



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för veterinärmedicin och
husdjursvetenskap

Välfärd hos atlantlax i slutet respektive öppet system

Welfare of Atlantic salmon in closed and open systems

Marie Andersson



Examensarbete • 15 hp

Agronomprogrammet - Husdjur

Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Uppsala 2019

Välfärd hos atlantlax i slutet respektive öppet system

Welfare of Atlantic salmon in closed and open systems

Marie Andersson

Handledare: Markus Langeland, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Examinator: Anders Kiessling, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap

Kursansvarig inst.: Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Kurskod: EX0865

Program/utbildning: Agronomprogrammet - Husdjur

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2019

Omslagsbild: Thomas Björkan

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Akvakultur, Salmo salar, välfärdsindikatorer, kasse, kassodling, recirkulerande akvakultursystem, RAS

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap

Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Sammanfattning

Akvakultur är den snabbast växande animalieproduktionen i världen. År 2016 producerades 80 miljoner ton matfisk varav atlantlax utgjorde 4 %. Norge är världens största laxproducent och producerar ca 1,2 miljoner ton matfisk per år. Den stora ökningen har delvis lett till ett ökat intresse för fiskars välfärd. Syftet med litteraturstudien är att identifiera fyra relevanta välfärdsindikatorer och jämföra dess implikation hos atlantlax i två olika produktionssystem; recirkulerande akvakultursystem (RAS) och kasse. För att kunna mäta välfärd behövs en definition samt välfärdsindikatorer som kan mäta hur fiskens välfärdsbehov tillgodoses. Fyra välfärdsindikatorer har undersökts; dödlighet, tillväxt, temperatur och densitet. I jämförelse med kasse var tillväxten högre i RAS och temperaturen kunde lättare anpassas efter laxens behov. Dödligheten och densiteten var däremot högre i RAS vilket kan anses vara negativt för fiskens välfärd. När det gäller huruvida välfärdsbehoven har tillgodosetts i de två systemen uppfyllde RAS temperatur och tillväxt i högre grad än kasse medan kasse var bättre lämpat för laxen gällande dödlighet och densitet. Valet av indikatorer och studier kan ha påverkat det slutliga utfallet och det är därmed svårt att avgöra vilket system som faktiskt erbjuder bästa välfärden för atlantlaxen. Min hypotes om att kasse skulle uppfylla välfärdsbehoven i högre grad än RAS stämde därmed delvis.

Abstract

Aquaculture is globally the fastest growing animal production sector. It is important to study the fish welfare in the production. The main purpose with this literature review is to address four important welfare indicators of Atlantic salmon, and compare the welfare in two different production systems; recirculating aquaculture systems (RAS) and net-pens. In order to measure welfare, a definition is needed and welfare indicators that can assess the welfare of the fish. Four indicators were chosen; mortality, growth, temperature and stocking density. Growth was better in RAS as well as the ability to optimize the water temperature. Mortality and stocking density was also higher in RAS which could imply lower welfare in RAS compared to net-pens. About the fulfillment of the welfare needs in the two systems, RAS was better suited for the salmon in the aspect of growth and temperature while net-pen was better in the aspect of mortality and stocking density. My hypothesis that net-pens would be better suited for fish welfare was partly correct.

Introduktion

Globalt sett är akvakultur den snabbast växande matproduktionen och den årliga produktionsökningen är större än den totala animalieproduktionen för terrestriala djur (FAO 2018). Mellan åren 1961 – 2016 var den genomsnittliga årliga ökningen för den globala fiskproduktionen 3,2 % och den genomsnittliga, sammanslagna produktionsökningen av alla landlevande produktionsdjur 2,8 %. Även den globala matfiskkonsumtionen har ökat och förväntas fortsätta öka de kommande åren. År 2016 producerades totalt 80 miljoner ton matfisk i världen och konsumtionen var 20,3 kg/capita. Det kan även tilläggas att 19,3 miljoner människor arbetar inom den primära delen av fiskproduktionen världen över (FAO 2018). Totalt odlas mer än 500 olika arter och Kina är det land vars produktion är den största totalt sett. Norge är världens största producent av atlantlax (*Salmo salar*, hädanefter kallad "lax") och producerade år 2017 totalt 1 236 354 ton lax. (Fiskeridirektoratet, 2018). I Sverige är regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) den art som odlas mest och den totala matfiskproduktionen var 12 800 ton år 2017. (SCB, 2018). Med den omfattande produktionsökningen är det relevant att undersöka fiskens välfärd i produktionssystemen, ökningen har delvis lett till ett ökat intresse från konsumenter, statliga organisationer och näringen (Meijboom & Bovenkerk 2013).

I detta arbete låter jag recirkulerande akvatiska system (RAS) exemplifiera slutna system och kasse öppna system. Detta för att lättare kunna jämföra två system och hur de tillgodoser laxens välfärdsbehov. Anledningen till att jag har valt RAS är för att det är ett system som blir allt vanligare inom fiskproduktionen (Bregnballe 2015). Kasse representerar öppna system eftersom det är det vanligaste produktionssystemet för lax i Norge men även för regnbåge i Sverige. De system där vatten renas och sedan återanvänds till bassängerna där fiskarna hålls klassas som RAS (Ungfors *et al.* 2015). De fördelar som kan ses med RAS, enligt Ungfors *et al.* (2015), är bland annat att temperaturen kan optimeras, rymningar kan förhindras, vattnet kan renas helt från fasta ämnen, fosfor och kväve samt att det är ett system som har låg vattenförbrukning. I Sverige är det främst småskalig produktion som sker i RAS (Eriksson *et al.* 2017) men i Norge börjar RAS bli ett allt mer vanligt system inom smoltproduktion (Terjesen *et al.* 2013). De komponenter som alla RAS har gemensamt är någon form av bassäng där fisken hålls, en reningsdel där vatten renas mekaniskt och med biofilter samt eventuellt en del med syretillsättning och UV-rening (Bregnballe 2015). Terjesen *et al.* (2013) indikerade att lax som hålls i ett storskaligt RAS kan nå marknadsenlig tillväxt. Kassodling sker oftast i cirkulära nätkassar som är fästa i botten och i flytanordningar längs kuster eller längre ut i hav (Eriksson *et al.*, 2017). Vidare beskriver författarna att i en storskalig produktion kan en kasses omkrets vara upp till 200 m och ha ett djup på 20 m. De fördelar som kan ses med kassodlingar är att de inte är lika dyra som RAS att upprätta, det är ett väl etablerat produktionssystem för lax och kräver inte samma noggranna bevakning som RAS (Stickney 2017). Ett problem som kan uppstå vid kassodling är att fiskar rymmer och förökar sig med vilda populationer som i sin tur kan smittas av eventuella parasiter och sjukdomar som de odlade fiskarna bär på (Ford & Myers 2008). Den tidigare nämnda studien visade att dödligheten i de vilda fiskpopulationerna ökade signifikant om de befann sig nära kassodlingar. Den miljöpåverkan som kassodling orsakar är oftast utsläpp av bl.a. foderrester och näringssalter som kan påverka närmiljön

negativt (Eriksson *et al.* 2017). Djurs välfärd kan se olika ut beroende på inhysningssystem och det är därför relevant att se om den skiljer sig åt i de två olika systemen.

Syftet med denna litteraturstudie är att identifiera fyra relevanta välfärdsindikatorer hos lax i slutna respektive öppna system samt undersöka hur de tillämpas och uppfyller laxens välfärdsbehov. Min hypotes är att välfärdsbehoven uppfylls i högre grad i kassodling, eftersom fiskarna generellt har tillgång till en större yta och får vara i havsvatten vilket jag anser vara mer naturligt för dem.

Litteraturgenomgång

Välfärdsdefinitioner

En individs välfärd kan beskrivas som dess förmåga att anpassa sig till sin omgivning (Broom 1986). Broom förklarar vidare att om anpassningen kan ske med tillgängliga resurser och med liten ansträngning kan individens välfärd anses vara tillfredsställande. Om djuret däremot inte har möjlighet att anpassa sig till den miljön den befinner sig i är välfärden, enligt Broom (1986), uppenbarligen dålig.

För att kunna undersöka och eventuellt förbättra laxens välfärd krävs någon typ av definition av begreppet "välfärd". En majoritet av de vanligast förekommande välfärdsdefinitionerna kan delas in i två huvudgrupper; funktionsbaserade och känslobaserade (Martins *et al.* 2012). De funktionsbaserade definitionerna har utgångspunkten att djurets biologiska funktioner, så som stressrespons och förmåga att hantera sin miljö, har ett samband med djurets välfärd (Duncan 2005). De definitioner som tillhör den känslobaserade kategorin har grundtanken i att djurets nuvarande emotionella tillstånd speglar dess välfärd. Det innebär att i ett långsiktigt perspektiv är det balansen mellan dess positiva och negativa subjektiva erfarenheter som avgör dess välfärd (Martins *et al.* 2012).

Huntingford *et al.* (2006) skriver om en tredje definitionskategori; den naturbaserade som utgår från att alla djurarter har vissa specifika naturliga beteenden som den måste uttrycka. Om djuret i fråga har möjlighet att uttrycka dessa naturliga beteenden även i fångenskap så kan välfärden anses vara god. I vissa fall kan djur ha stark motivation att utföra ett beteende oberoende av vad konsekvenserna till det beteendet är. I sådana fall kan djurets välfärd försämrans om det inte får möjlighet till att utföra just det beteendet. Dock kan det vara svårt att avgöra om djuret blir tillfredsställd av ett beteendes konsekvenser eller om själva utförandet av det även är viktigt för djurets välfärd. Exempelvis kan vildlaxar vandra långa distanser, men om det är vandringen i sig eller hungern och jakten på föda som är det naturliga beteendet som måste uppfyllas kan vara svårt att avgöra. Vidare kan det då anses att det inte är något problem om odlade laxar inte har möjlighet att vandra, såvida de har tillräcklig tillgång till foder. Om de däremot har en stark instinkt att utforska nya platser oavsett hur foder-tillgången är, måste laxen få utföra det beteendet för att dess välfärd ska anses vara god (Huntingford *et al.* 2006).

Laxens välfärdsbehov

För att kunna utvärdera laxens välfärd i produktionssystemen krävs vetenskap om dess välfärdsbehov. I appendix i) listas laxens basala behov, enligt Stien *et al.* (2013). Vidare i appendix ii) listas behoven i förhållande till de välfärdsindikatorer som har valts ut; dödlighet, tillväxt, temperatur och densitet. I detta arbete kommer endast de behov som har koppling till minst tre av de valda indikatorerna tas upp. Det är viktigt att ha i åtanke att skillnaderna mellan behoven inte är absoluta samt att vissa behov överlappar varandra (Stien *et al.* 2013).

Välfärdsbehoven kan, i likhet med välfärdsdefinitionerna, delas in i fysiologiska och beteendemässiga. Till de fysiologiska behoven hör bland annat respiration, osmotisk balans, termisk reglering, god vattenkvalitet och hygien. De beteendemässiga välfärdsbehoven är säkerhet och skydd, beteendekontroll, social kontakt och vila. Respirationen (gasutbytet av syre och koldioxid) är grundläggande för att fisken ska kunna ha en fungerande aerob metabolism samt behålla sitt pH-värde (Noble *et al.* 2018). Lax är en anadrom art som kläcks och växer upp i sötvatten för att sedan övergå till att leva i saltvatten (Hoar 1988). Författaren förklarar vidare vikten av att fisken är anpassad för osmosreglering i saltvatten innan utsättning, så att den kan behålla sin osmotiska balans. Fiskar som hålls i vatten av god vattenkvalitet producerar bäst, förutsatt att den är optimal för just den arten (Stickney 2017). Det är även en viktig del i att reducera stress hos populationen. Det är även viktigt att hålla borta skadliga patogener som kan orsaka sjukdom (Noble *et al.* 2018). Fiskar i kasse är mer utsatta än fiskar i RAS eftersom det kan spridas via vattenströmmar och dylikt, i ett RAS går det att kontrollera miljön på ett annat sätt. Det kräver dock att biosäkerheten är hög och att filtreringen fungerar korrekt (Noble *et al.* 2018). Att skydda sig från fara och skydda sin kropp mot skador är viktigt för fiskar. Huden fungerar som ett skydd mot infektioner men är känslig mot mekanisk skada och attacker från konkurrerande fiskar (Noble *et al.* 2018). Behovet beteendekontroll innefattar den frihet fisken behöver till att röra sig fritt och kunna fly från faror (Stien *et al.* 2013). Gällande social kontakt kan det behovet förändras under laxens olika livsstadier, exempelvis förekommer mer aggressioner under sötvattensperioden för att sedan bli stimbildande vid smoltifikation (Fernö & Holm, 1986). Eftersom fiskar inte har ögonlock går det inte att på så sätt avgöra huruvida en fisk vilar (Noble *et al.* 2018). Dock har det visats att laxens simhastighet är 30 % lägre under natten jämfört med dagen, detta gäller även vid tillämpning av artificiellt ljus (Oppedal *et al.*, 2011) och det kan då tyda på att fiskarna vilar under vissa tider.

Relevanta välfärdsindikatorer och dess tillämpning i slutna och öppna system

Välfärd kan mätas och detta görs med hjälp av välfärdsindikatorer (Broom 1988). Om djur har problem med att anpassa sig efter sin miljö kan denna obalans mätas i form av objektiva välfärdsindikatorer (Stafleu *et al.* 1996). I Appendix iii) anges en schematisk bild över förhållandet mellan välfärdsdefinition, välfärdsbehov och välfärdsindikatorer. Välfärdsdefinitionen beskriver vad välfärd är medan välfärdsbehoven relaterar till de behov som behöver uppfyllas för att ett djurs tillstånd ska vara så lik definitionen som möjligt. I sin tur krävs välfärdsindikatorer för att mäta huruvida välfärdsbehoven tillgodoses. Indikatorerna kan delas in i djurbaserade respektive miljöbaserade indikatorer och de djurbaserade kan i sin tur vara grupp- eller individbaserade. Djurbaserade indikatorer mäts genom att studera

djuret/djuren själva. Exempelvis kan andelen magra fiskar i en population indikera på ett välfärdsproblem som rör nutrition eller utfodring. Miljöbaserade välfärdsindikatorer berör istället fiskens omgivning, så som vattenkvalitet och systemets utformning. Genom att exempelvis mäta vattnets syrehalt och därefter jämföra det värdet med fiskartens referensvärden utfås en bild av fiskens välfärd utifrån den aspekten. Eftersom miljöbaserade indikatorer inte undersöker djuren själva klassas den som en indirekt indikator (Noble *et al.*, 2018). Fördelen med indirekta indikatorer är att de kan påvisa eventuella framtida välfärdsproblem som är kopplat till produktionssystemets utformning.

För att kartläggning av välfärden i fiskpopulationer ska vara möjlig behövs någon form av mätning. Exempelvis kan den mätningen utföras genom att utforma operativa välfärdsindikatorer (OVI:s). OVI:na möjliggör kvantifiering av data från välfärdsräkningar, så mätningarna kan repeteras och jämföras över tid samt med mätningar i andra populationer. De är utformade så att fiskproducenten kan utföra mätningarna själv (Noble *et al.* 2012). Stien *et al.* (2013) arbetade fram en modell som enkelt kan användas av fiskproducenten för att kunna mäta den allmänna välfärden i sin odling. Modellen kallas Salmon Welfare Index Model (SWIM 1.0) och genom att använda den erhålls en standardiserad och formell mätning av fiskarnas välfärd i en specifik kasse. För bästa möjliga mätning av en odlings allmänna välfärd bör modellen vara baserad på observationer som görs på djuren (Stien *et al.* 2013).

Det krävs en kombination av olika välfärdsindikatorer för att få en god översikt över en populations välfärd (Noble *et al.*, 2018). Det går således inte att bedöma en populations välfärd genom att endast studera en indikator. Noble *et al.* (2018) tar upp 42 stycken välfärdsindikatorer som är tillämpbara i laxproduktionen och som tillsammans täcker hela laxens välfärdsbehov. Av dessa är det 29 stycken som är möjliga att använda i både RAS och kasse. Dessa är listade i appendix iv). I detta arbete har jag valt att studera fyra välfärdsindikatorer: dödlighet, tillväxt, temperatur och densitet (räknat i kg biomassa/m³). Dödlighet och tillväxt är djurbaserade välfärdsindikatorer på gruppnivå medan temperatur och densitet är miljöbaserade indikatorer. Dessa indikatorer samspelar med alla eller många av laxens välfärdsbehov. Dessutom går de att tillämpa i både kassodling och RAS, vilket möjliggör jämförelse mellan systemen. Ytterligare en fördel med indikatorerna är att de är relativt lätta att mäta av fiskproducenten själv (Stien *et al.* 2013).

Dödlighet

Dödlighet är den mest använda välfärdsindikatorn på populationsnivå då den är enkel för fiskproducenten att använda (Noble *et al.* 2018). Det är även ett bra mått på den övergripande välfärden då en ökning av dödlighetsgraden kan indikera en försämring av laxens välfärd. Författarna menar dock inte att det finns ett direkt samband mellan låg dödlighet och hög välfärd; en fiskpopulation med låg dödlighet kan fortfarande ha välfärdsproblem. Stien *et al.* (2016) visade att den högsta dödligheten av smolt var under de första veckorna efter att de flyttats ut till kassen. Det kan dock vara svårt att få en korrekt bild av den egentliga dödligheten i en population, eftersom det är svårt att kontrollera om den beror på olika rovdjur (exempelvis rovfågel och säl) eller dör på grund av kannibalism (Stickney 2017). De främsta, praktiska

problemen som kan uppstå vid användning av dödlighet som välfärdsindikation är att få ett korrekt värde på hur många fiskar som faktiskt finns i populationen samt de fiskar som dör (Ellis *et al.* 2012).

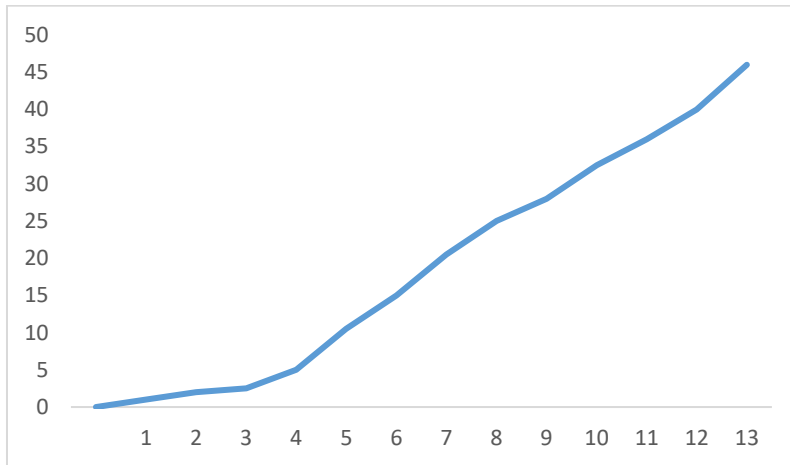
Studier har visat att smolt som växt upp i RAS har bättre tillväxt och lägre dödlighet efter utsättning i kasse jämfört med smolt som växt upp i annat landbaserat system (Ulgenes *et al.* 2008). Det kan, enligt författarna, bero på att vattenkvaliteten kan regleras så den är optimal för fiskarna samt att de då har en högre vikt vid utsättningen. Exempelvis har dödligheten i smoltproduktionen på Färöarna minskat från 20 % till ca 5 % genom att hålla smolten i RAS istället för traditionella genomflödessystem (Dalsgaard *et al.* 2013). I studien framgår det dock inte om det är den månatliga dödligheten eller den totala från kläckning till utsättning. Liu *et al.* (2017) mätte dödlighet hos lax i RAS med tre olika grader av densitet. Deras resultat visade inget samband mellan densitet och dödlighet. Dödligheten hos alla tre grupperna var mellan 3,4 – 5,9 %. I en annan studie om post-smolt i RAS var den totala dödligheten 11,4 % och av den andelen var det 3,9 % som dog i tanken, 1,9 % hoppade över kanten och resterande var ”culls” (fiskar som togs bort för kvalitetskontroll, för att de var olönsamma eller de med svampinfektion) (Davidson *et al.* 2016). Studien var utformad så den kunde motsvara en storskalig produktion i RAS.

Enligt Svåsand *et al.* (2017) var dödligheten hos smolt i kasse ca 1,9 % en månad efter utsättning. Därefter sjönk den till ca 1,2 % tre månader efter utsättning. Dödlighetsprocenten i populationen var som lägst (ca 0,5 %) 15 månader efter utsättning. Denna statistik baseras på inrapporterade data från samtliga norska laxproducenter som har kassodling, dock är inte dödsorsak angiven. Det går därmed inte att fastställa orsaken till dödligheten, om det exempelvis är rovdjur eller dålig djurhållning. Författarna menar dock att trots detta är dödlighet en tillämpbar välfärdsindikator, eftersom oavsett orsaken till dödlighet har det inneburit försämrad välfärd för laxen på antingen lång eller kort sikt. För Skottlands samtliga laxproducenter med kasse låg den månadsvisa dödligheten på ca 1,2 % år 2018 (Scottish Salmon Producers' Organisation, 2019). Detta värde är ett medelvärde av producenternas genomsnittliga dödlighet för varje månad under 2018. Det har inte tagits hänsyn till var i produktionscykeln dödligheten inträffar, vilket gör att det inte går att avgöra orsakerna till variationerna i dödlighet för de olika månaderna. Soares *et al.* (2013) visade att variationen av dödlighet mellan fiskproducenter kan bero på skillnader i skötsel, rutiner, väder och sjukdomar. Dock hade alla medverkande producenter en topp i dödligheten under oktober månad.

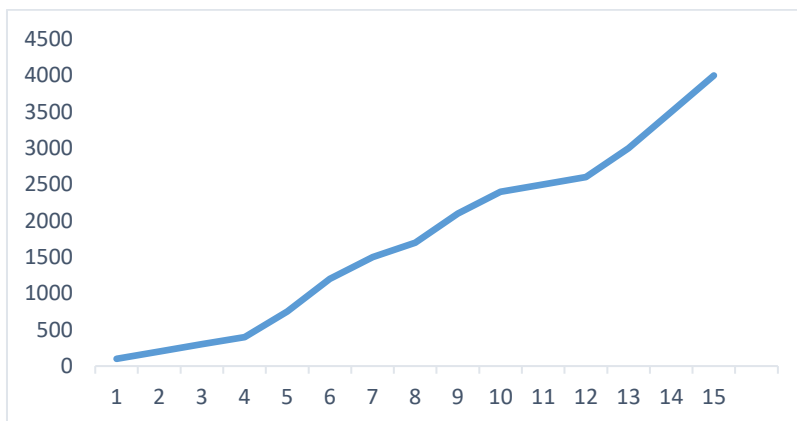
Tillväxt

Tillväxt är en vanligt förekommande välfärdsindikator i animalieproduktion och är även tillämpbar i fiskproduktionen (Branson 2008). Inom fiskproduktionen är det vanligt att tillväxt redovisas som relativ (tillväxten angiven i procent av kroppsvikten), absolut (viktökning per dag) och specifik tillväxthastighet (procentuell ökning av kroppsdimension per dag) (Lugert *et al.* 2016). Enligt Thorpe *et al.* (1992) påverkas laxens tillväxt av genetiska faktorer, nutrition, miljömässiga faktorer (exempelvis vattenkvalitet och temperatur) samt sociala parametrar (exempelvis densitet). Enligt FAO (2019) tar det ungefär ett år för lax att från kläckning påbörja

smoltifikation (se Figur 1). Den data är baserat på laxyngel som hålls i ett kläckeri med sötvatten, kontrollerad temperatur och ljus. Efter utsättning i kassodling tar det i genomsnitt 15 månader för odlad smolt att nå slaktvikt (se Figur 2). Tillväxtkurvan för odlad lax är högre än den för vildlaxar (FAO, 2019).



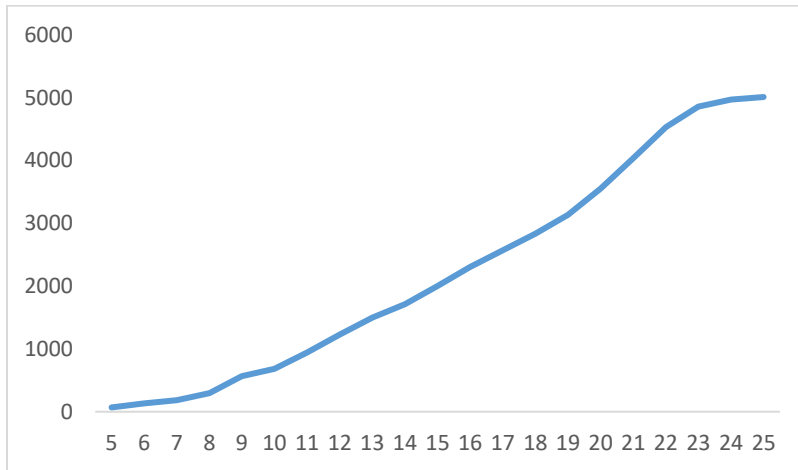
Figur 1. Genomsnittlig tillväxt hos lax i sötvatten från kläckning till påbörjad smoltifikation (50 g) enligt FAO (2019). X-axeln anger antalet månader efter kläckning och Y-axeln avser fiskarnas genomsnittliga vikt i gram



Figur 2. Den genomsnittliga tillväxten hos odlad lax från utsättning i kassodling till slaktvikt (4000 g) enligt FAO (2019). X-axeln anger antalet månader efter utsättning och Y-axeln avser fiskarnas genomsnittliga vikt i gram

Liu *et al.* (2017) visade att en population post-smolt som hölls i RAS att det kan finnas samband mellan densitet och tillväxt, på så sätt att fiskar i populationer med låg densitet har en ökad tillväxt, det vill säga att foderomvandlingsförmågan var bättre. Det har även visats att fiskars tillväxt ökar ju varmare vattnet är, förutsatt att temperaturen hålls inom artens optimala temperaturspann (Bregnballe 2015). Han beskriver vidare att vid kontroll av parametrar som exempelvis syrehalt, vattentemperatur eller ljus så kan det minska stress hos fiskar och förbättra deras tillväxt.

Davidsson *et al.* (2014) producerade regnbåge i RAS tills de uppnått sin slaktvikt på 5,2. Den genomsnittliga vikten var 1,4 kg vid 12 månader efter kläckning, 4,8 kg efter 22 månader samt 5,2 kg vid 26 månader (se Figur 3). Fiskarna flyttades till större tankar när de var 6 och 12 månader gamla.



Figur 3. Tillväxt hos regnbåge i studie av Davidsson *et al.* (2014). X-axeln anger fiskens ålder i månader efter kläckning och y-axeln avser fiskens vikt i gram.

I en studie gjord på lax i kasse vägde de i genomsnitt 71,2 g vid utsättning och i slutet av det 6 månader långa försöket vägde de cirka 850 g (Føre *et al.* 2016). Dock drabbades fiskarna av en bukspottskörtelssjukdom under experimentet vilket sänkte tillväxt-hastigheten hos fiskarna.

Temperatur

Vattnets temperatur är en av de faktorer som har störst påverkan på den biologiska funktionen hos lax och är den första begränsande faktorn (Sauter *et al.*, 2001; Stien *et al.*, 2013). Lax är ett växelvarmt djur vilket innebär att deras kroppstemperatur regleras av vattentemperaturen. Fiskens tillväxt, smoltifikation, immunförsvar och metabolism blir direkt påverkade av den omgivande vattentemperaturen (Sauter *et al.* 2001). Det har även visats att vid långvarig vistelse i vatten med en temperatur på 19 °C ändrades protein- och genuttryck som är kopplade till hjärtat. (Jørgensen *et al.* 2014). Det kan enligt författarna indikera på att muskelvävnaden i hjärtat och immunresponsen ändras som respons på den förhöjda temperaturen.

Oavsett produktionssystem är det viktigt att temperaturen är inom det optimala spannet, eftersom fiskarnas tillväxt är direkt kopplad till vilken temperatur fisken lever i (Bregnballe 2015). Inomhusbaserade RAS kan lätt få en vattentemperatur som överstiger den optimala temperaturzonen för lax på grund av värme som utsöndras bland annat i och med fiskarnas metabolism och bakterieaktivitet i biofiltret. Den optimala temperaturen för smolt och post-smolt i RAS är 12 – 14 °C (Bergheim *et al.* 2009) respektive 14 °C (Bregnballe 2015).

Stehfest *et al.* (2017) visade att den genomsnittliga temperatur som en fisk i kasse väljer att befinna sig i är mellan 16,5 – 17,5 °C. Detta resultat fick de genom att genomföra individuella

mätningar på lax som hölls i kasse. Fiskarna i försöket sökte sig aktivt nedåt i kassen där temperaturen var lägre trots att det ibland innebar att fiskarna befann sig på ställen där syrehalten var under deras behov. Författarna diskuterar vidare om det kan bero på att den population som användes i försöket kan vara bättre anpassade för syrefattigt vatten (Stehfest *et al.* 2017).

Densitet

Termen densitet beskriver tätheten som djuren hålls i, vanligtvis som biomassa i kg/m^3 , det vill säga kg fisk per kubikmeter (Ellis 2002). Om fiskproduktionssystemet har för hög densitet ökar risken för syrebrist i systemet vilket i sin tur kan leda till hög dödlighet. Det finns tydliga bevis på att en för hög densitet är kopplat till försämrat foderintag, foderomvandlingsförmåga, tillväxt, hälsa och produktion (Ellis 2002).

I 3 kap. 25§ av den norska föreskriften "Forskrift om drift av akvakulturanlegg" (FOR-2008-06-17-822) får lax inte hållas i en densitet som överskrider 25 kg/m^3 , fiskar som hålls inom RAS undantagna från den bestämmelsen. Enligt samma paragraf får varje kasse innehålla upp till 200 000 fiskar. I ett försök där tre grupper hölls i olika densitet i RAS visade det sig att den population med högst densitet hade signifikant lägre vikt vid slakt jämfört med de andra två grupperna (Liu *et al.* 2017). I gruppen med låg densitet var den initiala genomsnittliga densiteten $9,8 \text{ kg/m}^3$ och i slutet av försöket var den $18,4 \text{ kg/m}^3$. Vilket innebär en densitetökning på $8,6 \text{ kg/m}^3$. I gruppen med mellanhög densitet var den initiala densiteten $19,62 \text{ kg/m}^3$ och den slutliga $36,96 \text{ kg/m}^3$, vilket blev en ökning på $17,3 \text{ kg/m}^3$. I gruppen med hög densitet var den initiala densiteten $28,8 \text{ kg/m}^3$ och den slutliga $53,5 \text{ kg/m}^3$, vilket resulterade i en skillnad på $24,8 \text{ kg/m}^3$.

Vid kommersiell uppfödning eller testuppfödning av smolt i RAS under allmänna förhållanden var densiteten $45 - 50 \text{ kg/m}^3$, denna data är baserad på tre andra studier (Dalsgaard *et al.* 2013). För lax i kasse har det visats att en densitet på upp till ca 22 kg/m^3 inte har något samband med försämrad välfärd (Turnbull *et al.* 2005). Densitet över det värdet var däremot kopplat till försämrad fiskvälfärd. I en annan studie undersöktes densitetens påverkan på tillväxt på laxyngel. Resultaten visade att en densitet på under 86 kg/m^3 inte medförde någon negativ påverkan på fiskarna, såvida foderåtgången, vattenkvaliteten och vattenflödet var tillräckligt (Hosfeld *et al.* 2009).

Diskussion

Det är viktigt att ha i åtanke att valet av välfärdsindikatorer spelar en stor roll för utfallet rörande vilket system som tillgodoser laxens behov i högsta grad. Vid val av andra indikatorer samt om fler, och andra, studiers resultat hade inkluderats hade utfallet eventuellt sett annorlunda ut. Med tanke på att det gjorts fler studier på lax i kasse än i RAS blir resultatet från de två systemen svåra att jämföra, eftersom det finns mer data för populationer i kasse. Många av studierna om lax i RAS har gjorts på smolt som bland annat har en mindre kroppsvikt samt en annan tillväxthastighet än post-smolt. Skillnaderna berör samtliga välfärdsindikatorer.

Data för dödlighet i RAS har hämtats från enskilda studier medan data för kasse är ett genomsnitt för alla Norges och Skottlands fiskproducenter som tillämpar sin produktion i kasse. Med den anledningen är det svårt att avgöra om dödligheten är representativt högre i RAS än i kasse, eftersom majoriteten av studierna inte har populationer som efterliknar en kommersiell produktion. Utifrån resultatet från Davidsson *et al.* (2016), vars studie skulle efterlikna en kommersiell produktion, var dödligheten högre där än genomsnittet i de norska och skotska kasseproduktionerna. Det kan då anses att gällande dödlighet är kasse bättre ur ett välfärdsperspektiv.

Gällande temperatur är det lättare att reglera temperaturen i RAS, eftersom det finns bättre tekniska möjligheter där än i kassodling. Om temperaturen är för hög eller låg i ett RAS är det enkelt att justera. I kasse är det inte möjligt att reglera temperaturen på samma sätt och det kan då anses vara viktigt att studera vattentemperaturen i hela kassen. Enligt Bregnballe (2015) är det vanligast att hålla smolt i RAS för att sedan sätta ut dem i kasse men att det är under utveckling att kunna producera lax i RAS hela produktionscykeln. Under sommarperioden i kasse kan vattentemperaturen ofta bli över 14 °C vilket inte är optimalt för laxen. Med tanke på möjligheten att justera temperaturen i RAS kan det anses att det systemet uppfyller välfärdsbehoven i högre grad. Det är dock en energikrävande process att kyla ner vattnet vilket kan bli kostsamt för fiskproducenten, det är viktigt att ha med det i kostnadskalkylen vid upprättande av ett RAS. I studien gjord av Stehfest *et al.* (2017) visar resultatet att det var få eller inga ställen i kassen som hade en temperatur på 14 °C som dessutom hade den optimala syrehalten. Detta kan förklara varför resultatet visade att fiskarna föredrog en temperatur på 16 – 17 °C.

I resultatet för tillväxt har jag valt att använda tillväxtdata från en studie gjord på regnbåge i RAS. Detta eftersom den är en laxfisk som har liknande egenskaper som laxen samt att det har gjorts fler studier på regnbåge i RAS jämfört med post-smolt lax. Vid jämförelse av Figur 1, 2 och 3 visar det att regnbåge i RAS snabbare uppnår en vikt på 4 kg jämfört med lax i sötvatten och som sedan sätts ut i kasse. Det kan därmed anses att tillväxten är bättre i RAS jämfört med kasse. Dock är det svårt att veta exakt vad som gör att tillväxten är bättre i RAS, om det beror på en enskild orsak eller ett samspel mellan flera. Det kan till exempel vara den ökade möjligheten att påverka fiskens miljö eller en effekt enbart beroende på temperaturen. Detta gäller även resultaten för densitet, i kommersiell produktion av RAS och kasse är densiteten i genomsnitt högre i RAS än kasse. Det är även i det här fallet oklart huruvida enbart densiteten påverkar fiskens välfärd. Med tanke på att flera studier har visat på att en hög densitet påverkar fiskarna i populationen negativt kan det anses att kasse är bättre lämpad för laxen ur ett välfärdsperspektiv eftersom den generellt har en lägre densitet.

De nackdelar som kan ses med RAS är att den inte kan ha samma storlek som en kasse, det skulle bland annat bli en alldeles för kostsam investering. Det kan dock vara lämpligt för smoltproduktion, eftersom de är mindre så fler ryms i tanken och det går att justera vattenkvaliteten efter deras förändrande behov. Ytterligare en risk med RAS som kan komma att drastiskt påverka fiskens välfärd, är systemets teknikberoende. Om exempelvis ett strömavbrott,

pumphaveri, sensorfel eller larmfel inträffar kan det snabbt leda till en drastiskt försämrad vattenkvalitet med massiv fiskdöd som följd (Eriksson *et al.* 2017).

En nackdel som kan ses med studien av Noble *et al.* (2018) är att författarna inte är tydliga med skillnaden mellan de symptom på dålig välfärd som har skötselrelaterade orsaker, är kliniska eller som till större delen beror på avel. Genetik är en viktig faktor för att få fram friska populationer och om avel sker exempelvis på fiskar med gener för dålig tillväxt är sannolikheten stor att avkomman också får det. I sådana fall behöver inte en dålig tillväxt inom en population bero på brister i skötsel eller produktionssystemet, det kan vara en konsekvens av aveln. Likadant om fisken har kliniska symptom, de kan uppkomma till följd av exempelvis sjukdom eller genetik. Dock är det få studier som tar upp utförligt huruvida välfärd ska mätas för fisk samt vilka välfärdsbehov som finns, i synnerhet för lax. Av den anledningen har jag valt att använda källan Noble *et al.* (2018) samt Stien *et al.* (2013) i den utsträckningen.

Slutsats

Dödligheten var högre i RAS jämfört med kasse, vilket indikerar på att kasse är bättre för laxen utifrån den välfärdsaspekten. I RAS kunde en optimal temperatur hållas i högre grad jämfört med kasse, vilket gör att RAS, utifrån det perspektivet, gynnar laxens välfärd i högre grad. Densiteten visades vara generellt lägre i kasse vilket gör det systemet bättre lämpat för laxen och dess behov. Det har dock inte gjorts några studier som jämför en faktor åt gången vilket krävs för att få en mer sanningsenlig bild av hur de påverkar fiskens välfärd. Utan en enskild genomgång av varje faktor är det svårt att veta om det är enbart den som påverkar laxens välfärd eller om det handlar om ett samspel mellan flera olika. Min hypotes att kasse skulle uppfylla behoven i högre grad blev delvis motbevisad.

Referenser

- Bergheim, A., Drengstig, A., Ulgenes, Y. & Fivelstad, S. (2009). Production of Atlantic salmon smolts in Europe - Current characteristics and future trends. *Aquacultural Engineering*, vol. 41 (2), ss. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.04.004>
- Branson, E.J. (red.) (2008). *Fish welfare*. Ames, Iowa: Blackwell Pub.
- Bregnballe, J. (2015). A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Eurofish. Tillgänglig: <http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf> [2019-05-22]
- Broom, D.M. (1986). Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal*, vol. 142 (6), ss. 524–526. DOI: [https://doi.org/10.1016/0007-1935\(86\)90109-0](https://doi.org/10.1016/0007-1935(86)90109-0)
- Broom, D.M. (1988). The scientific assessment of animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 20 (1–2), ss. 5–19. DOI: [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(88\)90122-0](https://doi.org/10.1016/0168-1591(88)90122-0)
- Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drengstig, A., Arvonen, K. & Pedersen, P.B. (2013). Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering*, vol. 53, ss. 2–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.008>
- Davidson, J., May, T., Good, C., Waldrop, T., Kenney, B., Terjesen, B.F. & Summerfelt, S. (2016). Production of market-size North American strain Atlantic salmon *Salmo salar* in a land-based recirculation aquaculture system using freshwater. *Aquacultural Engineering*, vol. 74, ss. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.04.007>
- Duncan, I.J.H. (2005). Science-based assessment of animal welfare: farm animals. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, vol. 24 (2), ss. 483–492. DOI: <https://doi.org/10.20506/rst.24.2.1587>
- Ellis, T. (2002). The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, vol. 61 (3), ss. 493–531. DOI: <https://doi.org/10.1006/jfbi.2002.2057>
- Ellis, T., Berrill, I., Lines, J., Turnbull, J.F. & Knowles, T.G. (2012). Mortality and fish welfare. *Fish Physiology and Biochemistry*, vol. 38 (1), ss. 189–199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9547-3>
- Eriksson, S., Langeland, M., Wikberg, D., Ab, V.N., Nilsson, J. & Sundell, K.S. (2017). *Översikt av tekniker för odling av vattenlevande organismer i Sverige*. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.
- FAO (red.) (2018). *Meeting the sustainable development goals*. Rome. (The state of world fisheries and aquaculture; 2018).
- FAO (2019) *Atlantic salmon – Growth*. Tillgänglig: <http://www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/atlantic-salmon/growth/en/> [2019-05-24]
- FOR-2008-06-17-822. *Forskrift om drift av akvakulturanlegg*. Oslo: Nærings- og fiskeridepartementet.
- Ford, J.S. & Myers, R.A. (2008). A Global Assessment of Salmon Aquaculture Impacts on Wild Salmonids. (Roberts, C., red.) *PLoS Biology*, vol. 6 (2), s. e33. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060033>
- Føre, M., Alver, M., Alfredsen, J.A., Marafioti, G., Senneset, G., Birkevold, J., Willumsen, F.V., Lange, G., Espmark, Å. & Terjesen, B.F. (2016). Modelling growth performance and feeding behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial-size aquaculture net pens: Model details and validation through full-scale experiments. *Aquaculture*, vol. 464, ss. 268–278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.045>

- Hoar, W.S. (red.) (1988). The physiology of smolting salmonids. *The Physiology of Developing Fish - Viviparity and Posthatching Juveniles*. (Fish physiology - The physiology of developing fish; ed. by W. S. Hoar.; 11 B). New York: Acad. Press, 2. [Dr.].
- Hosfeld, C.D., Hammer, J., Handeland, S.O., Fivelstad, S. & Stefansson, S.O. (2009). Effects of fish density on growth and smoltification in intensive production of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, vol. 294 (3), ss. 236–241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.06.003>
- Huntingford, F.A., Adams, C., Braithwaite, V.A., Kadri, S., Pottinger, T.G., Sandoe, P. & Turnbull, J.F. (2006). Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology*, vol. 68 (2), ss. 332–372. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.001046.x>
- Jørgensen, S., Castro, V., Krasnov, A., Torgersen, J., Timmerhaus, G., Hevrøy, E., Hansen, T., Susort, S., Breck, O. & Takle, H. (2014). Cardiac responses to elevated seawater temperature in Atlantic salmon. *BMC Physiology*, vol. 14 (1), s. 2. DOI: <https://doi.org/10.1186/1472-6793-14-2>
- Liu, B., Liu, Y. & Sun, G. (2017). Effects of stocking density on growth performance and welfare-related physiological parameters of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in recirculating aquaculture system. *Aquaculture Research*, vol. 48 (5), ss. 2133–2144. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.13050>
- Lugert, V., Thaller, G., Tetens, J., Schulz, C. & Krieter, J. (2016). A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. *Reviews in Aquaculture*, vol. 8 (1), ss. 30–42. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12071>
- Martins, C.I., M, Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M.T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J., Carter, T., Planellas, S.R. & Kristiansen, T. (2012). Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry; Dordrecht*, vol. 38 (1), ss. 17–41. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10695-011-9518-8>
- Meijboom, F.L.B. & Bovenkerk, B. (2013). Fish Welfare: Challenge for Science and Ethics—Why Fish Makes the Difference. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, vol. 26 (1), ss. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10806-012-9399-6>
- Noble, C., Kankainen, M., Setälä, J., Berrill, I.K., Ruohonen, K., Damsgård, B. & Toften, H. (2012). The bio-economic costs and benefits of improving productivity and fish welfare in aquaculture: Utilizing CO₂ stripping technology in Norwegian atlantic salmon smolt production. *Aquaculture Economics & Management*, vol. 16 (4), ss. 414–428. DOI: <https://doi.org/10.1080/13657305.2012.729251>
- Noble, E.C., Gismervik, K., Iversen, M.H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L.H. & Turnbull, J.F. (2018). Welfare Indicators for farmed Atlantic salmon - tools for assessing fish welfare. Tillgänglig: <https://nofima-326d.kxcdn.com/wp-content/uploads/2018/11/FISHWELL-Welfare-indicators-for-farmed-Atlantic-salmon-November-2018.pdf> [2019-04-05]
- Oppedal, F., Dempster, T. & Stien, L.H. (2011). Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. *Aquaculture*, vol. 311 (1–4), ss. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.11.020>
- Scottish Salmon Producers' Organisation. (2019). *Salmon survival and mortality data*. Tillgänglig: <http://scottishsalmon.co.uk/salmon-survival-mortality-data/> [2019-05-05]
- Sauter, S.T., Crawshaw, L.I. & Maule, A.G. (2001). Behavioral Thermoregulation by Juvenile Spring and Fall Chinook Salmon, *Oncorhynchus Tshawytscha*, during Smoltification. *Environmental Biology of Fishes*, vol. 61 (3), ss. 295–304. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010849019677>
- Stafleu, F.R., Grommers, F.J. & Vorstenbosch, J. (1996). Animal Welfare: Evolution and Erosion of a Moral Concept. *Animal Welfare*, s. 11
- Stehfest, K.M., Carter, C.G., McAllister, J.D., Ross, J.D. & Semmens, J.M. (2017). Response of Atlantic salmon *Salmo salar* to temperature and dissolved oxygen

- extremes established using animal-borne environmental sensors. *Scientific Reports*, vol. 7 (1). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04806-2>
- Stickney, R.R. (2017). *Aquaculture: an introductory text*. Third edition. Wallingford, Oxfordshire, UK ; Boston, MA, USA: CABI.
- 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. & 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: Salmon Welfare Index Model (SWIM 1.0). *Reviews in Aquaculture*, vol. 5 (1), ss. 33–57. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01083.x>
- Svåsand T., Grefsrud E.S., Karlsen Ø., Kvamme B. O., Glover, K. S., Husa V. & Kristiansen, T. S. (red.). 2017. Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2017. *Fisken og havet*, særnr. 2-2017.
- Terjesen, B.F., Summerfelt, S.T., Nerland, S., Ulgenes, Y., Fjæra, S.O., Megård Reiten, B.K., Selset, R., Kolarevic, J., Brunsvik, P., Bæverfjord, G., Takle, H., Kittelsen, A.H. & Åsgård, T. (2013). Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in RAS environments. *Aquacultural Engineering*, vol. 54, ss. 49–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.002>
- Turnbull, J., Bell, A., Adams, C., Bron, J. & Huntingford, F. (2005). Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of a multivariate analysis. *Aquaculture*, vol. 243 (1), ss. 121–132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.09.022>
- Ulgenes, Y., O. Fjæra, S., Brunsvik, P., Bæverfjord, G., Nerland, S., Takle, H. & Kittelsen, A. (2008). RAS research facility dimensioning and design: A special case compared to planning production systems.
- Ungfors, A., Björnsson, T., Lindegarth, S., Eriksson, S. & Sundell, K.S. (2015). *Marin fiskodling på den svenska västkusten: tekniska lösningar*. (4). Göteborg: Vattenbrukscentrum väst, Göteborgs universitet.

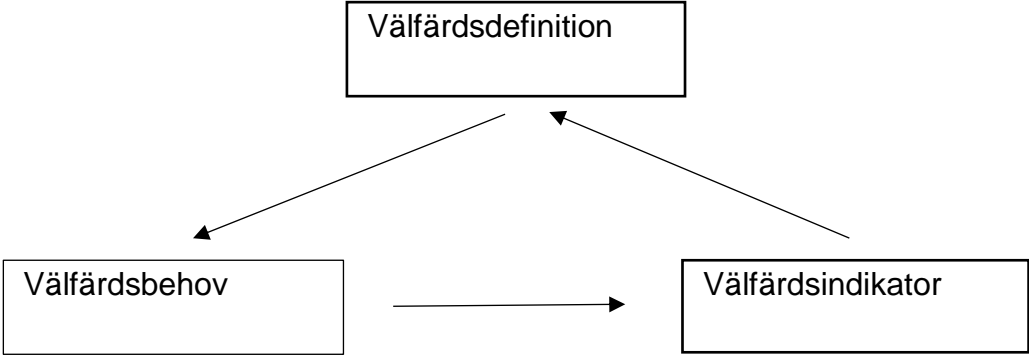
Appendix I. Laxens välfärdsbehov enligt Stien *et al.* (2013) med kort förklaring

Behov	Förklaring och relevans för lax
Fysiologiska behov	
Respiration	Utbyte av syre och koldioxid genom gälarna
Osmotisk balans	Fortsätta vara i homeostas med cellvätskor
Nutrition	Intag av föda som uppfyller laxens näringsbehov
Hälsa	Vara fri från sjukdomar, skador och dylikt
Termisk reglering	Optimering av metabolism och temperatur, inklusive termisk komfort
Beteendemässiga behov	
Beteendekontroll	Fiskens förmåga att fritt bestämma sin position, reglera sin flytförmåga samt svara på stimuli
Födointag	Regelbunden tillgång till foder
Säkerhet	Möjlighet att undvika uppfattad fara
Skydd	Möjlighet att undvika kroppsliga skador
Social kontakt	Förutsebar interaktion med artfränder
Utforskning	Möjlighet att söka efter föda och information
Kinetik	Vara förmögen till att simma (fysisk aktivitet)
Vila	Möjlighet att minska aktivitetsgrad eller sova
Sexuellt beteende	Fortplantningsbeteenden, äggläggning, vandra m.m.
Egen hygien	Göra sig ren från parasiter, klia sig m.m.

Appendix II. Laxens välfärdsbehov i relation till de valda välfärdsindikatorerna

	Respiration	Osmotisk balans	Termisk reglering	God vattenkvalitet	Hygien	Säkerhet och skydd	Beteendekontroll	Social kontakt	Vila
Välfärdsindikator									
Dödlighet	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tillväxt	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Temperatur	X	X	X		X	X			
Densitet				X			X	X	X

Appendix III. Schematisk bild över förhållandet mellan välfärdsdefinition, välfärdsbehov och välfärdsindikator



Appendix IV. Samtliga välfärdsindikatorer som är mätbara i både RAS och kasse

Djurbaserade	Miljöbaserade
<u>Gruppbaserade</u>	Syre
Aptit	Temperatur
Tillväxt	Salthalt
Dödlighet	Vattenvelocity
Beteendeavvikelser	Ljus
Magra fiskar	Densitet
Sjukdomar/hälsa	Totalt utsläppta ämnen (total suspended solids)
	Turbiditet
<u>Individbaserade</u>	
Magerhetstillstånd	
Fjälltillstånd och hudstatus	
Ögonstatus	
Missbildningar	
Smoltifikationsstadiet	
Fenskador	
Opekularskador	
Mun- och käkskador	
HSI	
CSI	
Konditionsfaktor	
Gälstatus	
Laxlus	
Sexuell mognad	
Foder i tarmsystem	