



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Livscykelanalys av laxfiskar producerade i öppna och slutna system – en jämförelse

Amanda Dahlberg

Livscykelanalys av laxfiskar producerade i öppna och slutna system – en jämförelse

Life cycle assessment on salmonids produced in open and closed systems - a comparison

Amanda Dahlberg

Handledare: Markus Langeland, SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Examinator: Anders Kiessling, SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Omfattning: 15 hp

Kurstitel: Kandidatarbete i husdjursvetenskap

Kurskod: EX0553

Program: Agronomprogrammet - Husdjur

Nivå: Grund, G2E

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2017

Serienamn, delnr: Examensarbete / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens utfodring och vård, 608

Nyckelord: akvakultur, laxfisk, kassodling, genomflödessystem, RAS, LCA.

Key words: aquaculture, salmonids, net pen, flow through system, RAS, LCA.

Sammanfattning

Laxfiskodling i Sverige sker vanligtvis i öppna system som kassodlingar. Debatt kring vilken miljöpåverkan som olika fiskodlingar kan ge är aktuell och nyligen kom en dom gällande öppna system som begränsar dess produktion på vissa platser i Sverige. Livscykelanalys är en metod att mäta kvantitativt hur mycket miljöpåverkan en produkt eller process genererar under hela livscykeln. Syftet med detta arbete är att kartlägga och beskriva skillnader i lokal och global miljöpåverkan mellan öppna och slutna laxfiskodlingar. De arter som omfattas är Atlantlax, regnbåge och röding. Slutsats är de öppna systemen har högre lokal miljöpåverkan jämfört med de slutna systemen men de slutna systemen riskerar att ha högre global miljöpåverkan än de öppna systemen på grund av den betydligt högre energianvändningen för att recirkulera vattnet.

Nyckelord: akvakultur, laxfisk, kassodling, genomflödessystem, RAS, LCA.

Abstract

Production of salmonids in Sweden is usually performed in open systems like net pens. Debate concerning what environmental effects fish farming generates is of current interest and recently a judgement which will limit production from open farming system in some sites in Sweden. Life cycle assessment is a method for quantifying how much environmental effects that are generated from a product or a process during its whole life cycle. The aim of this work is to investigate what type of environmental effects open systems will generate in relation to closed systems and if there are differences in local or global effects from the productions. The species that will be covered in this report are Atlantic salmon, rainbow trout and char. To conclude open production systems have bigger potential of affecting the local environment in relation to the closed production systems. The conclusion is that the open systems generate more local environmental effects in relation to the closed systems but that the closed systems risks to generate more global environmental effects due to the high levels of energy use.

Keywords: aquaculture, salmonids, net pen, flow through system, RAS, LCA.

Innehållsförteckning

Introduktion	5
1 Odlingssystem	7
1.1 Öppna system	7
1.1.1 Teknik	7
1.1.2 Ekonomi	8
1.2 Slutna system	8
1.2.1 Teknik	8
1.2.2 Ekonomi	9
2 Foder	10
3 Livscykelanalys	11
4 Diskussion	13
4.1 Foder	13
4.2 Utsläpp av näringsämnen och kemikalier	14
4.3 Interaktion med vilda fiskbestånd och biologisk mångfald	14
4.4 Energianvändning och klimatpåverkan	15
4.5 Ekonomi	15
4.6 Grader av lokal och/eller global miljöpåverkan	16
Slutsats	17
Tack	18
Referenslista	19

Introduktion

Akvakultur har vuxit de senaste decennierna och är den snabbast växande livsmedelsproduktionen (FAO, 2016). Ungefär hälften av den fisk som konsumeras kommer från akvakultur (FAO, 2016). I Sverige odlades enligt Statistiska Centralbyrån (SCB)(2016) 10 752 ton (färskvikt) matfisk år 2015, och den fisk som odlas mest är regnbåge följt av röding. Enligt Matfiskodlarna Sverige AB uppgår produktionen av regnbåge och röding till nästan 14 500 ton och är därför underskattad av SCB med ca 4000 ton (Wikberg, personligt meddelande). Ekonomiska värdet av produktionen i vattenbruk i Sverige år 2015 var 345 miljoner kronor och 71 procent av försäljningsvärdet av matfiskproduktion kom från regnbåge (SCB, 2016).

Laxfiskar odlas vanligtvis i hav men i växande takt även på land. Öppna system, vilket är vanligast i Sverige (SCB, 2016) består av kassar i sjö eller hav. Det finns också öppna system, genomflödessystem, som är landbaserade. Det är även vanligt att odla fisk i vattenkraftsmagasin (SOU, 2009:26).

Slutna recirkulerande akvakultur system (RAS) är oftast landbaserade. Slutna odlingssystem antas ofta ge mindre negativ miljöpåverkan än öppna system (Ayer & Tyedmers, 2009) och det finns ett ökat intresse för att odla fisk i RAS i Europa (Martins *et al.*, 2010).

Det finns även odlingssystem som är semislutna vilka är placerade i naturliga vattendrag. Dessa system har en form av uppsamling av avfall vilket de öppna systemen generellt saknar.

Vad produktion av animaliska livsmedel ger för miljöpåverkan är aktuella discussionsfrågor i samhällsdebatter och detta gäller även fiskodlingar och vilka odlingssystem som skall tillåtas. I mars 2017 beslutade Mark- och miljööverdomstolen (M 2620-16, M 8673-15, M 8882-15) att fiskodling i öppna system i kassar lokaliserade i Nätrafjärden, Omnefjärden och Mjältösundet skall avvecklas inom tre år. Domarna grundas dels på avsaknad av tillräckliga data för att bedöma vilken miljöpåverkan fiskodlingarna har, dels för det näringsutsläpp som sker och därmed risken för övergödning och dels för att vissa av platserna för odlingen inte är lämpade på

grund av de recipientförutsättningar som finns där. Det står i Mark- och miljödomstolens domsskäl 2017-03-13 gällande mål M 8882-15 s. 31: ”kan det ifrågasättas om den teknik som tillämpas – öppna kassar som inte ger möjlighet till någon uppsamling eller rening av foderrester och fekalier – utgör bästa möjliga teknik”.

Enligt Daniel Wikberg, VD för Matfiskodlarna Sverige AB, kommer en produktion på ca 2000 ton matfisk, mätt i färskvikt, att påverkas direkt av de nya domarna (Wikberg, personligt meddelande).

Livscykelanalys (LCA) är en metod som används för att analysera hur mycket miljöpåverkan en produkt har totalt i hela produktionsledet från ”vagga-till-grav” (Tillman, 2010). En LCA måste dock avgränsas för att vara rimlig och i bedömningar av fiskproduktion är avgränsningen vanligtvis satt då fisken lämnar produktionssystemet (Cao *et al.*, 2013; Henriksson *et al.*, 2012). En LCA begränsas även av vilka parametrar som mäts och hur de ska analyseras (Tillman, 2010). Varje parameter sorteras in under en viss kategori av påverkan (*ibid.*). Det finns kategorier som beräknas ge global påverkan, t.ex. global uppvärmning, och det finns kategorier som beräknas ge lokal påverkan, t.ex. övergödning (Cao *et al.*, 2013). Genom att använda utvalda ekvivalentenheter för de olika parametrarna i en kategori kan ett resultat vägas samman av miljöpåverkan från en process eller en produkt (Tillman, 2010). Detta möjliggör jämförelse mellan produkter (Tillman, 2010) och olika produktionssystem (Aubin *et al.*, 2009).

Syftet med denna litteraturstudie är att jämföra lokal och global miljöpåverkan från laxfiskproduktion i öppna odlingssystem (kassar och genomflödessystem) med slutna landbaserade RAS. Även ekonomiska aspekter kommer beskrivas. De arter som kommer att omfattas är Atlantlax (*Salmo salar*), regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) och röding (*Salvelinus alpinus*) odlade för matfiskproduktion.

1 Odlingssystem

1.1 Öppna system

1.1.1 Teknik

Öppna kassodlingar, placerade i sjöar eller hav, är den vanligaste produktionsformen i såväl Sverige som i Norge (SCB, 2016). Kassodlingen består oftast av en rund formation vid vattenytan sammankopplad med ett nät som går ner i vattnet och fungerar som en inhägnande bur (Belle & Nash, 2008). Anordningen är sedan förankrad vid botten eller exempelvis en brygga (ibid.).

Ett annat öppet odlingssystem är landbaserade genomflödessystem där vattenflödet in i odlingen är kontrollerat. Ett genomflödessystem består vanligtvis av avlånga betongbassänger, runda eller kvadratiska tråg av glasfiber eller annan plast eller dammar. Genom pumpar eller naturliga vattenflöden tas vatten från sjöar, bäckar/åar eller hav in i systemet, passerar genom systemet för att sedan pumpas tillbaka till det naturliga vattendraget. I ett genomflödessystem kan det förekomma användning av filter för avfallshantering innan vattnet förs ut ur systemet, medan andra genomflödessystem saknar filter och för tillbaka vattnet obehandlat. En del genomflödessystem använder även extra syretillförsel i bassängerna.

Kemikalieanvändningen är normalt låg. Utrustning som är placerad i marina miljöer för akvakultur kan dock behandlas med anti-påväxtmedel. Detta för att inte vissa växter ska fästa och växa till på utrustningen och behandlingen genomförs då en till två gånger per år (Ziegler, 2010). Toxiciteten i de aktiva substanserna påverkar även organismer som inte är måltavlor (ibid.). Exempel på en typ av anti-påväxtmedel är koppar (ibid.).

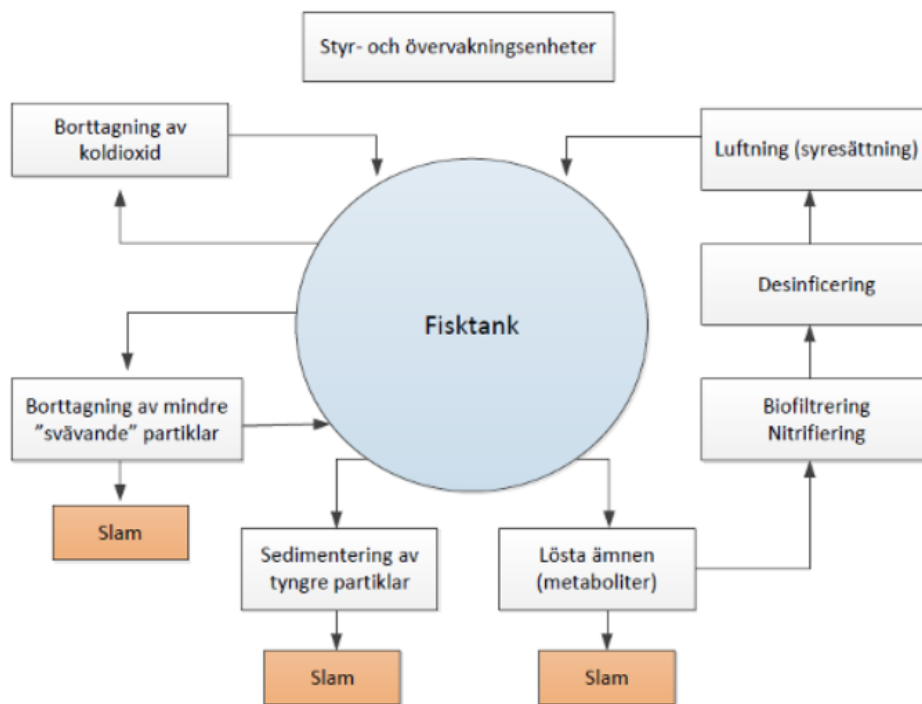
1.1.2 Ekonomi

För ett kassodlingssystem i Norge står den största delen av kapitalkostnaden för licensavgifter, 80 %, medan själva anordningen står för 20 % (Liu *et al.*, 2016). Placering av kassodlingen kan påverka olika faktorer där bland annat produktionskostnaderna är inräknat (Belle & Nash, 2008). Laxlöss (*Lepeophtheirus salmonis*) kan vara ett problem i öppna system och även andra sjukdomar kan tillkomma i det öppna systemet (Liu & Bjelland, 2014). Kostnader för behandlingar mot laxlöss i Norge är ca 10 nok/kg lax generellt (Kiessling, personligt meddelande).

1.2 Slutna system

1.2.1 Teknik

I slutna landbaserade produktionssystem, så kallade recirkulerande akvakultur system (RAS), används pumpar för att cirkulera vattnet som går från fiskenheterna via olika typer av filter för bortfiltrering av avfall, som foderrester och fekalier, och för att rena vattnet från metaboliter och smittämnen, som sedan kan recirkuleras in i fiskenheterna och användas på nytt. Genom att filtrera och recirkulera vattnet kan vattenförbrukningen för produktionen minska samt utsläpp av kväve, fosfor och andra näringsämnen minimeras (Samuel-Fitwi *et al.*, 2013). Fiskarna och även mikroorganismer i enheterna förbrukar syre och därför används pumpar för att tillföra syre till systemet (Department of Primary Industries, 2008). Alternativt kan syre tillsättas i flytande form till systemet (*ibid*). Förutom att förbruka syre produceras koldioxid från metabolismen. Beroende på bland annat densitet i fiskenheterna kan en ackumulation av koldioxid ske som vid för höga halter behöver reduceras, vanligtvis med hjälp av enkelt gasutbyte som dock kräver stor yta och ibland även luftning och/eller justering av pH för att fungera effektivt (Timmons & Vinci, 2010). Filter som används i RAS är både biologiska och mekaniska (Department of Primary Industries, 2008). Både filter och pumpar i RAS kräver tillförsel av energi och beroende på var fiskodlingarna är lokaliserade finns tillgång till olika typer av energikällor med ursprung i t.ex. fossila bränslen eller vattenkraft.



Figur 1. Schematisk bild av RAS. Illustration: Markus Langeland

1.2.2 Ekonomi

För att bygga upp ett landbaserat RAS så är kapitalkostnaden hög och hälften av kostnaden är för det recirkulerande systemet (Liu *et al.*, 2016). Eftersom att odlingen i ett RAS sker under kontrollerade former och inomhus kan en produktion ske året runt.

2 Foder

Tillförsel av foder är gemensamt för alla odlingssystem. Då laxfiskar är rovfiskar, d.v.s. karnivora fiskar, ges ett foder med hög andel protein och olja (Aubin *et al.*, 2009). Fiskingredienserna kan komma från fiske av pelagiska arter och vissa pelagiska fiskebestånd anses vara överfiskade (Ziegler, 2010). Fiskingredienserna kan också komma från fiskrens från förädlingsprocesser.

Det är viktigt att optimera både fodergiva och utfodringsteknik i odlingssystem för att minimera foderspill. Detta dels för att fodertillverkningen kräver energi men också för att foderspillet annars riskerar att bli utsläpp av näringsämnen (Ziegler, 2010).

Foderomvandlingsförmågan hos fiskarna i de olika odlingssystemen är viktig på grund av att fodret ger upphov till en stor miljöpåverkan vid laxodling (Pelletier *et al.*, 2009). Foderomvandlingsförmågan beror på flera faktorer som typ av foder, utfodringsteknik och foderavfall, fiskstorlek och tillväxt, sjukdomar, dödsfall och antal rymda fiskar. Alla eller några av dessa faktorer skulle kunna leda till en mindre negativ miljöpåverkan från laxodlingen (Pelletier *et al.*, 2009).

3 Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) är en metod som började utvecklas 1960-tal (Roy *et al.*, 2009) och används för att kvantitativt bedöma hur mycket miljöpåverkan en produkt eller en process avger från ”vagga-till-grav” (Tillman, 2010). Metoden delas in i fyra olika delar: *Goal and scope definition*, *Life cycle inventory analysis* (LCI), *Life cycle impact assessment* (LCIA) och *Interpretation*.

I första delen *Goal and scope definition* beskrivs vad som ska mätas och även hur detta ska definieras genom att välja den funktionella enheten. För att kunna göra jämförande studier med LCA är det viktigt att välja en passande funktionell enhet (Cao *et al.*, 2013) vilken blir basen för jämförelsen (Henriksson *et al.*, 2012). I en översiktsartikel av Henriksson *et al.* (2012) jämfördes 12 LCA-studier gjorda på akvakultur. Den vanligaste funktionella enheten på fiskodlingar var 1 ton levande fisk. I första delen definieras även vilka gränser som kommer att sättas d.v.s. hur begränsas studien och vilka påverkande delar ska inkluderas och hur ska dessa bedömas t.ex. mäta miljöpåverkan tills dess en produkt lämnar produktionssystemet (Tillman, 2010, Cao *et al.*, 2013). I fiskodlingssystem blir detta således när fisken blivit slaktad och transporteras från odlingen. Det finns standarder och rekommendationer för dessa val, och resterande delar av studien ska följa dessa men detta innebär också att livscykelanalyser kan se mycket olika ut (Tillman, 2010) vilket kan försvåra jämförelser mellan produkter och processer vid händelse av att undersökta parametrar skiljer sig.

Andra delen av LCA, LCI, analyserar vad det finns för inflöden och utflöden från ”vagga-till-grav” i produkten eller processen (Tillman, 2010). Exempel på inflöde i laxfiskodling kan vara foder och utflöde kan vara utsläpp av näringsämnen. Dokumentation sker av produktionsprocess, datainsamling samt beräkning av inflöden och utflöden i relation till den tidigare valda funktionella enheten (Roy *et al.*, 2009). Exempel applicerat på fiskodlingssystem blir då inflöden och utflöden i relation till 1 ton fisk.

Tredje delen LCIA går ut på att tolka flöden och miljöpåverkan som blivit kvantifierade i LCI. Här sker även sortering i påverkanskategorier genom karaktärisering

och klassificering av parametrar beroende på vilken miljöpåverkan de genererar (Tillman, 2010). Vanligtvis brukar en LCA innehålla 7-15 påverkanskategorier och dessa uttrycker samhällets syn på vad som är miljöproblem (ibid.). I översiktsartikeln av Henriksson *et al.* (2012) hade alla 12 undersökta LCA-studier kategorierna klimatförändring, försurning och övergödning. Andra kategorier i LCA av akvakultur kan vara vattenanvändning, energianvändning, biotisk utarmning av resurser (Cao *et al.*, 2013) och konkurrens av land (Samuel-Fitwi *et al.*, 2013).

Fjärde och sista delen som kallas interpretation utgör analysen av resultaten och identifikation av så kallade hotspots (Tillman, 2010). Detta är ett viktigt inslag i LCA och ska belysa vilken eller vilka delar av processen som ger mest miljöpåverkan samt av vilken typ (ibid.). I denna del ska även rekommendationer och slutsats beskrivas samt reliabiliteten av studien bedömas (Henriksson *et al.*, 2012).

Utöver ovan nämnt är en annan viktig aspekt i livscykelanalysen helhetstänket som ska undvika problembyte mellan typer av miljöpåverkan eller byte av i vilken process miljöpåverkan sker (Tillman, 2010). Genom LCA på odlingssystem för lax-fisk så kan kvantifiering av miljöpåverkan från de olika processerna identifiera vad som kan effektiviseras (Samuel-Fitwi *et al.*, 2013) och odlingssystemen kan förbättras (d'Orbcastel *et al.*, 2009). LCA tillåter även att jämförande studier görs mellan odlingssystem (Aubin *et al.*, 2009). Genom att göra en LCA-metod mer anpassad för akvakultur skulle jämförande analyser av odlingssystemen kunna underlättas (Cao *et al.*, 2013). Detta skulle även kunna förhindra att ett eventuellt skifte av miljöproblem uppstår om samma mängd odlad fisk i öppna system ska övergå att odlas i slutna system vilket Ayer & Tyedmers (2009) analyserar i en LCA. En annan viktig del som Henriksson *et al.* (2012) argumenterar för är behov av noggrann beskrivning i utförda LCA för att underlätta förståelse för studier och därmed förenkla jämförande analyser mellan olika studier.

Följande diskussion kommer att grundas på inflöden eller kategorier av miljöpåverkan som bland annat Ziegler (2010) har identifierat som de faktorer som är mest associerade med akvakultur: utsläpp av näringsämnen och kemikalier, interaktion med vilda fiskbestånd och biologisk mångfald, energianvändning och klimatpåverkan samt foder. Även lokal och global miljöpåverkan, ekonomiska aspekter och metoden LCA kommer diskuteras.

4 Diskussion

4.1 Foder

Vilken grad av foderomvandlingsförmåga som finns hos fiskarna varierar mellan olika studier och odlingssystem, men ett flertal författare har dragit slutsatser, att en förbättrad foderomvandlingsförmåga skulle leda till mindre miljöpåverkan i de flesta eller samtliga av deras valda påverkanskategorier i LCA (d'Orbcastel *et al.*, 2009; Papatryphon *et al.*, 2004) Den kategori som skulle bli mest påverkad är enligt Papatryphon *et al.* (2004) är övergödning.

I studien utförd av Ayer & Tyedmers (2008) med jämförelse av olika odlingssystem så hade RAS störst foderkonsumtion per ton producerad fisk. I denna studie rådde dock en hög dödlighet hos fiskarna under tillväxten i RAS och därför går det ej att dra en generell slutsats från detta. d'Orbcastel *et al.* (2009) konstaterar istället att fiskarna i deras RAS hade bättre foderomvandlingsförmåga än fiskarna i de öppna odlingssystemen.

d'Orbcastel *et al.* (2009) konstaterar även att oavsett genomflödessystem eller RAS så står fodret för mer än hälften av all total miljöpåverkan och att det är foderanvändningen snarare än odlingssystemet som påverkar alla kategorier utom två, där de två undantagen skulle vara vattenanvändning och energi. Foder har enskilt störst påverkan på både resursanvändningen och utsläppen i en kassodling i en LCA-studie av Pelletier *et al.* (2009).

I LCA-studien av Ayer & Tyedmers (2009) var 85 % av all total miljöpåverkan från en kassodling foderrelaterad. Foder dominerade i fem av de sju påverkanskategorier som de valt att undersöka (*ibid.*). I genomflödessystemen var foder dominerande i fyra av dessa sju kategorier (*ibid.*). I RAS var foder den kategori som genererade näst mest miljöpåverkan medan elektricitet användningen stod för mest påverkan (*ibid.*).

4.2 Utsläpp av näringsämnen och kemikalier

I två genomflödessystem i en studie av Samuel-Fitwi *et al.*, (2013) visades att utsläpp av kväve och fosfor från avfallsvatten bidrog till den största delen av påverkan på övergödningspotentialen. Samma typ av utsläpp registrerades i kassodlingssystem i en studie av Ayer & Tyedmers (2009) samt att genomflödessystem, som var utan filter, hade 80 % av total påverkan på övergödning på grund av utsläpp av näringsämnen. Författarna såg ingen skillnad mellan kassodlingen och genomflödessystemet gällande utsläpp av slaggprodukter till den marina miljön (*ibid.*).

I kassodling har utsläpp av koppar och anti-påväxtmedel med påverkan på den marina toxiciteten visats av Ayer & Tyedmers (2009). Miljöpåverkan från läkemedelsrester och dess kemikalier från bland annat behandlingar mot laxlöss är inte helt kända (Ziegler, 2010). Risken för smittspridning mellan vilda och odlade fiskar är dessutom större i sjö- och havsbaserade system (*ibid.*).

I ett RAS kan direkta emissioner av avfallsvatten med kväve och fosfor undvikas då vattnet passerar både mekaniska och biologiska filter, vilket gör att vattnet kan återanvändas (Samuel-Fitwi *et al.*, 2013).

4.3 Interaktion med vilda fiskbestånd och biologisk mångfald

Den lokala biologiska mångfalden kan påverkas både positivt och negativt av en kassodling. Utrustningen kan ge skydd till det bentiska ekosystemet mot fysisk påverkan från bland annat båtar samtidigt som den skapar mer habitat för biologiska organismer (Belle & Nash, 2008). Det krävs att odlingen är lämpligt placerad för att detta ska kunna vara möjligt (*ibid.*). Foderrester som läcker ut från en fiskodling kan gynna viltlevande organismer (Diana, 2009). Dock kan det i vattenbaserade öppna system ske rymningar eller interaktioner mellan de odlade fiskarna och vilda bestånd, exempelvis en smittspridning (Ziegler, 2010). Ett problem i kassodlingar i Norge är laxlöss (Liu & Bjelland, 2014). Sjukdomar och parasiter sprids lätt i fiskodlingar på grund av en hög densitet bland fiskarna (Ziegler, 2010). I jämförande studien av Ayer & Tyedmers (2009) minskade rymningar och interaktioner med vilda fiskar betydligt i ett genomflödessystem i jämförelse med kassodling. I och med att genomflödessystem kan vara baserade både på land och i vatten så kan de skilja sig vad gäller kontroll av rymningar och smittspridning, där de vattenbaserade är svårare att kontrollera (Ziegler, 2010). Det är inte troligt att det skulle ske rymningar från RAS (Department of Primary Industries, 2008).

Regnbåge är för Sverige en importerad art och ska inte förekomma naturligt i våra vatten. Rymningar av främmande arter kan utgöra en ekologisk risk om de

överlever och reproducerar sig (Ziegler, 2010) då de kan bli invasiva arter som ändrar ekosystem (Belle & Nash, 2008). Rymning av arten regnbåge skulle därmed kunna utgöra en risk gällande miljöpåverkan. Dock har arten svårt att reproducera sig i svenska vatten. Även rymning av domesticerade inhemska laxfiskar riskerar ha en miljöpåverkan på det lokala ekosystemet.

4.4 Energianvändning och klimatpåverkan

I kassodlingar krävs ingen tillförsel av syre eller energi för att pumpa vatten då en omsättning av vatten orsakas av naturliga vattenströmmar.

I ett genomflödessystem kan tillgänglighet av elektricitet ge olika resultat för en LCA, eftersom systemet kräver elektricitet för att pumpa och cirkulera vatten och detta är en hotspot för genomflödessystem (Ayer & Tyedmers, 2009). Beroende på om genomflödessystemet är land eller vattenbaserat krävs också olika mycket energi för att pumpa vattnet (Ziegler, 2010).

I RAS krävs elektricitet för pumpar och annan utrustning som fläktar och kylare m.m. I studien av Ayer & Tyedmers (2009) stod elektriciteten för 80 % av all påverkan i LCA från ett RAS. I denna anläggning var 80 % av energin genererad från kol. Utsläpp från transporter och energianvändning är viktiga faktorer i en LCA och genom att placera ett RAS närmare marknaden kan transporter minskas från produktionen till konsumenten (Liu *et al.*, 2016). Liu *et al.* (2016) har dragit en slutsats i deras jämförande LCA att RAS har större klimatpåverkan än kassodling om inte transporter till marknaden (i detta fall USA) räknas in. Vid inkludering av transport via flyg från Norge till USA visade kassodlingen på en större miljöpåverkan än RAS med drygt 15 koldioxidekvivalenter respektive drygt 7 koldioxidekvivalenter (ibid.). Beroende på vilken form av energikälla kunde RAS även minska sin miljöpåverkan med drygt 3 koldioxidekvivalenter vid byte från energi av mestadels fossila bränslen till energi genererad från 90 % vattenkraft (ibid.).

4.5 Ekonomi

Driftskostnaden för de olika systemen är relativt lika då ränta och avskrivningskostnader inte är medräknade (Liu *et al.*, 2016). Det är dock vanligen högre driftskostnad i det slutna systemet beroende på var anläggningen är lokaliserad, då kostnader för bland annat elektricitet och transporter varierar (ibid.). Den största driftskostnaden i både öppna och slutna system är foder vilket står för mellan 34-41% av den totala kostnaden och en liten ändring i foder skulle kunna innebära en stor ändring i foderkostnader (ibid.).

En utmaning enligt Dalsgaard *et al.* (2013) för att en produktion med RAS ska vara ekonomiskt hållbar är att det krävs en intensiv och storskalig produktion. Detta på grund av hög kapitalkostnad från investeringskostnader samt driftskostnader (*ibid.*). I studien av Liu *et al.* (2016) är kapitalkostnaden för ett RAS 80 % högre än en kassodling i Norge vid samma produktionsstorlek. Även ett genomflödessystem måste producera stora volymer fisk om det ska vara ekonomiskt gynnsamt jämfört med ett öppet kassesystem (Ayer & Tyedmers, 2009). Det är större kostnader för genomflödessystem än RAS gällande vattenpumpar för att fylla på med nytt vatten i systemet, men det krävs mer energi för att syresätta vattnet i RAS (d'Orbcastel *et al.*, 2009). Andra faktorer, förutom produktionsvolym, som kan påverka ekonomisk hållbarhet i systemen är förädlingsgrad samt antal distributionsled (Kiessling, personligt meddelande).

De olika laxfiskarna är också olika ekonomiskt värderade, regnbåge är en art av låg/mellan-värde (Dalsgaard *et al.*, 2013) medan röding är en högt värderad art (Gunnarsson, 2006 se Dalsgaard *et al.*, 2013). Användningsområde för LCA har ovan beskrivits som en metod för att hitta potentiella förbättringsmöjligheter ur ett miljöperspektiv men kan också användas för att analysera om en process är kostnadseffektiv (Tillman, 2010).

4.6 Grader av lokal och/eller global miljöpåverkan

Det finns flera faktorer som kan påverka graden av miljöpåverkan från kassodling vilket bland annat är produktionsintensitet, var odlingen är placerad då olika platser har olika bärkraft och vilken art som odlas (Belle & Nash, 2008).

Om det kan bekräftas att mindre foder behövs i ett RAS så skulle det enligt d'Orbcastel *et al.* (2009) medföra att RAS skulle vara bättre än genomflödessystem i alla deras valda påverkanskategorier förutom energianvändning. Studien av Ayer & Tyedmers (2009) konstaterar att ett byte från kassodling till RAS skulle kunna medföra ökade problem i globala kategorier som klimatpåverkan, försurning och användning av abiotiska resurser men en minskning i de kategorier av miljöproblem som är förenade med kassodlingen idag. Cao *et al.* (2013) skriver att RAS ger mindre miljöpåverkan än öppna system gällande övergödning och bevarandet av biologisk mångfald men ger större påverkan gällande klimatpåverkan och energianvändning. Även Dekamin *et al.* (2015) har i deras jämförande LCA-studie dragit en slutsats att en större produktion från RAS istället för genomflödessystem skulle minska på de lokala påverkanskategorierna men skulle kunna ge en högre global påverkan, bland annat global uppvärmning.

Slutsats

Öppna odlingssystem för laxfiskar har en mer lokal miljöpåverkan än vad slutna odlingssystem har. Slutna odlingssystem riskerar att ha en mer global miljöpåverkan än vad öppna odlingssystem beroende i första hand beroende på den högre energi-användningen. Vilket system som har mest miljöpåverkan totalt går inte att säga och beror på fler faktorer som t.ex. lokalisering och tillgång till energi. Livscykelanalys kan vara en bra metod för att utvärdera systemen och identifiera förbättringsmöjligheter för laxfiskodlingar.

Tack

Tack till min handledare Markus Langeland för vägledning och engagemang. Jag vill även rikta ett tack till min skrivgrupp och skrivgruppshandledare Dirk-Jan de Koning.

Referenslista

- Aubin, J., Papatryphon, E., van der Werf, H.M.G., Chatzifotis, S., (2009). Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 17, 354–361. doi:10.1016/j.jclepro.2008.08.008
- Ayer, N.W., Tyedmers, P.H., (2009). Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *J. Clean. Prod.* 17, 362–373. doi:10.1016/j.jclepro.2008.08.002
- Belle, S.M., Nash, C.E. (2008). Better Management Practices for Net-Pen Aquaculture. I: Tucker, C.S., Hargreaves, J.A. (Eds.), 2008. Environmental best management practices for aquaculture, 1st ed. ed. Wiley-Blackwell ; U.S. Aquaculture Society, Ames, Iowa : [Baton Rouge, LA].
- Cao, L., Diana, J.S., Keoleian, G.A., (2013). Role of life cycle assessment in sustainable aquaculture: LCA in sustainable aquaculture. *Rev. Aquac.* 5, 61–71. doi:10.1111/j.1753-5131.2012.01080.x
- d'Orbcastel, E.R., Blancheton, J.-P., Aubin, J., (2009). Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquac. Eng.* 40, 113–119. doi:10.1016/j.aquaeng.2008.12.002
- 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. *Aquac. Eng.* 53, 2–13. doi:10.1016/j.aquaeng.2012.11.008
- Dekamin, M., Veisi, H., Safari, E., Liaghati, H., Khoshbakht, K., Dekamin, M.G., (2015). Life cycle assessment for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production systems: a case study for Iran. *J. Clean. Prod.* 91, 43–55. doi:10.1016/j.jclepro.2014.12.006
- Department of Primary Industries, (2008). Best practice environmental management guidelines for recirculating aquaculture systems. Dept. of Primary Industries, Fisheries Victoria, Melbourne.
- Diana, J.S., (2009). Aquaculture Production and Biodiversity Conservation. *BioScience* 59, 27–38. doi:10.1525/bio.2009.59.1.7
- FAO (Ed.), (2016). Contributing to food security and nutrition for all, The state of world fisheries and aquaculture. Rome.
- Henriksson, P.J.G., Guinée, J.B., Kleijn, R., de Snoo, G.R., (2012). Life cycle assessment of aquaculture systems—a review of methodologies. *Int. J. Life Cycle Assess.* 17, 304–313. doi:10.1007/s11367-011-0369-4
- Liu, Y., Bjelland, H. vanhauwaer, (2014). Estimating costs of sea lice control strategy in Norway. *Prev. Vet. Med.* 117, 469–477. doi:10.1016/j.prevetmed.2014.08.018
- Liu, Y., Rosten, T.W., Henriksen, K., Hognes, E.S., Summerfelt, S., Vinci, B., (2016). Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): Land-based closed containment system in freshwater and open net pen in seawater. *Aquac. Eng.* 71, 1–12. doi:10.1016/j.aquaeng.2016.01.001
- Mark- och miljööverdomstolen (2017c). Dom 2017-03-31. Stockholm. Målnummer M 8673-15.
- Mark- och miljööverdomstolen (2017). Dom 2017-03-13. Stockholm. Målnummer M 8882-15.
- Mark- och miljööverdomstolen (2017b). Dom 2017-03-13. Stockholm. Målnummer M 2620-16.

- Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Schneider, O., Blancheton, J.P., d'Orbcastel, E.R., Verreth, J.A.J., (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquac. Eng.* 43, 83–93. doi:10.1016/j.aquaeng.2010.09.002
- Papatryphon, E., Petit, J., Kaushik, S.J., van der Werf, H.M.G., (2004). Environmental Impact Assessment of Salmonid Feeds Using Life Cycle Assessment (LCA). *AMBIO J. Hum. Environ.* 33, 316–323. doi:10.1579/0044-7447-33.6.316
- Pelletier, N., Tyedmers, P., Sonesson, U., Scholz, A., Ziegler, F., Flysjo, A., Kruse, S., Cancino, B., Silverman, H., (2009). Not All Salmon Are Created Equal: Life Cycle Assessment (LCA) of Global Salmon Farming Systems. *Environ. Sci. Technol.* 43, 8730–8736. doi:10.1021/es9010114
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., Shiina, T., (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *J. Food Eng.* 90, 1–10. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016
- Samuel-Fitwi, B., Nagel, F., Meyer, S., Schroeder, J.P., Schulz, C., (2013). Comparative life cycle assessment (LCA) of raising rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in different production systems. *Aquac. Eng.* 54, 85–92. doi:10.1016/j.aquaeng.2012.12.002
- Tillman, A-M. (2010). Methodology for Life Cycle Assessment. I: Sonesson, U., Berlin, J., Ziegler, F. (Eds.), 2010. Environmental assessment and management in the food industry: life cycle assessment and related approaches, Woodhead Publishing series in food science, technology and nutrition. WP, Woodhead Publ, Oxford., pp.59-82.
- Timmons, M.B. & Vinci, B., (2010). Gas Transfer, I: Timmons, M.B. & Ebeling, J.M. (red), *Recirculating Aquaculture*, 2 ed. New York: Cayuga Aqua Ventures, ss. 425-470.
- Statistiska Centralbyrån. (2016). Vattenbruk 2015. (Statistiskt meddelande No. JO 60 SM 1601). Sveriges officiella statistik.
- Sverige, Betänkande av Vattenbruksutredningen, (2009). Det växande vattenbrukslandet. Fritzes kundtjänst, Stockholm.
- Ziegler, F. (2010). Challenges in assessing the environmental impacts of aquaculture and fisheries. I: Sonesson, U., Berlin, J., Ziegler, F. (Eds.), 2010. Environmental assessment and management in the food industry: life cycle assessment and related approaches, Woodhead Publishing series in food science, technology and nutrition. Woodhead Pub, Oxford, UK ; Philadelphia, PA., pp. 142-161.