
BILAGA 2D

MATFISKODLARNNA SVERIGE AB

Livscykelanalys av svensk odling av fisk i öppna system och recirkulerande system. Teoretisk jämförelse med tidigare LCA-studier av svensk produktion av fågel, nöt och fläsk

UPPDRAGSNUMMER 1655423000



FOTO: D. WIKBERG

SLUTVERSION

2018-08-21

Sweco Environment AB

Wenche Hansen, Uppdragsledare

Martyna Mikusinska, Miljövetare

Veronica Sund, Miljövetare

Linnea Persson, Civilingenjör

Sammanfattning

I denna studie har miljöpåverkan från två odlingsmetoder för matfiskodling av regnbåge/röding i Sverige undersökts. Undersökta odlingsmetoder är kassodling och odling med slutet landsbaserat recirkulerande system (RAS).

Kassodling är den idag mest utbredda matfiskodlingsmetoden i Sverige. Fisken odlas i öppna nätkassar och utfodras med torrfoder. Vatten flödar fritt genom kassarna, vilket ger en god genomströmning, samtidigt som systemet besitter en viss känslighet för yttre påverkan. Underlagsdata för kassodling har hämtats från Svenska Matfiskodlarnas verksamhet.

Fiskodling med RAS är fortfarande relativt obeprövat i Sverige och har undersökts med hjälp av data för anläggningar i utlandet och genom beräkningar. I en RAS-anläggning odlas fisken i bassänger som är avskilda från kringliggande sjöar och vattendrag. Vattnet i bassängerna är kopplat till ett reningsverk vilket möjliggör att det i hög grad kan recirkuleras i anläggningen.

Resultaten från jämförelsen visar att RAS-odlingen medför högst miljöpåverkan inom kategorierna klimatpåverkan, försurning och energianvändning. Den omfattande pumpningen samt reningen av vatten vid denna anläggning medför en hög energianvändning, vilket ger utslag på miljöpåverkan. Kassodlingen medför emellertid störst påverkan inom utsläpp av näringsämnen, på grund av de direkta utsläppen till vatten från odlingen.

Studien visar också att foderanvändningen är av störst betydelse för resultaten inom klimatpåverkan, utsläpp av näringsämnen samt försurning, både för kassodling och odling med RAS.

En översiktlig jämförelse av klimatpåverkan från matfiskodling i denna studie, med resultat från tidigare genomförda studier för andra köttslag visar att regnbåge står sig bra jämfört med nöt och fläsk, medan kyckling ger lägst klimatpåverkan av alla köttslag i jämförelsen.

På en generell och övergripande nivå, oavsett odlingsssystem, visar denna studie att en stor källa till belastning på miljön från odling av fisk är foder. För att minska miljöpåverkan från fodret bör redan påbörjat arbete med att ta fram nya foderrecept, justera fodersammansättningen, hitta nya proteinkällor i foder som inte konkurrerar med människoföda etc, fortskrida.

En annan viktig del i detta är även att öka återanvändandet av resurser och sluta kretsloppet, dvs att vi möjliggör återvinning och återanvändning av det avfall som produceras inom livsmedelssektorn.

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Livscykelanalys	6
2	Definition av mål och omfattning	8
2.1	Mål	8
2.2	Funktionell enhet	8
2.3	Avgränsningar	8
3	Tidigare studier	11
4	Metod	13
4.1	Data	13
4.2	Antaganden	14
4.3	Allokeringar	14
4.4	Beräkningar	15
4.5	Miljöpåverkanskategorier	16
5	Livscykelinventering (LCI)	18
5.1	Kassodling	18
5.2	Slutet landbaserat recirkulerande odlingssystem (RAS)	22
5.3	Viktiga inventerade parametrar	25
5.4	Sammanställning av generiska data	29
6	Klimatpåverkan från annan animalisk produktion	29
6.1	Jämförbara underlag från klimatdatabasen	29
7	Resultat	30
7.1	Odling av matfisk	30
7.2	Jämförelse av klimatpåverkan med annan animalisk produktion	35
7.3	Känslighetsanalys	36
8	Antibiotikaanvändning inom livsmedelsindustrin	39
9	Diskussion och slutsatser	40
9.1	Slutsatser och rekommendationer	41
10	Referenser	44

Bilagor

Bilaga 1 - Beräkning av utsläpp till vatten från odling av fisk i öppna system och recirkulerande system

Bilaga 2 - Listor materialprocesser.

1 Inledning

I takt med att världens befolkning ökar, växer även efterfrågan på mat, vatten och energi. En stor global utmaning är att producera livsmedel för världens ökande population, vilken enligt FN-prognoser förväntas vara ca 9,6 miljarder år 2050. Att producera näringsrik mat till alla människor på ett samtidigt socialt och miljömässigt hållbart sätt har kommit att utvecklas till en av mänsklighetens stora framtidsutmaningar.

I dag produceras majoriteten av våra livsmedel på land och endast några få procent av den totala livsmedelsproduktionen kommer från vattenlevande djur (fisk och skaldjur). Mer än hälften av den sjömat som produceras i världen kommer från vildfångst. Samtidigt är många av de vilda matfiskbestånden i världshaven idag överfiskade, och att fortsätta överexploatera dessa bestånd i samma takt som nu riskerar att leda till att de försvinner.

Då ca 71% av jordens yta täcks av oceaner och sötvatten, finns det en stor potential för utveckling inom livsmedelsproduktion genom vattenbruk (odling av fisk, alger, musslor och kräftdjur m.fl.). Mat producerad i vatten har en stor potential som både hälsosam och hållbart producerad mat. Fisk och skaldjur är viktiga proteinkällor och rika på omega 3-fetter, vitaminer och viktiga spårämnen. Livsmedelsverkets rekommendationer är att vi bör äta fisk och skaldjur två till tre gånger per vecka. För stora grupper av befolkningen innebär detta att konsumtionen borde öka. Siffror från FN:s livsmedels- och jordbruksorganisation (FAO) samt EU:s databas för marknadsbevakning av fiskeri- och vattenbruksprodukter (EUMOFA) visar på ökande konsumtion av sjömat i Sverige de senaste åren (Ziegler & Bergman, 2017).

Vi äter idag ca 11 kg fiskkött (inklusive skaldjur) per person och år i Sverige. Detta motsvarar ungefär 25 kg hel fisk per person. Ungefär 60% av denna fisk är vildfångad medan 40% är odlad, och totalt är runt 25% MSC- eller ASC-certifierad. Merparten av fisk- och skaldjursintaget (ca 74 %) utgörs av importerade produkter, medan runt 20 % kommer från svenskt fiske, och drygt 6% har sitt ursprung i svenskt vattenbruk (Ziegler & Bergman, 2017). En stor andel av den importerade fisken kommer från Norsk fiskindustri, och en ansenlig del av detta härstammar från fiskodlingar. Fisk från svenskt vattenbruk utgör en liten del av den totala konsumtionen, men skulle med rätt förutsättningar kunna växa i omfång, och på sikt utgöra ett mer lättillgängligt och regionalt framtaget alternativ till annan matfisk.

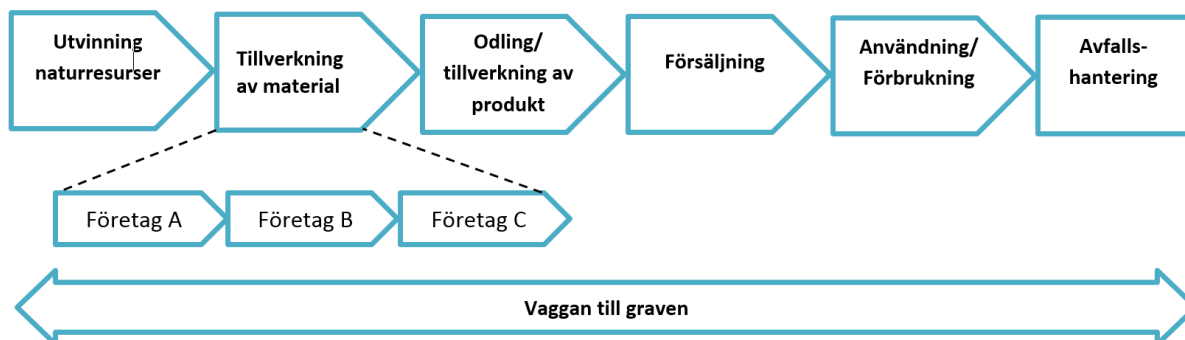
I takt med att bestånden av fisk och skaldjur i världshaven har minskat, har vattenbruk fått en ökad betydelse för att fylla den ökande efterfrågan. Att ersätta fiskbaserade produkter med odlade för att minska trycket på världens fiskbestånd förutsätter dock att odlingsarterna har ett lägre behov av fiskinnehåll i fodret och att arterna som odlas föds upp på biprodukter från fiske, marina arter som har god beståndsstatus alternativt landbaserade ingredienser. Om odlad fisk kan bli ett hållbart proteinalternativ i jämförelse med landlevande djur såsom fågel, svin och idisslare skulle den kunna utgöra en potentiell ersättare med ett mindre ekologiskt fotavtryck och på så sätt bidra till en mer hållbar livsmedelsproduktion.

I Sverige förekommer vattenbruk på ett antal orter runt om i landet. Enligt Statistiska Centralbyrån fanns det 2016 i hela riket 64 matfiskodlingar, 56 sättfiskodlingar, 17 odlingar för matkräftor, 5 odlingar för sättkräftor, 17 musselodlingar och 2 ostronodlingar. I denna rapport ligger emellertid fokus på mat- och sättfiskodlingarna.

Mellan 2007 och 2016 har antalet matfiskodlingar av den dominerande odlingsfisken regnbåge minskat från 76 till 55 medan de mer sparsamt förekommande rödingsodlingarna minskat från 14 till 9 odlingar. Däremot har mängden producerad matfisk¹ ökat från ca 4900 ton år 2007 till drygt 13 000 ton år 2016, vilket visar att utvecklingen har gått mot färre men större odlingsverksamheter (SCB, 2017).

1.1 Livscykelanalys

I denna rapport redovisas resultat från en genomförd livscykelanalys (LCA) av svensk fiskodling, baserad på produktionsdata från odlare anslutna till branschorganisationen Matfiskodlarna. Tillsammans står medlemsföretagen för cirka 95% av den svenska produktionen av röding/regnbåge. I en livscykelanalys kartläggs den miljöpåverkan en produkt eller tjänst ger upphov till under dess livstid, dvs från det att varan framställs till och med att den är förbrukad och tas om hand som avfall. Perspektivet där hela livscykeln omfattas brukar kallas "från vaggan till graven" (cradle to grave).



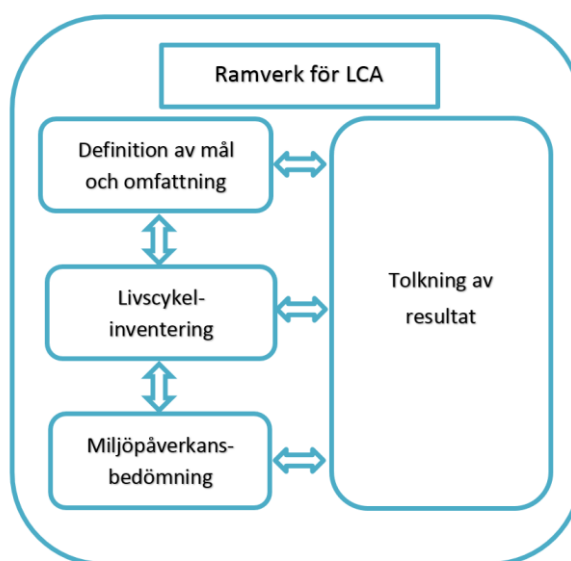
Figur 1: Schematisk figur över en produkts livscykel.

En LCA kan även genomföras på delar av livscykeln. Det är vanligt att producerande företag endast undersöker påverkan från de faser i livscykeln som de själva har rådighet över, dvs. deras produktion samt faserna uppströms. Omfattningen på en sådan LCA kallas "vaggan till port" (cradle to gate).

¹ Mängden avser hel färskvikt, motsvarar enl. SCB 11 417 ton slaktad fisk.

Direktiv för hur LCA-metodiken ska vara strukturerad finns i ISO-standarderna 14040 och 14044 (SIS, 2006a; SIS, 2006b). Enligt standarden delas genomförandet av en livscykelanalys upp i fyra olika delar:

- En definition av mål och omfattning. I denna del fastslås studiens syfte, skälet till att den genomförs, de systemgränser som används för studien och vilken funktionell enhet som ska användas som den centrala räknebasen, dvs som resultaten presenteras i relation till. Ett exempel på funktionell enhet kan vara 1 kg hel fisk vid odlingsgrund.
- En livscykelinventering (LCI), där all data som ligger till grund för rapporten redogörs för.
- En miljöpåverkansanalys (LCIA – från engelskans life cycle impact assessment), som är en resultatdel där produktens miljöpåverkan redogörs för genom en uppdelning i ett antal miljöpåverkanskategorier.
- En analysdel, där resultaten diskuteras mot bakgrund av studiens mål och omfattning. I denna del kan även känslighetsanalyser genomföras och eventuella möjligheter till förbättringar diskuteras.



Figur 2: De fyra huvudstegen vid genomförandet av LCA.

Livscykelanalys är en iterativ metod vilket betyder att de olika delarna inte kan göras en efter en, utan att resultaten från en del påverkar övriga delar. Efter att ha genomfört datainsamling och analys kan exempelvis avgränsningar (definition av mål och omfattning) behöva justeras efter att ny information om det undersökta systemet framkommit.

I denna studie har ISO-14044 använts som grundläggande vägledning.

2 Definition av mål och omfattning

2.1 Mål

Målet med denna studie är att genomföra en livscykelanalys av svensk fiskodling av laxfiskar (regnbåge och röding) vid befintlig produktion i form av kassodling. Inom ramen för denna studie inkluderas även en analys av ett landbaserat slutet system (RAS). Resultaten från dessa systemanalyser ställs mot varandra samt mot jämförbara resultat från tidigare LCA-studier av svensk produktion av fågel, nöt och fläsk.

Studien syftar till att ta fram tillförlitlig dokumentation för miljöpåverkan från olika aktuella fiskodlingsmetoder för laxfiskar i Sverige idag. Rapporten och resultaten ska användas som informativt kommunikationsmaterial och kommer vara offentligt tillgängliga.

Målgruppen för studien är främst verksamhetsutövare inom fiskodlingsnäringen, myndigheter och andra intressenter.

Studien har utförts av Sweco Environment AB på uppdrag av Matfiskodlarna Sverige AB.

2.2 Funktionell enhet

Syftet med en funktionell enhet är att den ska vara praktiskt mätbar, avspegla produktens nytta och fungera som en räknebas i livscykelanalysen. I denna rapport är den funktionella enheten **1 kilo animaliskt protein²**, från svenskodlad regnbåge eller röding, vid fiskodlingsgrinden (för definition av livscykelstadierna *vagga till grind* se avsnitt 2.3.1).

2.3 Avgränsningar

För att göra datainsamlingen i en LCA hanterbar görs avgränsningar inom den undersökta produktens livscykel samt mellan undersökt produkts livscykel och andra produkters livscykler som berörs. Gränsdragningen ska göras med hänsyn till studiens syfte, så att de viktigaste miljöpåverkande aspekterna i det undersökta systemet tas med. Samtidigt måste detaljeringsgraden anpassas så att studien ska kunna genomföras inom en rimlig tids- och resursram.

2.3.1 Avgränsning av det undersökta systemet

Denna livscykelanalys inkluderar livscykelfaserna ifrån vagga till fiskodlingsgrind, vilket omfattar alla faser fram till och med strupskärning av den upptagna fisken.

Inkluderade livscykelfaser är:

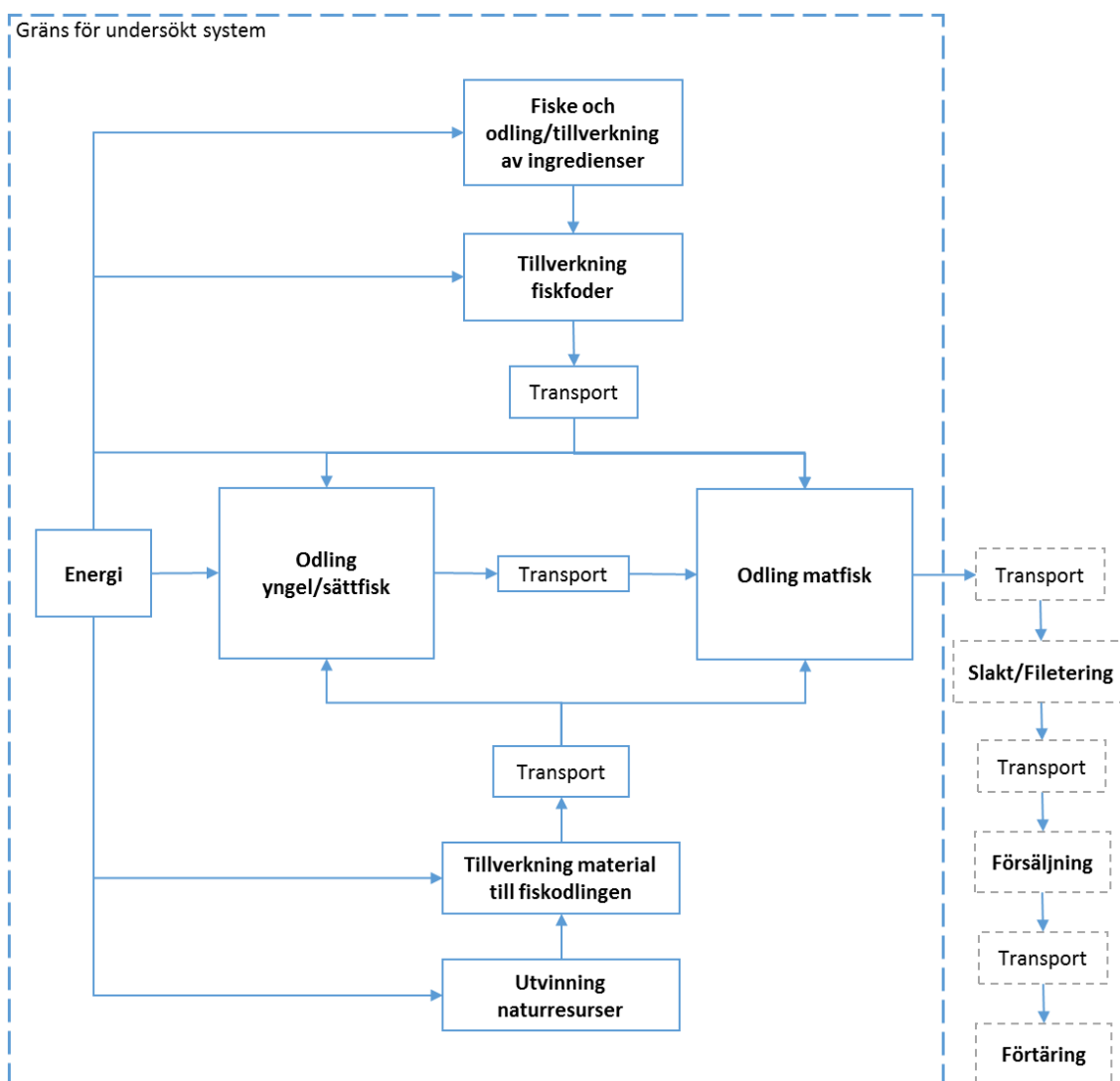
- Tillverkning av infrastruktur/material som används vid fiskodling
- Tillverkning av insatsvaror vid fiskodlingen (fiskfoder, elektricitet, övrig energianvändning vid odlingarna)

² Detta motsvarar ca 14,4 % av fiskens levandevikt. För vidare information se avsnitt 4.4.1.

- Transporter i tidigare livscykelkedan och till fiskodlingen
- Miljöpåverkan från hanteringen efter fiskodlingsgrinden (slakt, filetering, transporter, hantering i butik, tillagning samt avfallshantering av restprodukter) skiljer sig inte åt mellan de olika fiskodlingsteknikerna och har därmed lämnats utanför studien.

I undersökta kassodlingar odlas till största del regnbåge, men även en viss andel röding. Skillnader mellan odling av regnbåge och röding har inte undersökts i denna studie utan ett medel för regnbåge/röding har beräknats. Resultaten presenteras ändå separat för regnbåge respektive röding eftersom proteinhalten i dessa arters kött är olika, varvid omräkningen till den funktionella enheten (1 kg animaliskt protein) skiljer sig något. Det ska noteras att skillnaderna i resultaten mellan röding och regnbåge endast utgörs av proteinhalten i köttet, och att eventuella skillnader i produktionen inte har beaktats i denna studie.

Produktionen av fiskyngel, sker på annan plats än den behållare där fisken når skördemogen ålder. Denna inledande uppfödningens verksamhet, samt eventuella transporter mellan anläggningarna inkluderas i analysen. De allra tidigaste stadierna i ynglens livscykel, såsom kläckning och första odlingstiden har inte analyserats. Insamlade data för energi- och materialanvändning vid odling av yngel och sättfisk har använts för analys av fiskens livscykel fram till dess att de väger 100 g.



Figur 3 Översiktligt flödesschema för livscykelanalys av fiskodling. Den streckade blå linjen indikerar var systemgränsen går och vilka delar av livscykeln som är inkluderade respektive exkluderade i studien.

Systemgränsen har satts vid fiskodlingsgrinden. Således ingår inte försäljning, konsumtion eller efterföljande avfallshantering. Även slakt och rensning av fisken, samt transporter som sker efter att fisken har passerat fiskodlingsgrinden exkluderas.

Syftet med att sätta systemgränsen vid grinden och att exkludera slaktprocessen är att processerna inom dessa livscykelfaser inte påverkar produktionen av den odlade fisken. Därmed medför de ingen skillnad vid undersökta alternativ för fiskodling.

Semislutet system

Som utgångspunkt skulle studien även omfatta semislutna fiskodlingssystem. Semisluten teknik innebär att fisk odlas i inhägnader med hårda skal eller mjuka skal, där större förutsättningar finns för att ta hand om foderspill och fiskfekalier, vilka kan samlas upp genom sedimentation och filtrering av utgående vatten.

För närvarande finns ingen information om denna typ av odlingssystem tillgänglig, och i brist på specifika data har odlingstekniken uteslutits från denna LCA-analys. Semislutna system berörs översiktligt i diskussionsdelen av denna studie.

2.3.2 Övriga avgränsningar

Den geografiska avgränsningen för själva fiskodlingen är Sverige, medan tillverkningen av foder samt utrustning som används vid odlingarna kan ske i andra delar av världen. För uppströms processer som fiske av foderfisk och odling av grödor till foder, eller tillverkning av material till odlingsanläggningarna har globala genomsnittsdata använts.

För arbetsmaskiner har endast drivmedelsförbrukningen räknats med (inte tillverkningen av maskinerna). Anställdas transporter till och från arbetet har inte inkluderats.

Båttransporter vid fodertransport mellan olika odlingsenheter innebär en mycket kort transportsträcka och medför därav en marginell påverkan. Utslaget på ett genomsnitt blev distansen försumbar, varför denna transport inte har inkluderats i studien.

3 Tidigare studier

Matfiskodling förekommer i många olika delar av världen och livscykelanalyser har genomförts för ett antal olika odlingsformer och produkter. Fiskodlingsteknik kan skilja sig relativt mycket beroende på vilken art som odlas, där faktorer som foderslag, temperatur, syrehalt m.m. varierar för optimala levnadsvillkor. Laxfiskar, som utgör fokus för denna studie, odlas i större omfattning i Norge och Chile, Storbritannien och Kanada (Asche, Roll, Sandvold, Sørvig, & Zhang, 2013). Flertalet genomförda studier av miljöpåverkan från odling av lax och regnbåge har utgångspunkt i dessa länder. LCA-rapporter som belyser denna verksamhet utifrån ett svenskt perspektiv är få till antalet.

Winther o.a. (2009) genomförde en omfattande studie av norsk fiskodlingsverksamhet där miljöpåverkanskategorierna klimatpåverkan (GWP) och energianvändning kartlades. Studiens resultat för laxodling i kasse visar att fodertillverkningen medför ett avgörande bidrag till växthusgasutsläppen. Beroende på hur och vart slutprodukten transporteras kan även transporten till återförsäljare utgöra en viktig bidragande faktor till klimatpåverkan (Winther, o.a., 2009).

Laxodling i Norge förekommer även i studier som inbegriper internationella jämförelser.

I en studie som genomförts av Pelletier o.a. (2009) har norsk laxodling jämförts med andra länder. Studien där man undersöker GWP, energianvändning, försurning, övergödning och biotisk resursanvändning (BRU), visade att den norska laxodlingen står

sig väl – dvs bidrog till lägst utsläpp – i jämförelse med odlingar från Storbritannien, Kanada och Chile inom alla miljöpåverkanskategorier förutom BRU. Även denna studie stärker tidigare dragna slutsatser att fodret står för mest miljöpåverkan, med undantag för övergödningspotentialen, där utsläpp från kassodlingen är den primära källan (Pelletier, o.a., 2009).

I en LCA som genomfördes av Roque d'Orbcastel, Blancheton och Aubin (2008) jämfördes ett befintligt landbaserat genomflödessystem med en teoretisk prototyp av ett recirkulerande system. Liksom i andra studier bekräftas här foderproduktionens dominans när det kommer till miljöpåverkan i alla medtagna kategorierna med undantag för övergödning, där själva fiskodlingen är den dominerande källan till utsläpp. Näringsämnen som släpps ut härstammar dock från fodret. Ytterligare kan nämnas att energianvändningen i det recirkulerande systemet är nästan dubbelt så stor som i det genomflödande odlingssystemet (d'Orbcastel, Blancheton, & Aubin, 2009).

I en annan jämförande LCA av olika fiskodlingssystem genomförd av Samuel-Fitwi o.a. år 2012 jämförs extensiv, intensiv och recirkulerande fiskodling av regnbåge i Tyskland och Danmark. Här framkommer resultat som ytterligare understödjer slutsatsen att foderproduktionen dominerar bidraget till verksamheternas utsläpp. En annan starkt bidragande faktor är det recirkulerande systemets höga energianvändning (Samuel-Fitwi, o.a., 2013).

Randau (2012) har genomfört ett omfattande examensarbete där en jämförelse av sex olika fiskodlingssammanhang ur ett livscykelperspektiv görs. Bland annat undersöks kassodling av lax i Norge samt två system av kassodling av röding i vattenmagasin i norra Sverige, utfodrade med konventionellt foder respektive Baltic Blend. Baltic Blend är ett foder tillverkat av Raisio Aqua, baserat på fiskmjöl innehållande sill och skarpsill från Östersjön, vars syfte är att sluta näringskretsloppet lokalt i Östersjön. Vidare ingår även två teoretiska system av landbaserad recirkulerande odling av regnbåge i Sverige, med samma två varianter på utfodring som för rödingsodlingen ovan. Liksom i tidigare studier visar resultaten att fodret är en avgörande faktor för miljöpåverkan. Det alternativa fodret visade sig ha fördelar såsom mindre foderfiskåtgång och lägre närsaltsutsläpp vid foderproduktionen, samtidigt som energiåtgången vid produktion var hög. I jämförelsen mellan odlingssystemen ger kassodling betydligt lägre utsläpp i klimatpåverkanskategorin pga. den höga energianvändningen i RAS-odling. Däremot halveras utsläppen av kväve vid odling i RAS-anläggning jämfört med kassodling, i och med vattenreningen (Randau, 2012).

Sammanfattningsvis visar tidigare utförda livscykelanalyser av olika former av fiskodlingssystem att den process som står för den övervägande delen av miljöpåverkan i de olika påverkanskategorierna är foderproduktionen, där processerna uppströms är inkluderade. Undantaget är övergödning där valet av produktionsmetod har stor betydelse för hur stora näringsmängder som släpps ut. Näringsämnen som släpps ut härstammar från fodret som fiskarna utfodras med, vilket innebär att påverkan i detta steg även är kopplad till foder och foderproduktionen. Intensiva system med hög grad av vattengenomflöde bidrar till

utsläpp av kväve och fosfor i betydligt högre utsträckning än slutna system där vatten cirkuleras. De senare systemen visar sig emellertid i undersökningarna kräva betydligt mer energi för att driva verksamheten, vilket i sin tur kan medföra betydande miljöpåverkan beroende på vilken typ av energikälla som används.

4 Metod

I detta avsnitt redovisas de olika metodval som gjorts för denna studie. Avsnittet är indelat i delarna: val av underlagsdata; gjorda antaganden; hur allokering har gjorts; övriga beräkningar.

4.1 Data

Resultaten i en LCA bygger oftast på både generella data från databaser och specifika data som endast gäller det undersökta fallet. Generella data bygger ofta på genomsnitt från flera olika verksamheter och används med fördel till analys av tidiga steg i livscykeln som utvinning av råmaterial och tillverkning av produkter som inte är centrala i den undersökta livscykeln.

Specifika data är mer komplicerade att ta fram, men ger en mer precis bild av miljöpåverkan för den specifika livscykel som undersöks. I Tabell 1 nedan listas vilka delar i livscykeln som specifika respektive generella data har samlats in för.

Tabell 1: Specifika och generella data som använts i studien.

Specifika data	Generella data
<i>Kassodling</i>	
<ul style="list-style-type: none"> Foderinnehåll samt energiåtgång vid tillverkning av foder Energi-, och foderåtgång Materialanvändning (nät, bryggor, mm.) Produktionssvinn (fisk som rymmer eller dör) Transportavstånd av foder till fiskodlingen 	<ul style="list-style-type: none"> Utsläpp per transporterad sträcka Utvinning av resurser och tillverkning av material uppströms fiskodlingen Energiproduktion Energianvändning vid reningsprocesser för RAS- och semislutna system. Odling/fiske av foderinnehåll
<i>Recirkulerande landbaserad anläggning (RAS)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> Foderinnehåll samt energiåtgång vid tillverkning av foder 	<ul style="list-style-type: none"> Materialanvändning (byggnader, bassänger, pumpar mm.) Energiåtgång Transportavstånd

Specifika data har i första hand samlats in via frågeformulär. Följdfrågor till inkomna svar har diskuterats via telefon eller e-post.

De generella data som har använts är hämtade från tidigare genomförda livscykelanalyser samt från databaserna Ecoinvent (<http://www.ecoinvent.org/>) och Agri Footprint (<http://www.agri-footprint.com/>). Båda dessa databaser är officiella, granskade databaser och innehåller väl underbyggda data.

4.2 Antaganden

För att komplettera uppgifter som data inte har kunnat samlas in för har följande antaganden gjorts.

- Antagande om att foderkoefficienten (kg foder/kg producerad fisk) är samma för kassodling som för RAS. I verkligheten är foderkoefficienten troligen något lägre för recirkulerande system. I en tidigare utförd studie var foderkoefficienten lägre (1,09) i recirkulerande system jämfört med kassodling (1,27) (Liu, o.a., 2016). Dock kan detta variera både mellan odlingssystemen och mellan olika odlingar men även variera beroende av art och livsstadier. I nuläget finns inga empiriska data för sådan produktion i Sverige som är jämförbara med insamlade uppgifter för kassodlingar, varför samma foderkoefficient (1,15) valdes för båda fiskodlingssystemen.
- Fiskarna antas utfodras med foder som innehåller en högre andel marina ingredienser fram till dess att de väger 100 g (53 % jämfört med 41 % för vuxen fisk).
- All el som används vid produktion antas motsvara svensk genomsnittlig elkonsumentionsmix.
- Data för produktion av yngel och sättfisk har använts för produktionen upp till 100 g, vilket motsvarar ca 3,6 % av fiskens genomsnittliga slaktvikt.
- Transportavstånd mellan yngel- och matfiskproduktion antas vara 100 km. Detta avstånd kan variera mycket för olika odlingar då vissa odlingar har yngelproduktion i direkt anslutning till matfiskodlingen medan andra köper in yngel från leverantörer.
- För vattenanvändningen vid en RAS-anläggning antas att lokalt yt- eller grundvatten används (inte kommunalt dricksvatten).

4.3 Allokeringar

Vid några av fiskodlingarna som omfattas av studien (medlemmar i Matfiskodlarna Sverige AB) produceras både matfisk och sättfisk. Fördelningen av miljöpåverkan mellan dessa två produktioner har gjorts baserat på massa, då det är samma produkt som levereras.

För bakgrundsdata från databasen Agri Footprint går det att välja underlag där miljöpåverkan allokerats, dvs delats upp, utifrån ekonomiskt värde, massa eller energiinnehåll. I denna analys har i första hand ekonomisk allokering använts för bakgrundsdata, och det är främst för ingredienserna till fiskodret som allokeringen är aktuell.

4.3.1 Allokering infrastruktur

Påverkan från material och infrastruktur per producerad enhet fisk kan variera beroende på hur länge anläggningen drivs. Som utgångsläge har en driftstid på 20 år använts för både kassodling och RAS-anläggning. Eftersom tillståndstiden för fiskodlingsverksamhet kan variera, har en känslighetsanalys genomförts med driftstider på 10 samt 50 år att jämföra med valda 20 år. Resultaten presenteras i avsnitt 7.3.1.

Följande antaganden kring livslängd har antagits för de olika materialen vid anläggningarna:

- Stål, betong och aluminium - 50 år
- Arbetsmaskiner (t.ex. pumpar, båtar, hjullastare) - 20 år
- Kassnät, nylon – 6 år
- Övrigt plast 20 år

4.4 Beräkningar

Data har samlats in för 20 matfiskodlingar och 8 yngelodlingar inom Matfiskodlarnas organisation. Matfiskodlingarnas medlemmar är uteslutandes kassodlingar, av varierande storlek. Verksamheten omfattar till största del odling av regnbåge, men även röding. Energi- och materialåtgång liksom foderanvändning varierar från odling till odling. För att ta fram ett genomsnitt för dessa parametrar har medelvärden beräknats för alla odlingar så att en medelförbrukning per odling erhållits. Medelförbrukningen av foder respektive energi redovisas i avsnitt 5.1.

4.4.1 Omräkning till funktionell enhet

För att beräkna hur mycket fisk (levandevikt) som går åt för att producera 1 kg animaliskt protein har först köttutbytet per kg fisk uppskattats. Köttutbytet multipliceras sedan med en faktor för proteininnehåll. Resultaten från LCA-studier av andra köttslag redovisas per kg kött, varför dessa också multipliceras med en faktor för proteininnehållet i respektive köttslag för att få jämförbara resultat.

Köttutbyte regnbåge/röding

Stevens o.a. (2018) har studerat hantering av lax och de biprodukter som uppkommer vid slakt och filetering. Efter att huvud, fenor, blod, skinn, innanmäte och ben tagits bort,

återstår en köttandel på 65 %³. Studien avser slakt och förädling av atlantlax, som är lite större än regnbåge och röding. På grund av brist på motsvarande information för regnbåge, har samma köttandel (65 %) använts för regnbåge/röding i denna studie.

Beroende på i vilken form fisken säljs kan olika stor del av dess kött nyttjas till mat. Vid försäljning av en hel slaktad fisk, kan den tillagas hel och större delen av köttet på den ätas upp. Vid försäljning som filé hamnar en del av köttet som restprodukter, vilka kan ha olika användningsområden (vidareförädling och färdigmat, djur- och fiskfoder, fiskolja, bränsle mm.). I denna studie har antagits att 100 % av köttet på fisken äts upp.

Utifrån dessa förutsättningar blir köttutbytet ca 65 % av fiskens levandevikt. Eftersom allt kött på fisken antas utnyttjas för den funktionella enheten, har ingen allokering av miljöpåverkan till övriga fiskdelar (huvud, skinn, fenor, innanmäte mm.) gjorts.

Proteininnehåll

För jämförelse med resultat från LCA för fågel, nöt- och fläskkött, har resultaten räknats om från påverkan per kg kött till påverkan per kg protein, för att möjliggöra jämförelse av de olika köttslagen utifrån näringsinnehåll. Underlag för proteininnehåll i olika köttslag (Tabell 2) har hämtats från Livsmedelsverkets databas (Livsmedelsverket, 2017) där medelvärden räknats fram för de olika djurslagen. Formen på köttet som proteininnehåll har mätts på är skelettkött del utan ben och skinn.

Tabell 2: Proteininnehåll i olika köttslag.

Köttslag	Proteininnehåll [%]
Regnbåge	22,1
Röding	19,9
Kyckling	22,0
Fläskkött	20,3
Nötkött	21,6

Med det antagna köttutbytet på 65 %, motsvarar proteininnehållet i köttet ca 14,4 % av regnbågens levandevikt och ca 12,9 % av rödingens levnadsvikt.

4.5 Miljöpåverkanskategorier

Valet av miljöpåverkanskategorier för denna studie baseras på tidigare genomförda studier av fiskodling samt av annan köttproduktion.

I Tabell 3 redovisas de metoder som använts i denna LCA för beräkning av miljöpåverkan.

³ Här räknas även det kött som faller bort vid hantering och filetering av fisken, och utgör del av restprodukterna.

Tabell 3: Metoder för beräkning av miljöpåverkan inom valda miljöpåverkanskategorier.

Miljöpåverkanskategori	Enhet	Metod
Klimatpåverkan	kg CO ₂ eq.	IPCC 2013 GWP 100 v.1.03 (IPCC, 2013)
Utsläpp av näringsämnen	kg PO ₄ eq.	Heijungs et al 1992
Försurning	Kg SO ₂ eq	Huijbregts, 1999
Energianvändning	MJ	Cumulative Energy Demand v.1.09 (Frischknecht, et al., 2007)

4.5.1 Klimatpåverkan

Klimatpåverkan definieras ofta som Global Warming Potential (GWP) och innefattar utsläpp av växthusgaser i atmosfären. Utsläppen resulterar i att medeltemperaturen på jorden stiger, vilket på sikt kan få väldigt allvarliga konsekvenser för ekosystem och människor. Utsläpp av växthusgaser har en global spridning och påverkan, då det är den totala ackumuleringen av växthusgaser i atmosfären som bidrar till uppvärmningen av jordens medeltemperatur. Det finns ett antal olika gaser som går under definitionen växthusgaser, där den mest kända är koldioxid, CO₂.

4.5.2 Utsläpp av näringsämnen

Övergödning orsakas av allt för höga halter av näringsämnen som fosfor och kväve i mark eller vatten. Övergödning kan få påtagliga konsekvenser både i det omedelbara närområdet och regionalt längre bort från spridningskällan. I en livscykelanalys bedöms potentiell övergödning, utifrån vilka näringsämnen och i vilka mängder som släpps ut. Metoden som beräknar övergödningspotentialen tar ej hänsyn till vilken typ av vattensystem som är recipient, det vill säga beaktar inte om vattensystemet är oligotroft (näringsfattigt) eller eutroft (näringsrikt). Effekterna av näringsutsläpp i oligotrofa system, som tex ett vattenmagasin med låg biologisk mångfald, kan skilja sig mycket från samma utsläpp i ett eutroft system.

4.5.3 Försurning

Försurning innebär att vattnets pH-värde sänks vilket bland annat medför högre halter av löst aluminium i vattenmiljön, vilket påverkar många arters förmåga att leva där. Antalet arter i en försurad sjö minskar i regel kraftigt då livsvillkoren drastiskt kan ändras och då konkurrensen blir mycket hårdare på grund av ändrad tillgång till föda. Många fiskar och bottenlevande blöt- och kräftdjur är mycket känsliga för sänkta pH-värden (Naturvårdsverket, 2016).

4.5.4 Kumulativ energianvändning

Energianvändning är här definierad inte enbart som den samlade energiåtgången under själva fiskodlingsverksamheten, utan även vid produktion uppströms i livscykeln av resurser som krävs för driften av verksamheten. Under datainsamlingen delas energianvändningen upp i elanvändning och i övrig energi, där elanvändning mäts i kWh per funktionell enhet (kWh / kg befri fisk) och den övriga energin mäts i MJ per funktionell enhet (MJ / kg befri fisk). Resultaten presenteras emellertid som MJ primärenergi, uppdelat i förnybar samt icke förnybar energi.

5 Livscykelinventering (LCI)

I detta avsnitt presenteras de data som samlats in vid inventeringen av undersökta system.

5.1 Kassodling

Kassodling är en form av intensiv fiskodling där fisken utfodras med torrfoder och fisken hålls i en nätkasse som är fäst i ett cirkulärt flytande ramverk. Odlingskassen är förankrad antingen i sjöbotten eller vid en strand, beroende på placering. Kassarna kan ofta vara sammanbundna i flottkonstruktioner med förtöjningar för båtar och bryggkonstruktioner för eventuell manuell utfodring och underhåll. Vatten flödar fritt genom kassarna, vilket ger en total genomströmning, samtidigt som systemet besitter en viss känslighet för yttre påverkan.

I Sverige är öppen kassodling den vanligaste förekommande formen av fiskodling, där nästan all odling idag utförs i ett sådant system (Ungfors, o.a., 2015). Flertalet kassodlingar är placerade i reglerade vattensystem.



Figur 4: Exempel på kassodling i Sverige, foto Daniel Wikberg, Matfiskodlarna.

Insamlade data i denna studie omfattar 20 kassodlingar i svenska vatten. Underlag har samlats in från Nordic Trout Sverige AB, Svensk Fjällröding AB, Umlax AB, Vattudalens fisk AB, Slotts lax AB samt Överumans Fisk AB. Sammantaget producerar odlingarna som data inhämtats från främst regnbåge (84 % av odlad matfisk), men även en mindre andel fjällröding (16 % av odlad matfisk).

Data har bland annat samlats in för mängd producerad fisk per år, foderanvändning, transportavstånd, produktionssvinn, energianvändning och materialförbrukning. Värden för dessa parametrar varierar från odling till odling. För att ta fram genomsnittsvärden för dessa parametrar har en medelförbrukning utifrån samtliga odlingar beräknats.

Tabell 4: Beräknade medelvärden för kassodling.

Parameter	Enhet	Viktat genomsnitt alla anläggningar
Produktion av fisk	ton/år	640
Elanvändning anläggning	MWh/år	111,7
Dieselanvändning anläggning	m ³ /år	8,2
Foderanvändning (foderkoefficient)	kg foder/kg fisk	1,15
Produktionssvinn	ton fisk/år	43

Dieselanvändningen vid kassodlingarna motsvarar användningen av båtar och arbetsmaskiner. Vid några av anläggningarna finns ingen tillgång till elektricitet, utan dieseldrivna generatorer används vid utfodring av fisken.

Värden för svinn vid odlingarna erhöles endast från sju av anläggningarna så medelvärdet baseras på dessa anläggningar. Förlusterna, som motsvarar ca 5 % av den totala produktionen, omfattar både rymning och dödlighet.

Transportavstånd redovisas i avsnitt 5.3.3 nedan.

5.1.1 Materialanvändning

Material och infrastruktur som används för kassodling varierar beroende på odlings storlek. För denna studie har Matfiskodlarna Sverige AB angett materialmängder för en fiktiv "genomsnittsodling" baserat på material och teknologi som används idag. Uppskattningen är gjord för en större odling, med en årlig produktion på 3000 ton regnbåge/röding.

Tabell 5: Materialspecifikation för en kassodling fiktiv med produktion om 3000 ton per år.

Benämning	Material	Mängd (kg)	Antal	Vikt per st
Material				
Fodersilos	Plåt	6000	6	1000
Kompressor	Järn	2100	3	700
Doseringsutrustning	järn och hård plast	150	3	50
Luftkylare	30% aluminium / 30% plåt / 40% gjutjärn	160	2	80
Styrskåp	50% plåt, 50% plast	120	2	60
Väljarventiler	50 kg järn, 30kg rostfritt stål, 5kg plast	170	2	85
Slangar	PE	34500	23000	1,5*
Flytringar kassar	PE	250000	50	5000
Kassnät	nylon 6	107000	50	2140
Sorteringsbord	rostfritt stål	760	2	380
Flotte för sortering	Järn	10000	1	10000
Bottenhåvar för död fisk	Aluminium	1500	40	37,5
Handhåvar	Aluminium	30	10	3
Stor kran på land	järn	1500	1	1500

Benämning	Material	Mängd (kg)	Antal	Vikt per st
Kranar på flotte	järn	9000	3	3000
Båtar för transport	glasfiber 46 %, plast 54 %	3700	2	1850
Ankare	rostfritt stål	35000	50	700
Kätting	rostfritt stål	10000	50	200
Kaj	armerad betong	180000	1	180000
Högtryckstvätt	flera	200	1	200
Plastbaljor för slakt av fisk	plast	6000	120	50
Plåtbaljor för uppsamling död fisk	plåt	1000	10	100
Farmartank diesel	plast	150	1	150
Byggnader/maskiner**				
Personalbyggnad/ verkstad	Betong/stål	8m x 3m	6	-
Hjullastare	Loader L70	-	1	-
Foderbyggnad inkl. personal och verkstad	-	600m2	1	-

* vikt per m

** för dessa byggnader och komponenter har ingen vikt angivits. Data för hela byggnaden/maskinen har hämtats från SimaPro.

I tabellen nedan presenteras alla materialen fördelat per kg producerad fisk, vid drift av anläggningen i 20 år.

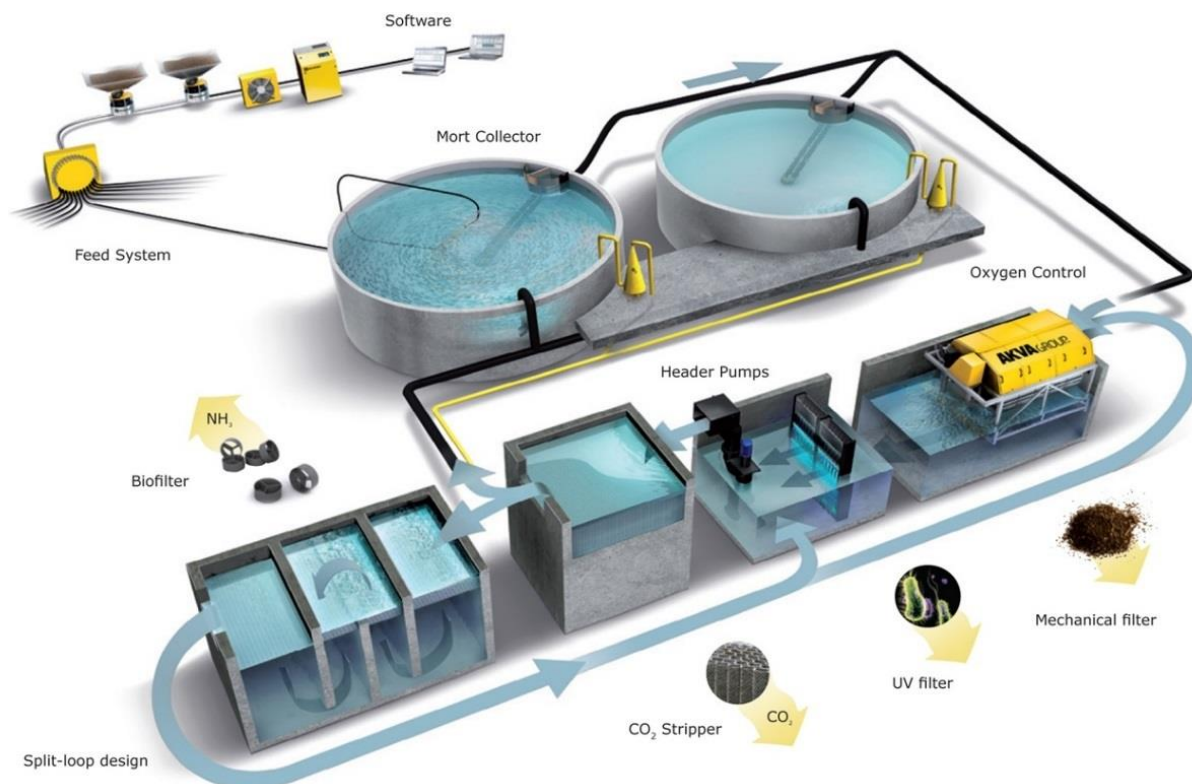
Tabell 6: Materialanvändningen fördelad per kg producerad fisk vid anläggningen.

Process	Enhet	Mängd
Aluminium	mg	26,3
Personalbyggnad	mm ²	12,5
Betong	g	3
Glasfiber (till båt)	mg	28,4
Hjullastare	St	1,67E-08
Nylon 6 (kassnät)	g	7,1
Järn	mg	381,4
PET	mg	27,7
PE	g	4,8
PVC (till båt)	mg	5,55
Stål, galvaniserat	mg	118,5
Stål, rostfritt	mg	763,7

5.2 Slutet landbaserat recirkulerande odlingssystem (RAS)

Fiskodling i slutna landbaserade recirkulerande odlingssystem sker ofta antingen i odlingsrännor där vatten flödar i avlånga bassänger från ena änden till den andra, eller i cirkulära eller mångkantiga kar, där vatten strömmar uppifrån och ner. I det senare karet kan spill från foder och fekalier samlas på botten och tack vare vattenströmningen föras till ett bottenuttag. Vattenkvaliteten i runda kar anges vara mer stabil i jämförelse med avlånga bassänger där vattnet blir allt sämre ju närmare utloppsdelens det flödar. En nackdel med runda kärl är att de tar i anspråk mer markyta än samma odlingsvolym hos avlånga bassänger.

En fördel med slutna recirkulerande system är att vattnet kan regleras och kontrolleras. Sker odlingen inomhus kan en optimal anläggningstemperatur regleras, vidare möjliggörs desinficering av vattnet samt en reducering av utsläpp till närområdet. Förmågan till vattenrening och en hög cirkulationsgrad medför däremot höga bygg- och driftkostnader, och driften av anläggningen är avsevärt mer energikrävande än andra fiskodlingssystem (Ungfors, o.a., 2015).



Figur 5: Exempel på RAS-anläggning (Källa: www.akvagroup.com/products/land-based-aquaculture/recirculation-systems).

Miljöpåverkan från fiskproduktion med RAS-anläggning har delvis baserats på data för kassodling (foderkoefficient, fodersammansättning, yngelproduktion, produktionsförluster), och delvis på resultat i publicerade livscykelanalyser (material och energi-användning). Reningsgrad på utgående vatten och utsläpp av näringsämnen har beräknats av Sweco och redovisas i Bilaga 1.

Energianvändning i RAS-system baseras på två litteraturkällor med livscykelanalys av röding i Nova Scotia i Kanada och regnbåge i Danmark (Ayer & Tyedmers, 2009 samt Samuel-Fitwi o.a. 2013). Elenergiåtgången i de båda studierna är snarlik, 22,6 resp. 19,6 kWh el/kg levandevikt. Energin som används för produktion av el i de båda fallen är till stor del av fossilt ursprung (nära 80% kolbaserad el i Nova Scotia), vilket inte skulle vara fallet vid svensk RAS-odling. I beräkningarna har därför enbart elenergiåtgången i kWh hämtats från dessa studier, och modellerats med svensk elkonsumtionsmix för det svenska modellerade RAS-systemet.

Energianvändningen på RAS-anläggningen i den kanadensiska studien (Ayer & Tyedmers 2009) inkluderar både el och eldningsolja för uppvärmning (279 l/år). Merparten av elen används till pumpning och recirkulering av vatten, och en icke obetydlig del av elenergiåtgången kunde även tillskrivas utrustning i form av syre- och

23(45)

ozongeneratorer, fläktar och kylaggregat och elektroniska övervakningssystem. I elanvändningen ingår även behandling av det återcirkulerande vattnet i systemet, genom mekanisk- och biofiltrering. Rening av fast fiskavfall, samt slam från vattenfiltreringen behandlas i kommunal avloppsrening. Eldningsoljan används vintertid för uppvärmning av byggnaden.

I energianvändningen kopplat till det danska RAS-systemet (Samuel-Fitwi o.a. 2013) ingår både reningsbehandling av kväve, fosfor och proteiner, samt mekanisk och biologisk filtrering. Även här ingår energi för att cirkulera vattnet i anläggningen, vilket utgör den största delen av energiåtgången.

5.2.1 Materialanvändning

För materialanvändning vid RAS-anläggning har data hämtats från Nathan Ayer och Peter H. Tyedmer (2009). Data representerar en befintlig RAS-anläggning för odling av röding i Nova Scotia, Canada. Systemet är i sin helhet förlagt inomhus och består av flera cirkulära betongtankar. Nytt vatten pumpas kontinuerligt in till systemet från en närbelägen sötvattensbrunn. Den årliga produktionen vid odlingen utgörs av 46,2 ton matfisk av laxart.

Tabell 7: Materialspecifikation för en RAS-anläggning (Nathan & Tyedmer 2009).

Benämning	Material	Mängd för hela anläggningen (kg)
Väggar, golv, tankar	betong	848 808
Värmepannor, syregeneratorer, kylare, kompressor, pumpar, ozongenerator	stål	6 310
Vattenledningar	PVC	3 912

I tabellen nedan presenteras alla materialen fördelat per kg producerad fisk, vid drift av anläggningen i 20 år.

Tabell 8: Materialanvändningen fördelat per kg producerad fisk vid anläggningen.

Process	Enhet	Mängd
Betong	g	918,6
Stål	g	6,8
PVC	g	4,2

5.3 Viktiga inventerade parametrar

5.3.1 Odling av yngel

Produktionen av yngel, eller sättfisk, sker i andra bassänger/inhägnader än de som används till uppfödning av matfisk fram till slakt. Oftast sker odlingen av sättfisk i dammar och bassänger, där både naturdammarna och gjutna betongdammarna kan brukas. Används gjutna dammar kan uppfödningen av ynglen även ske inomhus (Jordbruksverket, 2017). Efter vistelsen i yngelbassängerna kan det förekomma ytterligare anhalter för fisken innan den hamnar i slutlig kasse eller motsvarande bassäng.

I denna studie har de tidiga livsskedena, fram till att fisken väger 100 g analyserats med data för 50 % RAS och 50 % kassodling. Antagandet baseras på att delar av odlingen sker i inomhustankar. Samma värden för energi och material har använts för yngel i RAS-odling och kassodling.

Baserat på Winther et. al 2009, är foderkoefficienten relativt konstant under hela fiskens livscykel (Winther, o.a., 2009). Därför har samma värde för foderkoefficient använts för både yngel och matfisk.

5.3.2 Tillverkning av foder

Det finns många fiskfoder på marknaden med varierande ingredienser. Foder som används inom fiskodling är industriellt tillverkade torrfoder med högt energiinnehåll.

Tabell 9: Ingredienser i fiskfoder.

Ingrediens	Foder för fiskar med vikt >100 g	Foder för yngel och fiskar med vikt <100 g
Fiskmjöl	26%	44 %
Fiskolja	15%	9 %
Rapsolja	12%	8 %
Vete	11%	9 %
Sojaproteinkonc.	7%	9 %
Sojamjöl	6%	2 %
Solrosmjöl	5%	3 %
Blodmjöl	4%	3 %
Favaböna	3%	3 %
Vetegluten	3%	4 %
Fågelmjöl/fjädermjöl	3%	2 %
Övriga ingredienser	3%	2 %

För denna studie har en genomsnittsförmulering tagits fram utifrån fyra olika fodersorter, från tre av Europas största tillverkare av fiskfoder. Det är en betydande variation i ingredienserna mellan dessa fodersorter, varför ett genomsnitt bedöms ge ett bredare omfång mot att använda exakt formulering för ett foderslag.

Baserat på den omfattande studien av klimatpåverkan från fiskodling som genomförts av SINTEF (Winther, o.a., 2009), samt fodersammansättningen för yngel från ett av företagen som levererar foder till Matfiskodlarnas medlemmar har antagandet om att andelen marina ingredienser (fiskmjöl och fiskolja) är högre i det foder som används till yngel än till vuxna fiskar gjorts. Fiskarna antas få fodret med högre andel marint protein tills de väger 100 g. Därefter antas de få det genomsnittsfoder för större fisk som beräknats för denna studie.

En odlad fisk utfodras med betydligt fler fodertyper under sin livstid, men på grund av sekretesskäl var det inte möjligt att få tag på mer detaljerad information om olika innehåll. En fördjupad modellering kunde därför inte genomföras i denna studie.

För beräkning av miljöpåverkan från tillverkningen av de olika ingredienserna i fiskodret har generiska data från databaser använts.

Tabell 10: Generiska data som använts vid analys av ingredienser i fiskfoder.

Ingrediens	Databas	Namn på data
Fiskmjöl	Agri footprint	Fish meal, from fish meal and oil production, at plant/DK Economic
Fiskolja	Agri footprint	Fish oil, from fish meal and oil production, at plant/DK Economic
Rapsolja	Ecoinvent 3	Rape oil, crude {RoW} market for Alloc Rec, S
Vete	Ecoinvent 3	Wheat grain {GLO} market for Alloc Rec, S
Sojaprotein-koncentrat	Agri footprint	Soy protein concentrate, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic
Blodmjöl	Agri footprint	Blood meal, spray dried, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic
Solrosmjöl	Agri footprint	Sunflower seed meal, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic
Favaböna	Ecoinvent 3	Fava bean, feed, Swiss integrated production {GLO} market for Alloc Rec, S
Vetegluten	Agri footprint	Wheat gluten feed, from wet milling, at plant/DE Economic
Fågelmjöl/ Fjädermjöl	Agri footprint	Chicken co-product, feed grade, at slaughterhouse/NL Economic
Sojamjöl	Ecoinvent 3	Protein feed, 100% crude {GLO} soybean meal to generic market for protein feed Alloc Rec, S

Ingrediens	Databas	Namn på data
Majs gluten	Agri footprint	Maize gluten feed, high moisture, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic
Mineraler	Ecoinvent 3	Chemical, organic {GLO} market for Alloc Rec
Ärtprotein	Agri footprint	Pea dry, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic

Energianvändningen har beräknats dels utifrån generiska data för tillverkning av fiskfoder (från LCA food DK) och från en av leverantörerna som levererar foder till Matfiskodlarnas medlemmar.

För elektricitet har ett värde på 0,09 kWh/kg foder använts och för övrig energianvändning 0,7 MJ naturgas per kg foder.

Tabell 11: Generiska data som använts för analys av energianvändning vid tillverkning av fiskfoder.

Energislag	Databas	Namn på data
Elektricitet	Ecoinvent 3	Electricity, medium voltage {Europe without Switzerland} market group for Alloc Rec
Värme från naturgas	Ecoinvent 3	Heat, district or industrial, natural gas {RER} market group for Alloc Rec

5.3.3 Transporter

De transportsträckor som har räknats med i analysen är transport av ingredienser till fodertillverkning, transport av foder till fiskodlingarna samt transport av slam till sluthantering. Transporter under tidigare skeden av fiskfoderproduktionens livscykel är medräknade i de generiska dataseten som har använts.

Enligt insamlade data används båt vid transport av foder från foderbod på stranden till odlingar som inte ligger i anslutning till stranden vid ett fåtal odlingar. Denna transportsträcka är mycket kort och medför marginell påverkan. Utslaget på ett genomsnitt blev distansen försumbar, varför denna transport inte har inkluderats i studien.

Insamlade data gällande transporter av foder till fiskodlingarna har en genomsnittsträcka på 900 km med lastbil. För transport av yngel till fiskodling, samt för transport av ingredienser till foderproduktionen har en transportsträcka på 100 km antagits. För transporter av material från försäljare till anläggning har en genomsnittlig transportsträcka på 300 km antagits. Transporter vid produktionen av materialen (stål, betong, nät mm.) sker i flera steg och är inkluderade i de generella data från Ecoinvent som använts för analys av produktion av materialen.

Tabell 12: Transportavstånd.

Transport	Sträcka (km)
Ingredienser i foder till foderproduktion	100
Fiskfoder från leverantör till fiskodling	900
Yngel till matfiskproduktion	100
Infrastrukturmaterial till anläggning	300
Slam till sluthantering	300

Lastbilstransporterna har analyserats med data för en genomsnittlig EURO4-klass lastbil, med lastvikt 16-32 ton, från Ecoinvent (Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO} | market for | Alloc Rec, S).

Transporter i tidigare skeden i livscykeln (vid odling av grödor till foder eller tillverkning av stål och betong) är inkluderade i de generiska data som använts för att analysera dessa processer.

5.3.4 Utsläpp till vatten

Utsläpp av kväveföreningar, fosfor och organiska material för de två undersökta metoderna för fiskodling har beräknats av Sweco och redovisas ingående i Bilaga 1.

Tabell 13: Utsläpp till vatten vid produktion av 1 kg fisk (levandevikt) under ett år vid medel foderjiva för ett recirkulerande system (RAS) och kassodling. Nettokolumnen avser utsläpp reducerat med mängd i ingående vatten.

Ämne	Enhet	RAS		Kassodling*
		Totalt	Netto	Totalt
BOD	g/kg fisk	3,89	0,00	476,81
N-tot	g/kg fisk	1,95	1,70	43,68
NH ₄ -N	g/kg fisk	0,97	0,85	29,93
NO ₃ -N	g/kg fisk	0,97	0,85	-
P	g/kg fisk	0,012	0,012	0,402

För beräkningen av miljöpåverkan från dessa utsläpp har nettovärdena från RAS använts.

5.4 Sammanställning av generiska data

Sammanställningen av data från databaser redovisas i Bilaga 2.

6 Klimatpåverkan från annan animalisk produktion

Det finns många livscykelanalyser kopplade till matproduktion. Till de tre i Sverige dominerande köttsorterna räknas nötkött, fläsk och kyckling. År 2016 åt svensken i genomsnitt 33,5 kg griskött, 25,6 kg nötkött och 23,6 kg fågelkött, och totalt med övrigt kött inräknat landade konsumtionen på 87,7 kg slaktvikt per person och år. Däremot visar statistiken att konsumtionen av kött har legat på ungefär samma nivå de senaste åren, med viss minskad fläskkonsumtion, stabil nötkonsumtion och en ökande fågelköttkonsumtion (Eidstedt, 2016).

I denna studie görs en översiktlig jämförelse av resultaten för klimatpåverkan från livscykelanalysen av den odlade fisken med de tre mest konsumerade köttslagen fågel, fläsk och nötkött.

6.1 Jämförbara underlag från klimatdatabasen

För att en jämförelse mellan en utförd livscykelanalys av odlad fisk och studier av produktion av fläsk- och nötkött ska vara relevant måste ett antal kriterier uppfyllas. Framförallt är det viktigt att en jämförbar funktionell enhet används så att undersökta produkter uppfyller samma efterfrågade kriterier. Vidare är det viktigt att avgränsningar inom undersökta system och värdering av miljöpåverkan har gjorts på samma sätt.

För jämförelse av klimatpåverkan från olika slags animalier har dataunderlag från RISE (Research Institutes of Sweden)⁴ klimatdatabas använts. RISE har den mest heltäckande databasen för klimatpåverkan från livsmedel i Sverige. Data som ligger till grund för klimattalen har samma systemgränser och allokering av miljöpåverkan vilket gör talen jämförbara med varandra. Klimatpåverkan i databasen redovisas som kg CO₂-ekvivalenter per kg ätligt kött. För att beräkna klimatpåverkan per funktionell enhet i denna studie (1 kg animaliskt protein) har värden för proteininnehåll från livsmedelsverket använts, se avsnitt 4.4.1.

Data som ligger till grund för klimattalen för nötkött- och fläskköttuppfödning i Sverige baseras på officiell statistik och inventering av foderinköp i Sverige kopplat till hela den nationella produktionen av kött och är därmed robust och heltäckande. Nötkött och fläskkött inkluderas Cederberg et al., 2009. Samma författare har varit involverade i de studier där klimattalet för kyckling härstammar ifrån, varvid jämförbarheten i resultaten är stor. Avgränsningen av undersökt del av livscykeln har gjorts på samma sätt som för undersökta fiskodlingsmetoder i denna studie, dvs att hanteringen efter gårdsgrunden

⁴ Tidigare SP och innan det SIK - institutet för livsmedel och bioteknik

(slakt, styckning, transporter, hantering i butik, tillagning samt avfallshantering av restprodukter) lämnats utanför studien.

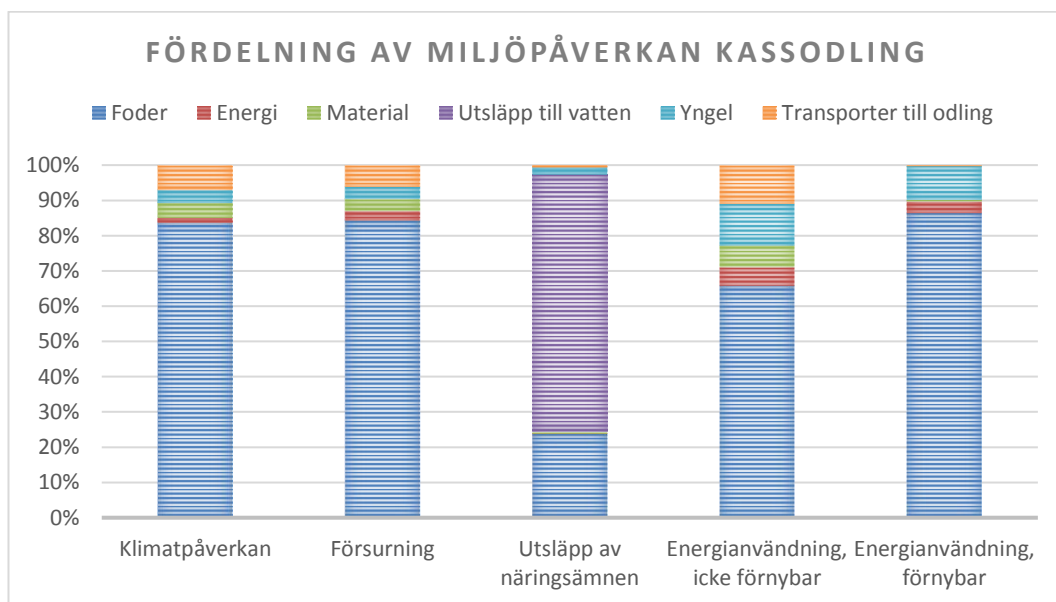
7 Resultat

Resultaten presenteras per 1 FU (funktionell enhet), dvs. 1 kg animaliskt protein. I avsnittet redovisas först resultaten för de två metoderna för fiskodling (kassodling och RAS). Därefter följer en jämförelse av resultaten med klimatpåverkan från produktion av nöt, fläsk och kyckling. Känslighetsanalysen i slutet av avsnittet redogör för skillnader i resultaten vid justering av några viktiga antaganden i studien.

7.1 Odling av matfisk

7.1.1 Kassodling

För kassodlingen visar resultaten att foderanvändningen står för en dominerande del av miljöpåverkan inom merparten av undersökta miljöpåverkanskategorier. Inom kategorin utsläpp av näringsämnen har de direkta utsläppen av foderrester och urin/fekalier från fisken under dess uppväxt en större påverkan. Yngelodling, material- och energi-användning samt transporter har förhållandevis liten påverkan ur ett livscykelperspektiv. Yngelodlingen ger något större utslag inom energianvändningskategorierna eftersom odling av yngel till viss del antas ske inomhus i genomströmningssystem med ungefär hälften av energiåtgången jämfört med RAS.



Figur 6: Fördelning av miljöpåverkan mellan olika delar i livscykeln vid kassodling.

Att fodertillverkningen är av stor betydelse för påverkan beror på att det är det största insatsmedlet vid fiskodlingen (1,15 kg per kg fisk, foderkoefficient). Vidare tillverkas det av ingredienser med högt energivärde för att ge god tillväxt. Odling av energirika grödor och fiske ger ett väsentligt bidrag till miljöpåverkan. För ytterligare information om påverkan från fiskfoder se avsnitt 7.1.3.

I Tabell 14 nedan redovisas den beräknade miljöpåverkan inom undersökta miljöpåverkanskategorier.

Tabell 14: Resultat för 1 kg protein från kassodlad fisk*.

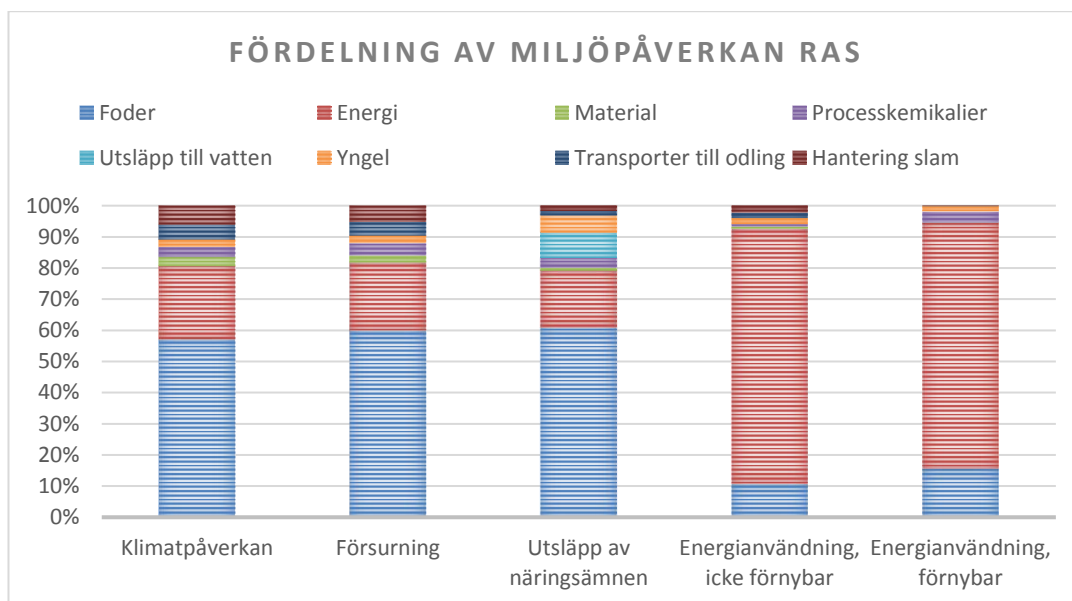
Påverkanskategori	Enhet	Total påverkan per 1 FU, regnbåge	Total påverkan per 1 FU, röding
Klimatpåverkan	kg CO2 eq	17,4	19,5
Försurning	kg SO2 eq	0,08	0,09
Utsläpp av näringsämnen	kg PO4 ³⁻ eq	0,20	0,22
Energianvändning, icke förnybar	MJ	182	203
Energianvändning, förnybar	MJ	94	105

* Notera att skillnaden mellan regnbåge och röding endast består i skalningen efter proteininnehåll i köttet. I analysen av miljöpåverkan från fiskarnas livscykel har ingen åtskillnad mellan regnbåge och röding gjorts i denna studie.

7.1.2 RAS-anläggning

Foderanvändningen utgör den största miljöpåverkande faktorn för fiskodling i RAS-anläggning inom kategorierna klimatpåverkan, försurning samt utsläpp av näringsämnen. Inom kategorin energianvändning ger den elektricitet som används för recirkulering och rening av vattnet i odlingen den största påverkan. Den svenska elmixens låga andel av energi från fossila källor medför att påverkan från elanvändningen blir förhållandevis liten inom de tre andra kategorierna.

Övriga poster (yngelodling, material, användningen av processkemikalier, transporter, utsläpp till vatten samt hantering av slam) medför förhållandevis liten påverkan ur ett livscykelperspektiv. Utsläppen av näringsämnen till vatten från anläggningen är förhållandevis små, då vattnet till stor del renas från näringsämnen innan det släpps ut från anläggningen. Resterande näringsämnen, som inte fångats upp i reningsstegen, släpps ut till recipienten. Näringsämnena samlas upp i slammet från reningsprocessen och antas användas som näring i jordbruksverksamhet eller rötas och användas som vid biogasframställning. Gränsen för undersökt livscykel av fiskodling dras efter transporten av avfallsslammet till anläggning där det hanteras vidare.



Figur 7: Fördelning av miljöpåverkan mellan olika delar i livsrymden vid RAS-anläggning.

I Tabell 15 nedan redovisas den beräknade miljöpåverkan inom undersökta miljöpåverkanskategorier.

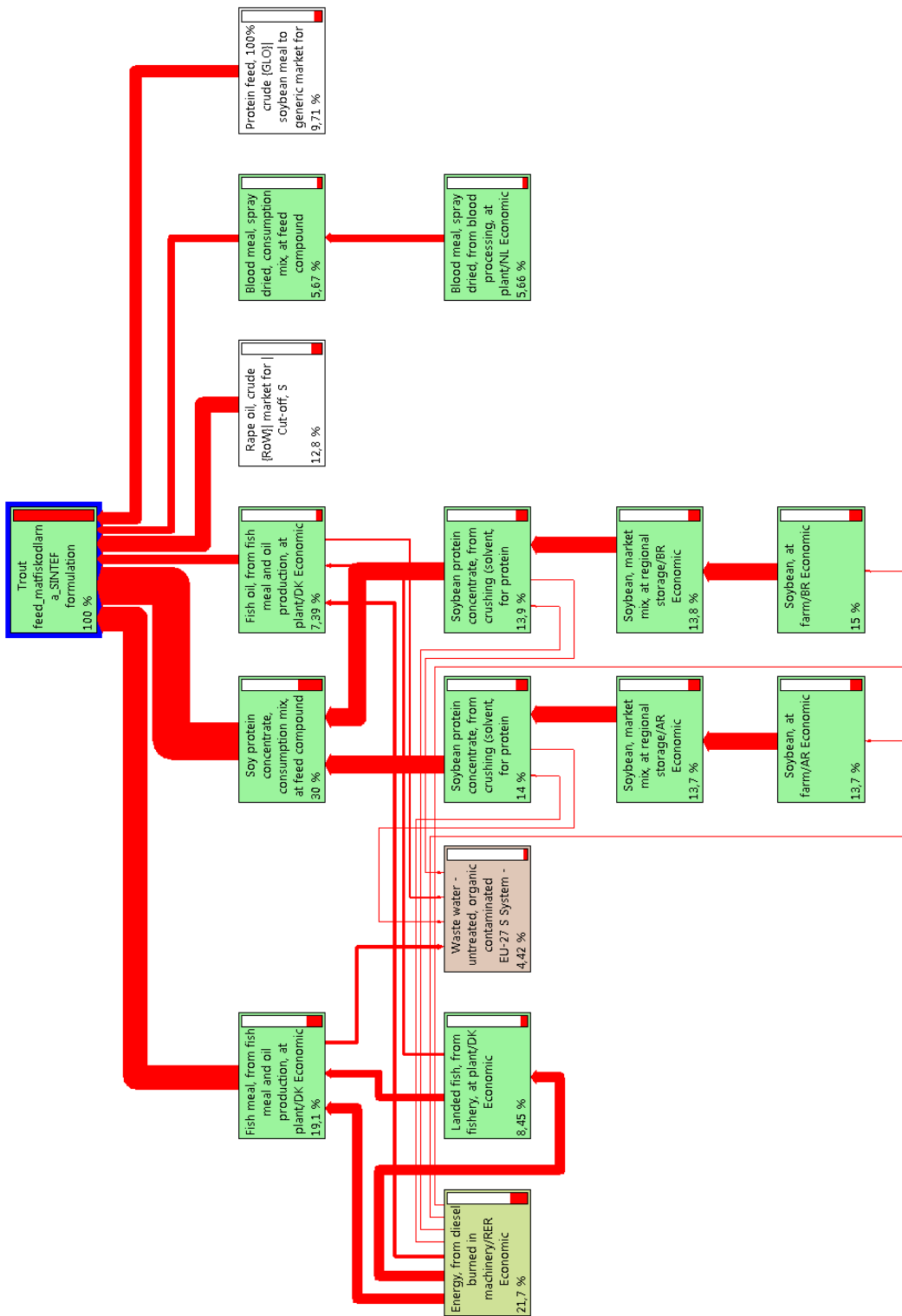
Tabell 15: Resultat för 1 kg protein från fisk odlad vid RAS-anläggning*.

Påverkanskategori	Enhet	Total påverkan per 1 FU, regnbåge	Total påverkan per 1 FU, röding
Klimatpåverkan	kg CO2 eq	25,6	28,5
Försurning	kg SO2 eq	0,11	0,12
Utsläpp av näringsämnen	kg PO4-- eq	0,08	0,09
Energianvändning, icke förnybar	MJ	1116	1246
Energianvändning, förnybar	MJ	517	578

* Notera att skillnaden mellan regnbåge och röding endast består i skalningen efter proteininnehåll i köttet. I analysen av miljöpåverkan från fiskarnas livsrymd har ingen åtskillnad mellan regnbåge och röding gjorts i denna studie.

7.1.3 Fiskfoder

Studiens resultat pekar tydligt på att fiskfodret är en avgörande faktor i miljöpåverkan från fiskodling, oavsett vilken odlingsteknik som används. I figuren nedan syns ett flödeschema över de olika ingrediensernas, samt energianvändningen vid foderproduktionen, bidrag till klimatpåverkan från fiskfodret.

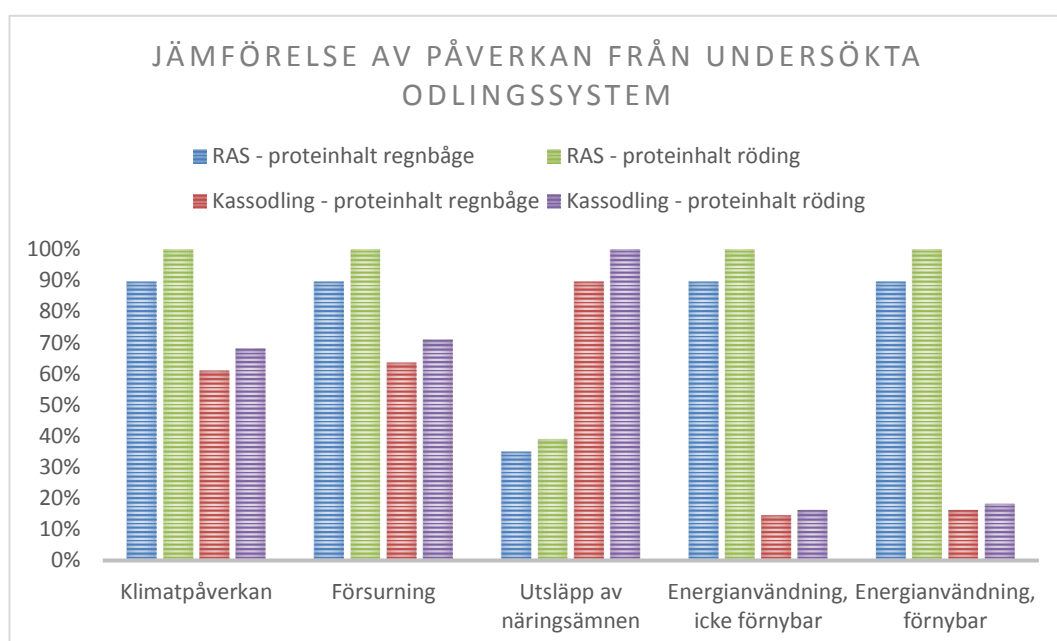


Figur 8: Fördelningen av klimatpåverkan från fiskfoder från modellen som byggts i SimaPro. Endast ingredienser och processer som bidrar med >3 % till klimatpåverkan syns i figuren.

Tillverkningen av sojaprotein, fiskmjöl, och rapsolja, tillsammans med användningen av el vid foderproduktionen utgör de främsta bidragande faktorerna till klimatpåverkan från fiskodret.

7.1.4 Jämförelse fiskodlingsmetoder

I Figur 9 nedan redovisas den totala miljöpåverkan från undersökta odlingssystem i förhållande till varandra. För varje påverkanskategori har odlingstekniken med högst påverkan getts 100 % i stapeln. För övriga odlingstekniker anges hur stor andel deras påverkan utgör i förhållande till den som har störst påverkan.



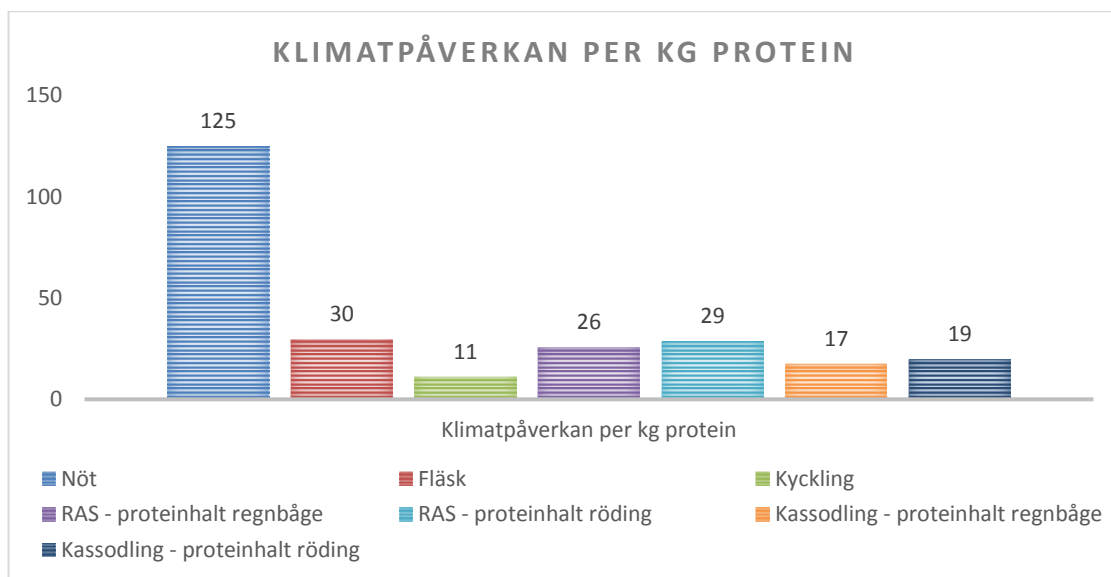
Figur 9: Jämförelse av påverkan mellan undersökta odlingssystem.

Inom kategorierna klimatpåverkan, försurning och energianvändning får RAS-odlingen högsta miljöpåverkan. Den omfattande pumpningen samt reningen av vatten vid denna anläggning medför en hög energianvändning. Samtidigt blir bidraget till övergödningen betydligt lägre (ca hälften jämfört med kassodling) tack vare den höga reningsgraden på utgående vatten från systemet (90 % enligt bilaga 1).

Kassodlingen medför störst påverkan inom utsläpp av näringsämnen, på grund av de direkta utsläppen till vatten från odlingen.

7.2 Jämförelse av klimatpåverkan med annan animalisk produktion

I detta avsnitt presenteras en jämförelse av klimatpåverkan från undersökta fiskodlingssystem med resultat från genomförda LCA för fågel, nöt- och fläskkött, som har presenterats i RISE klimatdatabas.



Figur 10: Jämförelse av klimatpåverkan med annan animalisk produktion. Notera att skillnaden mellan regnbåge och röding endast består i skalningen efter proteininnehåll i köttet. I analysen av miljöpåverkan från fiskarnas livscykel har ingen åtskillnad mellan regnbåge och röding gjorts i denna studie.

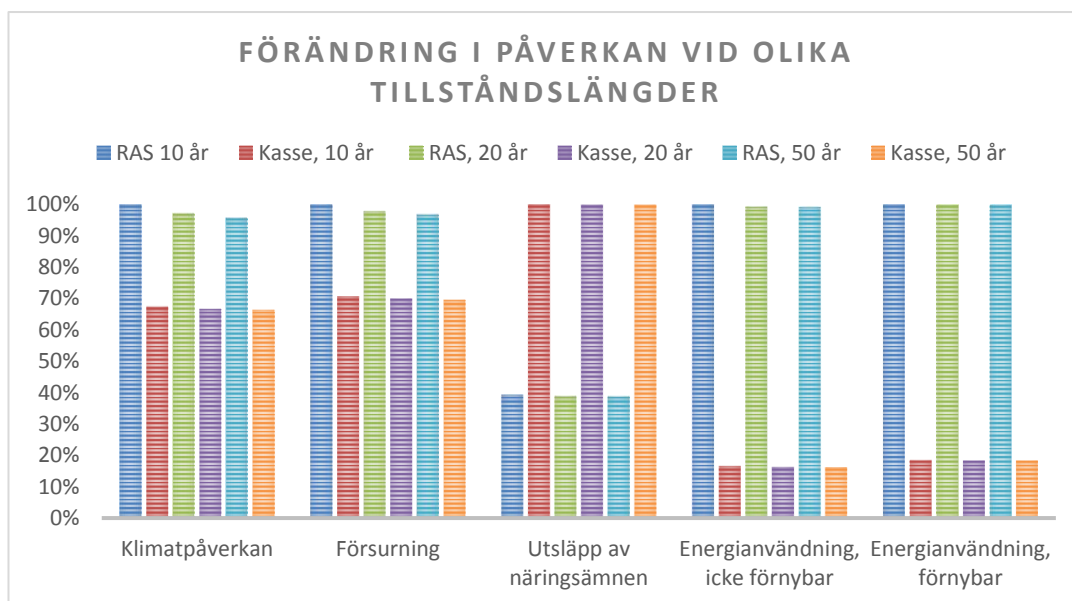
Jämförelsen visar att nötkött medför högst klimatpåverkan av undersökta köttslag. Nötköttets höga utsläpp av växthusgaser beror delvis på att foderåtgången per kg producerat kött är högre än för övriga köttslag, samt att kreaturen bidrar till utsläpp av metangas under sin livstid.

Därefter följer fläsk, regnbåge/röding i RAS och regnbåge/röding i kasse. Lägst påverkan per kg protein ger kyckling. Värdena för nötkött, fläsk och kyckling är tagna från en stor sammanställning av svensk produktion av olika livsmedel och har hög trovärdighet. En gemensam faktor för LCA av alla köttslag är att tillverkningen av foder bär en stor del av miljöpåverkan. Val av foder blir därmed en viktig aspekt att arbeta med för att minska klimatpåverkan från produktion av kött och fisk.

7.3 Känslighetsanalys

7.3.1 Olika avskrivningstider för anläggningarna

Miljöpåverkan från materialen fördelas på mängden fisk som totalt produceras vid anläggningen. Ju längre tid en anläggning producerar fisk, desto mindre blir andelen belastning per kg fisk, från de byggmaterial som används. För att undersöka hur stor inverkan anläggningarnas driftstid har på resultaten per kg, jämförs grundantagandet för driftstid i denna studie (20 år) med en kortare driftstid på 10 år samt en längre på 50 år.



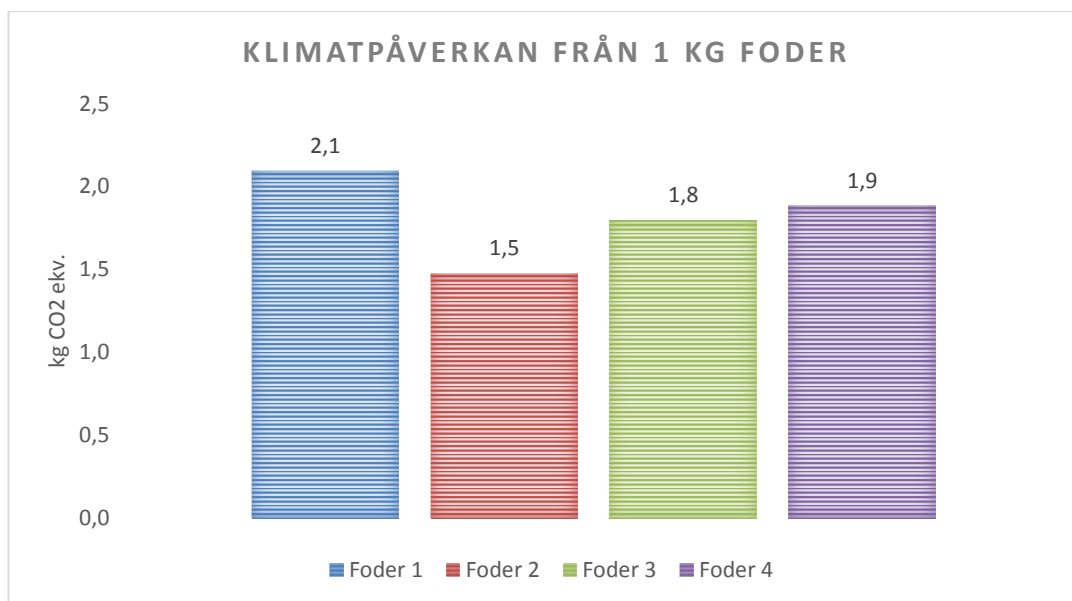
Figur 11: Förändring i miljöpåverkan vid olika tillståndslängder.

Resultaten från denna känslighetsanalys visar att drifttiden ger större utslag vid RAS-odling jämfört med kassodling. För båda odlingssystemen sjunker den totala miljöpåverkan ju längre anläggningen drivs, men skillnaden blir relativt liten i förhållande till miljöpåverkan från andra konstanta faktorer, såsom foderanvändning samt utsläpp av näringsämnen vid kassodling och energianvändning vid RAS.

Sammantaget kan sägas att drifttiden för anläggningen inte har någon avgörande inverkan på utfallet av resultaten mellan kassodling och RAS.

7.3.2 Fiskfoder

Studiens resultat visar tydligt att fodret har stor betydelse för miljöpåverkan. Kompositionen av olika foder varierar mycket och därmed även dess miljöpåverkan. I diagrammet nedan redovisas klimatpåverkan från ett kg av de foderslag från olika leverantörer som har använts i denna studie. Det skiljer ca 30 % i klimatpåverkan mellan foder 1 och foder 2.



Figur 12: Klimatpåverkan från olika foderslag.

Ett genomsnitt av dessa fyra foderslag har använts för att representera ett genomsnittsfoder för Matfiskodlarnas medlemmars verksamhet.

En ytterligare skillnad mellan olika foder, som inte fångas upp i denna LCA då vi använt generiska genomsnittsdata för fiskmjöl och fiskolja, utgörs av vilka fiskarter som används vid tillverkningen av dessa ingredienser. I en studie genomförd av RISE 2011 (Skontorp, Sund, & Ziegler, 2011) påvisas att typ av fisk (stimlevande eller inte), fiskemetod samt var den fångas kan ha stor betydelse för påverkan.

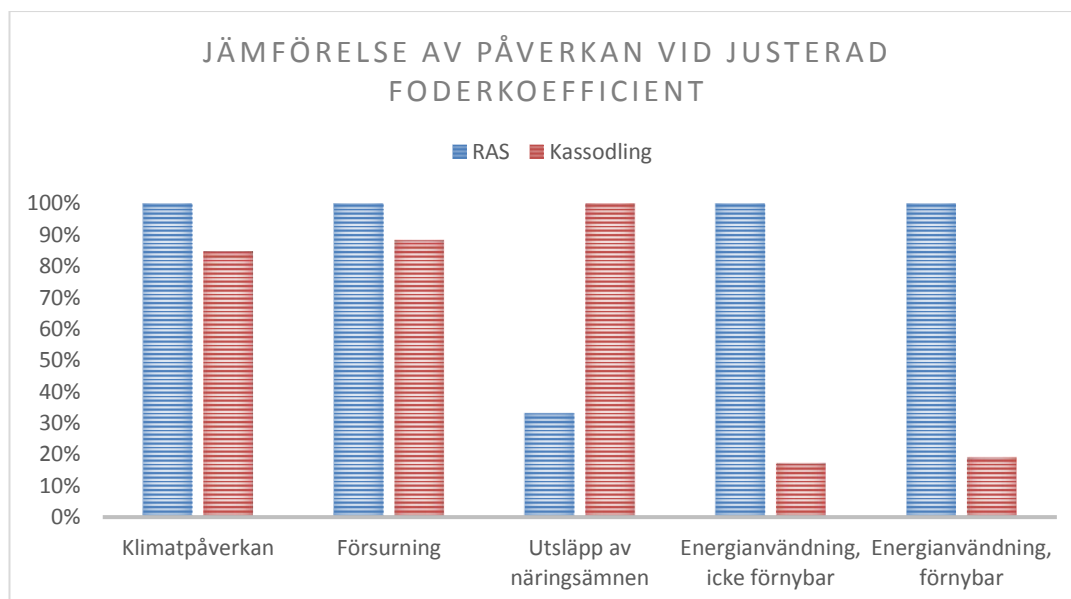
7.3.3 Foderkoefficient

Foderkoefficienten kan variera mellan olika anläggningar, och ligger vanligen mellan 1,10 och 1,20 kg foder per kg fisk⁵. Med antagandet att foderkoefficienten är lika för båda systemen, skulle en justering av den ha en direkt påverkan på resultaten men skulle inte förändra förhållandet i resultaten mellan RAS och kassodling.

Det finns flera studier som pekar på att foderkoefficienten kan vara lägre i ett recirkulerande system (Samuel-Fitwi, Nagel, Meyer, Schroeder, & Schulz, 2013, Liu, o.a., 2016, d'Orbcastel, Blancheton, & Aubin, 2009). Samtidigt finns det studier som pekar åt andra hållet, dvs att RAS-anläggningar erfordrar högre foderinsats per producerad mängd fisk än kassodling (Ayer & Tyedmers, 2009).

⁵ För insamlade data från Matfiskodlarnas kassodlingar är den lägsta foderkoefficienten 1,05 och den högsta 1,23. För yngelodling har vissa anläggningar en foderkoefficient under 1.

Ifall foderkoefficienten för RAS-anläggningen skulle sänkas till 0,9 kg foder/kg fisk (levandevikt, skulle miljöpåverkan från fisk odlad på RAS-anläggning sjunka något. Resultaten av jämförelsen skulle dock förbli till fördel för kassodlingen inom alla undersökta kategorier förutom utsläpp av näringsämnen.

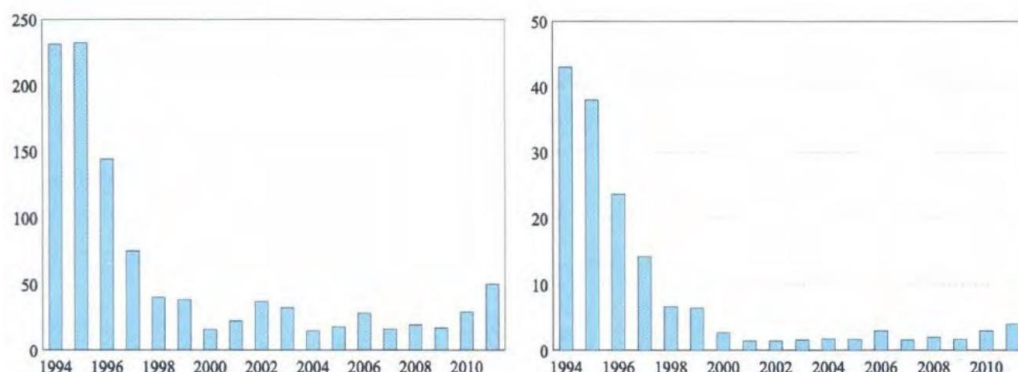


Figur 13: Känslighetsanalys av förändrad foderkoefficient för RAS.

8 Antibiotikaanvändning inom livsmedelsindustrin

En annan aspekt inom djuruppfödning som kan ha betydande påverkan på djurs och människors hälsa, som inte fångas upp i tillgängliga metoder för livscykelanalyser, är påverkan från användningen av antibiotika. En befarad risk kopplad till omfattande antibiotikaanvändning inom djuruppfödning är att fler antibiotikaresistenta bakteriestammar ska utvecklas. Folkhälsomyndigheten beskriver denna utveckling som ett växande folkhälsoproblem som orsakar ökad sjuklighet och dödlighet (Folkhälsomyndigheten, 2016). Denna risk påverkar inte bara djuruppfödningen utan även sjukdomsbekämpningen hos människor.

År 2011 var användningen av antibiotika i fiskodling i Sverige 4 mg/kg producerad fisk, vilket är ca en tiondel av vad som användes i Sverige på mitten av 90-talet. Minskningen beror till stor del på effektivare vacciner mot vissa sjukdomar. Denna siffra kan jämföras med andra nordiska länder, t ex använde Island 7 mg antibiotika/kg producerad fisk år 2011 (150 mg/kg år 1990). Trenden för Sverige visas i figuren nedan. (Heldebo, Rasmussen, & Holdt Lovstad, 2013)



Figur 14 Mängd (kg ren substans) antibiotika för inblandning (tv) och den relativa förbrukningen av antibiotika för laxartad fisk i Sverige (gram substans per ton producerad fisk (th) 1994-2011.

Baserat på siffror om innehållet av aktiv substans i antibiotika i Sverige (Ahlberg, 2017) är användningen av aktiv substans ungefär hälften så stor som mängden antibiotika, alltså använde Sverige år 2011 ca 2 mg aktiv substans per kg producerad fisk. Samma år använde Norge ca 0,5 mg aktiv substans/kg (EMA, 2013) (Heldebo, Rasmussen, & Holdt Lovstad, 2013).

Användningen av antibiotika i fiskodling kan jämföras med användningen av antibiotika i hela den animaliska livsmedelsproduktionen. I Sverige har användningen av antibiotika inom livsmedelsproduktionen minskat från 15,2 mg antibiotika per producerat kg levandevikt (mg/PCU) år 2010, till 11,8 mg/PCU år 2015 (EMA, 2017). Det var dock först år 2013 som den svenska fiskproduktionen fanns med i statistiken. Detta år var antibiotikaanvändningen 12,7 mg/PCU, och ca 0,5 mg/kg producerad fisk (Ahlberg, 2017) (EMA, 2015).

9 Diskussion och slutsatser

Denna studie har baserats på både specifika data för svenska kassodlingar och generella data samt antaganden för fodertillverkning och -sammansättning och system för hanteringen av avloppsvatten. En kritisk faktor för miljöpåverkan från fiskodlingen är foderanvändningen. Foderanvändningen har representerats av ett genomsnitt baserat på ett antal konventionella fiskfoder. Sammansättningen av foder kan variera mycket, både sett till typ av ingredienser och hur ingredienserna framställs (ekologisk odling, olika fiskemetoder etc.) En mer ingående analys av innehållet i fiskfodret rymdes inte inom ramen för denna studie, men hade varit värdefull för att påvisa hur mycket den totala påverkan kan variera beroende val av foder, speciellt andelen vegetabilier i fodret och sammansättningen av de marina ingredienserna. Förändrad markanvändning till följd av sojaodling har inte inkluderats i studien och inkludering av utsläpp av växthusgaser kopplat till skövling av regnskog i Sydamerika skulle ha en påverkan på resultaten då

sojamjöl och sojaolja, som anses driva avskogningen i sydamerikanska länder, är viktiga ingredienser i fiskfoder.

Insamlade data för kassodlingen visar på ett något högre värde för elförbrukning jämfört med resultaten i tidigare studier (Winther, fler exempel). Detta kan bero på att merparten av de undersökta odlingarna ligger nära land och har elanslutning. Detta är inte lika vanligt vid havsbaserade kustodlingar i Norge.

Denna studie skulle inledningsvis även omfatta fiskodling i semislutna system. Semi-slutna system avgränsades ur studien på grund av bristande tillgång till underlagsdata. Tekniken är dock under utveckling och kan eventuellt komma att utgöra en del av fiskodlingsnäringen i framtiden. Jämfört med öppna system så krävs det mer energi för att pumpa upp fekalier och foderrester till en avvattningsanläggning på land. Avvattningsanläggningen i sig kräver energi, material användning utrustning. Slam ska antingen transporteras i flytande form eller torkas och pelleteras (vilket kräver ytterligare energi). Den sammanlagda energi och materialåtgången skulle troligen ändå vara lägre för det semislutna systemet jämfört med ett recirkulerande system. Gällande utsläpp av näringsämning från systemet är det rimligt att semisluta system skulle ligga någonstans mellan RAS och kassodling, då delar av näringen samlas upp.

9.1 Slutsatser och rekommendationer

Följande huvudsakliga slutsatser kan dras från denna studie:

- Foderanvändningen är av störst betydelse för resultaten inom klimatpåverkan, utsläpp av näringsämnen samt försurning, både för kassodling och odling med RAS.
- I jämförelsen mellan kassodling och odling vid RAS-anläggning medför RAS-anläggningen störst bidrag inom alla kategorier förutom utsläpp av näringsämnen. Det är den höga energianvändningen för recirkulerande och rening av vattnet som medför högre utsläpp jämfört med kassodling inom dessa kategorier. Gällande utsläpp av näringsämnen medför kassodlingen mer än dubbelt så hög påverkan per producerad enhet jämfört med odling i RAS-anläggning.
- I jämförelsen av klimatpåverkan mellan fisk och övriga köttslag står sig resultaten för regnbåge/röding bra jämfört med nöt och fläsk, medan kyckling ger lägst klimatpåverkan av alla köttslag i jämförelsen.

Följande slutsatser kan dras från denna studie i jämförelse med tidigare studier:

Tidigare studier av fiskodling (liksom Winther o.a.(2009), Pelletier o.a. (2009), d'Orbcastel, Blancheton, & Aubin (2009), Samuel-Fitwi, o.a, (2013)) visar entydigt, liksom

resultatet i denna studie, att fiskodret bär en mycket stor andel av miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv.

Av de studier som gjorts på RAS-anläggningar är det mycket tydligt att val av energikälla för eltillverkning är avgörande för resultatet. I studien som genomförts av Samuel-Fitwi, o.a, (2013) har främst el från fossila källor använts för att försörja RAS-anläggningen, varvid dess miljöpåverkan blir betydligt högre än kassodling inom alla kategorier förutom utsläpp av näringsämnen. Då det endast är svensk produktion som varit aktuell för denna studie har ingen känslighetsanalys av energislag för RAS-gjorts.

Studiens resultat om att materialtillverkningen ger en förhållandevis liten påverkan ur ett livscykelperspektiv stämmer bra överens med andra studier där påverkan från infrastruktur tagits hänsyn till.

Odling av fisk i förhållande till odling av animalier

Denna analys visar på att odlad fisk står sig bra i ett klimatperspektiv i jämförelse med nöt och fläsk, men att kyckling medför lägst klimatpåverkan per kg protein. Parametrar som val av foder, energislag, tillväxttakt för olika arter kan ge en betydande variation i resultaten mellan specifika fall av odling. De värden för klimatpåverkan från nöt- fläsk- och kycklingkött representerar genomsnittlig svensk produktion och bedöms ge en bra jämförelsegrund.

Det hade varit intressant att även jämföra andra aspekter av miljöpåverkan, i synnerhet utsläpp av näringsämnen från olika verksamheter. Bristen på jämförbara värden för utsläpp av näringsämnen från produktion av nöt, fläsk och fågel i Sverige medförde att denna aspekt uteslöts ur studien. En fördjupad studie med fokus på utsläpp av näringsämnen från olika sorters djurproduktion i Sverige idag (medräknat utsläpp från gödning vid odling av fodergrödor samt direkta utsläpp från djuren under deras livstid) skulle fylla en kunskapslucka i jämförelsen av miljöpåverkan från olika köttslag.

Rekommendation av åtgärder i syfte att reducera fiskodlingens påverkan på berörda kategorier:

På en generell och övergripande nivå, oavsett odlingsssystem, visar denna studie att en stor källa till belastning på miljön från odling av fisk är foder. För att minska miljöpåverkan från fodret bör redan påbörjat arbete med att ta fram nya foderrecept, justera fodersammansättningen, hitta nya proteinkällor i foder som inte konkurrerar med människoföda etc, fortskrida.

En annan viktig del i detta är även att öka återanvändandet av resurser och sluta kretsloppet, dvs att vi möjliggör återvinning och återanvändning av det avfall som produceras inom livsmedelssektorn.

Exempel på ytterligare åtgärder är:

- att öka återtagaget till fodertillverkarna av de delar av fisken som ej direkt kan användas för humankonsumtion,
- att hitta fler och öka användningsområden för andra delar av fisken än filékött (huvud, skinn, fett, övrigt kött, blod, tarmar, fenor osv.)
- att öka möjligheterna till återtag av det slam/gödsel (biprodukt) som genereras,
- att i större utsträckning använda rester från livsmedelsindustrin i fodertillverkningen,
- att minska skapandet av nya resurser och istället öka återanvändandet av resurser som skapas oavsett om det är exempelvis animaliskt avfall, slam/gödsel, energi, vatten.

Gällande odling i RAS är det av betydelse att se över möjligheterna att sänka elanvändningen samt välja förnybar energi. Detta eftersom det är avgörande för systemets klimatpåverkan. En "smutsigare" elproduktion medför en betydligt högre klimatpåverkan.

Det finns även ett behov av att öka omställningen från linjära materialflöden till mer cirkulära flöden. För att möjliggöra detta för fiskodlingssektorn behöver bland annat olika sektorer samverka, både inom och mellan olika länder. Sektorsamverkan behöver bland annat ske mellan fodertillverkare, olika sektorer inom livsmedelsproducenterna (både näringar inom vattenbruk och jordbruk), avfallsproducenter, energiproducenter, konsumenter osv.

Tillståndstid - drifttid

De miljötillstånd som Matfiskodlarnas medlemmar har idag är vanligen tidsbegränsade till ca 10 år, med några få undantag, det finns äldre tillstånd som inte är tidsbegränsade. En diskussion att föra i kommande tillståndsprövningar är att den totala miljöpåverkan kan minskas ju längre verksamheten drivs, oavsett odlingssystem men med större effekt vid RAS-odling. I detta sammanhang bör man även fundera på skillnader i avvecklingskostnader i ett klimatperspektiv mellan olika odlingssystem. Även om miljöpåverkan minskar i takt med längre användning av lokalerna, utgör inte denna faktor något avgörande del i miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv.

Ekonomiska aspekter har inte undersökts i denna studie, men kopplingen mellan tillståndstid och lönsamhet i fiskodlingen är ett faktum, då investeringarna vid start av en anläggning är betydligt högre än driftskostnaderna. Med hänsyn till att regnbåge/röding från undersökta fiskodlingar, näst efter kyckling, tillhör de köttslag som bidrar med minst klimatpåverkan, finns även ett miljömässigt värde i att odlingarna kan drivas med ekonomisk lönsamhet.

10 Referenser

- Ahlberg, A. D. (2017). Jämfrelse årlig mängd utskriven foderantibiotika.
Aquaculture methods. (den 09 06 2017). Hämtat från European Commission:
https://ec.europa.eu/fisheries/cfp/aquaculture/aquaculture_methods_en den 09 06 2017
- Asche, F., Roll, K. H., Sandvold, H. N., Sørvig, A., & Zhang, D. (2013). Salmon aquaculture: larger companies and increased production. *Aquaculture Economics & Management*.
- Ayer, N., & Tyedmers, P. H. (2009). *Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid*. Journal of Cleaner Production.
- Carlsson, B., Sonesson, U., & Cederberg, C. (2009). Livscykelanalys (LCA) av svenskt ekologiskt griskött. SIK.
- Cederberg, C., & Darelus, K. (2002). *Using LCA methodology to assess the potential environmental impact of intensive beef and pork production*.
- d'Orbcastel, E. R., Blancheton, J.-P., & Aubin, J. (2009). Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquacultural Engineering*, 40, 113-119.
- Eidstedt, M. (den 28 02 2016). *Totalkonsumtion (förbrukning av kött) åren 1960-2016*. Hämtat från Jordbruksverket:
<https://jordbruketisiffror.wordpress.com/2016/02/28/totalkonsumtion-forbrukning-av-kott-aren-1960-2015/> den 15 06 2017
- EMA. (2013). *Sales of veterinary antimicrobial agents in 25 EU/EEA countries in 2011, Third ESVAC report*. European Medicines Agency.
- EMA. (2015). *Sales of veterinary antimicrobial agents in 26 EU/EEA countries in 2013, Fifth ESVAC report*.
- EMA. (2017). *Sales of veterinary antimicrobial agents in 29 EU/EEA countries in 2014. Trends from 2011 to 2015*.
- Folkhälsomyndigheten. (den 17 11 2016). Hämtat från Folkhälsomyndighetens webbplats: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/antibiotika-och-antibiotikaresistens/>
- Grimvall, A. (den 18 06 2013). *Hur mycket fisk vi äter och varifrån den kommer*. Hämtat från Havsmiljöinstitutet: <http://havsmiljoinstitutet.se/hav-och-samhalle/fiskkonsumtion>
- Heldebo, J., Rasmussen, R. S., & Holdt Lovstad, S. (2013). *Bat for fiskeopdraet i Norden: Beste tilgaenglige teknologier for Akvakultur i Norden*, ISBN 978-92-893-2560-8.
- Jordbruksverket. (den 16 03 2017). *Vattenbruk - en växande näringsgren på landsbygden*. Hämtat från Jordbruksverket:
<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/landsbygdfiske/branscherochforetagande/vattenbruk.4.e01569712f24e2ca0980008260.html> den 16 06 2017
- Liu, Y., Rosten, T. W., Henriksen, K., Skontorp Hognes, E., Summerfelt, S., & Vinci, B. (2016). Comparative economic performance and carbon footprint of twofarming

- models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): Land-based closed containment system in freshwater and open netpen in seawater. *Elsevier*.
- Livsmedelsverket. (den 15 12 2017). Näringsinnehåll från Livsmedelsdatabasen.
- Naturvårdsverket. (den 27 01 2016). *Färre försurade sjöar*. Hämtat från Naturvårdsverket: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vatten/Forsurade-sjoar/> den 21 06 2017
- Nyhus, O. J. (2014). *Life Cycle Assessment of Farmed Salmon, Comparing a Closed with an Open Sea Cage System*. Department of Marine Technology. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- Pelletier, N., Tyedmers, P., Sonesson, U., Scholz, A., Ziegler, F., Flysjo, A., . . . Silverman, H. (2009). Not All Salmon Are Created Equal: Life Cycle Assessment (LCA) of Global Salmon Farming Systems. *Environmental Science & Technology*, 43(23), 8730-8736.
- Randau, K. (2012). *Livscykelanalys av sex olika fiskodlingssystem - Fisken miljöpåverkan för konsumtion i Stockholm*. Uppsala: Uppsala Universitet.
- Samuel-Fitwi, B., Nagel, F., Meyer, S., Schroeder, J., & Schulz, C. (2013). Comparative life cycle assessment (LCA) of raising rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in different production systems. *Aquacultural Engineering*, 54, 85-92.
- SCB. (den 18 08 2017). *Vattenbruk 2016*. ISSN 1654-4196, Serie Jordbruk, skogsbruk och fiske. Utkom den 24 augusti 2017.: Statistiska centralbyrån. Hämtat från http://www.scb.se/sv/_/Hitta-statistik/Publiceringskalender/Visa-detaljerad-information/?publobjid=28142
- SIS. (12 2006a). Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur. Swedish Standards Institute.
- SIS. (juli 2006b). Miljöledning – Livscykelanalys – Krav och vägledning. Swedish Standards Institute.
- Skontorp, E., Sund, v., & Ziegler, F. (2011). *Carbon footprint and area use of farmed Norwegian salmon*. SINTEF.
- Ungfors, A., Björnsson, T., Lindegarth, S., Eriksson, S., Wik, T., & Sundell, K. S. (2015). *Marin fiskodling på den svenska västkusten: Tekniska lösningar*. Göteborg: Vattenbrukscentrum Väst.
- Winther, U., Ziegler, F., Hognes, E. S., Emanuelsson, A., Sund, V., & Ellingsen, H. (2009). *Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products*. Trondheim: SINTEF Fisheries and Aquaculture.
- Vries, M. d., Middelaar, C. v., & Boer, I. d. (2015). Comparing environmental impacts of beef production systems: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 178, 279-288.
- Ziegler, F., & Bergman, K. (2017). *Svensk konsumtion av sjömat - en växande mångfald*. RISE Research Institutes of Sweden.

BILAGA 1

Beräkning av utsläpp till vatten från odling av fisk i öppna system och recirkulerande system

Beräkningar genomförda av:

Wenche Hansen, Uppdragsledare

Carl Dahlberg, Processtekniker

Matilde Kamp, Processtekniker

Esbjörn Öhrström, Processtekniker

Kristin Dahlqvist, Processtekniker

Emanuel Hellgren, Processtekniker

Bilaga sammanställd av:

Martyna Mikusinska

2018-08-17

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	2
2	Allmänt vattenrening	2
2.1	Partikulärt material.....	2
2.2	Löst organiskt material.....	2
2.3	Kväverening.....	3
3	Massbalans.....	3
3.1	Avgränsningar och antaganden.....	3
3.2	Känslighetsanalys.....	5
4	Recirkulerande system med rening	7
4.1	Vattenanvändning.....	7
4.2	Biologisk rening	8
4.3	Slambehandling	9
5	Jämförelse utsläppsmängder	10

BILAGA 1

BERÄKNING AV UTSLÄPP TILL
VATTEN FRÅN ODLING AV FISK
I ÖPPNA SYSTEM OCH
RECIRKULERANDE S YSTEM

1 Inledning

De beräkningar som redogörs för i denna sammanställning är en del av bedömningen av miljöpåverkan från fiskproduktion. Data har insamlats från flera källor för att kunna undersöka de olika odlingssystemen i livscykelanalysen.

För RAS-anläggning har data delvis baserats på uppgifter för kassodling (foderomvandlingsfaktor, fodersammansättning, yngelproduktion, produktionsförluster), och delvis på resultat i publicerade livscykelanalyser (material och energianvändning). Reningsgrad på utgående vatten och utsläpp av näringsämnen har beräknats av Sweco och redovisas i denna sammanställning. Antagande har ansatts i vissa delar som exempelvis halter i inkommande och utgående vatten, vilka redogörs för nedan.

2 Allmänt vattenrening

I recirkulerande fiskodlingssystem krävs vattenrening. Den viktigaste funktionen är att avskilja partikulärt material och att minska ammoniumhalten i vattnet. Ammonium utsöndras genom fiskarnas gälar och är starkt toxiskt. För att hålla nere ammoniumhalten i fiskbassängerna krävs ett högt genomströmningsflöde och reningsanläggningen måste dimensioneras för samma höga flöde.

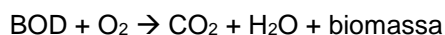
2.1 Partikulärt material

Partikulärt material, eller slam, bestående av fekalier, foderrester och annat avfall, samlas till viss del upp i botten av fiskbassängerna men finns även suspenderat i vattnet. Partiklarna kan i höga halter vara skadliga för fisken och större partiklar kan även skapa problem i vattenreningsprocessen. Slam bildas även som en del av den biologiska reningen.

Vanliga sätt att minska partikelhalten i vattnet är sedimentering eller filtrering genom filter med en bestämd porstorlek. För att partiklarna ska kunna sedimentera behöver de ha bra sedimentationsegenskaper (vara tillräckligt tunga), och för att filtreras behöver de vara tillräckligt stora.

2.2 Löst organiskt material

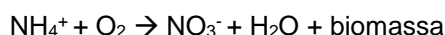
När partikulärt material bryts ned bildas löst organiskt material. För att nitrifikationen i kvävereningen ska fungera behöver halten löst organiskt material i vattnet vara låg. Bakterier kan, i närvaro av syre, omvandla löst organiskt material till koldioxid och vatten. Processen kan förenklat skrivas:



Att använda sig av bakterier för att rena vattnet kallas *biologisk rening*. Bakterierna kan antingen vara suspenderade i vattnet som slamflockar (aktivt slam) eller sitta fast på ett bärrmaterial och skapa en så kallad biofilm.

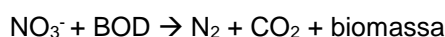
2.3 Kväverening

I frånvaro av organiskt material, och med tillgång till syre, kan en viss typ av bakterier som bryter ned ammonium växa till. Nedbrytningsprocessen kallas *nitrifikation* och kan förenklat skrivas:



Processen är beroende av att alkaliniteten är tillräckligt hög i vattnet.

En annan typ av bakterier respirerar i brist på syre med hjälp av nitrat. På så vis kan det nitrifierade kvävet omvandlas till kvävgas. Bakterierna kräver dock en energikälla i form av organiskt material. Processen kallas *denitrifikation* och kan förenklat skrivas:



Genom att kväve avgår till atmosfären i form av kvävgas sjunker den totala kvävehalten i systemet.

3 Massbalans

För att bestämma vilken typ av reningsteknik, och i vilken storlek, som krävs för ett recirkulerande fiskodlingssystem gjordes en massbalans. Med hjälp av denna kunde nödvändigt genomströmningsflöde samt BOD-, kväve- och fosforhalter i vattnet beräknas. För jämförelse användes även massbalansen, efter justeringar, för kassodling.

3.1 Avgränsningar och antaganden

För att dimensionera reningsverket behövde den maximala belastningen på systemet tas fram. Därför har den maximala fodergivningen använts i beräkningarna. För medelbelastning har medelvärdet på foderkoefficienten (FCR), årgivna foder dividerat med årsproduktionen fisk, från de deltagande anläggningarna använts. I massbalansen användes följande värden gällande fiskproduktion och foder:

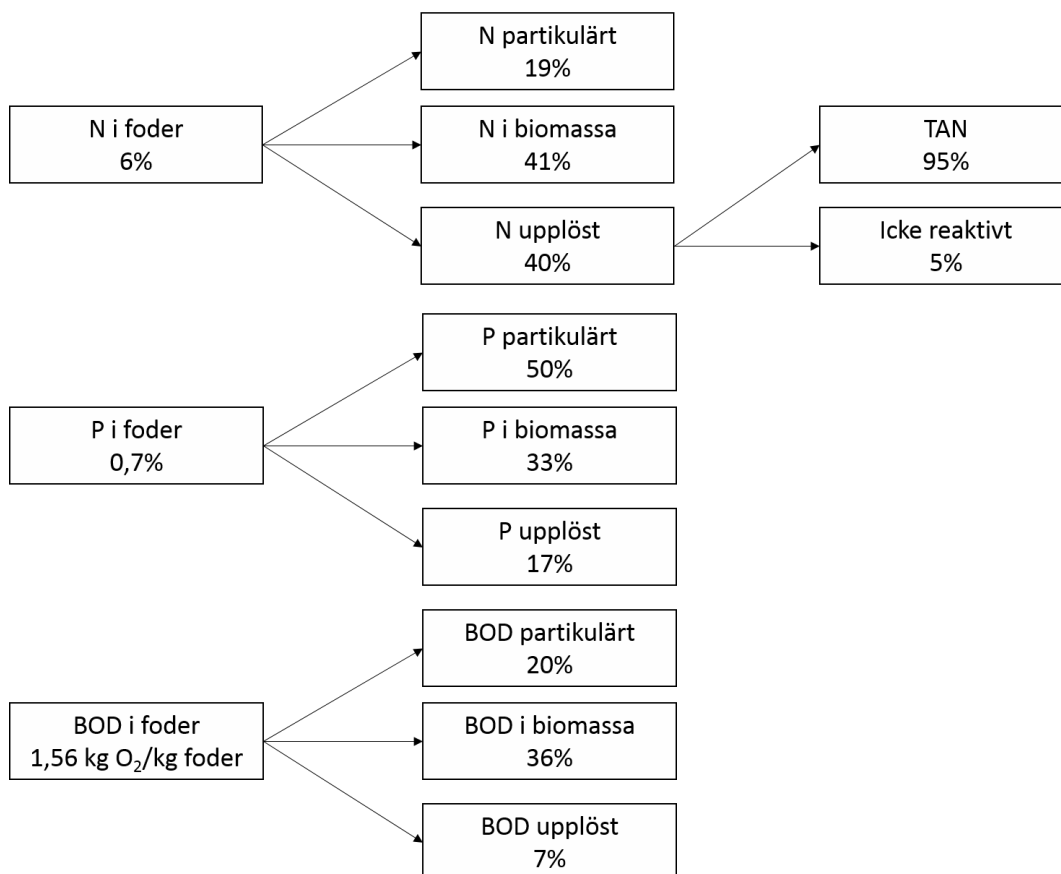
Produktion	3 000 ton matfisk/år
FCR	1,15 kg foder/kg producerad fisk
Maxgiva foder	34 700 kg/d ¹

Kväve- och fosforhalt i fodret (6,5 respektive 0,8 %) är beräknat som ett medel från Matfiskodlarnas medlemmar. BOD i fodret och fördelningen av näringsämnen till fisk (biomassa) och omgivning har hämtats från Braaten et. al (2010). Det har också antagits att all TAN (ammoniak + ammonium) förekommer som ammonium (NH₄-N). Halter och fördelning illustreras nedan.

¹ Medelvärde från insamlade underlag från Matfiskodlarnas medlemmar: odlingarnas maxgiva dividerat med årlig produktion av fisk. Justerat för att matcha den ansatta årliga fiskproduktionen i massbalansen.

BILAGA 1

BERÄKNING AV UTSLÄPP TILL VATTEN FRÅN ODLING AV FISK I ÖPPNA SYSTEM OCH RECIRKULERANDE SYSTEM



Antaganden behöver göras avseende kvalitén på inkommande vatten. För ingående vattenkvalitet med avseende på kväve och fosfor användes ungefärliga halter från provpunkt Bonäshamn i utloppet från Kallsjön, Jämtland². BOD-halter har inte analyserats i denna provpunkt, men antas vara låga. Halter efter rening har bestämts med hänsyn till vad fiskarna tål samt med tanke på utsläppskraven nedan.

Tillåtna utsläppsmängder har satts utifrån Länsstyrelsens krav på utgående vatten i yttrandet till Cold Lake AB:s tillståndsansökan för fiskodling vid Kallsjön, med proportionell korrigerig för den antagna fodergivan. Maximal vattenanvändning, 7,8 miljoner m³ per år, har på samma sätt beräknats från detta yttrande.

² <http://www.indalsalven.se/asp/Diagram.asp?ID=Bonäshamn>

Tabell 1. Antagna halter på ingående, ej recirkulerat, vatten till fiskodlingen och utgående, ej recirkulerat, vatten från reningsanläggningen samt gränsvärden på utgående vatten.

	Ingående halt	Utgående halt	Gränsvärde utgående	
	mg/l	mg/l	mg/l	kg/år
BOD	2,0*	2,0	15	-
Tot-N	0,15	-	35	12 321
NH ₄ -N	0,08	0,5	-	-
NO ₃ -N	0,07	0,5	-	-
Tot-P	0,003	0,006	1,0	1 643

*antagen, mäts ej i provpunkt

I grundfallet har följande ytterligare värden antagits:

NH ₄ -N tillåten i fiskodling	2 mg/l
Recirkulation	90 %

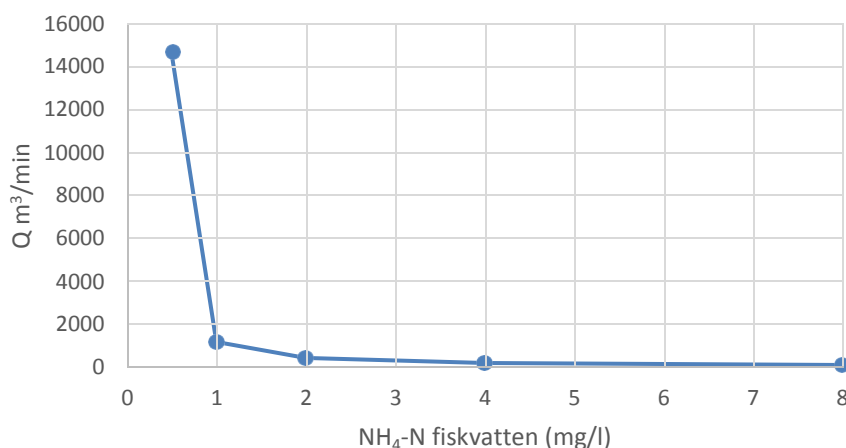
3.2 Känslighetsanalys

I nedanstående figurer jämförs hur olika parametrar påverkar vilket genomströmningsflöde (Q) som behövs i fiskodlingen. Recirkulationen avser hur stor del av det totala flödet som renas och återcirkuleras.

Maximal tillåten ammoniumhalt i vattnet är den parameter som har störst inverkan på genomströmningsflödet. Anledningen till detta är att det ammonium som förekommer i vattnet måste spädas ut till en acceptabel halt för fiskarna. Ju lägre tillåten halt desto mer vatten krävs för utspädning.

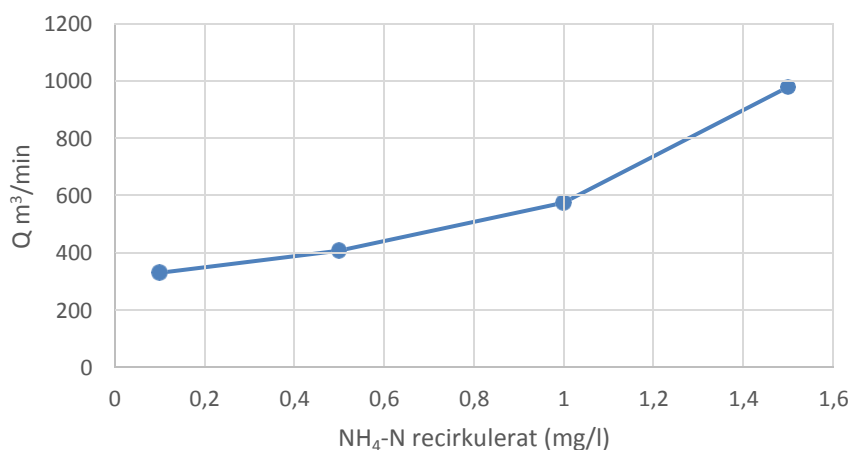
BILAGA 1

BERÄKNING AV UTSLÄPP TILL VATTEN FRÅN ODLING AV FISK I ÖPPNA SYSTEM OCH RECIRKULERANDE SYSTEM



Figur 1. Nödvändigt genomströmningsflöde med avseende på tillåten ammoniumhalt i fiskbassängerna.

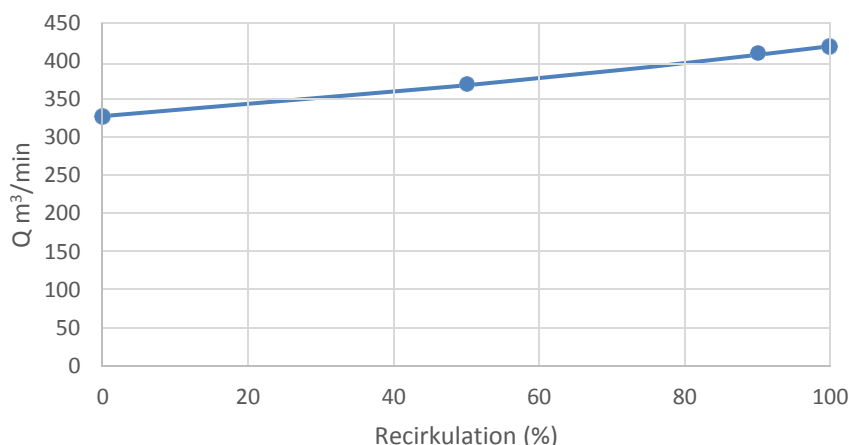
Tillåten ammoniumhalt efter rening, dvs ammoniumhalten i det recirkulerade vattnet, har viss inverkan på genomströmningsflödet. Detta beror på att belastningen på systemet blir högre ju högre ammoniumhalten är i inkommande vatten till fiskarna. Med andra ord, mer ammonium i inkommande vatten medför att vattnet snabbare måste bytas ut.



Figur 2. Nödvändigt genomströmningsflöde med avseende på ammoniumhalten i det recirkulerande vattnet.

Recirkulationsgraden har inte stor inverkan på erforderligt genomströmningsflöde. Orsaken är att det recirkulerade vattnet har tillräckligt låg ammoniumhalt för att det inte ska spela någon större roll om det vatten som används för genomströmning är råvatten

eller recirkulerat. Viktigt att komma ihåg är dock att en hög recirkulationsgrad medför ackumulering av andra, potentiellt toxiska ämnen som ej tas hänsyn till i massbalansen.



Figur 3. Nödvändigt genomströmningsflöde med avseende på recirkulationsgraden.

4 Recirkulerande system med rening

Nedan ges ett förslag till reningsanläggning för att rena vattnet från den fiskodling som beskrivits i massbalansen. I förslaget behandlas den recirkulerande strömmen med BOD-rening och nitrifikation. Avsikten är att dessa reningsvolymmer (ox-1 och ox-2) ska sitta ihop med fiskodlingsbassängen för att spara energi för pumpning, eftersom det rör sig om förflyttning av mycket stora vattenmassor. Luftningen används istället både för syresättning av vattnet och för transport av vatten från botten, via ox-1 och ox-2, till ytan av bassängen. För att hålla nere halten suspenderat material finns även skivfilter.

Den utgående strömmen, som tas från nitrifikationssteget (ox-2) i recirkulationsströmmen, behandlas med efterdenitrifikation för att den totala mängden utsläppt kväve ska bli så låg som möjligt.

Reningsanläggningen ska hålla gränsvärdena vad gäller koncentration löst organiskt material och näringsämnen både för medel- och maxbelastning. Om belastningen ligger på medel sett över hela året hålls gränsvärdena även för vattenanvändning och mängd löst organiskt material och näringsämnen.

4.1 Vattenanvändning

Det erforderliga genomströmningsflödet har beräknats utifrån den maximalt tillåtna ammoniumhalten i vattnet (2 mg/l), 90 % recirkulationsgrad och ansatt fodergiva. För maximalt flöde har den maximala fodergivan använts. För medelflödet har fodergivan

BILAGA 1

BERÄKNING AV UTSLÄPP TILL VATTEN FRÅN ODLING AV FISK I ÖPPNA SYSTEM OCH RECIRKULERANDE SYSTEM

enligt ansatt FCR använts (1,15 kg foder/kg producerad fisk). Med dessa förutsättningar blev flödena:

$$Q_{\max} \quad 408 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{\text{medel}} \quad 111 \text{ m}^3/\text{min}$$

Detta innebär vid medelbelastning att intaget av nytt vatten blir cirka 6 miljoner m³ per år.

4.2 Biologisk rening

I den biologiska reningen omvandlas lösta föroreningar (organiskt material och näringsämnen) till koldioxid och kvävgas eller koncentreras i form av biomassa som går att avskilja. Hela flödet leds till en recirkulationsström med BOD-rening och nitrifikation. Därefter leds 90 % av flödet tillbaka till fiskodlingen och resterande 10 % behandlas med efterdenitrifikation innan det släpps till recipient. I samtliga volymer för biologisk rening används biofilter typ BioBlok på vilka bakterierna kan växa till. På så vis maximeras ytan för tillväxt samtidigt som bassängvolymen begränsas.

Tabell 2. Sammanställning av beräknade volymer, yta respektive kapacitet för anläggningsdelar i föreslagna vattenreningsprocess.

Anläggningsdel	Antal enheter	Total yta	Total volym/kapacitet
Recirkulationsström			
Ox-1 (BOD-rening)	-	720 m ²	3 600 m ³
Ox-2 (Nitrifikation)	-	480 m ²	2 400 m ³
Skivfilter	14 st	-	12 600 m ³ /h
Utgående vatten			
Deox	-	70 m ²	350 m ³
Anox (Efterdenitrifikation)	-	500 m ²	2 500 m ³
Skivfilter	3 st	-	2 700 m ³ /h

Recirkulationsström

Recirkulationsströmmen leds först till en luftad bassäng (ox-1). Luftningen används för att tillsätta syre i vattnet och för att leda recirkulationsströmmen från botten av fiskodlingsbassängen, via ox-1 och ox-2, till toppen av bassängen. I ox-1 bryts BOD ned genom att bakterier oxiderar det organiska materialet för att växa till. Hit tillsätts även rejektvatten från lamelledimenteringen. Troligtvis behöver alkali tillsättas i denna zon för att alkaliniteten ska vara tillräckligt hög för efterkommande nitrifikation.

Den efterföljande bassängen (ox-2) är också luftad. Här omvandlar bakterier ammonium till nitratkväve med hjälp av syre. Vid ofullständig nitrifikation bildas nitrit (NO₂) som är mycket giftigt för fiskarna. Det är därför viktigt att nitrifikationen drivs fullt ut. Detta säkerställs genom att ha tillräckligt lång uppehållstid och rätt pH-värde.

Det slam som bildas genom tillväxten av bakterier i den biologiska reningen avskiljs i skivfilter. Ungefär 50 % av flödet behöver behandlas i filtren för att hålla en SS-halt på

maximalt 10 mg/l i vattnet. Detta innebär 14 skivfilter om dessa har en kapacitet på 900 m³/h. Om en högre SS-halt i vattnet är acceptabel behövs färre filter och vice versa. För att hålla en halt på 20 mg/l behövs till exempel bara 40 % av flödet behandlas i skivfilter. Efter filtren leds vattnet tillbaka till fiskodlingen.

Eventuellt behöver ozon- eller UV-behandling läggas till i recirkulationsströmmen för att undvika tillväxt av patogener.

Utgående vatten/efterbehandling

Det vatten som ska släppas till recipient behandlas först i en omrörd, oluftad bassäng som kallas deox. Syftet med deox-steget är att sänka syrenivån innan vattnet pumpas till den anoxa zonen där kvävet ska denitrifieras. Eftersom syre konsumeras genom nedbrytning av BOD leds BOD-rikt rejektivatten från bandförtjockarna hit, samt även en liten del av rejektivatten från lamellsedimenteringen. Hur stor del av rejektivatten från lamellsedimenteringen som behöver ledas hit styrs av syremätare. Omblandning sker med hjälp av omrörare.

Därefter leds vattnet till ett syrefritt steg, anox, där bakterier respirerar (andas) med hjälp av nitrat istället för syre och därigenom omvandlar nitrifierat kväve till kvävgas. För att detta ska fungera måste det finnas tillgång till kolkälla. Eftersom allt BOD har avskilts från vattnet i de tidigare zonerna behöver det tillsättas en kolkälla i form av etanol eller metanol.

Som ett sista steg avskiljs suspenderat material i skivfilter. Målet är att komma ner i en SS-halt på 15 mg/l. För att uppnå detta behöver ungefär 80 % av flödet ledas genom skivfiltren.

4.3 Slambehandling

Slam kommer dels från foderrester, fekalier och annat avfall som samlas upp i botten på fiskodlingsbassängerna, dels från tillväxten av bioslam som avskiljs genom skivfiltrering i reningsanläggningen. Slammet förtjockas först i en lamellsedimentering från cirka 0,1 % TS till ungefär 1 % TS. Rejektivatten från lamellsedimenteringen leds till ox-1 i recirkulationsströmmen. En liten del leds till deox.

Slammet leds därefter vidare till ett slamlager och sedan bandförtjockare för mekanisk förtjockning till cirka 6 % TS. Efter förtjockning antas slammet omhändertas externt, till exempel i en rötningsanläggning på ett närliggande reningsverk. Om någon sådant inte finns behöver en slambehandling på plats anläggas, med t.ex. rötningskammare och slamavvattning.

Rejektivatten från bandförtjockningen leds till en pumpgrop och därefter till deox i den utgående strömmen. Detta för att inte polymerrester ska tillföras i recirkulationsströmmen och för att säkerställa att tillräckligt med BOD för att sänka syrenivån tillförs deoxen.

BILAGA 1

BERÄKNING AV UTSLÄPP TILL VATTEN FRÅN ODLING AV FISK
I ÖPPNA SYSTEM OCH RECIRKULERANDE SYSTEM

Tabell 3. Sammanställning av beräknade volymer, yta respektive kapacitet för anläggningsdelar i föreslagna slamhanteringsprocess.

Anläggningsdel	Antal enheter	Total yta	Total volym/kapacitet
Lamelledimentering	3 st	-	300 m ³ /h
Slamlager oförtjockat slam	-	40 m ²	200 m ³
Bandförtjockare	2 st	-	40 m ³ /h
Slamlager förtjockat slam	-	30 m ²	150 m ³
Pumpgrop rejektvatten	-	10 m ²	50 m ³

5 Jämförelse utsläppsmängder

För att jämföra utsläppen från de olika fiskodlingssystemen har utsläppen enligt massbalansen sammanställts. Utsläpp till vatten vid medelgiva av foder redovisas i tabell 5.

Tabell 5. Utsläpp till vatten vid produktion av 3000 ton fisk per år vid medel fodergiva för RAS-odling och kassodling. Nettokolumnen avser utsläpp reducerat med mängd i ingående vatten.

		RAS		Kassodling*
		Totalt	Netto	Totalt
Q _{ut}	m ³ /d	15 921	-	-
BOD	kg/d	32	0	3 919
N-tot	kg/d	16	14	359
NH ₄ -N	kg/d	8	7	246
NO ₃ -N	kg/d	8	7	0
P	kg/d	0,1	0,1	3,3

* inklusive partikulärt

Bilaga 2 – Lista dataset

I denna bilaga presenteras de generiska data som använts för att beräkna miljöpåverkan från ingående material, energi och transporter i de två undersökta systemen. I tabellen redovisas vilka dataset som har använts och från vilken databas de kommer.

Kassodling

Process	Databas
Fiskfoder	
Fish meal, from fish meal and oil production, at plant/DK Economic	Agri-footprint
Wheat grain {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Soy protein concentrate, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic	Agri-footprint
Fish oil, from fish meal and oil production, at plant/DK Economic	Agri-footprint
Rape oil, crude {RoW} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Wheat gluten feed, from wet milling, at plant/DE Economic	Ecoinvent 3, cut-off
Sunflower seed meal, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic	Agri-footprint
Blood meal, spray dried, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic	Agri-footprint
Chicken co-product, feed grade, at slaughterhouse/NL Economic	Agri-footprint
Fava bean, feed, Swiss integrated production {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Protein feed, 100% crude {GLO} soybean meal to generic market for protein feed Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Maize gluten feed, high moisture, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic	Agri-footprint
Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Pea dry, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic	Agri-footprint
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Electricity, medium voltage {DK} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Heat, central or small-scale, natural gas {RER} market group for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Yngelodling	
Trout feed_matfiskodlarna	Fiskodling
Diesel, burned in diesel-electric generating set, 18.5kW {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Electricity, medium voltage {DK} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Electricity, medium voltage {SE} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Trout feed_yngel matfiskodlarna	Fiskodling
Yngel Regnbåge/Röding, kassodlad Matfiskodlarna	Fiskodling
Yngel Regnbåge/Röding, RAS-odlad	Fiskodling
Material use_farming 3000 ton trout_Kasse	Fiskodling
Material	
Aluminium, primary, ingot {RoW} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Building, hall {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Concrete block {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Extrusion, co-extrusion {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Extrusion, plastic pipes {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Glass fibre {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Hydraulic digger {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off

Process	Databas
Nylon 6 {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Pig iron {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Polymer foaming {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Weaving, bast fibre {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Steel hot dip galvanized, including recycling, blast furnace route, production mix, at plant, 1kg, typical thickness between 0.3 - 3 mm. typical width between 600 - 2100 mm. GLO S	ELCD
Boat	Fiskodling
Energi	
Electricity, medium voltage {SE} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Diesel, burned in diesel-electric generating set {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Transporter till fiskodling	
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off

RAS

Process	Databas
Fiskfoder (Trout feed_matfiskodlarna)	
Fish meal, from fish meal and oil production, at plant/DK Economic	Agri-footprint
Wheat grain {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Soy protein concentrate, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic	Agri-footprint
Fish oil, from fish meal and oil production, at plant/DK Economic	Agri-footprint
Rape oil, crude {RoW} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Wheat gluten feed, from wet milling, at plant/DE Economic	Ecoinvent 3, cut-off
Sunflower seed meal, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic	Agri-footprint
Blood meal, spray dried, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic	Agri-footprint
Chicken co-product, feed grade, at slaughterhouse/NL Economic	Agri-footprint
Fava bean, feed, Swiss integrated production {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Protein feed, 100% crude {GLO} soybean meal to generic market for protein feed Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Maize gluten feed, high moisture, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic	Agri-footprint
Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Pea dry, consumption mix, at feed compound plant/NL Economic	Agri-footprint
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Electricity, medium voltage {DK} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Heat, central or small-scale, natural gas {RER} market group for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Yngelodling	
Trout feed_matfiskodlarna	Fiskodling
Diesel, burned in diesel-electric generating set, 18.5kW {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Electricity, medium voltage {DK} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off

Process	Databas
Electricity, medium voltage {SE} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Material use_farming 46,2 ton rainbow trout_RAS	Fiskodling
Material	
Concrete block {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Steel hot dip galvanized, including recycling, blast furnace route, production mix, at plant, 1kg, typical thickness between 0.3 - 3 mm. typical width between 600 - 2100 mm. GLO S	ELCD
Extrusion, plastic pipes {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Processkemikalier vid rening av vatten	
Cationic resin {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Energi	
Electricity, medium voltage {SE} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off
Transporter till fiskodling	
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO} market for Cut-off, S	Ecoinvent 3, cut-off