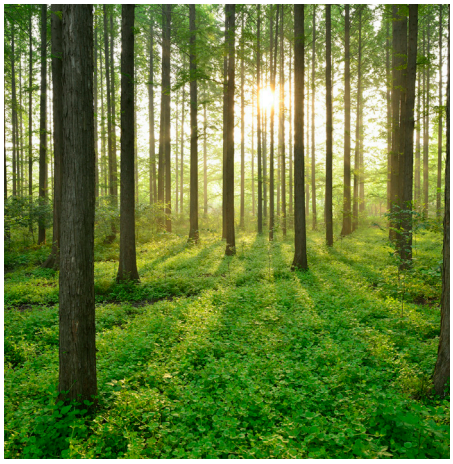
FISKVÄLFÄRD I KOMPENSATIONSODLING

RAPPORT 2026:1227





VATTENKRAFTENS
KOMPENSATIONSODLING





Energiforsk

Fiskvälfärd i kompensationsodling

Faktorer som påverkar fiskens välmående i kompensationsodling

HENRIK SUNDH

ISBN 978-91-89917-70-5| © Energiforsk oktober 2026

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är i grunden baserad på en sammanställning av information från ”Welfare Indicators for farmed Atlantic salmon – tools for assessing fish welfare” som är relevant för svensk kompensationsodling. För fördjupad kunskap hänvisar vi till originalversionen, som finns listad i källförteckningen där alla referenser som ligger till grund för rapporten går att finna.

Det här projektet är en del i en längre pågående serie inom Energiforsks program för forskning och utveckling inom vattenkraftens kompensationsodling, som syftar till att bygga upp en handbok för kompensationsodling som alla aktörer i branschen ska kunna vända sig till. Denna rapport utgör fjärde kapitlet, och författaren är Henrik Sundh från Göteborgs Universitet.

Referensgruppen har utgjorts av Åke Forssén, Vattenfall AB, Mikael Lidström, Vattenfall Vattenkraft AB, Marco Blixt, Fortum AB, Daniel Axelsson, Statkraft Sverige AB, Anton Dahlberg, Statkraft Sverige AB samt Tomas Olsson från Vattenregleringsföretagen AB.

Finansiärerna av Vattenkraftens Kompensationsodling är Vattenfall AB, Fortum AB, Sydkraft Hydropower AB, Statkraft Sverige AB samt Skellefteåkraft AB.

Rapportförfattaren ansvarar för alla resultat och slutsatser i rapporten.

Sammanfattning

Denna rapport belyser hur fiskvälfärd i kompensationsodling av lax och öring bör förstås, bedömas och omsättas i praktiken. En central utgångspunkt är att god välfärd inte enbart innebär att fisken överlever och växer i odling, utan att dess fysiologiska, hälsomässiga och beteendemässiga behov tillgodoses på ett sätt som också ger fisken rimliga förutsättningar att fungera efter utsättning.

Fiskvälfärd i kompensationsodling påverkas av ett samspel mellan vattenmiljö, odlingsförhållanden, hantering och fiskens individuella status. Särskilt viktiga välfärdsfaktorer är vattenkvalitet, temperatur, syre, koldioxid, pH och kväveföreningar, eftersom förändringar i dessa snabbt påverkar andning, osmoreglering, stressnivåer, tillväxt och sjukdomskänslighet. Därutöver är gruppbaserade indikatorer som aptit, dödlighet, beteende, avmagring och sjukdomsförekomst centrala verktyg för att upptäcka tidiga tecken på välfärdsproblem. På individnivå är bland annat hud- och fjällstatus, ögon, fenor, konditionsfaktor, smoltstatus och tidig könsmognad viktiga att följa.

Flera vanliga åtgärder i odlingen innebär tydliga välfärdsavvägningar. Faktorer som trängning, transport och sortering kan vara nödvändiga i produktionen, men är samtidigt potentiella källor till stress, fysisk skada och försämrad hälsa. För god välfärd förutsätts att sådana moment föregås av noggrann planering, att hög vattenkvalitet bibehålls och att väl anpassad utrustning används. Särskilt hanteringsmoment som trängning, pumpning, transport och sortering är kritiska, eftersom de kan ge både akuta och långvariga effekter på fiskens fysiologi och robusthet.

För kompensationsodlad fisk tillkommer dessutom en särskild välfärdsdimension: fisken ska inte bara fungera i odling utan också vara rustad för ett liv i det fria. Det kan uppstå konflikter mellan kortsiktig och långsiktig välfärd. En skyddad och förutsägbar odlingsmiljö kan minska akut stress, men samtidigt ge fisk som är sämre förberedd för predatorer, naturligt födosök och utvandring. Åtgärder som skulle kunna förbättra fiskens funktion efter utsättning, till exempel mer naturlik miljö eller andra former av beteendemässig träning, kan samtidigt innebära ökad belastning i odlingen. Välfärd i kompensationsodling behöver därför förstås som en balans mellan att minimera lidande i odlingsmiljön och att producera fisk som har goda förutsättningar att klara utsättningen.

Välfärd i svensk kompensationsodling formas också i praktiken av de kriterier som används vid smoltbesiktning, där fisken ska uppfylla krav på storlek, smoltkaraktär och låg förekomst av skador. I praktisk tillämpning innebär detta att odlarna särskilt behöver ha kontroll över att fisken når tillräcklig storlek, uppvisar rätt smoltstatus vid rätt tidpunkt samt har låg förekomst av grava fenskador, tidigt könsmogna hannar och andra kvalitetsbrister. Dessa kriterier blir därmed inte bara kontrollpunkter inför utsättning, utan också styrande för hur odlingen behöver planeras och följas upp.

Fiskvälfärd i kompensationsodling kräver en helhetssyn där miljö, hälsa, beteende, hantering och utsättningsförberedelse bedöms tillsammans. Praktiskt innebär detta att odlingen bör inriktas mot stabil vattenmiljö, låg skadenivå, begränsad stressbelastning och en smoltkvalitet som ger fisken realistiska möjligheter att fungera efter utsättning.

Nyckelord

Hälsa, välfärd, stress, stressrespons, välfärdsindikatorer, individindikatorer, gruppindikatorer, miljöindikatorer

Summary

This report highlights how fish welfare in compensatory rearing of salmon and trout should be understood, assessed, and applied in practice. A central idea is that good welfare does not merely mean that the fish survive and grow in the hatchery, but that their physiological, health-related, and behavioral needs are met in a way that also gives them reasonable prospects of functioning after release.

Fish welfare in compensatory rearing is shaped by the interaction between the water environment, rearing conditions, handling procedures, and the individual status of the fish. Particularly important welfare factors include water quality, temperature, oxygen, carbon dioxide, pH, and nitrogen compounds, since changes in these rapidly affect respiration, osmoregulation, stress levels, growth, and susceptibility to disease. In addition, group-based indicators such as appetite, mortality, behavior, emaciation, and disease occurrence are key tools for detecting early signs of welfare problems. At the individual level, important indicators to monitor include skin and scale condition, eyes, fins, condition factor, smolt status, and early sexual maturation.

Several common hatchery practices involve clear welfare trade-offs. Factors such as crowding, transport, and grading may be necessary in production, but they are also potential sources of stress, physical injury, and impaired health. Good welfare requires that such procedures be preceded by careful planning, that high water quality be maintained, and that well-adapted equipment is used. In particular, handling procedures such as crowding, pumping, transport, and grading are critical, since they can have both acute and long-lasting effects on fish physiology and robustness.

For compensatory-reared fish, there is also an additional welfare dimension: the fish must not only function well in the hatchery but also be prepared for life in the wild. This may create conflicts between short-term and long-term welfare. A protected and predictable rearing environment may reduce acute stress, but at the same time produce fish that are less prepared for predators, natural foraging, and downstream migration. Measures that could improve post-release performance, such as a more naturalistic environment or other forms of behavioral training, may at the same time increase the burden on the fish during rearing. Welfare in compensatory rearing must therefore be understood as a balance between minimizing suffering in the hatchery environment and producing fish that have good prospects of coping with release.

In Swedish compensatory rearing, welfare is also shaped in practice by the criteria used during smolt inspection, where the fish must meet requirements for size, smolt characteristics, and a low prevalence of injuries. In practical terms, this means that hatchery managers need to ensure that the fish reach sufficient size, display the correct smolt status at the right time, and show a low incidence of severe fin damage, early-maturing males, and other quality deficiencies. These

criteria therefore serve not only as checkpoints prior to release, but also as guiding principles for how rearing must be planned and monitored.

Fish welfare in compensatory rearing requires a holistic approach in which environment, health, behavior, handling, and preparation for release are assessed together. In practice, this means that rearing should aim for a stable water environment, a low level of injury, limited stress exposure, and a smolt quality that gives the fish realistic opportunities to function after release.

Innehåll

1 Vad menas med fiskvälfärd? 10

2 Fiskens behov bestämmer 11

2.1 Närings- och födostatus 11
2.2 Andning 12
2.3 Osmoreglering 12
2.4 Temperaturreglering 13
2.5 Vattenkvalitet 13
2.6 Hygien 13
2.7 Säkerhet och skydd 14
2.8 Beteende 14
2.9 Social kontakt 14
2.10 Vila 15

3 Vad händer om fiskens behov inte uppfylls? 16

3.1 Primär stressrespons 16
3.2 Sekundär stressrespons 17
3.3 Tertiär stressrespons 17
3.4 Stresspåverkan under fiskens livscykel 18

4 Välfärdsindikatorer 19

4.1 Vattenmiljöparametrar 19
4.1.1 Temperatur 19
4.1.2 Syre 19
4.1.3 CO_2 20
4.1.4 pH 21
4.1.5 Kväveföreningar 22
4.1.6 Partiklar och turbiditet 22
4.2 Gruppindikatorer 23
4.2.1 Aptit 23
4.2.2 Dödlighet 23
4.2.3 Beteende 23
4.2.4 Avmagring 24
4.2.5 Sjukdomar 24
4.3 Indikatorer på individnivå 24
4.3.1 Avmagring 24
4.3.2 Hud och fjäll 24
4.3.3 Ögon 24
4.3.4 Mun 25
4.3.5 Gällock 25
4.3.6 Fenor 25
4.3.7 Smoltstatus 25

4.3.8 Konditionsfaktor 25
4.3.9 Könsmognad 25
5 Odlingssystem och hantering kopplat till välfärd 26
5.1 Täthet 26
5.2 Vattenflöde och hydrodynamik 26
5.3 Ljus och fotoperiod 27
5.4 Fasta 27
5.5 Trängning 28
5.6 Transport 28
5.7 Hantering och sortering 29
29
29
6 Välfärdskonflikter i kompensationsodling 30
7 Referenslista 31

1 Vad menas med fiskvälfärd?

Fiskvälfärd handlar om mer än att fisken överlever och växer. För att fisken ska ha god välfärd behöver dess grundläggande fysiologiska, hälsomässiga och beteendemässiga behov vara uppfyllda. I detta avsnitt beskrivs hur fiskvälfärd kan förstås, vilka behov fisken har i odling och varför dessa är särskilt viktiga när fisken ska fungera både i odlingsmiljön och efter utsättning.

För att förstå fiskvälfärd i odling är det centralt att utgå från fiskens behov. Dessa kan delas in i ultimata och proximata behov. De ultimata behoven är nödvändiga för omedelbar överlevnad och omfattar bland annat andning, nutrition, temperaturreglering, salt- och vattenbalans och kroppslig integritet. De proximata behoven stärker fiskens långsiktiga förmåga att fungera väl och omfattar exempelvis kroppskontroll, utforskande och sociala beteenden. Indelningen tydliggör att god välfärd inte bara handlar om att fisken hålls vid liv, utan också om att den ges förutsättningar att fungera biologiskt och beteendemässigt över tid.

Hälsa är en central del av välfärden, men kan inte likställas med välfärd som helhet. En fisk kan vara fri från infektiösa och fysiska sjukdomar och ändå ha nedsatt välfärd, till exempel vid långvarig stress, olämplig miljö eller begränsade möjligheter att utföra viktiga beteenden. Samtidigt är god hälsa en nödvändig grund för god välfärd. Välfärd måste därför bedömas utifrån samspelet mellan miljö, fysiologi, hälsa och beteende.

I praktiken mäts fiskvälfärd med hjälp av flera olika indikatorer. Bedömningen kan omfatta den fysiska miljön, såsom vattenkvalitet, temperatur, syrenivåer, täthet och hantering, men också fiskens beteende, aptit, tillväxt, dödlighet, skador och allmänna hälsotillstånd. Därmed blir välfärd inte en enskild egenskap, utan ett samlat uttryck för hur fisken fungerar i sin miljö.

Det är också viktigt att skilja mellan produktionsvälfärd och funktionell välfärd inför utsättning. Produktionsvälfärd innebär att fisken fungerar väl i själva odlingssystemet, till exempel genom god tillväxt, låg dödlighet och låg sjuklighet. För fisk som ska sättas ut räcker detta inte. Då måste välfärden också bedömas utifrån fiskens förmåga att klara livet efter utsättning. Funktionell välfärd inför utsättning innebär därför att fisken, utöver att fungera i odlingen, också har fysiologiska och beteendemässiga förutsättningar att hitta mat, undvika predatorer, orientera sig, osmoreglera och hantera andra krav i den miljö där den ska leva vidare.

Ur både etiskt och biologiskt perspektiv innebär detta att det inte är tillräckligt att fisken är vid liv och oskadad vid utsättningstillfället. Det relevanta är också om den har rimliga förutsättningar att fortsätta leva under förhållanden som motsvarar artens behov. För utsättningsfisk måste välfärd därför förstås i relation till den framtida miljö fisken ska fungera i, och inte enbart till odlingsmiljön. Sammanfattningsvis är fiskvälfärd ett brett begrepp där hälsa, biologisk funktion, beteende och upplevda tillstånd ingår, och där produktionsvälfärd och funktionell välfärd inför utsättning bör betraktas som närliggande men tydligt skilda begrepp.

2 Fiskens behov bestämmer

Fisk behöver en miljö där deras grundläggande fysiologiska, hälsomässiga och beteendemässiga behov kan upprätthållas samtidigt. Fisken behöver resurser i form av foder med rätt näringssammansättning; en lämplig vattenmiljö där den kan andas, reglera salt- och vattenbalansen och hålla rätt temperatur; god vattenkvalitet; god hälsa i form av fungerande kroppsvård, hygien och säkerhet/skydd; samt möjlighet att uttrycka relevanta beteenden såsom vila, social kontakt, utforskning och sexuellt beteende. När en fisk får sina behov uppfyllda reagerar hjärnan med signaler som skapar välbehag. Det fungerar som ett slags biologiskt kvitto på att djuret gör något som är bra för dess överlevnad och välmående. Om behoven däremot inte uppfylls aktiveras i stället system som ger obehagliga känslor, som rädsla, frustration, smärta eller stress. På så sätt hjälper hjärnan djuret att söka det som är bra och undvika det som är skadligt.

Vissa behov är grundläggande för alla fiskar under hela livet, till exempel andning och salt- och vattenbalans, och måste alltid vara uppfyllda för att fisken ska överleva. Andra behov, särskilt beteendemässiga sådana, kan vara viktigare i vissa livsstadier eller fungera som träning inför senare delar av livet, som lekbeteende eller hoppbeteende hos lax. Även om alla behov inte är direkt avgörande för överlevnad påverkar de ändå fiskens välfärd, och om de inte tillgodoses kan välfärden försämras.

2.1 NÄRINGS- OCH FÖDOSTATUS

Hunger är en stark drivkraft som får fisk att söka föda, och när fisken äter belönas detta både genom att hungern försvinner och genom att maten kan vara belönande i sig. För fisk är tillgång till rätt föda ett grundläggande behov som är viktigt för tillväxt, hälsa och normal fysiologisk funktion. Fiskar visar också tydliga tecken på att föda har ett motivationsvärde: de kan förvänta sig mat, visa preferenser för viss föda och undvika sådan som tidigare kopplats till obehag eller sjukdom.

Samtidigt är aptit inte alltid ett enkelt mått på välfärd. Hos lax varierar aptiten naturligt mellan individer, över dygnet och mellan årstider, och låg aptit behöver därför inte alltid betyda att fisken mår dåligt. Ung lax kan till exempel ha naturligt låg aptit under vintern.

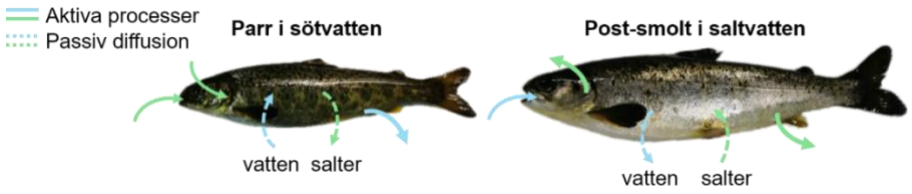
Välfärdsproblem uppstår framför allt när fiskens behov av föda inte tillgodoses. Både underutfodring och fasta kan förekomma i odling, men de påverkar fisken på olika sätt. Underutfodring kan leda till ökad konkurrens, aggression, fenbitning och skador, och i vissa fall verkar detta vara sämre för välfärden än att tillfälligt helt dra in fodret. Tillfällig fasta används ibland i odling inför transport, sortering, slakt eller vid vissa miljö- och hälsoproblem, men långvarig eller återkommande begränsning av föda kan försämra välfärden, särskilt hos ung fisk.

2.2 ANDNING

Syreupptag och avlägsnande av koldioxid är helt avgörande för fiskens ämnesomsättning och syra-basbalans. Utan detta dör laxfiskar mycket snabbt. I odling är det särskilt viktigt att syrenivån i vattnet är tillräckligt hög för fisk som både är aktiva och utfodrade, eftersom deras syrebehov då är större än hos vilande och fastande fisk. Om syrenivån blir för låg övergår fisken till anaerob ämnesomsättning, vilket bara fungerar tillfälligt och kan leda till ansamling av skadliga ämnesomsättningsprodukter, stress och i förlängningen död. Därför är god andning och tillräcklig syretillgång ett grundläggande välfärdsbehov hos laxfisk. Andningen kan också försämras av luftexponering vid hantering och slakt, eller av att gälarna skadats av sjukdom, parasiter eller andra skador.

2.3 OSMOREGLERING

Laxfiskar lever både i sötvatten och saltvatten och måste därför kunna reglera sin salt- och vattenbalans (osmoreglera) i två helt olika miljöer. Fiskar reglerar sin inre miljö så att blodets salthalt och jonsammansättning hålls relativt konstanta oavsett salthalten i den



Figur 1. En schematisk bild över hur fisken påverkas av och aktivt kompenserar för salthalten i omgivningen.

omgivande miljön. Beroende på miljö leder detta till olika osmoregulatoriska ”problem” som fisken måste hantera. I sötvatten tar kroppen upp vatten och förlorar salter genom passiv diffusion, vilket fisken kompenserar genom aktivt jonupptag via gälarna och genom att njurarna utsöndrar överskottsvatten genom att producera en kraftigt utspädd urin. I saltvatten är situationen den motsatta: fisken förlorar passivt vatten och tar upp salter. Detta motverkas genom att den dricker havsvatten och utsöndrar överskottet av salt via gälar och njurar.

Övergången till saltvatten kräver en fysiologisk omställning som sker under smoltifieringen, bland annat genom ökad aktivitet av enzymet Na^+, K^+-ATPase i gälar, tarm och njure, vilket är viktigt för osmoregleringen. Om fisken sätts ut i havet innan denna omställning är klar riskerar den att drabbas av uttorkning och dö inom några dagar. Små fiskar är särskilt känsliga, och även färdig smolt kan förlora sin saltvattentolerans om den hålls för länge i sötvatten.

2.4 TEMPERATURREGLERING

Temperatur är en av de viktigaste miljöfaktorerna för laxfiskar eftersom den påverkar nästan all biologi, bland annat tillväxt, ämnesomsättning, immunförsvar, smoltifiering och vandring. Eftersom fisk är växelvarma djur bestäms kroppstemperaturen av vattentemperaturen. Fisken kan därför inte reglera temperaturen inifrån, utan måste i stället använda beteende och försöka hitta bättre temperaturer, till exempel genom att simma vertikalt till ett annat vattenlager eller horisontellt till ett annat område.

Vilken temperatur som är bäst för fisken hänger nära samman med dess fysiologiska optimum, och detta kan variera mellan olika åldrar och livsstadier. Om temperaturen blir olämplig påverkas fisken både fysiologiskt och beteendemässigt. Akuta temperaturförändringar kan leda till ökad syreförbrukning och förändrad aktivitet, medan längre exponering kräver anpassning över dagar till veckor. Hur allvarlig påverkan blir beror både på hur stor temperaturförändringen är och hur länge fisken utsätts för den.

2.5 VATTENKVALITET

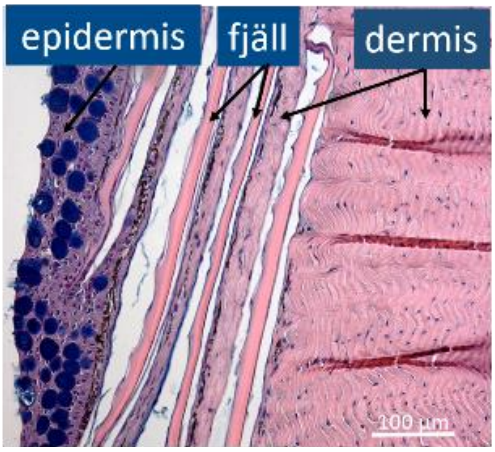
Fiskar behöver vatten med lämpliga nivåer av gaser, joner, ämnesomsättningsprodukter, toxiner och partiklar. Om halterna blir för höga eller för låga kan det skada fisken. I odling är detta särskilt viktigt eftersom fisken hålls i en begränsad miljö och inte själv kan undvika dålig vattenkvalitet. Därför måste odlingssystemet ge stabila och lämpliga vattenförhållanden för att skydda hälsa och välfärd. Vattenkvaliteten, och hur mycket den varierar över tid, är därmed en av de viktigaste faktorerna för god fiskvälfärd.

2.6 HYGIEN

Skadliga smittämnen som parasiter, bakterier, svampar och virus kan orsaka många olika sjukdomstillstånd hos fisk. Smittämnen kan lätt spridas med nytt vatten, och den höga tätheten av fisk i odling gör det lätt för smittan att spridas mellan individer. Hantering och behandling kan dessutom orsaka sår som skadar fiskens yttre barriärer och immunförsvar, vilket ökar risken för infektioner. Sjukdom är nedsatt hälsa och en tydlig signal om nedsatt välfärd, vilket kan innebära lidande, men påverkan på välfärden beror på hur allvarlig sjukdomen är, hur länge den varar och hur stor andel av fisken som drabbas.

2.7 SÄKERHET OCH SKYDD

För fisk är skydd mot fara och kroppsskador avgörande för överlevnaden. Huden (Figur 2) fungerar som en viktig barriär mot infektioner, men är samtidigt relativt mjuk och känslig för mekaniska skador, även hos fiskar som har fjäll eftersom fjällen täcks av det cellskikt (epidermis) som utgör fiskens barriär mot miljön. Skador från exempelvis bett, hantering eller annan mekanisk påverkan kan därför få allvarliga följder och i vissa fall vara livshotande. Möjligheten att undvika fara och skydda kroppen är därför ett grundläggande välfärdsbehov, och även hot om angrepp kan orsaka rädsla och stress.



Figur 2. En histologisk tvärsnittsbild på laxens hud. Epidermis är ett 0.1 mm levande cellager som är den yttersta barriären mot omgivningen. Epidermis innehåller också de celler (stora, mörkt blåa i bilden) som producerar och utsöndrar skyddande slem. Notera att fjällen ligger under epidermis, inbäddade i dermis (läderhuden).

2.8 BETEENDE

Fisk behöver kunna kontrollera sina rörelser, hålla balansen och undvika fara. När denna möjlighet begränsas, till exempel vid trängning och hantering, uppstår tydliga stressreaktioner som tyder på försämrad välfärd.

2.9 SOCIAL KONTAKT

Behovet av social kontakt hänger samman med behovet av säkerhet, eftersom fisken kan söka trygghet bland artfränder. Det sociala behovet kan också variera mellan olika livsstadier, vilket är tydligt hos laxfisk som kan vara territoriell och aggressiv under sötvattensfasen men övergår till ett stimbildande beteende vid smoltifieringen. Unga laxfiskar kan också vara aggressiva i små grupper, men bli mindre aggressiva när de hålls i större grupper eller vid högre tätheter och kan uppvisa stimliknande beteenden även under sötvattensstadiet. När odlade laxfiskar hålls i tankar samlas de normalt i förhållande till miljöförhållandena och simmar i organiserade grupper.

2.10 VILA

Fiskars behov av vila och återhämtning påverkas av flera faktorer, bland annat vattenhastighet, kroppsstorlek, temperatur, temperaturanpassning och mättnadsgrad. Även om laxfiskar kan simma länge i relativt stark ström är det viktigt för välfärden att de också har möjlighet att minska sin aktivitet och återhämta sig. Studier visar att för stark och konstant vattenström kan ge tecken på nedsatt välfärd, såsom sämre tillväxt, hjärtpåverkan samt hud- och fenskador. Laxfisk kan delvis hantera starka strömmar genom att ändra sitt gruppbeteende, och i vissa odlingsmiljöer kan fisken välja områden med lägre vattenhastighet.

När det gäller vila och sömn är kunskapen mer begränsad. Fisk har inga ögonlock och sover därför inte på samma sätt som många landdjur, men många fiskarter uppvisar ändå beteenden som liknar vila eller sömn, till exempel minskad aktivitet, särskilda viloställningar och dygnsrytmer. Hos odlad lax i nätkassar blir stimmen ofta lösare på kvällen och simhastigheten minskar under natten. Det är dock oklart i vilken grad detta verkligen motsvarar vila, eftersom beteendet också kan bero på minskat synintryck i mörker. Det finns ändå observationer som tyder på att laxfisk kan ha vilotillstånd med mycket låg aktivitet och lägre reaktioner på störningar.

3 Vad händer om fiskens behov inte uppfylls?

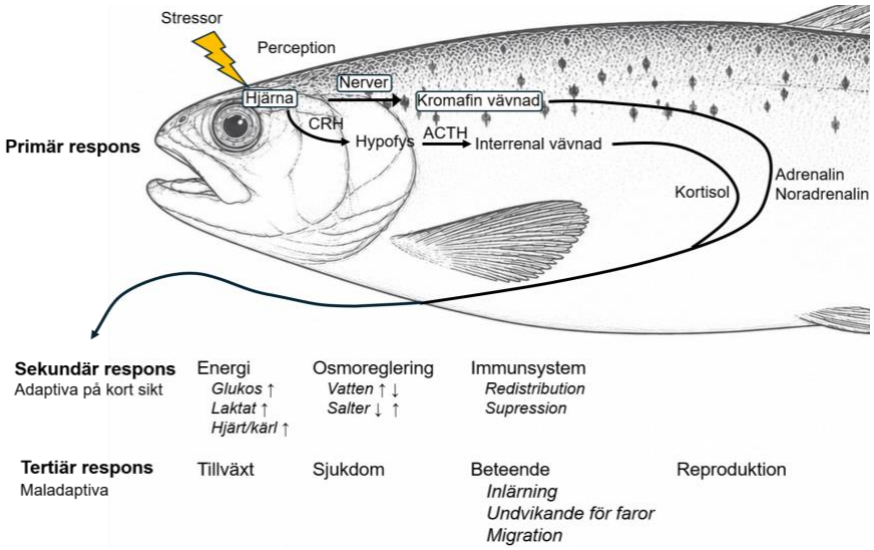
När fiskens behov inte uppfylls försämras fiskens mentala och/eller fysiska tillstånd och därmed dess välfärd. När behoven uppfylls aktiveras belöningssystem i hjärnan, men när behovstillståndet försämras aktiveras i stället nervbanor och frisättning av signalsubstanser kopplade till obehagliga känslor och tillstånd som frustration, rädsla, aggression och smärta.

Kanske är det största hotet mot fiskens välfärd över tid fiskens egen respons på ett hot eller en störning. Hotet om störning eller en direkt störning kallas stressor och utlöser en snabb, hierarkisk men dynamisk kedja av reaktioner i fisken, vilket kallas stressrespons. Stressresponsen är fiskens samlade reaktion när den uppfattar något som hotfullt eller belastande. Syftet är att snabbt hjälpa fisken att klara situationen och återställa balans i kroppen, alltså homeostas.

Hos fisk brukar stressresponsen beskrivas i tre nivåer (Figur 3):

3.1 PRIMÄR STRESSRESPONS

Detta är den omedelbara hormonella reaktionen då stresshormon frisätts. Fisken frisätter först katekolaminer, som adrenalin och noradrenalin, och därefter aktiveras HPI-axeln så att halten kortisol stiger. Detta sker snabbt efter att fisken uppfattat en stressor.



Figur 3. De primära (avbildade inuti fisken), sekundära och tertiära responserna hos fisk vid stress. CRH, kortikotropinfrisättande hormon; ACTH, adrenokortikotropt hormon. (modifierad från Schrek och Tort, 2016)

3.2 SEKUNDÄR STRESSRESPONS

De frisatta hormonerna mobiliserar resurser för ”fight or flight” eller anpassning (Figur 3). Det innebär bland annat att energi görs tillgänglig genom ökad glukostillgång, att hjärt-kärl- och andningsfunktion ökar för att distribuera syre samt att salt- och vattenbalansen påverkas. När gälarna öppnas upp för att ta upp mer syre ökar också vatten- och jonflöden över gälytan, vilket kan störa osmoregleringen. Kortisol har då en viktig roll i att återställa jon- och vattenbalans. Samtidigt påverkas immunsystemet, som kan stärkas på kort sikt men hämmas ju längre stressperiod fisken utsätts för.

3.3 TERTIÄR STRESSRESPONS

När stressen blir kraftigare eller mer långvarig syns effekterna på helorganismnivå (Figur 3). Då försämras funktioner som tillväxt, reproduktion, immunförsvar, sjukdomsresistens, beteende, inlärning och predatorundvikande. De tertiära effekterna kan kopplas till alltför höga energikostnader för att hantera stressen, så att grundläggande biologiska funktioner hämmas eftersom tillgänglig energi omfördelas till överlevnad på bekostnad av andra livsfunktioner.

Ett enkelt exempel är då fisken utsätts för låg syrehalt i vattnet (stressor). Detta leder till att fisken hamnar i ett belastat tillstånd eftersom syreförsörjningen hotas. Fiskens stressrespons aktiveras, stresshormoner frisätts och ämnesomsättningen förändras för att försöka klara situationen. Fisken ökar ventilationen och upplever stress.

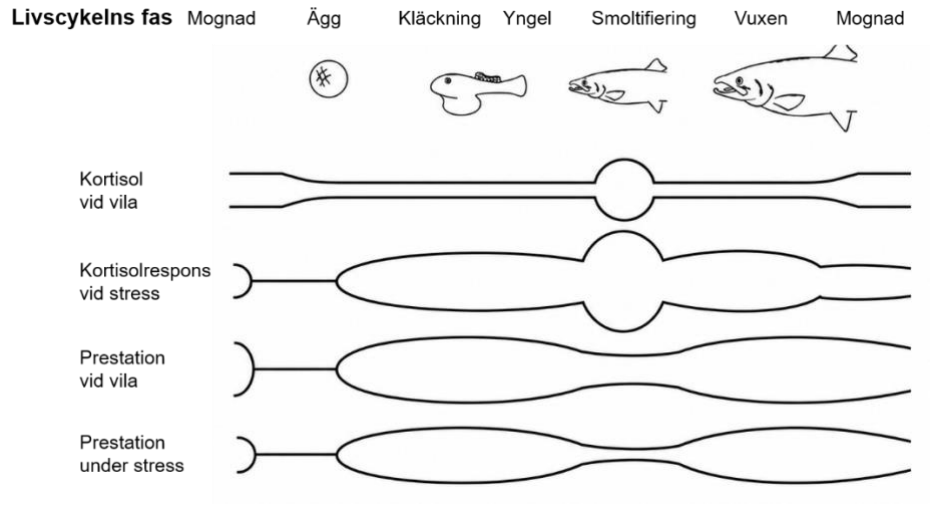
Det bästa sättet för fisken att hantera en stressor är att ändra beteende och fly från den i stället för att ställa om kroppens funktioner. I odling är fiskens beteende begränsat och därför är denna förmåga mindre funktionell. Därför är det extra viktigt för odlaren att övervaka odlingsmiljön så att miljön hålls så nära optimal som möjligt och att fisken tillåts återhämta sig när den har utsatts för en stressor.

Man kan se stressresponsen som ett förlopp med tre faser: alarm, resistens och antingen kompensation eller utmattning. Vid mild eller kortvarig stress kan fisken återhämta sig och återgå till eller nära normal homeostas. Vid svårare eller långvarig stress kan fisken i stället gå mot kompensation med nedsatt prestationsförmåga, eller i värsta fall mot utmattning och död.

Det är viktigt att påpeka att stress inte alltid är negativ. Låggradig stress kan vara adaptiv och tillfälligt förbättra prestationsförmågan. Men när stressen blir för stark eller långvarig övergår den i skadlig stress, där effekterna blir maladaptiva och sänker fiskens funktion och välfärd. Det är denna långvariga, kroniska stress som är särskilt kostsam eftersom belastningen är hög över tid, energireserver töms och fisken får sämre förmåga att hantera nya utmaningar, infektion eller andra miljöstörningar.

3.4 STRESSPÅVERKAN UNDER FISKENS LIVSCYKEL

Fiskar är olika känsliga för stress under olika delar av livet (Figur 4). Vissa utvecklingsstadier verkar vara särskilt känsliga. Det gäller framför allt perioder då fisken genomgår stora biologiska förändringar. Under sådana övergångar kan stressresponsen bli starkare än annars. Samtidigt är fiskens förmåga att tåla stressorer ofta lägre. Det innebär att fisken kan vara mer sårbar under dessa perioder.



Figur 4. Modell som översiktligt visar cirkulerande kortisolnivåer hos fisk i vila respektive i stressat tillstånd, samt prestationskapacitet hos utvilad fisk (prestation) och stressad fisk (prestation under stress) under fiskens livshistoria. Utrymmet mellan linjerna representerar storleken på antingen plasmakortisolkoncentrationen eller prestationskapaciteten, det vill säga förmågan att utföra arbete. (Modifierad från Schreck och Tort, 2016)

Exempel på känsliga stadier är embryostadiet innan ögonpigment har bildats, kläckning, starten av födointag via munnen, metamorfos eller smoltifiering samt perioden nära slutet av reproduktionen. Förmågan att reagera på stress utvecklas tidigt. Redan när ögonpigmenteringen börjar synas kan fisken reagera på stressorer, vilket gör tidiga livsstadier särskilt viktiga att skydda från onödig belastning.

4 Välfärdsindikatorer

God vattenkvalitet är en av de mest grundläggande förutsättningarna för god fiskvälfärd i akvakultur. Eftersom fisk är helt beroende av sin omgivande vattenmiljö för andning, osmoreglering och utsöndring påverkar förändringar i exempelvis syrehalt, koldioxidnivåer, pH och förekomst av skadliga ämnen snabbt deras fysiologi, beteende och hälsa. Brister i vattenkvaliteten blir stressorer som initierar stressresponsen, vilket över tid kan leda till försämrad tillväxt, ökad mottaglighet för sjukdomar och i allvarliga fall dödlighet. En stabil och välkontrollerad vattenmiljö är därför avgörande för att upprätthålla både god hälsa och god välfärd hos odlad fisk.

4.1 VATTENMILJÖPARAMETRAR

4.1.1 Temperatur

Fisk är växelvarma, vilket innebär att deras fysiologiska och metabola system måste vara anpassade till det temperaturintervall de hålls i. Temperaturen påverkar många olika funktioner som t.ex. ämnesomsättningen, andning, blodets pH-balans och osmoreglering. Vanliga beteendemässiga stresskriterier vid kritiska temperaturer är förlust av balans, plötsliga aktivitetsutbrott med upprepade kollisioner mot tankväggarna och snabba ventilationsrörelser.

Den temperatur som är mest gynnsam för lax varierar mellan olika livsstadier. Ägg: För den naturligt höstlekande atlantlaxen utvecklas äggen normalt vid 4–8 °C. Högre temperaturer ökar risken för deformiteter i gällock, fenor och käkar. Yngel och parr: Dessa stadier har ett optimalt temperaturintervall på cirka 12–14 °C. Parr lever naturligt i vattendrag som kan ha stora årstidsvariationer i temperatur och där möjligheten att reglera temperaturen genom migration är begränsad. De kan därför tåla ett brett temperaturspann, från 0 till långt över 20 °C innan födointaget upphör. Smolt trivs i temperaturer mellan 7 och 14 °C.

Temperatur som välfärdsindikator

I tankar är vattnet i allmänhet väl omblandat, och temperaturen kan därför mätas var som helst i vattnet. Temperatur är billig och enkel att mäta, och den påverkar samt förklarar många aspekter av laxens beteende, välfärd och prestation. Den påverkar också andra välfärdsindikatorer, såsom syre och sjukdomar. I många produktionssystem är det svårt eller till och med omöjligt att förändra temperaturen om den är för låg eller för hög. Vid hög temperatur är det dock möjligt att tillföra extra syre för att kompensera för syrets sänkta löslighet vid hög temperatur.

4.1.2 Syre

Eftersom fisk är växelvarma ökar deras ämnesomsättning och därmed syrebehov vid högre temperaturer, samtidigt som syrets löslighet i vattnet sjunker vid högre

temperaturer. När syremättnaden minskar reduceras den metabola kapaciteten, och när syremättnaden sjunker under en viss kritisk nivå minskar aptiten och foderintaget går ned.

Ägg: Deras syrebehov beror på flera olika faktorer, bland annat äggstorlek, äggets utvecklingsstadium och vattentemperatur. För låga syrenivåer under inkubationen kan leda till sämre tillväxt, sämre effektivitet i omvandlingen av gulesäcken, för tidig kläckning, mindre storlek vid kläckning och även morfologiska förändringar vilket i sin tur kan påverka fiskens välfärd negativt senare i livet.

Parr och smolt: Det finns inte detaljerade data om de syrekoncentrationer vid vilka aptit och aerob ämnesomsättning upprätthålls hos parr och smolt vid olika temperaturer. Generellt bör syrenivåer >80 % upprätthållas för fiskens välmående.

Syre som välfärdsindikator

Syremättnaden kan variera i vattenmassan både rumsligt och över tid, och mätningar av syremättnad bör därför göras när och där den förväntas vara som lägst. I tankar har vattnet vid utloppet passerat fisken och har normalt den lägsta syremättnaden. Eftersom både syrets löslighet i vatten och fiskens syrebehov påverkas av temperaturen bör temperatur mätas tillsammans med syre. Syremätare bör kontrolleras och kalibreras regelbundet. Syrenivåerna i vattnet är lätta och snabba att mäta och tolka. Syrenivån kan variera i tid och rum, och om mätningen görs på fel plats eller vid fel tidpunkt kan låga nivåer missas.

4.1.3 CO_2

Förhöjda koldioxidhalter kan vara en viktig faktor att hålla koll på under sötvattensfasen i produktionen när tätheten blir för hög. Toxiska effekter av höga CO_2-nivåer har observerats inom intervallet 20–100 mg L^{-1}, beroende på andra vattenparametrar samt fiskens ämnesomsättning och storlek. När CO_2 löses i vatten bildas kolsyra, och höga CO_2-nivåer sänker vattnets pH, särskilt om alkaliniteten är låg. CO_2-koncentrationen i blodet är starkt korrelerad med CO_2-halten i vattnet, och förhöjda CO_2-nivåer i blodet minskar blodets förmåga att transportera syre. Lax anpassar sig till förhöjda CO_2-nivåer i plasma genom att öka koncentrationen av bikarbonat i plasma, vilket leder till en minskad koncentration av klorid i plasma.

Parr och smolt: Långvarig exponering (veckor till månader) för förhöjda CO_2-nivåer kan påverka tillväxten negativt hos parr. Laxsmolt i sötvatten reagerar på förhöjda CO_2-nivåer (cirka 20 mg L^{-1}) genom att öka ventilationsfrekvensen, men denna respons är övergående vid kronisk exponering, vilket tyder på acklimatisering till förhöjd CO_2. Detta innebär en fysiologisk anpassning, men svullnad av erytrocyter kan vara en långsiktig följd (månader) av förhöjd CO_2. Hur stark effekten av CO_2 blir beror på temperaturen.

CO_2 som välfärdsindikator

CO_2 bör mätas regelbundet under sötvattensfasen vid landbaserad produktion. Detta är särskilt viktigt när biomassan är hög och/eller vattenflödet i systemen är begränsat eller när vattenutbytet är lågt. Mätningar av CO_2 bör helst göras vid tankens utlopp. CO_2-koncentrationen i blodet är starkt korrelerad med CO_2-halten i vattnet och kan ge information om fiskens fysiologiska status. Oregelbundna eller enstaka mätningar av CO_2 kan bara ge en ögonblicksbild av produktionsförhållandena och gör det inte möjligt att fastställa kronisk exponering eller eventuella långsiktiga konsekvenser för fisken.

4.1.4 pH

pH i sötvatten (vätejoner, H^+) är i de flesta fall positivt korrelerat med vattnets hårdhet (halten löst kalcium). Fisk är känslig för surt vatten eftersom höga H^+-nivåer leder till förlust av kalcium i gälepitelet, vilket orsakar osmoregulatoriska problem (förlust av Na^+ och Cl^-) samt acidos i blodet. En ytterligare faktor är att aluminiumkoncentrationen är omvänt korrelerad med pH, där de toxiska effekterna bland annat omfattar respiratoriska problem genom att aluminium binder till mukus mellan gällamellerna och minskar membranens fluiditet, samt osmoregulatoriska problem genom jonförlust.

Ägg och larver: Betydande minskningar i kläckning och larvtillväxt har observerats vid pH 4,5 och 5. Ett pH på 4,5 kan öka dödligheten hos larver, medan pH < 6,5 kan försämra simning och födointag. Under de allra tidigaste livsstadierna kan inkubation vid pH 5 eller lägre ge skadliga effekter på gulesäcksyngel, till exempel på gälar och blodkärlsstrukturer, medan pH 4,5 eller lägre kan orsaka skador på hjärna, näthinna och mjälte.

Parr och smolt: Smolt är särskilt känsliga för lågt pH på grund av deras osmoregulatoriska förberedelse för havsvatten. Naturliga pH-svängningar orsakade av regn och snösmältning, som frisätter syra och späder ut kalciumhalten i vattnet, kan öka mängden oorganiskt monomert aluminium och leda till ökad dödlighet. I produktionsenheter kan ansamling av CO_2 sänka pH.

pH som välfärdsindikator

Att mäta pH i vatten är enkelt och kan göras med olika typer av pH-mätare. Det är dock viktigt att sonden kalibreras enligt tillverkarens anvisningar. pH-skalan är logaritmisk. Oregelbundna eller enstaka pH-mätningar ger bara en ögonblicksbild av produktionen, och pH kan variera både i tid och rum. Om pH mäts på fel plats eller vid fel tidpunkt kan låga nivåer missas. En förändring i pH räcker ofta inte för att identifiera ett specifikt produktionsproblem. Kompletterande provtagning av andra indikatorer, som syre, tungmetaller, CO_2 och totalt ammoniumkväve, behöver göras för att förstå den möjliga effekten av pH-förändringar.

4.1.5 Kväveföreningar

Ammoniak (NH_3) är en följd av fiskens metabola nedbrytning av protein. Ammoniak reagerar med vatten och bildar jonen ammonium (NH_4^+). Totalt ammoniumkväve avser summan av NH_3 och NH_4^+. Reaktionen mellan ammoniak och ammonium går åt båda hållen, och hur stor andel av ammoniaken som förekommer som ammonium beror främst på pH och i mindre grad på temperatur och salthalt. Förhållandet NH_3/NH_4^+ minskar när temperaturen och pH sjunker samt när salthalten ökar. I odlingsvattnet och i fiskens blod förekommer större delen av TAN i form av ammonium. I sötvatten utsöndras det mesta av den ammoniak som fisken producerar genom diffusion över gälarna. Om TAN ansamlas i vattnet minskar dock utflödet av ammoniak över gälarna, vilket leder till förhöjda TAN-nivåer i fiskens plasma.

Ammoniak har en toxisk effekt på det centrala nervsystemet och kan vara skadlig för stabiliteten hos enzymer och membran, för gälhälsa och för osmoregleringens funktioner. En ökning av ammoniaknivåerna kan på kort sikt ha negativa effekter på aptit och simaktivitet, öka ventilationsfrekvensen, leda till balansrubbningar och även orsaka död. Långsiktiga effekter visar sig som sämre tillväxt, minskad robusthet och nedsatt reproduktionsförmåga.

För atlantlax är den högsta säkra koncentrationen vid kronisk exponering för ammoniak cirka 0,012 mg L^{-1}, medan den högsta koncentrationen vid akut exponering (4 timmar) är 0,1 mg L^{-1}.

Ammoniak/ammonium som välfärdsindikator

Ammoniak är normalt lågt i genomflödessystem med tillräckligt vattenutbyte men kan öka i system med lågt vattenutbyte. Problem med ammoniak kan också uppstå om filtreringssystem i recirkulerande system inte fungerar effektivt. Ammoniak bör övervakas kontinuerligt i system med lågt vattenutbyte, under transport och i situationer där vattenflödet är begränsat och biomassan i odlingsenheterna är hög. Ammoniak är giftigt för laxfisk, kan ansamlas i blod och vävnader och kan i slutändan orsaka dödlighet. Om halterna överskrider rekommenderade gränsvärden är fiskvälfärden därför i riskzonen. Balansen mellan den mer toxiska ojoniserade ammoniaken och joniserat ammoniumkväve (NH_4^+-N) beror på pH, temperatur och salthalt. Mätningar av totalt ammoniumkväve utan information om dessa andra vattenkvalitetsparametrar ger därför inte tillräcklig information om ammoniakens toxicitet.

4.1.6 Partiklar och turbiditet

Turbiditet beskriver hur klart vattnet är, medan TSS avser mängden suspenderat material i vattnet. Även om dessa två parametrar är relaterade är de inte alltid starkt korrelerade. Vattnets klarhet kan till exempel påverkas både av lösta och suspenderade ämnen. Ökad turbiditet kan försvåra observation av fisk i tankar och kassar. Detta gör det svårare att bedöma fiskens hälsa och kan minska odlarens möjlighet att följa hur fisken reagerar på mat. Effekterna av turbiditet beror på

vilken typ av ämnen som försämrar sikten. Några optimala turbiditetsnivåer för laxfisk har inte fastställts, eftersom acceptabla nivåer beror på vilken typ av suspenderat material det rör sig om.

Koncentrationen av TSS kan beskrivas som massan av partiklar, både organiska och oorganiska, som är större än 1 µm i diameter och som finns i en känd vattenvolym. Suspenderade partiklar kan också bidra till hög kemisk eller biologisk syreförbrukning samt till påväxt och bildning av slamavlagringar i tankar. Fina suspenderade partiklar eller partiklar med slipande egenskaper kan ha negativa effekter på gälarnas hälsa och funktion, försämra syreöverföringen och skapa en miljö där patogener kan växa. Något definitivt gränsvärde för en acceptabel TSS-koncentration har inte fastställts.

Turbiditet och partiklar som välfärdsindikator

Vattnets turbiditet kan samvariera med andra vattenkvalitetsparametrar. Till exempel kan ökad turbiditet orsakad av organiskt material höja vattentemperaturen och minska syremättnaden. TSS kan försämra vattenkvaliteten, sätta igen utrustning, skada fiskens gälar och fungera som reservoar för patogener. Därför bör dessa parametrar mätas och sättas i relation till andra miljöbaserade välfärdsindikatorer. Effekten av turbiditet och TSS på fiskvälfärd beror på vilken typ av partiklar som finns i vattnet, vilket gör det svårt att generalisera om säkra nivåer.

4.2 GRUPPINDIKATORER

4.2.1 Aptit

Aptit är en särskilt användbar och passiv indikator i tankodlingar, eftersom minskad aptit ofta kan fungera som en tidig varningssignal om välfärdsproblem. Aptiten kan bedömas genom att observera fiskens födoreaktion och genom att följa mängden foderspill. Samtidigt påverkas aptiten av många faktorer, såsom vattenkvalitet, miljöförhållanden, skötselrutiner, sjukdom och livsstadium, vilket innebär att förändringar måste tolkas med försiktighet.

4.2.2 Dödlighet

Dödlighet är en annan central indikator och bör registreras dagligen. För att detta ska vara möjligt krävs effektiva system för att samla upp död fisk från varje tank. Om möjligt bör dödsorsaken dokumenteras, och död fisk kan sparas för vidare analys av fiskhälsopersonal. Tillväxt kan också användas som en välfärdsindikator, eftersom den påverkas av bland annat nutrition, sjukdom, sociala interaktioner, vattenkvalitet och kronisk stress. Särskilt plötsliga förändringar i tillväxt inom en specifik grupp eller anläggning kan fungera som en tidig signal om problem.

4.2.3 Beteende

Beteende är ytterligare en viktig gruppbaserad indikator. Avvikelser i simmönster eller aktivitetsnivå kan tyda på suboptimala miljöförhållanden, exempelvis

olämplig vattenhastighet, dålig vattenkvalitet eller andra stressfaktorer. Hos parr kan även aggression vara ett problem. En praktisk indikator på detta är förekomsten av skador på ryggfenan, eftersom sådana skador ofta hänger samman med bitande och social stress. En ökning av fiskar med grå, förtjockade eller skadade ryggfenor kan därför utgöra en tidig varningssignal om brister i miljö eller utfodring.

4.2.4 Avmagring

Förekomsten av avmagrade fiskar är också viktig att följa. Dessa individer återfinns ofta nära ytan eller i utkanten av gruppen och har vanligtvis hämmad tillväxt och mycket låg välfärd. De bör avlägsnas vid sortering eller annan hantering när det är möjligt, både av välfärdsskäl och för att minska risken för smittspridning eftersom dessa fiskar lättare blir infekterade. Även låg frekvens av sådana fiskar bör tas på allvar som en tidig varningssignal.

4.2.5 Sjukdomar

Slutligen är sjukdoms- och hälsostatus en central indikator som bör följas regelbundet. Vissa sjukdomstecken kan identifieras direkt på odlingen av erfaren personal, medan mer säker diagnostik ofta kräver provtagning och laboratorieanalys. Kombinationen av daglig observation på gruppnivå och mer fördjupad hälsokontroll är därför viktig för att snabbt upptäcka och åtgärda välfärdsproblem.

4.3 INDIKATORER PÅ INDIVIDNIVÅ

Välfärdsindikatorer på individuella fiskar ger en mer direkt bild av fiskars hälsa och välfärd och är därför viktiga för att upptäcka skador, avvikelser i utveckling och nedsatt havsvattenberedskap som inte alltid framgår på gruppnivå. Det är fördelaktigt att dokumentera flera morfologiska och fysiologiska indikatorer genom hela produktionscykeln.

4.3.1 Avmagring

Avmagring är en viktig indikator, särskilt under senare sötvattensstadier. Vissa individer kan tappa aptit och uppvisa hämmad tillväxt, låg konditionsfaktor och avvikande beteende. De simmar ofta nära vattenytan och bör om möjligt avlägsnas vid sortering eller annan hantering.

4.3.2 Hud och fjäll

Även hud- och fjällstatus bör följas regelbundet, särskilt inför smoltöverföring, eftersom fjällförlust, sår och epidermisskador försämrar skyddsbarriären och därmed ökar risken för osmotisk stress och infektioner.

4.3.3 Ögon

Ögonstatus är en annan central välfärdsindikator eftersom ögonen är känsliga för mekanisk skada och uttorkning vid hantering. Förändringar som blödningar,

grumliga eller utstående ögon kan indikera både trauma och sjukdom. Med försämrad syn blir det mycket svårare för fisken att söka föda och undvika predatorer.

4.3.4 Mun

Skador på mun och käkar kan uppstå i samband med trängning, pumpning, håvning eller kontakt med tankväggar, medan ryggradsdeformiteter kan vara kopplade till exempelvis näringsbrister eller olämplig temperatur under uppfödningen. Skador på munnen kan göra det svårare för fisken att äta och att andas optimalt.

4.3.5 Gällock

Skador på gällock förekommer främst i tidiga sötvattensstadier och kan orsakas av suboptimala odlingsförhållanden eller näringsmässiga obalanser. Deformerade gällock gör det svårare för fisken att andas och att rensa gälarna från partiklar genom att ”hosta”.

4.3.6 Fenor

Fenskador är också viktiga att bedöma, eftersom deras betydelse för välfärden varierar mellan olika fenor och livsstadier. Hos parr kan exempelvis skador på bröstfenorna försämra fiskens förmåga att hålla position i vattnet, medan aktiva fenskador hos smolt kan bidra till osmotisk stress. Förekomst av ryggfenskador kan dessutom spegla social stress och aggression.

4.3.7 Smoltstatus

Inför överföring till naturen är bedömning av smoltifieringsgrad särskilt viktig. Detta kan göras genom att följa morfologiska förändringar, konditionsfaktor samt fysiologiska mått såsom plasmahalter av klorid och jonpumpaktiviteten i osmoregulatorisk vävnad. Även blodets jonkomposition förändras mellan parr och smolt i sötvatten och kan därför användas för att bedöma om fisken är tillräckligt förberedd för övergången till havsvatten. För att öka fiskens förmåga att vandra till havet efter utsättning bör man också beakta vattentemperatur och vattenflöde i älven; en bra utsättningsstrategi som har föreslagits är att sätta ut smolten vid ökade flöden i älven efter att vattentemperaturen har passerat 8–10 °C.

4.3.8 Konditionsfaktor

Konditionsfaktorn är en etablerad indikator på fiskens näringsstatus och kan användas för att identifiera avmagring eller förändringar kopplade till smoltifiering och tillväxt.

4.3.9 Könsmognad

Även tidig könsmognad är relevant att följa, eftersom den kan hämma smoltifiering, öka aggression, försämra hälsa och hämma immunförsvaret.

5 Odlingssystem och hantering kopplat till välfärd

5.1 TÄTHET

Odlingstäthet avser mängden fisk vid en viss tidpunkt i odlingssystemet och uttrycks som kg per kubikmeter (kg/m^3). Den ideala tätheten beror på flera faktorer, såsom livsstadium, vattenkvalitet, vattenhastighet, sociala interaktioner, utfodring, skötselrutiner och typ av odlingssystem. Samspelet mellan dessa faktorer gör det svårt att ange en exakt optimal täthet, men det är tydligt att både för låg och för hög täthet kan påverka välfärden negativt. De negativa effekterna beror dock inte alltid på själva tätheten i sig, utan kan också orsakas av försämrad vattenkvalitet och minskad tillgång till foder vid högre tätheter. De välfärdsbehov som direkt eller indirekt påverkas av täthet omfattar hygien, god vattenkvalitet, beteendekontroll, social kontakt och vila.

Hos yngel och parr visar studier att låg täthet minskade tydlig aggression och fenskador jämfört med högre täthet. Samtidigt var tillväxt och kondition sämre vid låg täthet, och det totala antalet aggressiva interaktioner var högre. Detta tyder på att täthetens effekter på välfärden också beror på vilka indikatorer man använder för att bedöma välfärd. Vid mycket höga tätheter har försämrad prestation observerats, medan tätheter i ett mellanintervall inte ger negativa effekter så länge vattenkvalitet och utfodring hålls på rätt nivå.

5.2 VATTENFLÖDE OCH HYDRODYNAMIK

I tankar kan låg vattenhastighet begränsa tankens självrengörande förmåga och borttransporten av foderrester och avföring, och därmed påverka den vattenkvalitet som fisken exponeras för. Vattenströmmen påverkar också fiskens simprestation. Fisk i tankar håller i olika grad sin position i förhållande till sidor eller botten, eller simmar mot vattenströmmen. Om vattenhastigheten överstiger fiskens maximalt uthålliga simhastighet blir fisken uttröttad, klarar inte att hålla sin position eller tvingas till delar av tanken eller kassen som kan vara mindre lämpliga. Eftersom en viss strömhastighet är relativ till kroppsstorleken uttrycks den ofta som kroppslängder per sekund snarare än absoluta värden i cm s^{-1}. Med ökande fiskstorlek ökar den absoluta simhastigheten, medan den relativa simkapaciteten generellt minskar. Simhastigheten ökar också med temperaturen upp till ett visst temperaturmässigt optimum, men vid mycket höga temperaturer minskar simkapaciteten.

Hos laxfiskar har fysisk aktivitet ofta positiva effekter och kan bidra till ökad tillväxt, ökad proteininlagring, starkare hjärta, bättre blodflöde och andra fysiologiska förbättringar. Samtidigt kan för höga vattenhastigheter påverka prestationen negativt, och detsamma kan gälla för alltför låga strömhastigheter.

Parr: Laxparr kan ligga på botten och använda vattenströmmen över bröstfenorna för att hålla sig kvar mot underlaget. De kan därför tåla relativt högre strömhastigheter än fritt simmande fisk. Parr kan hålla position mot strömmen

under obegränsad tid upp till en tröskel där strömmen blir för stark och de måste börja simma aktivt. Trötthet uppstår då inom några minuter, vilket gör att fisken driver bakåt i strömmen. Parr utan bröstfenor har kraftigt nedsatt simförmåga, och man kan anta att parr med skadade bröstfenor har sämre möjlighet att hålla position. Detta kan också gälla parr som inte har tillgång till botten.

I tankar varierar vattenhastigheten med avståndet till väggen och är högst nära väggen och lägre mot tankens centrum. Vattnet är ofta turbulent och kan vara svårt att mäta med flödesmätare. Ett alternativt sätt att mäta strömhastigheten är att använda ett flytande föremål och mäta varvtiden för att beräkna hastigheten. Under mätningen måste man säkerställa att föremålet håller ett relativt konstant avstånd till tankväggen under varvet runt tanken. En tumregel för att ställa in vattenflödet i tankar är att fisken bör kunna hålla sin position i förhållande till tankväggen; om den driver framåt är strömmen för svag, medan om den pressas bakåt är strömmen för stark.

5.3 LJUS OCH FOTOPERIOD

Den optimala ljuskvaliteten, som kan delas upp i intensitet och våglängd, för bästa möjliga välfärd är fortfarande oklar. En siffra man funnit är att en ljusintensitet på mer än 43 lux krävs för god välfärd och smoltkvalitet. Otillräckliga ljusförhållanden kan leda till att fisken smoltifierar osynkroniserat, vilket ger sämre smoltkvalitet. Smoltproduktion som sker inomhus kan innefatta fotomanipulation för att inducera smoltifieringsprocessen. I stora, djupa landbaserade tankar bör ljusets placering beaktas för att säkerställa optimal ljuskvalitet. Fotoperiodregimer för att styra smoltifiering måste vara dokumenterat välfungerande, eftersom en fisk som inte är fullständigt smoltifierad eller som har börjat desmoltifiera inte är optimalt anpassad till havsvatten och får problem med osmoreglering i havet. När artificiellt ljus används är det viktigt att tänka på att om ljuset tänds eller släcks plötsligt inducerar den snabba förändringen i ljusintensitet en akut stressrespons med panikbeteende och ökad syreförbrukning.

5.4 FASTA

Fasta i odling innebär att fisken tillfälligt inte får foder. Den kan vara planerad inför olika hanteringsmoment, eller frivillig när fisken själv slutar äta på grund av stress, sjukdom, parasiter eller ogynnsamma miljöförhållanden. Planerad fasta används främst för att tömma mag-tarmkanalen före till exempel sortering, transport eller behandling. När fisken inte längre smälter foder minskar syrebehovet, och utsöndringen av avfallsprodukter som avföring, koldioxid och kväveföreningar blir lägre. Därmed minskar risken för att vattenkvaliteten snabbt försämras, särskilt i situationer där fisken tillfälligt hålls vid högre täthet och vattenutbytet är begränsat. Även om fasta är en väletablerad metod för att öka fiskens tålighet inför hantering finns det behov av mer kunskap om eventuella långsiktiga negativa effekter. Efter att mag-tarmkanalen har tömts kan också tarmvävnaden påverkas negativt över tid (de Fonseka m.fl. 2026), vilket innebär att fastans längd bör anpassas så att de positiva effekterna på vattenkvalitet och hantering uppnås samtidigt som onödiga negativa effekter undviks. För fiskens

välfärd är det därför viktigt att fastställa den kortaste fasta som krävs för att ge önskad effekt, samtidigt som risken för långsiktigt negativa konsekvenser minimeras.

5.5 TRÄNGNING

Trängning är ett återkommande moment under produktionscykeln, exempelvis inför sortering och transport. I tankar sker trängning vanligtvis genom att vattenvolymen minskas genom avtappning. Om inflödet av vatten inte samtidigt reduceras förändras inte vattenutbytet per biomassa, men vid mycket höga tätheter försämras ändå vattnets cirkulation i tanken. Detta ökar risken för lokala områden med låg syrehalt. Samtidigt kan stressreaktioner hos fisken öka syrebehovet ytterligare.

Ur ett välfärdsperspektiv innebär trängning flera utmaningar. Fiskens simutrymme och möjlighet till beteendekontroll begränsas, vilket i sig kan vara stressande. Den ökade aktiviteten under trängning kan samtidigt höja syrebehovet, medan syrenivåerna i vattnet riskerar att sjunka. Den nära kontakten mellan individer och mellan fisk och odlingsenhet kan dessutom orsaka fysiska skador på fenor och hud, inklusive fjällförlust.

Trängning leder också till tydliga fysiologiska stressreaktioner, bland annat förhöjda nivåer av kortisol, glukos och laktat samt sänkt pH i blod och muskulatur. Hos smolt kan hudskador som uppstår vid trängning och pumpning öka risken för sårbildning.

5.6 TRANSPORT

Transportprocessen omfattar flera moment som kan vara belastande för fisken, särskilt trängning, lastning/pumpning, själva transporten och lossningen. Dessa moment innebär risk för både stress och fysisk skada, vilket i sin tur kan ge mer långvariga effekter på hälsa och välfärd. Smolt kan vara särskilt känsliga under transport, sannolikt eftersom smoltifieringen redan är kopplad till förhöjda kortisolnivåer.

Själva transporten kan vara mindre stressande än momenten före och efter. Korta transporter kan vara problematiska eftersom fisken då inte hinner återhämta sig från belastningen under lastning och lossning. Om fisken inte får tillräcklig återhämtning kan dess förmåga att tåla efterföljande stressorer försämras.

Yttre förhållanden under transporten har också stor betydelse. Dåligt väder och svåra vägförhållanden kan påverka fiskens välfärd negativt, bland annat genom ökad rörelse, vibrationer och möjlig desorientering. Eftersom fiskens sidolinjesystem är mycket känsligt kan vibrationer vid vägtransport vara en stressfaktor, även om detta ännu inte är tillräckligt studerat.

Vattenkvaliteten är en av de mest kritiska faktorerna under transport. Då transport stressar fisken ökar också syrebehovet och därför kan behovet av syrgastillskott uppstå inom mycket kort tid. Även om extra syre kan upprätthålla tillräcklig

syrenivå i ett slutet system finns en samtidig risk för ansamling av koldioxid och ammoniak samt sänkning av pH, vilket också kan försämra välfärden.

5.7 HANTERING OCH SORTERING

Sortering av fisk genomförs av flera skäl och kan i vissa fall vara viktig för både fiskhälsa och välfärd. Den används exempelvis för att avlägsna små eller avvikande individer. Samtidigt är sortering alltid en stressande och potentiellt skadlig hanteringsåtgärd. Därför bör den endast utföras när det är nödvändigt, och all onödig hantering bör i möjligaste mån undvikas.

De välfärdsrisker som är förknippade med sortering omfattar flera moment som kan vara inblandade i hanteringskedjan, bland annat fasta före sortering, trängning och pumpning/håvning. Därutöver finns risk för syrebrist till följd av luftexponering eller låga syrenivåer i vattnet samt risk för fysisk skada. Stress och vävnadsskador i samband med sortering kan också öka mottagligheten för sekundära infektioner och svampangrepp av *Saprolegnia*.

För att minska välfärdsproblemen bör behovet av sortering reduceras så långt som möjligt, exempelvis genom god planering av insättningstäthet och produktion. Orsaken till sortering kan dokumenteras, liksom eventuella följdproblem, så att rutiner i efterhand kan utvärderas. Personalen bör vara välutbildad och arbeta enligt tydliga rutiner med god övervakning. Utrustningen måste vara anpassad för ändamålet, väl underhållen och utformad så att risken för skador minimeras. Man bör särskilt undvika utskjutande eller skarpa kanter, grova eller torra ytor, tvära riktningsförändringar i rörsystem samt långa fallsträckor utanför vatten.

Vattenkvaliteten måste hållas hög och övervakas kontinuerligt. Tiden som fisken vistas utanför vatten bör minimeras, särskilt vid höga eller låga temperaturer eller vid låg luftfuktighet. Sortering bör om möjligt undvikas under temperaturmässigt ogynnsamma förhållanden. Inför planerad rutinsortering bör fiskens hälsostatus kontrolleras för att säkerställa att den klarar påfrestningen.

Sortering är en nödvändig men välfärdsmässigt riskfylld hanteringsåtgärd, där god planering, lämplig utrustning, hög vattenkvalitet och begränsad hantering är avgörande för att minska stress, skador och efterföljande sjukdom.

6 Välfärdskonflikter i kompensationsodling

För den kompensationsodlade fisken tillkommer en dimension av välfärd utöver att få sina behov tillfredsställda under sin tid i odlingen: när den kommer ut i det vilda behöver den ha kapacitet att leva i vilt tillstånd. Detta betyder att den i odling behöver få möjlighet att utveckla beteenden som gör att den kan fungera efter utsättning. Smolten bör vara fysiologiskt naturanpassad och uppvisa aktsamhet mot predatorer, hitta naturlig föda och navigera i en naturlig miljö. I odlingsmiljön kan metoder som predatorträning, erfarenhet av levande bytesdjur, mer naturlik miljö med strukturer, lägre och mer naturlika tätheter samt låg energistatus förbättra överlevnad efter utsättning. Det gör ”träning” till ett mycket relevant verktyg för kompensationsodlad fisk, även om det kan vara praktiskt utmanande.

Att anpassa kompensationsodlad fisk till naturliga förhållanden kan dock komma i konflikt med fiskens välfärd eftersom det innebär att flera av fiskens behov utmanas. Att medvetet utsätta fisken för naturliga ”faror” i odlingen genom till exempel beteendeträning betyder att man medvetet stressar fisken på kort sikt, vilket per definition är försämrad välfärd. Även att låta smolten få låg energistatus genom reducerad utfodring före utsättning för att öka smoltens vandringsbenägenhet kan ses som negativt för välfärden på kort sikt, men positivt på lång sikt om det leder till ökad överlevnad och återvandring.

Olika former av träning innan utsättning kan därmed ses som en konflikt mellan omedelbar, traditionell odlingsvälfärd (kortsiktig) och funktionell välfärd efter utsättning (långsiktig); en alltför skyddad och förutsägbar odlingsmiljö kan minska akut stress men samtidigt producera fisk med sämre predatorundvikande, födosöksförmåga och utvandringsbeteende.

Eftersom fenornas status är viktiga för fiskens simförmåga, är detta en viktig välfärdparameter vid utsättning. Laxfiskars fettfena har föreslagits att fungera som en flödessensor som hjälper fisken att anpassa användandet av stjärtfenan. Eftersom alla fiskar som släpps ut i det vilda enligt lag skall ha bortklippt fettfena betyder detta att dessa fiskar saknar denna funktion. Att klippa fettfenan kan antas vara smärtfyllt för fisken och påverka fiskens välfärd negativt på kort sikt, samtidigt som avsaknaden av fettfenans funktion påverkar fisken välfärd och funktion negativt även på lång sikt.

7 Referenslista

Alanära, A. och Persson, L. (2021) Vad vi vet och inte vet om kompensationsodlad fisk. Energiforsk Rapport 2021:767

FUG, Länsstyrelserna i Västra Götaland, Västernorrland och Norrbotten (2024) Svensk kompensationsodling av lax och öring – med förslag till riktlinjer för godkänd smolt. https://www.lansstyrelsen.se/download/18.2cccdb1c19a769f74021b6/1762931077893/Svensk%20kompensationsodling%20av%20lax%20och%20%C3%B6ring%20med%20f%C3%B6rslag%20till%20riktlinjer%20f%C3%B6r%20godk%C3%A4nd%20smolt%202024,%20uppdat.pdf

de Fonseka, R,. Takvam, M., Sundell, K., Jönsson, E., Nilsen, TO., Vikeså, V. and Sundh, H. (2026). Synchronisation of Na+,K+-ATPase activity in intestine, gills and kidney at the time of seawater transfer improves post-smolt performance in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 620: 743912, https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2026.743912

Huntingford, F. A., Adams, C., Braithwaite, V. A., Kadri, S., Pottinger, T. G., Sandøe, P. and Turnbull', J.F. (2006), Current Issues in Fish Welfare, *Journal of Fish Biology*, 68/2: 332–72, https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.001046.x.

Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M. H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L. H. & Turnbull, J. F. (Eds.) (2018). Welfare Indicators for farmed Atlantic salmon: tools for assessing fish welfare 351pp. ISBN 978-82-8296-556-9, www.nofima.no/fishwell/english

Schreck, C.B., and Tort, L., 2016, The concept of stress in fish: *Fish Physiology*, v. 35, p. 1-34, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802728-8.00001-1.

Segner, H., Sundh, H., Buchmann, K., Douxfils, J., Sundell, K., Mathieu, C., Ruane, N., Jutfelt, F., Toften, H. and Vaughan, L. (2012) Health of farmed fish: its relation to fish welfare and its utility as welfare indicator. *Fish Physiol Biochem* 38, 85-105 https://doi.org/10.1007/s10695-011-9517-9

Stien, L.H., Bracke, M.B.M., Folkedal, O., Nilsson, J., Oppedal, F., Torgersen, T., Kittilsen, S., Midtlyng, P.J., Vindas, M.A., Øverli, Ø. and Kristiansen, T.S. (2013), Salmon Welfare Index Model (SWIM 1.0): a semantic model for overall welfare assessment of caged Atlantic salmon: review of the selected welfare indicators and model presentation. Reviews in Aquaculture, 5: 33-57. https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01083.x

Tørud, B., Bang Jensen, B., Gåsnes, S., Grønbech, S. and Gismervik K. (2019) Animal welfare in fish hatcheries – SMÅFISKVEL. Norwegian Veterinary Institute, ISSN 1890-3290. https://portal.issn.org/resource/ISSN/1890-3290

FISKVÄLFÄRD I KOMPENSATIONSODLING

God fiskvälfärd i kompensationsodling handlar om mer än överlevnad och tillväxt. Den här rapporten visar att fiskens välfärd måste bedömas utifrån både hur den mår i odlingen och hur väl den är förberedd för livet efter utsättning. Vattenmiljö, hantering, skador, stress, smoltstatus och odlingsrutiner påverkar inte bara fiskens hälsa här och nu, utan också dess möjligheter att fungera i det fria. Rapporten ger en samlad bild av vilka välfärdsindikatorer som är mest användbara i praktiken och visar hur kompensationsodling behöver balansera låg stress och god odlingsmiljö med krav på att producera fisk som klarar utsättning. Resultaten ger ett viktigt underlag för en mer välfärdsinriktad och funktionell kompensationsodling av lax och öring.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

Energiforsk