

Havsöringen i Dalälven – nuvarande status och framtida förvaltning

Beställning

Regeringen har gett Havs- och vattenmyndigheten (HaV) i uppdrag att utreda förutsättningarna för att värna havsöringsbeståndets genetiska integritet samt säkerställa beståndets långsiktiga fortlevnad i Dalälven. Som en del i uppdragets genomförande beställde HaV 2026-02-23 ett kunskapsunderlag från SLU Aqua, med följande precisering av frågeställningar:

- Utifrån känd kunskap och med hänsyn till genomförd kompensations- och stödutsättning av havsöring i Dalälven beskriva beståndets historiska utveckling avseende genetik, beståndsstorlek och status.
- Utifrån känd kunskap om beståndets utveckling, nuvarande produktion (naturlig produktion och utsättning av öringsmolt), antalet återvandrande lekfisk samt kritiska gränser för bevarande beskriva beståndets sårbarhet för förlust av genetisk variation och risk för utdöende på kort och lång sikt, med och utan fortsatta utsättningar.
- Utifrån känd kunskap beskriva annan påverkan i Dalälven och närliggande kustområden från bl.a. vattenverksamhet, habitatförändringar, fiske och predation som kan vara av betydelse för att värna beståndets genetiska integritet och upprätthållandet av beståndets fortlevnad på kort och lång sikt. Analysen bör belysa hur dessa faktorer påverkar förutsättningarna och behovet av fortsatt utsättningsverksamhet.

Efter en kortare bakgrund (avsnitt 1) behandlas ovanstående frågeställningar i avsnitt 2 – 4, och slutsatserna redovisas i avsnitt 5. Mot bakgrund av den relativt korta leveranstiden har det inte varit möjligt att genomföra mer omfattande analyser. Underlaget bygger därför i stor utsträckning på sammanställningar av befintlig information samt tidigare utförda analyser. Till följd av begränsad datatillgång och/eller avsaknad av etablerade analysmetoder har vissa frågeställningar inte heller kunnat besvaras fullt ut. I underlaget presenteras dock nya resultat från genetiska jämförelser mellan beståndet i Dalälven och närliggande havsöringsbestånd, liksom skattningar av dalälvsöringens nuvarande genetiskt effektiva storlek.

1. Bakgrund

Dalälven är en kraftigt utbyggd älv där lax- och havsöringsbestånden upprätthållits genom kompensationsodling i över 100 år. Det första definitiva vandringshindret är beläget vid Älvkarleby (9,6 km från havet) och möjligheter till naturlig reproduktion är idag mycket begränsade eftersom stora delar av sträckan nedströms dammarna i Älvkarleby utgörs av icke lämpliga habitat. Endast fem procent av den vuxna fisken i älven är potentiellt född i det vilda (Florin m.fl. 2024), och tidigare genetiska analyser (Palm m.fl. 2003) indikerar att den absoluta majoriteten av den vildfödda öringen har föräldrar som vuxit upp i odling. Bestånden av lax och havsöring i Dalälven domineras därför i stor utsträckning av odlad fisk, även om viss naturlig reproduktion förekommer i Kungsådran.

Dalälvens odlade lax- och öringbestånd har sina ursprung i de havsvandrande populationer som ursprungligen fanns i älven, men de har under årtionden av odling påverkats genetiskt genom ett begränsat antal avelsfiskar, odlingsselektion samt genflöde av fisk från andra vattendrag (avsnitt 2). Trots detta har de odlade bestånden ett biologiskt och samhällligt värde. Exempelvis torde dagens lax- och öringstammar vara de mest lämpade för eventuella återintroduktioner i strömmande partier av Dalälven uppströms Älvkarleby. Därtill bidrar de till ett omfattande sportfiske i älven samt till yrkes- och fritidsfiske utanför älvmyningen.

Kompensationsodlingen av lax och öring har fram till 2025 utförts av Vattenfall, Fortum och SLU, och omfattat årliga utsättningar på totalt ca 190 000 laxsmolt och 55 000 öringsmolt. Utöver detta har varierande mängder öring av olika livsstadier satts ut för andra ändamål. På grund av brist på finansiering avslutade SLU sin verksamhet i Älvkarleby under 2025. Som följd av nedläggningen av SLU:s odlingsanläggning väntas de årliga kompensationsutsättningarna av laxsmolt minska från dagens 190 000 till 130 000 från 2026 och framåt. För öringen väntas utsättningarna minska från 55 000 till 25 000 smolt. Fortum har dock erhållit dispens för att justera sina åtaganden gällande den relativa fördelningen av utsatt lax och öring från 2026 och framåt, vilket skulle innebära en ytterligare minskning av det totala antalet laxsmolt till 100 000 per år, men en ökning av antalet öringsmolt till 55 000. Om Fortum väljer att nyttja denna dispens, vilket för oss är oklart, väntas således utsättningsmängderna av havsöring hamna på samma nivå som innan SLU avslutade sin odlingsverksamhet i Älvkarleby.

Det är svårt att överblicka vilka ekologiska konsekvenser nedläggningen av SLU:s odlingsverksamhet kan tänkas få. Minskade utsättningsmängder väntas resultera i försvagade bestånd av lax och havsöring om inte förutsättningarna för naturlig produktion i älven samtidigt förbättras. Minskade bestånd av lax och havsöring kan i sin tur påverka balansen i näringsväven med möjliga effekter på andra fiskarter, fåglar, däggdjur, bottendjur, plankton och vegetation (Florin m.fl. 2024). Dessutom bedöms en framtida återetablering av havsvandrande laxfiskbestånd uppströms Älvkarleby försvåras om odlingsverksamheten tillåts minska eller fasas ut helt innan övriga nödvändiga åtgärder, som byggande av fiskpassager och restaurering av lek- och uppväxtområden, har genomförts (Florin m.fl. 2024).

Samtidigt finns frågetecken kring hur utsättningarna kommer att se ut från 2026 och framåt (antal smolt, ålder, kvalitet etc.). De lokala öring- och laxbeståndens numerär och genetiska status påverkas även av andra faktorer, som exempelvis älvens förutsättningar för naturlig produktion, predation från bland annat skarv samt fiskets uttag i älv och hav. Frågan om hur laxfiskbestånden i Dalälven bör förvaltas framgent behöver därför breddas från att huvudsakligen fokusera på utsättningsmängder till att inkludera fler påverkansfaktorer i ekosystemet och möjliga åtgärder för att minska negativa effekter på fiskbestånden.

2. Havsöringsbeståndets historiska utveckling i Dalälven

Historisk förekomst

Före den storskaliga utbyggnaden av vattenkraft i Dalälven, som inleddes under tidigt 1900-tal, kunde havsvandrande lax och havsöring vandra långt upp i vattensystemet. Sannolikt nyttjades både Västerdalälven och Österdalälven för reproduktion, även om den historiska utbredningsgränsen för älvens havsvandrande laxfisk är osäker (Carlin 1951). Likaså är det oklart i vilken omfattning älven historiskt kan ha hyst delbestånd av lax och/eller havsöring med olika lekområden på varierande avstånd från havet och med delvis olika livshistorier (vandringstid, ålder vid smoltifiering och könsmognad, etc.) liksom laxen i exempelvis Gullspångsälven (Ros 1981) och Torneälven (Miettinen 2021, 2024).

Livshistoria

Tidigare studier av återfångster av Carlin-märkt odlad smolt visar att dalälvsöringen under havsfasen uppehåller sig kustnära norr och söder om älvmyningen och sällan lämnar Bottenhavet (Degerman m.fl. 2012). Den odlade dalälvsöringen återvandrar till älven efter att ha tillbringat mellan ett och tre år i havet, med ett medelvärde på strax under två år (fjälläsningsdata från SLU Aqua). Mediantdatum för återvandringen (i detta fall då öringen når avelsfällan i Älvkarleby) varierar mellan år, men inträffar vanligtvis i augusti eller första halvan av september, och honor återvandrar i genomsnitt 9 dagar tidigare än hanar (Dahl m.fl. 2004). Den öring som används i aveln för produktion av odlad fisk avlivs efter kramning, vilket innebär att den odlade stammen i princip kan betecknas vara semelpar (engångsreproducerande), trots att flergångslek hos öring är vanligt förekommande i naturen (t.ex. Dannewitz m.fl. 2022).

Den öringsmolt som fram till idag producerats för kompensationsutsättning i Dalälven har satts ut som tvåårig. Det är dock oklart om utsättningarna från 2026 och framåt kommer att baseras på ett- eller tvåårig smolt. Den vildfödda havsöringen i Kungsådran lämnar vattendraget vid en medelålder på knappt två år (fjälläsningsdata från SLU Aqua).

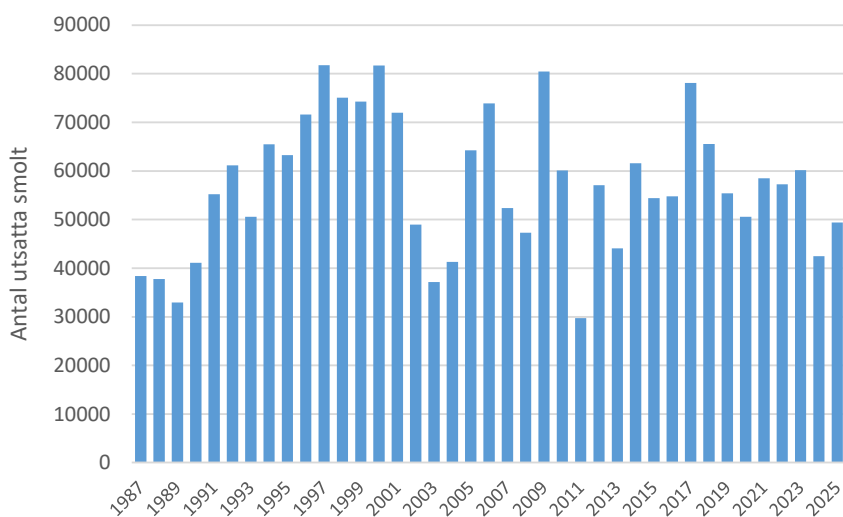
Utsättningar

Utsättningar av odlad lax och havsöring i Dalälvens nedersta del inleddes redan under 1920-talet (Palm m.fl. 2003, med referenser). Sedan 1950-60 talet, i samband

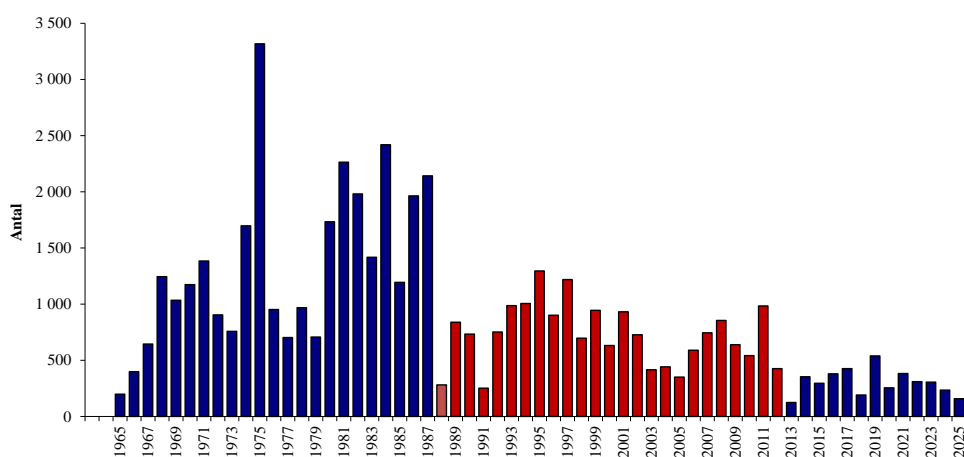
med att ett flertal av de stora norrlandsälvarna byggdes ut för vattenkraft, har svensk kompensationsodling varit baserad på utsättningar av smolt, vilket konstaterades vara mer effektivt än att sätta ut yngre livsstadier (Montén 1988). Redan under slutet av 1960-talet började man använda fenklippning av all odlad havsöringsmolt i Dalälven, för att kunna särskilja den älvsegna stammen från andra odlade stammar i älven (bl.a. Weichselöring). Dokumentation som gäller avelsfiske, avel och utsättningar i Dalälven finns digitaliserad för senare årtionden, medan äldre information endast finns i pappersformat. De tidsserier som redovisas nedan täcker därför inte hela tidsperioden med odling och utsättning av havsöring i Dalälven.

Enligt rådande vattendomar och avtal skulle det fram till 2025 sättas ut 55 000 kompensationsodlade öringsmolt per år, och i genomsnitt har utsättningarna omfattat 57 000 tvååriga smolt av dalsälvsstam (figur 1). Därutöver har utsättningar av ettårig smolt och andra livsstadier, liksom smolt av bl.a. Weichsel-öring, genomförts i varierande omfattning under årens lopp.

Avelsfisken som används för produktion av odlad öring (och lax) för utsättning fångas i en fast fiskfälla vid den västra dammen i Älvkarleby. Fram till 1980-talet skedde även kompletterande avelsfiske med nät i älven. Antalet fångade öringar har minskat över tid, från i genomsnitt drygt 1 300 per år fram till 1987, drygt 700 per år under perioden 1988–2012, till drygt 300 per år under perioden 2013–2025 (figur 2).

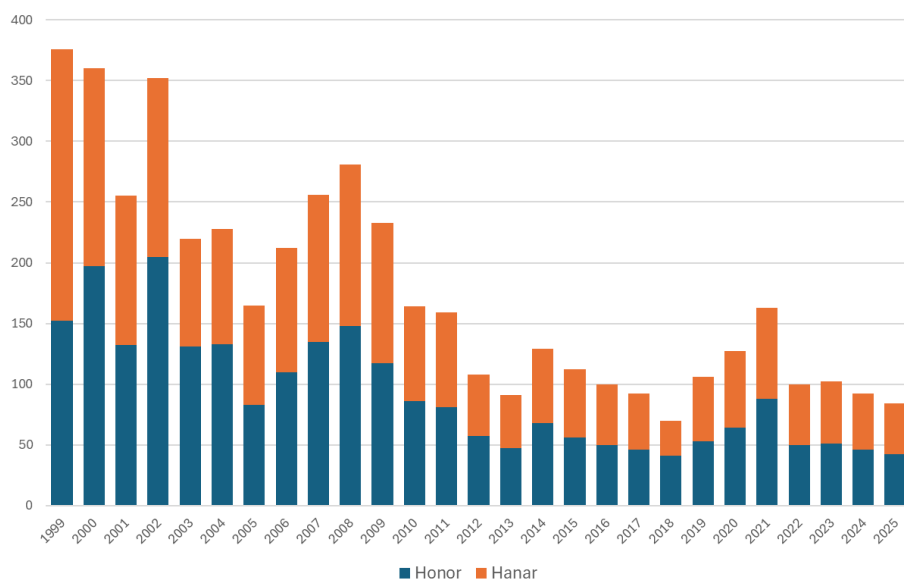


Figur 1. Utsättningar nedströms dammarna i Älvkarleby av odlad tvåårig öringsmolt av dalsälvsursprung under perioden 1987-2025.



Figur 2. Öringfångster vid centralfisket i Älvkarleby 1965–2025. Till och med 1987 ingår även fångster tagna med nät i älven. År 1988 byggdes den fasta fiskfällan om och fick en förändrad funktion. Under perioden 1989–2012 bedrevs fisket på ett enhetligt sätt, med fällan i drift dygnet runt, medan fällan sedan 2013 har hållits öppen under mer begränsade delar av säsongen.

Parallellt med minskningen av antalet fångade öringar i fällan har även antalet som använts till avel sjunkit (figur 3). Det faktum att inte alla fångade öringar används för avel beror bl.a. på dödlighet mellan fångst och kramning samt att en andel av fisken inte är köns mogen. Sedan 1999 har i genomsnitt omkring 40% av den fångade öringen använts för avel, utan tecken på någon trend över tid. Minskningen i antal fångade öringar har således inneburit att tillgången på avelsfisk i praktiken har minskat.



Figur 3. Antal använda avelsfiskar (havsöring) i Dalälven, 1999-2025.

Naturlig produktion i Kungsådran

I Kungsådran direkt nedströms dammarna i Älvkarleby förekommer naturlig produktion av både lax och öring. En del av Kungsådran är invallad för försöksändamål. Arealen lämpliga lek- och uppväxthabitat för lax och öring är relativt liten (ca 3-4 hektar, Lundqvist 2026) och produktionen av vildfödd fisk därför begränsad. Tidigare genetiska studier (Palm m.fl. 2003) visar att den odlade och den vildfödda öringen i Dalälven utgör en genetiskt homogen population (se avsnittet ”Genetik” nedan).

Försök med en smoltfälla under åren 2008-2010 (Engman m.fl. 2011) visade på en årlig genomsnittlig utvandring från det ej invallade området av 47 öringsmolt och 114 laxsmolt. Det invallade försöksområdet producerade under samma period i snitt 147 öringsmolt och 62 laxsmolt per år, vilket innebär att området som helhet producerade omkring 200 vildfödda öringsmolt och ungefär 175 laxsmolt årligen under perioden 2008-2010. Restaureringsprojekt i Kungsådran under senare år kan ha ökat den naturliga produktionskapaciteten något. I relation till mängden kompensationsutsatt odlad smolt av båda arterna, som fram till 2025 uppgick till ca 250 000 individer årligen, framstår dock den naturliga produktionen i Kungsådran som mycket ringa.

Tidigare studier visar vidare att andelen hybrider mellan lax och öring i Kungsådran är jämförelsevis hög men med stor mellanårsvariation (Jansson & Öst 1997, Palm m.fl. 2013). Massiva utsättningar av odlad fisk i kombination med begränsningar i den lokala miljön tvingar sannolikt lax och öring att nyttja gemensamma lekplatser i Kungsådran, vilket kan förklara den höga frekvensen arthybrider.

Genetik

Enligt genetiska undersökningar utgör dagens havsöring i Dalälven en genetiskt distinkt population med en jämförelsevis normal grad av genetisk variation. I figur 4 visas ett dendrogram (”släktskapsträd”) över vilda och kompensationsodlade havsöringsbestånd från svenska vattendrag i Östersjön som hittills DNA-analyserats vid SLU Aqua (med 16 s.k. mikrosatellitmarkörer). Trots att trädet omfattar populationer från Torneälven i norr till Mörrumsån i söder ger det en långt ifrån komplett bild av samtliga hundratals havsöringsbestånd som finns i mindre och större vattendrag längs den svenska östersjökusten, och det är i nuläget dominerat av vissa kustavsnitt. Inom ett pågående projekt kommer befintliga data dock att kompletteras med populationer i vattendrag från Gävleborgs, Uppsala och Stockholms län.

Av dendrogrammet (figur 4) framgår att odlad och vildfödd öring från Dalälven skiljer sig från bestånd i andra vattendrag, och att de är genetiskt mest lika den vilda öringen i närliggande Testeboån, som mynnar endast drygt tiotal kilometer norr om Dalälven, följt av de kompensationsodlade stammarna i Ljusnan (också relativt närliggande) samt Luleälven. Vad gäller den genetiska likheten med öringen i det sistnämnda vattendraget kan denna eventuellt förklaras av historiska

omflyttningar mellan odlingar, där havsöring flyttats till Luleälven från mer sydligt belägna odlade bestånd.

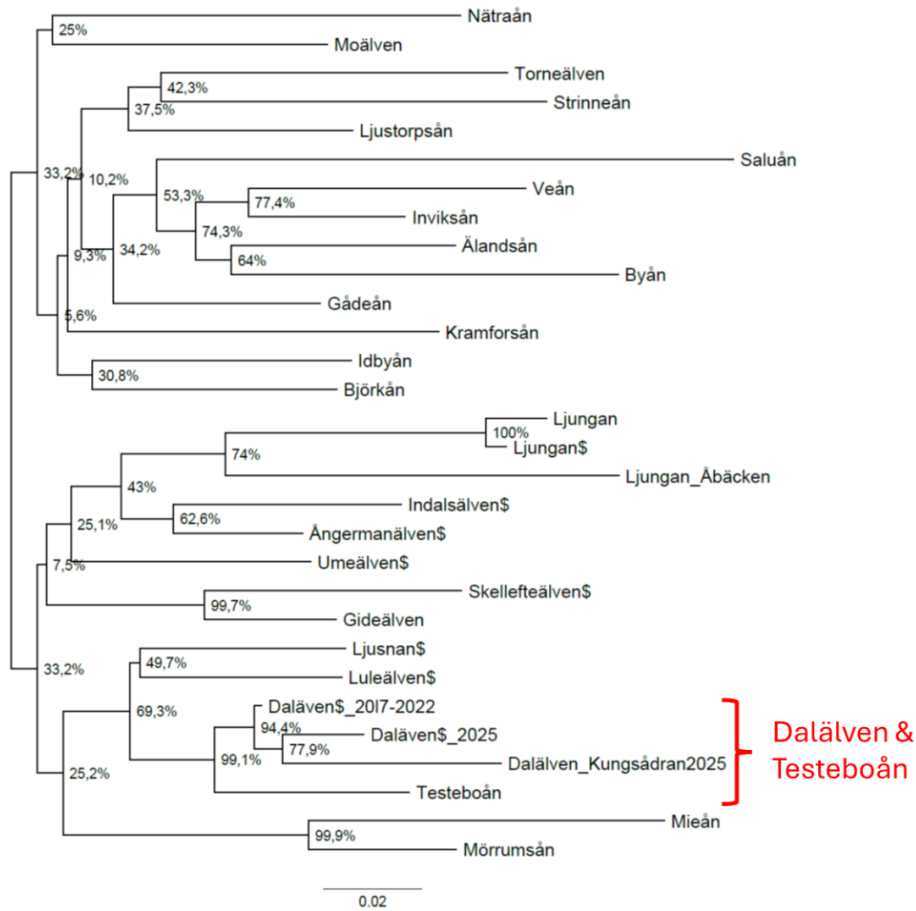
I figur 5 visas skattad genetisk variationsgrad (förväntad heterozygositet) hos de stickprov som ingår i dendrogrammet (figur 4). Mängden genetisk variation bland de stickprov från Dalälven som ingår i figur 5 avviker något sinsemellan, men de breda och överlappande konfidensintervallen indikerar att skillnaderna inte är statistiskt signifikanta. Överlag uppvisar de havsvandrande öringbestånd som hittills undersökts relativt likartade nivåer av genetisk variation, vilka generellt är högre än hos sötvattenslevande bestånd.

Någon genetisk differentiering mellan kompensationsodlad öring och vildfödd öring från Kungsådran i Dalälven har inte kunnat påvisas. I en tidigare studie med allozymer (17 loci) och mikrosatelliter (8 loci) av kompensationsodlade (fenklippta) och vildfödda (oklippta) vuxna havsöringar provtagna under fyra efterföljande år (1997–2000) kunde ingen genetisk skillnad mellan dessa grupper påvisas efter att variation mellan insamlingsår inom respektive grupp beaktats (Palm m.fl. 2003).

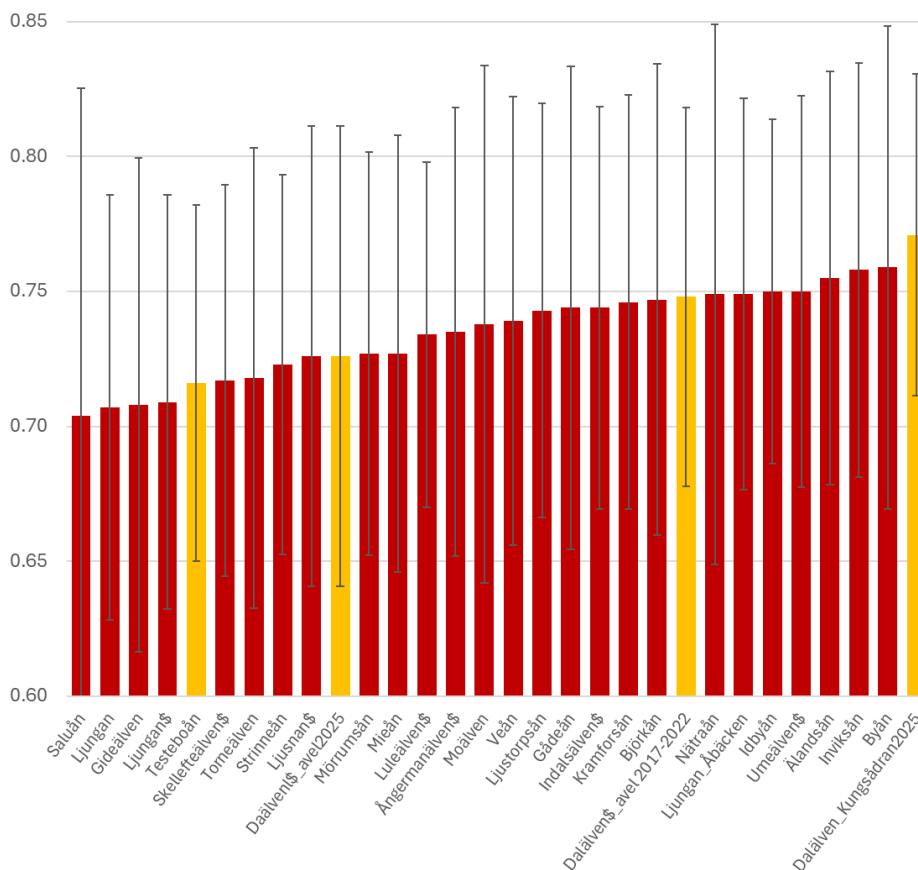
Inte heller vid en jämförelse mellan den avelsfisk och vildfödda stirr från Kungsådran (samtliga provtagna 2025) som ingår i figur 4 och 5 framkommer någon genetisk differentiering ($F_{ST} = 0,000$; $P = 0,08$). Sammantaget tyder dessa resultat på att den odlade och den vildfödda öringen i Dalälven utgör en gemensam genetisk enhet (genpool), vilket sannolikt återspeglar att en betydande andel av den öring som leker i Kungsådran är född i odling, samtidigt som en andel oklippt öring används vid aveln (tidigare användes dock endast fenklippt öring).

Vad gäller den vilda populationen i närliggande Testeboån föreligger en signifikant genetisk skillnad jämfört med havsöringen i Dalälven, trots att populationerna är placerade nära varandra i dendrogrammet (figur 4). Vid jämförelser mellan de båda proven från Dalälven 2025 och ett prov från Testeboån insamlat samma år (smolt och utlekt öring) framkommer statistiskt signifikanta genetiska skillnader ($F_{ST} = 0,02$; $P < 0,001$). Denna genetiska differentiering föreligger trots att betydande mängder havsöring (och lax) från den odlade stammen i Dalälven tidigare har satts ut i Testeboån, där laxen varit helt försvunnen, medan den havsvandrande öringen sannolikt funnits kvar i låg numerär (Dannewitz m.fl. 2022).

Det är oklart i vilken utsträckning de idag observerade genetiska skillnaderna mellan öringen i Dalälven och Testeboån speglar ursprunglig differentiering. Närliggande havsöringsbestånd tenderar generellt att vara genetiskt relativt lika, vilket tyder på att naturligt genflöde främst sker över kortare geografiska avstånd. Mot denna bakgrund skulle en låg genetisk differentiering mellan Dalälven och Testeboån vara förväntad. Det kan därför inte uteslutas att de skillnader som i dag observeras åtminstone delvis är ursprungliga.



Figur 4. Orotat dendrogram över vilda och kompensationsodlade (markerade med \$) havsöringspopulationer från svenska vattendrag i Östersjön, baserat på parvisa genetiska avstånd (Nei's DA) och konstruerat med neighbor-joining-metoden (programmet POPTREE2; Takezaki m.fl. 2010). Procentsatserna anger statistiskt stöd för trädets noder (förgreningar) baserat på bootstrap-analys (1000 replikat). För Dalälven ingår tre stickprov: avelsfisk 2017–2022, avelsfisk 2025 samt vildfödd öring (stirr) 2025.



Figur 5. Stapeldiagram som visar genetisk variationsgrad (förväntad heterozygositet med 95 % konfidensintervall) hos vilda och kompensationsodlade (markerade med \$) havsöringspopulationer från svenska vattendrag i Östersjön, baserat på 16 mikrosatellitmarkörer (beräknat med programmet POPTREE2). Staplarna är sorterade enligt ökande variationsgrad. För Dalälven ingår samma tre stickprov som i figur 4; dessa, liksom ett stickprov från närliggande Testeboån, är markerade med gul färg.

Genetisk ursprunglighet

De kompensationsodlade stammarna av havsöring och lax i Dalälven grundades med lokalt insamlat avelsmaterial, men det är oklart i vilken grad de är representativa för hela den ursprungliga genetiska mångfald inom dessa arter som historiskt kan ha funnits i vattensystemet. Som diskuteras av Östergren m.fl. (2023) kan avelsarbete i praktiken ofta innebära ett selektivt urval av återvandrande fisk, exempelvis med avseende på vandringstid. Det kan därför inte uteslutas att endast vissa av de lokala delpopulationer som ursprungligen kan ha funnits i den långsträckt Dalälven (avsnitt 2) idag är genetiskt representerade.

Dessutom förväntas genetisk påverkan under årens lopp av älvsfrämmande fisk som "felvandrat" upp i älven, samt av eventuella tidigare omflyttningar mellan odlingar i olika vattendrag. Sådan påverkan har konstaterats för laxen i Dalälven och flera andra östersjöälvar, baserat på jämförelser av DNA från historiska och nutida prover, även om dagens dalälvslox fortfarande är mest genetiskt lik sitt

ursprung (Östergren m.fl. 2021). För havsöringen i Dalälven saknas en motsvarande genetisk undersökning, och det är oklart om historisk vävnad (t.ex. arkiverade fjällprov) finns bevarade.

En ytterligare genetisk faktor som förväntas ha påverkat älvens laxfiskbestånd är odlingsselektion (domesticering). Som diskuteras av bland annat Östergren m.fl. (2023) är denna process i praktiken mycket svår, för att inte säga omöjlig, att undvika i odlingsmiljöer där dödligheten är betydligt lägre än i naturen, samtidigt som andra faktorer än i ett naturligt vattendrag påverkar individernas möjligheter till tillväxt, överlevnad och reproduktion. Flera tidigare studier av havsöring i Dalälven har också påvisat fenotypiska skillnader mellan odlade och vildfödda individer, bland annat i tillväxt, beteende och stressrespons, vilket har tolkats som tecken på domesticering (t.ex. Johnsson m.fl. 1996; Fernö & Järvi 1998; Lepage m.fl. 2000; Petersson & Järvi 2000). Samtidigt har, som påpekats ovan, molekylärgenetiska analyser inte påvisat någon differentiering mellan dessa grupper av havsöringar, vilket innebär att den genetiska grunden för de observerade fenotypiska skillnaderna är oklar (Palm m.fl. 2003).

3. Nuvarande status i relation till genetiska bevarandemål

Ett övergripande bevarandemål för Dalälvens havsöring bör vara att långsiktigt säkerställa populationens genetiska variation och livskraft, samtidigt som dess särart och eventuella lokala anpassningar bevaras. En central utgångspunkt i detta sammanhang är den genetiskt effektiva populationsstorleken per generation (N_E), som är relaterad till hur snabbt inaveln ökar och genetisk variation förloras över tid. Inom bevarandegenetiken används ofta riktvärdet $N_E \geq 50$ (eller 100 enligt vissa författare) som en nedre gräns för att reducera risken för negativa inavelsrelaterade effekter (s.k. inavelsdepression) på kort sikt, medan $N_E \geq 500$ (eller 1000) anges som målsättning för att långsiktigt bevara en populations evolutionära potential (Östergren m.fl. 2023 med referenser). Enligt de uppdaterade riktlinjer för svensk kompensationsodling av lax och öring som nyligen föreslagits bör minst 100 avelspar (200 individer) användas årligen för att uppnå $N_E \geq 500$ (Östergren m.fl. 2023).

Ovanstående målnivåer avser en reproduktivt isolerad population. När genflöde från andra populationer förekommer kan förlust av genetisk variation och ackumulering av inavel ske långsammare än vad den lokala effektiva populationsstorleken indikerar (Ryman m.fl. 2019). För vild havsöring i mindre kustmynnande vattendrag, där antalet lekfiskar kan vara lågt, är den genetiska variationen inom populationerna ofta relativt hög och graden av genetisk differentiering måttlig (t.ex. Palm & Söderberg 2022), vilket sannolikt kan förklaras av ett jämförelsevis omfattande reproduktivt utbyte med andra lokala populationer. Därför förväntas genetiska anpassningar hos havsöring i mindre vattendrag förekomma på större regional geografisk skala snarare än på lokal nivå (t.ex. Meier m.fl. 2011).

För bevarande av laxfisk i större älvar är det dock motiverat att eftersträva ett högre antal lekfiskar (och N_E) än i små vattendrag, för att bevara den genetiska mångfald och de lokala anpassningar som kännetecknar den älvspecifika populationen. Att upprätthålla en större population i ett stort vattendrag kan även motiveras ur ett ekologiskt och samhällsekonomiskt perspektiv.

Sedan flera år genomförs genetiska analyser av kompensationsodlad lax och havsöring vid SLU Aqua, på uppdrag av kraftindustrin (t.ex. Söderberg & Palm 2025). Detta löpande arbete, som har pågått under varierande tidsperioder för olika stammar vid odlingar i Östersjön och på västkusten, omfattar årliga genotypbestämningar av samtliga avelsfiskar. Baserat på erhållna genetiska data genomförs föräldraskapsbestämningar, identifiering av helsyskongrupper samt ursprungsanalyser i syfte att bland annat upptäcka älvsfrämmande eller potentiellt vildfödda individer, liksom fall där närbesläktade fiskar (helsyskon) av slumpen blivit parade med varandra.

När tidsserierna blivit tillräckligt långa har data även kunnat användas för beräkningar av genetiskt effektiva populationsstorlekar. Baserat på DNA-baserade föräldraskapsbestämningar är det möjligt att kvantifiera varje förälders reproduktiva framgång, uttryckt som antal återvändande avkommor i nästa generation, vilket tillsammans med information om det totala antalet kramade honor och hanar möjliggör demografiskt baserade skattningar av det genetiskt effektiva antalet föräldrar (N_B). Med hjälp av generationsintervallet (avelsfiskens medelålder) kan dessa skattningar omvandlas till genetiskt effektiv populationsstorlek per generation (N_E).

För odlad havsöring i Dalälven saknas dock hittills tillräckligt långa tidsserier för att möjliggöra ovanstående typ av demografiskt baserade skattningar av N_B och N_E . Däremot har det, baserat på återvändande lekfisk som genom DNA-baserad föräldraskapsbestämning kunnat hänföras till fyra specifika årsklasser (kramningsår), varit möjligt att beräkna genetiskt baserade skattningar. Även om dessa är behäftade med statistiska osäkerheter ger de likväl information om den genetiskt effektiva populationsstorleken samt dess relation till antalet avelsfiskar och de bevarandegenetiska mål som nämnts ovan.

Av tabell 1 framgår att antalet kramade avelsfiskar per år (N_T) varierat mellan 70 och 164 samt att det genetiskt effektiva antalet föräldrar per år (N_B) för den kompensationsodlade stammen av havsöring i genomsnitt uppgår till knappt 50 individer, baserat på de fyra avelsår (2017–2018 och 2020–2021) för vilka ett tillräckligt antal återvändande avkommor hittills har DNA-analyserats. Detta motsvarar en genetiskt effektiv populationsstorlek per generation (N_E) på strax under 200 individer. Kvoten mellan N_B och N_T under de fyra år som kunnat utvärderas har varierat mellan 0,33 och 0,74, med ett genomsnitt av 0,46.

Eftersom den erhållna N_E -skattningen uteslutande baseras på individer med kända föräldrar (avelsfiskar från föregående generationer) ingår inte avkomma från den odlade och vildfödda öring som reproducerar sig naturligt i Kungsådran. Ofta

används dock även en del avelsfisk med intakt fettfena som saknar kända föräldrar men som i de flesta fall sannolikt härstammar från Dalälven, och därmed kan vara vildfödda i Kungsådran. Förekomsten av viss naturlig reproduktion, liksom genetiskt utbyte mellan vildfödd och odlad fisk inom Dalälven, kan förväntas bidra till en något högre effektiv populationsstorlek än ovanstående skattning för älvens bestånd som helhet, även om storleken på denna effekt är svår att kvantifiera. Trots detta bedöms N_E för havsöringen i Dalälven i dagsläget ligga en bra bit under den etablerade nivån för långsiktigt genetiskt bevarande.

Som beskrivits tidigare avser ovanstående genetiska målnivåer för N_E en reproduktivt isolerad population. Dalälvens havsöring är dock sannolikt inte helt genetiskt isolerad från vilda och odlade populationer i andra vattendrag. Enligt tidigare märkningsstudier och DNA-analyser ingår en viss andel individer från andra älvar med kompensationsodlad öring i fångsterna i sport- och avelsfisket vid Älvkarleby. Dessutom förekommer det sannolikt att även vildfödda individer från andra vattendrag ibland reproducerar sig i Kungsådran. Ett visst genetiskt utbyte (genflöde) mellan populationer motverkar inavel och förlust av genetisk variation, vilket innebär att en lokal population kan bibehålla genetisk variation och vara långsiktigt livskraftig även vid ett lägre N_E än exempelvis 500 på lokal nivå, så länge den inte förblir helt isolerad.

Tabell 1. Skattningar av genetiskt effektivt antal föräldrar per år (N_B) med 95 % konfidensintervall (baserade på jackknife-metoden) för odlad havsöring i Dalälven, beräknade utifrån 16 mikrosatelliter (programmet NEESTIMATOR; Do m.fl. 2014). Beräkningar utgår från monogami bland föräldrarna och inkluderar endast alleler med frekvens > 0,05. N_B -skattningarna har bias-justerats enligt Waples m.fl. (2014; ekv. 8), under antagande att $N_E / N_B \approx G$ (vilket approximativt förväntas i en semelpar population; Waples 1990), där generationsintervallet (G) för odlad havsöring i Dalälven antagits vara cirka 4,2 år.

Avelsår	Antal avelsfiskar (N_T)	Antal analyserade avkommor	N_B (95% k.i.)	N_B / N_T	G	N_E
2017	92	108	35 (26 – 47)	0,38		
2018	70	40	52 (33 – 94)	0,74		
-						
2020	127	53	47 (22 – 139)	0,37		
2021	164	22	54 (22 – ∞)	0,33		
Medelvärde (harmoniskt)	102,2		45,7			
Totalt/genomsnitt				0,46	4,2	192

En alltför liten lokal population, som i hög omfattning tar emot gener från andra populationer, kan samtidigt ha svårt att behålla sin genetiska särart och anpassningar till den lokala miljön. I ett extremt scenario, exempelvis om den lokala miljön endast medger en mycket liten reproducerande population, kan detta innebära att merparten av individerna har sitt ursprung i andra vattendrag. Under ett sådant scenario kan den ursprungliga lokala genpoolen successivt gå förlorad även om arten kvarstår i vattendraget.

Sammantaget indikerar ovanstående resultat och resonemang att ett långsiktigt genetiskt bevarande av Dalälvens havsöring förutsätter en ökad genetiskt effektiv populationsstorlek jämfört med dagens nivå. Detta krävs för att upprätthålla genetisk variation och evolutionär potential samtidigt som den relativa påverkan av genflöde från andra vattendrag begränsas, så att stammens genetiska särart och eventuella lokala anpassningar inte äventyras.

Ett ökat antal lekfishar minskar även populationens känslighet för variation i överlevnad och reproduktionsframgång mellan år, särskilt till följd av demografiska slumpändelser, vilket därmed reducerar risken för kraftiga populationssvängningar och lokalt utdöende. I dagsläget saknas dock, oss veterligen, en etablerad metod för skattning av utdöenderisk för arter med en livshistoria som den hos öring och lax (Rogell m.fl. 2022).

4. Olika påverkansfaktorers inverkan på behovet av fortsatta utsättningar av odlad havsöring i Dalälven

Öringen i Dalälven påverkas av flera faktorer under sin livscykel. Exempel på viktiga påverkansfaktorer är omfattningen av utsättning av odlad smolt, tillgången till lek- och uppväxtområden i älven, predation samt fiske. Som framgår av avsnitt 3 bedöms N_E för havsöringen i Dalälven i dagsläget ligga en bra bit under den vedertagna tumregeln för långsiktigt genetiskt bevarande. I detta avsnitt diskuteras möjliga åtgärder för att beståndet framgent ska vara långsiktigt livskraftigt, vilket omfattar bevarande av genetisk integritet och evolutionär potential samtidigt som populationen måste vara tillräckligt stor för att minimera risken för kraftiga slumpmässiga fluktuationer i dess storlek över tid.

Odling och utsättning

Hur många havsöringar som i dagsläget reproducerar sig på egen hand i Dalälven är okänt, men sannolikt är antalet lekfishar onaturligt högt i relation till de begränsade lekområden som finns i Kungsådran. Upphörda utsättningar av öring väntas resultera i ett kraftigt minskat antal individer som återvänder för lek till älven, då individer födda i odling hittills har dominerat kraftigt (ca 95%; Florin m.fl. 2024). Hur stort lekbeståndet skulle kunna bli efter en komplett utfasning är oklart. Om man antar samma relation mellan antal lekfishar och smolt som för den vilda populationen i närliggande Testeboån, skulle den årliga produktionen i Kungsådran (ca 200 smolt, avsnitt 2) motsvara en uppvandring av vuxen lekfish på ca 100 individer per år.

Ett så litet lekbestånd är bland annat mer mottagligt för påverkan via genflöde från andra bestånd, och det riskerar därför att på sikt förlora sin genetiska särart. Ett litet bestånd är också mer känsligt för demografiska slumpändelser (avsnitt 3). Hos vild havsöring är dessutom flergångslek vanligt (t.ex. Dannewitz m.fl. 2022), vilket för ett givet antal årliga lekfiskar väntas ge lägre N_E än i en (odlad) population utan flergångslek; vid omkring 100 lekfiskar per år kan N_E vid flergångslek förväntas hamna mellan endast 50 och 100 (jfr Palm 2021). Konkurrenter med lax och en konstaterat hög andel arthybrider (avsnitt 2) utgör en ytterligare påverkansfaktor som väntas öka sårbarheten för ett litet självreproducerande öringbestånd i Kungsådran. Att helt fasa ut utsättningarna av odlad havsöring i Dalälven, utan att samtidigt väsentligt förbättra förutsättningarna för naturlig produktion i älven, bedöms därför inte vara ett fullgott alternativ.

Vid fortsatt odling påverkar mängden utsatt smolt hur många lekfiskar som återvänder från havet till älven, och som kan användas som avelsfisk för att producera nästa generation utsättningsfisk eller bidra till naturlig fortplantning i det vilda. En minskad utsättningsmängd från 55 000 till 25 000 öringsmolt per år, som kan bli resultatet av SLU:s nedläggning av sin odlingsverksamhet i Älvkarleby, väntas resultera i färre återvandrande vuxna öringar och en ännu smalare avelsbas än vad som hittills varit fallet. Om Fortum väljer att justera utsättningsmängderna från 2026 och framåt enligt erhållen dispens från Länsstyrelsen (se avsnitt 1) kan dock mängden utsatt öring hållas oförändrad på 55 000 smolt per år. Detta förväntas resultera i ungefär samma återvandring av lekfisk som tidigare förutsatt att öringsmolten fortsatt sätts ut som tvåårig. En övergång till ettårig smolt skulle sannolikt minska antalet återvandrande lekfiskar eftersom havsöverlevnaden för ettårig smolt är avsevärt lägre jämfört med tvåårig smolt (Alanära m.fl. 2025).

Under senare år har antalet öringar som fångats och använts i avelsarbetet i Dalälven (tabell 1) varit lägre än de rekommendationer som nyligen föreslagits för bevarande av genetisk variation i svensk kompensationsodling (Östergren m.fl. 2023). Även om utsättningsmängderna och antalet avelsfiskar skulle bibehållas på nuvarande nivåer, väntas detta resultera i en effektiv populationsstorlek (N_E) som understiger den rekommenderade nivån för långsiktigt bevarande (avsnitt 3). En fortsatt odlingsverksamhet bör därför sträva efter att öka N_E , vilket kan ske på olika vis.

Hittills har tillgången på avelsmaterial begränsats av den mängd fisk som fångats i avelsfällan under de perioder som denna varit i drift. Genom att öka mängden utsatt smolt från dagens nivå kan en större mängd återvändande lekfisk förväntas, vilket kan möjliggöra en breddad avelsbas. Vidare kan avelsfällans funktion eventuellt förbättras så att denna attraherar och fångar mer fisk än hittills. Fällan skulle också kunna hållas öppen en längre period under säsongen för att på så vis öka antalet avelsfiskar. Av djuretiska skäl har dock hantering av fisk undvikits då vattentemperaturen överstigit 20 grader vilket med allt varmare somrar har inneburit att fällan tvingats vara stängd under flera veckor. En ytterligare problematik med ett tidigarelagt avelsfiske är att det, under det senaste decenniet,

på grund av höga vattentemperaturer under sommaren varit svårt hålla den infångade fisken vid liv och i god kondition fram till aveln under senhösten.

Den genetiskt effektiva storleken hos den odlade stammen kan vidare ökas genom att minska variationen i reproduktiv framgång mellan de föräldrafiskar som används vid aveln. Detta förutsätter att familjer hålls åtskilda under hela uppväxten i odling – vilket inte sker i dagsläget – samt att familjernas storlek jämnas ut inför utsättning. Inom det projekt som syftar till att genetiskt analysera svensk kompensationsodlad lax och öring genereras kunskap om hur stor variationen i reproduktiv framgång är mellan föräldrar när avkomman återvänder från havet (Söderberg & Palm 2025, avsnitt 2). Det är dock oklart hur stor del av denna variation som funnits redan vid utsättningstillfället, och hur stor del som uppstår under havsfasen. Den potentiella effekten på N_E av en utjämning av familjestorlekarna inför utsättning är därför svår att bedöma utan separata genetiska analyser av smolt, något som hittills saknas.

Slutligen ska betonas att odling och utsättning innebär genetiska risker genom domesticering och förhöjda nivåer av genflöde till vilda populationer (t.ex. Palmé m.fl. 2012) och därför ska ses som en temporär lösning i syfte att upprätthålla en tillräckligt stor population av havsöring i Dalälven. Målet bör vara att så snart som möjligt öka förutsättningarna för att örningen ska kunna reproducera sig i det vilda i tillräckligt stor omfattning, vilket skulle minska behovet av fortsatta utsättningar av odlad fisk och så småningom möjliggöra en fullständig utfasning av odlingsverksamheten.

Naturlig produktion

Kraftverken i nedre Dalälven ingår i den nationella planen (NAP) för omprövning av vattenverksamheter som används för produktion av el. Syftet är att förse dessa verksamheter med moderna miljövillkor. Kraftbolagen Fortum och Vattenfall, som driver verksamheter i nedre Dalälven, lämnade i januari 2026 in ansökningar till Mark- och miljödomstolen, men det är oklart när huvudförhandlingar kommer att äga rum. Enligt ansökningarna ämnar man öppna upp nedre Dalälven för havsvandrande fisk upp till Näs kraftverk, som blir definitivt vandringshinder.

Vi har inom ramen för detta uppdrag inte hunnit gå igenom ovanstående ansökningar i detalj, och har därför svårt att utvärdera vilka effekter föreslagna åtgärder väntas få på den havsvandrande örningen i Dalälven. Tidigare beräkningar och modelleringar, som fokuserat på lax, visar dock att området upp till Näs kraftverk har förutsättningar att hysa livskraftiga laxfiskbestånd, vars storlek väntas variera beroende på hur omfattande restaureringsåtgärder som genomförs (Hagelin m.fl. 2018). Enligt ett scenario, som förutom fungerande upp- och nedströmspassage förbi kraftverken i Älvkarleby, Lanforsen, Untra och Söderfors även inbegriper omfattande habitatrestaureringar och förändrade flödesregimer, skulle produktionen av lax kunna uppgå till mellan 100 000 och drygt 200 000 smolt, samt mellan knappt 5 000 och drygt 15 000 återvändande lekfiskar årligen (Hagelin m.fl. 2018, bilaga Lekbeståndsmål och populationsmodellering). Kompletterande

populationsmodellering har utförts av Aldvén (2026) i syfte att mer specifikt studera hur enskilda parametrar förväntas påverka etableringen av lax i olika delar av nedre Dalälven.

Ovanstående beräkningar är förenade med betydande osäkerheter och baseras på ett antal kritiska antaganden. Dessutom används genomgående parametervärden för lax, vars livshistoria i flera avseenden skiljer sig från öringens. Av flera anledningar är det därför svårt att förutse hur stor den totala produktionen av lax och havsöring skulle kunna bli, liksom arternas relativa fördelning, efter att områdena uppströms Älvkarleby har återkoloniserats.

Omprövningen av verksamheterna i nedre Dalälven väntas bli tidskrävande, och utfallet är svårt att förutsäga. Det är således oklart vilka åtgärder som kan komma att åläggas verksamhetsutövarna och hur dessa i sin tur kan påverka laxfiskbestånden i Dalälven. Att låta lax och havsöring återkolonisera Dalälven på naturlig väg, när fungerande passagelösningar väl finns på plats, kommer dessutom sannolikt ta lång tid (flera generationer för fisken). Detta beror bland annat på att stora fjärdar, där predationen sannolikt är hög, försvårar återkoloniseringen – särskilt om endast en mycket liten naturlig population finns kvar nedströms Älvkarleby.

Dagens bestånd av lax och havsöring kan dessutom ha en låg benägenhet att vandra längre sträckor i älvsystemet, eftersom de är födda i älvens nedersta del. Vi bedömer därför att utsättningar i uppväxtområden högre upp i systemet under en övergångsperiod kan vara en förutsättning för ett lyckat resultat, i likhet med den framgångsrika återetableringen av lax och havsöring i närliggande Testeboån (Ices 2013). Utsättningsmaterialet bör i så fall vara av lokal stam och hålla hög kvalitet avseende genetisk bredd och beteendemässig variation. Att använda öring med annat ursprung (t.ex. från närliggande Testeboån som avviker genetiskt från dalälvsöring, se avsnitt 2) för att återkolonisera nedre Dalälven är förenat med betydande risker. Förutom att den lokala dalälvsöringens genetiska särprägel kan gå förlorad, kan ett sådant tillvägagångssätt bli kostsamt – utan garanti för att det lyckas – samtidigt som det kan påverka det givande beståndet negativt.

Utöver ovannämnda skäl (avsnittet Odling och utsättning) bör således odlingsverksamheten i Dalälven tills vidare fortlöpa, så att den med god marginal överlappar i tid med åtgärder som syftar till att återetablera lax och öring i nedre Dalälven uppströms Älvkarleby. Beroende på utfallet av de restaureringsåtgärder som genomförs, samt effekten på lax- och öringbeståndens storlek och bevarandestatus, kan utsättningarna av odlad fisk sedan successivt fasas ut.

Predation

Från Dalälven finns relativt bra skattningar av storskarvens predation på laxartad fisk. Både vild och odlad lax- och öringmolt har PIT-märkts i älven under en längre period. Skanningar av skarvkolonier och rastplatser i anslutning till Dalälvens mynning under tidsperioden 2019-2022 indikerar att skarven konsumerar en ansevärd andel av den utvandrande smolten; omkring 31 procent av

den odlade öringen, 19 procent av den vilda öringen, 13 procent av den odlade laxen och 8 procent av den vilda laxen (Säterberg m.fl. 2023, Lundström m.fl. 2024). Dessa skattningar ska ses som miniminivåer, då analyserna inte tar hänsyn till eventuell förekomst av märken från uppäten smolt som hamnat på platser som inte har skannats. Sammantaget uppskattas predationen på odlad öring ha ökat med en faktor tio sedan 2005-2006.

Åtgärder som syftar till att minska den lokala predationen från skarv skulle, vid oförändrade utsättningsnivåer, kunna öka antalet öringar som överlever havsfasen och återvänder för lek. Därigenom skulle avelsbasen för den odlade dalälvsöringen kunna breddas. En minskning av skarvpredationen från cirka 30 till 0 procent skulle kunna öka antalet återvandrande odlade öringar med omkring 40 procent, medan en halvering av predationen (till 15 procent) motsvarar en ökning av återvandringen med cirka 20 procent. Effekten av minskad skarvpredation är dock osäker, eftersom det i dagsläget saknas kunskap om i vilken utsträckning minskad sådan predation kan komma att kompenseras av ökad annan dödlighet, exempelvis via andra predatorer.

Regeringen har gett SLU, Naturvårdsverket och Formas i uppdrag att undersöka om minskad påverkan från säl och storskarv kan bidra till att fiskbestånden i svenska kustvatten återhämtar sig. Uppdraget ska redovisas i mars 2028. Dalälven utgör ett av projektets studieområden, där fokus framför allt ligger på att undersöka skarvens predation på öring. Målet är att kraftigt begränsa skarvpredationen och följa upp effekterna på fiskbestånden i området. Fältstudier inleds under 2026, och det finns därför ännu inga resultat att rapportera.

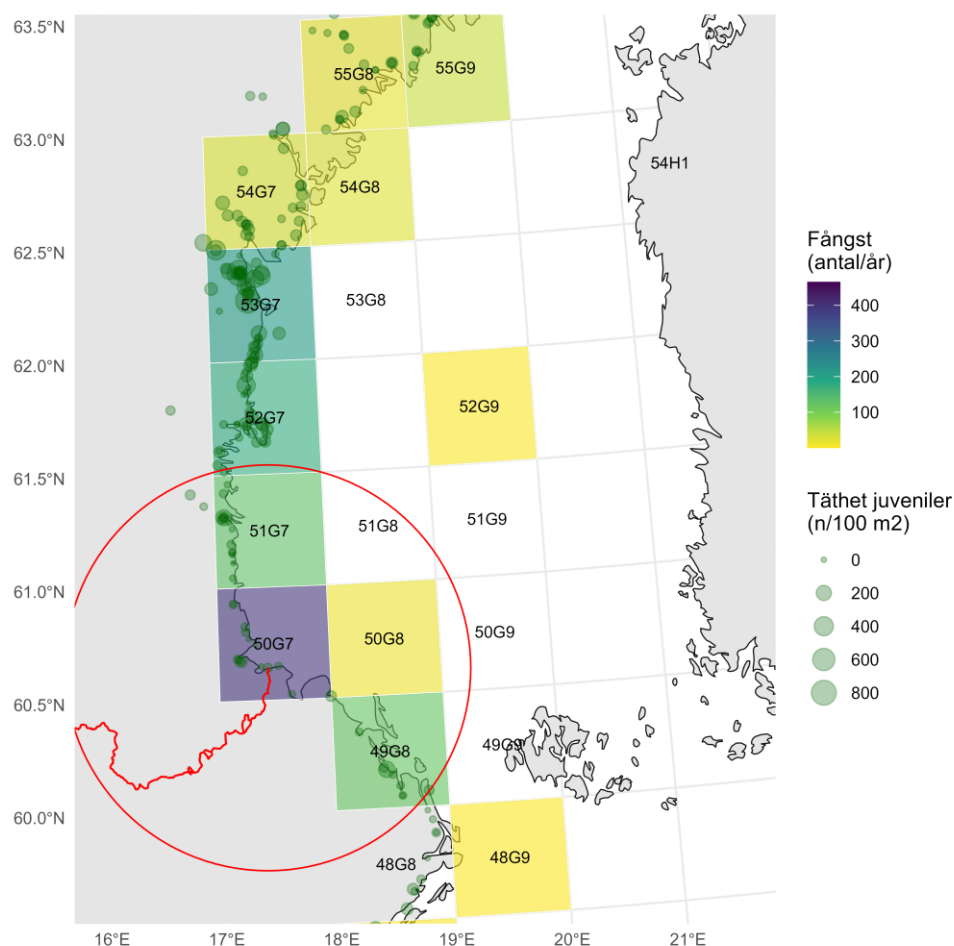
Fiske

Längs kusten bedrivs i dag inget riktat yrkesfiske efter öring; arten fångas i stället främst som bifångst i fiske efter andra arter (SLU Fiskbarometern 2026). Yrkesfiskets rapporterade fångster av öring i Bottenhavet är störst i området utanför Dalälven (figur 6). Under havsvandringen tycks dalälvsöringen uppehålla sig inom ett relativt begränsat område; vid en tidigare märkningsstudie återfångades 77 procent av öringen inom 100 km från älvmyningen (Degerman m.fl. 2012). Detta motsvarar ungefär det område som omfattas av de statistiska rutorna 49G8, 50G7, 50G8 och 51G7 (figur 6). Yrkesfiskets fångster inom detta område ökade från mitten av 1990-talet fram till omkring 2010, för att därefter minska (figur 7).

Utöver yrkesfiske förekommer även fritidsfiske efter öring längs kusten i Bottenhavet, men omfattningen på detta fiske är bristfälligt känd. För hela Bottniska viken bedöms dock fritidsfiskets fångster av öring längs kusten vara flerdubbelt större än yrkesfiskets fångster (SLU Fiskbarometern 2026).

Inom dalälvsöringens utbredningsområde förekommer även öring från andra vattendrag, men det saknas tyvärr kunskap om hur stor andel av fångsterna längs kusten som utgörs av öring med olika härstamning. Andelen dalälvsöring kan dock förväntas öka ju närmare Dalälvens mynning fisket bedrivs.

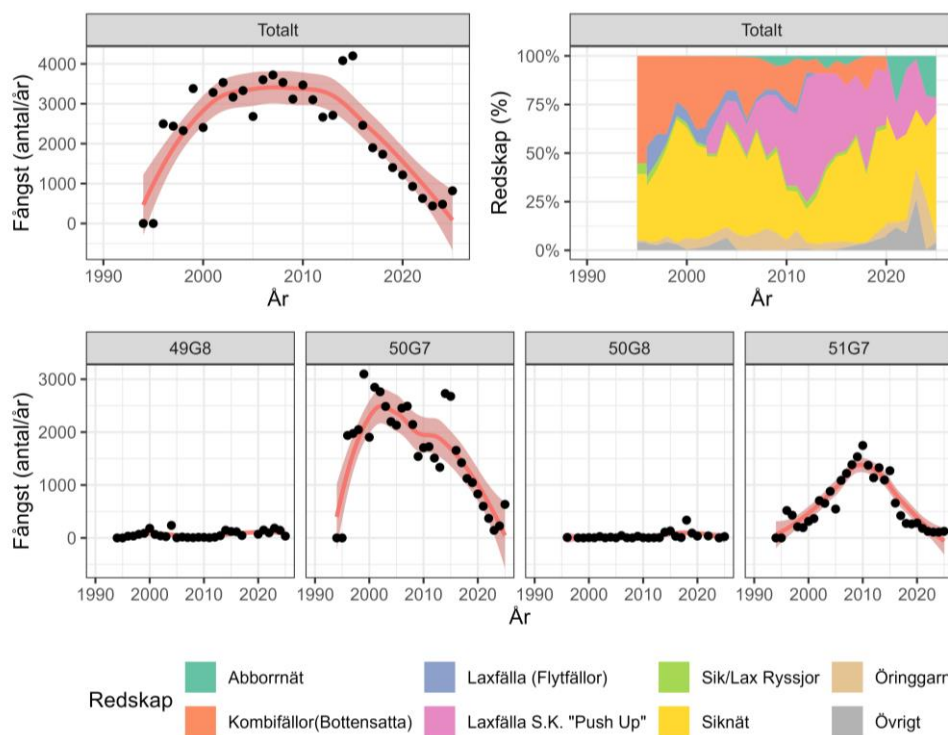
Fisket i Dalälvens sötvattensområde domineras av spöfiske. Spöfiskets fångster av havsöring har minskat markant sedan början av 2000-talet (figur 8). Även avelsfiskets fångster har minskat, om än inte i lika stor utsträckning (figur 8). Återutsättning av fångad öring förekommer, men data på återutsatt fisk i Dalälven finns bara sammanställt från 2015 och framåt (figur 8).



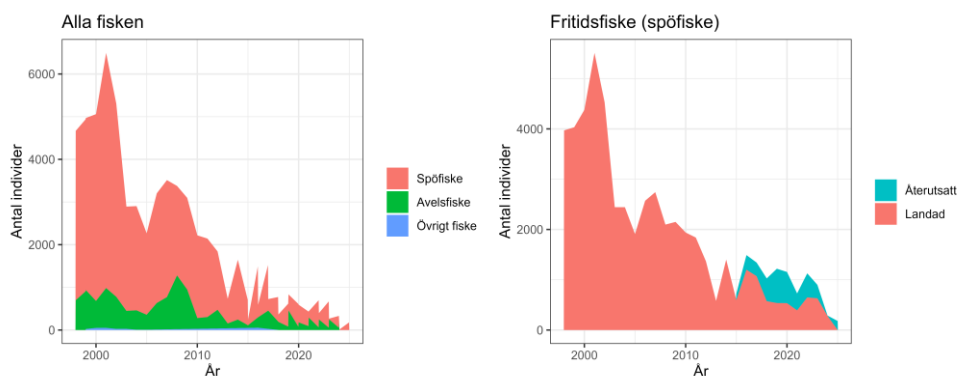
Figur 6. Yrkesfiskets genomsnittliga årsfångster av öring under perioden 2021-2025 i Bottenhavet och Ålands hav. Dalälven är markerad med röd linje. Det område som utgör huvudsakligt utbredningsområde i havet för dalälvsöring anges med röd cirkel med 100 km radie från mynningen. Gröna cirklar visar tätheter av öringungar på elfiskelokaler i vattendrag längs kusten. Dessa tätheter speglar dock inte den totala produktionen i dessa vattendrag, eftersom produktionsarealernas omfattning inte har tagits hänsyn till. Se texten för mer information.

En minskad fångst av dalälvsöring längs kusten och i älven förväntas leda till fler återvändande lekfiskar, vilket i sin tur skulle möjliggöra en utökning av den odlade stammens avelsbas (se ovan). Tyvärr är det dock i dagsläget svårt att bedöma vilka effekter olika typer av fiskeregleringar skulle ha på öringens återvandring till

Dalälven, eftersom beståndssammansättningen längs kusten samt exploateringsgraden (andelen av beståndet som fångas) längs kusten och i älven är okända.



Figur 7. Yrkesfiskets fångster av öring i de statistiska rutorna närmast Dalälvens mynning (totalt samt uppdelat på respektive ruta; jfr figur 6), samt relativ fångst uppdelat på redskap för området som helhet.



Figur 8. Fritidsfiskets fångster av öring (antal) i Dalälven nedströms dammarna i Älvkarleby under perioden 1998-2025. Notera att information om återutsatt fisk endast finns sedan 2015.

5. Slutsatser

Mot bakgrund av att förutsättningarna för naturlig produktion av öring i Dalälven i dagsläget är mycket begränsade, framstår det som osannolikt att enbart naturlig reproduktion kan upprätthålla en tillräckligt stor populationsstorlek. Så länge ytterligare reproduktionsarealer inte görs tillgängliga, exempelvis genom att lax och öring återfår tillgång till lek- och uppväxtområden uppströms Älvkarleby, bedömer vi att fortsatt odling och utsättning behövs eftersom avelsbasen annars riskerar att bli alltför snäv, givet dagens begränsade möjligheter för naturlig reproduktion i Kungsådran. Dessutom kan odlad fisk behövas för att under en övergångsperiod återintroducera öring (och lax) på områden uppströms Älvkarleby, när fungerande passagelösningar vid kraftverken i nedre Dalälven finns på plats och nödvändiga restaureringsåtgärder genomförts.

Under senare år har antalet öringar som fångats och använts i avelsarbetet i Dalälven varit lägre än de uppdaterade riktlinjer som nyligen föreslagits för bevarande av genetisk variation i svensk kompensationsodling. Avvecklingen av SLU:s odlingsverksamhet i Dalälven kan dessutom medföra mer än en halvering av antalet utsatta öringsmolt, med risk för att ännu färre avelsfiskar kommer att fångas och användas. Därför bör olika åtgärder vidtas för att bredda avelsbasen. Som diskuteras ovan kan sådana åtgärder inkludera en bibehållen (eller ökad) mängd utsatta öringsmolt, förbättrad fångsteffektivitet av avelsfällan samt justeringar av odlingsprocessen i syfte att jämna ut det reproduktiva bidraget från olika föräldrafiskar.

Det ska dock understrykas att odling och utsättning inte är genetiskt oproblematiskt, även om N_E hålls på en hög nivå, eftersom domesticering och oönskad genspridning svårligen kan undvikas. En framtida övergång till enbart naturlig reproduktion framstår därför som det mest hållbara alternativet för ett långsiktigt bevarande av havsöringen i Dalälven. Parallellt med en återetablering uppströms Älvkarleby kan utsättningarna av odlad fisk gradvis minskas och slutligen fasas ut.

Utöver fortsatt odling och utsättning under en övergångsperiod väntas även minskad predation och lägre fisketryck gynna lekbeståndets numerär och havsöringens långsiktiga bevarande i Dalälven. Som diskuteras ovan är det dock av olika skäl svårt att i dagsläget kvantifiera effekten av sådana åtgärder.

6. Referenser

Alanära A, McCallum E & Persson L (2025). Ettårig smolt och havsöverlevnad. Energiforsk rapport 2025:1103.

Aldvén D (2026). Populationsmodellering lax i nedre Dalälven. Bilaga B.2 i ansökan om omprövning för moderna miljövillkor. Målnr: M 869-26.

Carlin B (1951). Förteckning över laxförande delar av svenska vattendrag. Vandringsfiskutredningens betänkande (sid. 299-315). Svenska Vattenkraftföreningens publikationer 423 (1951:8), Stockholm.

Dahl J, Dannewitz J, Karlsson L, Petersson E, Löf A & Ragnarsson B (2004). The timing of spawning migration: implications of environmental variation, life history, and sex. *Canadian Journal of Zoology* 82, 1864-1870.

Dannewitz J, Kagervall A & Moberg B (2022). Lax och havsöring i Testeboån – datainsamling och beståndsanalys. Kunskapsunderlag. 32 s.

Degerman E, Leonardsson K & Lundqvist H (2012). Coastal migrations, temporary use of neighbouring rivers, and growth of Sea trout (*Salmo trutta*) from nine northern Baltic Sea rivers. *ICES Journal of Marine Science* 69, 971–980.

Do C, Waples RS, Peel D, Macbeth GM, Tillett BJ & Ovenden JR (2014). NeEstimator v2: re-implementation of software for the estimation of contemporary effective population size (N_e) from genetic data. *Molecular Ecology Resources* 14, 209–214.

Engman A, Ragnarsson B, Karlsson L, Petersson E, Dahln N, Serrano I, Dahlgren P, Larsson S, Rivinoja P, Lagenfelt I & Moberg B (2011). Utvandring av vild och odlad lax- och öringsmolt från Kungsådran, Dalälven, 2008-2010. Rapport från Fiskeriverket. 41 s.

Fernö A & Järvi T (1998) Domestication genetically alters the antipredator behaviour of anadromous brown trout (*Salmo trutta*) - a dummy predator experiment. *Nordic Journal of Freshwater Research* 74, 95–100.

Florin A-B, Olsson J & Östergren J (2024). Förväntade ekologiska konsekvenser av att SLU:s kompensationsodling av lax och öring i Älvkarleby läggs ned. *Aqua notes* 2024:20. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.

<https://doi.org/10.54612/a.1u9vs04jvr>

Hagelin A, Calles O & Gullberg K (2018). LIV-Laxfisk i nedre Dalälven. Länsstyrelsen Gävleborg, rapport 2018:4.

Ices (2013). Report of the Baltic Salmon and Trout Assessment Working Group (WGBAST), 3–12 April 2013, Tallinn, Estonia. ICES CM 2013/ACOM:08. 334 pp. Information om återintroduktionsprogrammet i Testeboån finns på sidan 90.

Jansson H & Öst T (1997). Hybridization between Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in a restored section of the River Dalälven, Sweden. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54, 2033-2039.

Johnsson JI, Petersson E, Jönsson E, Björnsson BT & Järvi T (1996). Domestication and growth hormone alter antipredator behaviour and growth patterns in juvenile brown trout, *Salmo trutta*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53, 1546–1554.

Lepage O, Øverli Ø, Petersson E & Järvi T (2000). Differential stress coping in wild and domesticated sea trout. *Brain, Behaviour and Evolution* 56, 259–268.

- Lundqvist G (2026). Dalälven-Kungsådran - Ekohydraulisk modellering. Bilaga A.3 i ansökan om omprövning för moderna miljövillkor. Målnr: M 869-26.
- Lundström K, Ovegård M, Karlsson M, Bergström U, Lövgren J, Sandström A, Sjöberg N, Sundblad G, Säterberg T, Wennhage H & Östman Ö (2024). Storskavens (*Phalacrocorax carbo*) ekologi, roll i ekosystemet och effekter på fiskpopulationer; En sammanställning av kunskap och kunskapsbehov. Aqua reports 2024:9. Lysekil: Institutionen för akvatiska resurser.
<https://doi.org/10.54612/a.300f4oihko>
- Meier K, Hansen MM, Bekkevold D, Skaala Ø & Mensberg K-LD (2011). An assessment of the spatial scale of local adaptation in brown trout (*Salmo trutta* L.): footprints of selection at microsatellite DNA loci. *Heredity* 106, 488–499.
- Miettinen A, Palm S, Dannewitz J, Lind E, Primmer CR, Romakkaniemi A, Östergren J & Pritchard VL (2021). A large wild salmon stock shows genetic and life history differentiation within, but not between, rivers. *Conservation Genetics* 22, 35-51.
- Miettinen A, Romakkaniemi A, Dannewitz J, Pakarinen T, Palm S, Persson L, Östergren J, Primmer CR & Pritchard VL (2024). Temporal allele frequency changes in large-effect loci reveal potential fishing impacts on salmon life-history diversity. *Evolutionary Applications*. 17:e13690.
- Montén, E. (1988). Fiskodling och vattenkraft. Vattenfall.
- Palm S (2021). Genetiskt bevarandemål för lax i Gullspångsälven. PM/Utlåtande till Länsstyrelsen Västra Götaland. 6 s.
- Palm S & Söderberg L (2022). Genetisk analys av havsöring från Västernorrland: utökad studie. PM från Sveriges lantbruksuniversitet, 19 s.
- Palm S, Dannewitz J, Järvi T, Petersson E, Prestegard T & Ryman N (2003). Lack of molecular genetic divergence between sea-ranched and wild sea trout (*Salmo trutta*). *Molecular Ecology* 12, 2057-2071.
- Palm P, Dannewitz J, Prestegard T & Östergren J (2013). Laxing och felvandrad lax i Mörrumsån. En genetisk analys. Aqua reports 2013:20. Sveriges lantbruksuniversitet, Drottningholm. 44 s.
- Palmé A, Wennerström L, Guban P & Laikre L (editors) (2012). Stopping compensatory releases of salmon in the Baltic Sea. Good or bad for Baltic salmon gene pools? Report from the Baltic Salmon 2012 symposium and workshop, Stockholm University, February 9–10, 2012. Davidsons Tryckeri, Växjö, Sweden.
- Petersson E & Järvi T (2000). Both contest and scramble competition affect the growth performance of brown trout, *Salmo trutta*, parr of wild and of sea-ranched origins. *Environmental Biology of Fishes* 59, 211–218.

- Rogell B, Dannewitz J & Palm S (2022). Hur förhåller sig förvaltning enligt Maximum Sustainable Yield (MSY) till bevarande av laxpopulationer? Kunskapsunderlag. 17 s.
- Ros T (1981). Salmonids in the Lake Vänern area. In: Ryman N (editor). Fish Gene Pools. Ecological Bulletins (Stockholm) 34, 21-31.
- Ryman N, Laikre L & Hössjer O (2019). Do estimates of contemporary effective population size tell us what we want to know? *Molecular Ecology* 28, 1904–1918.
- SLU Fiskbarometern (2026). Resursöversikt 2025. <https://fiskbarometern.se> [2026-04-17].
- Säterberg T, Jacobson P, Ovegård M, Rask J, Östergren J, Jepsen N & Florin A-B (2023). Species- and origin-specific susceptibility to bird predation among juvenile salmonids. *Ecosphere* 14(12): e4724. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4724>
- Söderberg L & Palm S (2025). Genetisk analys av avelsfisk kramad 2024 – lax och havsöring från tio svenska kompensationsodlingar. *Aqua notes* 2025:18, 70 s.
- Takezaki N, Nei M & Tamura K (2010). POPTREE2: Software for constructing population trees from allele frequency data and computing other population statistics with windows interface. *Molecular Biology and Evolution* 27, 747–752.
- Waples RS (1990). Conservation genetics of Pacific salmon. II. Effective population size and the rate of loss of genetic variability. *Journal of Heredity* 81, 267–276.
- Waples RS, Antao T & Luikart G (2014). Effects of overlapping generations on linkage disequilibrium estimates of effective population size. *Genetics* 197, 769–780.
- Östergren J, Palm S, Gilbey J, Spong G, Dannewitz J, Königsson H, Persson J & Vasemägi A (2021). A century of genetic homogenization in Baltic salmon - evidence from archival DNA. *Proceedings of the Royal Society B*. 288: 20203147.
- Östergren J, Palm S, Söderberg L & Persson L (2023). Strategiskt arbete för bevarande av genetisk variation i svensk kompensationsodling. *Energiforsk Rapport* 2023–976. 64 s.