (heldragen linje) samt tillväxthastighet (streckad linje). b) Samband mellan temperatur och teoretiskt energibehov hos en 20 g lax.

Med hjälp av det teoretiska energibehovet (TER) kan nu en foderbudget beräknas på daglig basis enligt följande:

$$FA = (n * TER) / DE \quad (\text{Ekvation 9})$$

där FA är fiskens foderbehov (kg/dygn), n är antalet fiskar, TER är det teoretiska energibehovet (MJ DE per dygn fisk), och DE är det smältbara energiinnehållet i fodret (MJ/kg).

Foderkoefficienten anger hur många kg foder det går åt för att producera ett kg fisk. Den är tillsammans med fiskens tillväxt ett viktigt instrument för odlaren för att utvärdera effektiviteten i odlingen. Enbart genom att jämföra uppnådda resultat med teoretiska värden kan odlaren utvärdera om tillväxten motsvarar den förväntade. Foderkoefficienten (FK) beräknas enligt följande:

$$FK = \text{mängd foder (våtvikt) tillförd} / \text{fiskproduktion} \quad (\text{Ekvation 10})$$

Både foderförbrukning och produktion (biomassa slut – biomassa start) anges i kg.

Foderkoefficienten kan beräknas teoretiskt med hjälp av smältbart energibehov (*DEN*) för att producera ett kg fisk (ekvation 5) och fodrets innehåll av smältbar energi (*DE*). Den teoretiska foderkoefficienten anger fiskens foderutnyttjande utan någon form av spill, vilket kan beräknas enligt följande:

$$FK_{teo} = DE / DEN \quad (Ekvation 11)$$

I bilaga 1 ges en fullständig beskrivning av hela beräkningsgången för att komma fram till fiskens energibehov med exempel för applicering i t ex Excel.

3.2 Försöksgrupper och behandling

I projektet ingick tre kompensationsodlingar, Heden i Luleälven, Norrfors i Umeälven och Älvkarleby i Dalälven. Odlingarna i Heden och Norrfors drivs av Vattenfall AB, medan fiskeriförsöksstationen i Älvkarleby drivs av SLU.

I Norrfors och Älvkarleby användes två behandlingar; kontroll med hög fodernivå (överutfodring) och en reducerad fodernivå. I Heden användes samma behandlingar men med ytterligare en reducerad nivå. Notera att tillväxtstyrningen endast genomfördes under den andra odlingssäsongen för produktion av tvåårig smolt. I tabell 1 anges den justeringsfaktor som användes för att styra fiskens tillväxt (se även metod för beskrivning av justeringsfaktor och bilaga 2). Denna faktor var konstant under hela tillväxtperioden. För kontrollgrupper användes en justeringsfaktor på 1,2 vilket innebar en överutfodring och garanti för att fisken inte var tillväxtbegränsad. För reducerade grupper under 2010 och 2011 användes en justeringsfaktor på 0,7 i samtliga odlingar, samt 0,5 under 2010 i Heden. Under 2011 höjdes den lägre justeringsfaktorn till 0,6 i Heden. Under 2012 sänktes justeringsfaktorn till 0,6 för de reducerade grupperna i Norrfors och Älvkarleby, medan Heden låg kvar på 0,6 respektive 0,7. I Heden och Norrfors användes två odlingsbassänger per behandling (två replikat), medan tre odlingsbassänger per behandling (tre replikat) användes i Älvkarleby.

Observera att en justeringsfaktor på t ex 0,7 inte innebär att fiskens vikt blir 70 % av kontrollfiskens vikt. I praktiken handlar det om att prova sig fram till vilken justeringsfaktor som ger den önskade slutvikten. Med hjälp av ekvation 2 och 3, justeringsfaktor och medeltemperaturen för ett antal tidigare odlingssäsonger kan man enkelt testa vilka värden på justeringsfaktorn som teoretiskt ger den önskade slutvikten (se bilaga 2 för exempel i Excel). Därefter får man helt enkelt prova inställningen och jämföra resultatet vid odlingssäsongens slut.

I tabell 1 nedan ges förslag på justeringsfaktorer att använda till ekvation 2 i syfte att uppnå en önskad slutvikt på tvåårig smolt baserat på startvikten. Vi anger inte värden under 0,5 eftersom det troligen blir en alltför kraftig foderreduktion. Notera att ekvation 2 bygger på data baserat på tillväxten under andra odlingssäsongen i Heden och Norrfors. Vid användning

av justeringsfaktorn på andra populationer kan resultaten avvika beroende på skillnader i tillväxtförutsättningar.

Tabell 1. Beräknade justeringsfaktorer för styrning av tillväxten under den andra odlingssäsongen. Välj justeringsfaktor efter startvikt på fisken och önskad teoretisk slutvikt.

Startvikt	Slutvikt					
	40	50	60	80	100	120
4	0,68	0,78	0,87	1,00	-	-
6	0,60	0,69	0,78	0,93	1,00	-
8	0,53	0,63	0,71	0,86	0,98	-
10	-	0,57	0,66	0,80	0,93	-
12	-	0,52	0,61	0,75	0,88	-
14	-	-	0,56	0,71	0,83	0,94

För att med någorlunda precision kunna styra tillväxten mot ett givet mål krävs att utfodringen sker mer eller mindre utan spill. Om det förekommer foderspill kommer fisken att bli mer foderbegränsad än avsett och därmed inte uppnå den beräknade slutvikten. Huvudorsaken till foderspill är för det första att fodermängden är för stor och för det andra att utfodringshastighet är för hög vilket innebär att fisken inte hinner äta allt foder innan det faller ned på botten. I foderreducerade grupper skall det inte finnas något överskott av foder utan det är utfodringshastigheten som kan leda till oönskat foderspill. Till skillnad mot många andra laxfiskar äter laxen i mycket liten utsträckning foder som ligger på botten, vilket gör det extra viktigt att använda en korrekt utfodringshastighet. En dålig spridning av fodret ökar risken att fodret hamnar på botten eftersom en större mängd faller ned på en begränsad yta.

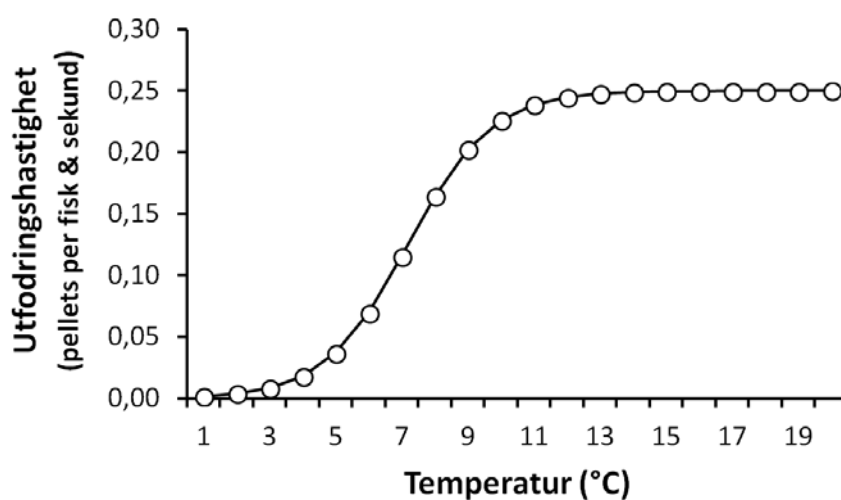
Att anpassa utfodringshastigheten handlar om att anpassa antalet pellets till antalet fiskar. Vanligen anges utfodringshastigheten i antal pellets per fisk och sekund. Den är också temperaturberoende eftersom fiskar är kallblodiga djur. Desto kallare i vattnet desto långsammare blir fisken att fånga fodret. En studie på regnbåge visar att förmågan att fånga pellets i vattnet ökar mycket snabbt vid temperaturer över 5°C för att sedan plana ut vid 12°C (Bailey & Alanärä, 2006b).

Tråget eller bassängens vattendjup påverkar också hur många pellets fisken hinner äta innan det når botten. Djupare tråg ger fisken mer tid. Mer detaljerad information om utfodringshastighet finns beskrivet i en rapport av Alanärä (2000). Inom ramen för detta projekt har vi under 2011 och 2012 försökt använda en modell för utfodringshastighet (figur 6) som kan beskrivas som:

$$\text{Utfodringshastighet} = 0,25 / (1 + \text{EXP}^{(5,75 - 0,8 \cdot T)}) \quad (\text{Ekvation 12})$$

där utfodringshastigheten anges i antal pellets per fisk och sekund, och T är vattentemperaturen. Tidsangivelsen avser foderautomatens gångtid. Syftet

har varit att ge odlingarna ett redskap för att kunna ställa in utfodringshastigheten. Någon utvärdering av resultaten har inte gjorts inom ramarna för detta projekt. Ekvation 12 är inte heller vetenskapligt prövad på lax utan bygger på en modifierad modell framtagen för regnbåge (Bailey & Alanärä, 2006b). Den högsta utfodringshastigheten för regnbåge var 0,45 pellets per fisk och sekund vid 15°C och däröver, medan vi föreslår att värdet för kompensationsodlad lax bör ligga på ca 0,25 (koefficient i ekvation 12). I bilaga 1 ges ett exempel på beräkning av utfodringshastighet och hur den kan användas för att skatta fodermängd vid varje giva.



Figur 6. Samband mellan vattentemperatur och utfodringshastighet (antal pellets per fisk och sekund). Den högsta utfodringshastigheten är satt till 0,25 vid 15°C (ekvation 12).

Vid kompensationsodling av lax sorteras vanligen fisken i tre storleksklasser efter den första tillväxtsäsongen. Tidpunkten varierar mellan odlingar men sker oftast i augusti eller september. Den största storleksklassen i Norrfors (ca 10 g) blir normalt ettårig smolt och sätts ut den efterföljande våren. Mellansorteringen (ca 7 g) och den minsta sorteringen (ca 4 g) är för små för att hinna bli smolt vid ett års ålder och behöver ytterligare en säsong i odlingen för att sedan sättas ut som tvååringar. Inom ramen för projektet användes endast mellansorteringen i Heden och Älvkarleby, medan även den minsta sorteringen användes i Norrfors de två första åren (tabell 2). Prioriteringen av mellansorteringen beror på att de blir mycket stora om de inte foderreduceras.

Beroende på skillnader i bassängstorlek mellan odlingarna varierade antalet fiskar och tätheterna i försöket. I Heden och Älvkarleby reducerades antalet fiskar och därmed tätheterna efter det första året. I Norrfors varierade antalet fiskar mellan år på grund av fisktillgång (tabell 2).

Odlingsbassängerna i Heden var kvadratiska (6 x 6 m) med en yta av 36 m² och ett vattendjup på 40-45 cm vilket ger en volym av ca 15,5 m³. I Norrfors var bassängerna runda (Ø=11 m) med en yta av 94 m² och ett vattendjup på ca 40 cm vilket ger en volym av 38 m³. Älvkarlebys bassänger var kvadratiska (4,8 x 4,8 m) med en yta av 23 m² och ett vattendjup på 70 cm vilket ger en volym av 16 m³.

Tabell 2. Försöksgrupper, justeringsfaktor, startvikt, antal fiskar vid start samt täthet i olika odlingar och år.

Odling / År	Fodernivå	Justeringsfaktor	Startvikt (g)	Antal	Täthet (antal/m ²)
Heden					
2010	Kontroll	1,2	10,0	8333	231
	Reducerad	0,7	9,4	8275	230
	Reducerad	0,5	9,4	8306	231
2011	Kontroll	1,2	9,4	5408	150
	Reducerad	0,7	9,1	5420	151
	Reducerad	0,6	9,1	5433	151
2012	Kontroll	1,2	10,0	5423	151
	Reducerad	0,7	10,0	5340	148
	Reducerad	0,6	10,0	5497	153
Norrfors					
2010	Kontroll	1,2	9,4	7500	80
	Reducerad	0,7	8,8	7500	80
	Kontroll	1,2	4,4	15000	160
	Reducerad	0,7	4,4	15000	160
2011	Kontroll	1,2	9,8	8127	86
	Reducerad	0,7	9,8	8128	86
	Kontroll	1,2	6,9	8044	86
	Reducerad	0,7	6,9	8043	86
2012	Kontroll	1,1	9,7	15041	160
	Reducerad	0,6	9,3	15042	160
Älvkarleby					
2010	Kontroll	1,2	10,2	4264	158
	Reducerad	0,7	9,7	4300	159
2011	Kontroll	1,2	9,2	2915	108
	Reducerad	0,7	8,6	2917	108
2012	Kontroll	1,1	11,1	2981	110
	Reducerad	0,6	11,2	2981	110

Antalet dagar med vattentemperatur över 4°C var mycket lika mellan Heden och Norrfors. Älvkarleby hade en betydligt längre tillväxtsäsong, hela 31 dagar mer än Heden och Norrfors på våren och 12 dagar på hösten. Intervallet för god tillväxt ligger mellan 4 och 17°C och där låg Heden högst med 155 dagar i genomsnitt, medan Norrfors och Älvkarleby låg på ca 130 dagar. I Älvkarleby låg temperaturen över den optimala för tillväxt (17°C) under större delen av sommaren och 2 av 3 år hade mer än 30 dagar med temperaturer över 20°C (tabell 3). Även Norrfors hade relativt många dagar med temperaturer över 17°C, medan situationen i Heden var mer gynnsam.

Tabell 3. Antal dagar med vattentemperaturer över 17°C respektive 20°C

År	Odling					
	Heden		Norrfors		Älvkarleby	
	>17°C	>20°C	>17°C	>20°C	>17°C	>20°C
2010	25	0	51	11	72	34
2011	29	0	40	0	84	43
2012	4	0	32	0	76	5

3.3 Fodersystem

I Hedens kompensationsodling användes ett datoriserat fodersystem (ArvoTech). I systemet kan egna fodermodeller läggas in vilket underlättade styrningen av fodernivån. Baserat på ekvation 6 beräknade vi de koefficienter som behövs för att lägga in en egen modell för energibehov i Hedens system ($h_1=0,062$, $h_2=0,056$, samt $m=0,725$). För att kunna ta hänsyn till säsongseffekten på tillväxt justerades fodernivån i systemet manuellt enligt en på förhand beräknad skala. Utfodringen skedde via ett robotsystem i taket ovan bassängerna där foderautomaterna satt monterade. En foderautomat levererade foder till en linje med bassänger. Systemet hade vissa begränsningar i hur intensivt foder kunde levereras, t ex morgon och kväll, då det tog en viss tid för roboten att flytta sig mellan bassänger. Foderautomaterna var inte utrustade med en spridningsfunktion, vilket innebar att fodret släpptes ned på ett begränsat område av bassängen.

I Norrfors odling användes ett datoriserat system från AkvaGrup, bestående av två olika delar, ett administrativt system (FishTalk) för beräkning av tillväxt, bokföring av foderåtgång, dödlighet, mm, samt ett utfodringssystem, AkvaControll. Utfodringssystemet som är fristående styr med en egen tillväxtkurva utfodringen men skickar en gång i dygnet över utfodrad mängd till FishTalk som via en mer avancerad tillväxtkuva beräknar och skickar tillbaka ny medelvikt och aktuellt antal för respektive besättning. Den tillväxtmodell som tagits fram i projektet (ekvation 2) i kombination med uppgifter på teoretisk foderkoefficient (ekvation 11) användes för att ställa fodernivån in i systemet. Säsongseffekten på tillväxt hanterades automatiskt men endast på månadsbasis. Fodret förvarades i silos och blåstes ut med tryckluft via slangar till respektive bassäng. Fodret spreds över en stor del av bassängens yta. Den dagliga fodergivan fördelades ut under två perioder på dygnet, morgon och kväll.

Fodersystemet i Älvkarleby grundades på en programvara där daglig fodermängd, fodergiva (g per portion) och timmar för utfodring angavs. Fodermängd enligt ekvation 9 beräknades i ett kalkylprogram vid sidan om. Säsongseffekten på tillväxt hanterades i kalkylprogrammet. Uppgifterna i fodersystemet uppdaterades en gång i veckan, varje måndag morgon. För uppräknig av daglig fodergiva angavs en procentsats i systemet. Även procentsatsen beräknades i kalkylprogrammet. Den dagliga fodergivan fördelas ut under två perioder på dygnet, morgon och kväll.

Foderautomaterna spred inte fodret utan allt foder levererades inom ett begränsat område av bassängen.

3.4 Foder

Kompensationsodlingarna i Heden och Norrfors använde ett traditionellt foder för sättfiskproduktion av lax (tabell 4). Vanligen används dessa foder för produktion av snabbväxande smolt som skall odlas vidare i matfiskodlingar. I Älvkarleby användes två foder med olika fettinnehåll som båda var klart lägre än fettinnehållet i fodret som användes i Heden och Norrfors, speciellt för tvåårig fisk (tabell 4).

Tabell 4. Fodertyper som användes i försöken vid olika odlingar.

	Heden & Norrfors		Älvkarleby	
Foderinnehåll	Ettårig fisk	Tvåårig fisk	9 % fett	15 % fett
Protein (%)	56	48	59	54
Fett (%)	18	23	9	15
Kolhydrater (%)	8,9	14,7	11,5	11,7
Energiinnehåll (MJ DE/kg)	19,3	20,1	16,8	17,8
Foderbolag	BioMar	BioMar	AllerAqua	AllerAqua

3.5 Fenskador

Inom ramen för projektet har identifiering av skador på ryggfena, stjärtfena och bröstfenor prioriterats. 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 fenskador bedömdes efter en skala framtagen av Hoyle *m fl.* (2007). Den bygger på fotografier av skador på regnbåge och är uppdelad i sex klasser där 0 är en fullständigt intakt fena utan skador och 5 innebär att fenan mer eller mindre saknas. 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 bilaga 3 redovisas en bedömningsmall för fenskador som bygger på samma princip som Hoyle *m fl.* (2007) men med bilder på laxfenor. Dessutom visas en skala på fenerosion som bygger på en artikel av Person-Le Ruyet *m fl.* (2007), vilken också kan vara till användning för att kvantifiera skador.

Denna typ av bedömning är till viss del subjektiv och för att minska risken med felklassning utfördes bedömningen av samma person/personer på

respektive odling. Antalet fenscadebedömningar varierade något mellan odlingar och år, men skedde vid minst fyra tillfällen under tillväxtsäsongen. I samband med PIT-tag märkningen innan utsättningen på våren bedömdes fenstatus hos 3000 fiskar per behandling, år och odling.

3.6 Fettanalyser

Andel kroppsfett i smolt mättes med hjälp av infraröd spektrofotometri (MIT, Elvingson & Sjaunja 1992) med ett Miris DMA-instrumentet (Miris AB, Uppsala, Sverige) kalibrerad för fiskvävnad. Laxfiskar lagrar fett i olika delar av kroppen, först och främst i muskelvävnad och som visceralt fett kring inälvor. För att få en representativ uppskattning av den totala kroppsfetthalten användes hela fisken (utan huvud) för mätningarna. Fiskarna homogeniserades med LOSSolver (Miris AB, Uppsala, Sverige), filtrerades, och mättes i duplikat enligt tillverkarens anvisningar; för metodbeskrivning se Trombley *m fl.* (2012).

3.7 Märkning med PIT-tag

I syfte att följa upp havsöverlevnad märktes 3000 ettårig smolt, 3000 tvåårig smolt som foderreducerats, samt 3000 tvåårig smolt utan foderreduktion (kontroll) från respektive odling och år (se tabell 7 för vikt vid märkning och utsättning). Under hösten 2012 avbröts fiskmärkningen i Heden. Orsaken till detta var att det saknades förutsättningar att inom rimliga ekonomiska ramar fånga tillräckligt många återvandrande laxar för utvärdering av havsöverlevnad.



Figur 7. Foto av olika märken som använts i projektet. PIT-tag (mitten) som är 2,1 x 12,5 mm långt och väger 0,12 g, akustiskt märke (nedre) som är 7,3 x 18 mm och väger 1,9 g. Foto Anders Alanärä.

Märkningen med PIT-tag genomfördes under mars eller april. 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 (figur 7).

3.8 Bedömning av smoltifieringsgrad

- Yttre smoltkaraktär

En enkel metod för att skatta smoltifieringsgraden är att skatta fiskens yttre smoltkaraktär utifrån ett färgindex med en 4-gradig skala (Staurnes *m fl.* 1993). Klass 0 representerar en fisk som ej påbörjat sin smoltifiering, d v s med tydliga stirrfläckar och utan silvrig färg. Klass 1 är fiskar som har påbörjat smoltifieringen med viss silvrig färg men som fortfarande har tydliga stirrfläckar på sidorna. Klass 2 är fiskar som är mer silvriga, har diffusa stirrfläckar och fenkanter som börjar bli mörkare. Klass 3 är fiskar som är fullt silvriga, stirrfläckarna syns inte längre, samt fenkanterna och ryggen är mörka. I bilaga 4 redovisas bilder på lax i olika smoltstadier som kan användas till stöd för bedömning.

- Saltvattenstest

Ett tecken på att smolten fysiologiskt är anpassad för utvandring är att den överlever en längre tid i vatten med höga saltkoncentrationer motsvarande havsvatten. Denna förmåga testades med hjälp av ett saltvattenstest där fisken överfördes direkt från sötvatten till saltvatten varefter dödligheten noterades över en fyradagarsperiod (Blackburn & Clarke 1987). För en detaljerad beskrivning av testet se bilaga 5.

- Na^+/K^+ -ATPas

Under smoltifiering ökar enzymaktiviteten av Na^+/K^+ -ATPas i gälarna för att laxsmolten ska kunna upprätthålla sin saltbalans när den vandrar från sötvatten till saltvatten. Aktivitetsökningen av Na^+/K^+ -ATPas anses vara en viktig fysiologisk parameter som visar grad av smoltifiering och gälprover togs för att testa Na^+/K^+ -ATPas-aktiviteten i gälarna enligt metod av McCormick (1993).

3.9 Tidigt könsmogna hanar

Andelen könsmogna hanar kontrollerades vid märkningen med PIT-tag på våren då det är relativt lätt att urskilja könsmogna hanar genom ett lätt tryck på buken. Inom ramen för projektet utfördes också försök i Älvkarleby för att studera om fetthalten i fodret har någon effekt på andelen könsmogna hanar. Ettårig lax från mellansorteringen utfodrades med foder med olika fetthalt (9, 15 och 20 %) under andra odlingssäsongen, april till september. Fodermängden motsvarade det som kontrollgrupperna i försöket med tillväxtstyrning fick. Fiskarna avlivades vid försökets slut och andelen tidigt könsmogna hanar bestämdes efter dissektion.

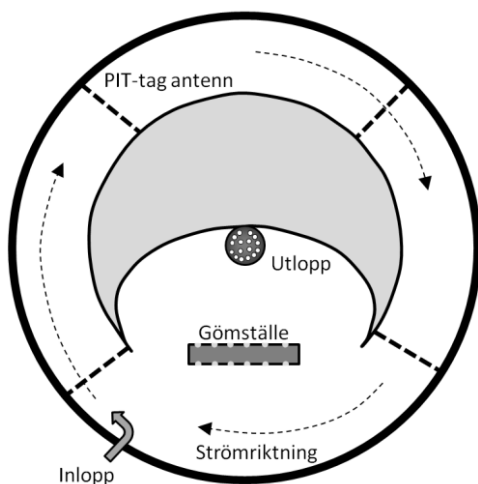
Tidig könsmognad under första hösten är mycket sällsynt både i naturliga bestånd och i odlingen. Tidigare studier har visat att utsättning av ettårig laxsmolt minskar andelen hanar som blir köns mogna följande höst (Jonsson & Jonsson 2005). Genom att förbättra tillväxtförhållandena för fisk som ska sättas ut som ettårig smolt finns det en risk att det leder till en ökad andel hanar som blir köns mogna på hösten efter utsättning. Trots att det kan vara lite svårt att studera, eftersom tillväxtförhållandena i odlingen skiljer sig väsentligt från tillväxtförhållandena i naturen, gjordes ett försök att uppskatta andelen hanar som blev köns mogna efter utsättning genom att i Älvkarleby spara en mindre grupp av ettårig smolt ($n=200$) fram till hösten.

Tidigare studier (Maugars & Schmitz 2007, Trombley *m fl.* 2012) har visat att köns mognadsprocessen hos ettåriga laxhanar börjar under perioden maj-juni och flera studier tyder på att tillväxtförhållandena under våren påverkar frekvensen av hanar som blir köns mogna (Berglund 1995, Maugars & Schmitz 2008). Inom projektet genomfördes flera försök i Älvkarleby för att testa om man genom att reducera fodernivån och därigenom tillväxthastigheten under vissa perioder på våren den andra odlings säsongen kunde producera fisk med lägre andel tidigt köns mogna hanar. Ettåriga fiskar från mellansorteringen (>6 g, $n=200/\text{tråg}$, ett replikat) fick reducerad fodertillgång (50 % av kontrollnivå) under olika perioder från början av april till mitten av juni (tiden då köns mognadsprocessen börjar). Foderreduktionen genomfördes antingen från april till slutet av juni (dagnummer 107-180), tre veckor i april (dagnummer 107-127) eller tre veckor i maj (dagnummer 128-148). Därefter utfodrades fiskarna i överskott fram till september. Andelen tidigt köns mogna hanar bestämdes efter dissektion och jämfördes med en kontrollgrupp som fick obegränsat med foder under hela försöket. Försöken utfördes under 2010, 2011 och 2012.

3.10 Vandringsbassänger

I syfte att i mer detalj och under kontrollerade förhållanden kunna följa fiskens vandringsbeteende efter utsättning byggdes två stycken vandringsbassänger. Vandringsbassängerna utgjordes av ordinarie odlingsbassänger i Norrfors kompensationsodling vilka är byggda i betong och är 11 m i diameter och ca 1 m djupa. En inre vägg byggdes med plexiglasskivor för att skapa en kanal i bassängen. Ett poolområde skapades i mitten av bassängen för att ge fisk en möjlighet att uppehålla sig i ett lugnt område (figur 8), här placerades även ett gömställe. Gömstället bestod av ett halvt PVC-rör (diameter 40 cm). På långsidorna borrades hål där fisken kunde simma in och ut. Längden på skyddet var ca 3 m. Kanalens bredd var 1,4 m och längden mätt i mitten av kanalen var 32 m. Beroende på vattentrycket i inloppsledningen varierade strömhastigheten mellan 0,2-0,3 m/s och vattendjupet mellan 35-40 cm i olika försök.

För att kunna registrera fiskens simriktning och hastighet placerades fyra PIT-tag-antennar ut med jämna mellanrum längs kanalen. PIT-tag-läsare och en dator för insamling av data placerades i ett skåp i anslutning till respektive bassäng.

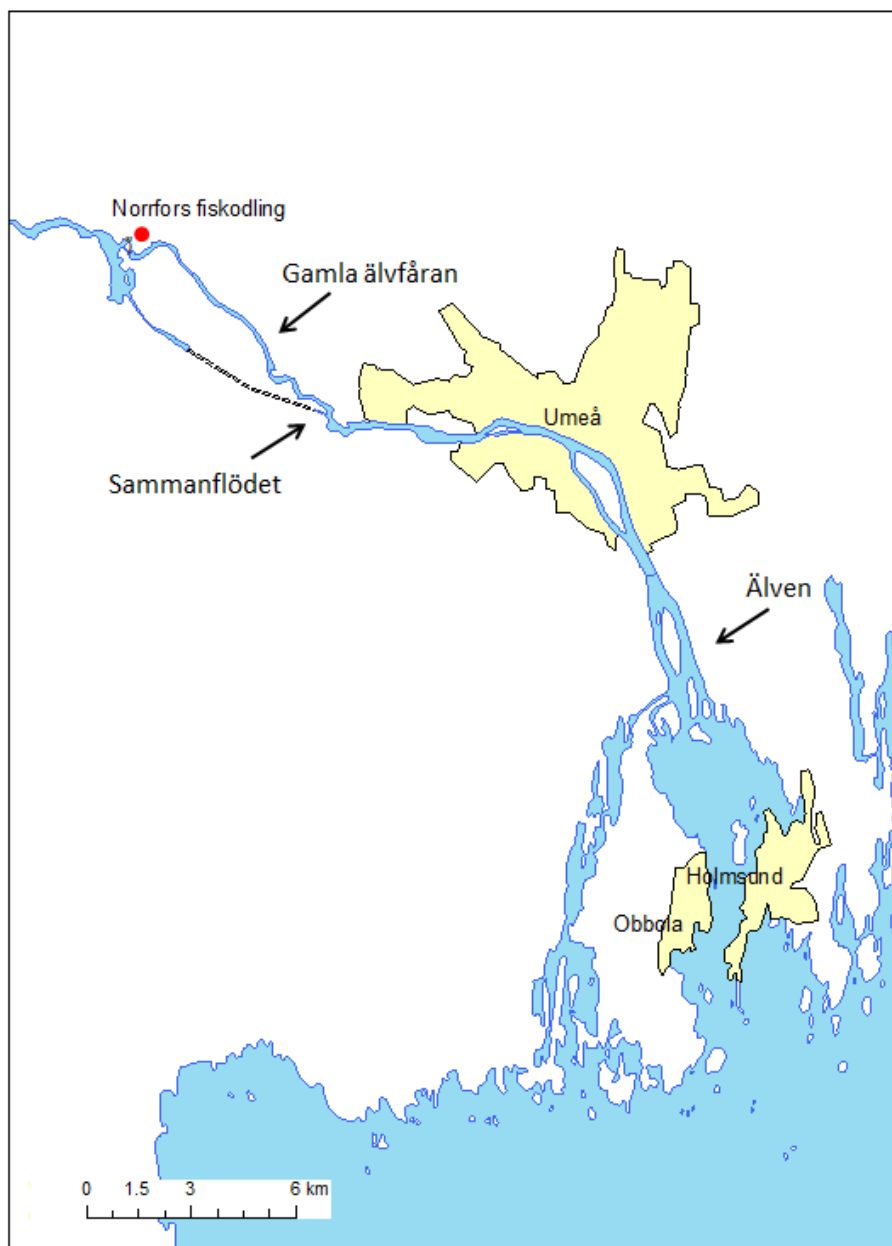


Figur 8. Schematisk skiss över en vandringsbassäng.

3.11 Akustisk telemetri i Umeälven

Norrfors fiskodling ligger ca 30 km uppströms Umeälven vid utskovsdammen till Stornorrfors kraftverk. Vattnet som används i kraftverket går i en tunnel under marken och återförs till älven ca 10 km nedströms i ett område som kallas för sammanflödet. Nedströms sammanflödet är älven bred och av en homogen karaktär. I den gamla älvfåran mellan dammen och sammanflödet släpps vatten under hela året enligt beslut i vattendomen. Under fiskvandringsperioden (maj-oktober) varierar flödet mellan 10 och 50 m³ per sekund men kan vid vårfloed och andra tillfällen vara betydligt högre. Övrig tid råder vintertappning och bara någon enstaka kubikmeter vatten rinner där. Miljön i den gamla älvfåran består av både fors- och selpartier och är betydligt mer heterogen än sträckan efter sammanflödet (figur 9).

Utsättningen av odlad fisk har de senaste åren skett i huvudsak nedanför dammen och smolten vandrar genom den gamla älvfåran till sammanflödet och sedan vidare ut till Holmsund där älven mynnar i Bottenviken. Under tre år utfördes akustiska telemetristudier för att undersöka om smoltens storlek påverkar vandringen i älven ut till havet.



Figur 9. Karta över studieområdet med Umeälvens nedre del från dammen vid Norrfors fiskodling och ut till Holmsund och mynningen i Bottenviken.

Första året, 2011, märktes två grupper av tvåårig smolt den 10e maj från två odlingstråg med olika medelvikter (tabell 5). Vid ett senare tillfälle, den 10e juni, märktes även en grupp med ettårig smolt, men många dog innan utsättning varför denna grupp tagits bort från analysen. Den höga dödligheten berodde förmodligen på att vi var tvungna att invänta att fisken uppnådde en storlek av ca 35 g vilket gjorde att vattentemperaturen hann stiga till 16°C vid märkningstillfället. Detta i kombination med att fisken hölls kvar på odlingen ca tre veckor efter märkningen tror vi ledde till den höga dödligheten. Dödligheten var väldigt låg för tvååringarna som märktes vid

låga temperaturer i början av maj och det var endast två fiskar som dog innan utsättning av de 450 tvååringar som totalt märktes under de tre åren. Vild smolt fångades i en smoltfälla i älven uppströms dammen vid Spöland och märktes vid två tillfällen, den 25e maj och den 7e juni, för att fungera som referens (tabell 5). Andra året, 2012, märktes tre grupper tvåårig odlad smolt mellan den sista april och den 8e maj. De grupper som märktes var en kontrollgrupp, en grupp som blivit reducerad i odlingen och ytterligare en reducerad grupp som använts i ett mindre foderförsök med kraftig foderreducering (tabell 5). Sista året, 2013, märktes tre grupper tvåårig smolt mellan den 6e och 8e maj. För att få tydlig storleksskillnad mellan grupperna valdes fiskar av en viss storlek ut från kontroll-, och reducerade grupper i odlingen (tabell 5). Fisken märktes kirurgiskt med akustiska märken (tillverkare Thelma Biotel, 7,3 x 18 mm, vikt 1,9 g i luft, figur 7). Mottagare (Vemco, VR2 och VR2-W) sänktes ned i älven på olika platser innan fisken sattes ut och data laddades ur när mottagarna plockats upp efter att smoltvandringen var avslutad.

Tabell 5. Fiskdata akustiska märkgrupper. År 2011 hade vi inte tillgång till foderreducerade fiskar utan S står för minsta sorteringen och M mellansorteringen.

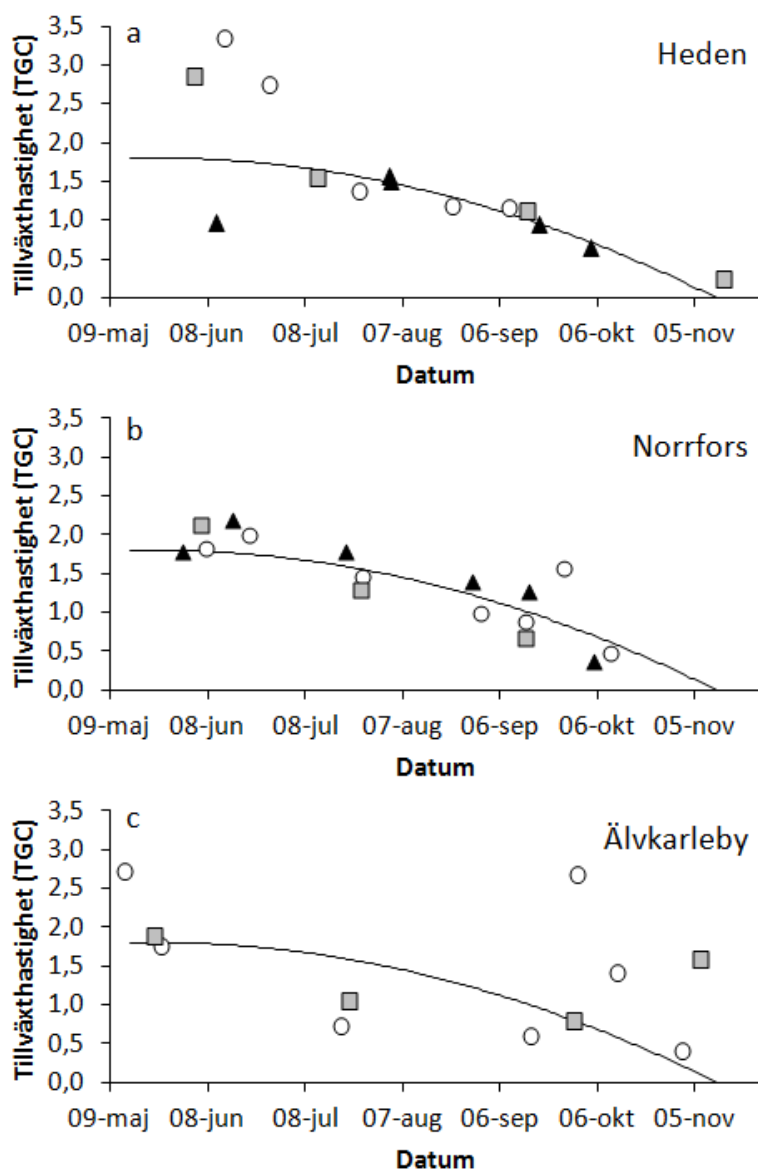
År	Ursprung	Medelvikt (g)	Ålder	Fodernivå	Antal märkta
2011	Odlad	63	2	Kontroll S	25
	Odlad	119	2	Kontroll M	25
	Vild	31	~3		44
	Odlad	37	1		56 ^a
2012	Odlad	88	2	Kontroll	100
	Odlad	51	2	Red – 0,6	100
	Odlad	27	2	Red – 0,3	50
2013	Odlad	68	2	Red – 0,6	50
	Odlad	115	2	Kontroll	50
	Odlad	182	2	Kontroll	50

^{a)} Nästan alla märkta fiskar dog innan utsättning och därför är gruppen borttagen ur analysen.

4 Resultat och diskussion

4.1 Tillväxtmodell

Laxens tillväxt i Heden och Norrfors under olika år stämde väl överrens med den teoretiska modellen (ekvation 2, figur 10a & 10b). Förutom en viss avvikelse i början av tillväxtsången i Heden låg TGC-värdena mycket nära de teoretiska. Vid låga temperaturer och med korta intervall mellan vägningar kan TGC-värdet anta höga eller låga värden beroende på slumpmässiga fel vid vägningen av fisk. Det förväntades att uppmätta respektive teoretiska värden skulle stämma överrens eftersom modellen grundades på data från Heden och Norrfors, samt att tillväxten i dessa odlingar var mycket lika. Den teoretiska modellen stämde dock mindre bra för odlingen i Älvkarleby. Huvudorsaken till detta var troligen den höga vattentemperaturen under sommaren. För både 2010 och 2011 låg TGC-värdet under sommaren klart under det teoretiska värdet. Mot hösten låg dock tillväxten över det teoretiska värdet vilket betydde att laxen kompenserade den dåliga tillväxten under sommaren med att växa bättre än förväntat (figur 10c). Detta resulterade i att slutvikterna för kontrollgrupperna i Älvkarleby blev ungefär desamma som i Heden och Norrfors (tabell 7). Modellen är därför begränsad i sin användning för att skatta fiskens teoretiska tillväxt under olika delar av odlingssäsongen, men fungerar någorlunda bra till att skatta slutvikten.



Figur 10. Tillväxthastighet (TGC) under olika delar av odlingssäsongen i a) Heden, b) Norrfors, c) Älvkarleby under 2010 (vita cirklar), 2011 (grå kvadrater), samt 2012 (svarta trianglar). Endast kontrollgrupperna ingår i figuren. Helden linje anger teoretisk tillväxthastighet enligt ekvation 2.

Rekommendationer för att skapa en egen tillväxtmodell

- 1 För att kunna skapa en egen modell (ekvation 2 & 3) över fiskens tillväxt i odlingen behöver provvägningar göras regelbundet. Det bör ske med tre veckors intervall mellan vägningar, samt med viss försiktighet vid höga vattentemperaturer ($>17^{\circ}\text{C}$). Sträva efter slumpvisa urval med minst 100 fiskar i varje prov. Ett slumpvis urval underlättas om bassängen tappas på vatten så att fisken trängs ihop och inte kan simma iväg så lätt.

4.2 Tillväxtstyrning

Resultatet av tillväxtstyrningen blev överlag relativt bra, men visade också på svårigheten att hitta rätt nivå på justeringsfaktorn. Justeringsfaktorn är unik för varje odling och måste provas ut systematiskt. Inom ramen för projektet behöll vi ungefär samma värden på justeringsfaktorn varje år i syfte att kunna utvärdera vilka faktorer som inverkade på tillväxtstyrningen.

I Heden växte de begränsade grupperna ca 10 g mer än vad modellen beräknade under 2010 och 2012 (tabell 6). Under 2011 var avvikelsen större och de växte ca 20 g mer.

Trots problem med höga vattentemperaturer och att tillväxtmodellen därmed inte fungerade så bra periodvis, hade Älvkarleby det bästa slutgiltiga resultatet av alla odlingar under 2010 och 2011. Som tidigare diskuterats beror det på att fisken kompenserar den dåliga tillväxten under sommaren med att växa bättre under hösten. Vikten hos foderreducerade grupper blev därför ungefär lika som den beräknade. Under 2010 användes foder med 9 respektive 15 % fettinnehåll. Fettinnehållet hade ingen inverkan på tillväxten men en tydlig effekt på fetthalten i fisken vilket diskuteras senare i rapporten. Tyvärr orsakade en del tekniska problem och misstag i att föra över uppgifter från kalkylprogrammet till fodersystemet att fodernivåerna i Älvkarleby blev avsevärt lägre än planerat under 2012.

I Norrfors blev fodernivåerna högre än beräknat vilket resulterade i en relativt liten reduktion av slutvikten under 2010 och 2012 (tabell 6). Under 2011 var resultatet bättre speciellt för den minsta sorteringen.

Resultaten varierade således både mellan odlingar och mellan år. Det fanns en rad orsaker till detta, varav de viktigaste var att temperaturen varierade (speciellt perioder med hög temperatur), olika utfodringssystem hade olika grad av möjlighet till egna modeller, samt sjukdomsutbrott med efterföljande behandling.

Dödligheten var generellt låg, under 10 %, i de flesta fall med undantag för Älvkarleby under 2012 där de av misstag kraftigt foderreducerade grupperna uppvisade en förhöjd dödlighet (tabell 6). Den tillväxtreduktion som uppnåddes inom ramen för projektet ledde således inte till förhöjd dödlighet jämfört med kontrollgrupper.

Tabell 6. Resultat av tillväxtstyrningen för tvåårig smolt i respektive odling och år. Slutvikt betyder vikten vid slutet av odlingssäsongen (oktober-november). Beräknad slutvikt simulerades baserat på ekvation 2 med hjälp av den aktuella startvikten och vattentemperatur i respektive odling och år (se även bilaga 2). Avvikelse anger skillnaden mellan uppnådd slutvikt och beräknad slutvikt.

Odling	År	Fodernivå	Slutvikt (g)	Beräknad slutvikt (g)	Avvikelse (g)	Dödlighet (%)
Heden	2010	Kontroll	106			1,4
		Red – 0,7	57	49	8	3,9
		Red – 0,5	47	33	14	10,3
	2011	Kontroll	112			1,1
		Red – 0,7	81	59	22	4,6
		Red – 0,6	65	48	17	2,7
	2012	Kontroll	82			0,3
		Red – 0,7	70	58	12	1,7
		Red – 0,6	59	48	11	1,4
Norrfors	2010	Kontroll	114			1,4
		Red – 0,7	102	54	48	3,0
		Kontroll	71			3,7
		Red – 0,7	72	38	34	2,9
	2011	Kontroll	105			1,6
		Red – 0,7	81	64	17	1,8
		Kontroll	69			2,1
		Red – 0,7	56	54	2	3,2
	2012	Kontroll	112			1,5
		Red – 0,6	69	40	29	3,4
Älvkarleby	2010	Kontroll ^a	107			13,1
		Red – 0,7 ^a	72	74	-2	11,0
	2011	Kontroll	141			9,0
		Red – 0,7	69	76	-7	8,4
	2012	Kontroll	68			2,9
		Red – 0,6	18	69	-51	17,4

^{a)} I behandlingen ingick foder med olika fetthinnehåll. Då inga skillnader i tillväxt observerades har resultaten slagits ihop.

4.3 Vikt vid utsättning

Den tvååriga smolten uppvisade ingen egentlig tillväxt i någon av odlingarna mellan märkningstillfället i mars eller april och utsättningen (tabell 7). Tiden mellan att temperaturen börjar stiga på våren och tidpunkt för

utsättning är relativt kort. Fisken hinner i de flesta fall bara kompensera för den viktninskning som skett under vintern. Data från ett av vandringsförsöken visar att den tvååriga fisken under denna period snarare tappade i vikt och att de inte var särskild födomotiverad (se kapitel 4.8). Ettårig fisk däremot uppvisade en mycket hög tillväxt i Heden och Norrfors (tabell 7). I dessa odlingar sätts fisken ut i slutet av juni eller början av juli, vilket innebär en tillväxtperiod av 6-8 veckor med goda temperaturförhållanden. I genomsnitt nästan tredubblar de sin vikt. I Älvkarleby sätts den ettåriga smolten ut mycket tidigare och de hinner därför inte växa till lika mycket.

Att reducera fodermängden i odling kan orsaka en ökad storleksvariation mellan individer i gruppen. Mer konkurrenskraftiga individer tar för sig av en större del av fodermängden vilket kan leda till att svagare individer blir än mer foderbegränsade (Brännäs *m fl.* 2001). Reducerade fodermängder resulterade inte i någon ökad storleksvariation inom gruppen jämfört med kontrollgrupper (tabell 7). Variationskoefficienten för tvåårig smolt låg mellan 30-50% oberoende av behandling, medan den för ettårig smolt var betydligt lägre, 20-25%.

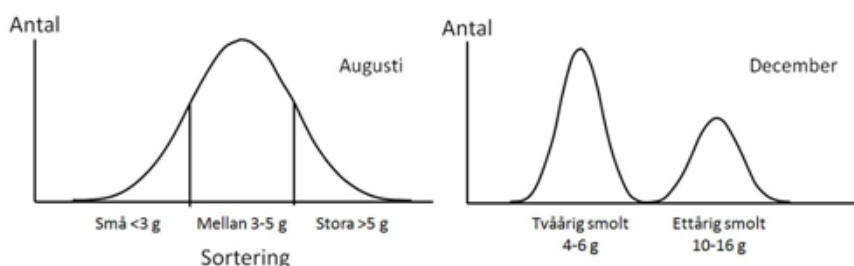
Tabell 7. Vikt vid märkning och utsättning för grupper som märktes med PIT-tag på odlingarna under olika år. Vid märkningen anges även min-max värden för varje märkgrupp och variationskoefficienten (CV = standardavvikelse / medelvikt). För varje utsättning anges även datum.

Medelvikt: För varje utsättning anges även datum.							
Odling	Ålder	Behandling	Märkning			Utsättning	
			vikt (g)	Min - max	CV	vikt (g)	Datum
Heden							
2011	1	-	13	6-89	25%	33	6/7
2011	2	Kontroll	107	11-289	42%	103	16/5
2011	2	Reducerad 0,7	61	10-142	29%	62	16/5
2012	1	-	16	7-30	19%	34	1/7
2012	2	Kontroll	108	8-296	44%	110	28/5
2012	2	Reducerad 0,7	75	11-227	37%	74	28/5
Norrfors							
2011	1	-	12	6-66	24%	57	9/7
2011	2	Kontroll	104	6-223	28%	116	24/5
2011	2	Reducerad 0,7	71	16-200	32%	84	24/5
2012	1	-	17	6-35	20%	42	26/6
2012	2	Kontroll	96	15-226	38%	104	25/5
2012	2	Reducerad 0,7	54	14-128	36%	58	25/5
2013	1	-	11	6-20	20%	30	17/6
2013	2	Kontroll	106	28-276	34%	114	23/5
2013	2	Reducerad 0,6	66	16-160	30%	64	23/5
Älvkarleby							
2011	1	-	14	7-30	22%	15	11/5
2011	2	Kontroll	113	11-248	34%	105	29/4
2011	2	Reducerad 0,7	89	20-201	32%	84	29/4
2012	1	-	23	6-90	29%	27	22/5
2012	2	Kontroll	151	34-464	44%	134	10/5
2012	2	Reducerad 0,7	54	10-235	48%	63	9/5
2013	1	-	19	7-105	19%	27	28/5
2013	2	Kontroll	88	10-267	50%	92	14/5
2013	2	Driftbesättning ^a	134	12-365	35%	139	15/5

^{a)} På grund av problem med fodernivån i reducerade grupper utgår dessa i märkningen. Istället märktes en grupp som inte ingick i försöket och som inte var foderbegränsad.

Rekommendationer för tillväxtstyrning

- 2 Storleken på justeringsfaktorn måste provas ut systematiskt. Simulera fiskens tillväxt i odlingen och fastställ ett värde på justeringsfaktorn beroende på önskad slutvikt. Använd justeringsfaktorn under hela tillväxtsäsongen och utvärdera skillnaden mellan teoretiskt slutvikt och uppnådd slutvikt. Använd provvägningar och foderkoefficient som redskap för utvärderingen.
- 3 Inom kompensationsodling av lax bör strategin vara att maximera antalet ettårig smolt. Ettårig smolt är mer lik en vild smolt med avseende på storlek. Däremot är fetthalten i fisken avsevärt högre jämfört med de vilda. Här kan foder med lägre fettinnehåll vara att föredra utan att tillväxten försämras. Ettåriga smolten har vanligen avsevärt bättre kvalitet på fenorna jämfört med tvåårig smolt. Teoretiskt kan man tänka sig att ju kortare tid i odlingen desto bättre för överlevnad efter utsättning eftersom domesticeringseffekten sannolikt blir lägre.
- 4 Tillämpa ett "gasa och bromsa" tillvägagångssätt där en strategi är att ge ettårig smolt de bästa möjliga tillväxtförutsättningarna under den första hösten, medan strategin för tvåårig smolt är att bromsa tillväxten under motsvarande period. Ju mindre fisken är vid starten av odlingssäsongen desto mindre behöver fodernivån reduceras för att uppnå en slutvikt av ca 50 g. För fisk som redan vid starten väger över 10 g behöver fodernivån reduceras så mycket att det kan leda till problem med fenskador. Börja därför med foderreduktionen redan under den första odlingssäsongen. Under hösten efter första odlingssäsongen sorteras fisken vanligen i tre grupper, små, mellan och stora. Avsikten är att den största sorteringen skall bli ettårig smolt, medan resterande fisk går kvar i odlingen ytterligare ett år och blir tvåårig smolt. Sortera därför fisken så tidigt som möjligt, t ex mitten av augusti. Den största sorteringen ges bästa möjliga förutsättningar att fortsätta växa och bli så stor som möjligt innan vintern (figur 11). De två minsta sorteringarna foderreduceras under resterande del av hösten. På så sätt ges goda möjligheter att hålla ner vikten till den andra odlingssäsongen.



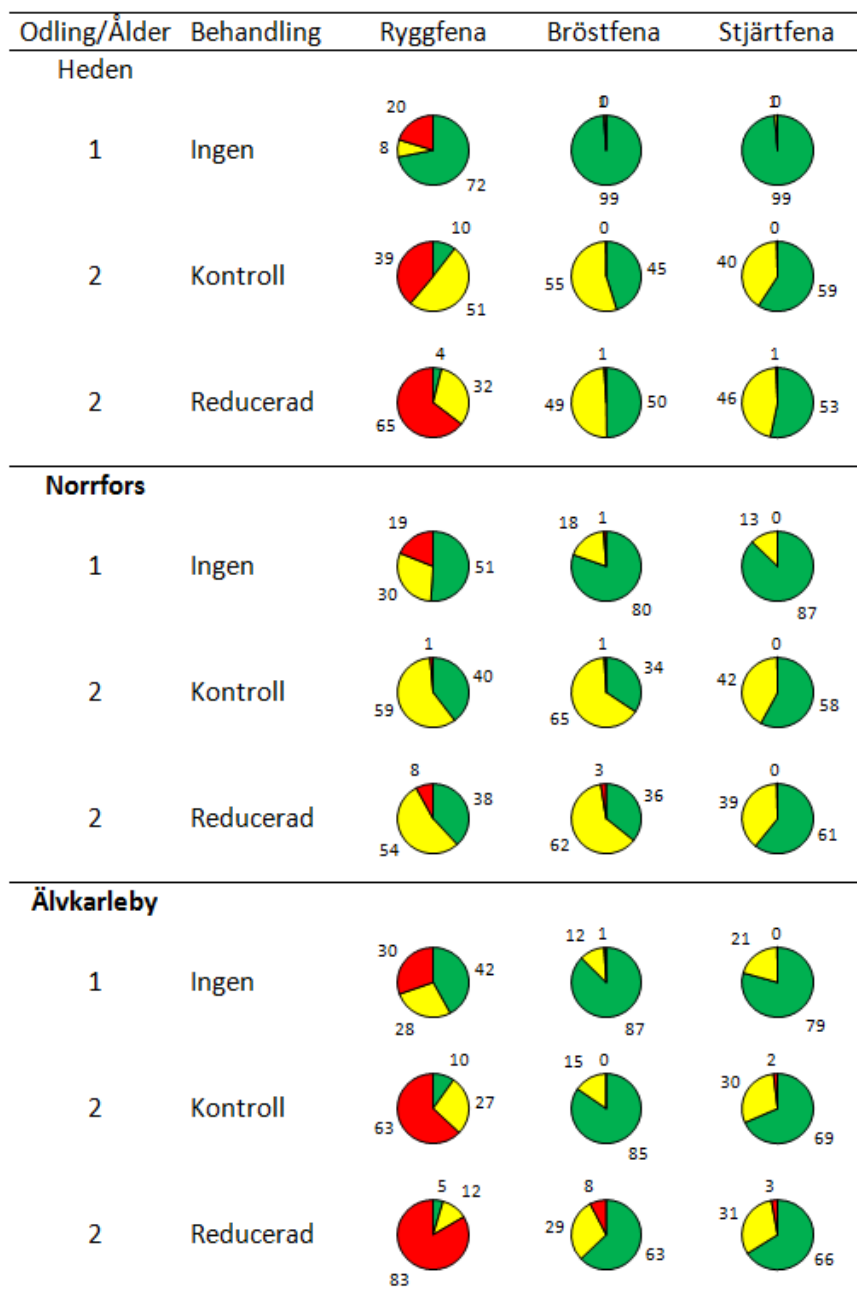
Figur 11. Vid sorteringen i augusti är storleksfördelningen normal. Fisken sorteras i tre storleksklasser, varav de små och mellansorteringen bromsas i tillväxt under resterande del av tillväxtsäsongen. Den största sorteringen ges optimala tillväxtbetingelser. I december har man en tydlig uppdelning i storlek mellan blivande två- och ettårssmolt.

4.4 Fensskador

Av de tre fenor som studerades i projektet var ryggfenan den som hade klart störst andel skador (figur 12). Fördelningen av skador på bröstfenor och stjärtfena var ungefär lika mellan odlingar med mycket liten andel klass 3 skador i samband med PIT-tag märkningen. Ettårig fisk uppvisade generellt en betydligt mindre andel skador än tvåårig fisk även om ryggfenan uppvisade en viss förhöjd andel klass 3 skador (20-30 %, figur 12). I Heden och Älvkarleby kan en förhöjd andel klass 3 skador på ryggfenan ses i foderreducerade grupper jämfört med kontroller. I Norrfors var skillnaden i fensskador på ryggen mellan reducerade grupper och kontrollgrupper liten (figur 12).

Skillnaderna i skador på ryggfenan mellan odlingar var troligen en effekt av utfodringen. I Norrfors blev inte foderreduktionen lika kraftig som i de andra odlingarna vilket troligen var positivt för fenstatusen. Det fanns även skillnader i hur fodret fördelades ut på de olika odlingarna. I Heden utfodrades fisken de första två åren med en så kallad "lite och ofta" strategi, d v s många små foderportioner utspritt under större delen av dygnet. I Norrfors och Älvkarleby styrdes måltiderna till koncentrerade perioder under morgon och kväll. Längre perioder utan utfodring är fördelaktigt för fiskens välmående, eftersom upprepade utfodring under långa perioder leder till förhöjd aktivitet och konkurrens om födan (Alanärä 1992). En "lite och ofta" strategi ledde troligen till ökad aggression vid reducerad utfodring och fler attacker mot fenor. Under 2012 ändrades utfodringen i Heden till mer koncentrerade perioder under morgon och kväll, vilket drastiskt reducerade andelen klass 3 skador på ryggfenan.

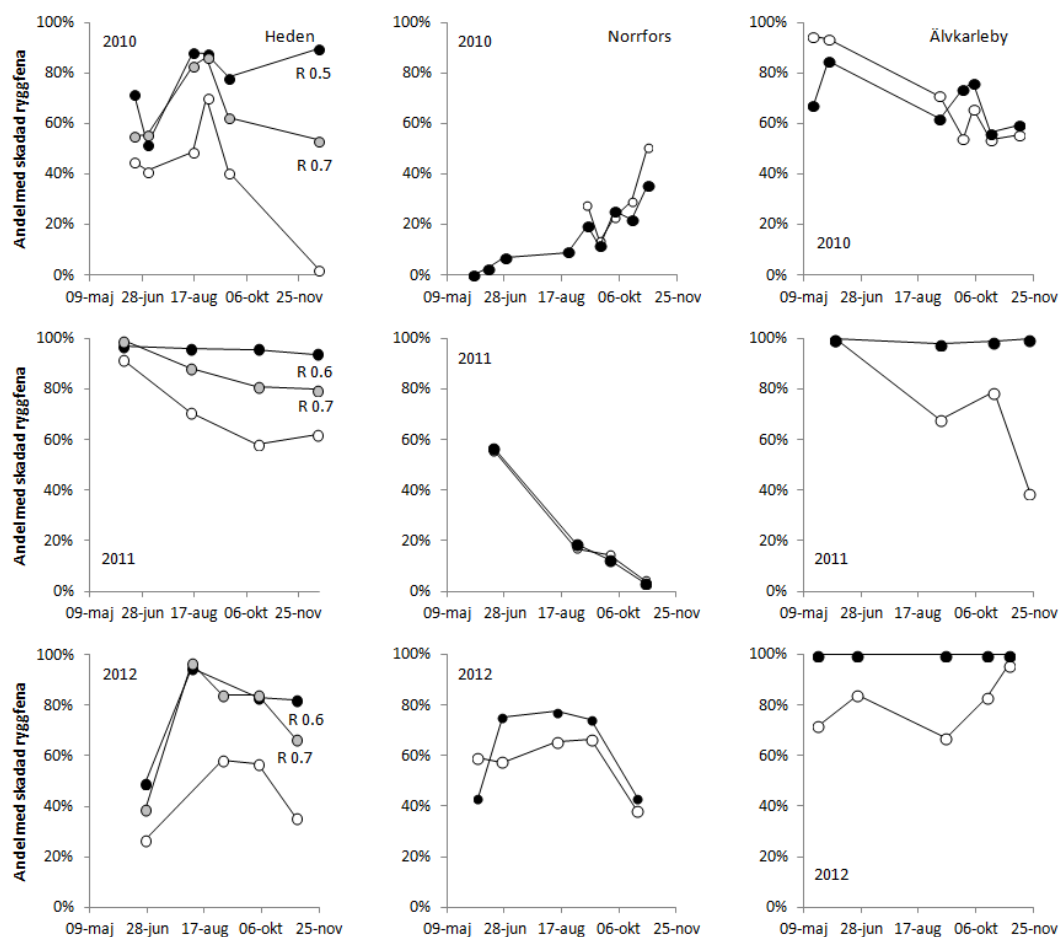
En annan faktor som påverkar fiskens beteende och potentiellt fensskador är spridningen av fodret över bassängens yta. Om fodret ges på en liten yta utan spridning ökar antalet fiskar i området vilket leder till ökad konkurrens. Vid god spridning fördelar sig fiskarna bättre och konkurrensen minskar. I Heden och Älvkarleby släpptes fodret rakt ned under foderautomaten på en begränsad yta, medan det spreds över en stor del av bassängen i Norrfors. Kombinationen av intensiv utfodring under morgon och kväll tillsammans med spridningen bidrog troligen starkt till att graden av fensskador var lägre i Norrfors odling.



Figur 12. Andel skador (%) inom respektive klass på ryggfena, bröstfena och stjärtfena för respektive behandling och odling. Data bygger på de grupper som märktes med PIT-tag i mars eller april. Varje cirkel representerar ett medelvärde för tre år där 3000 fiskar ingått årligen. Grönt representerar klass 1 skador, gult klass 2 skador och rött klass 3 skador.

Utvecklingen av skador på ryggfenan under odlingssäsongen vid de olika odlingarna varierade mellan år. I figur 13 visas den procentuella andelen av klass 2 och 3 skador under odlingssäsongen. I Norrfors odling dominerade klass 2 skador på ryggfenan, medan andelen klass 3 skador var högre i Heden och Älvkarleby. En generell trend var att andelen fisk med skadad ryggfena i

många fall var hög redan från början av odlingssäsongen. Till viss del berodde detta på att fisken hade med sig en dålig fenstatus från föregående odlingssäsong och till viss del så skedde skadorna tidigt på säsongen när temperaturen började stiga efter vintern och innan första fenkontrollen hade gjorts. I Heden kunde man konstatera att de mest foderbegränsade grupperna av fisk bibehöll en dålig fenstatus under hela säsongen. Kontrollgrupperna däremot hade påtagligt bättre fenstatus mot slutet av odlingssäsongen. Mindre foderbegränsade grupper låg ungefär mittemellan, vilket visar på en koppling mellan fodernivå och grad av fenskador. I Norrfors var skillnaden i fenstatus mellan kontroll och reducerade grupper mycket liten. Under två av tre år förbättrades fenstatusen tydligt under försöket. I Älvkarleby var fenstatusen generellt dålig redan vid starten och endast under 2011 kunde en tydlig förbättring ses hos kontrollgrupperna mot slutet av säsongen.



Figur 13. Utvecklingen av skador på ryggfena under odlingssäsongen för olika behandlingar under olika år och vid de olika odlingarna. Vita cirklar anger kontrollgrupper och svarta cirklar anger foderreducerade grupper (se tabell 7 för information om nivåer). Olika nivåer på foderreducerade grupper i Heden anges i figuren. Andelen skadad ryggfena är de som hade klass 2 eller 3 skador på ryggfena.

Resultaten visade att fenstatusen kan förbättras över en odlingssäsong. Frågan är om riktigt allvarliga skador kan förbättras? Peterson *m fl.* (2013) argumenterar i en artikel att kraftiga fenskador inte kan läka efter utsättning utan får anses som permanent amputerade. I våra studier är det främst klass 2 skador på ryggfenan som förbättras över tid, men även en förhållandevis stor andel klass 3 skador blir bättre. Vi har troligen ett skalproblem där vi inte kan fånga upp skillnaden mellan en permanent amputerad fena och en som kan läka. Genom att använda den 6-gradiga skalan i bilaga 3 ökar möjligheten att hitta den kritiska gränsen för icke reversibla fenskador.

Under hösten 2013 har all fisk som märkts inom projektet och återfångats i centrafisken i Dalälven bedömts med avseende på fenstatus, totalt var det 15 individer. Dessutom har fyra av individerna som återfångats i Umeälven besiktigats. Fisk med klass 1 skador på ryggfenan vid utsättningen hade i huvudsak samma status vid återvandringen, medan de med klass 2 skador i de flesta fall hade bättre fenstatus vid återvandringen (tabell 8). Gravyt skadade ryggfenor, klass 3, var bättre i tre fall men lika dåliga som vid märkningen i tre fall. Detta illustrerar problematiken med att använda för få klasser i bedömningen av fenskador vid märkningstillfället. För stjärtfena och bröstfena var mönstret likartat, de bibehöll klassningen från märkningen om skadorna klassats som 1 eller blev bättre om skadorna klassats som 2 eller 3.

Tabell 8. Bedömning av fenstatus vid återvandring till älven efter en eller två havsvintrar

Fenstatus i odling	Fenstatus vid återfångst		
	Bättre	Lika	Sämre
Ryggfena			
1	-	4	2
2	4	1	1
3	3	3	-
Stjärtfena			
1	-	13	0
2	5	0	0
3	1	0	-
Bröstfena			
1	-	13	0
2	6	0	0
3	0	0	-

Har då fenskador någon betydelse för havsöverlevnaden? I dagsläget är det svårt att säga med någon säkerhet. Inom ramen för uppföljningen av detta projekt kommer vi förhoppningsvis kunna följa upp om fiskar med dåliga fenor vid utsättningen har sämre havsöverlevnad. Den bästa informationen vi har tillgång till idag är från Petersson *m fl.* (2013) som sammanställt data på återfångster av Carlinmärkt kompensationsodlad lax och havsöring från Dalälven. Det är ett omfattande material som sträcker sig från 1957 för lax och från 1962 för öring fram till 2004. Resultaten visar att

graden av fenskada på ryggfenan hos lax och stjärtfenan på havsöring var korrelerade med ett antal andra skador. Skador på en enskild fena gav ingen effekt, men olika kombinationer av skador ledde till försämrad överlevnad efter utsättning.

Rekommendationer för att följa upp och minska andelen fenskador

- 5 För att minimera problem med fenskador orsakade av aggression måste utfodringen optimeras. En spridning av fodret över en så stor del av odlingsytan som möjligt reducerar konkurrensen och därmed aggressionen mellan individer. Aggressivt beteende i form av attacker mot fenor är den viktigaste orsaken till fenskador hos lax. Varje utfodringstillfälle skapar en konkurrenssituation och därmed ökad aggression. Utfodra därför fisken i koncentrerade måltider istället för "lite och ofta" under större delen av dagen. En måltid på morgonen och en på kvällen gör att fisken får en längre lugn period under dagen. OBS! vid måltidsutfodring är det viktigt att varje fodergiva inte blir för stor och leder till foderspill. Ekvation 12 ger vägledning om hur utfodringshastigheten bör vara inställd beroende av vattentemperaturen.
- 6 Erfarenheter från projektet visar att det finnas en ökad risk för fenskador på våren när temperaturen börjar stiga och fisken är väldigt födomotiverad. I tid handlar det troligen om 1-2 veckor. En alltför stark foderreduktion under denna period kan leda till ökad grad av fenskador. Mer kunskap om detta behövs men en lösning kan vara att öka utfodringen under denna period. Notera att denna period kan överlappa med tidpunkten då tidig könsmognad hos hanar triggas igång. För att minska graden av tidig könsmognad borde fisken tillväxtbegränsas kraftigt under denna period. Var uppmärksam på fiskarna och justera utfodringen efter behov under känsliga perioder som vid stigande temperatur på våren.
- 7 Registrera fenskador regelbundet t ex i samband med provvägningar. Man bör överväga att använda den 6-gradiga skalan istället för den 3-gradiga (bilaga 3). Skalan i bilaga 3 bör uppdateras med nya och relevanta bilder på fenskador på lax. Skalan bygger endast på "nötning" av fenan och inte kluvna fenor. Här behövs ett utvecklingsarbete för att väga in även denna aspekt i bedömningen.

4.5 Fetthalt

Vid tidpunkten för utsättning togs en del av fiskarna ut för kroppsfattanalys. Resultaten visar att fiskarnas totala fetthalt inte påverkades mycket av tillväxtstyrningen utan att det fanns ett tydligt samband mellan fodrets fettinnehåll och fiskarnas totala kropps fett (tabell 9).

Tabell 9. Andelen kropps fett (%) i ettårig och tvåårig smolt vid tidpunkt för smoltutsättning

Odling	År	Ålder	Fodernivå	Fetthalt i foder (%)	Kropps fett (%)
Heden	2011	1-årig smolt	Kontroll	18	9,5 (0,4)
		2-årig smolt	Kontroll	23	9,9 (0,5)
		2-årig smolt	Red – 0,7	23	10,4 (0,6)
Norrfors	2011	2-årig smolt	Kontroll	23	8,1 (0,5)
		2-årig smolt	Red – 0,7	23	7,3 (0,3)
	2012	1-årig smolt	Kontroll	18	7,9 (0,5)
		2-årig smolt	Kontroll	23	6,7 (0,8)
		2-årig smolt	Red – 0,7	23	6,6 (1,1)
	2013	1-årig smolt	Kontroll	18	9,8 (0,4)
		2-årig smolt	Kontroll	23	8,1 (0,5)
		2-årig smolt	Red – 0,6	23	7,5 (0,6)
Älvkarleby	2011	1-årig smolt	Kontroll	15	4,7 (0,3)
		2-årig smolt	Kontroll	15	6,3 (0,5)
		2-årig smolt	Red – 0,7	15	3,8 (0,3)
		2-årig smolt	Kontroll	9	4,4 (0,3) *
		2-årig smolt	Red – 0,7	9	3,2 (0,3)
	2012	1-årig smolt	Kontroll	15	4,7 (0,3) *
		2-årig smolt	Kontroll	15	5,7 (0,1)
		2-årig smolt	Red – 0,7	15	5,3 (0,4)
	2013	1-årig smolt	Kontroll	15	5,1 (0,4)
		2-årig smolt	Kontroll	15	5,6 (0,4)
		2-årig smolt	Red – 0,6	15	3,8 (0,2) *

*fetthalt i den foderreducerade gruppen signifikant lägre än i kontrollgruppen (Anova).

I Älvkarleby, där foder med 9 och 15 % fettinnehåll användes, låg fiskarnas fetthalt på mellan 4,4 och 6,3 % i kontrollgrupperna hos tvåårig smolt under de tre åren. Bara de foderreducerade grupperna i Älvkarleby 2011 och 2013 hade en betydligt lägre fetthalt än respektive kontrollgrupp (tabell 9). I odlingarna i Norrfors och Heden, där man utfodrade med foder med högre fettinnehåll (23 %) låg fetthalten hos tvåårig smolt i medel för de tre åren mellan 7,6 och 9,9 %. Motsvarande skillnad i kropps fett halt observerades också hos ettårig smolt som i Älvkarleby låg lägre än i de övriga odlingarna (tabell 9). Tidigare studier visar att fetthalter hos smolt i naturliga

bestånd vid utvandringen ligger under 3 % och därmed betydlig lägre än i försöksgrupperna i Heden och Norrfors.

Rekommendationer för att minska mängden kroppsfett

- 8 Endast genom att kombinera en låg fodernivå med foder som innehåller max 15 % fett kan man uppnå en fetthalt hos tvåårig fisk som är lägre än 4 %. En rekommendation är att använda foder med 10-12 % fett eller om möjligt ännu lägre.
- 9 Även ettårig smolt får höga fetthalter om de utfodras med foder som innehåller över 20 % fett. Eftersom fettinnehållet i fodret inte påverkar tillväxten bör även ettårig smolt utfodras med foder med lågt fettinnehåll.

4.6 Smoltifieringsgrad

Bedömningen av smoltifieringsgraden baserades både på förändringarna i yttre smoltkaraktär och på de fysiologiska förändringarna. Bedömningen gjordes vid tidpunkten för utsättning. Tvåårig smolt visade generellt en hög överlevnad i saltvatten och en stor andel hade klass 3 i den yttre bedömningen. Foderreduceringen påverkade inte nämnvärt överlevnaden av tvåårig smolt i saltvatten däremot minskade andelen fiskar som klassades som färdig silvrig smolt (3) och andelen klass 3 varierade mellan 64 och 90 % på odlingarna de olika åren. Ett undantag var 2013 där bara 10 % av fiskarna klassades som färdig smolt i den foderreducerade gruppen i Älvkarleby (tabell 10). En del av förklaringen till detta kan vara att försköксgruppen hade en mycket reducerad tillväxt det året (medelvikt 21 g).

Graden av smoltifiering för ettårig smolt bedömdes vid två tillfällen under våren; vid utsättningen av tvåårig smolt och vid utsättningen av ettårig smolt efter smoltbesiktningen. Vid dessa tillfällen bedömdes yttre smoltkaraktär och saltvattenstest utfördes. Bara resultaten från det senare saltvattenstestet redovisas i tabell 10. Överlevnaden i saltvatten för ettårig smolt skiljde sig inte så mycket mellan dessa två tidpunkter, däremot observerades att yttre smoltkaraktär förändrades och andelen smoltklass 2 och 3 ökade vid det senare tillfället. I saltvattenstesterna som genomfördes 2011 var det stor variation i överlevnaden hos ettårigar mellan odlingar. En förklarande faktor kan vara att vattentemperaturen vid utsättningarna i Norrfors och Heden hade stigit till över 18°C. Tidigare studier har visat att höga temperaturer påverkar fiskens överlevnad under saltvattenstestet (Blackburn & Clarke 1987), vilket kan förklara att många fiskar dog trots att en hög andel av fiskarna uppvisade yttre tecken på att vara utvandringsfärdiga. Med erfarenhet från dessa försök ändrades protokollet för saltvattenstestet. Om vattentemperaturen överskrider 18°C skall försöket utföras i ett kylrum eller motsvarande och saltkoncentration minskades till 30 ‰ för att minimera onödig stress vid exponering.

Tabell 10. Bedömning av smoltifieringsgrad för ettårig och tvåårig smolt vid tidpunkten för respektive utsättning olika år

Odling	Ålder	Behandling	Medel-vikt (g)	Smoltklass 3 (%)	Överlevnad i saltvatten (%)
Heden					
2011	1-årig smolt	Kontroll	30	50	20 ^a
	2-årig smolt	Kontroll	111	90	100
	2-årig smolt	Red – 0,7	53	95	95
2012	1-årig smolt	Kontroll	30	69	93
	2-årig smolt	Kontroll	107	88	94
	2-årig smolt	Red – 0,7	76	75	100
Norrfors					
2011	1-årig smolt	Kontroll	44	93	20 ^b
	2-årig smolt	Kontroll	86	94	71 ^b
	2-årig smolt	Red – 0,7	74	88	38 ^a
2012	1-årig smolt	Kontroll	17	20	95
	2-årig smolt	Kontroll	94	94	100
	2-årig smolt	Red – 0,7	65	64	98
2013	1-årig smolt	Kontroll	26	60	100
	2-årig smolt	Kontroll	86	95	100
	2-årig smolt	Red – 0,6	68	100	90
Älvkarleby					
2011	1-årig smolt	Kontroll	12	30	60
	2-årig smolt	Kontroll	141	100	100
	2-årig smolt	Red – 0,7	91	87	100
2012	1-årig smolt	Kontroll	27	25	100
	2-årig smolt	Kontroll	133	88	100
	2-årig smolt	Red – 0,7	120	88	100
2013	1-årig smolt	Kontroll	29	44	100
	2-årig smolt	Kontroll	136	88	100
	2-årig smolt	Red – 0,6	21	10	100

I kompensationsodlingar bestäms smoltifieringsgraden normalt visuellt med hjälp av de morfologiska, yttre förändringar som sker under smoltifieringen. En smolt klassas som utvandringsfärdig när den är silvrig och blank, då stirrfläckarna har försvunnit och färgen på ryggen och fenkanterna har blivit mörknat. Resultaten från projektets första år visade att de yttre förändringarna sker mycket senare under våren hos ettårig smolt än hos tvåårig smolt. Bara en viss del av den ettåriga smolten klassades som utvandringsfärdig vid utsättningen i juni eller juli. Samtidigt visade resultaten från saltvattenstesterna att ettårig fisk som var större än 10 g hade hög överlevnad i saltvatten redan i maj. För att testa sambandet mellan de yttre och de fysiologiska smoltkaraktärerna genomfördes försök i Älvkarleby och Norrfors under våren 2012. Vid flera tillfällen (Älvkarleby -början av maj till

slutet av juni; Norrfors -början av juni till mitten av juli) genomfördes saltvattenstester med ettårig fisk från största sorteringen (blivande ettårssmolt). Samtidigt mättes ATPas-aktiviteten i gälarna och de yttre smoltkaraktärerna bedömdes enligt smoltskalan. I försöket i Norrfors registrerades samtidigt vandringsaktiviteten, dessa resultat redovisas senare i avsnittet *vandringsbeteende*.

I Älvkarleby visade fiskarna redan in början av maj en hög överlevnad i saltvatten och 100 % överlevnad vid testerna i mitten av maj och början av juni. Förmågan att anpassa sig till saltvatten minskade igen i slutet av juni (figur 14 a). I försöken i Norrfors ökade överlevnaden i saltvattenstesten från ca 60 % i början av juni till nästan 100 % i mitten av juni och minskade sedan till endast 20 % i mitten av juli.

Medelvärdena för yttre smoltkaraktär (figur 14 b) var ungefär desamma under hela försöksperioden i både Norrfors och Älvkarleby. Fiskens ATPas-aktivitet i gälarna förändrades under försöksperioden i Älvkarleby²; de började öka från mitten av maj, de högsta värden observerades i början av juni och sedan minskade ATPas-aktiviteten igen (figur 14c). ATPas-aktiviteten hos fiskarna i Norrfors låg på samma nivå fram till den 20 juni och sjönk därefter snabbt³. Detta tydde på en försämrad förmåga att anpassa sig till saltvatten vilket också återspeglades i den ökade dödligheten i saltvattenstesten. I Norrfors fanns det inget samband mellan bedömningen av yttre smoltkaraktär och de fysiologiska parametrarna. Däremot simmade fisk som hade en yttre smoltkaraktär i klass 2 eller 3 klart snabbare än fisk som klassats som 0 eller 1 vid "peaken" i simaktivitet (se figur 20)⁴. Övriga veckor fanns inget samband mellan yttre smoltkaraktär och simhastighet. I försöken i Älvkarleby fanns det ett tydligt samband mellan ATPas-aktiviteten och yttre smoltkaraktär i början av juni. Fiskarna som klassades som klass 3 hade den högsta ATPas-aktiviteten⁵ och var därmed bättre anpassade till ett liv i havet jämfört med fiskar som klassades lägre än 3. Fiskarna i bägge odlingarna ökade mycket i vikt under försöksperioden (figur 14d), vilket också återspeglades i förändringen av konditionsfaktorn. Varken förändringar i kroppsvikt eller konditionsfaktor påverkade de fysiologiska parametrarna. Sammanfattningsvis visade resultaten att sambandet mellan de fysiologiska och yttre smoltkaraktärerna var relativt svagt och bara fanns i försöksgruppen i Älvkarleby vid tidpunkten för de största fysiologiska förändringarna, vilka skedde i början av juni. Under den senare delen av smoltifieringsfasen verkade de yttre smoltkaraktärerna snarare storleksrelaterade⁶. Bästa tidpunkten för utsättning av ettårig smolt i Älvkarleby var under perioden när ATPas-aktiviteten ökade i början av juni. Detta överensstämmer bra med tidpunkten när ettårig smolt brukar sättas ut från odlingen i Älvkarleby. För ettårig smolt i Norrfors var bästa tidpunkt för utsättning i mitten av juni.

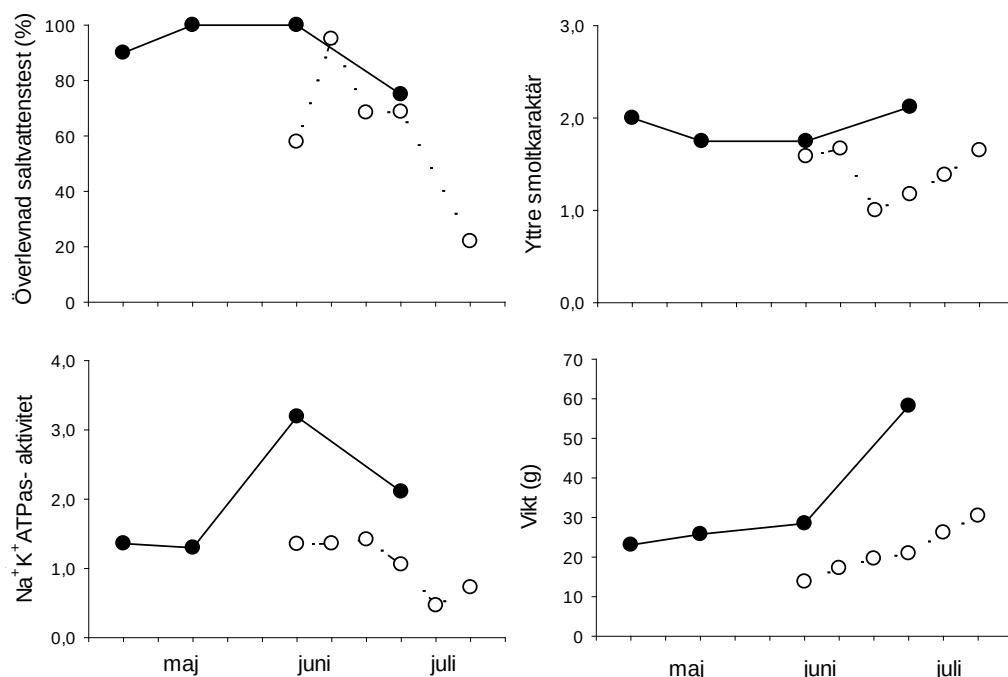
² Effekt av tidpunkt på ATPas-aktiviteten i Älvkarleby (Anova $F=4,6$, $P<0,01$).

³ Effekt av tidpunkt på ATPas-aktiviteten i Norrfors (Anova $F=19,2$, $P<0,001$).

⁴ Effekt av yttre smoltkaraktär och vandringshastighet under vecka 2 i Norrfors (Anova, $F=3,6$, $P<0,05$).

⁵ Effekt av yttre smoltkaraktär på ATPas-aktiviteten (Anova $F=12,5$, $p<0,01$).

⁶ Effekt av storlek på yttre smoltkaraktär (Pearson correlation $p<0,05$).



Figur 14. Förändringar i olika smoltparametrar hos ettårig laxsmolt i Älvkarleby (svarta cirklar) och Norrfors (vita cirklar), a) överlevnad (%) efter 96h exponering i saltvatten (30 ‰), b) medelvärde av yttre smoltkaraktär, c) Na⁺/K⁺-ATPas-aktivitet i gälarna, d) kroppsvikt. N= 12-20 per samplingstillfälle

Vilka parametrar som är mest lämpliga att använda för bedömning av ettårig fisks smoltifieringsgrad är svårt att avgöra. Smoltifieringen är en komplex och dynamisk process där fisken genomgår en rad fysiologiska, morfologiska och beteendemässiga förändringar. Faktorer som ATPas-aktiviteten i gälarna, saltvattenstolerans, kroppsform/kondition etc. är klart kopplade till smoltifieringsprocessen. Det har dock visat sig vara svårt att hitta tydliga samband mellan absolutvärden och prestanda. Det kan delvis bero på stora individuella variationer och interaktioner med fiskstorlek.

Resultaten från projektet visar dock att bedömningen av endast yttre smoltkaraktär för ettårig smolt kan vara missvisande. För bedömning av ettårig smolt bör man använda sig av flera parametrar som storlek, smoltkaraktär 2 eller 3, samt överlevnad i saltvatten. Vi föreslår att saltvattenstest används i första hand för bedömning av smoltifieringsgraden. Det är en kostnadseffektiv metod som enkelt går att genomföra på odlingarna och ett protokoll för saltvattenstest redovisas i bilaga 5. Mätning av Na⁺/K⁺-ATPas-aktiviteten i gälarna är mindre lämplig för en odling då proverna måste skickas in på laboratorium för analys och hela processen tar lång tid. Kostnaden är dessutom mycket högre än för saltvattenstesten.

Rekommendationer för test av smoltifiering

- 10 För bedömning av ettårig smolt bör man använda sig av flera parametrar som kroppsstorlek (minst 20 g), smoltkaraktär, samt överlevnad i saltvatten.
- 11 Saltvattenstester vid flera tidpunkter under våren kan användas för att bestämma tidpunkten för smoltutsättning. Saltkoncentrationen i vattnet kan då ökas till 34 ‰ under förutsättning att testen kan genomföras vid vattentemperatur under 18°C.
- 12 Saltvattenstester har än så länge bara utvecklats för laxsmolt. Smoltifieringsprocessen hos havsöring skiljer sig avsevärt från laxsmolt och användningen av saltvattenstest för havsöring måste därför undersökas innan någon rekommendation kan ges.

4.7 Tidigt könsmogna hanar

Förekomsten av tidigt könsmogna hanar, som mognade under hösten, registrerades följande vår vid märkningen med PIT-tag innan utsättning. Andelen tidigt könsmogna hanar hos tvåårig smolt i kontrollgrupperna varierade mellan odlingar (tabell 11). I Heden var andelen 10 respektive 25 % vid utsättningen 2011 och 2012 vilket var lägre än för de andra odlingarna. I Norrfors varierade andelen mellan 13 och 33 % vilket tyder på en relativt stor mellanårsvariation. Andelen tidigt könsmogna hanar i kontrollgrupperna var högst i Älvkarleby och låg från 25 % upp till 72 %. Den högre andelen könsmogna hanar i Älvkarleby jämfört med i Heden och i Norrfors kan troligen förklaras med att Älvkarleby har en betydligt längre tillväxtsång. De höga vattentemperaturerna redan tidigt under våren möjliggör att fler hanar når tröskeln för att könsmognadsprocessen ska triggas igång.

Andelen tidigt könsmogna hanar bland den ettåriga smolten var som förväntat mycket låg och var som högst 1,2 % (tabell 11). För att kunna uppskatta andelen hanar som blir könsmogna efter utsättningen av ettårig smolt sparades i Älvkarleby en mindre grupp av ettårig smolt (n=200) fram till hösten. Ca 18 % av hanarna mognade under hösten och det var en betydligt mindre andel än för motsvarande grupp som sattes ut följande vår som tvåårig smolt (39 %). Tillväxtförhållandena efter utsättning skiljer sig mycket från förhållandena i odlingen vilket gör det svårt att dra mer detaljerade slutsatser.

Tabell 11. Andel könsmogna hanar vid smoltutsättning

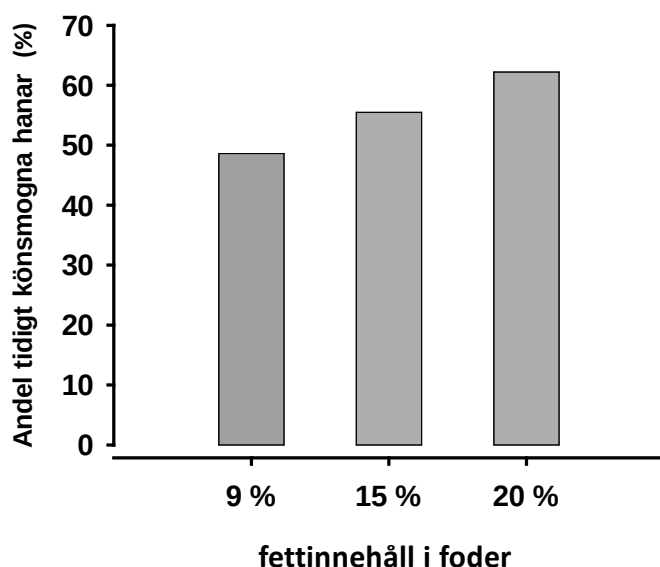
Odling	År	Ålder	Fodernivå	Andel könsmogna hanar (%) ^a
Heden	2011	1-årig smolt	Kontroll	0
		2-årig smolt	Kontroll	10,5
		2-årig smolt	Red – 0,7	3,4
	2012	1-årig smolt	Kontroll	1,1
		2-årig smolt	Kontroll	24,7
		2-årig smolt	Red – 0,7	11,2
Norrfors	2011	1-årig smolt	Kontroll	0
		2-årig smolt	Kontroll	9,6
		2-årig smolt	Red – 0,7	12,7
	2012	1-årig smolt	Kontroll	1,2
		2-årig smolt	Kontroll	33,0
		2-årig smolt	Red – 0,7	36,8
	2013	1-årig smolt	Kontroll	0,1
		2-årig smolt	Kontroll	15,7
		2-årig smolt	Red – 0,6	14,4
Älvkarleby	2011	1-årig smolt	Kontroll	0
		2-årig smolt	Kontroll	15,4
		2-årig smolt	Red – 0,7	24,5
	2012	1-årig smolt	Kontroll	0
		2-årig smolt	Kontroll	71,9
		2-årig smolt	Red – 0,7	51,0
	2013	1-årig smolt	Kontroll	0,7
		2-årig smolt	Kontroll	56,5
		2-årig smolt	Red – 0,6	13,4

^{a)} Andelen könsmogna hanar beräknas under antagande om jämn könsfördelning (N= 3000/grupp).

Foderreduktion hade en tydlig effekt på andelen könsmogna hanar i Älvkarleby och de foderreducerade grupperna hade 25 % (2012) respektive 77 % (2013) lägre andel könsmogna hanar än kontrollgrupperna. I Heden hade foderreducering en motsvarande effekt med lägre andel, 68 % (2011) och 55 % (2012), i reducerade grupper jämfört med kontrollgrupperna. Foderreduceringen visade däremot ingen eller liten effekt på andel tidigt könsmogna hanar i försöksgrupperna i Norrfors. Det kan delvis förklaras genom att foderreduceringen i Norrfors inte hade en så tydlig effekt på fiskarnas vikt som i de andra odlingarna.

Inom projektet utfördes ett mindre försök i Älvkarleby där ettårig lax (n=200/tråg, ett replikat per fetthalt) utfodrades under andra tillväxtsäsongen med foder med olika fettinnehåll (9, 15 och 20 %, Aqua). Andelen tidigt könsmogna hanar var relativt hög i alla tre försöksgrupperna,

men det fanns ett tydligt samband mellan fettinnehållet i fodret och tidig könsmognad. Utfodring med foder med 20 % fettinnehåll resulterade i en högre andel könsmogna hanar jämfört med utfodringen med foder med lågt (9 %) fettinnehåll (figur 15)⁷.



Figur 15. Andel tidigt könsmogna hanar efter andra tillväxtsäsongen i förhållande till fettinnehåll i fodret.

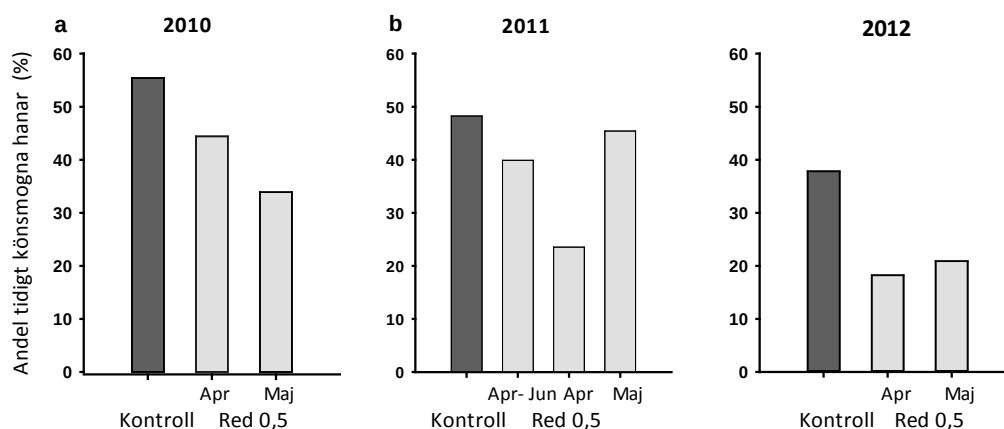
Försöken med foderreducering under olika perioder på våren visade att tre veckors reducering när tillväxten är snabb räcker för att minska andelen könsmogna hanar. Försöken 2010 visade att 50 % reducering av fodermängden i maj hade störst effekt och minskade andelen tidigt könsmogna hanar (figur 16a)⁸. Försöken som genomfördes 2011 visade däremot att reduceringen av foder och därmed tillväxthastigheten redan under april månad hade en tydlig effekt på andelen tidigt könsmogna hanar. Effekten av foderreduceringen under hela perioden, från april till slutet av juni, var relativt liten och reduceringen i maj påverkade inte andelen av tidigt könsmogna hanar 2011 (figur 16b)⁹. En möjlig förklaring var att vattentemperaturen började stiga redan tidigt under våren 2011 vilket resulterade i en ökad tillväxthastighet och att fiskarna nådde tröskelvärde för initiering av könsmognad tidigare än året innan. Under försöken 2012 användes foder med lågt fettinnehåll (9 %) och detta resulterade i något lägre andel tidigt könsmogna hanar i kontrollgruppen och foderreduceringen under båda perioderna i april och maj ledde till en tydlig minskning i andelen könsmogna hanar (figur 16c)¹⁰. Detta tyder på att en minskad tillväxt gjorde att färre fiskar nådde tröskelvärde för initiering av könsmognad.

⁷ Effekt av fettinnehåll i foder på andel könsmogna hanar (X^2 , $P < 0,05$).

⁸ Effekt av behandling på andel könsmogna hanar 2010 (Anova, $F = 5,75$, $P < 0,01$).

⁹ Effekt av behandling på andel könsmogna hanar 2011 (Anova, $F = 3,56$, $P < 0,05$).

¹⁰ Effekt av behandling på andel könsmogna hanar 2012 (Anova, $F = 87,92$, $P < 0,01$).



Figur 16. Effekt av reducerad utfodring (Red 0,5: 50 % av kontroll) på andel tidigt köns mogna ettåriga laxhanar a) 2010, b) 2011, c) 2012. Reduceringen skedde under tre veckor i april, tre veckor i maj eller från april till slutet av juni (2011) och kontrollgrupper fick obegränsat med foder. Fettinnehållet i fodret var 2010 och 2011 15 % och 2012 9 %. N=200 fiskar/tråg, medelvärde av replikat.

Foderreducering under en period med snabb tillväxt under våren kan medföra en ökad risk för fenskador. Under de relativt korta perioderna med 50 % foderreducering (Red 0,5) observerades ingen ökning av fenskador jämfört med kontrollgruppen.

Andelen tidigt köns mogna hanar i naturliga populationer är svår att uppskatta men under optimala odlingsförhållanden borde andelen ligga under 25 %. Foderreduktion i kombination med foder med lågt fettinnehåll gör det möjligt att producera fisk för utsättning med lägre andel tidigt köns mogna hanar och därmed erhålla en högre total överlevnad efter utsättning som smolt.

Rekommendationer för att reducera andelen tidigt könsmogna hanar

- 13 Eftersom tidigt könsmogna hanar är naturligt förekommande bör man se över "nolltoleransen" som nu råder vid kompensationsodling och hitta en acceptabel nivå.
- 14 Foderreducering enligt den modell som testats i projektet i kombination med foder med lägre fettinnehåll minskar andelen hanar. En motsvarande effekt kan uppnås med en period av tre veckors foderreduktion i maj. Erfarenheter från projektet är att det verkar finnas en ökad risk för fenskador på våren när temperaturen börjar stiga och fisken är väldigt födomotiverad. En alltför stark foderreduktion under denna period kan leda till ökad grad av fenskador.
- 15 Bedömning av andelen tidigt könsmogna hanar genomförs bäst sent under hösten eller tidigt på våren. Då är det relativt lätt att urskilja mogna hanar eftersom spermier framträder vid lätt tryck på buken. Senare under våren återbildas gonaderna vilket försvårar identifierandet och kan leda till att andelen tidigt könsmogna hanar i besättningen underskattas.

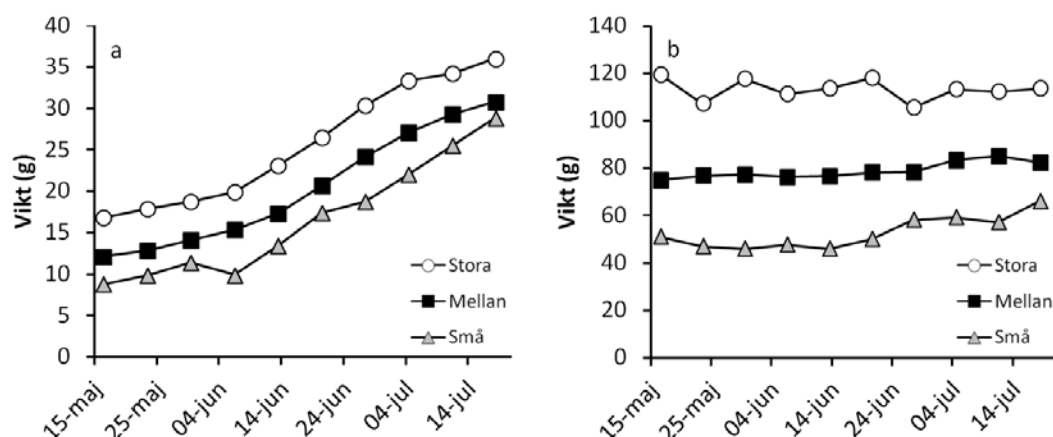
4.8 Vandringsbeteende

Vi har i en serie försök utvärderat optimal tidpunkt för utsättning liksom optimal kroppsstorlek vid utsättning. Detta har gjorts under kontrollerade försök i vandringsbassänger (figur 8) med olika grupper av fisk (tabell 12). För ettårig smolt syftade försöken i första hand till att hitta en optimal tidpunkt för utsättning. För tvåårig smolt har fokus legat på att testa hur foderreduktion under andra tillväxtsången i odling påverkade vandringsbeteendet efter utsättning.

Tabell 12. Olika grupper som testats i vandringsbassängerna olika år.

Försök	År	Ålder fisk	Behandling
1	2011	1 och 2	Olika storleksklasser och tidpunkt för utsättning
2	2012	1	Tidpunkt för utsättning
3	2012	2	Olika storleksklasser
4	2013	2	Fodernivå (fiskstorlek) och svält

I **försök 1** testades ett- och tvåårig smolt med två syften; dels att utvärdera den bästa storleken på fisken vid utsättning, dels att utvärdera när under våren och försommaren smolten vandrar som mest aktivt. I april sorterades tre storleksklasser ut av både ett- och tvåårig smolt. Vikten vid sorteringen var i medeltal 8, 11 och 16 g för små, mellan respektive stora ettåriga fiskar. Motsvarande storleksfördelning för tvåårig fisk var 50, 80 respektive 120 g. Den ettåriga smolten växte relativt snabbt under studien, ca 2,2 g per vecka (figur 17a). Tvåårig smolt däremot uppvisade ingen egentlig tillväxt under hela perioden, med undantag av den minsta sorteringen som började växa efter ca sex veckor (figur 17b).



Figur 17. Viktutveckling för a) ettårig och b) tvåårig smolt under försöket från den 16 maj till den 18 juli.

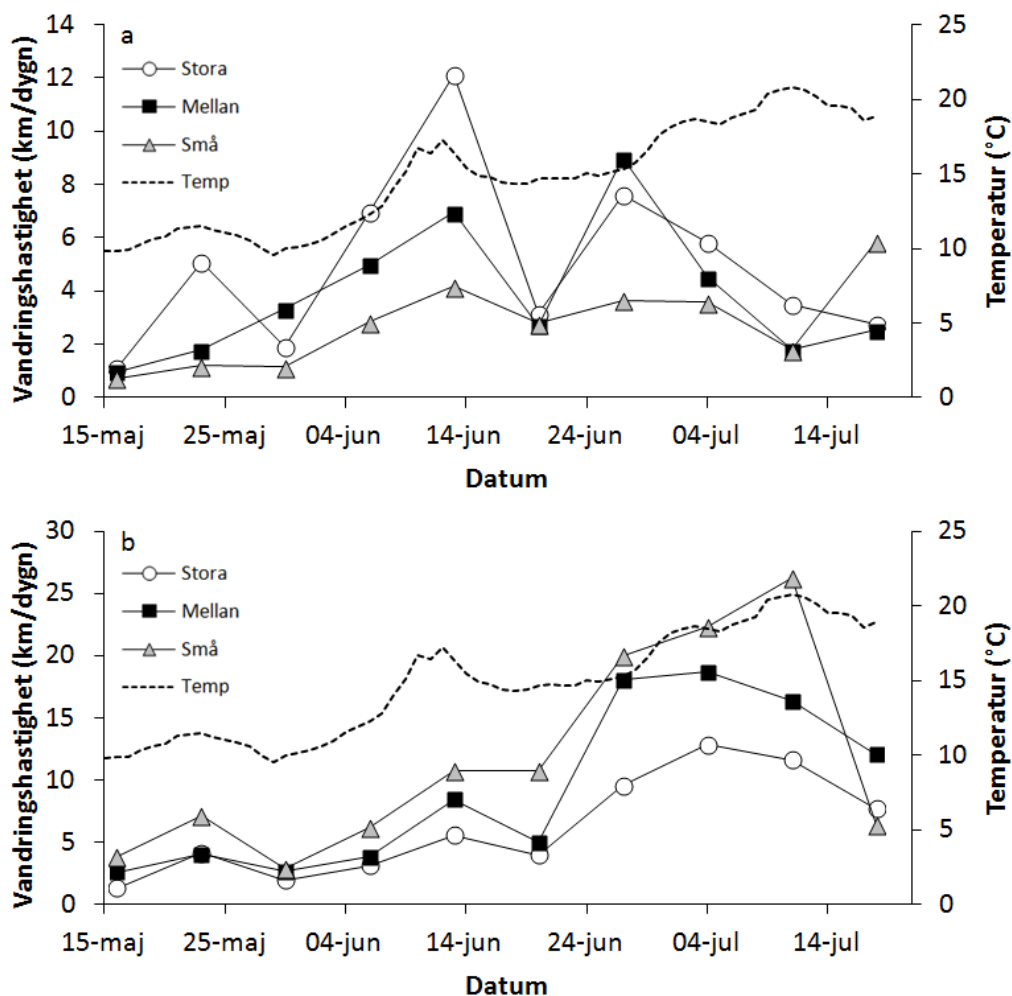
Ettårig smolt uppvisade en tydlig topp i vandrigen under mitten av juni¹¹ (figur 18a). De största ettåringarna hade den klart högsta vandringshastigheten¹², följt av mellansorteringen. De minsta ettåringarna hade ingen egentlig topp i vandrigen utan låg på en förhållandevis jämn och låg nivå i aktivitet. Möjligen kunde man skönja en viss uppgång den sista veckan av försöket (figur 18a). Vandringsaktiviteten hos ettåringarna var extremt temperaturkänslig. Vid två tillfällen sjönk temperaturen snabbt några grader varvid fiskens vandringshastighet drastiskt minskade. Om man bortser från minskningen i aktivitet i juni som troligen var en temperatureffekt så varade ettåringarnas topp i vandringshastighet mellan den 13 och 27 juni (figur 18a). Denna tvåveckorsperiod stämde väl överrens med de högsta värden på ATPas-aktivitet i gälarna, vilket indikerade att smolten var som mest anpassad för havsvatten då¹³ (figur 19). Det var ingen större skillnad i ATPas-aktiviteten mellan storleksklasser¹⁴. Från slutet av juni sjönk både vandringsaktivitet och ATPas-aktiviteten vilket visade att det så kallade "smoltfönstret" för utsättning var passerat. Storleken på den största sorteringen vid tiden för toppen i vandring var 23-30 g, medan mellansorteringen låg på 17-24 g. Den minsta sorteringen var endast 8 g vid sortering i april och det är möjligt att många av dessa individer aldrig påbörjade en smoltifieringsprocess för att de var för små.

¹¹ Effekt av datum på vandringshastighet hos ettårig smolt (Anova $F=2,9$, $P<0,01$).

¹² Effekt av storlek på vandringshastighet hos ettårig smolt (Anova $F=5,0$, $P<0,01$).

¹³ Effekt av datum på ATPas-aktiviteten i gälarna hos ettårig smolt (Anova $F=30,3$, $P<0,001$).

¹⁴ Effekt av storlek på ATPas-aktiviteten i gälarna hos ettårig smolt (Anova $F=1,9$, $P=0,152$).



Figur 18. Betydelse av tidpunkt för utsättning och storlek vid utsättning på vandringshastighet hos a) ettårig och b) tvåårig laxsmolt i olika storleksklasser. Temperaturutvecklingen under perioden visas med streckad linje. Vandringsaktiviteten studerades i en vandringsbassäng.

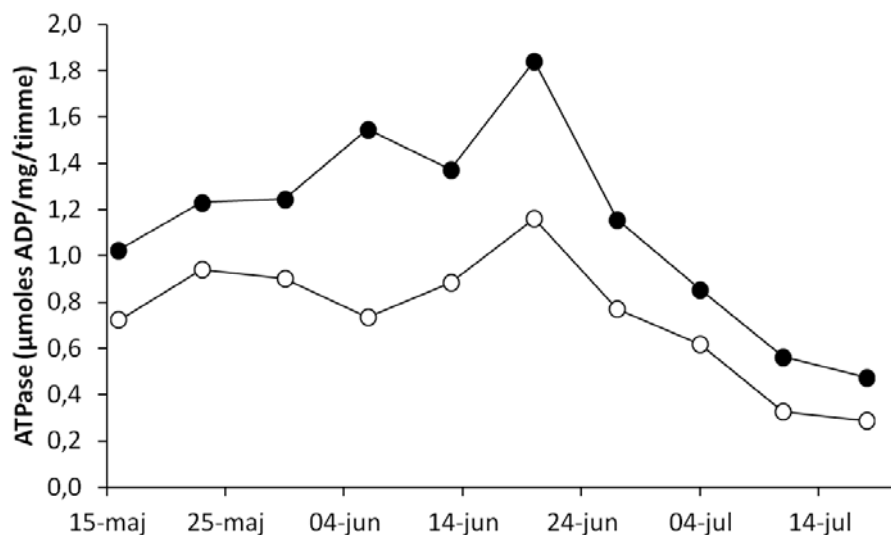
Den tvååriga smolten uppvisade egentligen ingen topp i aktivitet utan vandringshastigheten var mycket starkt kopplad till temperaturen. Den högsta vandringsaktiviteten observerades vid 18-20°C i slutet av juni och början av juli¹⁵ (figur 18b). Från och med den 10 juli föll dock vandringsaktiviteten snabbt. Vid utsättning av kompensationsodlad lax används ofta tumregeln att fisken skall sättas ut vid 8-10°C och vid en stigande temperatur. I Norrfors fiskodling innebär detta att den tvååriga smolten vanligen sätts ut i slutet av maj. Värdena på ATPas-aktivitet i gälarna låg på en jämn hög nivå från mitten av maj fram till 20 juni för att därefter snabbt avta¹⁶ utan några skillnader

¹⁵ Effekt av datum på vandringshastighet hos tvåårig smolt (Anova $F=1,4$, $P=0,204$).

¹⁶ Effekt av datum på ATPas-aktivitet i gälarna hos tvåårig smolt (Anova $F=16,7$, $P<0,001$).

mellan storleksklasser¹⁷ (figur 19). Om man kombinerar information från vandringsaktivitet med ATPas-aktivitet i gälarna indikerar detta att "smoltfönstret" för tvåårig fisk var ungefär en månad, vilket i detta försök motsvarade 20 maj till 20 juni. Vild smolt fångade i fällan i Spöland i Vindelälven uppvisar en stor variation i timing av utvandringen. Redan när fällan sätts ut i mitten av maj fångas utvandrande smolt och detta pågår till slutet av juni. Troligen missar man starten på vandringsperioden eftersom vårflödet är för högt för fällan i början av maj. Några tydliga toppar i vandringsaktiviteten kan inte urskiljas utan variationen är stor under och mellan år. Det så kallade "smoltfönstret" verkar således ganska lika mellan odlad tvåårig smolt och vild smolt i Vindelälven.

Av de olika storlekskategorierna för tvåårig fisk vandrade den minsta sorteringen klart snabbast¹⁸, följt av mellansorteringen på en något lägre nivå (figur 18). De största tvååringarna uppvisade genomgående den långsammaste vandringshastigheten.



Figur 19. Utvecklingen av Na^+/K^+ -ATPas-aktivitet i gälarna hos ettårig (svarta cirklar) och tvåårig (vita cirklar) smolt under perioden 16 maj till 18 juli.

Syftet i **försök 2** var att identifiera den optimala tidpunkten för utsättning av ettårig smolt, samt att undersöka hur ATPas-aktiviteten i gälarna, överlevnad i saltvattenstest och bedömning av yttre smoltkaraktär var korrelerade med vandringsaktivitet efter utsättning. Resultaten för yttre och fysiologiska smoltkaraktärer har redovisats och diskuterats tidigare i rapporten i stycket *smoltifiering*. I detta stycke ligger fokus på kopplingen till vandringsaktivitet efter utsättning.

I mars 2012 plockades 400 ettåriga fiskar slumpmässigt ut från en driftbesättning vid Norrfors kompensationsodling. Fisken märktes med PIT-tag och placerades i SLU:s försöksanläggning i väntan på utsättning i vandringsbassängerna. Med start i juni sattes fisk ut i vandringsbassängerna

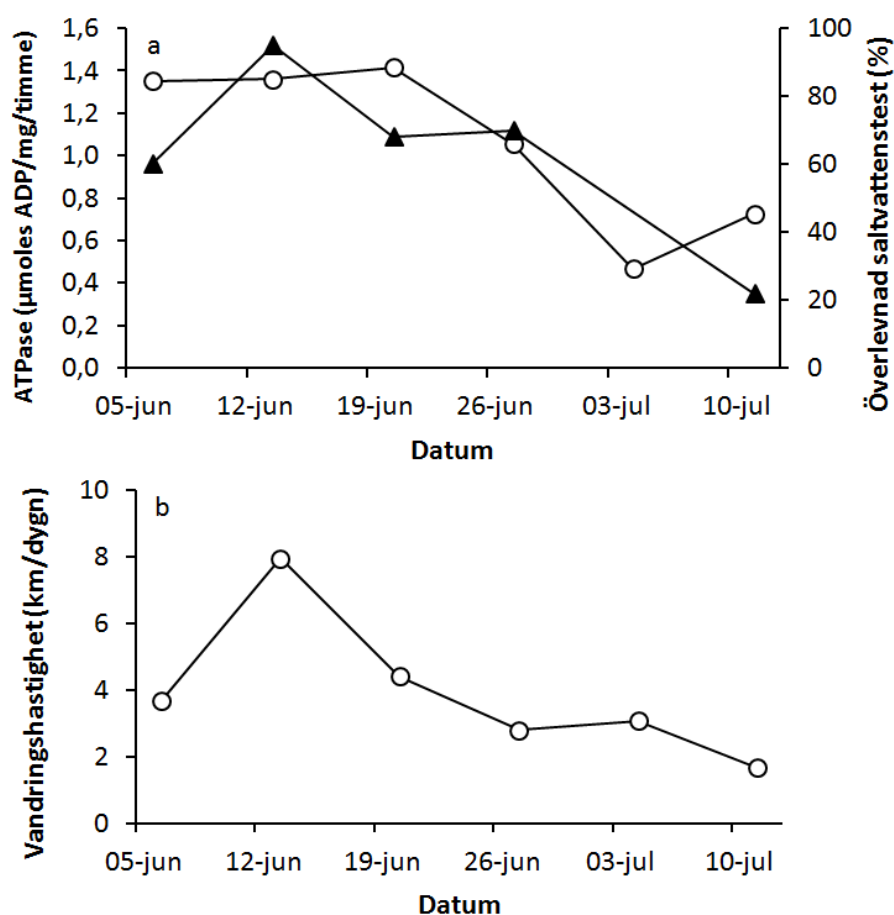
¹⁷ Effekt av storlek på ATPas-aktivitet i gälarna hos tvåårig smolt (Anova $F=0,8$, $P=0,435$).

¹⁸ Effekt av storlek på vandringshastighet hos tvåårig smolt (Anova $F=10,9$, $P<0,001$).

en gång i veckan under sex veckor. Varje omgång pågick i fem dygn med 20 fiskar i vardera vandringsbassängen.

Resultaten visade att den ettåriga smolten simmade klart snabbast under den andra veckan av försöket, mellan den 12 och den 16 juni¹⁹ (figur 20). Som tidigare redovisats var ATPas-aktiviteten i gälarna och överlevnad i saltvattenstest även högst denna vecka (figur 20). Vid den tidpunkten vägde fisken i medeltal 17 g.

Både försök 1 och 2 visade att tidsfönstret för utsättning av ettårig smolt i Norrfors var relativt smalt, ca 2 veckor i mitten av juni. Under 2011 när försök 1 genomfördes sattes den ettåriga smolten ut den 8 juli, vid en vattentemperatur på 20°C. Motsvarande tidpunkt 2012 var i slutet av juni vid en temperatur på 17°C. Bägge utsättningarna var således 2-3 veckor senare än den tidpunkt vi fann var optimal för utsättning. Hög temperatur vid utsättningen kan påverka vandringshastigheten och utgöra en stress för fisken.



Figur 20. Samband mellan utsättningstid och a) ATPas-aktiviteten i gälarna (vita cirkelar) och överlevnad i saltvattenstest (svarta trianglar), samt b) vandringshastighet. Data i figur a) är samma som i figur 14a och c.

¹⁹ Effekt av utsättningstid på vandringshastighet (Anova $F=20,1$, $P<0,001$).

I **försök 3** var syftet att undersöka hur storleken på tvåårig laxsmolt inverkade på vandringsaktiviteten. Fisk med olika storlekar plockades ut från olika grupper i Norrfors kompensationsodling under april och märktes med PIT-tag. Följande storleksklasser användes: 30 g (<30 g), 50 g (45-55 g), 70 g (65-75 g) och 110 g (>90 g) där den minsta storleksklassen (<30 g) plockades ut från ett odlingsförsök i SLU:s experimentodling i Norrfors. I slutet av maj och början av juni testades fiskens vandringsaktivitet i vandringsbassängerna. Totalt användes sex omgångar med ca 70 fiskar i varje och där varje storleksklass bestod av 10-20 individer. Efter test i smoltvandringsbassängerna bedömdes fiskens yttre smoltkaraktär enligt skalan i bilaga 3.

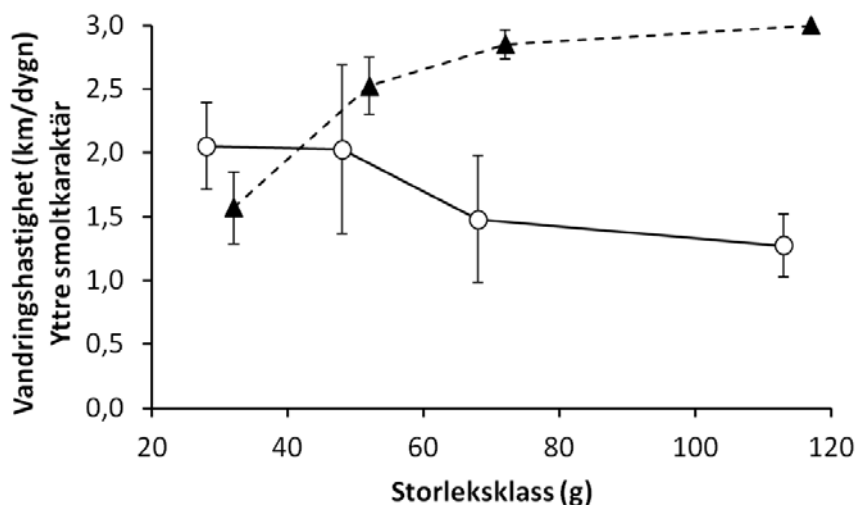
Resultaten visade på en tydlig effekt av storlek, där tvåårig fisk i storleksklasserna 30 och 50 g vandrade klart snabbare än fisk i storleksklassen 115 g²⁰ (figur 21). Konditionsfaktorn för de minsta fiskarna låg på 0,95 vilket var klart lägre än de två största storleksklasserna som låg på 1,04 i medeltal. Resultaten överensstämde med de från försök 1 där den minsta storleksklassen (ca 50 g) vandrade klart snabbare än större tvåårig fisk (figur 18).

Ett av huvudsyftena med detta projekt var att undersöka möjligheterna att producera tvåårig laxsmolt med en reducerad storlek om ca 50 g. Resultaten från bägge studierna i vandringsbassängerna visade tydligt att tvåårig smolt i den storleksklassen vandrade mer aktivt och snabbare än fisk med medelvikt över 100 g vilket motsvarar vad som vanligen sätts ut från kompensationsodlingar.

Det fanns ett tydligt samband mellan fiskens storlek och yttre smoltkaraktär²¹. De minsta fiskarna klassades i huvudsak som 1 eller 2, medan fisk över 100 g i samtliga fall klassades som 3 (figur 21). Fisk i storleken 50 g klassades i medeltal till 2,4, vilket motsvarade en silvrig smolt med vaga stirrfläckar. Under 2012 användes samma skala för klassificering av yttre smoltkaraktär på vild lax fångade i smoltfällan i Sävarån norr om Umeå. Syftet med fällan i Sävarån är att årligen skatta mängden utvandrande smolt. Ett liknande samband mellan vikt och yttre smoltkaraktär som i försöken kunde ses hos den vilda fisken, men i antal så dominerade klass 2 smolt.

²⁰ Effekt av storlek på vandringshastighet (Anova F=4,3, P<0,05).

²¹ Effekt av storlek på yttre smoltkaraktär (Anova F=70,0, P<0,001).



Figur 21. Vandringshastighet (vita cirklar) och yttre smoltkaraktär (svarta trianglar) i förhållande till laxsmoltens storlek. Fisken var indelad i följande storleksklasser: 30 g (<30 g), 50 g (45-55 g), 70 g (65-75 g) och 110 g (>90 g). Vandringshastigheten studerades i vandringsbassänger.

Vid sidan om de storskaliga försöken med tillväxtstyrning i kompensationsodlingarna, odlades även fisk i mindre försöksgrupper vid SLU:s försöksanläggning i Norrfors. I **försök 4** var syftet att undersöka hur fiskens konditionsfaktor påverkar vandringsaktiviteten efter utsättning och därför testades två olika fodernivåer i kombination med foder med två olika fettinnehåll under en odlingssäsong (9 och 15 % fett, samma foder som i Älvkarleby, se tabell 4). På grund av svårigheter med att finjustera foderautomaternas utfodringshastighet till det 100-tal fiskar som användes i varje tråg blev fodernivåerna lägre än planerat. Båda fodernivåerna resulterade i kraftigt storleksreducerade fiskar i förhållande till de försök som genomfördes på kompensationsodlingarna (tabell 13). Foder med olika fettinnehåll resulterade inte i några skillnader i vikt mellan grupper med samma fodergiva. Konditionsfaktorn var högre hos fisk med hög giva, medan fodrets fettinnehåll inte hade någon betydelse. Den lägsta fodernivån kombinerat med foder med högt fettinnehåll gav högre dödlighet²² och medan låg fodernivå och lågt fettinnehåll gav klart störst andel klass 3 skador på ryggfenan²³. Noterbart var dock att vi i grupper med den högre fodernivån lyckades reducera fiskens storlek till 34 g utan någon förhöjd dödlighet eller andel klass 3 skador på ryggfenan. Inga skillnader i skador på stjärtfenan eller bröstfenorna kunde observeras mellan grupper, inte heller någon skillnad i andel tidigt könsmogna hanar (tabell 13).

²² Effekt av behandling på dödlighet (Anova, $F=4,0$, $P<0,05$)

²³ Effekt av behandling på andel klass 3 skador på ryggfenan (Anova, $F=4,8$, $P<0,05$)

Tabell 13. Resultat från odlingsförsöket med olika fodergivor och fettinnehåll i fodret. Fisken var i genomsnitt 7 g vid starten av försöket i början av juni och försöket pågick till november. För fenskador anges andelen fiskar (%) med klass 3 skada.

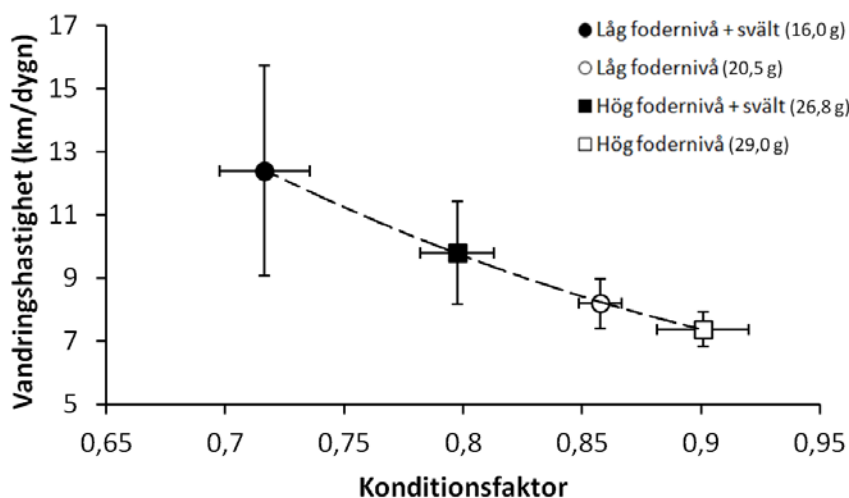
Faktor	9 % fett		15 % fett	
	Låg giva	Hög giva	Låg giva	Hög giva
Slutvikt (g)	22,1	34,3	22,8	34,3
Konditionsfaktor	1,01	1,05	1,03	1,06
Dödlighet (%)	6,3	4,7	11,3	5,6
Ryggfena (%)	27,8	1,2	7,9	2,1
Stjärtfena (%)	0,2	0,0	0,9	0,2
Bröstfenor (%)	1,3	0,2	2,2	0,0
Könsmogna hanar (%)	3,4	2,9	2,5	2,1

Efter att försöket avslutades i november delades var och en av de fyra behandlingarna i två; en grupp per behandling fick inte något foder från november till februari och den andra gruppen från varje behandling fick inte något foder alls fram till test i vandringsbassängerna i slutet av maj (försök 4).

Olika fodernivåer i kombination med svält resulterade i försöksgrupper med stora skillnader i konditionsfaktor. Fodrets fettinnehåll gav inga tydliga skillnader i konditionsfaktor varför fisk med samma fodernivå och svältbehandling slagits ihop i figur 22. Konditionsfaktorn hade en mycket stor inverkan på vandringshastigheten efter utsättning i vandringsbassängerna²⁴; ju sämre kondition desto högre vandringsaktivitet (figur 22). Av de två behandlingarna, fodernivå och svält, hade svält den klart största inverkan på konditionsfaktorn²⁵. I Vindelälvens nedre del just innan sammanflödet med Umeälven vid Vännäs har SLU sedan 2008 haft en smoltfälla i syfte att skatta hur stor andel laxsmolt som vandrar ut till havet. Vikten på den vilda smolten har varierat från 7 till 70 g och konditionsfaktorn mellan 0,5 och 1,2. Medelvikten har varit ungefär 28 g och konditionsfaktorn i medeltal 0,96. Fisk i grupper med hög fodergiva utan svält låg mycket nära medelvärdena för den vilda smolten avseende på både vikt och konditionsfaktor, medan de svältade fiskarna låg klart lägre men inom den naturliga variationen hos vild fisk.

²⁴ Effekt av konditionsfaktor på vandringshastighet (Anova, $F=32,4$, $P<0,001$).

²⁵ Effekt av svält på konditionsfaktor (Anova, $F=255,4$, $P<0,001$), effekt av fodernivå på konditionsfaktor (Anova, $F=66,1$, $P<0,001$)



Figur 22. Samband mellan konditionsfaktor och vandringshastighet hos tvåårig laxsmolt. Test i vandringsbassäng. Varje behandling bestod av sex replikat med 20 individer i varje replikat. Fiskens medelvikt under testen anges inom parentes i figuren.

Svält är en enkel åtgärd att tillämpa i kompensationsodling i syfte att förbättra fiskens vandringsmotivation. Ett försök på havsöring visar en mycket positiv effekt av svält på vandrigen efter utsättning i Sävarån, Västerbotten (Larsson *m fl.*, 2012). I Klarälven studerades laxsmolt som odlats med kraftig foderreduktion under vintern fram till utsättning (Lans *m fl.*, 2011). Resultaten visade att foderreducerade fiskar både vandrade snabbare efter utsättning och att en större andel nådde Vänern i jämförelse med icke foderreducerade kontrollfiskar. En experimentell studie på lax i Finland fick liknande resultat (Vainikka *m fl.*, 2012). De visade att fisk som gavs små fodermängder under vintern innan utsättningen vandrade snabbare än kontrollfiskar. I vårt försök var fisken kraftigt tillväxtbegränsad och hade en relativt låg konditionsfaktor redan innan svältbehandlingen. Inom ramen för kompensationsodling så kommer fisken att vara större och i bättre kondition inför vintern och en svältbehandling fram till utsättningen blir därför inte lika dramatisk som i vårt försök. Innan denna åtgärd kan rekommenderas för praktiskt bruk i kompensationsodlingar bör studier genomföras för att utreda eventuellt negativa effekter på fiskens hälsa och välfärd. Som referenserna ovan indikerar så ger även en foderreduktion (jämfört med total svält) under vinter och vår en liknande effekt på motivationen att vandra. Som ett första steg i praktisk odling kan det vara ett alternativ att börja med.

Det var stor skillnad i vandringshastighet mellan åren och i olika delar av älven (tabell 14). Det var framförallt i gamla älvfåran som det fanns skillnader och i resten av älven vandrade samtliga fiskar relativt snabbt. Vandringshastigheten i gamla älvfåran berodde främst på flödet vilket skilde sig väldigt mycket åt mellan åren (se detaljer nedan). Den minsta gruppen 2013 var klart långsammare än de två större grupperna, både i gamla älvfåran²⁶ och i älven²⁷, annars hade storleken på fisken liten effekt på

²⁶ Effekt av storlek på vandringshastighet i gamla älvfåran ($X^2 = 11,29$, $P < 0,01$).

²⁷ Effekt av storlek på vandringshastighet i älven ($X^2 = 9,01$, $P < 0,05$).

vandringshastigheten och det skilde mer mellan år än mellan grupper (undantag för den största gruppen 2011 men där ingår endast fyra fiskar i analysen över vandringshastighet, tabell 14).

Tabell 14. Vandringshastighet för olika grupper de olika åren i olika delar av älven. Värdena är medianvärden och baseras på fiskar som registrerats vid mottagarna på de olika platserna.

År / Grupp	Vandringshastighet (km/dygn)		Tid till Holmsund (dygn)
	Gamla älvfåran	Älven	
2011			
Odlad liten (63g)	0,43	65,8	19,3
Odlad stor (119g)	6,15 ^a	43,9 ^a	2,5 ^a
Vild	0,62	57,8	13,7
2012			
Odlad mycket liten (34 g)	1,70	77,9	5,1
Odlad liten (62 g)	1,73	73,2	5,1
Odlad stor (115 g)	1,70	78,2	5,1
2013			
Odlad liten (68g)	2,88	62,8	2,2
Odlad stor (115g)	4,35	74,5	1,4
Odlad extra stor (182g)	4,31	72,5	1,4

^a) Notera att dessa värden bygger på endast fyra individer.

Mortaliteten 2011 var hög. För den odlade gruppen med en medelvikt på 63 g var mortaliteten 52 % och för den andra odlade gruppen med medelvikt på 119 g var mortaliteten hela 84 % (tabell 15). Den vilda smolten hade också en hög mortalitet på 61 % men detta kanske till viss del berodde på hanteringen i smoltfällan i Spöland och att fisken sedan transporterades till utsättningsplatsen nedströms dammen och att de hade kort tid för återhämtning efter märkningen jämfört med den odlade smolten. En klar majoritet av fisken försvann i gamla älvfåran och endast några fiskar försvann efter sammanflödet. Vi tror att detta beror på att gamla älvfåran är en komplicerad sträcka och när vattenflödet är lågt så blir fisken kvar i gamla älvfåran länge och löper då risk att falla offer för predatorer.

Mortaliteten 2012 var lägre än året innan och låg mellan 15 och 22 % för de olika grupperna. Eftersom det inte var så stor skillnad mellan grupperna verkade inte storleken ha någon större effekt. De flesta fiskar försvann återigen i gamla älvfåran (tabell 15).

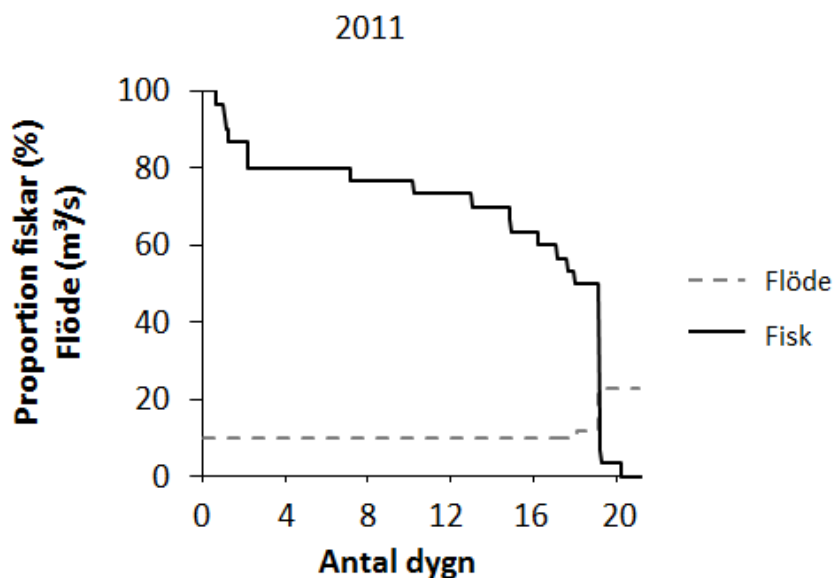
Mortaliteten 2013 var låg och varierade mellan 8 och 16 % med högst mortalitet för mellangruppen som hade en medelvikt på 115g. Den låga mortaliteten berodde förmodligen på det höga vattenflödet strax efter utsättningen som gjorde att fisken snabbt lämnade gamla älvfåran och kunde ta sig till Holmsund inom några dygn (tabell 14 & 15). Gamla älvfåran verkade inte utgöra samma problem som tidigare år eftersom ungefär lika stor andel av den utsatta fisken försvann där som efter sammanflödet (tabell 15).

Tabell 15. Mortalitet för olika grupper de olika åren i olika delar av älven och totalt. Proportion av totalt antal utsatta fiskar i varje grupp (%).

År / Grupp	Gamla älvfåran	Älven	Totalt
2011			
Odlad liten (63g)	40	12	52
Odlad stor (119g)	72	12	84
Vild (27g)	57	4	61
2012			
Odlad mycket liten (34 g)	14	6	20
Odlad liten (62 g)	21	1	22
Odlad stor (115 g)	12	3	15
2013			
Odlad liten (68 g)	4	8	12
Odlad stor (115g)	12	4	16
Odlad extra stor (182g)	4	4	8

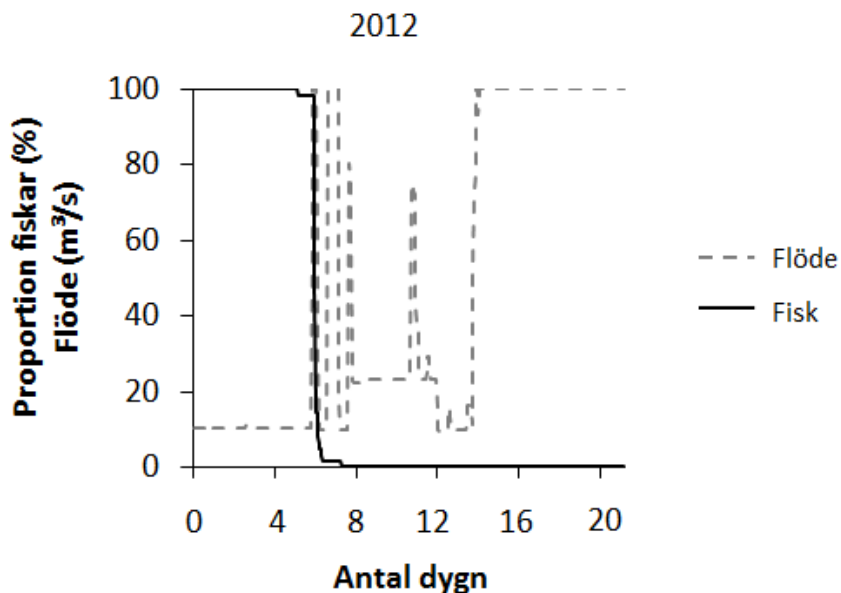
Det som skilde mellan åren var vandringshastigheten och överlevnaden i gamla älvfåran, vilket i huvudsak var kopplat till vattenflödet i samband med utsättningen. För att analysera hur flödet påverkat fiskvandringen tittade vi på hur lång tid fiskarna spenderade i den gamla älvfåran i förhållande till flödet.

Det första året, 2011, var antalet fiskar som klarade vandringen till havet (Holmsund) relativt få jämfört med de två senare åren. Fisken sattes ut på kvällen den 24e maj och vattenflödet var då 10 m³/s. Efter 17 dygn, natten den 12e juni, befann sig nästan 60 % av fisken fortfarande i den gamla älvfåran. Den 13e juni kl. 00:00 ökade flödet från 10 m³/s till 23,1 m³ och då lämnade samtliga fiskar denna sektion inom två timmar (figur 23).



Figur 23. Proportion fiskar i den gamla älvfåran i relation till tid efter utsättning och vattenflöde 2011. Enbart data för registrerade fiskar har använts (N=30).

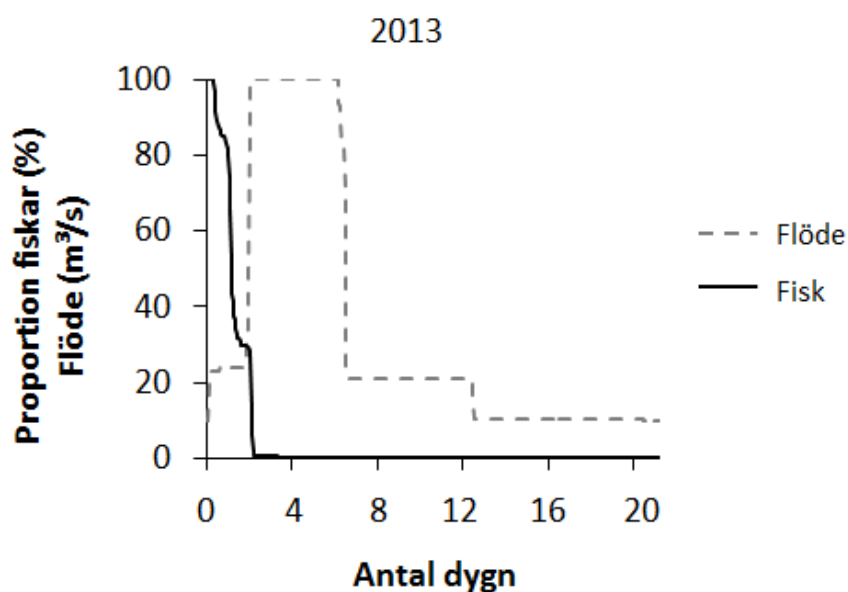
2012 sattes fisken ut på kvällen den 24e maj. Fisken befann sig i den gamla älvfåran i ungefär sex dygn innan det under två timmar skedde en ökning av vattenflödet från $10 \text{ m}^3/\text{s}$ till ca $160 \text{ m}^3/\text{s}$. Efter ökningen lämnade ca 80 % av fisken den gamla älvfåran inom fem timmar (figur 24).



Figur 24. Proportion fiskar i den gamla älvfåran i relation till tid efter utsättning och vattenflöde 2012. Enbart data för registrerade fiskar har använts (N=63). Flödesvärde $>100 \text{ m}^3/\text{s}$ visas inte.

2013 sattes fisken ut på kvällen den 23e maj. Redan efter några timmar ökade flödet från 10 m³/s till 23 m³/s och flera av fiskarna (ca 65 %) lämnade den gamla älvfåran på mindre än två dygn. Ytterligare en ökning i flödet skedde två dygn efter utsättningen och tio timmar efter ökningen hade alla fiskar utom en lämnat den gamla älvfåran (figur 25).

Denna analys indikerar att flödet har stor betydelse för fiskens vandring i gamla älvfåran. En ökning från 10 m³/s till 23 m³/s verkar vara tillräckligt för att smolten ska vandra relativt fort genom gamla älvfåran och ytterligare ökningar i flödet fick till följd att även de sista fiskarna lämnade gamla älvfåran.



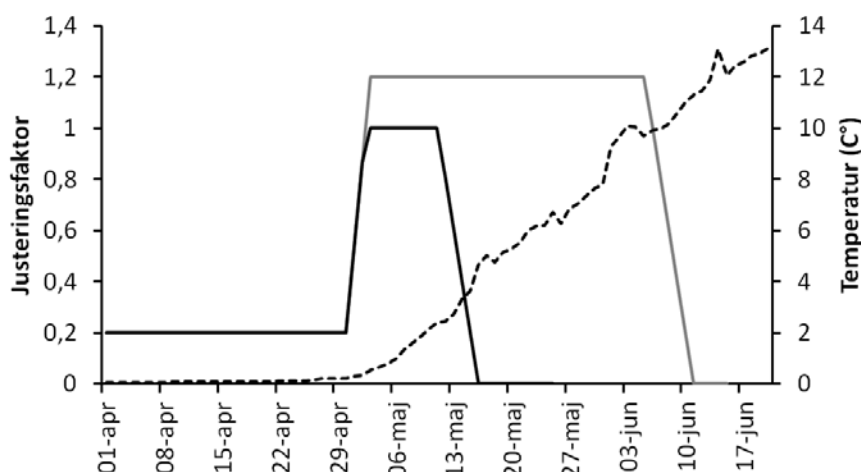
Figur 25. Proportion fiskar i den gamla älvfåran i relation till tid efter utsättning och vattenflöde 2013. Enbart data för registrerade fiskar har använts (N=120). Flödesvärde >100 m³/s visas inte.

Rekommendationer för olika utsättningsstrategier

- 16 Reducerade fodergivor resulterar i en mindre fisk som efter utsättning uppvisar en klart högre vandringsaktivitet. Därför bör tvåårig smolt väga max 50 g vid utsättningen.
- 17 Konditionsfaktorn är ett indirekt mått på hur mycket kropps fett fiskar har. Desto lägre konditionsfaktor vid utsättningen desto snabbare vandrar fisken. Konditionsfaktorn i odling kan modifieras med låga fodernivåer och foder som innehåller mindre fett. Utöver att reducera storleken på fisken bör man också sträva efter att minska mängden kropps fett.
- 18 Ettårig smolt har ett smalare tidsfönster för utsättning jämfört med tvåårig smolt. Den optimala tidpunkten för utsättning varierar mellan odlingar beroende på geografiskt läge. I Älvkarleby ligger detta tidsfönster

i början av juni, medan motsvarande period i Norrfors är mitten av juni. Undersök tidpunkt för utsättning i den egna odlingen genom att använda saltvattenstest för att bedöma om smolten är utvandringsmogen. Se bilaga 5 för instruktion.

- 19 Vid utsättningen bör den ettåriga fisken ha uppnått en storlek om minst 20 g och den yttre smoltkaraktären bör vara silvrig med endast svaga stirrmärken.
- 20 Foderreduktion i kombination med en kort tids svält kan öka fiskens motivation att vandra. För ettårig smolt rekommenderas att fisken överutfodras från att temperaturen börjar stiga på våren fram till 10 dagar före utsättning. Vid denna tidpunkt dras fodernivån ned enligt exemplet i figur 26 och de fem sista dagarna innan utsättning ges inget foder alls. I exemplet nedan ger det ca en månad med tillväxt vilket innebär att fisken i grova drag fördubblar sin vikt. Tvåårig smolt behöver inte växa något under våren. Perioden med svält kan därför vara längre, i exemplet nedan ca två veckor. Från att temperaturen börjar stiga ges fisken en period av ca 10 dagar med hög utfodring innan svältbehandlingen startar. För bägge årsklasserna gäller en låg nivå på vinterutfodringen.



Figur 26. Exempel på foderregim före utsättning av ett (svart linje)- respektive tvåårig smolt (grå linje). Temperaturkurvan är från Norrfors odling där den tvååriga smolten sätts ut vid den 25 maj och den ettåriga smolten vid den 15 juni.

- 21 Försök att ha ett ökat flöde i samband med utsättningen för att smolten snabbt ska påbörja sin vandring mot havet. I Norrfors är rekommendationen att flödet är minst 23 m³/s vid tiden för utsättningen.

5 Kunskapsluckor och framtida forskning

Som vanligt när ett stort forskningsprojekt avslutas står man där med fler nya frågor än de man lyckats besvara. Nedan har vi identifierat en rad frågeställningar som behöver besvaras för att ytterligare effektivisera kompensationsodlingen.

- Vi föreslår i rapporten en "gasa och bromsa" strategi för ett- respektive tvåårig laxsmolt. Den kritiska storleksgränsen för att en fisk på hösten efter första odlingssäsongen skall bli ettårig smolt är dock dåligt känd. Studier behövs för att fastställa den minsta storleken vid sorteringen som ger ettårig smolt, samt optimal tidpunkt för sortering på hösten.
- Inom ramen för detta projekt har fokus legat på tvåårig smolt. Eftersom intresset för ettårig smolt ökade under projektets gång har vi lagt till studier rörande optimal tidpunkt för utsättning. Vi anser dock att mer studier på ettårig smolt bör genomföras. Genom att t ex öka temperaturen i vattnet under våren innan romen kläcks kan man styra produktionen så att all fisk blir ettårig. Har denna typ av behandling någon effekt på vandringsbeteende och havsöverlevnad? Det finns stora driftsfördelar för odlingen att endast producera ettårig smolt. Möjligen också biologiska: ju kortare tid i odling desto bättre?
- Reducerade fodermängder är till viss del kopplat till ökad grad av fenskador. Studier bör vidtas för att undersöka hur fodrets fördelning kan optimeras så att fenskador minimeras.
- Resultaten från projektet visar med tydlighet att foder med lägre fettinnehåll inverkar på graden av tidig könsmognad hos hanar, fetthalt i fisken och potentiellt vandringsmotivation. Hur lågt kan man gå med fettinnehållet utan att fodret blir näringsmässigt obalanserat? Kan man sänka energiinnehållet i fodret via vegetabilier med låg smältbarhet för att på så sätt minska hunger vid foderreduktion? Det finns en rad intressanta frågor kopplade till fodret, d v s att skapa ett foder för fisk som skall sättas ut och inte bli mat.
- Vi har inom ramen för projektet identifierat våren, när temperaturen börjar stiga och fisken blir födoaktiv, som en kritisk period när fenskador uppstår. Detta gäller oberoende av om fisken är foderreducerad eller inte. Här behövs mer studier för att undersöka vad som trigger igång ett aggressivt beteende och hur detta kan reduceras.
- Svältbehandling före utsättningen har i projektet visat sig ge en positiv effekt på vandringsbenägenheten. Mer studier behövs dock för att fastställa tidpunkt och omfattning på svält i förhållande till fiskens hälsa och välfärd.

- Både annan forskning och praktiska erfarenheter från kompensationsodlingarna i projektet indikerar att de åtgärder som genomförts på lax i detta projekt även skulle kunna ha en stor inverkan på havsöring. Älftör goda tillväxtförhållanden i odlingen gör att öringen helst stannar kvar och inte vandrar till havet efter utsättning. Flera av de åtgärder som testats på lax inom projektet kan även tillämpas på havsöring.

6 Tillkännagivande

Vi vill rikta ett stort tack till personalen vid odlingarna. Utan er hjälp och positiva inställningen hade vi aldrig fått så mycket bra arbete gjort i projektet.

7 Referenser

- Alanärä, A. & Staffan, F. (2008). Säsongsanpassad utfodringsmodell för röding och regnbåge. Rapport, institutionen för Vilt, Fisk och Miljö, SLU.
- Alanärä, A. (1992). The effect of time-restricted demand feeding on feeding activity, growth and feed conversion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **108**, 357-368.
- Alanärä, A. (2000). Optimering av utfodring vid kommersiell fiskodling. *Rapport 21*. Umeå: Vattenbruksinstitutionen, SLU.
- 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.
- Arndt, R. E., Routledge, D. M., Wagner E. J. and Mellenthin, R. F. (2001). Influence of raceway substrate and design on fin erosion and hatchery performance of rainbow trout. *North American Journal of Aquaculture*, **63**, 312-320.
- Bailey J., Pickova J. & Alanärä A. 2005. The prerequisites for, and potential of, cod farming in Sweden. *Finfo* 2005:12, Fiskeriverket.
- Bailey, J. & Alanärä, A. (2006a). Digestible energy need (DEN) of selected farmed fish species. *Aquaculture* **251**, 438-455.
- Bailey, J. & Alanärä, A. (2006b). Effect of feed portion size on growth of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), reared at different temperatures. *Aquaculture* **253**, 728-730.
- Berejikian, B. A., E. P. Tezak, A. L. LaRae, T. A. Flagg, E. Kummerow, and C. V. W. Mahnken. (2000). Social dominance, growth and habitat use of age-0 steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) grown in enriched and conventional hatchery rearing environments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57:628–636.
- Berejikian, B. A., E. P. Tezak, S. C. Riley, and A. L. LaRae. (2001). Competitive ability and social behaviour of juvenile steelhead reared in enriched and conventional hatchery tanks and a stream environment. *Journal of Fish Biology* **59**:1600–1613.
- Berglund, I. (1995). Effects of size and spring growth on sexual maturation in 1+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) male parr: interactions with smoltification. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **52**, 2682–2694. doi: 10.1139/795-857
- Berglund, I. Schmitz, M. and Lundqvist, H. (1992). Seawater adaptability in Baltic salmon (*Salmo salar*): a bimodal smoltification pattern in previously mature males. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **49**: 1097-1106.
- Blackburn, J. & Clarke W. C. (1987). Revised procedure for a 24 hour seawater challenge test to measure seawater adaptability of juvenile

- salmonids. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* **1515**, 1-35.
- Brockmark, S. & Johnsson, J. I. (2010). Reduced hatchery rearing density increases social dominance, postrelease growth, and survival in brown trout (*Salmo trutta*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **67**, 288-295.
- Brockmark, S., Adriaenssens, B. & Johnsson, J. I. (2010). Less is more: density influences the development of behavioural life skills in trout. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* **277**, 3035-3043.
- Brännäs, E., Alanärä, A. and Magnhagen, C. (2001). Social behaviour in fish. In: *Social behaviour in farmed animals* (ed. Keeling, L. and Gonyou H.). CAB international, Wallingford, Oxon, UK.
- Canon Jones, H. A. Noble, C. Damsgard, B. & Pearce, G. P. (2011). Social network analysis of the behavioural interactions that influence the development of fin damage in Atlantic salmon parr (*Salmo salar*) held at different stocking densities. *Applied Animal Behaviour Science* **133**, 117-126.
- Elliott, J. M. & Elliott, J. A. (2010). Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *Journal of Fish Biology*, **77**, 1793-1817.
- Elvingsson, P. & Sjaunja, L.-O. (1992). Determination of fat, protein and dry matter content of fish by mid-infrared transmission spectroscopy. *Aquaculture Research*, **23**, 453-460.
- Eriksson, L. O., Rivinoja, P., Östergren, J., Serrano, I. & Larsson, S. (2008). Smolt quality and survival of compensatory stocked Atlantic salmon and brown trout in the Baltic sea. *Report 62*. Dept. of Wildlife, Fish and Environmental Studies, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.
- Grant, J. W. A. 1993. Whether or not to defend? The influence of resource distribution. *Marine Behaviour and Physiology*, **23**: 137-153.
- 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.
- Hyvarinen, P. & Rodewald, P. (2013). Enriched rearing improves survival of hatchery-reared Atlantic salmon smolts during migration in the River Tornionjoki. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **70**, 1386-1395.
- ICES (2013). Report of the Baltic salmon and trout assessment working group (WGBAST), 3-12 April 2013, Tallin, Estonia. ICES CM 2013/ACOM:08. p. 334.
- Jobling, M. Alanärä, A. Noble, C. Sanchez-Vazquez, J. Kadri, S. and Huntingford, F. (2012). Appetite and feed intake. In: *Aquaculture and*

- Behavior* (Eds: Huntingford, F. Jobling, M. and Kadri, S.). Blackwell Publishing Ltd. UK.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. (1993). Partial migration: niche shift versus sexual maturation in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **3**, 348-365.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. (2005) Lipid energy reserves influence life-history decision of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in fresh water. *Ecology of Freshwater Fish* **14**, 296-301.
- Jonsson, N. Jonsson, B. & Hansen, L. P. (2003). The marine survival and growth of wild and hatchery-reared Atlantic salmon. *Journal of Applied Ecology* **40**, 900-911.
- 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. *Fisheries Research*, **96**, 289-295.
- Kallio-Nyberg, I. Saloniemi, I. Juttila, E. & Jokikokko, E. (2011). Effect of hatchery rearing and environmental factors on the survival, growth and migration of Atlantic salmon in the Baltic Sea. *Fisheries Research* **109**, 285-294.
- Koskela, J., Pirhonen, J., Jobling, M., (1997). Feed intake, growth rate and body composition of juvenile Baltic salmon exposed to different constant temperatures. *Aquaculture International*, **5**, 351– 360.
- 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. doi: 10.1111/j.1600-0633.2011.00503.x
- Larsson, S., Berglund, I. (2005). The effect of temperature on the energetic growth efficiency of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) from four Swedish populations. *J. Therm. Biol.* **30**, 29– 36.
- Larsson, S., Serrano, I. & Eriksson, L.-O. (2012). Effects of muscle lipid concentration on wild and hatchery brown trout (*Salmo trutta*) smolt migration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **69**, 1-12.
- Latremouille, D. N. (2003). Fin erosion in aquaculture and natural environments. *Reviews in Fisheries Science* **11**, 315-335.
- Lundqvist, H. (1983). Precocious sexual maturation and smolting in Baltic salmon (*Salmo salar* L.); photoperiodic synchronization and adaptive significance of annual biological cycles. *Thesis*, Department of Ecological Zoology. Umeå University.
- Lundqvist, H. Öhlund, G. Karlsson, L. Larsson, S. Carlsson, U. Alanärä, A. Kiessling, A. Eriksson, L. O. Leonardsson, K. Östergren, J. & Nilsson, J. (2006). Lax- och öringsmoltvandring i Sävarån 2005: Förstudie för bedömning av Sävaråns potential att fungera som indexvattendrag för svenska skogsälvar. *Rapport 50*, Institutionen för Vilt, Fisk och Miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.

- Maugars, G. and Schmitz, M. (2007). Changes in expression profiles of genes related to sexual maturation during spermatogenesis in testes of early-maturing male Atlantic salmon parr, *Salmo salar*. CYBIUM, International Journal of Ichthyology **32** (2) suppl:167-168
- Maugars, G. and Schmitz, M. (2008). Gonadotropin and gonadotropin receptor expression during the onset of sexual maturation in early maturing Atlantic salmon male parr, *Salmo salar*. *Molecular Reproduction and Development* **75**(2) 403-413
- Maynard, D. J., T. A. Flagg, and C. V. W. Mahnken. (1996). A review of seminatural culture strategies for enhancing the postrelease survival of anadromous salmonids. Pages 307–314 in H. L. Schramm, Jr., and R. G. Piper, editors. Uses and effects of cultured fishes in aquatic ecosystems. American Fisheries Society, Symposium 15, Bethesda,
- McCormick, S. D. (1993). Methods for nonlethal gill biopsy and measurement of Na⁺, K⁺ -ATPas activity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **50**, 656-658.
- McCormick, S. D., Hansen, L. P., Quinn, T. P. & Saunders, R. L. (1998). Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**, 77-92.
- McKinnell, S. & Lundqvist, H. (1998). The effect of sexual maturation on the spatial distribution of Baltic salmon. *Journal of Fish Biology* **52**, 1175-1185.
- 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**, 1574-1579.
- Olla, B.L., M.W. Davis, and C.H. Ryer. (1998). Understanding how the hatchery environment represses or promotes the development of behavioral survival skills. *Bulletin of Marine Science* **62**(2):531-550.
- Pelis, R. M. & McCormick, S. D. (2003). Fin development in stream- and hatchery-reared Atlantic salmon. *Aquaculture* **220**, 525-536.
- Person-Le Ruyet, J. Le Bayon, N. & Gros, S. (2007). How to assess fin damage in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*? *Aquatic Living Resources* **20**, 191-195.
- Petersson, E. Karlsson, L. Ragnarsson, B. Bryntesson, M. Berglund, A. Stridsman, S. & Jonsson, S. (2013). Fin erosion and injuries in relation to adult recapture rates in cultured smolts of Atlantic salmon and brown trout. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **70**, 915-921.
- Ryer, C. H. & Olla, B. L. (1995) The influence of food distribution upon the development of aggressive and competitive behaviour in juvenile chum salmon, *Oncorhynchus keta*. *Journal of Fish Biology* **46**, 264-272.
- Saloniemi, I. Jokikokko, E. Kallio-Nyberg, I. Jutila, E. & 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.

- Schmitz, M. & Maugars, G. (2007). Regulation of early sexual maturation in Atlantic salmon male parr: Effects of growth modulation during spring. 8th International Symposium on *Reproductive Physiology of Fish*, June 3rd-8th, 2007 – Saint-Malo, France.
- 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.
- Shirahata, S. (1985). Present status of salmonid smolt production in Japan. In: S. Shirahata (Editor), Preliminary Report of the Salmonid Workshop on Biological and Economic Optimization of Smolt Production. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Tokyo, pp. 47-54.
- Staurnes, M., Lysfjord, G., Hansen, L.P. & Heggberget, T.G. (1993). Recapture rates of hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) related to smolt development and time of release. *Aquaculture* **118**, 327-337.
- Strand, Å., Overton, J. L., Alanärä, A. 2011. The energy requirements of perch (*Perca fluviatilis* L.) in intensive culture. *Aquaculture Nutrition* DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00838.x
- Thorpe, J. E. (1994). An alternative view of smolting in salmonids. *Aquaculture* **121**, 105-113.
- Trombley, S., Maugars, G., Kling, P., Björnsson, B. T. & Schmitz, M. 2012. Effects of long-term restricted feeding on plasma leptin, hepatic leptin expression and leptin receptor expression in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *General and Comparative Endocrinology*, **175**, 92-99.
- 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.
- 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.

8 Bilagor

8.1 Bilaga 1. Exempel på hur ekvationer skall uttryckas för beräkning av dagligt foderbehov i ett kalkylprogram.

	A	B	C	E
1	Variabel	Värde	Beräkning	Ekvation
2	Dagnummer	200		
3	Temperatur (°C)	15		
4	Vikt (g)	25		
5	Antal fiskar	8000		
6	Fodrets smältbara energiinnehåll (MJ DE/kg)	20,5		
7	Justeringsfaktor	0,7		
8	DEN (kJ/g)	14,15	$=10,77+1,05*\text{LN}(B4)$	5
9	DEN vid temperatur över 17°C	14,15	$=\text{IF}(B3>17; (0,0058*B3^3 - 0,2938*B3^2 + 5,0499*B3 - 28,341)*B8;B8)$	7
10	TGC med justeringsfaktor	1,13	$=(-0,00006*B2^2 + 0,0172*B2 + 0,5685)*B7$	2, 3
11	TGC vid temperatur över 17°C	1,13	$=\text{IF}(B3>17; (-0,0071*B3^2 + 0,1778*B3 - 0,0095)*B10;B10)$	8
12	Vikt efter ett dygn (g)	25,44	$=(B4^{(1/3)} + (B11 / 1000 *B3 * 1))^3$	4
13	Teoretisk viktsökning (g)	0,44	$=B12-B4$	
14	TER (kJ DE/dygn)	6,17	$=B13*B9$	6
15	Dagligt foderbehov (g)	2406	$=B14*B5/B6$	9
16	Fodergiva (% av fiskbiomassa)	1,20 %	$=B15/(B5*B4)$	
17	Teoretisk foderkoefficient	0,69	$=B9/B6$	11
18				
19	Utfodringshastighet (pellets per fisk & sekund)	0,25	$=0,25/(1+\text{EXP}(5,75-0,8*B3))$	12
20	Gångtid foderautomat (sekunder)	5		

21	Antal pellets per sekund	1996	=B19*B5	
22	Antal pellets per giva	9981	=B21*B20	
23	Pelletsvikt (g)	0,015		
24	Fodergiva (g)	150	=B23*B22	
25	Antal fodergivor per dygn	16	=B15/B24	
26	Antal pellets per fisk och giva	1,25	=B22/B5	

8.2 Bilaga 2. Exempel på hur justeringsfaktorn kan användas för att beräkna en teoretisk slutvikt efter en odlingssäsong.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Startvikt Justeringsfaktor Slutvikt			8,0					
2				0,7					
3				55,8					
4									
5									
6									
7	DN	Datum	Temp	Vikt (g)	Formel vikt	TGC	Formel TGC	Temp just TGC	Formel Temp just TGC
8	148	27-maj	11,6	8,0	=D2	1,26	=(-0,00006*A8^2 + 0,0172*A8 + 0,5685)*\$D\$3	1,26	=IF(C8>17;(- 0,0071*C8^2 + 0,1778*C8 - 0,0095)*F8;F8)
									=IF(C9>17;(- 0,0071*C9^2 + 0,1778*C9 - 0,0095)*F9;F9)
9	149	28-maj	11,7	8,2	=(D8^(1/3)+((H8)/1000*C8*1))^3	1,26	=(-0,00006*A9^2 + 0,0172*A9 + 0,5685)*\$D\$3	1,26	
10	150	29-maj	11,4	8,4	=(D9^(1/3)+((H9)/1000*C9*1))^3	1,26			
...									
165	305	31-okt	0,7	55,8	=(D164^(1/3)+((H164)/1000*C164*1))^3	0,16	=(-0,00006*A165^2 + 0,0172*A165 + 0,5685)*\$D\$3	0,16	=IF(C165>17;(- 0,0071*C165^2 + 0,1778*C165 - 0,0095)*F165;F165)

8.3 Bilaga 3. Värderingsmall för fenskador

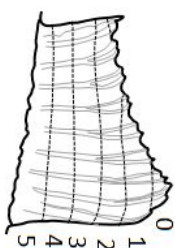
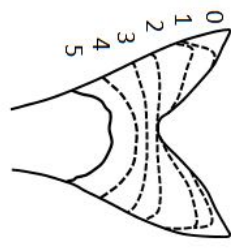
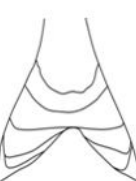
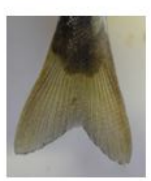
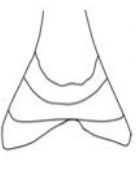
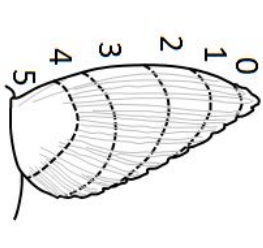
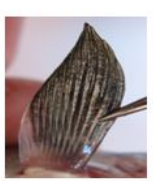
Klass 1		Klass 2		Klass 3	
Ingen eller liten skada		Upp till 50% av fenan saknas		Mer än 50% av fenan saknas	
					
					
					
					

Foto och illustrationer: Anders Alanärä

8.4 Bilaga 4. Skala för bedömning av yttre smoltkaraktär (S0 – S3)



S0 - Stirr
tydliga stirrfläckar



S1 - Smolt
silvrig med tydliga stirrfläckar



S2 - Smolt
silvrig med diffusa stirrfläckar



S3 - Smolt
silvrig, mörk rygg &
mörka fenkanter

Foto: Stefan Stridsman och Monika Schmitz

8.5 Bilaga 5. Saltvattenstest för ett- och tvåårig laxsmolt

Under smoltifieringen utvecklar laxungar den fysiologiska förmågan att anpassa sig till ett liv i havet. Ett tecken på en utvandringsskild laxsmolt är att den överlever en längre tid i vatten med höga saltkoncentrationer motsvarande havsvatten. Med hjälp av en saltvattenstest kan man bedöma den fysiologiska statusen av en laxsmolt. Testet utförs genom att fisken överförs direkt från sötvatten till saltvatten (30 ‰) och dödligheten **rapporteras över en period på 4 dagar (96h).**

Material:

Havssalt (t.ex. *Instant ocean*, kan köpas via en akvarieaffär)

Baljor (2st.) som rymmer minst 150 l, en försöksbalja med saltvatten samt en referensbalja med sötvatten

Akvariepump (2st.) för recirkulering av vatten och lufttillförsel

Hoppskydd 2 st. (ex. finmaskigt nät)

Termometer

Genomförande:

Dag 0: Förberedelse

1. Försöks- och referensbaljan fylls med 120 liter från odlingen.

Vattentemperaturen bör vid testet motsvara temperaturen i odlingen och hållas stabil. Om vattentemperaturen överstiger 20°C sjunker syrehalten i vattnet och fisken blir allmänt stressad och kan i vissa fall dö, speciellt när de är i saltvatten.

Vattentemperatur <18 grader

Försöks- och referensbaljan kan placeras i ett större odlingskar med genomströmmande vatten och därigenom uppnå en stabil temperatur.

Vattentemperatur >18 grader

Om vattentemperaturen överskrider 18°C skall man utföra försöket i ett kylrum eller motsvarande. Temperaturen i vattnet skall ligga inom ett intervall på 12-18 °C. Om kylrummet är kallare än 12 grader kan man använda en doppvärmare för att höja vattentemperaturen.

2. **3,6 kg havssalt (30 ‰)** löses upp i försöksbaljan.

Vattnet i båda baljorna syresätts med hjälp av en akvariepump i respektive balja. Vattenströmmen ska inte vara för stark. Vattnet i de två baljorna ska stabilisera sig under minst 24 timmar innan försöket startas.

Dag 1 (0h, försöksstart):

1. Kontrollera vattentemperatur och att saltet löst sig, kontrollera syresättning och vattenströmning
2. Överför **16** fiskar (slumpmässigt utvalda) från odlingstrågen direkt till **försöksbaljan** samt **16** fiskar till **referensbaljan**.
3. Baljorna täcks med nät, så att fisken inte kan hoppa ur. Om möjligt ska en del av baljan avskärmas för att minska stressen.

Dag 2 (efter 24h):

1. Dödligheten rapporteras i protokollet,
2. Döda fiskar plockas ur tråget, längd och vikt mäts och fisken bedöms enligt smoltskalan (0-3) (se bilder i bilagan 4, *Bedömning av yttre smoltkaraktär*), eventuella fenskador antecknas.
3. Kontrollera syresättning, vattenströmning och vattentemperatur.

Dag 3 (efter 48h): se Dag 2

Dag 4 (efter 72h): se Dag 2

Dag 5 (efter 94h, försöket avslutas):

1. Dödligheten rapporteras.
2. Alla kvarvarande fiskar avlivas.
3. Fiskarnas längd och vikt mäts och fisken bedöms enligt smoltskalan (0-3), eventuella fenskador antecknas.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se