GÖTEBORGS UNIVERSITET

VATTENBRUKSCENTRUM VÄST

Marin fiskodling på den svenska västkusten: Tekniska lösningar

Rapport från Vattenbrukscentrum Väst

Marin fiskodling på den svenska västkusten: Tekniska lösningar

Rapport nummer 4 från Vattenbrukscentrum Väst, Göteborgs universitet

Anette Ungfors, Thrandur Björnsson, Susanne Lindegarth, Susanne Eriksson
och Kristina Snuttan Sundell. Vattenbrukscentrum Väst, Göteborgs Universitet.
Torsten Wik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Omslagsbild: Norsk Havbrukssenter, Brønnøysund
Fotografer omslagsbilder: Anette Ungfors och Kristina Snuttan Sundell

ISBN: 978-91-982551-0-2

© Anette Ungfors, Thrandur Björnsson, Susanne Lindegarth,
Susanne Eriksson, Torsten Wik och Kristina Snuttan Sundell, 2015

Vattenbrukscentrum Väst
Institutionen för biologi och miljövetenskap
Göteborgs universitet
Box 463
405 30 Göteborg

www.vbcv.science.gu.se

Tryckt av Ale Tryckteam
Ale, 2015

GÖTEBORGS UNIVERSITET

VATTENBRUKSCENTRUM VÄST

Marin fiskodling på den svenska västkusten: Tekniska lösningar

Rapport från Vattenbrukscentrum Väst

Anette Ungfors, Thrandur Björnsson, Susanne Lindegarth, Susanne Eriksson, Torsten Wik och Kristina Snuttan Sundell

Innehållsförteckning

Sammanfattning 7
Ordlista och definition av begrepp 9
1. Inledning: Fiskodling och vattenbruk 11
Olika system för vattenbruk 11
Regelverk och tillstånd 12
Syfte och mål med rapporten 13
2. Havsbaserade öppna odlingssystem 15
Möjligheter och utmaningar 15
Öppen kassodling i hav/sjö 17
Utsjöodling - offshore 20
IMTA 21
3. Havsbaserade semislutna system 25
Möjligheter och utmaingar 25
Hårda och mjuka skal 26
Lämpliga arter 28
4. Landbaserat slutet system 29
Odlingskar 29
Syresättning 30
Vattenrening 31
Principella skillnader i konfiguration 36
Alternativa konfigurationer 40
Temperatur 45
Energi 46
Sammanfattning 48
5. Kommersiell matfiskproduktion - historia och förutsättningar 51
Hälleflundra 51
Torsk 51
Piggvar 52
Tunga 53
Vanlig och fläckig havskatt 54
6. Tekniska lösningar för hälleflundra, torsk, piggvar, tunga och havskatt 55
Olika arter och livsstadier kräver olika odlingstekniker 55
Stamfiskanläggningar 57
Kläckerier för hälleflundra, torsk, piggvar och tunga 60

Kläckerier för havskatt 63
Sättfiskproduktion 64
Matfiskproduktion av hälleflundra och torsk 67
Matfiskproduktion av havskatt, piggvar och tunga 68
7. Hummer 71
Generell bakgrund 71
Avelsdjur 71
Ägginkubation 72
Larvstadier 72
Tillvänjning pellet/Yngeluppväxt/Juvenil 73
Produktion av portionshummer 73
8. Slutsatser 75
Studiens omfång och begränsningar 75
Ekonomiska hänsynstaganden 75
Framtida perspektiv 76
9. Referenser 79
Bilaga 1: Företagsinformation 95

Sammanfattning

Öppen kassodling av fisk som idag dominerar i sjöar och hav kan vara förknippade med problem som exempelvis utsläpp av näringsämnen och partiklar till miljön, rymningar som kan påverka vilda bestånd, sjukdomsspridning i allmänhet och spridning av laxlus i synnerhet. Idag pågår en aktiv forskning och utveckling runt alternativa mer miljöanpassade vattenbrukstekniker som fokuserar på en ökad kontroll av kontakten och utbytet mellan den odlade fiskens och dess miljö och omgivningen. Flera system är redan i bruk i kommersiell skala och ytterligare andra är i prototyp- respektive planerings-stadie med stor potential att så småningom ersätta de helt öppna systemen. Denna rapport beskriver och jämför traditionell kassodling med nya odlingstekniker med fokus på marina arter och system. Rapporten är en uppföljning på rapporten ”Marin Fiskodling på den Svenska Västkusten: Biologiska Förutsättningar” som utkom 2012, där ett antal lämpliga marina fiskarter för odling på svenska västkusten kunde lyftas fram baserat på biologisk kunskap och försäljningsvärde. De kandidatarter som identifierades var: hälleflundra, havskatt, tunga, piggvar samt torsk. Den här presenterade rapporten ger, förutom en genomgång av havs- och landbaserade odlingstekniker, en översikt över vilka tekniker som används idag för odling av stamfisk, befruktning och yngelfaserna samt för tillväxtfaser upp till slaktstorlek för dessa fem fiskarter. Rapporten innehåller också en beskrivning av odlingsteknik för hummer då kräftdjur kan bli aktuella som odlingsarter för västkusten. Vidare diskuteras översiktligt de ekonomiska förutsättningarna samt behoven av att anpassa regelverken för tillståndsgivning och övervakning till de nya systemen.

De nya semislutna eller slutna odlingssystemen kan hålla en god kontroll av både in- och utgående vatten och fisken är innesluten i ett kar eller tät kasse. Genom att stärka barriären mellan fisken och den omgivande miljön begränsas rymningsrisken och risken för genetisk kontamination. Faktorer som temperatur, salthalt, algblomningar och smittsamma sjukdomar och parasiter kan kontrolleras via vattentillförseln för att optimera förhållandena för fiskens välfärd och hälsa vilket påverkar både överlevnad och tillväxthastighet positivt. Foderspill, fekalier och övrigt partikulärt avfall kan tas omhand och likaså är det möjligt att minska utsläppen av de i vattnet lösta näringsämnena genom olika kemiska och biologiska processer. Fiskproduktion av en viss mängd kan därmed ge betydligt lägre utsläpp av näringsämnen till miljön.

I de havsbaserade semisluta systemen odlas fisken i täta behållare som kan delas in i två kategorier beroende på vilket material behållaren är gjord av 1) täta, rörliga ”påsar” och 2) hårda material såsom plast, stål eller betong. Vatten pumpas in i behållaren från ett djup som ger optimal temperatur och syremättnad samt innehåller är i stort sett fritt från de vanligaste sjukdomsalstrande mikroorganismer och laxlus. Det utgående vattnet kan renas från partikulärt material (oätna foderpellets, fekalier) genom galler-filter och sedimenteringsmetoder. Teknikerna erbjuder möjligheter att ansluta ytterligare reningssystem, men än så länge används inte metoder för att reducera de lösta näringsämnena till omgivningen. En utmaning är också att designa och producera utrustning som tål stark vind- och vågpåfrestning.

De landbaserade recirkulerande systemen (RAS) har potentiellt mycket stora miljöfördelar i synnerhet om de har en hög recirkulationsgrad, vilket förutsätter en väl fungerande vattenrening. Det finns i dagsläget inte en enhetlig RAS-konfiguration som kan gälla för alla omständigheter – reningsteknik och dimensionering av anläggningen beror exempelvis på val av fiskart, foder, produktionsmängd, temperatur och lokala faktorer som vattentillgång, utsläppsnivåer och tillgång till byggnader och värme. En nackdel med RAS är de höga initiala investeringskostnaderna. Det krävs även stort tekniskt kunnande för att designa en effektiv RAS-anläggning, alternativt för att utvärdera de olika konfigurationslösningar som erbjuds från olika aktörer (leverantörer av RAS). Även dagligt bruk, drift och skötsel, kräver mer teknisk reglering och kompetens.

Ytterligare en attraktiv möjlighet att minska miljöbelastningen från havsbaserade öppna och semislutna fiskodlingar är att samodla arter från olika delar i näringskedjan, så kallad Integrerad Multitrofisk Odling (IMTA). Alger och musslor kan utnyttja näringsutsläppet från fiskodlingarna för tillväxt och används vanligen i IMTA-system för att extrahera partikulära och lösta näringsämnen från havet. Det finns en stor innovationspotential när det gäller att använda djurgrupper som kan livnära sig på foderspill och fekalier under fiskodlingar i IMTA-modeller, t.ex. sjögurkor och sjöborrar, havsborstmaskar och olika kräftdjur med kommersiellt värde. Fördelarna med IMTA jämfört med enbart fiskodling är att man får bättre användning av en odlingslokal, reducerad effekt på miljön och en diversifierad produktion som kan ge bättre lönsamhet och fler arbetstillfällen.

Då utvecklingen av de nya odlingssystemen är driven av en målsättning att minska påverkan på den omkringliggande miljön, erbjuder dessa helt andra möjligheter och förutsättningar än den traditionella kassodlingen. Detta medför att regelverk och tillståndsgivningen behöver revideras och anpassas så att hänsyn tas till den använda odlingstekniken. Framtida regelverk bör baseras på utsläppsnivåer snarare än foderförbrukning. Detta skulle också ge incitament till odlare att investera i miljövänligare teknik för sin produktion och ta hand om restprodukter och utsläpp i ett kretslopptänk. Idag finns inga tröskelvärden eller riktlinjer för halter av näringsämnen i utgående vatten, inte heller för landbaserad odlingsverksamhet.

Efter genomgången av de nya teknikerna för matfisk- och skaldjursodlingar konstateras i rapporten att, såväl landbaserade RAS-anläggningar som de semislutna/slutna havsbaserade systemen är under kraftig utveckling som produktionsmetoder. Nya prototyper och tekniska lösningar på såväl anläggningar som reningssystem tillkommer hela tiden och de befintliga vidare utvecklas. De nya teknikerna har därmed en mycket stor potential för ökad såväl kostnads- som miljöeffektivitet genom fortsatt forskning och nya tekniska innovationer. Det samma gäller för de marina fisk- och skaldjursarterna. Även här finns det fortfarande kunskapsluckor när det gäller de marina fiskarnas behov i olika livsstadier i en odlingssituation och fortsatt FoU-verksamhet för ökad förståelse av arternas biologi är nödvändig.

Att i dagsläget satsa på kommersiell odling som bygger på dessa nya tekniker innebär relativt högt risktagande och höga investeringskostnader. Att identifiera de kundsegment som är beredda att betala lite mer för en produkt som är framställd enligt ny miljöanpassad teknologi och förstå hur lyckad marknadsföring av denna typ av produkter skall utformas bör därför vara prioriterat i en kommersiell satsning. För närvarande (2015) är ett flertal seriösa företagare i startgroparna att etablera fiskodling på den svenska västkusten genom att anamma bästa tillgängliga teknik. Stöd från offentliga sektorn till dessa kommersiella initiativ via exempelvis projektfinansiering av FoU-verksamhet är nödvändigt, likaså behöver de tillståndsgivande myndigheterna följa med i teknikutvecklingen och verka för att de nya odlingssystemen ska kunna etableras.

Ordlista och definition av begrepp

Befruktning, sammanstrålning av könsgameter ägg och spermatozoer

Biofilter, biologisk enhet i RAS där bakterier växer på ytförstorande material och omvandlar olika ämnen (ammonium till nitrat alternativt kvävgas)

Dygnsgrader (D°), antal dygn × temperatur under denna period, påverkar utveckling

Greenwater, produktion av encelliga alger (arter) som fungerar som föda för hjuldjur, och påverkar miljön gynnsamt genom microbiota och ljus

Foderkonversionsratio (FKR) =foder/(biomassaslut –biomassastart)

IMTA, integrated multi trophic aquaculture (flertrofiodling)

Inkubation, perioden när det befruktade embryots utvecklas inne i äggkapseln före kläckning

Juvenil, icke könsmogen individ

Larv, fisk- eller skaldjursyngel före metamorfos

Levande foder, startfodring av larver med djurplankton (levande, eller döda som s.k. pasta)

Kläckning, larv kommer ut ur äggkapsel

Metamorfos, omvandlingen från larvstadium till juvenil

Ovulation, ägglossning och äggmognad kort före befruktning

RAS, recirculation aquaculture system Semislutna/slutna system, landbaserad eller havsbaserad anläggning med ökad barriär mot omgivningen

Silo, hög cylindrisk tank, ofta för larvfasen

Specifik tillväxt (SGR, specific growth rate, % per dag) = (ln viktslut – ln viktstart) × 100/antal dagar

Tillväxtfas, fortsatt utveckling men mest inlagring och storleksökning till könsmognad

Tråg, mindre låda eller box, rektangulär eller cirkelform, där ägg hålls under inkubationsperioden

Täthet, kg/m2 eller kg/m3 = biomassa per yta eller volym

Yngel, icke könsmogen individ, kring metamorfos (likställd med juvenil eller möjligen något yngre stadie)

Weaning, efter gulesäckstadium då startfodring av levande foder eller torrfoder av pelletskaraktär påbörjas

1. Inledning: Fiskodling och vattenbruk

FN-organet FAO (Food and Agricultural Organization) har nyligen gjort en global bedömning av fiske och vattenbruk (SOFIA, FAO, 2014) och konkluderar att den globala fiskproduktionen fortsätter att växa snabbare än befolkningstillväxten, och att vattenbruk fortfarande är en av de snabbast växande livsmedelsproducerande sektorerna. Vattenbruksproduktionen har aldrig varit större än den är idag och den levererar i stort sett hälften av all fisk som konsumeras. Denna andel beräknas öka till 62 procent år 2030 på grund av en ökad efterfrågan på fisk och skaldjur från en växande global medelklass samtidigt som fångster av vilda bestånd planar ut och även minskar. Om vattenbruket utvecklas och praktiseras på ett ansvarsfullt sätt, kan det generera varaktiga fördelar för den globala livsmedelsförsörjningen och ekonomiska tillväxten (FAO, 2014). Miljövärnande svenska och Europeiska organisationer är eniga med FAO i denna syn och förordar miljöanpassat vattenbruk som ett led i livsmedelsförsörjningen, speciellt genom att utnyttja vattenbrukstekniker som minskar branschens miljöpåverkan (Bruno 2014). Öppen kassodling av fisk som idag dominerar i sjöar och hav är förknippade med ett antal miljöproblem, som exempelvis utsläppen av näringsämnen till miljön, rymningar som påverkar vilda bestånd, sjukdomsspridning i allmänhet och spridning av laxlus i synnerhet. De alternativa vattenbrukstekniker som på senare tid har utvecklats för att lösa dessa problem och som vi beskriver i denna rapport (se kapitel 2-4) har stor potential att så småningom ersätta de öppna systemen. Det återstår dock en rad tekniska och ekonomiska utmaningar för att dessa system ska vinna terräng och bli kommersiellt lönsamma.

1.1. Olika system för vattenbruk

Det finns många tekniker och odlingssystem för fisk och skaldjur. Generellt kan man säga att de väsentliga skillnaderna mellan olika tekniker ligger dels i grad av utnyttjande av den lokala miljön för vattenförsörjning, dels åtgång av material och energi för anläggningens drift (Ayer and Tyedmers 2009) och i tillägg, skillnader i möjligheter att samla upp restprodukter.

Havsbaserade system innebär att anläggningen är placerad i havet och att djuren hålls innestängda med olika tekniker. Definitionen öppet system används om odlingsfiskarna simmar i nätkassar med fri in-passage av omgivande vatten och ut-passage av foderrester och fekalier. Öppna system drar nytta av den lokala miljön (ekosystemet) och energibehovet i form av utrustning och material är jämförelsevist litet.. Definitionen halvslutna eller slutna, med en glidande övergång mellan dessa två begrepp, används då kassen ersatts av antingen en hård behållare eller en mer flexibel och mjukare duk som innesluter djuren.. Vatten har nu inte fritt tillträde och utträde till anläggningen, utan pumpas in från fritt valt djup och flödar ut genom definierade utloppsluckor eller hål. Vattnet kan därmed renas från partikulärt och/eller löst material i olika grad beroende på reningsteknik och flöden, innan det blandas med omgivande vatten. De stora odlingsnationerna i Europa som Norge, Skottland och Island utnyttjar främst öppen kassodling inte minst för lax, men bl a i Norge har nu ett flertal företag satsat på utveckling av havsbaserade halvslutna system. Ett antal FoU-projekt och forskningsanläggningar med fokus på olika material har genomförts och presenterats. Nyligen (hösten 2014) finansierade Norska Forskningsrådet inrättandet av ett Centrum för forskningsdriven Innovation (SFI) med titeln: Centre for Closed-containment Aquaculture, CtrlAqua, som samlar forskningspartners och en stor mängd kommersiella aktörer för forskning och utveckling av slutna odlingssystem, såväl i havet som på land.

Landbaserade anläggningar är som namnet antyder placerade på land. Man är mer oberoende av den lokala miljön då vatten exempelvis kan tas från olika källor och recirkuleras till varierande grad för att reducera vattenåtgång, men tekniken kräver större investeringar i utrustning och materialbehov samt att energiåtgången är hög speciellt vid pumpbehov och vid justering av vattentemperaturen. Den största skillnaden

mellan olika landbaserade tekniker är mängden vatten som förbrukas. I en så kallad genomströmmande anläggning utnyttjas vattnet bara en gång, medan det i ett recirkulerande system (Recirkulation Aquaculture System, RAS) används ett flertal gånger. I RAS anläggningar ställs därför stora krav på reningsteknik och övervakning. Anläggningar kan också vara ett mellanting av dessa två, med viss rening och varierade grad av återvinning av vattnet (partiell RAS). Bland de nordiska länderna är Danmark ett föregångsland när det gäller RAS-teknik och flera stora kommersiella anläggningar är redan i bruk eller under uppstart för tillväxtodling på land. Särskilda försöksanläggningar för forskning kring RAS är uppbyggda bl a vid Danmarks tekniska högskola, DTU Aqua, i Hirtshals (http://www.aqua.dtu.dk/Forskning/Akvakultur). Även i Norge (NOFIMA, Sunndalsöra) finns en större forskningsanläggning för RAS-tekniker, med fokus på laxfiskar och smoltproduktion (http://nofima.no/en/research-facilities/nofima-centre-for-recirculation-in-aquaculture).

En nyligen utkommen sammanställning av Bästa Tillgängliga Teknologier (BAT) för nordisk akvakultur (Heldbo et al. 2013) ger en gedigen översikt över landbaserade och marina havsbaserade odlingstekniker tillgängliga i Norden idag och dessa odlingars miljöpåverkan. BAT-rapporten ger en ledning och rekommendationer till industrin om bästa tillgängliga tekniker för att reducera miljöeffekter som samtidigt ger ekonomisk lönsamhet. Vattendirektivet (EU 2000) och dess mål strävar efter god miljö i alla akvatisk områden i EU, och genom att använda BAT kan dessa mål följas och samtidigt ge möjlighet till ökad odlingsproduktion.

Rapporten ”Småskalig marin fiskodling” från Samförvaltningen Norra Bohuslän ger en översiktlig och användarvänlig genomgång av teknik och utrustning som utnyttjas i olika typer av landbaserade och havsbaserade anläggningar i Norden, med rapporter från flera studiebesök vid nordiska anläggningar (Ungfors and Lindegarth 2014).

I den här rapporten jämförs olika havsbaserade (kapitel 2-3) och landbaserade odlingssystem (kapitel 4). Rapporten ger en översikt över vilka tekniker som används för odling av stamfisk, befruktning och yngelfaserna samt för tillväxtfaser upp till slaktstorlek för fem fiskarter (kapitel 5) som in en tidigare rapport föreslagits som biologiskt lämpliga odlingsarter för svenska västkusten (Albertsson et al 2012). Rapporten tar vidare upp exempel på befintliga anläggningar och FOU-initiativ för dessa arter (kapitel 6). Teknik för skaldjursodling (hummer) presenteras i eget kapitel (kapitel 7).

1.2. Regelverk och tillstånd

Det är många lagar och regelverk som styr tillståndsgivning för att odla fisk. Regelverket är komplext och tillstånd kan krävas enligt flera parallella lagstiftningar som skall prövas hos flera instanser. Alla vattenbrukare är, oavsett odlingsvolym, skyldiga att ha ett tillstånd enligt fiskerilagstiftningen före verksamheten påbörjas. Detta gäller både om man tänker odla fisk, kräftdjur, musslor eller ostron. Att hitta lättillgänglig kunskap om vilka regler som gäller och hur man söker tillstånd för odling kan vara den största barriären för många framförallt mindre odlingsföretag som vill starta upp. Jordbruksverket har dock i uppdrag att skapa ”en dörr in” för att underlätta nyetablering av vattenbruk samt vattenbrukarnas byråkratiska vardag (se www.svensktvattenbruk.se).

I dagsläget baseras tillståndsgivning för fiskodling på att odlingen kommer att ske i öppna odlingssystem med hänsyn tagen till de problem som öppna odlingar innebär – risk för rymningar med möjlig påverkan på vilda populationer, smittspridning och inte minst näringsläckage via foder och utsöndring från fisken, som sker till den omgivande miljön.

Exempelvis är Fiskerilagstiftningen inriktad på att skydda lokala stammar av lax, vilket förhindrar nyetableringar av laxodling inom 20 km från laxförande älvs mynning. I havsområden utanför mynningsområde

ska laxstam med ursprung från närmast liggande eller angränsande system användas. Tillståndsprövningen inom Miljölagstiftningen baseras på den årliga foderförbrukningen och har en gräns vid 40 tons årsförbrukning av foder, över denna nivå betraktas verksamheten som miljöfarlig och särskild prövning krävs. Under de senaste 10-15 åren har dock en intensiv forskning för att utveckla foder med bättre egenskaper skett, vilket inneburit att det idag används fiskfoder som ger ett betydligt lägre läckage av kväve och fosfor samt har flytegenskaper som gör att det blir mindre foderspill.

De nya odlingsteknikerna som presenteras i denna rapport har utvecklats för att möta flera av de problem som finns med öppna kassodlingar. Exempelvis är fisken i de slutna havs- och landbaserade systemen innesluten i stängda enheter vilket gör att rymningsrisk minimeras. I slutna system tas också foderspill, fekalier och näringsämnen om hand vilket innebär att en fiskproduktion av en viss mängd ger betydligt lägre utsläpp till miljön jämfört med öppen kasse. För att rätt kunna bedöma påverkan av en modern fiskodling bör regelverk och tillståndsgivning ändras så att hänsyn tas till såväl det använda fodret som den använda odlingstekniken. Regelverken bör vara baserade på utsläppsnivåer snarare än foderförbrukning. Detta skulle också ge incitament för odlaren att satsa på miljövänlig teknik för sin produktion för att ta hand om restprodukter och utsläpp i ett kretslopptänk. Idag finns inga tröskelvärden eller riktlinjer för halter av näringsämnen i utgående vatten, inte ens för landbaserad odlingsverksamhet.

1.3. Syfte och mål med rapporten

Vattenbrukscentrum Väst (VBCV) vid Göteborgs universitet har som övergripande målsättning att bidra med kunskapsbaserad information för att stödja utvecklingen av ett marint vattenbruk på den svenska västkusten. De faktaunderlag i form av utredningar och rapporter som tas fram inom VBCV syftar till att utgöra grund för handlingsplaner för utveckling och etablering av marint vattenbruk i Västsverige.

Den här rapporten är en uppföljning till VBCV:s rapport ”Marin Fiskodling på den Svenska Västkusten: Biologiska Förutsättningar” (Albertsson et al. 2012), där möjliga arter för odling i den marina miljön identifierades utifrån biologisk kunskap och försäljningsvärde. Fem fiskarter identifierades som de mest lovande att odla i svenska förhållanden: hälleflundra, havskatt, tunga, piggvar samt torsk. Denna rapport fokuserar vidare på de odlingstekniska möjligheterna och tidigare erfarenheter för odling av de fem ovannämda fiskarterna i miljöanpassade system. Då odling av kräftdjur också har en stor potential har vi odlingstekniker för hummer som ett intressant alternativ på västkusten också inkluderats.

Rapporten vänder sig främst till entreprenörer som är intresserade av att starta upp verksamhet med marin fisk- och skaldjursodling i miljöanpassade havs- och landbaserade odlingssystem på västkusten, myndigheter som är inblandade i tillståndsprocesser, uppföljning och/eller kontroll, samt forskare som är inriktade mot utveckling av ett hållbart marint vattenbruk och en ökad välfärd för de inblandade djuren. Vår målsättning är att rapporten skall kunna utgöra en grund för handlingsplaner för utveckling och etablering av marint vattenbruk i Västsverige.

Kunskapsunderlaget är hämtat från vetenskaplig forskningslitteratur, resultat från olika forsknings- och utvecklingsprojekt samt odlingsföretag i Norden och Europa men även från Kanada via hemsidor och personlig kommunikation.

2. Havsbaserade öppna odlingssystem

Odling kan bedrivas i olika ekosystem såsom sjöar, kustnära hav eller utsjöområden (offshore). Öppen kassodling är av liknande karaktär i dessa system, men vissa tekniska anpassningar till miljön förekommer.

Öppen kassodling är kostnadseffektiv och välbeprövad. Möjligheterna är dock begränsade i Västerhavet då miljömål ska uppfyllas. Det miljöpåverkande näringsläckaget från kassodling kan göra det svårt att få beviljat tillstånd enligt miljölagstiftningen. Om däremot kassodling bedrivs i ett system där flera olika arter samodlas, kan näringsspill från fiskodling som sker via en extern foderkälla utnyttjas och ge mervärden genom odling av till exempel alger och blåmussla. Denna senare teknik kallas Integrerad Multitrof Akvakultur (IMTA) men ännu finns inga sådana odlingar i svenska vatten. I Norge och även i Danmark finns initiativ som satsar på samodling av lax, blåmussla, alger och bentisk fauna. För odling i utsjöområden som är exponerade och utsatta för tuffa väderförhållanden används i grunden samma odlingsteknik som kassodling i sjö eller kustnära hav, men det krävs mer robust hållbar utrustning och förankring.

2.1 Möjligheter och utmaningar

Ökade vildfiskbestånd

Vilda fiskar attraheras till och uppehåller sig i direkt anslutning kassodlingar vilket kan innebära möjligheter för fiskenäringen (Carss 1990, Fernandez-Jover et al. 2011). Fiskpellets från kassarna drar till sig fisk, inte minst torskfiskar såsom torsk och sej som även blir till byten för större fiskar. I en ekonomisk analys av fiske kring kassodlingar i Norge fann man att fångsten av fisk är 17 gånger högre i tinor som sätts direkt under än 100 m bort (Sæther et al. 2012). Denna fisk är dock inte tillgänglig för norska yrkesfiskare då det inte är tillåtet att fiska inom 100 m från en norsk odling. Det finns studier som visar att vildfisk som livnär sig på rester från laxodlingar kan få ändrad fettsyrakomposition i lever och muskelvävnad, som bl a innehåller ingredienser från jordbruket (Fernandez-Jover et al. 2011).

Miljöpåverkan via näringsutsläpp

I Sverige är fiskodlingars miljöpåverkan via näringsutsläpp av kväve och fosfor en känslig fråga. Brist på kompetens och nationella riktlinjer för hur vattenbrukets miljöbelastning skall bedömas har dock varit och är en starkt bidragande orsak till branschens svaga utveckling och det finns stora behov av bedömningsmodeller och verktyg som kan appliceras vid miljöprövningar och uppföljning av fiskodling. Alanärä och Strand (2011) har gjort beräkningar av miljöpåverkan av fosfor från fiskodlingar i ett antal utvalda sjöar och visat att det i de flesta fall inte går att uppmäta någon effekt av fiskodlingen på fosfor- eller klorofyllhalter. Författarna har föreslagit en ny modell för att beräkna lämplig produktionsvolym utifrån ett givet närsaltsutrymme i sjöar. Alanärä (2012) ger också ett förslag på hur ett kontrollprogram för sjöar och reglermagasin kan vara utformad, med rekommendationer om att standardisera en blankett för vattenbrukarnas beräkningar av utsläpp av kväve och fosfor från befintliga odlingar. I marina områden saknas i dagsläget modeller och verktyg för saklig bedömning av lämpliga produktionsvolymer utifrån en potentiell miljöbelastning. Generella rekommendationer om uppföljning om vattenbrukets påverkan på nationella miljömål finns tillgänglig (Fernandes et al. 2001).

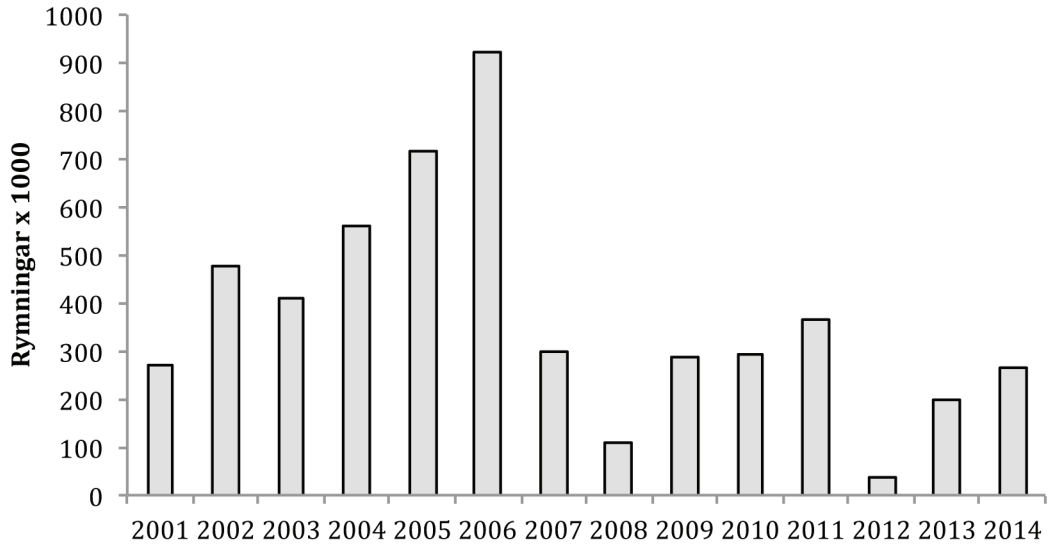
Klassiska metoder att detektera och studera näringsberikning från fiskodling genom provtagning av vatten och sediment för analys av t.ex. löst oorganisk kväve eller partikulärt organisk material har visat sig vara otillräckliga. Utspädning, upptag i organismer och förlust till atmosfären är faktorer som ökar svårigheten att direkt mäta näringsutsläppen. För att bättre undersöka spridningen av näringsämnen från odlingar kan bioindikatorer användas (Jones et al. 2001). García-Sanz et al (2010) utvecklade och utvärderade en metod att använda makroalger som biologisk markör för att studera spridningen av lösta ämnen kring en fiskod-

ling. Genom att studera upptaget av en stabil kväveisotop ($\delta^{15}N$) efter olika lång inkubationstid (exponering) dras slutsatsen att algerna bör placeras på ca 5-20 m djup och en inkubationstid om minst 4 dagar bör användas (Garcia-Sanz et al. 2010). Mätningar av bentisk sekundärproduktion i bottensediment kan också användas för att mäta påverkan av fiskodlingar. Ökad bentisk produktion på upp till 250 m från en laxodling har detekterats i en fjord i västra Norge (Kutti et al. 2008).

En expertgrupp har analyserat om vattenbruket orsakar övergödningsproblematik på norska Västlandet med fokus på Hardanger- och Boknafjorden (Anon 2011). Rapportens slutsats är att laxodling som drivs inom gällande tillståndsramar inte har någon större påverkan på planktonsamhället och näringsnivåer, men det finns mer tvetydiga slutsatser om påverkan på makroalger, där en viss reducering av sockertare dokumenterats till förmån för trådformiga alger. Påverkan på mjukbottnar är dock inte analyserade och medtagna i slutsatserna. I Norge sker val av lokal för tillståndsförfarande om anläggning bland annat med avseende på vind- och vågexponering vilket påverkar riskerna med förtöjning och vilken utrustning som är godkänd. För att undvika lokal påverkan är vattenutbyte på lokalen viktig vilket kontrolleras med strömmätare under minst en månad.

I Chile som är en stark laxodlingsnation, har effekter på ekosystemet påvisats som t.ex. lokal påverkan på bottensedimentet, ökade dinoflagellatblomningar och ökad mängd av dykande sjöfåglar i närheten till öppna fiskodlingar (Buschmann et al. 2006). Även i Medelhavet finns studier som visar på påverkan på bottensamhället i nära anslutning till kassarna men graden av effekt är beroende på strömförhållande på lokalen (Karakassis et al. 2000, Kalantzi and Karakassis 2006).

Idag finns biologiska metoder användas för att ta upp delmängder av de näringsämnen som kommer från fiskodlingar eller andra odlingssystem där foder tillsätts (Buschmann et al. 2009). (se IMTA, kap. 2.3)



Figur 1. Antal rymningar i norska laxodlingsindustri. Data från www.fiskeridir.no

Rymningar

Skador på nätkassar kan uppkomma av många olika anledningar såsom oväder i kombination med undermåliga konstruktioner, nötningsslitage i kombination med dåligt underhåll och propellerskador i samband

med båttransporter. I Sverige har det även förekommit avsiktliga sabotage mot kassodlingar. Oavsett orsak kan skador på nätkassar resultera i rymningar av stor mängd fisk som ibland är större än den lokala, vilda populationen. Rymningar kan därmed ha stora ekologiska konsekvenser. Då odlingsfisken är framavlad har den en annan genetisk bakgrund än den vilda stammen och om dessa reproducerar sig kommer det att påverka den vilda stammens genetiska signatur och egenskaper. Även om den förrymda fisken inte reproducerar sig med den vilda, kan den ändå påverka det lokala ekosystemet negativt genom t.ex. predation och födokonkurrens, eller som passiv bärare av sjukdomar. Efter införande av skarpare lagstiftning och fortsatt teknisk utveckling har rymningar från norska odlingar minskat markant under senare år trots fortsatt kraftig ökning av odlingsvolymen (Figur 1).

Laxlus

I Sverige orsakar inte den marina laxlusen (*Lepeophtheirus salmonis*) några problem för laxfiskodlare, då odling främst sker i sötvatten eller bräckt vatten där laxlusen inte förekommer. I Norge har förekomsten av laxlus i marina nätkassar ökat med ökande produktionsvolymer vilket medfört negativa konsekvenser både för den odlade fisken och för vildfisk (Torrissen et al. 2013).. Laxlusen betar på fiskens skinn och slemlager vilket kan skapa öppna sår. Detta leder till ökad förekomst av infektioner och sekundära sjukdomar, minskad tillväxt och ökad dödlighet (Torrissen et al. 2013). Den vilda fisken drabbas främst genom att smolt infekteras i större grad när de vandrar genom fjordar med infekterade odlingar på sin väg ut till havet (Gjelland et al. 2014). Kemisk bekämpning av laxlus är kostsam speciellt då man i vissa områden t.ex. Hordaland, får avlusa kassarna upp till en gång per månad. Merkostnaden för odlarna i Norge är beräknad att uppgå till 150 M€/år (Bergheim 2012). Laxlusen uppvisar numera en ökad resistens mot kemiska bekämpningsmedlen vilket ger minskad effekt av dessa (Jones et al. 2013, Torrissen et al. 2013).

Biologisk bekämpning av laxlus har utvecklats som ett alternativ till den kemiska. Den biologiska bekämpningen går ut på att man använder andra fiskarter i odlingarna som äter laxlusen. Från början användes vildfångad ”läppefisk” av arterna stensnultra, skärsnultra och berggylta, även fångade på svenska västkusten, i norska odlingar men under senare tid har man även introducerat sjurygg som bra alternativ (Imsland et al. 2014, Imsland et al. 2014). Flera företag satsar på odling av ”rensefisk” och dagens regelverk tillåter att upp till 10 % av fisken i norska laxodlingar får vara rensefisk.

En sammanställning av styrkor och svagheter (SWOT-analys) av odling med öppen havsbaserad kasse ges i tabell 1.

	Positivt–Hjälpsamt–för att uppnå mål	Negativt–Skadligt–för att uppnå mål
Interna/ Inne-boende orsaker	**Styrkor** (Strengths) • Billig startfas pga relativt billig kostnad för kassar • Finns stor erfarenhet av tekniken	**Svagheter** (Weaknesses) • Rymningar, genetisk nedsmutsning av vilda bestånd • Foderbåt krävs, kostsam investering • Relativt stort foderspill, större FCR, vilket kostsamt då foder dyrt (12.5 kr/kg) • Möjliga arter beror på odlingens lokalitet
Externa/ utanför-liggande orsaker	**Möjligheter** (Opportunities) • Samodling med näringsupp-tagande arter såsom alger och blåmussla (IMTA) vilket löser näringsutsläpp och ger mervärde	**Hot** (Threats) • Svårt med tillstånd pga näringsut-släpp vilket ger lokal övergödning och orsakar intressekonflikt med boende/turism

Tabell 1. SWOT-analys havsbaserad öppen kassodling (Ungfors & Lindegarth 2014).

2.2 Öppen kassodling i hav/sjö

Öppen kassodling (n: merd; d: note; e: sea-cage eller sea-pen), består främst av tre delar: flytkonstruktion,

nätkasse och förankring. Skillnaden i stort ligger på hur stor produktion som ska bedrivas per kasse, vilket påverkar storleken på denna (diameter och djup) och hur stor totalproduktionen skall vara i anläggningen vilket påverkar hur många enheter som placeras ihop på en lokal. En småskalig odling kan definieras som en produktion som motsvarar mindre än 40 ton foderåtgång per år vilket är kopplat till tillståndsprövningen inom miljölagstiftning (Figur 1). Gränsen för storskalig verksamhet är mer flytande men kan ligga kring 250-500 ton (Figur 2). I Norge tillåts en maximal biomassa (MAB, Maxium Allowed Biomass) om 65 ton per 1000 m^3 licensierad vattenvolym. En standardlicens på 12 000 m^3 tillåter därmed en produktion om 780 ton per år.

För Sveriges del odlas 32 % eller 3 116 ton av regnsbågsproduktionen i havsbaserade system vid kusten, främst i de norra regionerna (2954 ton) med mindre produktion längs södra ostkusten (84 ton) samt Syd-och Västkusten (78 ton) (Jordbruksverket 2014). 68 % av regnbågsproduktion sker alltså i sötvatten, vilket även gäller för all rödingsodling. Den vanligaste odlingstekniken som använts för matfiskproduktion är kassar både i sjöar och i kustsystemen. 620 kassar med en total volym om 858 000 m^3 användes 2014, vilket kan jämföras med landbaserade anläggningar som uppgick till 58 dammar (155 000 m^3), 135 bassänger (3 000 m^3) och 2 RAS (recirkulerande slutnas system, <1 000 m^3). Den genomsnittliga kassens volym ligger på 1 380 m^3. Sättfisk produceras främst i dammar på land (187 st., 1 889 000 m^3), men kasse (308 kassar, 72 000 m^3), bassäng på land (1 586 st. bassänger, 20 000 m^3) och RAS på land nyttjas också (29 anläggningar, 2 000 m^3).

Flera olika producenter och leverantörer av flytkonstruktion och kasse finns att tillgå med olika inriktning på konstruktion.

Figur 2. Foto från Tjärö Lax, Blekinge småskalig regnbågsodling (augusti 2014). a) odlingen på håll, b) arbetspråmen, c) utsikt från pråmen över kran, d) rektangulär kasse, e-f) foder och fodertunna, g) sorteringsmaskin, h) tvättmaskin till kassarna. Foto: Anette Ungfors.

Flytkonstruktion
Själva flytkonstruktionen är det som syns ovanför vattenytan och en anläggning på en lokal består antingen av runda flytkragar eller av ett fyrkantigt brygg-system. Materialet i de runda kragarna är ofta PVC-plast medan de fyrkantiga består av stål eller betong. Flytkraften ska vara stor, speciellt på de stora anläggningarna och för de mer utsatta lokalerna. De ska tåla stor lastkapacitet som sorteringsmaskiner, syrebehållare och pumpar vid behov och is om vinterförhållande som tynger ner. Flytanordningen ska också vara en säker och ergonomisk arbetsplats för arbetarna. Storleken på odlingssystemen varierar, men har blivit allt större genom teknisk utveckling. Idag har cirkulära nätkassar en diameter från 90 till 160 m, de mindre fyrkantiga systemen en sida på 10-12 m medan större de ligger på 24-30 m. För den praktiska verksamheten används även mindre s.k. väntekassar där fisken sorteras och placeras strax före slakt.

Förankring och lokalitet
I Norge krävs, att innan ett flytande akvakulturanläggning får placeras ut på en lokalitet, så ska det genomföras en lokalitetsundersökning som specificeras i ”Forskrift om krav til teknisk standard for flytende akvakulturanlegg” s.k. NYTEK-forskriften NS-9415:2009. I tillägg till denna undersökning (strömmätning, syre, salthalt, temperatur, vattenstånd, vinddata) ska även en oberoende förtöjningsanalys genomföras med målet att förhindra rymningar och där lokalitetsundersökning och specifik anläggning ska beaktas. Dessutom ska det genomföras en miljöundersökning enligt MOM-modellen (Modelling-On growing-Monitoring) (Ervik et al. 1997, Hansen et al. 2001, Stigebrandt et al. 2004). MOM-modellen används sedan regelbundet som övervakning av odlingens effekter. MOM har gradvis införts som miljöundersökingsmodell i Norge, men sedan 2005 har det varit obligatoriskt för alla matfiskanläggningar att genomföra miljöövervakning enligt Norsk Standard NS9410:2007 eller enligt liknande internationell standard. MOM kvantifierar miljöpåverkan från anläggningen från “god” (1) till “mycket dålig” (4). Tre undersökningsgrupper inkluderas; faunaundersökning, kemisk undersökning och sensorisk undersökning.

Nätmaterial
Själva kassen består av ett nät med olika stora maskor beroende på fiskens storlek i kassen - små maskor för liten fisk. Djupet på kassen varierar från 10 meter i de minsta kassarna till mellan 20-70 m för de storskaliga norska anläggningarna. Hållbarhet är en viktig parameter: olika nät klassas med olika hållbarhet och är därmed giltiga (klassificerade) för olika ström- och vågförhållande.

Övrigt
Foder tillförs kassarna med ett slangsystem som utgår från en förankrad flytande foderpråm som angränsar till anläggningen. En foderbåt behövs för regelbunden påfyllnad av foderlagret i pråmen.

Numera finns tekniska lösningar för att automatiskt samla upp död fisk mha av näthåvar eller genom en extrabotten som kan vinschas upp för tömning. Vid behov, till exempel ökad stress under avlusning, kan extern syresättning ske genom syreutrustning. Skyddsnät över kassarna som skyddar fisken från predatorer såsom fåglar och däggdjur är nödvändigt.

I Norge har storleken på den lax som sätts ut för tillväxt i havsbaserade nätkassar ökat de senare åren. Från att det var vanligt att sätta ut 70-80 g smolt, närmar man sig nu storlekar om 250 g postsmolt och upp emot 1 kg före utsättning. Denna ändring av praxis, även anammad av danska regnbågsproducenter som odlar i marina nätkassar, innebär att en allt större del av fiskens livscykel äger rum i landbaserade anläggningar.

2.2.1 Lämpliga arter
Öppen kassodling är möjlig för de flesta fiskarter men styrs av lokalens miljö och då främst temperatur-

Figur 3. Storskalig regnbågsproduktion Musholm AS, Danmark (maj 2013) a) Anläggningen samt foderbåt, b) kassar, c) kasse och skyddsnät, d) foder, d) foderbåt. Foto: Anette Ungfors.

profil under året. På Västkusten är temperaturen för tillväxtodling av exempelvis hälleflundra och havskatt för varm på sommaren och för tunga och piggvar är det för kallt på vintern. Torsk kan dock vara möjlig att odla under lokala förhållanden, inte minst om en djup lokal utnyttjas så att torsken kan dra sig mot djupare kallare nivåer under varma sommartemperaturer. Säsongsmässig öppen kassodling under sommarperioden kan utnyttjas för varmvattensarterna piggvar och tunga, då i skyddade områden.

2.3 Utsjöodling - offshore

Många offentliga aktörer vill se en utveckling av vattenbruket, men oron för att öka miljöbelastningen längs våra kuststräckor och komkurrens med andra intressen såsom turism och sjöfart bidrar till en försiktighet inför beslut om etableringar av odlingar. Utflyttning av vattenbruksverksamhet till områden längre ut från kusten (offshore), för att minska miljöbelastning på till känsliga kustområden och för att minska konflikter med annan verksamhet är ett tänkbart framtida scenario. Offshore-odling kan också vara att föredra framför områden som kan drabbas av isläggning. Kassar eller annan odlingsteknik som ska placeras längre ut från kusten eller på större djup kräver oftast innovativa lösningar eller i varje fall robusta sådana (Kankainen and Vielma 2013).

Modern fiskodlingsteknik för offshorebruk har stora likheter med traditionell öppen kassodling men det förekommer också flytande slutna enheter. Utseendet och graden av automatisering är det som huvudsakligen skiljer teknikerna åt.

Figur 4. Musholm AS offshore kasse. Foto på nedsänkbar kasse modell stor (160 m). På kassen kan ett nätlock fästas med dragkedja. Foto: Anette Ungfors.

Nedsänkbara kassar för offshorebruk kan vara ett alternativ för att periodvis kunna undkomma dåligt väder som odlingen utsätts för i exponerade lägen t.ex. vintertid (Figur 3).

2.3.1 Möjligheter och utmaningar

Möjligheter och utmaningar som generellt beskrivs under öppna odlingssystem gäller även för offshore-odling med några specifikationer nedan.

Fördelen med att flytta ut anläggningar från kustzonen är att konflikter med andra näringar minskar, och nya områden kan utnyttjas för livsmedelsproduktion. Svårigheter med foderpåfyllnad och byte av personal uppstår. Verksamheten kan liknas med oljeriggar där man får jobba under längre perioder i sträck. Näringsläckage med risk för miljöpåverkan upphör dock inte, men de lokala effekterna minskar då djupen ofta är större och näringsämnena späds ut i större utsträckning.

2.3.2 Lämpliga arter

Arter som lämpar sig för offshore-odling bör vara stresståliga då starkare strömmar och våg-och vindexponering medför ökad turbulens i kassarna. Havskatt och hälleflundra påverkas negativt av stark ström och ansamlas i delar av kassen (följer med strömmen).

2.4 IMTA

Vid fiskodling tillförs foder via fiskpellets. Foderkostnaden är den största enskilda utgiften för en odlare. Som exempel är foderkostnaden för lax och öring 11,50 NOK av den totala produktionskostnaden om 22,69 NOK (data för 2013, Fiskeridirektoratet, Norge) vilket innebär att hälften av kostnaderna är just foder. Därför är det av största vikt att inte ”kasta bort” foder på grund av övermatning av fiskarna vid fodertillfällena. Genom utveckling av avancerad datorstyrd foderutrustning som finjusteras med manuell övervakning och detaljstyrning via kamerasystem kan övermatning och foderspill till stora delar undvikas. Trots det förekommer näringsläckage i öppna anläggningar i form av foderspill från pellets som inte äts upp och av fekalier samt utsöndring av lösta avfallsprodukter (urin) från fisken. Kalkyler baserat på fodrets näringsinnehåll och inlagring i fisken samt beräkningar av förluster av kväve och fosfor till omgivningen i löst och partikulär form visar att omkring 41 % av kvävet och 33 % av fosfor i fodret byggs in i fisken. Av resterande som når omgivningen är 18 % av kvävet och 50 % av fosfor bundet i partikelform medan resterande utsöndras i löst form till vattnet (Bergheim and Braaten 2007, Braaten et al. 2010). I dessa beräkningar är FCR 1,15 (1150 kg foder till 1000 kg fiskproduktion) och foderinnehållet specificerat till 34 % fet och 38 % protein. Den totala mängden foder ovan innehåller 70 kg kväve och 12 kg fosfor. En senare detaljstudie av två kassodlingar i Norge visar på samstämmighet då omkring 38 % av fodrets kolinnehåll, 43 % kväve och 24 % fosfor används till fisktillväxt, men resterande d.v.s. 62 % kol (varav 40 % som koldioxid), 57 % kväve och 76 % fosfor släppts ut till omgivningen (Wang et al. 2013).

I traditionella kassodlingar sker ett näringsutsläpp genom kassarna dels till närområdet under kassarna och dels med strömmen (Buschmann et al. 2009). De flesta negativa effekter som uppkommer genom en ökad näringsbelastning i sedimentet och som kan leda till syrebrist och förändringar i bottenfaunan, rapporteras från grunda, skyddade, och kustnära miljöer i direkt anslutning till anläggningen i kassens skugga (Soto and Norambuena 2004, Kalantzi and Karakassis 2006, Apostolaki et al. 2007).

Integrerad multitrofisk odling (IMTA) kännetecknas av att flera arter från olika trofinivåer d.v.s. olika delar i näringskedjan, odlas tillsammans i ett sammankopplat odlingssystem. Exempel på IMTA finns från både tempererade (Neori et al. 2004, Barrington et al. 2009, Chopin et al. 2012) och tropiska områden (Troell 2009). Ordet multitrofisk i definitionen syftar på att flera arter med olika funktion samodlas i motsats till polykultur där flera arter odlas men vilka kan ha samma funktion t ex. olika fiskarter. Ordet integrerad

syftar på en intensiv odlingsnivå i närheten av varandra men inte nödvändigtvis på helt samma lokal men förbundna med närings- och energitransport via vattnet. Idealt ska de olika arterna balansera varandra i utsläpp och upptag av näringsämnen, och en art ska inte bara fungera som biofilter utan ha ett eget ekonomiskt värde vid skörd. Alger och musslor, s.k. extraherande arter, används framförallt i IMTA-system och nyttjar näringsutsläppet från fiskodlingarna för tillväxt. På så sätt ”renas” havet samtidigt som biomassaproduktionen ökar. Biomassan kan användas till mat, men också till ingredienser i fiskfoder, utvinning av högvärdiga molekyler och medicin samt olika typer av biobränsle. Fördelarna med IMTA jämfört med enbart fiskodling är att man får bättre användning av en odlingslokal, reducerad effekt på miljön och en diversifierad produktion som kan ge bättre lönsamhet och fler arbetstillfällen (Folke and Kautsky 1989, Troell et al. 2009).

Miljöfördelarna med IMTA-odling har hittills inte varit helt klara och entydiga. varierande resultat och ibland även motsägande utfall beror till en del på att experimenten har utförts i olika miljö med olika teknisk design, med olika analysprotokoll och inte minst olika förekomst av naturlig födokälla. Barrington et al. (2009) beskriver IMTA-initiativ i Kanada, USA, Chile, Spanien, Frankrike och även nordiska länder som Norge, Sverige och Finland samt Sydafrika. Kina behandlas kort men författarna säger att IMTA i detta land borde beskrivas mer utförligt men skriftlig dokumentation är bristfällig.

2.4.1 Arter för IMTA

Alla fiskarter lämpar sig för IMTA, eftersom IMTA även innefattar landbaserad odling där t ex. alger kan fungera som ett biofilter. Exempelvis kan havsbaserad kassodling av hälleflundra och torsk odlas integrerat med makroalger och bivalver, och i landbaserade RAS-anläggningar kan hälleflundra, piggvar, tunga, havskatt och hummer odlas tillsammans med mikro- eller makroalger. Exempel på olika djur eller växtgrupper från olika trofinivåer som kan ingå i ett IMTA-system tillsammans med fisk ges nedan.

Primärproducenter – alger

Primärproducenter såsom mikro- och makroalger tillväxer genom absorption av lösta näringsämnen med solljuset som energikälla, och efter skörd av dessa alger tas således näring upp ur systemet (Skjermo et al. 2014). Alger kan därför potentiellt reducera nivån av de utsöndrade lösta kväve- och forsforföreningarna från fiskodlingar (Neori et al. 2004). Brunalgen sockertare (*Saccarina latissima*) är snabbväxande (Broch and Slagstad 2012) och har visat sig vara en möjlig kandidatart för samodling med fisk (Handa et al. 2013). Wang et al (2014) visar att längden på tareplantorna var 50 % längre i närheten av laxkassar än vid kontrollstationen, och δ^{15}N-signaturen visar att en del av kvävet kommer från fiskodlingen. I denna studie beräknas att ett hektar sockertare kan absorbera 0,8-1,2 ton kväve under en säsong.

Även rödalger har potential för IMTA (Buschmann et al. 2008). Rödalgen *Gracilaria vermiculophylla*, som odlas i Asien för bl.a. agarproduktion, har använts för studera dess potential för IMTA i ett RAS system i Portugal tillsammans med fiskarterna piggvar, havsabborre och tunga (Abreu et al. 2011). Tätheter om 3 kg färskvikt alger m-2 växte bäst under de 9 månader som försöket pågick med en algproduktion (torrvikt) som var 0,7 kg m-2 månad-1. Beräkningar visar att för att reducera de 1,8 ton kväve som släpps ut från fiskodlingen (om RAS inte inkluderas) så krävs 3600 m^2 alger för att reducera utsläppet till 100 %.

Grönalgerna *Ulva sp.* (Ben-Ari et al. 2014) och *Enteromorpha sp*. (Martinez-Aragon et al. 2002) är effektiva biofilter men användningsområdet efter skörd är begränsat till agar eller biogas som betingar lågt pris. Flera inhemska och asiatiska arter av rödalgen *Porphyra sp.* har visat god tillväxt och upptagskapacitet och betingar dessutom ett högre ekonomiskt värde inte minst som Nori för human konsumtion (Carmona et al. 2006). Matos et al. (2006) testade rödalgerna *Gracilaria bursa pastoris*, karragenalg *Chondrus crispus* och *Palmaria palmata* och fann att *G. bursa pastoris* växte bäst med det effektivaste kväveupptaget och rekommenderas därför som integrerad art tillsammans med havsaborre eller piggvar.

När det gäller odling av mikroalger i landbaserade odlingar har Borges et al. (2005) visat att arterna *Isochrysis galbana*, *Tetraselmis suecica* och *Phaeodactylum tricornutum* växer bra och reducerar näringen i vattnet från piggvar och havsabborre (Dicentrarchus labrax). Mikroalgerna skördas och används som föda till musslor (*Tapes decussatus*).

Avsättningen för alger ligger i dess möjligheter för användning som foderingrediens, etanol, biogas, livsmedel och textilier. Forskningsprojekt pågår för att utvärdera olika arters potential (se bl.a. www.seafarm.se).

Suspensionsätare – musslor och ostron
Mussel- och ostronarter filtrerar och livnär sig främst som ”betare” på växtplankton, som i sin roll som primärproducenter har tagit upp lösta näringsämnen i olika former. Musslor kan också ta upp mindre organiska partiklar (2-200 µm) från foderspill och fekalier i fiskodling. I svenska vatten har idéerna om att använda blåmusslor för att reducera näringsämnen i marina områden funnits länge (Folke and Kautsky 1992, Lindahl et al. 2005).

Mätningar av födoaktiviteten hos blåmusslor visade att den var högre i direkt anslutning till laxodling i jämförelse med några hundra meter bort (MacDonald et al. 2011). Reid et al. (2010) visade att blåmusslor har en hög absorptionskapacitet för laxfekalier. Studien visade också att fekalierna kommer stötvis och att det är viktigt att designa IMTA-anläggningen noggrant för att få konstant partikelflöde till musslorna. Musslor i direkt anslutning till laxodling växer fortare än 200 m bort, men båda dessa grupper tillväxer fortare än referensgruppen (Lander et al. 2012). Även ostron kan dra nytta av närhet till fiskodling men näringen kommer möjligen främst via växtplankton som tagit upp lösta näringsämnen från odlingen (Aguado-Gimenez et al. 2014). Det finns dock andra studier där ingen ökad tillväxt erhålls längs en gradient allt närmare en fiskodling (Navarrete-Mier et al. 2010).

Ett spännande resultat av en studie är att blåmussla och andra bivalver som ostron kan filtrera copepoditer, det planktoniska spridningsstadiet av laxlus (Molloy et al. 2011). Detta innebär att musselarter kan fungera som en barriär mot laxlus för laxodlingen varför även musselodling uppströms är att rekommendera. Musslor har även potential för att ackumulera och inaktivera ISAV, infektös lax anaemia virus (Skår and Mortensen 2007) och musslor kan användas som preventiv metod för sjukdomsutbrott. Genom att modellera produktionspotentialen för musslor baserat på lokalspecifika data (Ferreira et al. 2009) har det potentiella kväveupptaget skattats i flera länder, spridda över fyra kontinenter (Rose et al. 2015). Från 12 till 152 gram kväve per m^{-2} och år (i genomsnitt 58) kan reduceras genom odlingarna. Liknande modeller kan användas för svenska förhållanden för att beräkna det faktiska närsaltsupptaget av musselodlingar.

Avsättningen för bivalver ligger i dess möjligheter för användning: livsmedel, foderråvara för fiskodling och fjäderfä, biogas, jordförbättring.

Detritusätare – tagghudingar och havsborstmaskar
Djurgrupper som kan nyttja foderspill och fekalier under fiskodlingar är bl.a. tagghudingar som sjögurkor och sjöborrar men också havsborstmaskar (*Annelida*). I ett experiment med små sjögurkor (*Parastichopus californicus*) under en fiskodling av arten sabelfisk (*Anoplopoma fimbria*) uppmättes ökad tillväxt genom upptag av fiskens fekalier och en reducering av totalt organiskt kväve och kol med 60-62 % (Hannah et al. 2013). Även andra försök med sjögurkor visar på högre överlevnad och tillväxt av sjögurkor under fiskodlingar i jämförelse med kontrollområdet men också att tillväxten beror av tätheten då en högre täthet begränsar födointaget (Yokoyama 2013).

Havsborstmaskar av familjen Nereidae odlas i dammar i t.ex. Storbritannien och Holland som agn till trollingfiske (Olive 1999). Havsborstmaskar kan livnära sig på organiskt fekaliematerial både från fisk- och musselodlingar. (Bergström 2014) visade att havsborstmaskar tillväxer mycket bra på musselfekalier. Genom bioturbation (grävning) kan maskarnas aktivitet öka den mikrobiella aktiviteten och syresätta bottensedimentet (Bergström 2014).

Fortsatt forskning och utveckling kring lämplig odlingsteknik och skörd av både sjögurkor och havsborstmaskar i IMTA system är dock nödvändig.

Avsättningen för tagghudingar ligger i dess möjligheter för användning som livsmedel fr.a. i Asiatiska kök eller för export. För havsborstmaskar finns användning som foderråvara (mjöl), agn till fritidsfiske (trolling) och biogas.

Sekundärkonsumenter – kräftdjur
Krabba, hummer och kräftor är kommersiella arter med potential att kunna användas i integrerade odlingssystem under odlingar för att minska näringsbelastningen. Kräftdjur livnär sig på mindre bottenlevande djur, dött material och kan utnyttja foderspill. Med den ökade organiska belastningen på bottnarna, som i sin tur kan öka produktionen av bottendjur finns möjligheter att odla och/eller skörda kräftdjur och på så sätt dra nytta av näringsberikningen från fiskodlingarna. Observationer i Kanada (pers. komm. Philippe Archambault) om att hummerfiskare sätter sina tinor i utkanten av laxodlingar tyder på en högre täthet av hummer i detta område, vilket ger fiskaren bättre fångst i tinorna. Det behövs dock forskning och utveckling kring lämpliga odlings- och skördetekniker av kräftdjur i IMTA system på samma sätt som för tagghudingar och havsborstmaskar.

2.4.2 Möjligheter och utmaningar med IMTA

Möjligheter och utmaningar som generellt beskrivs under öppna odlingssystem gäller även för IMTA med några specifikationer nedan.

IMTA har varit ett teoretiskt begrepp sedan slutet av 1970-talet – början av 1980-talet, och har testats under i åren i forskningssyften eller i mindre skala. För odlaren innebär det att välja rätt kombination av arter som ger flest fördelar på lokalen. Detta kräver kunskap om lokalens egenskaper såsom strömförhållanden kring anläggningen, temperatur, salthalt och syrenivåer, isläggning och befintlig näringsnivå. En fördel med IMTA är att man ”inte lägger alla ägg i en korg”. Man sprider de ekonomiska riskerna genom att odla flera olika arter. Från ett samhällsperspektiv så kan ekosystemtjänsten som erhålls genom näringsupptaget via musslor och alger värderas och ersättning för att näring lyfts ut ur ekosystemet kan utgå till odlarna. Alternativt kan det beräknade näringsupptaget via musslor och alger användas för att erhålla en högre produktionsvolym för fisk i områden där odlingstillstånden har begränsats av näringsutsläpp, så kallad kompensationsodling. De beräknade näringsutsläppen från fiskodlingarna och näringsupptaget av de extraherande odlingsarterna kan organiseras som utsläppsekvivalenter av kväve i byteshandel, vilket är på förslag i Danmark (Heldbo et. al 2013, kapitel 12.2). Danmarks största fiskproducent, Musholm AS, är ålagda at minska kväveutsläppet för sin nuvarande produktion med 10 %. Blåmusselodling som kompensationslösning testas för närvarande av företaget (Heldbo et al. 2013, Møller et al. 2013).

Regelverket i vissa länder begränsar möjligheten för samodling eftersom det finns restriktioner om ett visst avstånd mellan närliggande anläggningar av samma och olika arter.

3. Havsbaserade semislutna system

Havsbaserade semisluta odlingssystem innebär odling av fisk i behållare med hårda eller mjuka skal där man kan ta hand om foderspill och fiskfekalier vilket kraftigt minskar den organiska miljöbelastningen jämfört med öppen kassodling. Utveckling av teknik och utrustning inom detta område pågår och flera intressanta storskaliga initiativ har startats upp de senaste 5 åren. Systemen kan delas in i två kategorier beroende på vilket material de består av: 1) finmaskiga mer rörliga ”påsar” och 2) hårda styva material såsom plast, stål eller betong. Fisken är helt innesluten och vatten pumpas in i behållaren, ofta från större djup än där anläggningen befinner sig. Systemen är alltså slutna vad gäller fisken (rymningsrisken är klart reducerad) men vattnet pumpas ständigt genom systemet.. Det ingående vattnet kan tas från det djup som ger passande temperatur, håller hög syremättnad och är mer eller mindre fritt från laxlus som främst uppehåller sig i de översta vattenskikten. Det utgående vattnet kan renas från partikulärt material (oätna foderpellets, fekalier) genom galler-filter och sedimenteringsmetoder, men lösta näringsämnena från fr.a. urin tillförs till omgivningen.

Tekniken anses ligga i tiden. De odlingsföretag som satsar på denna teknik innefattar storskalig kommersiell verksamhet för både juvenil tillväxt och matfiskodling, med produktionsvolymer på >1000 ton/år.

3.1 Möjligheter och utmaningar

Möjligheter och utmaningar belyses i en SWOT-analys (Tabell 2).

En stor fördel med tekniken är som nämnts innan att partiklar såsom foderrester och fekalier till stor del kan samlas upp genom sedimentation och filtrering av det utgående vattnet. Eftersom fisken är innesluten i ett fast eller fastare material liknar detta på situationen i ett landbaserat kar vilket medför lägre rymningsrisk orsakad av mänskliga faktorn. Om ett mjukt skal används kan även ett extranät fästas på utsidan om materialskador sker för att undvika rymningar. Intaget av vatten kan styras och tas in med pumpar från önskat djup. Förekomsten av laxlusutbrott har varit lägre vilket troligen beror på att spridningsstadiet uppehåller sig i ytvattnet och inte i någon större täthet i det djupvatten som pumpas in (Johnsen et al. 2014). Ingående vatten pumpas igenom ”nätpåsar” för att förhindra att fisk sugs bakvägen ut till omgivningen vid eventuellt pumpstopp. Produktionen är kostnadseffektiv då man slipper dyrbara avlusningar (kostnaden traditionella kassodlingar skattas till 1-2,45 NOK per kg producerad lax eller även upp till 5 NOK i vissa områden). Under det praktiska arbetet med avlusning i öppna kassar är risken stor för rymningar vilket medför produktionsförluster och ökade kostnader p.g.a. böter. Tillväxthastigheten har visat sig vara snabbare och en lägre foderkonversionsfaktor har uppmäts i de semislutna anläggningar jämfört med i de öppna kassarna. Likaså är mortaliteten mycket låg i normala fall. I jämförelse med RAS på land har systemet lägre en investeringskostnad för samma volym och är i tillägg flyttbart.

En jämn och stabil temperatur fås under året. Dagtid har laxen observerats vara jämnt spridd i baljan, vilket kan jämföras med en ofta mer aggregerad förekomst i traditionell kassodling.

För närvarande används inte metoder för att reducera mängden lösta näringsämnen som förs till omgivningen med utgående vatten, varför IMTA kan lämpa sig för odling av främst alger. En utmaning är att designa och producera teknik som tål de allra värsta stormarna. De semislutna systemen är mer utrustningskrävande och därför behöver anläggningarna ligga i nära anslutning till land där syre- och fodermagasin och arbetsutrymme till de anställda finns, eller i framtida satsningar placeras utrustning på intilliggande pråm. I tillägg till en större investering i starten är det också dyrare driftskostnader i jämförelse med kassodling.

	Positivt–Hjälpsamt–för att uppnå mål	Negativt–Skadligt–för att uppnå mål
Inne-boende orsaker	**Styrkor** (Strengths) • Slamavskiljning fasta ämnen (fekalier, foderrester) • Rymningar förhindras • Djupvatten ger Stabil och optimal temperatur • Minskad laxlusförekomst pga djupvatten kan pumpas upp • Låg investeringskostnad relativt landbaserad verksamhet • Flyttbar anläggning • Lägre pumphöjd relativt RAS	**Svagheter** (Weaknesses) • Lösta näringssalter läcker ut • Placeras främst kustnära • Startfas dyr, instrument och utrustning • Driftskostnader t.ex. pumpar, O2 • Ny teknik kräver erfaren personal • Katastrofeffekter om systemfel. Säkerhetstänk!
Externa/ utanför-liggande orsaker	**Möjligheter** (Opportunities) • Minskade kostnader för avlusning • Ökat marknadsvärde pga ekologisk produkt • Leasing möjlig av teknik	**Hot** (Threats) • Hållfasthet i mer exponerade lokaler • Storskalig verksamhet, investerare behövs alternativt samorganisering av fler mindre företag

Tabell 2. SWOT-analys havsbaserad semisluten anläggning (Ungfors & Lindegarth 2014).

3.2 Hårda och mjuka skal

Nedan beskrivs två konceptuellt alternativa tekniker för semislutna system; hårda eller mjuka skal. Tidiga norska tekniska initiativ finns beskrivet i Braaten et al. (2010) och även senare i Heldbo et al. (2013). För ytterligare information om kommersiella initiativ med olika tekniska lösningar, se hemsidor för AquaFarm Equipments AS (Neptun; www.aquafarm.no, Figur 4), MSC Aqua AS (AquaDome; www.mscaqua.no) och AgriMarine Systems (hårt skal), Preline Fishfarming System AS satsning på ett hårt rörformigt koncept med likriktad ström på vattnet (Preline; www.preline.no) samt Akvadesign AS som använder sig av mjukt skal (www.akvafuture.no, Figur 5).

Hårt skal

Det hårda skalet produceras ofta i förstärkt glasfiberplast (GRP, Glass Reinforced Plastic). Skalet har bultats samman från flera olika delar. Formen på skalet kan anta formen av en hemisfär (en halv boll), vara mer cylinderformad med rundad botten eller till och med vara rörformat i horisontellt led med något tillplattad form i genomskärning. Storleken varierar från dryga 5 500 m^3 vattenvolym till 21 000 m^3 per enhet (Figur 4). Diametern för de mer runda varianterna ligger på mellan 27,7-40 m (omkrets 87-126 m) med ett djup om 15-22 m. Hållfastheten är designad för upp till 2 m höga vågor. Det rörformiga alternativet är 60 m lång, 16 m brett med ett djup på 10 m. Innervolymen i denna anläggning är 2 000 m^3.

Eftersom konstruktionen är solid och har kontrollerbara utflöden kan foderrester och annat slam såsom fekalier samlas upp till 60-80 %. Genom utlopp beläget centralt och lägst på botten av skalet leds ett mindre delutflöde till en slamavskiljare m.h.a. övertryck inne i baljan jämfört med havsytan. Läget på detta utflöde tillsammans med formen på botten av skalet gör att det mesta av avfallet, fekalier och eventuella oätna pellets, leds ut genom detta avlopp som går till slamavskiljaren. Resterande vatten leds ut genom reglerbara luckor fördelade jämt runt skalet längst ned på den raka delen av formen samt genom hål i en kort ”standpipe” kopplad till bottenventilen. Slamavskiljare (sedimenteringskammare) kan vara placerad antingen som

en del av landbryggan eller som en separat pråm. I avskiljaren reduceras vattenflödet för att skilja ut fasta partiklar som ansamlas på botten. Avvattning av slammet t.ex. med bältfilter är en viktig del under utveckling för att reducera vatteninnehållet. Med regelbundna intervall hämtas slam från denna enhet för omhändertagande. Slam kan användas för jordförbättring eller till biogasproduktion.

Vattnet in till anläggningen pumpas upp från önskat djup, ofta kring 25-30 m djup. För det rörformade alternativet pumpas vatten genom anläggningen med rotorblad i propellersystem. Kraftiga pumpar med pumpkapacitet om 100 m^3/min betyder att allt vatten kan bytas ut på en knapp timme även i de stora enheterna. Ingående vatten oxygeneras med hjälp av en liten syrepump kopplad till varje huvudpump efter behov (syresensorer). Ingående vatten håller ca 92-94 % syre och havsvattnet inne i baljan ca 80-84 %. Larm kan även användas om O2-halterna går under 76 %. Strålkastare belyser ytan dygnet runt, för att minska risken för förtidig könsmognad. Detta leder till att fisken samlas i de övre vattenvolymerna (dras mot ljuset) under natten. För att bli av förhindra påväxt rengörs insidan av de lodräta väggarna med några veckors mellanrum med hjälp av högtryck och roterande skivor.

Mjuka skal

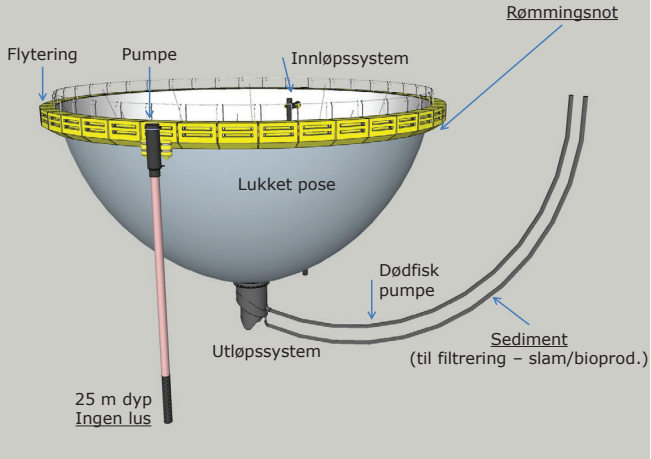
Tekniken grundar sig på en kasse i tålig tät duk. Kassen hålls flytande med hjälp av flytkrage i plast som utgör ett luftelement eller med flytande betongfundament (Figur 5). Storleken på skalet för ett kommersiellt

Figur 5. Foton på semisluten anläggning med hårt skal - Neptun (AquaFarm Equipment AS) (maj 2014), a) översikt anläggningen, b-d) Neptun med lax, e) kontroll av dödlighet, f) en av fyra pumpar, g) övervakningskamera i hårda skalbaljan, h) tvättmaskin, i) syrebehållare, j) syresättningssystem kopplat till sensor. Foto: Anette Ungfors.

odlingsföretag är 70 m omkrets (22 m i diameter) med en invändig vattenvolym om 3000 m^3. Inpumpning av djupvatten sker via pumpar, och vattnet går ut ifrån ett centralt bottenrör där även en delström av vattnet med sedimenterat material och död fisk leds vidare för omhändertagande. Slammet kan sedan avvattnas och brukas till exempel jordförbättring eller biogas. Doserad syresättning sker i vattenvolymen.

3.4 Lämpliga arter

Tillväxtfasen i semisluten anläggning med djupvatten från stort djup t ex. från Kosterfjorden som håller jämn kall temperatur under året för tillväxt av kallvattensarterna hälleflundra och havskatt har potential. Även för torsk där man kan nyttja vattenintag från olika djup beroende på säsong: djupare intag under extrema sommartemperaturer och om vintern, och ett mer ytnära under vår och höst. Övre vattenlagren sommartid ger bra tillväxt för tunga och piggvar varför säsongodling av dessa arter kan fungera även i svenska vatten.



Figur 6. Semisluten anläggning med mjukt skal. a) Schematisk skiss och b) foto från AkvaDesign AS (www.akvafuture.no).

4. Landbaserat slutet system (RAS)

Recirkulerande fiskodlingar (Recirculating Aquaculture Systems - RAS), där vattnet renas företrädelsevis mekaniskt och biologiskt och sedan återförs till fiskbassängerna har potentiellt mycket stora fördelar jämfört med odling i öppna kassar (tabell 3). Fördelar såsom desinficering av vattnet, möjlighet att välja optimal odlingstemperatur, kontrollerade förhållanden och reducerade utsläpp till omgivning blir särskilt markanta om odlingen sker inomhus, på land och med en hög grad av recirkulation. På platser med dålig tillgång på vatten är det naturligtvis också av särskild vikt att ha en så hög recirkulation som möjligt. En hög recirkulationsgrad innebär å andra sidan mycket höga krav på vattenreningen, vilket i sin tur kan öka installations- och driftskostnaderna.

	Positivt–Hjälpsamt–för att uppnå mål	Negativt–Skadligt–för att uppnå mål
Interna/ Inne-boende orsaker	**Styrkor** (Strengths) • Total rening av vatten, eliminerar lösta (kväve, fosfor) och fasta ämnen • Rymningar förhindras • Ingen sjukdomsspridning till vilda bestånd • Kontinuerlig tillväxt, ökad produktion under året • Låg vattenförbrukning (relativt genomströmmande) • Flertalet arter kan odlas från varmvatten (tilapia) till kallvatten (röding)	**Svagheter** (Weaknesses) • Startfas dyr, instrument och utrustning • Driftskostnader t.ex. pumpar, kylning, uppvärmning • Daglig kontroll, erfaren personal krävs • Katastrofeffekter om systemfel. Säkerhetstänk! • Om sjukdomar kommer in i systemet behövs sanering.
Extern/ utan-förlig-gande orsaker	**Möjligheter** (Opportunities) • Strategisk placering av RAS, logistiska vinster, t.ex. i områden utan annat värde • Marknaden får tillgängliga produkter året om	**Hot** (Threats) • Begränsat intresse hos investerare

Tabell 3. SWOT-analys Landbaserad recirkulerande anläggning (Ungfors & Lindegarth 2014).

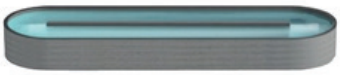
4.1 Odlingskar

För landbaserad odling finns det olika lösningar för odlingsvolymerna. De två vanligaste är odlingsrännor där vattnet flödar från en ände av en lång bassäng till den andra, och runda (eller nära cirkulära) kar. Generellt anses runda kar ha bättre självrensande funktion på så sätt att foderspill och fekalier samlas på botten och förs som en effekt av vattenströmningen till ett bottenuttag. Sedan ger också runda kar en mer homogen vattenkvalitet, till skillnad från odlingsrännor där det mer eller mindre per definition blir sämre vattenkvalitet ju närmare utloppsänden man kommer.

Nackdelar med runda kar är framförallt att det rent praktiskt är svårare med upptag av fisk och sortering och också ett högre krav på markyta för samma odlingsvolym. Det finns även en hybrid som bland annat marknadsförs av Akva group som D-ended odlingsränna, se Figur 7.

En del arter odlas med fördel i grunt vatten, som t ex havskatt. Vid inomhusodling i synnerhet kan det då

vara motiverat att använda tankar i hyllplan för att spara yta.



Figur 7: D-ended odlingsränna (Akva Group).

4.2 Syresättning

För icke luftandande fiskar, vilket gäller samtliga marina arter som förekommer i svenska vatten, är det nödvändigt med en god syresättning i odlingstankarna. Tillförseln av syre kan ske genom

Syrejämvikt mellan omgivande luft och koncentrationen i vattnet. Mängden syre som tillförs på detta sätt kan uppskattas av (DeMoyer et al., 2003)

4.1 $$J_{O,s} = k_{Ls}A(S_{O,sat} - S_O) \qquad [\mathrm{kgO_2/d}]$$

där A är odlingskarets vattenyta (m^2) och k_{Ls} är massöverföringskoefficienten för syretransporten genom ytan. För stilla vatten är den ungefär 100 [m/d], men ökar kraftigt med vind och vattenrörelser. Normalt sätt står denna jämvikt för en signifikant, men relativt liten del av det tillförda syret om odlingstätheten är hög. $S_{O,sat}$ är mättnadskoncentrationen för syre, vilken är temperaturberoende enligt (Riley and Skirrow, 1975)

4.2 $$S_{O,sat} = 14.53 - 0.411T + 0.0096T^2 - 0.00012T^3 \quad [\mathrm{gO_2/m^3}]$$

där T är vattentemperaturen i grader Celsius.

Inkommande vatten. Om odlingstätheten är hög räcker det normalt inte med att inkommande vatten till en odlingstank är mättat med syre om inte genomströmningen är mycket hög. En uppskattning av hur stort genomflödet måste vara ges av en syrebalans (inkommande = utgående):

4.3 $$QS_{O,in} + J_{O,s} = QS_O + V\rho r_0$$

där Q är genomflödet (m^3/d), r_O är fiskens maximala respirationshastighet (gO2/d/kg fisk), p är fisktätheten (kg fisk/m3), S_O är den önskade syrehalten (gO/m^3) och V är odlingsvolymen (m^3). Om inkommande vatten är syremättat får vi

4.4 $$Q = \frac{V\rho r_O}{S_{O,sat} - S_O} - k_{Ls}A \qquad [\mathrm{m^3/d}]$$

Bubbling av luft i karen. Mängden syre som tillförs genom diffusorer nära botten brukar uppskattas med ett uttryck motsvarande (4.1), dvs

4.5 $$J_O = k_L A(S_{O,sat} - S_O) \qquad [\mathrm{kgO/d}]$$

där k_LA är en massöverföringskoefficient som bestäms av luftflödet och hur effektiva diffusorerna är. Vid mindre anläggningar används normalt en enkel luftpump, men vid större installationer och högre odlingstäthet krävs luftkompressorer. Vi kan här notera att ju lägre syrehalt man håller i karen desto effektivare blir syresättningen.

Övermättning av syre. Genom användning av komprimerad syrgas, alternativt syrekon och katalys, där kväve och syre separareras, kan syret inlösas i inflödet till övermättnad. Hur mycket som krävs för ett givet vattenflöde kan på samma sätt som ovan bestämmas utifrån en massbalans med avseende på syre i tanken.

En tillräckligt hög syrehalt är nödvändig för fiskarna. För att garantera tillräcklig syremättnad bör man

använda sig av syregivare i odlingstankarna, eller i deras utlopp, och koppla dom till ett styrsystem med larmfunktioner. Ett backup-system för syretillförseln är normalt att rekommendera utöver reservaggregat i händelse av elavbrott. Genom att använda sig av en återkopplad reglering baserat på uppmätt syrehalt och temperatur kan man minimera kostnaderna för den metod man valt genom att undvika kostsam syresättning.

4.3 Vattenrening

Recirkulerande odlingssystem kräver vattenrening. Hur, och i vilken omfattning, avgörs av regler för tillstånd och gränsvärden för fiskens hälsa och recipient. Generellt gäller att ju högre recirkulation desto högre krav på reningsgrad och tillförlitlighet. För att ge en bakgrund till hur gränsvärden och foder mm påverkar designen av ett RAS behöver man en allmän kännedom om de olika vattenreningsstegen, vilka sammanfattas kort i det följande.

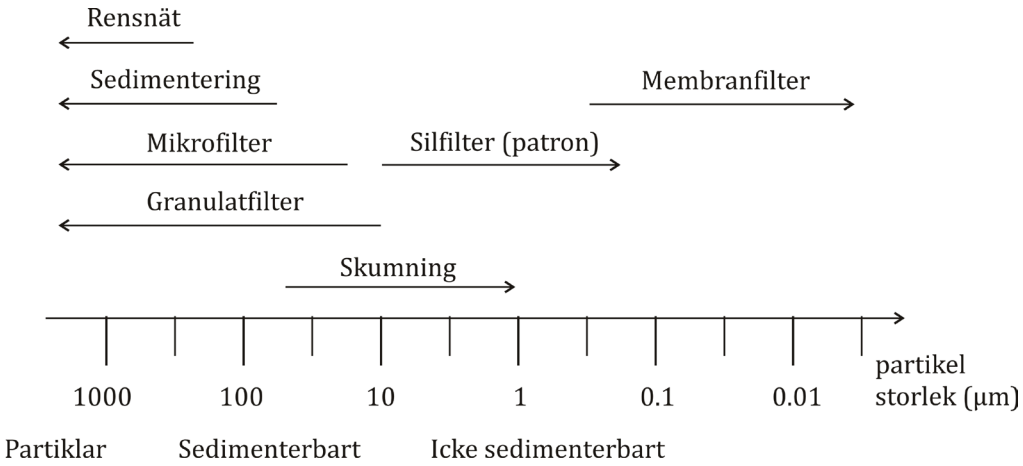
4.3.1 Partikulärt material

Partikulärt material i systemet härrör huvudsakligen från foderrester och fekalier, men till viss del produceras även partikulärt material i form av bakteriellt slam i själva reningsprocessen. Det partikulära materialet kan påverka många fiskar negativt på ett antal olika sätt, bl a

- Irritation och skador på gälarna som ökar risken för bakteriella angrepp (Bacterial Gill Disease – BGD) som också kan spridas med partiklarna.
- Ansamlingar av suspenderade partiklar kan ge upphov till anoxisk nedbrytning, vilken i sin tur kan resultera i bakterier och svamp som orsakar dysmak.
- Försämrad syn som påverkar fodersökningen negativt och därmed ökar foderspillet.

De suspenderade partiklarna kan också påverka vattenreningen på så sätt att biofilter sätter igen och UV- och/eller ozonbehandling försämras. Vid användning av sandfilter och liknande metoder kan igensättning av partikulärt material kräva omfattande arbetstid för backspolning, igångsättning osv.

Det finns tre huvudprinciper för att avlägsna suspenderat partikulärt material: Sedimentering, filtrering och flotation (skumning). I Figur 8 visas hur de olika metoderna förhåller sig till partikelstorlek.



Figur 8. Olika tekniker för partikelavskiljning, modifierat efter Wheaton (2002).

Sedimentering sker naturligt då flödeshastigheten är tillräckligt låg. Partiklar och bakterieflockar är i regel något tyngre än vatten och faller då mot botten där de samlas upp och tappas ut. Detta är den princip som bl a används för uppsamlingen av fekalier och foderrester i odlingskaren. För att uppnå låg flödeshastighet krävs stora volymer/ytor och därför lämpar sig sedimentering dåligt för odling inomhus. Samma princip, dvs densitetsskillnaden, används också i en så kallad hydrocyklon. En sådan består normalt av en nedre konisk del med utlopp i botten och en övre cylindrisk del med utlopp i centrum. Vattnet leds tangentiellt in i cyklonens övre del där partiklarna trycks utåt mot väggen av centripetalkraften och sjunker nedåt av

gravitationen till botten där det det så kallade rejektet tappas av. Klarvattnet pressas uppåt och lämnar cyklonen i centrum av överdelen. Fördelarna med hydrocykloner är att separationen går snabbt, de har inte några rörliga delar och de ger upphov till låga tryckfall. Användningen begränsas dock av att de bara kan separera bort partiklar större än ca 0.1mm (Heldbo et al., 2013).

Filtrering är en rent mekanisk metod där vattnet går igenom ett filter med en given porstorlek. De vanligast förekommande är trumfilter och bandfilter. Båda kräver att filtrena spolas av regelbundet, vilket i många fall är automatiserat.

Flotation bygger på att små partiklar fastnar på små luftbubblor som flyter upp till ytan där de bildar ett skum som sedan avlägsnas. Den här metoden används framförallt i marina kläckerier och yngelanläggningar för att avlägsna de kvarvarande minsta partiklarna, så kallad polering av vattnet (Heldbo et al., 2013).

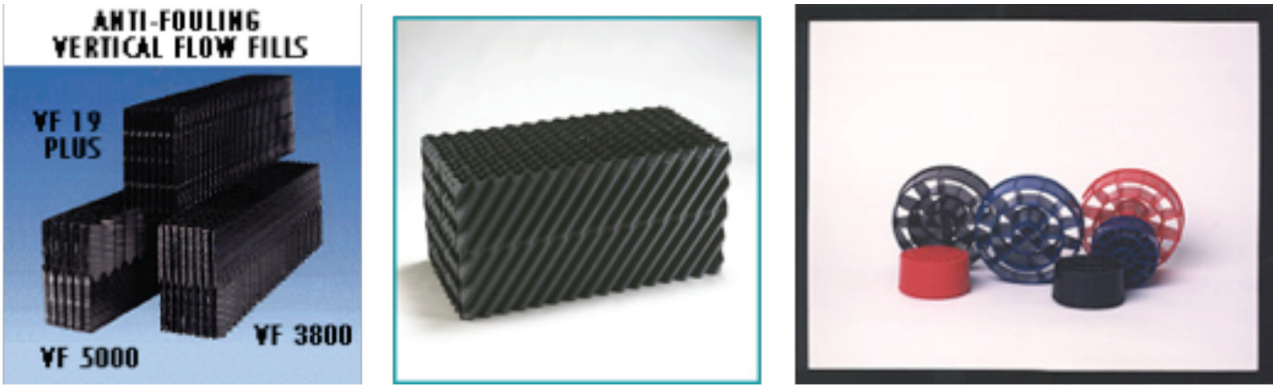
4.3.2 Löst organiskt material

Partikulärt organiskt material som är biologiskt nedbrytbart omvandlas genom hydrolys till löst organiskt material som är mer eller mindre lättillgängligt för heterotrofa bakterier att använda som substrat. Organiskt material kan mätas på olika sätt. Det mest etablerade måttet är COD (Chemical Oxygen Demand) som anger hur många gram syre som krävs för att fullständigt oxidera alla kolväten. En del kolväten kan inte brytas ned biologiskt inom en relevant tidsgräns och därför har man även måttet BODk (Biological Oxygen Demand), som anger syreförbrukningen då man använt k dygn för nedbrytning. Vanligtvis är k=5 eller k=7 dygn (trots att det i många fall vore mer relevant med en betydligt kortare eller betydligt längre tidshorisont). Vilket k som är relevant kan man relatera till medeluppehållstiden för ett inert löst ämne (t ex ett spårämne) i systemet. Medeluppehållstiden (Hydraulic Retention Time) beror endast på vattenutbytet och kan skattas som

$$HRT = \frac{V_{tot}}{Q_0} \qquad 4.6$$

där V_{tot} är anläggningens totala vattenvolym och Q_0 är genomsnittsflödet ut från systemet. Om till exempel 10% av volymen byts varje dag blir medeluppehållstiden 10 dygn. Med lågt vattenutbyte bör alltså i princip all BOD5 och BOD7 vara förbrukat.

I en aerob miljö omvandlar heterotrofa bakterier, med syre som elektronacceptor, kolväten till koldioxid och vatten under uppbyggnad av biomassa. Detta utförs av bakterier som kan vara suspenderade i vattnet eller fixerade i en biofilm. Aktivslamprocessen, som är den traditionella tekniken för kommunal vattenrening, bygger helt på suspenderade bakterier i öppna bassänger. Bakterierna bildar slamflockar och följer med vattenflödet till ett sedimentationssteg där flockarna sjunker och samlas upp. Det mesta av slammet



Figur 9. Exempel på olika typer av bärarmaterial : (a) fast vertikalflödes material, (b) fast korsflödesmaterial (c) suspenderade bärare.

recirkuleras tillbaka till aktivslambassängen igen och resten avvattnas och tas ut ur systemet. Metoden används även i vattenbrukssammanhang, men är vansklig för RAS då så kallad slamflykt, vilken sker då flockarna inte sedimenterar tillräckligt fort, kan orsaka svåra problem i systemet.

Biofilter är en vanligare metod för nedbrytningen i vattenbruk. Benämningen biofilter är dock inte entydig då den används olika i olika länder och olika inom avloppsvattenrening och vattenbruk. I regel avses dock någon form av biofilmreaktor, dvs en process där bakterierna sitter fast på ett underlag (bärarmaterial) som kan vara sand, sten eller plast i någon form, se Figur 9.

Sådana processer kan i sin tur delas in i de med fast bärarmaterial och de med rörligt bärarmaterial (Moving Bed Biofilm Reactor - MBBR). Syftet med bärarmaterialet är att fixera bakterierna så att inget sedimenteringssteg behövs och samtidigt ge bakterierna en stor kontaktyta mot vattnet. Vanligtvis är den specifika ytan från ca 100 m2/m3 upp till mer än 500 m2/m3. En högre specifik yta skall teoretiskt ge en högre reningskapacitet, men igensättning av material med hög yta gör att den effektiva ytan kan bli avsevärt lägre än dess teoretiska yta.

En nackdel med fast bärarmaterial med hög specifik yta är att det är svårt att ockulärt avgöra om filtret satts igen av slam eller en alltför kraftig påväxt av biofilm. Det är därför vanligt med material med relativt liten yta, men möjlighet att inspektera dess inre på ett enklare sätt, se Figur 10.

Figur 10. Exempel på fast bärarmaterial som används för vattenbruk (Bio-blok 200®).

I en aerob MBBR så brukar luftningen räcka för att åstadkomma en tillräcklig omrörning så att all biofilm exponeras likvärdigt. I anaeroba reaktorer däremot krävs normalt extern omrörning för att uppnå god omblandning och hög effektivitet. Genom att bärarna rör sig och skaver mot varandra sker också en naturlig kontroll av biofilmens tjocklek. De önskade reaktionerna sker till övervägande del i själva biofilmen, men endast i de yttre delarna av filmen (upp till ca 200 µm). Normalt är det därför ingen fördel med tjockare film än så. Vid aerob nedbrytning av organiskt material innebär dock skavningen en del partikulärt material i bulkvattnet och därför kan det krävas efterföljande filtrering.

De flesta fiskar har en generellt hög tolerans för lösta kolväten, men trots det kan det vara nödvändigt att driva det här reningssteget långt då det normalt är nödvändigt för att upprätthålla en väl fungerande kväverening.

4.3.3 Nitrifikation

Ammoniak (NH3) är redan i mycket låga halter giftigt för de flesta fiskar. I vatten står ammoniak i en syrabasjämvikt med ammonium (NH4+). Jämvikten är förskjuten mot ammonium och pH-beroende, vilket därmed också gränsvärden för ammonium blir. Ammonium kan avlägsnas biologiskt genom nitrifikation, som kräver en aerob miljö och sker i två steg. I första steget oxideras ammonium till nitrit av ammoniumoxiderande bakterier (typiskt Nitrosomonas, Nitrosospira och Nitrosolubus) enligt

4.7 $$NH_4^+ + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+$$

Processen är alltså försurande genom att två väteprotoner frigörs. Generaliserat så neutraliseras detta av en reduktion i alkalinitet som kan mätas i bikarbonatekvivalenter:

4.8 $$2H^+ + 2HCO_3^- \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$$

Nitriten som producerats oxideras sedan vidare av nitritoxiderande bakterier (vanligtvis *Nitrospira*)

4.9 $$NO_2^- + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_3^-$$

Även nitrit är toxiskt för fisk i mycket låga halter och därför är det viktigt att nitrifikationen drivs fullt ut till nitrat. Reaktionshastigheten för nitritoxidationen (4.9) är snabbare än för ammoniumoxidationen (4.7) och därför blir nitrithalterna låga då ammoniumoxidationen ges tillräckligt med tid.

Nitrifierande processtekniker är i princip de samma som beskrivet för löst organiskt material, dvs aktivslam- eller biofilmprocesser. För mer eller mindre helt nitrifierande processer så fungerar biofilmprocesser särskilt bra då nitrifierarna normalt bildar en tunnare och mer stabil biofilm. En populär biofilmreaktor som används för nitrifikation är ett så kallat strilfilter, vilket i princip är en biobädd (trickling filter) med ett fast bärarmaterial med låg specifik yta och möjlighet till god gasväxling, se t ex Figur 4.4. Vattnet lyfts till en nivå ovanför materialet och sprids så homogent som möjligt över bädden. På vägen ned möter vattnet ett luftflöde som dels syresätter vattnet och dels luftar ut koldioxid ur vattnet.

Nitrifierande bakterier är autotrofa och utnyttjar inte kolväte som substrat utan koldioxid för sin uppbyggnad av biomassa. Det ger ett energimässigt sämre utbyte och därför växer nitrifierarna betydligt långsammare är de heterotrofa bakterierna, som använder kolväten. I en aerob miljö med tillgång på både ammonium och löst organiskt material så konkurrerar nitrifierarna mot de heterotrofa bakterierna om både syre och utrymme (som andel av slam och biofilm). Om man inte har tillräckligt hög slamålder (slammets medeluppehållstid i systemet) i en aktivslamprocess så konkurrerar därför de heterotrofa bakterierna ut nitrifierarna genom att nybildningen av nitrifierare är lägre än den heterotrofa tillväxten tills det att nitrifikationen i princip helt uteblir.

I en biofilmprocess är situationen något bättre genom att bakterierna sitter fixerade i filmen och inte kan sköljas ut. Men även om nitrifierarna finns kvar i biofilmen orsakar konkurrensen problem. Den högre tillväxten för heterotrofa bakterier gör att de dominerar i de yttre delarna av filmen och konsumerar där syret så att det har svårt att diffundera in i de djupare lagren där nitrifierarna befinner sig (Wik and Breitholtz, 1996). Resultatet av för höga halter löst organiskt material relativt ammonium är därför på kort sikt bara en minskad nitrifikation, men på lång sikt (månader) kan nitrifikationskapaciteten försvinna helt och ta mycket lång tid att återskapa.

4.3.4 Denitrifikation

Denitrifikationen är nästa steg i kvävereningen, där nitrat från nitrifierarna reduceras till elementärt kväve som avgår som gas från systemet. I brist på syre kan de heterotrofa bakterierna utnyttja nitrat för nedbrytningen av kolväten, ungefär enligt (Hiscock et al., 1991)

4.10 $$4NO_3^- + 4H^+ + 5CH_2O \rightarrow 2CO_2 + 2N_2 + 7H_2O$$

Egentligen sker denitrifikationen i flera steg via först nitrit och sedan NO och N_2O och med en stökiometri och hastighet som beror på substratet, se t ex (Mattsson, 1997). Denitrifikationsprocessen är ofta orsaken till att inte fler anläggningar har (nästan) full recirkulation. Genom att kolvätena måste bort för att nitrifikationen skall fungera så saknas i regel kolväten för att denitrifikationen skall kunna ske, om inte systemet konFigureras och drivs på ett mer avancerat sätt än att ha alla reningsstegen i ett huvudflöde (se nästa avsnitt). Av det skälet är det också vanligt att det doseras kolväten, som t ex någon alkohol, för att

åstadkomma denitrifikation. Ytterligare en anledning är att man inte vill riskera anaerobt vatten till fisken, dels på grund av syrehalten, men även för risken att få dysmak på fisken.

Traditionellt låter man därför denitrifikationen ske på utgående vatten från systemet, antingen i en biofilmreaktor eller genom att man leder vattnet till en arrangerad våtmark, vilket är en ganska vanlig lösning i Danmark. Om den sker i en reaktor (t ex MBBR eller en biorotor) krävs normalt tillförsel av kolväten. Kolväten för detta kan fås genom rötning av slammet, men i regel används även en extern kolkälla. Kostnaden för detta är t ex för Langsand Laks ca 2:50 SEK per 4,5 kg lax (Murray et al., 2014). Ytterligare en nackdel med att ha denitrifikationen på utgående vatten är att man går miste om den neutraliserande effekt den, ekv. (4.10), har på den försurning som nitrifikationen (4.7) orsakar. Som kommer att illustreras längre fram kan denitrifikation ske i det recirkulerade systemet på ett liknande sätt som i fördenitrifierande avloppsreningsverk. Då finns det möjlighet att utnyttja de lätt nedbrytbara kolväten som produceras i systemet och annars bara bryts ned i en syreförbrukande aerob miljö för att möjliggöra nitrifikation.

4.3.5 Fotokemisk behandling

För att bekämpa patogener finns det ett antal olika metoder att tillgå, där det klassiskt används kemikalier. För RAS-anläggningar är det känsligare än i öppna odlingar då det finns en risk att framförallt nitrifierarna i vattenreningen tar skada. Genom att vattnet recirkuleras så påverkas både de positiva och negativa effekterna av hur snabbt nedbrytningen av kemikalierna sker. Behandling med formalin i marin odling har studerats och vid en dosering på över 100 mg/l kan nitritoxiderarna inhiberas med risk för förhöjda nitrithalter (Keck and Blanc, 2002). Vid en längre tids regelbunden låg dosering så ökar nedbrytningshastigheten av formalin kraftigt och nitrifikationen förefaller inte försämras (Pedersen et al., 2010).

Väteperoxid har framförts som ett alternativ till formaldehyd och andra kemikalier för behandling av sjukdomar och parasiter, men hur den bäst används är inte klarlagt (Murray et al., 2014). Väteperoxid, liksom PAA, har kraftfull desificerande funktion och bryts ned till vatten och syre. Det har dock visat sig att väteperoxid har en signifikant negativ påverkan på funktionen i biofilter. Låga halter PAA (<1 mg/l) gav endast liten påverkan på nitrifikationen, men koncentrationer över 2 mg/l gav långvarigt förhöjda nitrithalter, se (Murray et al., 2014).

Som alternativ till en ren användning av kemikalier används t ex UV-behandling, ozon-behandling och oxidationsprocesser. Endast UV eller ozon-behandling av recirkulerat flöde har visat sig minska sannolikheten för sjukdoms- och parasitutbrott. Kombination av ozon och UV verkar potentiellt reducera bakteriehalterna till nära noll, se (Murray et al., 2014).

Det finns också oxidativa processer som kan användas för att reducera risken för sjukdomar. T ex har Wallenius utvecklat en process (AOT) för recirkulerande vattenbruk, ursprungligen utvecklad för ballasttankar, som kombinerar UV med en katalysator. Som en positiv effekt ger oxidationen minskat behov av nitrifikation och klarare vatten. För att uppnå de goda effekterna måste vattnet dock passera genom en trång passage, vilket ger upphov till tryckförluster utöver den elförbrukning som UV-behandlingen kräver.

4.3.6 Slam

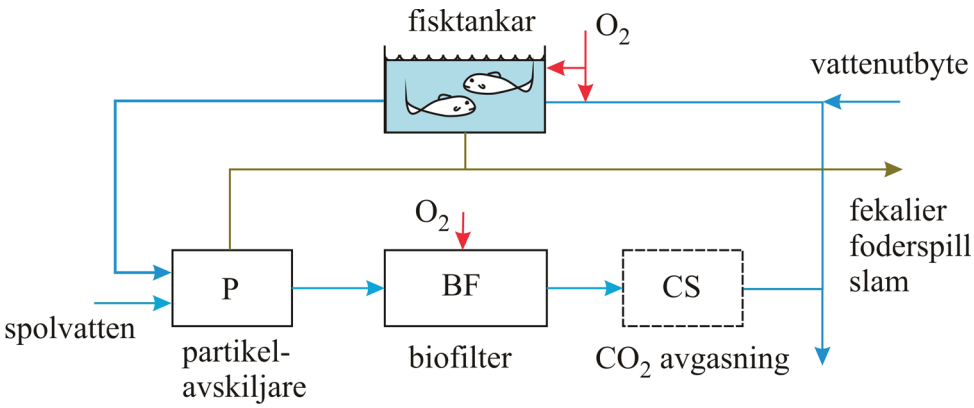
Oavsett vilken biologisk vattenreningsmetod som används så kommer man producera ett slam bestående av bakterieflockar, fekalier och foderrester. Slam från fiskodlingar i sötvatten bör generellt vara mycket lämpligt för att använda för gödsling i jordbruket då man till skillnad från reningsverken har möjlighet att undvika tungmetaller, medicinrester mm. Enligt Mirzoyan et al. (2008), se vidare referenser, så är det dock problem med saltinnehållet i slam från odlingar av marina arter. En tänkbar hantering av slammet är då att utnyttja det för gasproduktion genom rötning. I försök på brackvattenslam i labbskala har man visat på upp till 70% reduktion av slammets massa och en medelproduktion av metan på 40% (Mirzoyan et al.,

2008). Vid TU Delft bedriver en grupp kring professor Spanjers också forskning där man utöver en metanproduktion även studerar återvinning av näringsämnen från brackvattenslam.

4.4 Principiella skillnader i konfiguration

4.4.1 Landbaserad RAS med partiell recirkulation

Som nämnts i föregående avsnitt så har de flesta RAS-anläggningarna idag inte någon denitrifikation i det flöde som recirkuleras genom fisktankarna. I Figur 11 illustreras de viktigaste komponenterna i en sådan konfiguration. Flera delsystem har för enkelhets skull inte lagts in i figuren, som t ex ozon- och UV-behandling för att förebygga sjukdomar, syrekoner för inlösning av syre, slamavvattnare och tillsats av alkalinitets- eller pH-höjande kemikalier för att kompensera för den pH-sänkande nitrifikationen.



Figur 11. Konventionell biofilmsbaserad lösning for RAS utan denitrifikation.

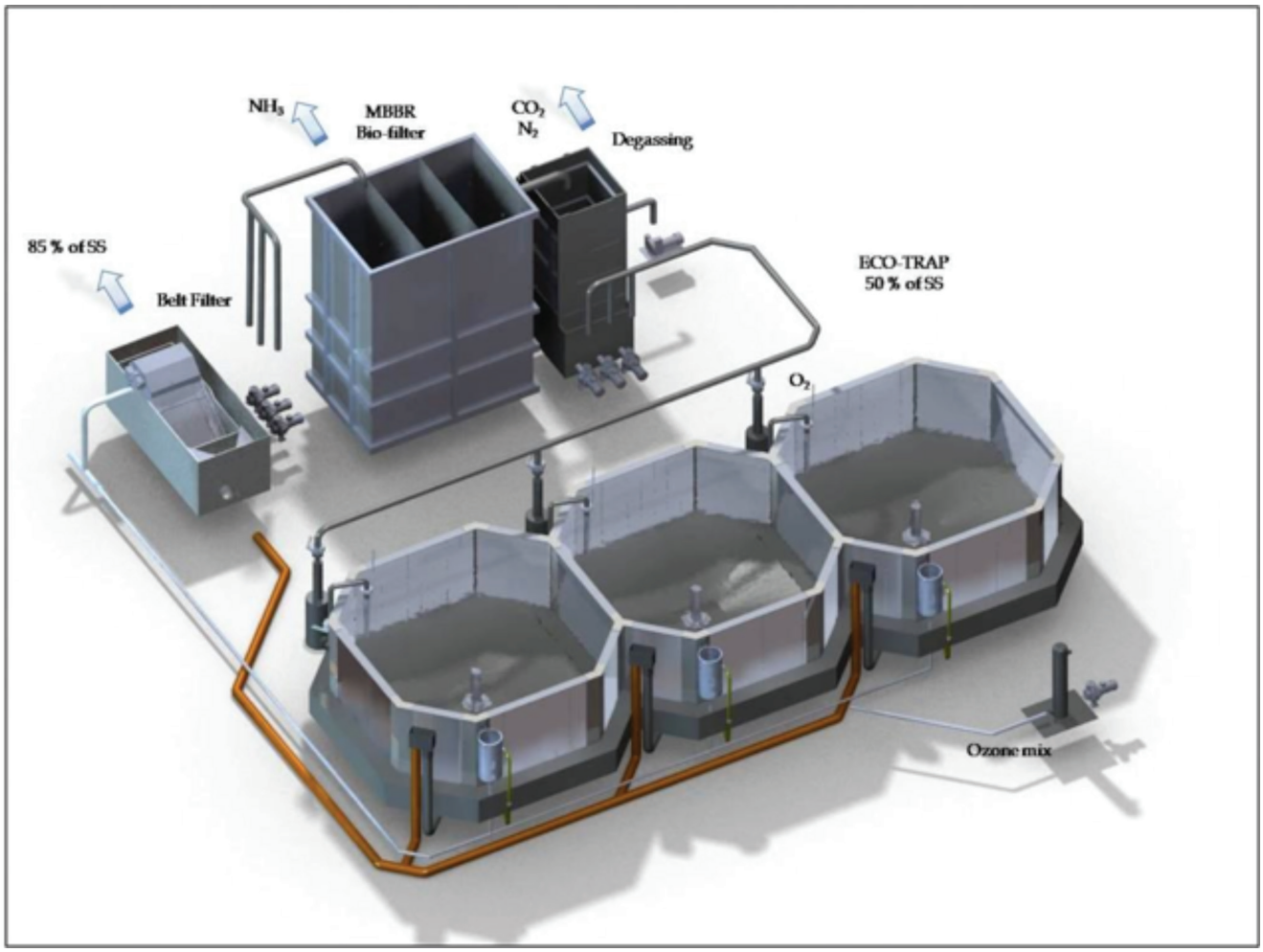
Vattnet från fisktankarna leds in i en partikelavskiljare (P). Vanligen används trumfilter, men bandfilter, en del andra filter och hydrocykloner förekommer också. Efter den mekaniska reningen följer en biologisk rening, i regel i någon form av biofilter (moving bed, biofilter eller biobädd) där först organiska ämnen bryts ned av heterotrofa bakterier och sedan ammonium oxideras till nitrat med nitrit som mellanprodukt. Endast aerob rening sker här genom antingen luftning underifrån eller genom ventilation i de fall en biobädd används. Avgasning av koldioxid (CS) förekommer nästan alltid i de fall det inte är just en biobädd som används i den biologiska reningen. Avgasning sker då i t ex ett strilfilter, som kan ses som en biobädd med låg specifik yta, som i Figur 4.4. Där kan också ske en signifikant biologisk rening, som t ex nitrifikation.

Den här typen av anläggningar används av bl a det Norska företaget AquaOptima AS i Trondheim, som är en väletablerad leverantör av delar och kompletta RAS-anläggningar, se Figur 12. De står t ex bakom Nofimas påkostade forskningsanläggning i Sunndalsöra, som följer den här principen (Terjesen et al., 2013). Det skall här också nämnas att företaget äger rättigheterna till ett double drain system som effektivt samlar upp foderrester och fekalier i botten av runda (eller nära runda) fisktankar och som därför minskar den organiska belastningen på reningssystemet.

I Sverige finns endast ett fåtal RAS-anlägningar, men flera av dom fungerar följer i princip strukturen i Figur 11, så som Scandinavian Eel i Helsinborg, Mörrums kronolax och Svensk fiskodling AB på Ljusterö i Stockholms norra skärgård. Inom projektet Närfisk har anläggningen på Ljusterö också använts för att testa ny teknik, som t ex Wallenius AOT och Nordic Waters Dynasandfilter med olika filtermedia.

I en del anläggningar i Danmark används aktivslam-anläggningar istället för biofilter för den biologiska reningen och då följs dessa av sedimenteringsbassänger där slammet samlas upp och huvuddelen leds tillbaka till aktivslamsteget.

Vattenutbytet kan ske på olika sätt. I Figur 11 framgår de vanligaste punkterna där detta sker. Vid användning av trumfilter, bandfilter och sandfilter måste (back-) spolning ske regelbundet. Därmed sker indirekt



Figur 12. Illustration av en landbaserad RAS typisk för partiell recirkulation (AquaOptima).

ett vattenutbyte då spolvatten följer med slamuttaget även om eventuellt vattenöverskott leds tillbaka till reningen (ej illustrerat). Vid högre vattenutbyten räcker inte detta utan systemet tappas på renat vatten och nytt vatten leds till fisktankarna.

Nitrifikationen (4.7) är försurande och därför tillsätter man normalt en ansenlig mängd alkalinitetshöjande kemikalier i den här typen av system.

Genom att nitrat inte lämnar systemet i Figur 11 på något annat sätt än med utgående vatten så kommer nitratkoncentrationen bli en följd av vilket vattenutbyte man har. Trots att fiskars relativa tålighet för nitrat generellt är hög kan nitrathalten ändå bli den parameter som avgör vattenutbytet. Typiskt så är flödet genom fisktankarna och reningsstegen högt jämfört med inflödet av färskt vatten, vilket gör att nitratkoncentrationen kommer vara ungefär den samma i hela anläggningen. Genom massbalanser och förenklande antaganden kan vi då skatta vilket vattenutbyte som krävs.

Kväve tillförs systemet endast genom proteiner i fodret. Anta att F (kg/d) är den dagliga utfodringen. Fiskmjölsbaserat foder innehåller ca 45% (kg/kg) proteiner och kväveinnehållet i proteiner är i sin tur ca 16% (kg/kg). Det innebär att fodrets kväveinnehåll är ungefär N_{Feed}=7.2% kväve.

Utfodringen kan vi anta är proportionell mot fiskarnas massa m, vilket ger

4.11 $F = \gamma m$

där y är mängd (kg) foder per kg fisk. Vidare antar vi för enkelhets skull att mängden fisk i kg ges av tankvolymen och en genomsnittlig odlingsdensitet p (kg/m3):

4.12 $$m = \rho V$$

där V är vattenvolymen (m^3) i odlingstankarna.

Det mesta av kvävet utsöndras genom gälarna och är, eller övergår till, ammonium. En del kväve blir organiskt nedbrytbart lösligt kväve, men i slutändan omvandlas även det till ammonium. Endast en liten del blir partikulärt bundet kväve. Om vi antar att den delen och foderspillet tillsammans uppgår till en andel ϵ av det tillförda kvävet kan vi skatta medelflödet av ammoniumkväve som belastar systemet:

4.13 $$F_{NH} = (1-\epsilon)\left(\gamma\rho V N_{Feed} - \frac{\gamma\rho V}{FCR} N_{Fish}\right)$$

där vi subtraherat bort det kväve som binds in som protein i fisken då den växer. Fiskens tillväxt (kg/d) skattar vi här med FCR som anger hur många kilo foder som behövs per kilo fisktillväxt. Proteininnehållet i fisk kan vi anta är ungefär 17% och med samma kväveinnehåll som i foderprotein blir då kväveinnehållet i fisken N_{Fish}=2,7%.

Ammonium/ammoniak är starkt toxiskt för de flesta fiskar och därmed är gränsvärdena avsevärt lägre, 0.5-10 gN-NH4/m^3 jämfört med ca 50-300 gN-NO3/m^3. Om vi försummar ammoniumutsläppen (Q_0 S_{NH}) från systemet jämfört med nitratutsläppen (Q_0S_{NO}) så ger en massbalans att stationärt måste lika mycket nitrat lämna systemet som det bildas ammoniumkväve, dvs (4.13), vilket ger

4.14 $$Q_0 S_{NO} = (1-\epsilon)(N_{Feed} - \frac{N_{Fish}}{FCR})\gamma\rho V$$

Vattenutbytet, här uttryckt i m^3 tillfört vatten per m^3 odlingsvolym, blir då

4.15 $$\frac{Q_0}{V} = (1-\epsilon)(N_{Feed} - \frac{N_{Fish}}{FCR})\frac{\gamma\rho}{S_{NO}}$$

Med t ex följande indata; ϵ=0.1, FCR=1.2, γ=0.02, ρ=40 och ett gränsvärde S_{NO}=200gN/m^3 = 0.2 kgN/m^3 får vi ett lägsta vattenutbyte på 18% av odlingsvolymen per dygn. I praktiken är det svårt att driva en anläggning utan nitratreduktion i recirkulationsflödet med lägre vattenutbyte än 10%, och det är också en gräns som är relativt vedertagen för att göra skillnad på fullständigt recirkulerande och partiellt recirkulerande anläggningar (Heldbo et al., 2013).

4.4.2 Efter-denitrifikation

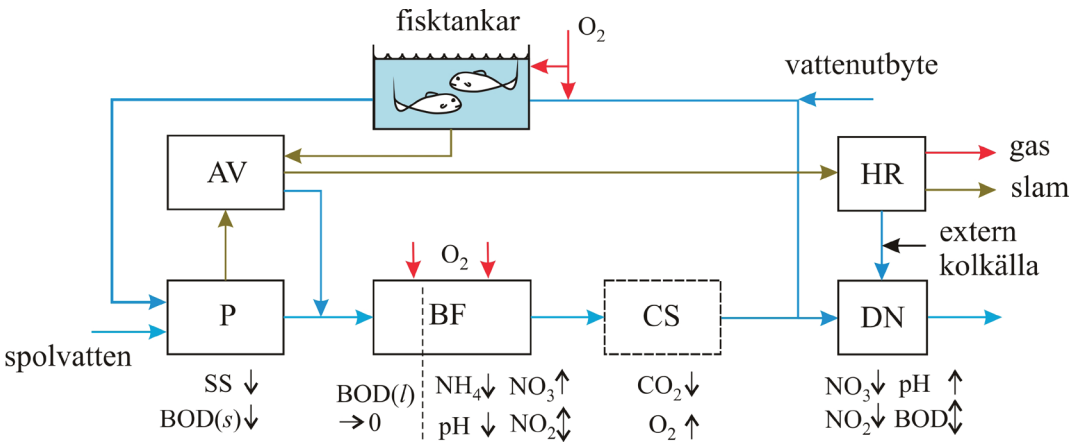
Med partiell recirkulation har man normalt höga nitrathalter i det avtappade vattnet. Detta kan hanteras på olika sätt:

* Vattnet leds till ett existerande avloppsnät mot avgift.
* Vattnet leds till en mer eller mindre arrangerad våtmark. Positivt med denna lösning är att nä ringen kan ge biomassa (växtlighet) som kan ha ett värde. Ett relativt stort område måste dock av sättas. För akvaponi, där kommersiell växtodling och fiskodling integreras helt, gäller en tumregel att man behöver odla tio gånger mer grödor än fisk räknat i vikt. Ett annat problem är att man vintertid inte får något nämnvärt upptag av nitrat, vilket i sin tur innebär att man får kraftigt minska eller pausa utfodringen. Framförallt är metoden därför lämplig för utomhusodling i bas sänger eller dammar.
* Utgående vatten behandlas i ett avslutande denitrifikationssteg.

Den sista varianten kallas i vattenreningssammanhang för efter-denitrifikation. Vattnet som skall denitrifieras kommer då hålla låga halter av ammonium och nitrit, men också låga halter lätt nedbrytbara organiska föreningar eftersom nitrifierarnas konkurrens om syret med de heterotrofa bakterierna inte får vara för hög om nitrifikationen skall fungera väl.

Eftersom denitrifikationen kräver (lätt nedbrytbara) kolväten tillsätts därför en extern kolkälla, som t ex alkohol. Behovet kan minskas och i vissa fall kanske elimineras genom att man låter hydrolysera och röta det avvattnade slammet och leda överskottsvattnet till denitrifikationssteget. Ett sådant system illustreras i Figur 13 där de huvudsakliga effekterna av varje reningssteg också markerats.

Det förefaller som att den vanligaste tekniken även för denitrifikation är biofilmprocesser, och särskilt då MBBR, som har ett fritt bärarmaterial. Genom att denitrifikationen skall ske anoxiskt sker ingen luftning och därmed ingen naturlig omrörning. Någon form av forcerad omrörning är därför nödvändig för att erhålla hög verkningsgrad. Det är värt att notera här, och i andra fall, att det åtgår avsevärda mängder kolväten bara för att sänka syrehalten så att denitrifikation kan ske.



Figur 13. Ett system med partiell recirkulation och efter-denitrifikation där man utnyttjar slammet för att producera kolväten att använda i en efterdenitrifikation (DN). P, BF och CS som i Figur 4.6, AV betecknar avvattning, HR hydrolys och rötning. BOD(s) betecknar partikulära och BOD(l) lösta biologiskt nedbrytbara ämnen.

Danska Billund Aquaculture är liksom AquaOptima ett väletablerat företag i branschen som levererar allt från planering till delar eller kompletta RAS-system. Företaget har en omfattande referenslista och har bland annat levererat tekniken till Langsand Laks, som är en av de största RAS anläggningarna för laxodling (1 000 ton per år). Systemet som används där kan sägas följa principen i Figur 13.

4.4.3 Landbaserad RAS med fullständig recirkulation

Fördelarna med ”fullständig” recirkulation på land jämfört med partiell recirkulation är flera:

Minskad åtgång och utsläpp av vatten, vilket innebär:
* Kan användas i områden med dålig vattentillgång.
* Genomförbart att rena eller använda rent vattentillflöde och på så sätt minska risk för bakterie-, virus- och parasitangrepp.
* Minskade kväveutsläpp.
* Genomförbart att behandla utgående vatten så att spridning av sjukdomar och parasiter minimeras.

Minskade värmeförluster/kylförluster och därmed ekonomiskt möjligt att hålla en temperatur som är optimal för t ex tillväxt.
Minskad användning av extern kolkälla.

Minskad eller ingen användning av alkalinitetshöjande kemikalier.

För att åstadkomma ett system med maximal recirkulation, där ammonium nitrifieras, måste denitrifikationen ske i det recirkulerade flödet och inte enbart i utgående vatten.

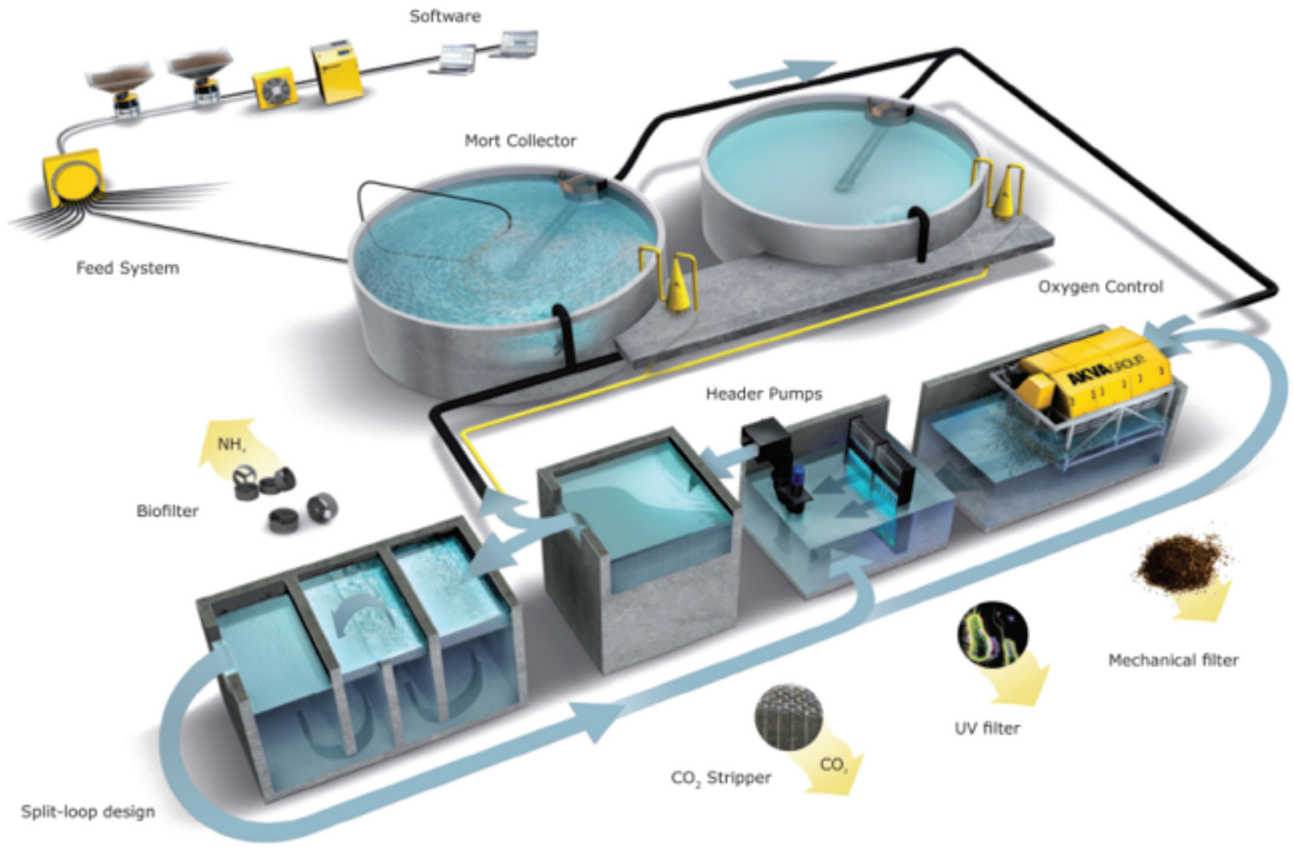
4.5 Alternativa konfigurationer

I det här avsnittet presenteras exempel på RAS-anläggningar med alternativa konfigurationer till ”standardkonfigurationerna” i Figur 11 och 13. En genomgång av system som presenterats på nätet och i forskningslitteratur visar att det uppenbarligen finns många olika kombinationer av reningssteg, och det kan vara svårt att se vilken eller vilka som är att föredra. Med utgångspunkt i de tidigare beskrivningarna försöker vi se vilka konsekvenser och risker som finns med olika lösningar.

Notera att företag och organisationer som nämns mycket väl kan förespråka andra lösningar än de som diskuteras här.

4.5.1 Återcirkulation genom biofilter

I Figur 14 visas det system som presenteras på det norska företaget Akva Groups hemsidor. Systemet an-

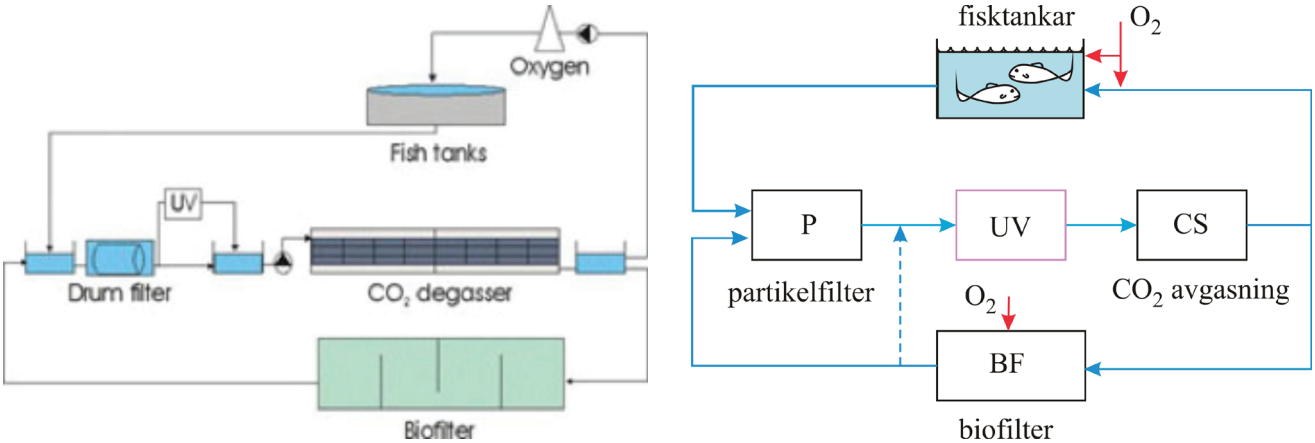


Figur 14. RAS-lösning beskriven av Akva Group med biofiltret i en egen recirkulationsloop (http://www.akvagroup.com/produkter/landbasert-akvakultur/resirkulering).

vänder sig av två flödesloopar, där den biologiska reningen huvudsakligen sker i en egen recirkulationsloop. Det amerikanska företaget Aquaculture Developments, LLC, marknadsför ett system som i princip har samma konfiguration som Akva Groups, se Figur 15.

Av systemlösningarna som beskrivs framgår inte hur stort vattenutbytet normalt är, men eftersom ingen denitrifikation, eller anoxisk enhet, finns beskriven så verkar den här lösningen falla in under kategorin

Landbaserat slutet system (RAS)



Figur 15. Till vänster ett system som marknadsförs av Aquaculture Developments, LLC (http://aquaculturedevelopments.com/?p=6) och till höger den principiella konfigurationen för både Akva Group och Aquaculture Developments (jmf Figur 4.8).

partiell recirkulation.

Fördelar

Genom att ha biofiltret i ett eget flöde åstadkommer man flera positiva effekter jämfört med lös ningen i Figur 11.

* Flödet genom biofiltret kan hållas lägre än det som krävs för odlingstankarna. Därigenom kan nitrifikationen alltid säkerställas eftersom all lättillgänglig BOD kommer förbrukas tidigt i biofiltret om flödet väljs tillräckligt lågt.
* All BOD behöver inte renas i huvudflödet eftersom fisken är tålig för höga halter lösta organiska ämnen. Genom att tillåta höga BOD-halter minskar luft/syre-förbrukningen motsvarande utsläp pen av BOD med utgående vatten.
* Partiklar som skapas i biofiltret av den bakteriella tillväxten tas upp i partikelfiltret och därigenom behövs bara ett partikelfilter även om man vill ha klart vatten.

Nackdelar

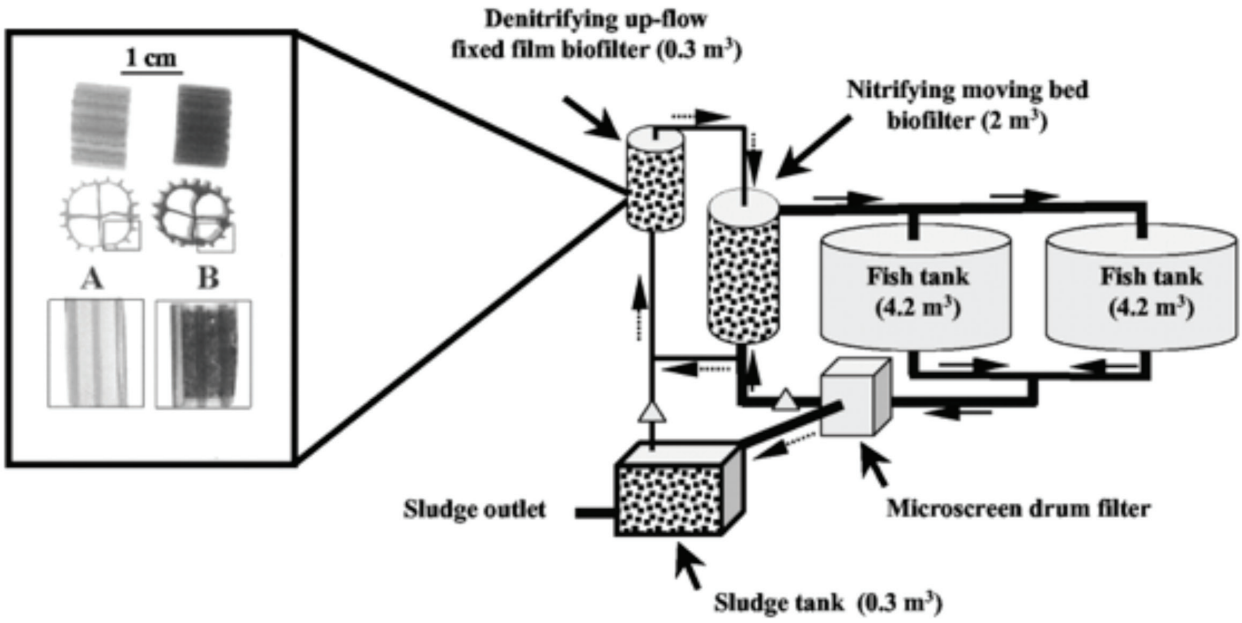
* Ingen denitrifikation, vilket sätter en nedre gräns på vattenutbytet.
* Ökat flöde genom partikelfilter, UV-behandling och avgasning, vilket ökar energikostnaderna.
* Vid avgasningen av CO2 kan eventuellt nitrifikation ske vid ganska höga ammonium-koncentrationer, vilket kan innebära en risk för förhöjda nitrithalter.

4.5.2 University of Maryland

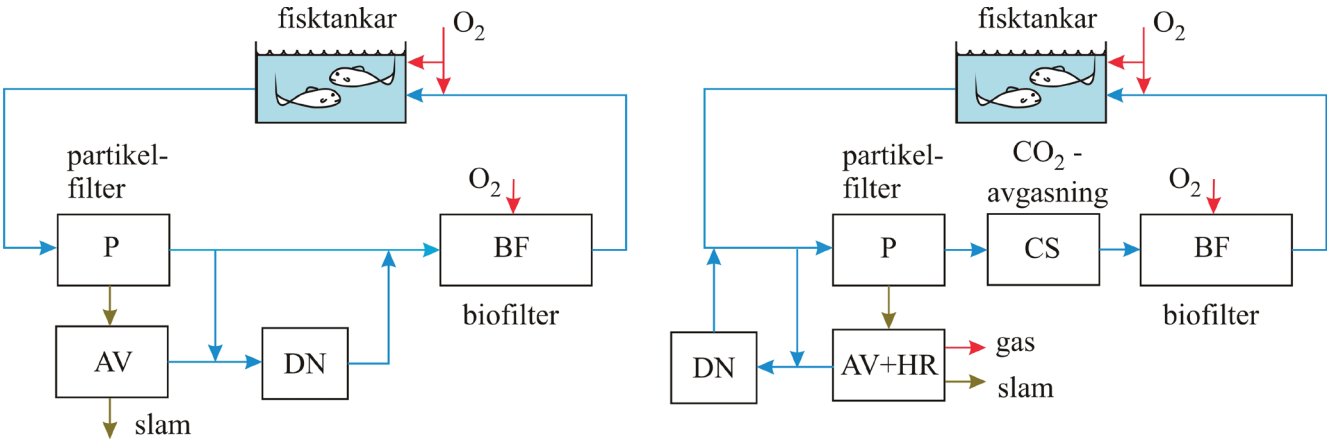
Vid Department of Marine Biotechnology, University of Maryland, USA, har man använt en experimentell uppställning för en marin RAS (e. Gilthead seabream, Sparus aurata) med hög grad av recirkulation (Tal et al., 2006). Även denna konfiguration skiljer sig från ”standard-” lösningarna i Figur 11 och Figur 13. Här placeras i stället denitrifikationen i en egen loop med ett lågt flöde, se Figur 16 och 17 (vänster).

Tanken med uppställningen var sannolikt att delvis hydrolyserat slam skulle adderas till flödet som denitrifieras för att på så sätt minska behovet av externt kol. Utan tillsats av kolväte kan det här ses som ett sätt att kunna höja recirkulationsgraden genom att delvis denitrifiera vattnet. Med ett flöde på 0.1 m^3/h genom denitrifikationssteget har de åstadkommit en sänkning över filtret från 1,5 till 0,2 gN/m3 för ammonium, 1,2 till 0,1 gN/m^3 för nitrit och 121 till 62 gN/m^3 för nitrat.

Genom att ammoniumhalterna minskar så ligger det nära till hands att anta att det sker en nitrifikation i det denitrifierande steget. Det kräver dock syre och om det finns tillgänglig kolkälla (från fisktankarna eller



Figur 16. Uppställning i University of Maryland (Tal et al., 2006).

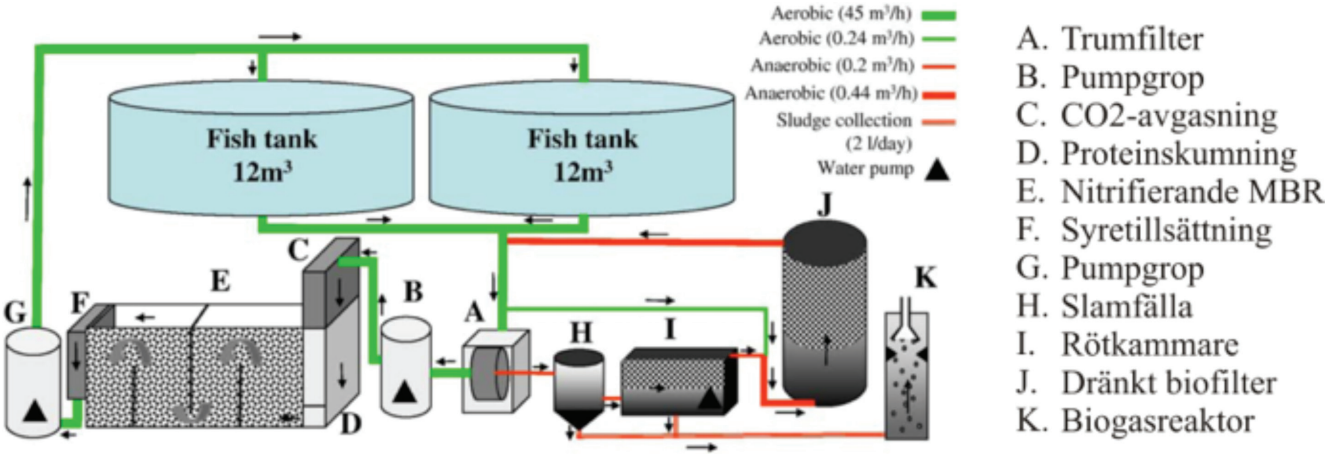


Figur 17. Till vänster, konfigurationen i Tal et al. (2006). Till höger, konfigurationen i Tal et al. (2009). DN (denitrifikation) kan här ses som en kombination av anammox och denitrifikation, även kallat denammox.

slamvattnet) så kommer syret användas till nedbrytning av organiska ämnen utan att något nitrat denitrifieras och utan att någon nitrifikation sker. Anledningen är istället Anammoxbakterier som oxiderar ammonium med hjälp av nitrit i en anaerob miljö. Implementerade anammox-processer fungerar så att ungefär hälften av ammoniumet nitrifieras till nitrit av ammoniumoxiderare och sedan omvandlar anammox-bakterier resterande ammonium och bildad nitrit till kvävgas. Genom att processen varken behöver kolkälla eller syre kan det finnas stora potentiella energibesparingar att göra. Tekniken är relativt ung och normalt verkar den biologiska processen kräva temperaturer över 20°C för att fungera stabilt, men nyligen har man i Holland påvisat aktivitet vid så låga temperaturer som 12°C (Hu et al., 2013). Enligt Murray et al. (2014) har ett EU projekt för utveckling av Anammox-teknik nyligen avslutats där anammox-bakterier har isolerats och odlats i en prototypreaktor för rening av vatten i en odling för havsaborre.

Mängden nitrat som reducerades i det här systemet (Tal et al., 2006) svarar mot vad som annars spolas ut i ett system med partiell recirkulation, vilket gör systemet intressant. Man bör dock notera att nitrithalten var hög (1.2 gN/m³), eventuellt till följd av ett högt flöde och ofullständig nitrifikation i biofiltret.

I Tal et al. (2009) presenteras vad som kan tolkas som en vidareutveckling av anläggningen i Tal et al. (2006), se Figur 4.11 (höger) och 4.12. Dels har man drivit processen ytterligare för att ta hand om slammet genom rötning för att producera biogas (metan) och sedan återför man nu vattnet till trumfiltret och inför avgasning av koldioxid innan det nitrifierande biofiltret. I den här anläggningen har de i princip slutit systemet med ett vattenutbyte (påfyllning) på mindre än en procent per dag, där ungefär hälften ersatte avdunstat vatten. Halterna av ammonium, nitrit och nitrat var i genomsnitt 0.8, 0.2 och 150 g/m^3 och fisköverlevnaden var mycket hög. I Tal et al. (2006) framgår inte vattentemperaturen, men i den senare studien var temperaturen 26°C, dvs långt över den optimala temperaturen för de flesta marina arter i Sverige (Albertsson et al., 2012). Salthalten i systemet var mellan 15 och 17 g/l. I en laborationsstudie fann Fernandez et al. (2014) att salt främjade uppbyggnaden av en biofilm med anammoxbakterier, men vid högre salthalter än 16 g/l så fann de att biofilmen skadades, vilket indikerar att havsvatten kan försvåra för processen.

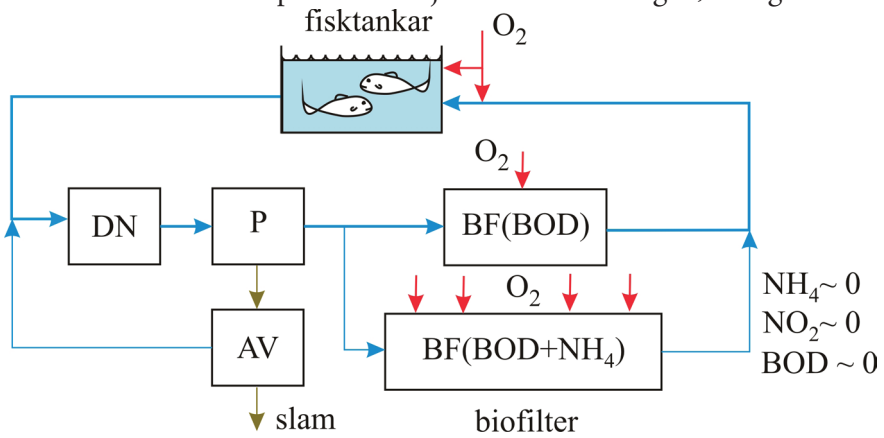


Figur 18. Marint odlingssystem med anammox och biogasproduktion (Tal et al. 2009).

4.5.3 Greenfish

I början av 2000-talet startade ett företag (Greenfish AB) för odling av varmvattenarter i ett princip fullständigt slutet system. Under några år drevs en pilotanläggning i Kungälv, där Tilapia, Pangasius och Clarias var arter som prövades. Konfigurationen var då skyddat genom patent, men är idag fri att använda för den som så önskar. Tekniken som användes byggde på multipla recirkulationsströmmar, något som då var sällsynt, och som ger fler frihetsgrader för optimerad drift än med endast ett huvudflöde. Grundtanken byggde på principerna för fördenitrifierande avloppsreningsverk, som t ex Ryaverket i Göteborg, där man i så stor utsträckning som möjligt försöker utnyttja de naturliga kolkällorna för denitrifikation genom att recirkulera det nitrifierade vattnet tillbaka till en anoxiskt process i början av vattenreningen, se Figur 19.

Till det anaeroba steget (DN), som består av minst två enheter i serie (en för syreförbrukning och en för denitrifikation), ska den organiska belastningen vara maximal för att åstadkomma god denitrifikation. Därför placeras partikelfiltret efter (DN), rejektvatten återförs från slambehandlingen och övrig nedbrytning av BOD minimeras. Den aeroba nedbrytningen



Figur 19. Illustration av den grundläggande designidén som användes av Greenfish (tekniken möjliggjorde även andra konfigurationer).

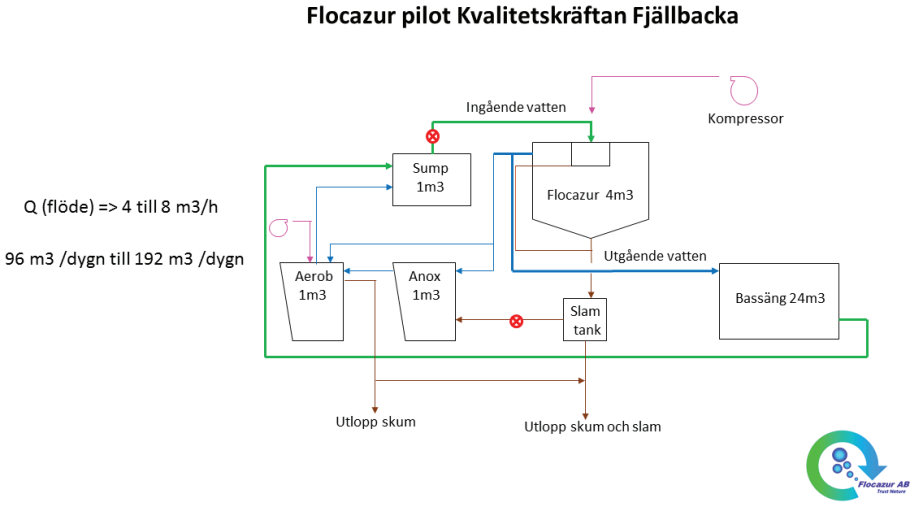
av organisk material sker genom att endast ett litet flöde går genom biofilter där BOD först reduceras till mycket låga halter för att följas av en nitrifikation som är fullständig, så att nitrithalterna också skall vara nära noll. Huvudflödet passerar genom ett kraftigt luftat ”underdimensionerat” biofilter (det övre i bilden), alternativt ett strilfilter för CO2-avgasning. Här sker då en viss nedbrytning av organiska ämnen men ingen nitrifikation.

Förutom vid mycket höga halter som kan verka inhiberande på reningsprocesser så ökar reaktionshastigheterna för denitrifikation, aerob nedbrytning av organiska ämnen och nitrifikation med ökande substratkoncentrationer. Det innebär alltså att för att få en så effektiv rening (med avseende på energiförbrukning och volym) som möjligt skall man ha så höga halter som fiskens hälsa och tillväxt tillåter. För konfigurationen i Figur 18 kan biflödet i vilken nitrifikationen sker anpassas så att ammoniumhalten ligger så högt som möjligt i fiskkaren, vilket ökar nitrifikationshastigheten och även kan minska syrebehovet.

En intressant observation från de år då anläggningen var i drift var att, förutom att vattenutbytet var minimalt, så visade det sig att ingen pH- eller alkalinitets-reglering var nödvändig. Teoretiskt så kompenserar denitrifikationen (4.10) bara hälften av den försurning som nitrifikationen (4.7) ger upphov till och därför kan man förvänta sig att man behöver höja alkaliniteten med till exempel bikarbonat. Observationen har gjorts också av andra som har drivit vattenbruk med denitrifikation i recirkuleringen.

4.5.4 Flocazur

Kvalitetskräftan HB består av tre nordbohuslänska kräftburfiskare som levandeförvarar sin fångst i ett slutet landbaserat system. Förvaringstiden är från några dagar till några veckor, och fungerar som en rekonditionering av kräftan



Figur 20a och 20b. Flocazur AB reningsteknik, installerad hos Kvalitetskräftan HB, Fjällbacka. a) skiss och b) foto över konfigurationen av reningssystemet med huvudreaktor, denitrifikations- och luftningskammare, kopplat till kräftkar visas. Skiss/Foto: Luc Antelme/Ninni Petersson http://flocazur.com/.

före försäljning. Ingen matning sker under denna period. Själva levandehanteringen och förvaringstekniken har gradvis utvecklats, vilket tog sin början i ett EFF-projekt 2005-2008 i samarbete med bl.a. Göteborgs universitet. Flocazur ABs RAS-teknik (Figur 20) installerades i december 2013 i Kvalitetskräftans lokaler i Fjällbacka och har utvärderats i ett pilotprojekt för validering av ny teknik för landbaserat vattenbruk under drygt ett år (Flocazur AB 2015). Tekniken består av en Flocazur-reaktor i vilken flera processer sker (flockning, nitrifikation, skumning), samt en anoxisk denitrifikationskammare och en aerob kammare för syresättning och skumning. Reaktorn har formen som en cirkulär tank med konformad botten. Vatten leds in i mitten genom ett rör där det möter en kraftig luftström (se figur). Det stimulerar en kompakt slambildning, och åstadkommer goda villkor för nitrifikation i reaktorn.

Det tar sex till åtta veckor för det biologiska filtret att mogna. Kräftfisket, som är ett säsongsfiske, kom igång i slutet av februari för att gradvis minska fram till slutet av juni och sedan upphöra nästan helt fram till början av augusti. Fisket ökade under senhösten igen, men den perioden landar avsevärt mindre fångster än vår och försommarfisket. Från mars 2014 t.o.m. februari 2015 passerade drygt 7.3 ton kräftor det recirkulerande systemet utan vattenutbyte.

Vattentemperaturen är beroende av kapaciteten hos den befintliga kylanläggningen för själva kräfttanken. Under en period var temperaturen några grader högre än utsatt mål om 8°C då Kvalitetskräftans ena kylanläggning var ur bruk. Vattenkvaliteten har hela tiden legat långt under de gränsvärden som projektet satt upp, trots relativt snabb ökning av biomassa i systemet under vårperioderna.

4.6 Temperatur

Temperaturen är en viktig variabel vid biologisk vattenrening. Nitrifikationen är temperaturberoende med ett optimum kring rumstemperatur. Den maximala tillväxthastigheten för ammoniumoxiderande bakterier är ungefär halverad vid 12 grader jämfört med 20 grader och sjunker till en tredjedel vid 8 grader. I praktiken innebär det här att det är mycket svårt att åstadkomma stabil nitrifikation med aktivslam när temperaturerna sjunker under 7-8 grader eftersom man då måste ha en enormt lång slamålder. För biofilmprocesser är situationen lite annorlunda då bakterierna sitter fast och nitrifikationshastigheten ($gN\text{-}NH_4/m^2d$) inte beror lika mycket på endast bakteriernas tillväxt, under förutsättning att konkurrensen från andra bakterier inte är för stor. Hastigheten beror också starkt på diffusionen in i filmen. Något förenklat gäller att koncentrationen av substrat, dvs syre och ammonium, sjunker med ökande djup i filmen tills en av dom är förbrukad. Innanför det djupet sker alltså i princip ingen tillväxt. För höga halter ammonium i vattnet är det syrehalten som är hastighetsbegränsande till följd av nitrifikationens stökiometri och diffusionsegenskaperna för ammonium och syre. Eftersom syrets mättnadskoncentration (4.2) ökar med sjunkande koncentration så uppväger det delvis den lägre tillväxthastigheten vid låga temperaturer. Vid låga ammoniumkoncentrationer är dock ammoniumhalten begränsande, vilket minskar den här kompensationseffekten.

Diffusionens dämpande effekt på temperaturberoendet i nitrifierande biofilter har verifierats experimentellt (Zhu and Chen, 2002). I studien är temperaturberoendet vid syrebegränsning relativt liten mellan 14 och 27 grader. Vid 8 grader har dock en signifikant minskning skett. Vid syrebegränsning är nitrifikationshastigheten ändå ca 75% av den vid 20 grader, men vid låga ammoniumhalter (0.3-1.0 g N/m^3) har nitrifikationshastigheten sjunkit till ungefär en fjärdedel (ca 0.1-0.2 g N/m^2d) vid 8 grader jämfört med 20 grader.

I reningsverk i södra Sverige ligger temperaturen mellan knappt 10 grader på vintern och ca 20 grader på sommaren. På Ryaverket i Göteborg, som använder biobäddar för nitrifikationen, ser man en tydlig variation över året. En minsta kvadratanpassning till uppmätt nitrifikationskapacitet (icke begränsande ammoniumhalt) de senaste 9 åren indikerar en minskning på bara 23% mellan 20°C och 8°C, vilket stämmer väl med studien av Zhu och Chen (2002).

Det finns ytterligare en effekt till följd av diffusionen, men som bara delvis kommer med i studien av Zhu och Chen (2002) för att filmen inte tilläts bli fullständigt stationär. I studien väntade man 3 veckor på varje temperaturnivå, men vid låga temperaturer och koncentrationer kan det ta i storleksordningen ett halvår innan jämvikt har uppnåtts. När tillväxthastigheten sjunker så ökar penetrationsdjupet, så om biofilmen tillåts bli tillräckligt tjock kommer nitrifierarna långsamt kunna tillväxa djupare in i filmen än vid hög temperatur, vilket då borde bidra till att dämpa effekten av nitrifierarnas temperaturberoende. För att avgöra om så verkligen är fallet krävs mycket långvarig drift vid konstant låg temperatur, vilket skulle vara fallet vid t ex odling av havskatt, som fungerar bäst vid låga temperaturer.

Denitrifikationen förefaller vara mindre känslig för temperatur än nitrifikationen, och vid temperaturer ända ned till 5 grader har hastigheter på över 1gN-NO3/m2d rapporterats för MBBR (Rusten et al. 2006). Vi kan också notera från samma artikel att nitrifikation med MBBR i vatten från en marin fiskodling (drygt 2% salthalt) fungerar väl, om än med något lägre hastighet än i sötvatten.

4.7 Energi

De processer som vanligtvis förbrukar mest (elektrisk) energi i en RAS-anläggning behandlas i det här avsnittet. Notera att här görs ingen genomgående utredning av vad som är energimässigt mest effektivt utan syftet är att visa på hur man kan uppskatta energiåtgången.

Kylning/uppvärmning av vatten. Den energi som behövs för att kyla eller värma är i princip proportionell mot antalet grader som temperaturen ska förändras. Om flödet som skall värmas är q (m3/s) och temperaturdifferensen är ΔT (oC) så är effekten (kylning eller värmning) som krävs

4.16 $$E = q\rho c_p \Delta T \qquad [W]$$

där $\rho \approx 1000$ kg/m^3 är vattnets densitet och $c_p \approx 4200$ J/(kg°C) är vattnets specifika värmekapacitet.

För att minska behovet att värma eller kyla inkommande vatten till anläggningen kan man använda sig av värmeväxlare. Teoretiskt man man med en korsflödes-växlare i princip åstadkomma fullständig återvinning om flödena är lika stora och värmeväxlarens yta är mycket stor. I praktiken är det inte genomförbart då begränsad storlek gör att den interna specifika ytan måste vara extremt stor och därigenom blir flödesmotståndet också alltför högt. Designen blir därför alltid en avvägning mellan investerings- och pumpkostnad å ena sidan och uppnåelig temperatur å andra sidan.

Olika delprocesser i anläggningen påverkar också värme och kylbehovet, så som pumpar, luftning, avdunstning och värmeutbyte med omgivande luft.

Pumpning av sjövatten. Under 70, 80 och 90-talet togs många initiativ till landbaserad odling internationellt (Braaten et al., 2010). Ett avgörande problem med landbaserad odling som man då fann var att energikostnaderna blev väldigt höga. Huvudorsaken till det var dock pumpkostnader för att pumpa vatten till anläggningarna, som var mer eller mindre av genomströmningstyp (Iversen et al., 2013). Men för en RAS-anläggning blir dessa pumpkostnader oerhört mycket lägre då recirkulationsflödet normalt är över 90% och nära 100% av flödet genom odlingstankarna för system med litet vattenutbyte (Heldbo et al., 2013).

Observera här att 10% vattenutbyte inte svarar mot 90% recirkulationsgrad. Anta t ex att en anläggning har ett flöde på 1200 m^3/h genom odlingstankarna och en volym på 1000 m^3. Ett vattenutbyte på 10% innebär då 100 m^3/d vilket ger en recirkulationsgrad på 1200*24/(1200*24+100)=99,65%.

Sjövattenbehovet för en RAS med hög recirkulationsgrad är alltså litet och motsvarande effektbehov kan enkelt beräknas. Om pumphöjden, dvs den nivåökning som nytt vatten måste lyftas är h (m) så krävs en effekt

4.17 $$E = \eta q \rho g h \qquad [\mathrm{W}]$$

där g=9.8 och η är pumpens verkningsgrad. Vid pumpning av havsvatten skall h räknas från havsytan även om intaget ligger på stort djup. Om vattnet skall ledas en lång sträcka (L) kan man dock behöva ta hänsyn till friktionsförlusterna som ger upphov till en tryckförlust

4.18 $$\Delta p \approx f \rho w^2 \frac{L}{d} = \frac{4 f \rho}{\pi^2} \cdot \frac{q^2 L}{d^5} \qquad [\mathrm{N/m^2}]$$

där f är friktionskoefficienten, d är rördiametern och w är flödeshastigheten (Ekroth och Graneryd, 1990). Tryckförlusten svarar mot en pumphöjd

4.19 $$h_f = \Delta p / \rho g$$

som skall läggas till h i ekvation (4.17). Notera från (4.18) att tryckförlusterna avtar mycket kraftigt med ökande rördiameter.

Syresättning i fisktankarna. Syresättningen till fisktankarna sker vanligast genom bubbling av komprimerad luft och/eller inlösning av syre med hjälp av t ex en syrekon. Effektiviteten med sådan inlösning varierar beroende på utrustning men i samtliga fall bör den vara mer energikrävande än bubbling med avseende på överförd syre då tekniken annars skulle användas på alla reningsverk. Luftning i fisktankarna sker i princip på samma sätt som i vattenreningen, som behandlas nedan.

Luftning i vattenreningen. Luftningen i vattnet sker genom att luft komprimeras i t ex en kompressor och sedan leds till diffusorer som designats för att fördela luften som mycket små bubblor och på så sätt åstadkomma en stor kontaktyta mellan luft och vatten. Effekten som åtgår beror på flera faktorer; friktionsförluster i diffusorerna, verkningsgraden hos kompressorn och vattendjupet (avgör mottrycket). Från leverantörerna av utrustningen skall man kunna begära datablad som möjliggör en beräkning av nödvändig effekt. Det kan också vara bra att känna till att kLa i ekvation (4.5), som avgör hur effektiv överföringen av syre från bubblorna till vattnet, inte är linjär med avseende på luftflödet. Ett uttryck som används för att beskriva beroendet är

4.20 $$k_L a = k_1 (1 - e^{-k_2 q_{O2}})$$

där q_{O2} är luftflödet (se Hedegärd and Wik, 2011). Uttrycket beskriver en mättnad på så sätt att ju högre flödet är dessto mindre lönar det sig att öka luftflödet.

Pumpning av recirkulationsvatten. Genom att recirkulationsflödena i en RAS är mycket större än in- och utflöde är det viktigt att undvika onödiga energiförluster. När det gäller design av en anläggning så finns det många olika sätt att hantera vattennivåer och alternativa vattenvägar, och driftsäkerheten är i många fall avgörande.

Ur ett energiperspektiv kan man välja att betrakta varje delprocess och vattenflöde för sig och för dessa utgå från flöde *qi* och nödvändig höjdskillnad Δhi (head loss) mellan inlopp och utlopp. Den nödvändiga höjdskillnaden kan antingen kan vara orsakad av flödesfriktion, som t ex för olika typer av filter och rör, eller av att höjdskillnaden är nödvändig av andra skäl, som fallet är för t ex biobäddar och strilfilter. Om vi har

totalt n processer och delflöden kan den teoretiskt lägsta energiförbrukningen bestämmas genom att helt enkelt summerera (4.17) över samtliga delsteg, dvs

4.21 $$E_h = \rho g \sum_{i=1}^{n} q_i \Delta h_i$$

I praktiken kan man inte komma ned till den här nivån. Vissa flöden bestäms av ventiler som stryper flöden och därmed orsakar energiförluster och pumpar har naturligtvis lägre än 100% verkningsgrad. Vattnets kinetiska energi när det pumpats till en ny nivå är inte alltid försumbar och utgör i regel också en energiförlust. Av säkerhetsskäl inför man också fallhöjder och pumpgropar som också kan innebära energiförluster.

Övrigt. Det finns ett flertal andra energikonsumerande processer och aktiviteter som kan vara bra att ha i åtanke då man uppskattar energikostnaderna, som t ex UV-behandling (el konsumerad i lamporna) och ozonbehandling (ozongenerering), se t ex (Summerfelt, 2003). Oxidationsprocesser, som tex Wallenius AOT kräver nära kontakt mellan vatten, UV-ljus och katalysator vilket kräver en flödesstrypning med tryckförluster. Även ventilationen av lokalerna kan behöva vara kraftig för att hantera hög luftfuktighet och koldioxid.

När man räknat ut, eller snarare skattat, energiåtgången kan man naturligtvis räkna fram kostnaderna för denna. Som framgått beror resultatet på många olika faktorer. I litteraturen finns verkliga kostnader för storskalig odling av lax i RAS rapporterade. Iversen et al. (2013) fann att kostnaderna för elförbrukningen var 1.68 NOK/kg och Rosten et al. (2013) rapporterar att elförbrukningen stod för 8% av driftskostnaderna.

4.8 Sammanfattning

RAS har potentiellt mycket stora fördelar framför odling i öppna system och i synnerhet om dom är landbaserade och har en hög recirkulationsgrad. Installationskostnaderna är generellt högre, men i gengäld kan man odla vid optimal temperatur, minska foderspillet, minska riskerna för sjukdom och parasitangrepp både i odlingen och i recipient, eliminera risken för genetisk kontamination och undvika övergödning i närområdet.

En förutsättning för en lyckad RAS är en väl fungerande vattenrening. Eftersom vattenreningen står för en mycket stor del av anläggningen finns det goda skäl att utforma reningen på ett sådant sätt att installationskostnaderna blir så låga som möjligt, samtidigt som driftskostnaderna skall minimeras både med avseende på energiförbrukning och resursförbrukning. En genomgång av litteraturen och information på nätet har gett att det används och har föreslagits ett ganska stort antal olika konfigurationer av vattenreningssystem för RAS. I kapitlet har ett urval presenterats och de kan delas in i två kategorier; de som har denitrifikation i det recirkulerade flödet och de som inte har det. Saknas denitrifikationen i recirkulationsflödet (kan dock finnas i utflödet) så sätter normalt nitrathalten en nedre gräns för hur litet det dagliga vattenutbytet kan vara, typiskt 10-20% av vattenvolymen.

Om låga utsläpp av nitrat är en nödvändighet krävs denitrifikation, antingen i recirkulationsflödet eller i utflödet, med en medföljande komplikation. Det föregående steget i kvävereningen, dvs nitrifikationen, kräver låga halter lätt nedbrytbara kolväten medan denitrifikationen kräver tillgång på sådana. Tre olika källor för att försörja denitrifikationen är att (i) tillsätta externa kolväten, (ii) att utnyttja hydrolysering av slam och att (iii) använda de lätt nedbrytbara organiska föreningarna i fekalierna. Den sist nämnda kräver att denitrifikationen sker i recirkulationsflödet. Kol/kväve kvoten i fodret tillsammans med fiskens respiration och tillväxt avgör ytterst den teoretiska gränsen för hur mycket nitrat som kan denitrifieras utan tillsats av externa kolväten. En intressant utveckling som minskar kolväte- och även luftningsbehovet är att

använda en kombination av anammox och denitrifikation, men i dagsläget är det inte klarlagt om det är en realistisk process vid temperaturer under 20°C.

Alla de biologiska vattenreningsprocesserna är temperaturberoende. I synnerhet gäller det nitrifikationsbakteriernas tillväxt som minskar ganska kraftigt när temperaturen sjunker under ca 15°C. Till viss del motverkas detta av att syrets mättnadskoncentration ökar med sjunkande temperatur. Vid rening under 10°C bör man använda biofilmprocesser eftersom filmen fixerar och hindrar de svagväxande nitrifierarna från att sköljas ut ur systemet. Exempel från litteraturen indikerar att marin nitrifikation i biofilter bör vara möjligt ner till åtminstone 8oC, fast nitrifikationshastigheten som rapporterats då är bara 25% av hastigheten vid 20oC. För arter som växer bäst vid mycket låga temperaturer kan den mest ekonomiska temperaturen vara en avvägning mellan fisktillväxt och effektiv vattenrening.

Vilken RAS-konfiguration som generellt är den bästa är i dagsläget inte fastställt. Sannolikt beror den på fiskart, foder, odlingsstorlek, temperatur och lokala faktorer som vattentillgång, utsläppskrav och tillgång till byggnader och värme.

5. Kommersiell matfiskproduktion - historia och förutsättningar

5.1. Hälleflundra

Forskning rörande hälleflundraodling började i Norge på 1970-talet, men det var inte förrän på 1990-talet som den biologiska och tekniska kompetensen hade nått så långt att kommersiella odlingar började etableras. Först i Norge men sedan i Skottland, Kanada och på Island, där stora framsteg med intensiv hälleflundraodling gjordes. I slutet av 1990-talet och början av 2000-talet var tilltron till hälleflundra som lovande odlingsart stor. Under 2001 producerade 14 olika odlingsanläggningar i Norge 450 000 juveniler om 1-5 gram. Den största kläckningsanläggningen på Island (Fiskey) producerade år 1999 samma mängd. Ett år då även Skottland producerade 200 000 och Kanada 48 000 juveniler. Det var just produktionen av juveniler som hade varit en av de största odlings-biologiska och -tekniska utmaningarna. Efter denna ”storhetstid” har dock odling av hälleflundra begränsats allt mer, till endast några få producenter. För närvarande, globalt sett, finns det bara fem kommersiella hälleflundraodlingar, en i Kanada, en i Skottland och tre i Norge. På Island bedrivs för närvarande ingen odling efter det att Fiskey Ltd gick i konkurs 2011. De odlingsbiologiska förutsättningarna för hälleflundra har nyligen summerats (Albertsson et al 2012) och diskuteras här endast i generella termer i samband med de tekniska lösningar som krävs för odlingen.

För etablering av hälleflundraodlingar liksom andra fiskodlingar behövs tillgång till vatten av rätt temperatur och salinitet. Hälleflundra är en kallvattensart, där lekmognad, lek och kläckning sker med fördel vid ca 6 °C (Moksness et al. 2004). Yngelproducenter som håller stamfisk behöver därför naturlig tillgång till relativt kallt havsvatten då mekanisk vattenkylning i stamfiskanläggning och kläckeri medför stora merkostnader. Från startfodring kan ynglen anpassas till ca 12 °C. Optimaltemperatur för tillväxt minskar sedan något med storlek, från ca 14 °C för 10-60 g fisk, 11,4 °C för 100-500 g fisk och 9,7° C för 3-5 kg fisk (slaktstorlek) (Bjornsson and Tryggvadottir 1996). De hälleflundraodlare som endast driver matfiskproduktion genom att köpa yngel behöver därmed inte ha tillgång till lika kallt vatten.

För yngelproducenter är det viktigt att ha tillgång till havsvatten med hög salinitet (31-34 ppt), då hög salinitet påverkar äggens och gulesäcklarvernas flytförmåga positivt och används både vid befruktning och i ägginkubatorerna. För matfiskproducenter är det däremot fördelaktigt att använda vatten med något lägre salthalt (15-25 ppt eftersom det ger både bättre tillväxt och foderkonvertering än 33 ppt saltvatten) (Imsland et al. 2008).

5.2 Torsk

Torsk är en matfiskart som konsumenter i flera länder känner väl till och föredrar framför andra. Eftersom den historiskt sätt har haft stor betydelse för kustnationer generellt och har stort socioekonomiskt värde samt är en viktig predator i ekosystemet är torsk en art som vi är måna om att förvalta väl. Odling av torsk är en del av lösningen till att fortfarande kunna servera torsk på matbordet då bestånden i flera av våra närområden men även de stora bestånden i Kanada minskat eller varierar storleksmässigt. Under tidigt/mitten av 2000-talet satsade Norge medel på forskning och utveckling av torskodling. Man ville dra nytta av den kunskap som genererats i och med landets stora framgångar med laxodlingen och försöka överföra den kunskapen på torskodling. En historisk genomgång av norska satsningar på torskodling ges i Svåsand et al. (2004). Oväntade problem med torsken, och då inte minst stor dödlighet av larver och deformationer av juveniler orsakade av dålig kvalitet på ägg, larver och yngel uppstod. I tillägg uppnåddes en alltför tidig könsmognad av de vuxna fiskarna, innan slaktvikt om 2 kg hade uppnåtts, ett fenomen som inte är ett problem vid laxodling. Genom satsning på forskning har dessa problem till stora delar lösts, men p.g.a. av låga marknadspriser, orsakade av stor landning av vildfisk tack vare livskraftiga bestånd i Barents hav, tog den kommersiella satsningen på torsk abrupt slut kring de första åren på 2010-talet. Av de 30-35 tillväxt-

producenter som fanns år 2007-2008 var endast 3-4 kvar år 2011. Fortsatt forskning bedrivs i Norge och nyligen avslutades projekt CODE (Cod Development). Detta projekt har påvisat brister i näringsämnen i de födokällor som används för intensiv larvodling, vilket kan få påverkan på tillväxt/överlevnad direkt eller i efterföljande stadier. Nyligen har även både Irländska (EIRCOD) och Spanska FOU-projekt satsat på torskodling. Potentialen ur ett biologisk, tekniskt, ekonomisk och miljömässigt perspektiv för torskodling i Sverige har sammanställts av Bailey et al. (Bailey et al. 2005). Tillväxtpotentialen för sydostkusten och västkusten bedömdes vara god dock med något sämre tillväxt på västkusten p.g.a. för varma somrar. Alternativa odlingssystem som slutna havsbaserade kassar, och landbaserade system med reningsfunktion även för lösta näringsämnen, diskuteras framför allt i samband med minskade näringsutsläpp med dessa tekniker.

5.3 Piggvar

De första kända försöken till artificiell befruktning och odling av piggvar gjordes redan på slutet av 1800-talet. Dessa försök ledde till fortsatt verksamhet för etablering av piggvarsodling i början på 1900-talet och Anthony föreslog redan år 1910 att man hade all kunskap tillgänglig för att kunna starta kommersiell odling av denna art (för review Imsland 2010) (Figur 21). Dock dröjde det ända till 1970-talet innan en kommersiell verksamhet kunde rapporteras. Odling av piggvar initierades i Storbritannien and Frankrike på 1980-talet men blev sedan mer koncentrerad till Spanien p.g.a. landets varma, gynnsamma vattentemperaturer.

I van der Meeren och Naas (1997) återges kunskapsläget av larvfasen, och genomgång av teknik som används och kritiska steg beskrivs även i Shields (2001). Under 1970-talet började man med intensiv odling baserad på tillförsel av födoorganismer såsom hjuldjur och Artemia. Felpigmentering och stor variation i tillväxt och dödlighet resulterade i att man utvecklade en teknik för, och sedermera övergick till massproduktion av copepoder vilket är piggvarslarvers naturliga föda i stora tankar.

I Norge testades en semiintensiv havsbaserad odlingsteknik i tättslutna mindre plastkassar om 50-200 m3 (6-8 m diameter, 4-6 m djup med konisk botten). Materialet som användes var svart PVC eller vävd polyetylen (PE) (summerat i van der Meeren and Naas 1997). Kassarna fylldes med 80 µm-filtrerat havsvatten och copepodnaupliier med täthet på 100-500 per liter, och piggvarslarver i täthet på 1-3 per liter. Vattenutbytet låg första två veckorna på 1-2 %, för att sedan gradvis öka till 10-100% per dag. Syrehalten hölls mellan 8-12 mg/l. Djurplankton koncentrerades från omgivande vatten med en filterenhet bestående av pump med kapacitet om 1-5 m3/min, och en tank med två roterande filterhjul. Födoberäkningar visar att en sådan filterenhet med vatten innehållande 20-50 copepoditer/l kan samla in tillräckligt med föda för att försörja 40 000-100 000 larvyngel om 2-3 mg vikt. År 1989 var det 10 stycken kommersiella företag i Norge som satsade på denna teknik, och produktionen var år 1990 280000 yngel. Utbrott av sjukdomar (IPV, VER) samt marknadsproblem stoppade dock utvecklingen.

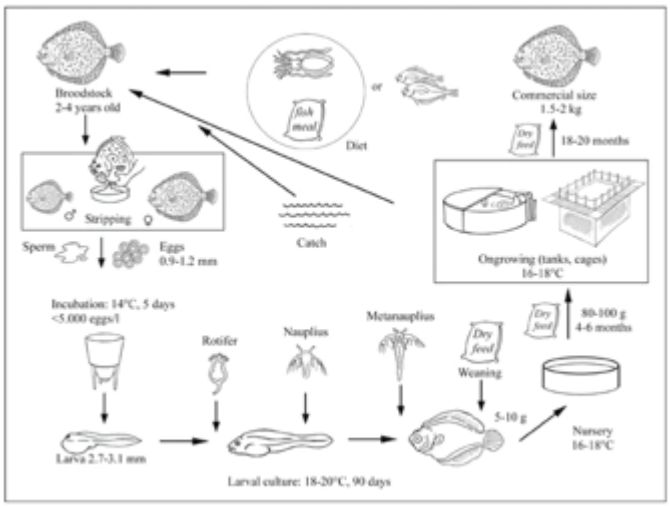
I Spanien bedrivs kommersiell storskalig semi-intensiv larvproduktion i tankar sedan 1988 (Riaza and Hall 1993). Sterilt UV-behandlat och filtrerat havsvatten pumpas in i 40 m3 tankar, alger tillförs som får växa till sig under 2 dagar och sedan tillförs hjuldjur som ökar i mängd under fem dagar till 1000/l. Efter sju dagar tillsätts så 60 000 piggvarslarver (1,5/l) som får livnära sig på hjuldjuren under 15 dagar (extensiv odling). Under tiden hålls kontroll på alg- och hjuldjursmängd samt andra parametrar: temperatur 16-21 °C, syre 100-120 %, (bubbling om övermättat), ammonium (ökar flöde om över noll) och pH 8,2. I tankarna finns värmeelement som används främst under vintermånaderna. Från dag 15 till dag 25 tillsätts Artemia som extra föda (semi-intensiv odling). Överlevnaden (20-25 % till dag 25, år 1991-1992) är mer stabil än för intensiv piggvarodling och dessutom är en hög andel på 90 % av ynglen normalt pigmenterade. Variationen i överlevnad i de stora utomhustankarna har reducerats på grund av en bättre förståelse av algdynamiken under olika ljus- och temperaturförhållanden under hela året. Denna process startas varje månad för att kunna levererar 2 gram yngel till tillväxtproduktionen 12 ggr per år. Användningen av ” grönt vat-

ten teknik ” tillsammans med antibiotika har haft en positiv effekt på piggvarlarvens överlevnad.

Spanien har den största Europeiska tillväxtproducenten med ca 7000 ton producerad piggvar/år (Stolt Sea farm och dotterbolaget ProdemarTM Turbot). I Norge finns en mindre anläggning om ca 250 ton som ägs av Stolt Sea farm, som använder yngel från med yngelproduktion i Spanien. Kina är idag största odlingsnationen med omkring 60 000 ton/år, vilket är drygt 10 gånger större produktion än den volym som globalt vildfångas per år. France Turbot har länge varit en stor yngelproducent. En nordisk aktör för piggvarsodling är Maximus A/S vid Limfjorden i Danmark som varit verksam i över 20 år, men som år 2014-2015 bygger om och satsar på ett inomhus RAS-system för andra odlingsarter.

I två EU-projekt, TURPRO och MAXIMUS, har man studerat olika aspekter av piggvarsodling. Inom TURPRO (FP6, 508070) gjordes experiment för att studera olika temperaturregimer under uppväxten på tillväxt och foderkonversion, samt ljusperiodens påverkan på könsmognad. Målet var att minimera produktionstiden och att finna en optimal temperatur och ljusperiod för att få bäst utnyttjande av resurser som vatten, areal, arbetskraft och logistik. Även vattenkvalitet såsom ammonium-och syrehaltens påverkan på tillväxt och stress, samt genomflödessystem vs. RAS har utvärderats. Huvudsakliga slutsatser från projektet var en uppskattning att en ökad tillväxt på 20-30 % kan åstadkommas genom justeringar i odlingsprotokoll och att en minskad foderanvändning på 10-15 % kan erhållas. MAXIMUS-projektet (FP7, 286200) är en fortsättning på TURPRO, där de flesta partners från TURPO är med och med samma fokus som det tidigare projektet, men i MAXIMUS studeras frågorna i full kommersiell skala. En sammanfattning över tekniska odlingsdata finns har tagits fram inom projektet MAXIMUS (http://maximusproject.com/no/).

Miljömässiga faktorer som ger optimal tillväxt hos piggvar är relativt väl kända (Person-Le Ruyet 2002) t.ex. bör ammoniumhalten (TA) vara <2-3 mg/l TA; 30 dagars-LC50 (koncentrationen där 50 % av fiskarna dör efter 30 dagar) är 20 mg/l; 96 timmars-LC50 (koncentrationen där 50 % av fiskarna dör efter 96 timmar dagar) är 40 mg/l (Person-Le Ruyet 2002).
Nitrathalten bör hållas så lågt som möjligt då halter som 125 mg/L NO3–N ger sämre tillväxt (van Bussel et al. 2012). Flytande eller sakta sjunkande pellets har utvecklats för piggvar. Fördelen med det flytande fodret är att det blir lättare att observera när utfodring är tillräcklig, d.v.s. när fiskarna för tillfället inte äter mer och matningen bör stoppas. Övermatning kan annars leda till försämrad vattenkvalitet. Speciellt vid högre tätheter av fisk är det en ökad risk för att icke intagen föda av sjunkande pellets inte kan observeras.



Figur 21. Schematisk produktionscykel för piggvar, skiss från Imsland (2010).

5.4 Tunga

På 1960-70 talen bedrevs inledande odling på tunga, och man fann då att larverna var relativt lätta att odla men man fick problem med juvenilstadiet och torrfoder. Tunga som odlingsart övergavs då. Ett nytt intresse för tunga som odlingsart rapporteras sedan 1997 (Howell 1997), och odlingspotentialen lyfts åter av Imsland et al. (2004). Dessa två artiklar är en bra ingång för att förstå tungans styrkor och svagheter som matfiskodlingsart. Larvfasen av denna art tillhör en av lättare av potentiella marina odlingsarter då larverna direkt kan tillgodogöra sig Artemia naplier utan berikning. En av flaskhalsarna när det gäller odling av tunga är alltså fodring med pelleterat foder under den juvenila fasen. Juvenilerna tillgodogör sig torrfoder

baserat på fiskmjöl dåligt, och iblandning av evertebrater eller andra attraktanter är nödvändig.

Tidigare fanns kommersiell odling i Holland men efter konkurs av företaget Solea BV driver nu det Holländska forskningsinstitutet IMARES verksamheten. Numera är kommersiell odlingsverksamhet koncentrerad till Sydeuropa (Spanien, Portugal, Italien), där Spanien redan ett år efter sin start 2009 stod för 83 % av den totala odlingsproduktionen i Europa (www.prodemar.com). Prodemar bedriver numera även tungaodling på Island.

Stamfiskanläggningar bör kunna reglera vattnet till 8-12°C, kläckerier bör hålla ägg på omkring 10-16° med en salthalt om 20-35 ppt men för efterföljande stadier speciellt det juvenila stadiet bör temperaturen för optimal tillväxt ligga på 20-25°C. Troligen är det liksom för t.ex. piggvaren att en något lägre salthalt (förslagsvis från 12 till 25 ppt) i jämförelse med full marin salthalt ger bättre tillväxt. Blodet i marina fiskarter kan jämföras med en salthalt om 12-15 ppt och det finns hypoteser och experimentellt stöd för att den basala metabolismen för fisken då minskar och foder användas till tillväxt istället (Árnason et al. 2013).

5.5 Vanlig och fläckig havskatt

De första odlingsförsöken i Norge av havskatt gjordes under 1980-talet, först i regi av Havsforskningsinstitutet men strax efter även i Tromsö. Det visades sig snart att den fläckiga stenbiten växte bättre varför fokus kom att bli på denna art.

Foldern ”Oppdrett av flekksteinbit” (Olsen and Sparboe 2003) ger en bra första inblick i den fläckiga havskattens biologi och lämplig teknik för stamfisk, yngelproduktion och tillväxt. Rapporten lämpar sig för entreprenörer som vill utvärdera denna art för odling och förstå fördelar och flaskhalsar i produktionen, utan att vara för detaljerad. Även marknad och ekonomi behandlas. Kapitlet om ”Flekksteinbit i oppdrett” (Andreassen et al. 2005) ger även den en bra och än mer detaljerad sammanfattning om erfarenheterna i Norge. Dessa två rapporter är skrivna på norska men det finns även vetenskaplig engelsk litteratur som lyfter fram den fläckiga havskatten som ny odlingskandidat (Falk-Petersen et al. 1999) och går igenom litteratur (Foss et al. 2004).

Till exempel för de större storleksklasserna av havskatt ligger temperaturoptimum ligger kring 4-8 °C vilket innebär att tillväxtfasen i våra svenska vatten mest lämpar sig för landbaserade system med stora konstruktions- och driftskostnader där man måste hushålla med vattenförbrukning eller pumpa upp djupvatten från större djup med stabil låg temperatur. Ett semislutet system med upp-pumpning av djupvatten från stort djup med stabilt kallt vatten såsom Kosterfjorden (250 m djup) kan möjligen vara ett alternativ.

6. Tekniska lösningar för hälleflundra, torsk, piggvar, tunga och havskatt

Detta kapitel inriktar sig på att beskriva teknik- och utrustningsbehovet för de fem marina fiskarter som identifierades av Albertsson et al. (2012) som biologiskt intressanta arter för fiskodling på den svenska västkusten (Tabell 4), medan hummerodling beskrivs i Kapitel 7. Teknik som används i kommersiella men även forskningsmässiga anläggningar under olika faser i fiskens livscykel - från hantering av stamfiskarna, ägginkubering, larvfas, juvenil fas och efterföljande tillväxtfas till matfisk - beskrivs. Skillnader i teknik för odling av de olika marina arterna belyses. För de första livsstadierna är den principiellt viktigaste skillnaden mellan arterna om äggen och första larvstadierna är fritt svävande i vattenmassan (pelagiska) som för hälleflundra, torsk, piggvar och tunga, eller om de befinner sig vid botten (bentiska) som för havskatt. Dessa två strategier kräver helt olika tekniska lösningar för ägginkubatorer och startfodringstankar. Tekniska lösningar under de senare livsstadierna skiljer sig mest beroende på vilka biologiska livsbetingelser som arten föredrar, och potentiell teknik påverkas av lokalitet (region).

Anläggningar som hanterar de olika livsstadierna brukar benämnas: 1) Stamfisk- eller avelsanläggning, som håller stamfisk och/eller bedriver odlingsselektion 2) Kläckerier, ofta i nära anknytning till stamfiskanläggningar, där befruktning, ägginkubation och efterföljande larvutvecklingsperiod med gulesäcksperiod och startfodring sker, 3) Sättfiskproduktion där yngel odlas upp till senare juvenila stadier, och 4) Matproduktion, där sättfiskjuveniler odlas upp till slaktstorlek. Varje livsstadie har sina specifika förutsättningar, som kräver speciella tekniska odlingslösningar. Förutom att fisken växer genom sin livscykel och därmed kräver olika stora odlingsvolymer har de olika livsstadierna även olika behov vad gäller näring och yttre faktorer som ljus och temperatur, samt interaktion med andra individer vilket påverkar optimal odlingstäthet. Ägginkubations- och larvfasen, för alla arterna, bedrivs i landbaserade system med genomströmmande vatten eller med RAS-teknik, vilket ofta även gäller för sättfiskperioden. Tekniken under tillväxtstadiet varierar mer, från havsbaserade anläggningar i öppna system (med möjlighet att ersättas med slutna/halvslutna havsbaserade anläggningar) till landbaserade anläggningar med recirkulerande vatten och temperaturstyrning.

Tabell 4. Arter och benämning på svenska, latin, engelska och norska.

Svenska	**Latin**	**Engelska**	**Norska**
Hälleflundra	*Hippoglossus hippoglossus*	Atlantic halibut	Kveite
Tunga, sjötunga, äkta tunga	*Solea solea*	Dover sole	Tunge
Piggvar	*Scophthalmus maximus*	Turbot	Piggvar
Vanlig havskatt	*Anarhichas lupus*	Atlantic wolffish	Steinbit
Fläckig havskatt	*Anarhichas minor*	Spotted wolffish	Flekkig steinbit
Torsk	*Gadus morhua*	Atlantic cod	Torsk
Hummer	*Homarus gamarus*	European lobster	Hummer

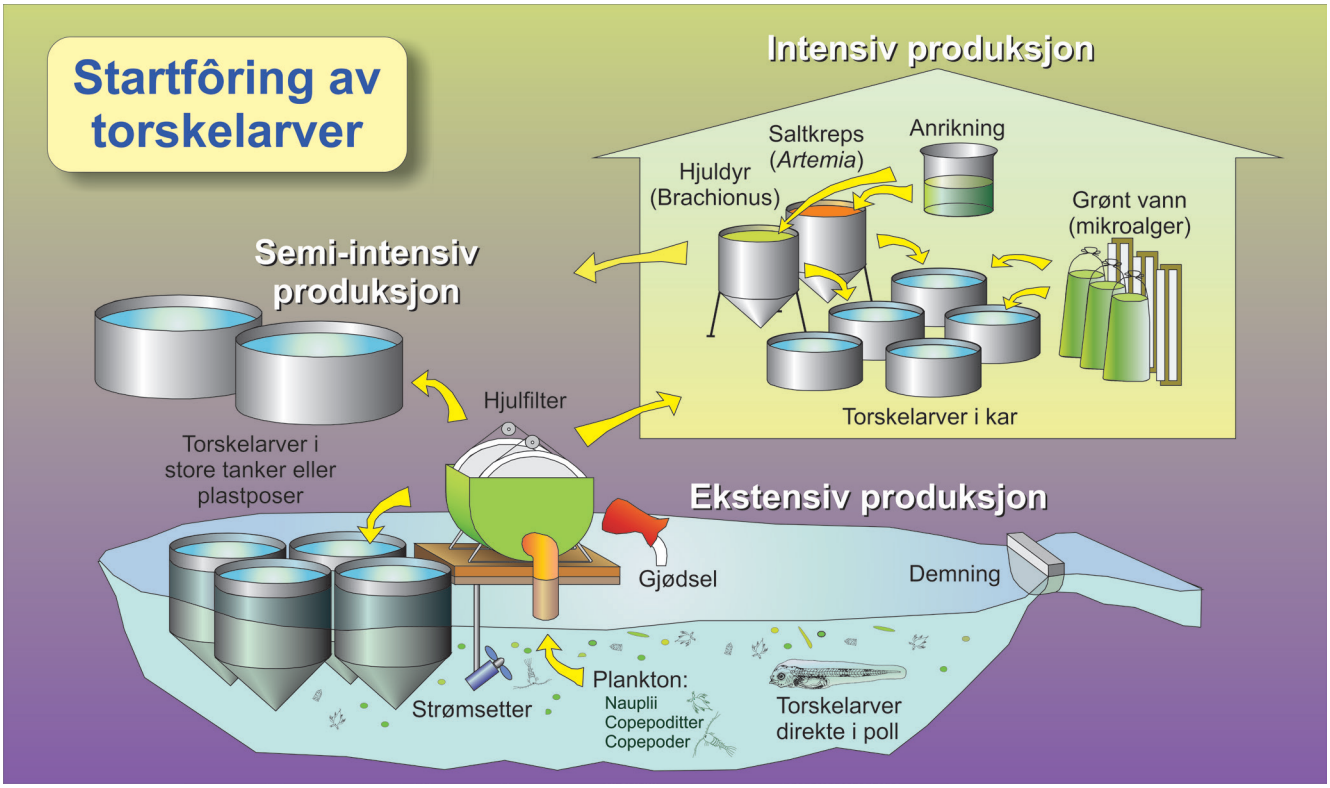
6.1 Olika arter och livsstadier kräver olika odlingstekniker

Stamfisk, som ibland ingår i avelsprogram, används för ägg och spermieproduktion. Den vanligaste metoden för att samla ägg och spermier är genom ”strykning”. Ägg och mjölke samlas upp från genitalorganens utlopp genom att man stryker med ett lätt tryck längs med fisken buk och samlar upp ägg respektive mjölke i en bunke. Ägg och spermier blandas sedan med eller utan att vatten tillsätts. Om fisken sederas (bedövas, genom bedövningsmedel i vattnet) vid utstrykning av ägg/spermier så krävs extra försiktighet då många bedövningsmedel kan försämra ägg- och/eller spermiekvaliteten. Därefter inkuberas de befruktade ägg i silos eller i tråg med underifrån genomströmmande vatten för pelagiska respektive bentiska ägg.

Eventuell desinfektion av äggens yttre lager görs efter att äggen svällt. Temperaturen under inkubationen är beroende av art och ett specifikt antal dygnsgrader (D°; dygn × temperatur i °C) passerar före äggen är färdigutvecklade och kläcks till larver.

Omkring halvvägs in i inkubationsperioden syns ögonen som en svart punkt, varför ägg i detta stadie kallas ögonpunktade. Fram till denna utvecklings fas är äggen extra känsliga t.ex. för vibrationer, stötar och ljus. För att minska risk för deformationer bör man reducera UV-ljuset genom att använda orange eller rött ljus eller ha det mörkt. Döda ägg bör sorteras bort eftersom näringsläckage från dessa annars kan ge upphov till bakterie- och svampangrepp. Efter ögonpunktering kan äggen försäljas och transporteras.

Inkubationstiden avslutas med kläckningsmomentet och åtföljs av larvperioden. Larverna som är mer eller mindre fisklika, har en gulesäck som förser dem med näring och energi den första tiden. När gulesäcken är förbrukad börjar larver inta föda, för många marina arter behöver detta vara i form av levande föda såsom rotatorier (hjuldjur) och Artemia. Denna odlingsfas, kallad startfodringsfasen, är en kritisk period som ofta kännetecknas av stor dödlighet bland de larver som inte har börjat äta då gulesäcken är förbrukad. Ofta rekommenderas en foderregim som innebär hög frekvens av matning, att ge larverna foder ofta men lite åt gången, för att undvika foderrester i vattnet som kan irritera gälarna och ge upphov till bakterie och svampangrepp. Produktionen av marina fisklarver kan definieras utifrån olika strategier. Van Meeren och Naas (1997) utgår från ursprunget av födan för larverna och fisklarvernas täthet i sin klassificering: 1) intensiv odling, med hög täthet av larver där foder i form av levande föda som t.ex. hjuldjur/rotatorier (ex. Brachionus) följt av kräftdjur (Artemia) eller annat producerat foder tillförs (odlat levandefoder oftast anrikat med vitaminer, mineraler, etc.), 2) semi-intensiv odling, i stora tankar eller plastkassar med mellanhög täthet av larver där man tillför vatten med naturligt förekommande vildfångade djurplankton, huvudsakligen copepoder som koncentreras upp med hjälp av filtrering av havsvattnet, med möjlighet till tillsats av odlad Artemia vid behov och 3) extensiv odling, som ofta bedrivs i dammar eller stora bassänger med låg larvtäthet där naturligt förekommande plankton utgör födan (Figur 22). I extensiva anläggningar är överlevnaden



Figur 22. Schematisk beskrivning intensiv, semi-intensiv och extensiv larvodling. Van der Meeren och Naas (1997), modifierad version i NFExpert 2015:1.

ofta hög trots låg bytestäthet, vilket troligen beror på att födan är variabel och därmed kan utnyttjas fullt ut av flera stadier i tillägg till att vara näringsriktig.

Tillvänjning av torrpellets (weaning, vilket syftar på avvänjning av levandefoder) sker under olika livsstadier för olika arter beroende av storlek och utveckling. En del arter kan tillgodogöra sig torrpellets direkt efter kläckning medan andra kräver en period av levande föda (Moksness et al. 2004). Pelletstorleken ökar gradvis genom att blanda två storlekar under en viss tid för att sörja för att både att mindre och större yngel har optimal foderstorlek.

Tankarna under juvenil och tillväxtfas kan vara rektangulära, runda eller fyrkantiga. Fördelar med odlingsrännor, som är långsmala, rektangulära kar, är att de ger en jämn vattenström från in- till utlopp, har relativt stor yta per vattenvolym och innebär lätt åtkomst av hela ytan vid hantering av fisken t.ex. storlekssortering (Labatuta and Olivares 2004). Nackdelar är att självrening inte uppstår utan manuellt upptag av slam behöver genomföras och att gradienter av syre and metaboliter kan uppstå beroende på inloppsvatten i ena änden av rännan och/eller ojämn vertikal fördelning av fisken (Summerfelt et al. 2004, Almansa et al. 2014), med minskad tillväxt och förhöjd dödlighet som följd. Ofta använder man s.k. grund odlingsränna som har lägre vattennivå (0,7 till 25 cm) i jämförelse med standard ränna (Labatuta and Olivares 2004) för effektivare vattenutbyte. Tätheten i en ränna kan vara 200-400 % (2-4 lager fisk) av den tillgängliga bottenytan. De större stadierna är mer robusta och klarar ofta större variation i yttre faktorer och ökade tätheter. Havsbaserad tillväxtodling i kassar av några marina arter som beskrivs i denna rapport är vanligt förekommande.

6.2 Stamfiskanläggningar

För en matfiskproducent finns det två huvudsakliga strategier, att själv äga och driva en stamfiskanläggning-kläckeri för att producera yngel för vidareodling (s.k. sättfisk), eller att köpa dessa från en yngel/sättfiskproducent.

Båda strategierna har tillämpats i nordiska och europeiska länder vid odling av de arter som rapporten innefattar. För hälleflundra fanns tidigare specialiserade yngelproducenter, t.ex. Fiskey på Island, vars huvudsakliga affärsplan var att sälja metamorfoserade juveniler till matfiskproducenter. För närvarande verkar den första strategin dock vara gällande för yngelproduktion av hälleflundra, att odlarna producerar egna juveniler för matfiskproduktionen. Under den senaste intensiva odlingsperioden för torsk (2008-2011) fanns det specialiserade sättfiskföretag i tillägg till de matfiskproducenter som hade egen kläckning. För piggvar fanns, fram till nyligen, ett danskt sättfiskföretag och i Frankrike finns det fortfarande både yngelproducenter och matfiskodlare som bedriver odling av hela livscykeln. Sättfiskproduktion för tunga bedrivs oftast inom egna verksamheten vilket numera även gäller för havskatt. Tidigare fanns dock ett sättfiskföretag även för havskatt.

Hälleflundra, torsk, piggvar och tunga leker i omgångar (de är s.k. ”batch-spawners”), vilket betyder att honorna släpper ägg i flera omgångar under lekperioden, med några dagars mellanrum. Eftersom alla honor inte heller blir könsmogna exakt samtidigt kan leken i en stamfiskgrupp sträcka sig över veckor till månader. Det krävs därför noggrann observation och kontroll av honors äggmognad under lekperioden för att stryka ut ägg precis när de har blivit mogna, medan hanar har en mer kontinuerlig spermiemognad under lekperioden. Samtidigt krävs det tillgång till en rad ägginkubatorer för att kunna distribuera ut ägg som har befruktats vid olika tidpunkter.

Hälleflundra. Hälleflundran är den största av plattfiskarna och vuxna individer kan bli 200-300 kg och 3-4 meter långa. Stamfisken, som oftast är viltfångad, består av relativt stora individer på 50-150 kg, speciellt då honorna inte blir könsmogna förrän vid 8-10 ålder. Samtidigt som det är en praktisk fördel att en-

skilda stora honor kan producera stora mängder ägg under många år, ställer storleken på stamfisken också krav på dimensioneringen av stamfisktankarna för att ge fiskarna tillräcklig bottenyta. Stamfisktankarna är landbaserade, cirkulära tankar med en diameter på 5-15 meter, beroende på individantalet i stamfiskgruppen. Vattendjupet i dessa tankar kan variera, men eftersom stamfisken måste lyftas upp till vattenytan när den ska strykas på ägg eller mjölke, behöver vattendjupet kunna sänkas till ca 1 m, så att fisken kan fösas upp på ett nersänkbart bord som sedan lyfts till ytan (Figur 23).

Figur 23. Strykning av stamfiskhona vid Fiskey Ltd, Island. Det nedsänkbara bordet har lyfts med fisken på upp till ytan. Foto Heiddís Smáradóttir.

I naturen leker hälleflundra från december till april (Mangor-Jensen and Holm 2004). Genom att täcka varje stamfisktank med presenning/icke ljusgenomsläpplig duk (Figur 24) kan dessa ljusstyras individuellt. Könsmognad och lek är styrt av ljusets växlingar under årstiderna. Genom olika ljus-regimer för att simulera årstidsändringar av dagslängd har man kunnat styra tidpunkten för lek. Vid Fiskey-anläggningen etablerades t.ex. på 1990-talet tre separata stamfiskgrupper av hälleflundra, som lekte med fyra månaders mellanrum. Eftersom varje stamfiskgrupp leker under 2-3 månader kunde man befrukta ägg och producera yngel året om (Bjornsson et al. 1998).

Torsk. Till att börja med togs vild torsk in för lek men numera pågår avelsprogram i flera länder. Karaktärer som selekteras för är snabb tillväxt, sen könsmognad och hälsorelaterade parametrar. I Norge har det funnits ett nationellt avelsprogram för torsk sedan 2001 i regi av NOFIMA, vilket sedan 2005 har varit lokaliserat till Kvaløya utanför Tromsö. På Island startades ett avelsprogram år 2003 genom IceCod Ltd och i Kanada startade avelsprogram för torsk år 2005. Landanläggningen på Kvaløya i Norge har stamfiskkar med ljusstyrning och kapacitet att startfodra upp till 300 grupper av yngel samtidigt. Sjöanläggningen består av fyrkantiga kassar med stålram samt en servicepråm. Efter utsättning i kassarna får torsken växa till könsmognad, vid omkring 3 års ålder, varvid snabbväxande märkta individer tas om hand för lek och kläckning.

Stamfiskar av båda könen hålls i stora cirkulära kar om 7-25 m3. I ett 7 m3-kar (3 m diameter) hålls omkring 10 hanar och 15 honor, med ett vattenutbyte på 70-80 liter/min. Leken och efterföljande befruktning får antingen ske naturligt och de befruktade äggen samlas då dagligen upp via speciella ägguppsamlare vid vattenuttagen (Figur 25a), eller så stryks mogna individer på ägg och mjölke. Det finns även tekniska lösningar för att låta stamfiskar leka i sluten kasse med PVC-duk och samla upp de befruktade äggen via cirkulation av inkommande vatten, planktonnät och uppumpning från bottenuttaget (Huse and Jensen 1983) (Figur 25b).

Figur 24. En stamfisktank vid Fiskey, Dalvik, Island. Tanken är 14 m i diameter, täckt med duk för individuell ljusstyrning. Foto Thrandur Björnsson.

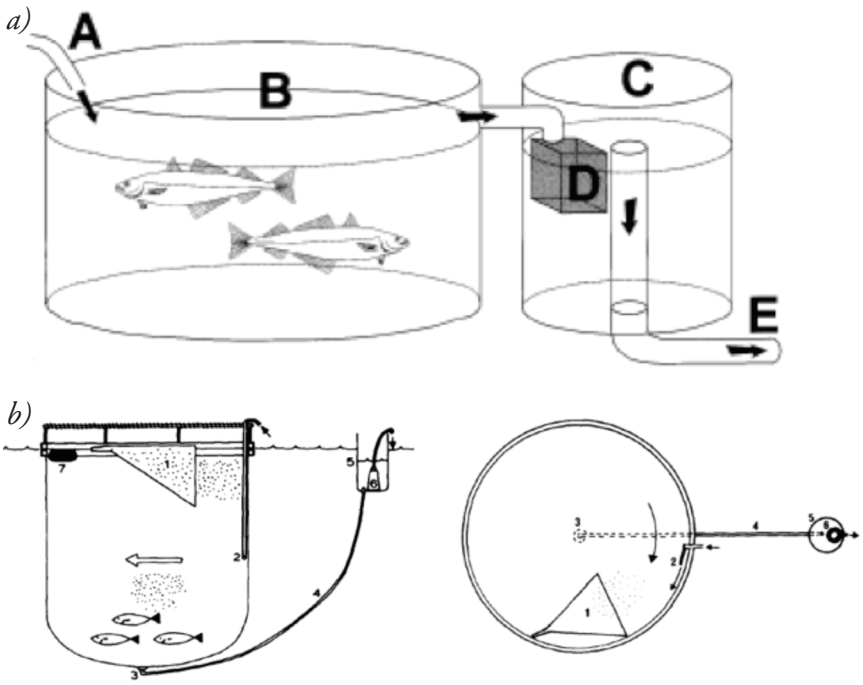
Torsk i leker under tidig senvinter-tidig vår i januari till april (Bailey et al. 2005). Även när det gäller torsk hålls olika stamfiskgrupper under ljusstyrning och även viss temperaturjustering för att få tillgång till mogna torskägg och spermier året om (van der Meeren and Ivannikov 2006, Hansen et al. 2012). Den tidiga gonadutvecklingen styrs främst av dagslängden men den slutgiltiga äggmogna-

den synkroniseras troligen med hjälp av temperaturen. Man kan fördröja gonadutveckling genom konstant ljus under några månader. Därefter simuleras förkortning i dagslängd (simulering av höst) följt av ökande antal ljustimmar (simulering av vår). Påskyndande av ytterligare lek kan även ske genom att vid tiden för den normala vårleken ge en kortare period med konstant ljus för att sedan direkt simulera höst (minskning dagslängd) och därefter ”vårsäsong”. Båda metoderna kan användas i framarbetade ljusprotokoll för att ge lek vid andra tider än den naturliga. Det rekommenderas att koppla ljusstyrning till temperaturjustering så att de följer samma trend dvs den årstiden man simulerar (Hansen et al. 2012). I en studie rekommenderas att lektorsken skall hållas på en temperatur som understiger 9.6°C (i jämförelse med över denna temperatur) då detta gav bättre äggöverlevnad och utveckling (van der Meeren and Ivannikov 2006). Den ordinarie vårleken verkar dock ge bäst avkomma (Rosenlund and Halldórsson 2007) med bättre fekunditet och äggutveckling men för hög temperatur för den vinterlekande torsken kan ha påverkat detta resultat.

Piggvar. Lekperioden för piggvar är sommarmånaderna april-augusti då temperaturer om 13-15°C uppnås. Omkring 50-70 % av honorna leker varje år efter att de har blivit könsmogna. Stamfiskarna hålls i runda kar med 5-6 m i diameter och med ett vattendjup på omkring 1,5 m (40 m3) med bottensubstrat. Både naturlig lek med ägguppsamling och strykning används för att samla upp fertiliserade ägg respektive ägg och mjölke. Temperaturen under lek och befruktning hålls något lägre än under den efterföljande äggin-kubation och larvperiod (gradvis höjning). Även för piggvar manipulerar man tidpunkten för gonadut-veckling och lek genom styrning av ljusperioder och temperatur för att få lekmogen fisk året om. Honor senarelägger könsmognad vid ständigt ljus på våren (Imsland et al. 2003). Denna strategi utnyttjas av de två stora kläckerierna France Turbot och Stolt Sea Farm.

Tunga. Stamfisken hålls i tankar om 10-15 m3, och foder anpassat för tunga i pelletsform och våtfoder finns numera tillgängligt (t.ex. www.sparos.pt). Ägglossningsperioden som sträcker sig över 6-8 veckor under april till juni sker vid temperatur om 8-12°C med dagslängd om 11-16 timmar, och kan manipuleras med ljus och temperatur (Imsland et al. 2004). Befruktningen sker naturligt i dessa tankar eller dammar med ägguppsamlare, vilket ger en hög kvalitet på de befruktade äggen med bra överlevnad även under efterföljande larvstadiet. Även artificiell befruktning kan användas.

Havskatt. Stamfisk av havskatt kan vara vildfångad eller från egen produktion, som t.ex. vid den tidigare kommersiella odlingsanläggningen Troms AS, i Senja, nära Tromsö. Havskatten särskiljer sig från de andra marina arterna som behandlas i denna rapport genom att den har inre befruktning och lägger stora



Figur 25. Ägguppsamlare från naturlig lek av stamfiskar. a) i tankar, i detta fall beskrivet för sej (van der Meeren och Lønøy 1998), b) torsklek i sluten kasse (Huse och Jensen 1983). I b) pumpas djupvatten in och anlöper kassen halvvägs ner, uttag sker både vid ytan och från botten för att cirkulera vattnet. De pelagiska äggen samlas upp via en utspänd planktonduk. En skyddande duk på ytan används för att reducera ljus och växtplanktontillväxt, och därmed behovet av mekanisk renhållning.

ägg med lång inkubationstid. Hannar och honor bildar i naturen par ganska lång tidsperiod innan lek och honan lägger oftast inte sina ägg spontant om de inte blivit befruktade av en hanne. Den inre befruktningen är svår att få igång i stamfiskanläggningar varför honan stryks när äggen är mogna (honan är endast ”öppen” för strykning under en period på 3-4 timmar) och därefter stryks mjölke från 3-5 hannar och artificiell befruktning av äggen sker. Hanarna har förhållandevis lite sperma per individ, beroende på den inre befruktningen, men sperma kan frysförvaras med god bibehållen aktivitet, för att användas vid senare befruktningar (Le Francois et al. 2008).

Då en simulering av den naturliga inre befruktningen ger bäst resultat vad gäller äggkvalitet, och yngelöverlevnad och kvalitet, bör förhållandena vid inre befruktning efterliknas så mycket som möjligt. Äggen får exempelvis inte komma i kontakt med omgivande havsvatten innan mjölken tillsätts. Kontakten med havsvatten gör att äggen utsöndrar proteiner som gör att äggen ”klistras ihop” med varandra, något man vill undvika för att få en hög befruktningsgrad. Mogna ägg kan fås från stamfiskhonor under flertal tillfällen på året genom styrning med ljusperiod (Olsen and Sparboe 2003) och temperatur (Tveiten et al. 2001).

6.3 Kläckerier för hälleflundra, torsk, piggvar och tunga

Yngelproduktion har flera distinkta faser som kräver specifika tekniska infrastrukturlösningar. Av de fem marina arter som behandlas i rapporten har arterna hälleflundra, torsk, piggvar och tunga liknande behov och förutsättningar för lyckad yngelproduktion.

Inkubation av befruktade ägg:

De befruktade äggen av hälleflundra, torsk, piggvar och tunga placeras i ett inkubationssystem med kraftigt flöde av vatten nerifrån och upp. ägginkubatorerna är ofta i form av stora cylindriska silos som hålls i mörker och där äggen flyter fritt i vattenmassan (Helvik and Walther 1993) (Figur 26-28). Dessa konformade silos har en uppåtgående vattenström från ett vattenintag i konens botten och uttag av vatten från ett centralt rör med hål. Röret är försett med planktonduk och en ”barriär” av luftbubblor, nerifrån och upp, för att förhindra att larver och ägg ansamlas vid utsugshålen. Genom att periodvis stänga av flödet av det vanliga vattnet och fylla på med saltvatten med extra hög salthalt underifrån kan tanken städas. De levande äggen kommer då att ansamlas, flytande ovanpå det högsalta skiktet, medan obefruktade döda ägg samlas på botten och kan tömmas ut via en bottenventil.

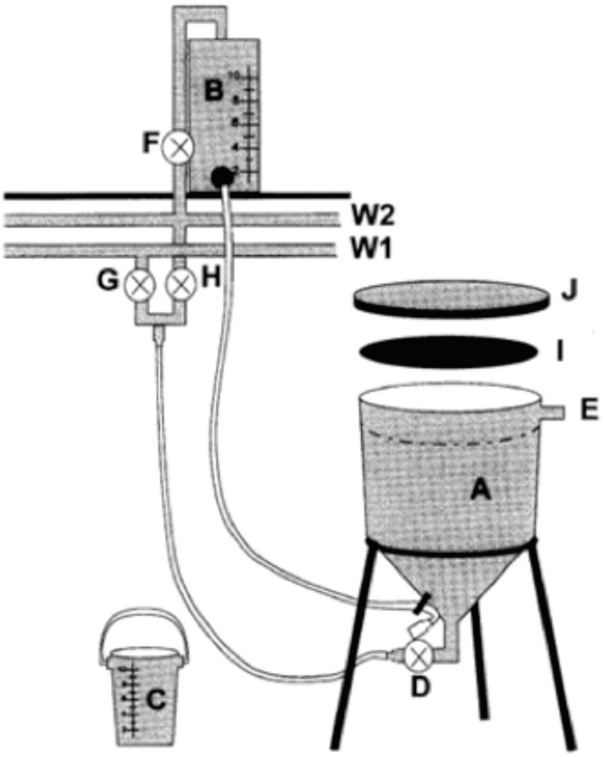
Samtliga dessa arter har mycket små, outvecklade yngel vid kläckning och standard i odlingssammanhang är att 6-7 mm hälleflundraynglen kläcks efter ca 82 D° (20 dagar vid 4°C, 13 dagar 6°C), 4-5 mm små torskyngel kläcks efter ca 80-84 D° (10-14 dagar i 6-8°C) men något längre D° anges också (100 D°, 15-20 dagar i 5-7°C; (Moksness et al. 2004), 2.2-3 mm stora piggvarsyngel kläcks efter 84 D° (6 dygn i 14°C; (Üstündağ et al. 2002) och 4-5 mm stora tunga-yngel kläcks efter 60 D° (5 dagars inkubation i 12°C).

För inkubation av fertiliserade torskägg har lägre temperaturer, om 5-7°C, använts då man trodde detta var gynnsamt. Ett nyligen avslutat projekt CODE-projektet, visar dock att en hög temperatur, 9-12°C, ger större larver/yngel med lägre andel deformationer som även klarar akut stress bättre (Puvanendran et al. 2015).

Gulesäcksstadiet:

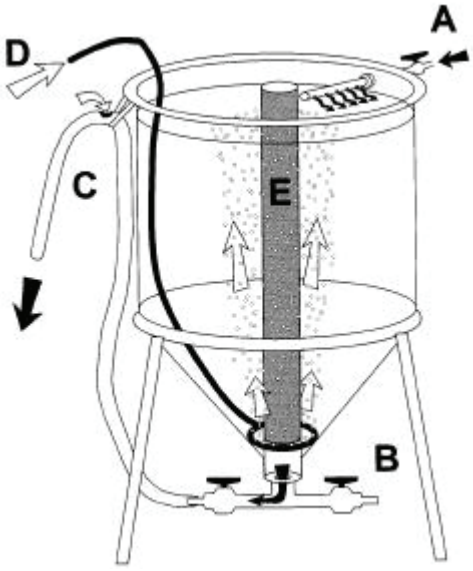
Olika tekniker har använts för dessa fyra arter under larvfasen (van der Meeren and Naas 1997, Mangor-Jensen et al. 1998). Larverna i gulesäcksstadiet kan behållas i samma kärl som ägginkubationen skedde alternativt så kan äggen föras över till speciella larvsilos 1-2 dagar före kläckning och sedan hållas kvar i dessa tills gulesäcken är förbrukad. Direkt efter kläckning är larverna extremt känsliga för hantering och all mekanisk stress så förflyttningar måste antingen göras före kläckning eller efter det att gulesäcken är förbrukad för att skydda de känsligaste stadierna mot mekanisk stress. För de arter som har kort tid mellan

kläckning och det att gulesäcken är förbrukad är det vanligast att ägginkubator och silo för gulesäckslarver är den samma. Själva kläckningen synkroniseras för hälleflundra genom ljusökning efter 75 D° vilket inducerar enzymatisk kläckning inom 2 timmar (Helvik and Walther 1993). Vid kläckning sjunker äggskalen och larverna, som har neutral flytkraft vid 32 ppt, hålls borta från ytan och därmed från att sugas ut med utgående vatten, genom ett sötvatteninflöde i den övre regionen (Harboe et al. 2004). Detta gör att man kan upprätthålla god vattenkvalitet och god genomströmning utan att larverna skadas eller förs ut. Larverna hålls i mörker eftersom de annars rör sig mot ljuset (positiv fototaxis) och med låg vattenström för att reducera aktivitet och mekanisk stress. Det är även viktigt med stabil temperatur och salthalt. Gulesäcken finns kvar under ca 44 dagar vid 6°C för hälleflundra, 3-4 dagar vid 11-12°C för torsk, och 3-5 dagar på 15-18°C för piggvar och tunga. Efter gulesäcken är förbrukad bör larven vara redo att ta och äta levande föda.



Startfodringsstadiet: Då gulesäcken förbrukats förs larverna över till startfodringstankar (Figur 29). Automatisk reningsteknik rekommenderas för att minska stressen på de alltmer bottenlevande larverna. Efter startfordring påbörjats används ständigt ljus. Eftersom larverna fortfarande inte har bildat så mycket pigment i skinnet är de ganska genomskinliga, vilket gör det lätt att se om de äter (Figur 30).

Under denna livsfas accepterar larverna endast levande föda vilket kräver en infrastruktur för foderproduktion, dvs. produktion av

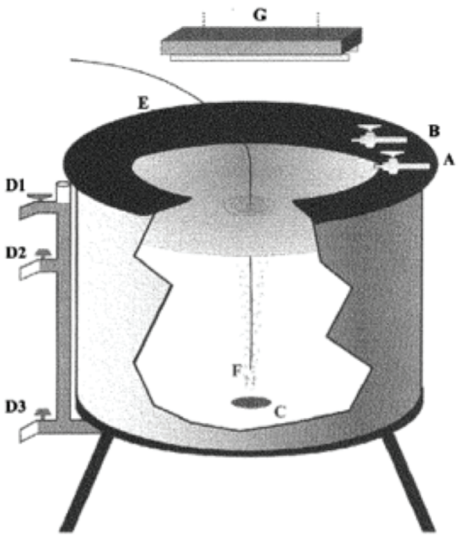


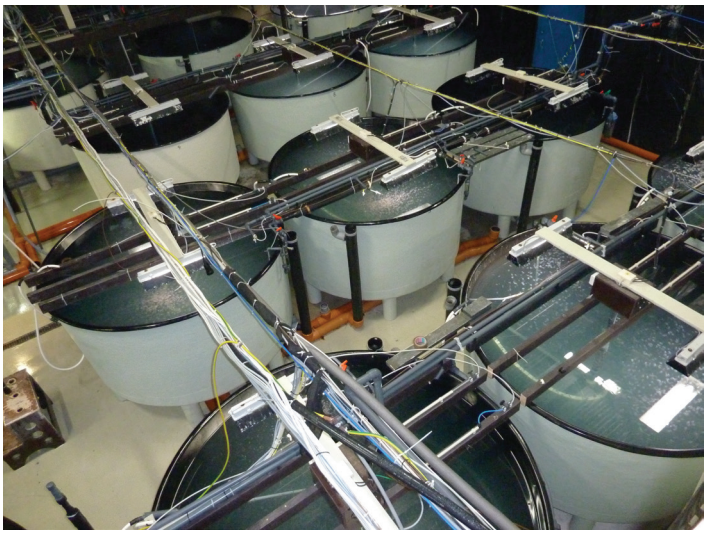
Figur 26 (uppe till höger). Ägg-inkubatorer (silos) hälleflundra. Vänster panel: En 250 liters forskningsinkubator. A) Inkubator, B) Tank med saltvatten, C) Uppsamlingskärl för döda ägg, D) Saltsattensinlopp, E) Utlopp, F) Kran för vatten med hög salthalt, G) Kran för saltvatten, H) Kran för vatten med hög salthalt. Skiss från Mangor-Jensen et al (1998).

Figur 27 (till höger). Kommersiella ägginkubatorer på odlingen Fiskey, Island. Foto Thrandur Björnsson.

Figur 28 (nere till höger). Ägginkubator torsk, svart 70 liters behållare med konisk botten. A. Vattenintag, B. Uttag för döda ägg, C. Uttag vatten, D. Luft för att inte ägg ska fastna i uttagsfilter, E. 350 µm planktonduk kring uttagsrör (van der Meeren and Lønøy 1998). Ett vertikalt rör med flera 10 mm hål för vattenintag (för försiktigt vattenutbyte om upp till 3 liter/min) kan också nyttjas (van der Meeren and Ivannikov 2006).

djurplankton bestående av rotatorier, Artemia och/eller andra små kräftdjur (Figur 31a). För startfodring av torsk används också skörd av naturligt förekommande djurplankton genom filtrering/centrifugering (i hjulfilter) av omkringliggande havsvatten och koncentrering av förekommande plankton. Dock, den varierande och snabbt förändrande tillgången på vild plankton gör att de flesta yngelproducenter har etablerat intensiv djurplanktonproduktion enbart, eller som ”back-up” till viltfångat plankton vid perioder av dålig tillgång. För att producera foderdjurplankton (levande foder) i form av rotatorier, till larverna, krävs vidare en infrastruktur för odling av växtplankton, då dessa utgör föda för rotatorierna. Växtplankton, vanligast är grönalger av arterna: Chlorella sp, Isochrysis galbana, Pavlova lutheri, Nannochloropsis oculata och N. gaditana, Dunaliella tertiolecta och/eller Tetraselmis suecica, produceras odlas oftast i stora cylindriska plastpåsar som exponeras för ljus och värme för att stimulera algblomningen (Figur 31b). Växtplankton odling, s.k. ”grön-vatten” används dels som föda för rotatorierna som sedan ges till fiskynglen, men tillsätts också ofta direkt till startfodringskaren, då detta ger en ökad turbiditet av vattnet och stimulerar larvernas födomotivation och minskar stress från omgivningen. Även lera kan användas i startfodringskaren för att öka vattnets turbiditet och ger samma effekt som ”grön-vatten”. Det artificiella levandefodret har utvecklats efterhand (Hamre et al. 2008, King et al. 2010) för att möta fisklarvernas naturliga näringsbehov och för





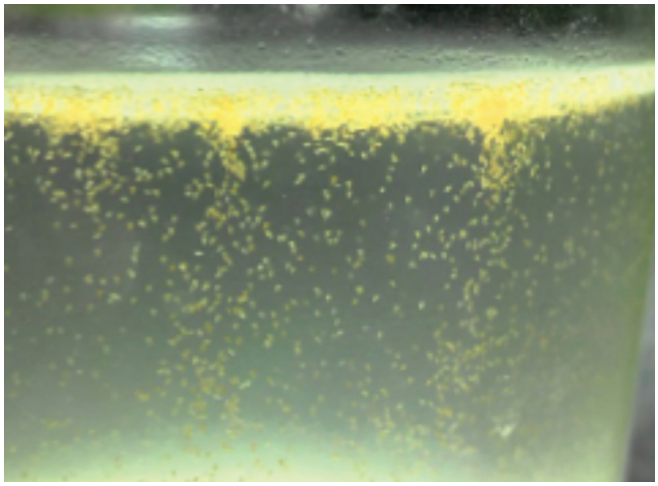
Figur 29. Hälleflundra. a) Schematisk bild av startfodringskar. A Vattenintag. B Vattenuttag, D1 Justering av vattennivå, D2 Sköljning, D3 tömning, E. Skuggning, F. Lufttillförsel, G. Ljus (Harboe et al. 1998). b) Startfodringstankar på Fiskey Ltd Island. Foto Kristina Snuttan Sundell.

Figur 30. a) Metamorfoserande hälleflundrayngel med Artemia (rosa) i magtarmkanalen, b) Hälleflundrajuveniler som börjar ta torrfoder. Foto Kristina Snuttan Sundell.

bl.a. hälleflundra används berikning av Artemia-steget med hjälp av vitaminer och mineraler för att öka överlevnad och kvalitet på ynglen (Bjornsdottir et al. 2010). När det gäller torsklarver har CODE-projeket utvärderat olika levandefoders påverkan på torskens tillväxt från larvstadium till slakt (Karlsen et al. 2015, van der Meeren et al. 2015). Tungayngel kan direkt tillgodogöra sig oberikade/obehandlade naupliier av Artemia då dessa yngel har relativt krav på essentiella, långa, fleromättade fettsyror (HUFA) jämfört med de andra marina arterna.

Metamorfosen äger rum under startfodringsfasen med levandefoder. De frisimmande larverna ändras då till mer bottenlevande yngel speciellt gäller detta för plattfiskarna men även torsken söker sig mot botten av karen.

Odlingsprotokoll under larvstadiet har utvecklats gradvis inte minst för torsk, och olika länder har anammat lite olika tekniker (Brown et al. 2003, Rosenlund and Halldórsson 2007). Även RAS, både konventionell och med membranfiltrering som reducerar mindre partiklar, har testats (Wold et al. 2014). Generellt kan sägas att temperaturer kring 8-12°C används, 24 timmars ständigt ljus, 400-1000 lux, 5-9 m3 runda tankar, 10-70 % vattenutbyte per timme (ökande utbyte), rotatorier ensamt först och därefter en mix av rotatorier och Artemia under de första 30 startfodringsdagarna, med en glidande övergång till endast Artemia och sedan en glidande övergång till torrpellets. Utveckling av nya yngel-anpassade torrfoder sker ständigt och för torsk finns nu torrfoder som kan börja ges redan 20 dagar efter startfodringens början. Grönvatten, om det används, nyttjas då främst under de 10 första dagarna. Skillnaden mellan anläggningar i designen och möjligheten för att styra olika yttre parametrar är dock stor. Odlingskulturen i Newfoundland återges i Brown et al (2003) och forskningsresultat har visat på olika optimala parametrar: vid en täthet av 4000



Figur 31. Produktion av levandefoder a) Artemia-odling i grönt vatten. b) Produktion av grönalger (”green water”) vid fiskodling, Dalian, Kina. Foto Thrandur Björnsson.

bytesdjur/liter är en ljusintensitet på 2400 lux bättre än 300 lux och 24 timmars kontinuerlig ljus ger bättre tillväxt än 18 timmars. Vid en storlek om 8-12 mm (18-36 dagar efter kläckning) är torsklarverna speciellt känsliga för deformationer såsom s.k. stargazers. Man har visat att under denna tid anläggs ryggkotorna och denna process är känslig för gasövermättnad (Grotmol et al. 2005) och att en effektiv avgasning är nödvändig.

6.4 Kläckerier för havskatt

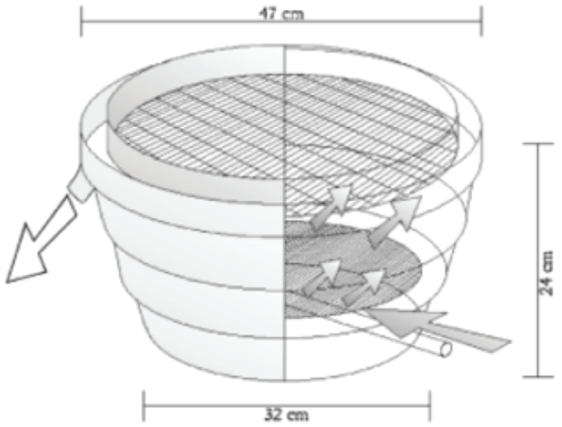
Som nämnts tidigare så är det stora skillnader i såväl befruktningsätt som ägg och yngel storlek och mognad hos havskatten jämfört med de övriga marina fiskarterna som behandlas i rapporten. Efter en naturlig, inre, befruktning hos havskatten, lägger honan en äggsamling på något hårt substrat. Medan hon lägger äggen formar hon dessa till en boll och kontakten med havsvattnet gör att äggen utsöndrar ”klibbiga”

proteiner som gör att äggen klistars ihop med varandra och boll-formen kan bibehållas. Äggen hos havskatt är stora, upp till 5 mm i diameter, och inkubationstiden är mycket lång, upp till ett halvt år, beroende på temperatur. I odling vill man undvika bollformade äggsamlingar då syretillförseln till de innerst belägna utgör ett problem, så äggöverlevnaden minskar. Forskning och teknikutveckling är ständigt pågående för att hitta sätt att lösa upp ”äggbollarna” och ett sätt är att förvara de nybefruktade äggen i stillastående vatten under 6-10 timmar (Pavlov and Moksness 1996) och därefter stryka ut äggen i ett tunt lager i ett inkuberingstråg med uppåt-strömmande vatten. Vanliga tråg-former är en långsmal ägginkubations ränna av liknande typ som används för laxfiskar eller en cylinder med konisk botten (Figur 32). På grund av den mycket långa inkubationstiden behöver äggen ofta behandlas med patogendödande ämnen för att minska bakterie- och svampangrepp. Vanligt är behandling 2 gånger i månader med glutaraldehyd (Hansen and Falk-Petersen 2001). Fläckig havskatt inkuberas vid 4-8 °C i mörker. 6°C har visat sig ge högst andel normalt utvecklade larver vid kläckning, minst andel deformationer och högst överlevnad, medan 4°C har visat sig ge de största larverna (Sund and Falk-Petersen 2005). Inkubationstiden på 900-950 D° ger en period på ca fem månader från befruktning till kläckning vid 6°C. Överlevnad genom inkubationsfasen är ca. 60-80 % (Andreassen et al. 2005).

Innan kläckning börjar äggen skifta färg, från ljust orange och genomskinliga till grå och opaka och en äggöppning blir genomskinlig. För att inducera kläckningen behövs ett lätt mekaniskt tryck och ynglen är >20 mm vid kläckning. Ynglen är välutvecklade och kan börja äta omgående. Strand et al. (1995) visar på en överlevnad på 82 % vid startfodring med pelleterat torrfoder direkt efter kläckning, vilket var lika god överlevnad som om startfodringen började med Artemia nauplii i några veckor innan övergång till torrfoder. Överlevnad under startfodringen är 35 % i medel under en säsong men kan även vara så hög som 90 %, varför utvecklingspotential är möjlig (Olsen and Sparboe 2003). Själva startfodringsprocessen sker långsmala rännor med lågt vattenstånd om 1,5 cm (Foss et al. 2004), identifieras som kritisk för att förbättra produktionen.

6.5 Sättfiskproduktion

De juvenila fiskarna, efter metamorfosen, karakteriseras hos plattfiskarna av att de ”vänt sig och lagt sig på sidan”, ögat har vandrat till ena sidan och kroppen visar en tydlig ovan- och undersida och skinnpigmenteringen är påtaglig och olika på de båda sidorna. Torsken och havskatten genomgår inte samma påtagliga förändringar under metamorfosen men alla 5 arterna är nu mer tydligt bottenlevande. Juvenilerna flyttas nu till andra typer av tankar, för tillväxt-fasen och för de arter som inte har fått torrfoder ännu börjar den s.k. ”weaning fasen”, eller avvänjningsfasen, som innebär att fiskarna skall vänja sig av med levande foder och börja äta pelleterat foder.



Figur 32. Inkubator för havskattägg med inflöde (grå pil) och utflöde (vit pil) (Sund and Falk-Petersen 2005).

Hälleflundra. Den metamorfoserade juvenilen börjar nu vänjas vid torrfoder. Till skillnad från tidigare larvstadie är fisken nu robust och kan hanteras, t.ex. flyttas till större tankar eller transporteras till andra odlare, ofta mellan länder. Juveniler av hälleflundra växer bäst vid temperatur om 12-13 °C (Jonassen et al. 1999), konstant ljus (Jonassen et al. 2000) och vid en något lägre salinitet på 15-25 ppt (Imsland et al. 2008). Även om den växande hälleflundran ofta simmar aktivt i vattenmassan vilar den också mycket på botten som den plattfisk den är. Därför är bottenyta av större vikt än vattenvolym (vattendjup) när det gäller konstruktion av odlingssystem för sättfisk- och matfiskproduktion. Täckningsgraden för yngel och mindre hälleflundra rekommenderas till 25-75 kg/m2, men kan hållas på så höga tätheter som 100 kg/m2

(Le Francois et al. 2010).

Torsk. Juveniler hålls i landbaserade system ofta i runda tankar t.ex. 1,5-2 m i diameter och djup 0,8 m (Bolton-Warberg and FitzGerald 2012). Den senaste torskboomen vad gäller odling (2008-2011) kom före den snabba utvecklingen och kommersialiseringen av RAS varför genomströmmande vatten ofta har använts men nyligen har ett spanskt projekt använts RAS för hela livscykeln (Badiola Amillategui et al. 2014).
Kannibalismen är ganska stor hos torskjuvenilerna, så storlekssortering är viktig. ”Weaning” perioden samt formulering av bra första torrfoder är fortfarande ett ”flaskhals”-område där forskning och utveckling sker. En trolig anledning till att just ”weaning” perioden är så känslig är att larvernas mag-tarmkanal inte är fullt färdig utvecklad vid metamorfosen. Detta innebär att juvenilerna har svårt att bryta ned och tillgodogöra sig de komplexa foderstrukturerna som ofta torrfoder innehåller. Många studier har därför studerat olika ”weaning” dieter ofta med olika innehåll av mikropartiklar och hydrolyserade (delvis nedbrutna) proteiner (Opstad et al 2006; Kvåle et al 2009). Kommersiellt tillgängliga s.k. mikrofoder finns nu, och dessa har visat sig fungera bra för ett flertal olika marina arter. Start för matning med dessa mikrotorrfoder har med denna typ av foder kunnat flyttas fram avsevärt, men för de flesta arter blir tillväxten och överlevnaden bättre om parallell matning med Rotatorier och/eller Artemia sker. För torsk har man visat på en överlevnad och viss tillväxt vid ”weaning” till torrfoder vid 22 , men bäst resultat fås om man väntar till 30 dph (Rosenlund och Haldorsson, 2007).
För att minska risken för deformitetsskador bör temperaturen hållas på 6-8 C för att senare, i tillväxtfasen öka till 12 C.

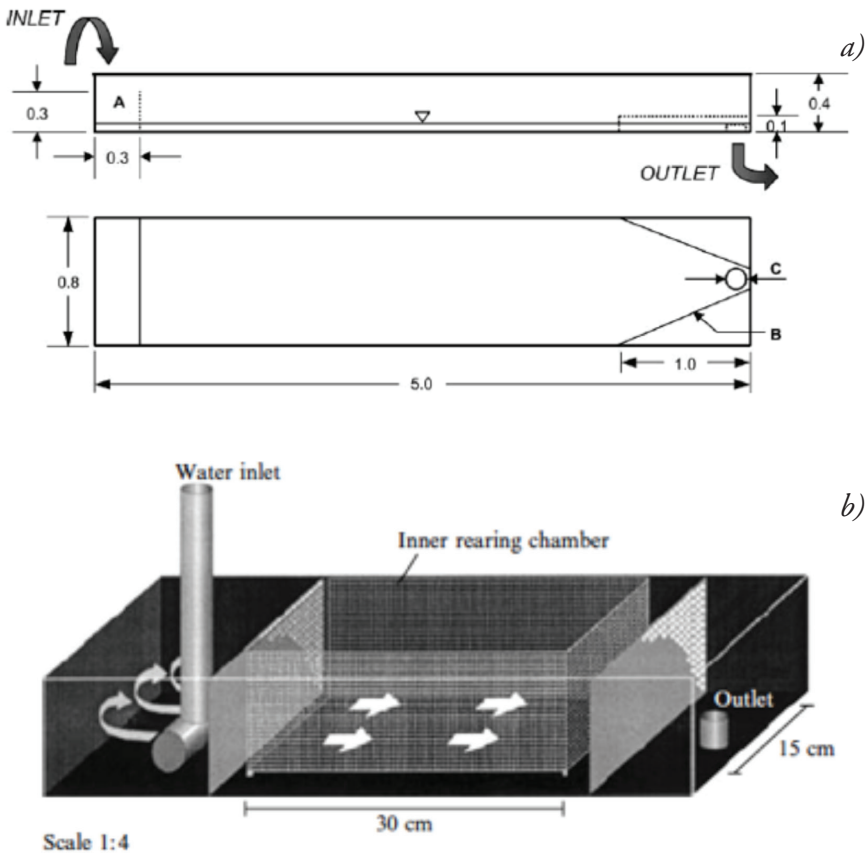
Piggvar. Piggvarsjuveniler hålls i odlingsrännor, fyrkantiga eller runda kar om 10-30 m3 (Oiestad 1999, Imsland 2010). Främst används genomströmmande vatten i t.ex. Spanien som har gynnsam naturlig vattentemperatur speciellt för juveniler < 2 kg (Imsland 2010) eller i t.ex. Norge där spillvatten från kraftverk nyttjas men det finns exempel på RAS både i sydliga (Aubin et al. 2006) och i nordligare områden som Holland (Schneider et al. 2012) och Kina (Li et al. 2013). I en RAS-studie i grunda odlingsrännor (Labatuta and Olivares 2004) (Figur 33a) påvisades problem med biofiltret vilket resulterade i höga ammoniumhalter och en relativt låg tillväxt om SGR 1,4 %. Lärdomen från denna studie var att förbättra partikelfiltreringsenheten, att aktivera biofiltret fullt ut samt kvantifiera biofiltrets ammoniumreducerande kapacitet och belasta efter det.

Fodring med torrpellets inleds och under de första dagarna ges även Artemia i kombination. Tillvänjning tar ca 5 dagar, och under denna tid sorteras dåligt pigmenterade individer bort. Sjunkande pellets används under startfodring medan flytande eller sakta sjunkande används därefter. Perioden från att juvenilerna är omkring 10 gram till de växt till 50-60 gram tar ca 4-5 månader. De hålls då i grunda kar av olika form med 10-20 m2 botten yta och med 25-50 cm vattendjup. Den specifika tillväxten (SGR) påverkas av tätheten och störst produktivitet erhölls omkring 7-8 kg/m2 för fiskar med startvikt om 35-40 gram (Schram et al. 2006). Även juveniler med lägre startvikt om 13 gram uppvisar bäst tillväxt i tätheter mellan 7-14 kg/m2 (starttäthet 1,2-2,6 kg/m2)(Li et al. 2013). Vattenflödet genom tankarna påverkar också tillväxten, och flödet bör vara >4,7 tankvolymer per timme för optimal tillväxt (RAS, Schram et al. 2009). Skillnaden i tillväxt kunde inte förklaras av olika halter av syre eller ammonium utan av ökade koldioxidhalter. Även en låg halt av ett kroniskt nitratpåslag (halt över 125 mg/l NO3-N) under 6 veckor påverkade tillväxten negativt i jämförelse med en nitrathalt på noll (van Bussel et al. 2012).

I ett försök fann man att optimal kombination av temperatur och salthalt var 18,3°C respektive 19,0 ppt för yngel med startvikt på 14 gram (Imsland et al. 2001). 30 min före matning ökas ljusstyrkan och matning pågår tills foder börjar ligga kvar. Tidpunkten för matning påverkar tillväxten, vilket försök i Kina har visat (Zheng et al. 2010).

Tunga. Juveniler av tunga hålls i liknande system som för piggvar d.v.s. i landbaserade kar, där genomströmmande vatten används om varmt vatten finns naturligt. RAS används i nordligare områden men används också i varmare områden (Martins et al. 2013). Litteratur om tunga i kommersiella anläggningar är begränsad. Täthetsförsök av yngel från 40 gram till 70 gram med tätheter om 8-195 % bottentäckning eller 0,5 till 12 kg/m2 visar att för denna storlek bör man inte ha tunga tätare än 7,4 kg/m2 för optimal produktivitet (Schram et al. 2006). I detta försök hölls juvenilerna i fyrkantiga 12 m3 tankar med 0,49 m2 bottenyta, vattnet var recirkulerande och temperaturen hölls under de 55 dagarna på 20,9 °C. Smaktillsatser av t.ex. betaine har använts för att öka attraktionen av torrfoder men problem med torrfoder kan även bero på svårighet med att ta upp näringen. Speciellt utvecklade foder med större andel hydrolyserat protein har visats sig lovande (Howell 1997).

Havskatt. Havskatten är stora och välutvecklade som yngel direkt efter kläckning och kan äta pelleterat foder direkt. Havskattens nykläckta yngel har i stort sett samma utseende som de större fiskarna och ändrar inte form, genomgår metamorfos, på samma sätt som de andra fiskarterna utan tillväxer bara i storlek. De kan därför kallas juveniler i stort sett direkt efter kläckning. De minsta juvenilerna hålls i självrensande mindre kar omkring 1×1 m vid en temperatur om 6-8 °C trots att optimal temperatur för de minsta ynglen är 11°C. En ökad temperatur ger bättre tillväxt men även ökad dödlighet. När ynglen nått en vikt om 0,3 gram avtar dödligheten. Fyra veckor efter startfodring kan juvenilerna flyttas över i större runda kar eller grunda odlingsrännor (Figur 33b). Långsmala, rektangulära, odlingsrännor, med vattenflöde längs med rännan ger god vattenomsättning och enkel utfodring vid användande av flytfoder (Olsen and Sparboe 2003).



Figur 33. a) Grunda odlingsrännor nyttjas för piggvar, tunga och havskatt. A) grunda odlingsrännor för juvenil piggvar med V-formad anordning vid uttaget för att öka vattenflödet vid botten/minska sedimentering (Labatut & Oliveres 2004), b) Grund odlingsränna för startfodring nykläckt havskattyngel (Hansen och Falk-Petersen 2002).

Havskatten har inget tydligt s.k. sättfiskstadium såsom lax utan i stort sett samma betingelse gäller för den juvenila fisken som för den större i tillväxtfasen och någon egentlig säsong för överflyttning till tillväxt finns inte. Redan vid 3-5 gram kan juvenilerna levereras till matfiskproducenter. För fläckig havskatt tar det omkring 3-4 månader från kläckning att nå denna storlek, och efter ett år väger den 150 gram. I landbaserade system har grunda odlingsrännor visat sig ge bättre tillväxt och foderkonversion i jämförelse med runda kar (startvikt 106 gram, i 202 dagar; Imsland et al. 2007). Den grå havskatten uppvisade noll överlevnad i

sötvatten men likvärdig överlevnad i salthaltintervallet 7-35 ppt (Francois et al 2001) och fläckig havskatt visar likvärdig överlevnad i spannet 12-34 ppt (Foss et al. 2001).

6.5 Matfiskproduktion av hälleflundra och torsk

Hälleflundra. Tre principiella typer av odlingssystem har testats för tillväxtfasen: Landbaserade odlingsrännor, landbaserade, cirkulära tankar, samt havsbaserade nätkassar med hyllsystem för att öka ytorna för fisken att ligga på (bttenytorna): Grunda odlingsrännor har testats för hälleflundra upp till 8 kg (Oiestad 1999). Fisken bör förflyttas till rännan redan kring metamorfos för att den ska kunna lära sig att äta rörligt foder i vattenströmmen genom rännan. Erfarenheten är också att större fiskar gärna positionerar sig vid inloppet för vatten och foder vilket leder till oönskade hierarkier inom gruppen. Runda, landbaserade tankar med centralt utloppsrör är det odlingssystem som används av odlare i Kanada och Skottland. När det gäller havsbaserade nätkassar har konstruktioner, som bygger på nätkassar för laxodling, utvecklats och men har försetts med olika typer av hyllsystem för att öka den effektiva ”bottenytan”. Denna typ av kassar används för närvarande i Norge. Förutom nackdelen med näringsutsläpp i de öppna kassarna är ytterligare nackdelar med havsbaserade nätkassar att det inte går att kontrollera vattentemperatur och/eller syrehalt. Ovanligt varma sommarförhållanden, med vattentemperaturer >20 °C har lett till massdöd i norska hälleflundraodlingar. Det har även genomförts försök med nedsänkbara kassar i Kanada (Howell and Chambers 2005). Fördelen med landbaserad teknik är enklare kontroll av fisken, men innebär samtidigt generellt dyrare produktion än havsbaserad nätkasseodling.

Tillväxtfasen till slakt för hälleflundra är ca 30 månader. Under tillväxtfasen bör täckningsgraden i tankar ligga på maximalt 100-200 % för att inte på påverka tillväxten (Bjornsson 1994). Detta innebär en täthet för 2 kg-hälleflundra på 25-50 kg/m2 och 50-100 kg/m2 för 10 kg-individer. Denna täckningsgrad (<200 %) gäller även för kassar. Efter ca fem år (tre år av tillväxt) slaktas hälleflundran. Vid havsbaserad produktion överförs fisken till speciella tankbåtar och transporteras till processfabrik där den bedövas och slaktas.

Torsk. Norge och Island är två länder som satsade stort, både forskningsmässigt och kommersiellt på matfiskanläggningar för torsk. Kassodlingar testades redan under mitten på 1980-talet (Svåsand et al. 2004), och huvudsakligen är havsbaserad kassodling det system som idag används under tillväxtfasen. Beteendet av torsk i offshore-kassar har studerats med akustiska märken (Rillahan et al. 2011) och man ser då att torsken främst uppehåller sig i ytterkanterna, i nätets närhet. Torsken har även visat sig vara mer rymningsbenägen än lax då de tuggar på nätet vilket t.o.m. kan orsaka hål. Störst skada på kassarna gör torskar kring 1 kg. Skador på torsken genom kontakt med kassens nät förekommer också. Ett hårdare material för nätet i kassarna, där filamenten är ihoplimmade och som inte fransar sig, vilket gör torskarna benägna att tugga, rekommenderas (Moe et al. 2009).

Eftersom vattentemperaturen på Island ligger ca 2°C lägre än för nord Norge så växer torsken i Norge något bättre än torsken på Island. En sättfisk om 30 gram växer till omkring 2,1 kg i Norge, respektive 1,6 kg på Island, på 20 månader, och sättfisk på 250 gram växer till 3,7 kg respektive 3,4 kg på 20 månader. Sättfisk med ursprung från olika lokaler runt Island, men under tillväxtfasen placerad på samma lokal växte likvärdigt (Kristjansson 2013) visar på lokalens betydelse för gynnsam/ogynnsam produktion.

Det främsta problemet för tillväxtfasen för torsk är att den bli könsmogen långt innan den når slaktstorlek. Könsmognad är inte önskvärd i matfiskproduktion då detta kan leda till ökad dödlighet, minskad tillväxt och förlust av kroppsvikt vid lek, förlängd tid till slakt, och reducerad köttkvalitet genom att lipider och proteiner används för gonadutveckling istället för muskeluppbyggnad. Dessutom kan befruktade ägg från odlad fisk spridas till omgivningen. En orsak till hög förekomst av tidig könsmognad i odling är den gynnsamma växtmiljön, eftersom snabb tillväxthastighet och ackumulering av överskottsenergi leder till tidigare könsmognad (Svedang et al. 1996, Moksness et al. 2004, Taranger et al. 2010, Koster et al. 2013, Folkvord et al. 2014).

Olika lösningar har undersökts för att minska tidig könsmognad, såsom reglering av fotoperiod med ständigt ljus (Hansen et al. 2001, Taranger et al. 2006, Imsland et al. 2013, Korsoen et al. 2013) och framtagande av triploida, sterila honor (då hanar har fortsatt gonadutveckling trots triploidi; Feindel et al. 2011) (Trippel et al. 2008, Opstad et al. 2013). De första försöken med ständigt ljus gjordes i tankar först inomhus och sedan utomhus, och sedan även i kassar i havet. Ljusperioden i kassar i havet justeras genom att belysa kassarna underifrån med konstant lågintensivt ljus. Efter ljusbehandlingen jämför man gonadutvecklingen hos de behandlade fiskarna med fiskar från kassar med naturligt ljus. Om man har ständigt ljus från midsommar då torskarna är ca 15 månader och året ut förskjuts könsmognaden 3-6 månader, eller om ännu längre ljusperiod används även in på den nya året så hämmas gonadutveckling ytterligare. Signalen om kortare dag (som normalt kommer under vintern) uteblir, vilket troligen gör att gonadutvecklingen inte startar. Tillräckligt starkt ljus måste användas i tankarna eller i kassarna för att ge effekt.

Möjlig lek i kassarna av den odlade torsken och dess effekt på naturliga bestånd är också ett problem som bör uppmärksammas, speciellt om den odlade torsken har genomgått avelsselektion, eller härstammar från andra torskpopulationer än den lokala (Uglem et al. 2012). Odling av triploida hantorskar kan vara en lösning då överlevnad av avkomma efter triploid hane är låg (Feindel et al. 2010).

6.6 Matfiskproduktion havskatt, piggvar och tunga

Havskatt. Tillväxtfasen sker främst i landbaserade system men försök med havsbaserade system har skett. För landbaserade system och med havskatt över 0,5 kg används främst odlingsrännor. Förslag finns om placering av odlingsrännor i våningar om 5-7 plan för att optimera lokalanvändning. Optimal täthet för havskatt med 0,5 kg startvikt är 25-40 kg/m2 och med startvikt på 1,5 kg så var det inga skillnader i tillväxt för tätheter upp till 150 kg/m2 (Olsen and Sparboe 2003). Även större havskatt, med startvikt om 3,5 kg, kan odlas i täthet om 90 kg/m2 eller mer visar studier baserade på tillväxt, foderkonversion och produktivitet (Imsland et al. 2009). Vid användning av RAS teknik på land är det viktigt att veta vilka kvalitetskrav den specifika odlingsarten har på vatten kvaliteten. Minskad syrehalt och ökade halter av restprodukter som ammonium och koldioxid (som ger lägre pH) kan uppstå i recirkulerande system.

Potentialen för havsbaserad verksamhet studerades genom utvärdering av flatbottnade nätkassar för tillväxt av fläckig havskatt (startvikt 200 g) i Tromsötrakten under 428 dagar (juni 2000 till september 2001, n=1289) av Mortensen et al. (2007). Kassen som var 4 meter djup hade 25 m2 nätbotten utspänd med en aluminiumram, vilken var skyddad med solskydd. Fodret tillfördes med sötvattenslang till botten där även en vit presenning om 2×2 m var utspänd för att underlätta foderupptag. Som kontroll användes landbaserade tankar med samma starttäthet av havskatt (7,5 kg/m2). Tillväxten var bättre i tankarna till att börja med, men med tiden (från januari och framåt) var den bättre i kassarna. Dock var medelvikten i stort sett densamma för både systemen vid slutet av försöket (sluttäthet 42 kg/m2). Havsbaserad kassodling har även testats under tre år i ytterligare ett försök (Andreassen et al. 2005). Lärdomar från detta var att utsättning i juni/juli gav bättre tillväxt än utsättning i januari/februari men dödligheten var lägre för vinterutsättningen. Mindre storlekar om 20 g anpassade sig snabbare är de större sättfiskstorlekarna om 130 gr till livet i kasse. Under två sommarsäsonger var det ovanligt varmt: 14°C i ytlagren ner till 7 m uppmättes, under denna period noterades ingen specifik dödlighet men en reducerad aptit. Tillväxten var som bäst under hösten, då temperaturen låg på 6-8°C. Problem med hög yttemperatur kan minskas genom användning av djupare och nedsänkbara kassar. Havskatten har antifrysproteiner (Desjardins et al. 2007) och är därmed tålig för kalla ytvattentemperaturer. En prognos för tiden från utsättning till slaktstorlek om 5 kg är 2-2,5 år beroende av startstorlek, vilket är kortare än för ett landbaserat system (Andreassen et al. 2005). Hyllor och en ”kub” bestående av PE-rör i olika dimensioner har testats för att öka ”bottenyta” i odlingssystemen. Efter en tillvänjningsperiod observerades flitig användning av båda arealökande systemen.

Uppgifter från kommersiell matfiskanläggning, är att det tar 3,5 år från 1 g (startfodring) havskatt till 4-5

kg slaktvikt. I detta fall användes ett landbaserat system med en medeltemperatur på 5,2°C (vilket gav bra tillväxt från ca 100 g). Dödligheten från 100 gr till slakt rapporterades till 19 %. Odlad fläckig havskatt ger högt filéutbyte och har god hållbarhet efter slakt. Urtagen havskatt med huvud kan lagras på is i cirka 14 dagar. Produkten kan med fördel mogna i ett par dagar före tillagning, och ur logistisk synvinkel är detta en fördel när fisken transporteras färsk för konsumtion. En odlad havskatt kan dock ha för stor lever varför optimering av foder med avseende på näringsämnen kan komma att ge bättre foderomvandling, tillväxt och fiskens hälsa.

Piggvar. Tillväxtfasen bedrivs vanligen i runda eller fyrkantiga tankar 25-100 m3 eller i odlingsrännor av plast eller betong, i landbaserade industrilokaler (Figur 34) (Person-Le Ruyet 2002, Imsland 2010). Kassodling har också testats i Frankrike och Spanien, men föredras inte (Person-Le Ruyet 2002). Genomströmmande system användes till en början, men nu finns det även exempel på recirkulerande system (RAS) (Schneider et al. 2012). I Spanien och Frankrike används främst genomströmmande havsvatten men i andra länder såsom Holland och Norge dominerar RAS med uppvärmt vatten. Mindre piggvar hålls oftast i vatten med bästa kvalitet, t.ex. i början av vattnets väg genom en anläggning. I Blancheton (2000) beskrivs en av de första RAS-satsningarna för piggvar i Frankrike, som var en testbäddssatsning mellan forskning och industri. Större piggvar kan hållas i upp till 4 lager per yta vilket är ca 100 kg/m2, men optimal täthet varierar med storlek: 30-35 kg/m2 för 300 gr, 45 kg/m2 för 750 gr och 60-80 kg/m2 för större piggvar (Person-Le Ruyet 2002). För att öka tillgänglig yta för fisken att vila sig på kan fasta nätmattor placeras 30 cm över botten. För att kostnadseffektivt kunna producera piggvar utan att ha för tät biomassa har ett holländskt företag anammat sitt odlingskoncept: nyproducerade hästskoformade grunda kar som staplats i 8 lager.

Skillnad i storlek av fisken i en behållare skapar hierarki (ännu sämre chans för de mindre att få foder) varför sortering baserad på storlek är nödvändig. Två sorteringar krävs under tillväxten, och automatiska sorteringsmaskiner finns utvecklade. Fördelningen av piggvar i odlingsrännor eller andra kar kan studeras med laserteknik (Almansa et al. 2012). Med hjälp av denna information kan man t.ex. optimera flöde och foderprotokoll.

I en tillväxtstudie på piggvar från 22 gram till 2.7 kg över 46 månader utvärderas fem ljusstrategier: 16Ljus:8Mörker (kontroll) eller ständigt ljus under hela tiden, eller ständigt ljus endast vid tre olika perioder (första sommar, vinter eller andra sommaren) (Imsland et al. 2013). Författarna visar att en ökad dos ljus under andra sommarhalvåret ökar den somatiska tillväxten och slutvikten, samtidigt minskar behandlingen steroidhalterna i blodet och mjölkeproduktion d.v.s. senarelägger könsmognadsåldern för hanarna, jämfört avsaknad av ljusökning eller där ökad ljusperiod satts in tidigare, eller vid ständigt ljus. Under detta försök hölls juvenilerna (då sex månader sedan kläckning) under 1 år i runda 1,5 m2 kar (18,2-15,9 °C, 18,7 ppt) och därefter, till försökets slut, i utomhustankar om 18 m2 (15,3 °C, 24,5 ppt). Flödet på vattnet automatreglerades så att utgående vatten skulle hålla 80 % syremättnad.

Piggvar är inte tolerant för starka strömmar eller turbulent vatten då rörelse i kassar ger upphov till minskad aptit och ökad simaktivitet. Kassteknik för piggvar har testats i begränsad omfattning i skyddade områden som dammar, skyddade vikar och estuarier i Frankrike och Spanien (Person Le-Ruyet 2002). Kassar om 1×1 m med 16 mm nät utspänd i botten med ramverk samt svarta skyddande presenning användes i en studie i pilotskala (Aksungur et al. 2007). 40 g juveniler hölls i fyra olika tätheter (30-120 juveniler per m2, ca. 1,3-4,9 kg per m2) under 200 dagar (oktober-juni). Tillväxten minskade då temperaturen under vintern gick under 15°C, och var låg då temperaturen var neråt 10°C. Den högsta tätheten (sluttäthet 15 kg per m2) resulterade i lägst produktion.

Tunga. Den äkta tungan växer förhållandevis långsamt men å andra sidan är marknadsstorleken förhållan-

Figur 34. Piggvarsodling i Guandong, Kina, med recirkulerande vatten i grunda odlingsrännor (foto Thrandur Björnsson).

devis liten. Från 125 g i sydliga regioner till 300 g för mer nordliga länder saluförs. Extrapolationer visar att en 5 cm tunga växer till 24 cm (125 g) på 300 dagar i 18-20 °C. Vid dessa försök användes dock levande-foder eller naturliga byten, och inte ett kommersiellt sammansatt foder. Tätheten kan bli ett problem då tillväxten av tunga påverkas negativt av ökad täthet (Schram et al. 2006). I denna studie testades tätheter om 0,5-12 kg per m2 (8-195 % täckningsgrad) för juveniler från 40 gram vid start till 74 vid försökets slut. För att nå upp till slaktfärdig storlek på ca 125 g tar det 1-2 år och till 300 g, 2-3 år. Honor växer 1,5 gånger snabbare än hanar. För en bra tillväxt av tunga behöver man sortera ofta för att minimera storleksrelaterade hierarkier och även se över fodringsregimen så att inte vissa individer får större tillgång till fodret. I en litteraturstudie om tungans odlingspotential (Imsland et al. 2004) dras slutsatser om att vissa tekniska krav behöver lösas för arten vilka främst har med utfodring att göra såsom självrenande system, fodrets uppehåll och distribution i karet. Kommersiell odlingsinsats av tunga har efter denna studie ökat inte minst i sydliga Europa varför en del odlingstekniska problem säkerligen har lösts (men det finns ingen lättillgänglig litteratur).

7. Hummer

7.1 Generell bakgrund

Europeisk hummer (*Homarus gammarus*) (Fig. 35) anses av många vara en av de mest exklusiva sjömatsprodukterna i världen. Fångsten av vildfångad hummer ligger på 2000-2500 ton (FAO FJStat) men i flera länder, däribland i Sverige och Norge, så har fångsterna minskat (Agnalt 2008, Sundelöf et al 2013). Marknadspriset har ökat eftersom det råder för låg tillgång i förhållande till efterfrågan på hummer, och detta har ökat intresset för odling.

Hummer har odlats i Europa sedan mitten av 1800-talet (för historisk litteraturgenomgång se Nicosia and Lavalli 1999). Till en början hölls humrar instängda i damm-lika anläggningar i kustområdet i Frankrike där vattenutbytet skedde med tidvattnet. Ganska omgående började man med mer kontrollerade försök i kläckningstankar. Länge ansågs tillväxtodling (efter larvperioden) olönsamt då det kräver individuell förvaring, stor arbetsinsats vid fodring, arbetskrävande renhållning och varm temperatur. Men tack vare de senaste decenniernas intensiva norska FOU-insats finns nu tekniska lösningar även för tillväxtodling, med ekonomisk bärkraftighet i kommersiell skala (t.ex. Drengstig och Bergheim 2013). De flesta hummeranläggningar i Europa odlar dock bara små humrar för stödutsättning och förstärkning av de vilda bestånden, t.ex. i Tyskland, Norge, Irland och i Storbritannien (bilaga 1).

Figur 35. Europeisk hummer, Homarus gammarus. Foto: Susanne Eriksson.

Odling bör optimeras utifrån artens biologiska förutsättningar och tekniskt skiljer sig därför hummerodling mot fiskodling på en rad punkter. Hummern är ett kräftdjur med yttre kalkskelett, och djuren tillväxer inte kontinuerligt i storlek utan stegvis varje gång de ömsar skal (Aiken och Waddy, 1992). Hur ofta djuren ömsar beror på ålder och tillgång på mat. Under det första levnadsåret kan hummern genomgå ett tiotal ömsningar, och i gamla djur kan det gå flera år mellan ömsningarna. Varje ömsning är en utmaning i sig och processen är både energikrävande och farlig. Vid varje ömsning dör därför ett antal djur p.g.a. de fastnar i sitt gamla skal eller skadas under processen. Efter ömsning är djuren mjuka och fram tills det nya skalet hårdnat är de känsliga för skador. Arten är aggressiv även mot sina artfränder utom vid parning. Att odla hummer i landbaserade system är arbetsintensivt, och för att undvika kannibalism och skador behövs humrarna hållas individuellt.

7.2 Avelsdjur

De vuxna humrarna varierar i färg, från ljusa till mörka, enfärgade till prickiga. I svenska vatten är mörkbruna/svarta djur vanligast (Fig.35). De flesta nuvarande hummerodlingar använder befruktade ägg från vilda hummerhonor som parat sig naturligt. Honor med befruktade ägg under bakkroppen s.k. romhonor, fångas med burar oftast av lokala fiskare. Genom samarbete mellan kläckeri och fiskets organisation hyrs eller köps hummerhonan, och hålls sedan i landbaserad anläggning i individuell förvaring, enskilt i en back om ca 50 x 40 cm eller tillsammans i större kar om 1 x 2 m tills det att äggen kläcks. Vattnet flödar genom förvaringstanken, och är oftast sammankopplat till ett slutet recirkulerande vattensystem som kräver rening med biofilter och proteinskummare, syresättning och avgasning av CO_2. Genomströmmande vattensystem utan recirkulering förekommer också. Parning i det vilda mellan hane och hona sker ofta direkt efter att honan ömsat skal och är mjukskalig på sensommaren-tidig höst då vattentemperaturen är kring 15°C (M. Ulmestrand pers.komm.), men även parning utan förgående skalömsning kan ske. Befruktning av äggen

sker ett år senare då honan för ut äggen på bakkroppen, för fastsättning på simbenen. Rombärande honor observeras främst under höst-vinter-vårsäsongen, då denna embryoutveckling tar omkring 9-11 månader i nordiska förhållanden. Norwegian Lobster Farm håller avelsdjur i RAS eftersom fiskesäsongen är begränsad. De har utvecklat ett protokoll för att garantera kontinuerlig och stabil tillgång av larver med god tillväxt (Drengstig et al. 2009). Under förvaring matas romhonorna oftast med kräftdjur, musslor, fisk eller bläckfisk. Om man inte matar honorna kan de börja äta upp sina ägg.

7.3 Ägginkubation

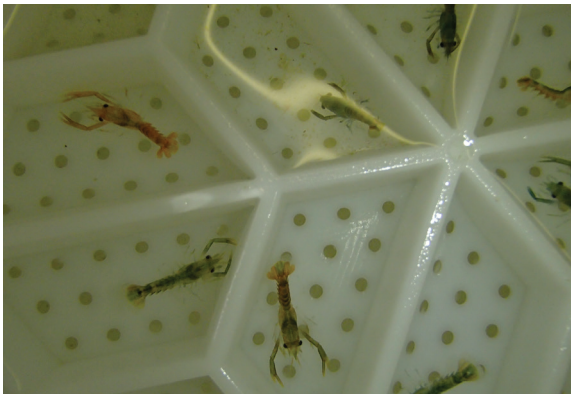
Romhonor bär mellan 4 000-40 000 ägg och ju större honan är desto fler ägg har hon (Agnalt 2008). Inkubationstiden av äggen kan påverkas genom justering av temperatur eller ljuscykel. Inkubationstiden av äggen är i det närmaste linjär med vattentemperaturen (Branford 1978): ju varmare desto kortare inkubationstid. Embryona kräver en utveckling om 3 480 dygnsgrader vilket innebär att vid 10,4°C kläcks de efter 335 dagar (11,2 månader) och vid 20°C efter 174 dagar (5,7 månader). Kläckningstid kan således justeras genom justering av temperaturen, och man kan genom att hålla romhonor under olika temperatur förskjuta kläckningsperioden. Dock så har det visat sig att det krävs åtminstone en kortare period med låg temperatur för att erhålla bättre kvalitet och högre överlevnad på larverna efter kläckning (Wickins & Lee 2002). Inkubationsperioden kan även påverkas av ljus. En kortare period av ljus i förhållande till mörker under dygnet ger en kortare inkubationstid, men även ökad dödlighet under det efterkommande stadiet (Eagles et al. 1986).

7.4 Larvstadier och startfoder

Ungefär hälften av äggen beräknas kläcka till larver (Uglem 1995). Kläckning sker huvudsakligen under de varma månaderna på sommaren och de kläckta hummerlarverna samlas dagligen upp från en speciell ansamlingstank som är ansluten till utflödet från honans förvaringstank. De första tre larvstadierna är frisimmande och kallas zoealarver (Stadie 1-3) och avviker utseendemässigt från en vuxen hummer.

Efter kläckning placeras larverna i mindre kärl med genomströmmande vatten. Kärlen kan antingen vara konformade s.k. hoppers på ca. 70-100 liter (Figur 36a) eller vara s.k. Kreisl inkubatorer på 40 liter. Inlopp av vatten sker ofta i botten och utlopp med ett centralt rörformat utloppsrör med flera utgångshål skyddade med finmaskigt nät. För att undvika aggression och kannibalism mellan individer bubblas vattnet kraftigt med luft antingen från stora syrestenar i botten eller från centralröret. Tätheten varierar men kan vara upp till ca. 75 larver/l. Den tekniska utvecklingen av larvinkubatorer är väl beskriven i Nicosia och Lavalli (1999).

Utvecklingen genom Zoea 1-3 tar ca. 12 dagar i 18-20°C



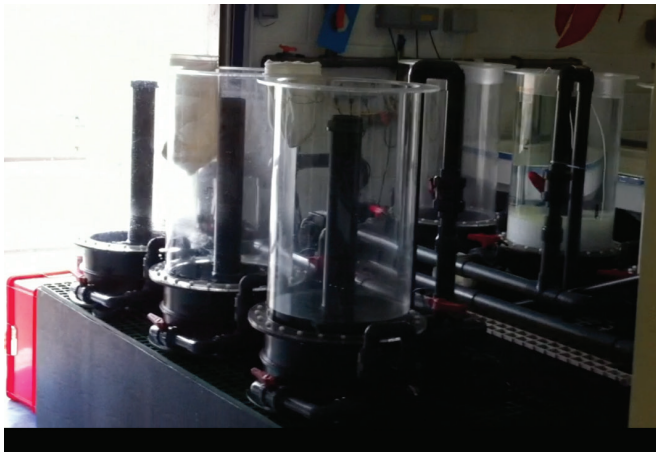
Figur 36. Bilder från studiebesök Orkney Lobster Hatchery September 2012 (a, överst) Inkubatorer med hummerlarver. (b, höger) Postlarv 4 i Aquahive bricka med eget fack. Foto: Susanne Eriksson.

vatten. Traditionellt under larvperioden matas hummern med levandefoder såsom berikad Artemia, fryst Artemia, krill eller mysider (Kristiansen et al. 2004) eller copepodpasta (pers. komm. Dennis Gowland, Orkney). Det finns fortfarande en brist på högkvalitativt tillverkat foder. Larverna kan fodras allt från en till flera gånger om dagen. Norwegian Lobster Farm har tagit fram torrfoder som används under den pelagiska perioden och den efterkommande juvenila perioden i individuell förvaring. Torrfodret har visat ge god överlevnad, god tillväxt och normal pigmentering. Tillskott av ”nyttiga bakterier” (=probiotika) i maten har visat sig ha en viss positiv inverkan på larvernas överlevnad (Daniels et al. 2010).

Även om flera av kläckerierna nämner att de kan ha en larvöverlevnad på upp till 50 % så är den generella överlevnaden under Zoea 1-3 ca 2-10% (Small 2013, Boothroyd pers komm). För att minska kannibalismen ger man under larvstadierna ofta ett extratillskott av foder. Detta ger dock ett slöseri på foder som dessutom har en negativ inverkan på vattenkvaliteten.

7.5 Tillvänjning pellet/yngeluppväxt/juvenil

Vid fjärde skalbytet omvandlas larven och får ett utseende likt den vuxna hummern (Figur 36b). Vid denna metamorfos blir hummern bottenlevande och kallas postlarv (PL) 4. Från och med detta stadie är det nödvändigt att hålla de små humrarna enskilda för att undvika kannibalism. Juveniler kan hållas individuellt antingen i enskilda akvarier, eller s.k. Orkney cells, eller de kan förvaras individuellt i en Aquahive. En Aquahive är ett cylindriskt rör där 26 stycken brickor med plats för 162 individer per bricka kan staplas på varandra (Figur 37a). Varje Aquahive-cylinder kan därför hålla ca. 4 100 småhumrar. En standard Aquahive består av 6 stycken cylindrar men kan designas och installeras efter önskemål. Det finns även brickor med större celler för de senare större stadierna. Aquahiven tillåter en kompakt förvaring och matning av många juveniler på en liten yta.



Figur 37 a). Bilder från studiebesök National Lobster Hatchery September 2013. Aquahives för postlarvförvaring, b) Rombärande hona. Foto: Susanne Eriksson.

Hummern kan sedan släppas ut på havsbotten för tillväxt under naturliga förhållanden, vilket ofta sker efter 1,5-3 månader vid stadie PL 5-6. De små humrarna släpps ut m.h.a. dykare eller via ett rör/slang som går ner till botten. De kan även sättas ut i strandkanten i plastbrickor med enskilda fack för varje hummer. Ovanpå brickan sätts ett papperslock som löses upp efter omkring 20 minuter och som tillåter humrarna att krypa ut själva.

7.6 Produktion av portionshummer

Det förekommer även anläggningar med tillväxt upp till portionsstorlek om 300 gram. Tiden för att nå portionsstorlek är 24-30 månader (Kristiansen et al. 2004). Tillväxt till slaktklar storlek i kommersiell skala

har främst skett inom Norwegian Lobster Farm, och då i recirkulerande slutna system (RAS). Med hjälp av en sorteringsrobot skiljs PL4 (metamorfoserad hummer) ut för vidare tillväxt. 20 larver per minut kan sorteras för att återföras till Kreisl inkubator eller transportas till tillväxtenheten (Drengstig & Bergheim 2013).

Tillväxtförsök görs även i havsbaserade odlingar. Exeter universitet har i samarbete med National Lobster Hatchery, Padstow testat tillväxtförsök i ostronkassar, både kustnära och längre ut samt på två olika djup, 2 och 8 m. De små humrarna får tillväxa ute i burar i havet utan extra mattillförsel. Tanken är att humrarna ska leva på det som naturligt kommer förbi. Modellen har tidigare prövats i Nordamerika på amerikansk hummer med framgång.

Idag ligger minsta landningsstorlek (MLS) av vildfångad hummer på 87 mm carapaxlängd (CL) (EU reglering) men i svenska vatten för Skagerrak och Kattegat råder 80 mm CL (FIFS 2004:36), då hummer är ca 22 cm lång. En portionshummer från odling med en storlek om 20 cm totallängd och 300 gram, har ingen konkurrens från fisket då denna inte får landas. Den vildfångade större hummern och den odlade mindre är två olika livsmedelsprodukter med sina respektive fördelar på marknaden.

8. Slutsatser

8.1 Studiens omfång och begränsningar

När denna möjlighetsstudie startade fanns ambitionen att göra ekonomiska beräkningar och företagsekonomiska analyser för de utvalda teknikerna och kandidatarterna med hjälp av underlag från pågående och avslutade kommersiella satsningar inom odling. Efter att ha gjort efterforskningar via konsultuppdrag utfört av Vattenbrukscentrum Norr AB (2015) för att få fram ekonomidataunderlag så har vi konstaterat att det är svårt att få fram tillräckligt med data för att kunna dra väl underbyggda slutsatser kring vilka faktorer som är kritiska för att åstadkomma lönsamhet.

Litteratur om utrustning och teknik för olika system och arter finns tillgänglig men flera av dessa vetenskapliga artiklar eller rapporter är ett eller flera decennier gamla och gäller oftast inte för dagens tillvägagångsätt. Varje anläggning är även unikt konstruerad och under ständig utveckling varför det finns en otalig mängd av tekniklösningar. Vår målsättning med rapporten har därför inte varit att i detalj beskriva alla dessa utan att ge en översikt över grundprinciperna för de teknikinsatser som behövs vid olika livsstadier. Under senaste åren har litteratur om RAS och IMTA ökat avsevärt, men fortfarande finns inte så många publicerade studier om semislutna system i havet. Fodertyp och fodringsmetoder är vidare ett stort fält som inte behandlas ingående i denna rapport.

8.2. Ekonomiska hänsynstaganden

Det finns ett antal utmaningar när det gäller ekonomi och lönsamhet för de nya odlingsteknikerna som har beskrivits i denna rapport (Vattenbrukscentrum Norr AB 2015). Landbaserade odlingar innebär exempelvis stora initiala investeringskostnader. Räntekostnader för investeringarna och avkastningskrav från investerarna gör att omsättningen behöver vara hög och lönsamheten god. Bolagen behöver generellt ha ett starkt positivt kassaflöde särskilt i tidig fas. Dessutom behövs likvida medel för att kunna amortera och om det då är en etablering som till stor del är lånefinansierad kan det bli problematiskt. I jämförelsen mellan landbaserad odling och konventionell kassodling så är just behovet av likvida medel och kapitalstarka ägare en påtaglig skillnad. En landbaserad odling dimensioneras och byggs för den tilltänkta producerade volymen och anläggningen bör ha finansieringen täckt innan etableringen. Konventionell kassodling kan istället byggas upp etappvis med relativt små investeringar initialt och odlingskapaciteten kan sedan utökas när bolagets finansiella situation så medger. Landbaserad odling är också mer personalintensiv jämfört med kassodlingar i havet vilket ökar driftskostnaderna.

En stor fördel med landbaserad odling är att den kan lokaliseras på de flesta ställen i landet och att odlingens utsläpp kan kontrolleras vilket kan underlätta tillståndsgivningen. Landbaserade odlingar kan med fördel lokaliseras nära befolkningscentra. En etablering av konventionell kassodling ställer krav på att lokaliseringen sker i ett för arten och produktionsenheten lämplig plats. Generellt finns dessa platser i norra Sverige där näringsfattiga regleringsmagasin är mer lämpade för kassodling (Alanärä and Strand 2011). Öppen kassodling är olämplig i stora delar av framförallt södra Sverige pga den ökade näringsbelastningen som odlingarna medför och därför försvårar odlingstillstånd.

När det gäller landbaserad odling av hälleflundra, torsk och hummer har data från ett fåtal (8 st) företags årsredovisningar varit tillgängliga (Vattenbrukscentrum Norr AB 2015). Det finns stora likheter mellan dessa företag: låg omsättning och uteblivit positivt resultat. Gemensamma nämnare är vidare stora initiala investeringskostnader med kapitalstarka ägare som skjutit till kapital under flera av de år som verksamheten drivits. Slutsatsen är att inget av dessa företag kunde uppvisa ekonomisk bärkraft men det bör understrykas att slutsatserna är baserade på endast ett fåtal företag varav några har gått i konkurs av olika oförutsedda

anledningar (t.ex. pumphaverieolycka respektive brand) och att dessa företag startats under en period då det fanns större kunskapsluckor än idag både om arternas biologiska krav och RAS-tekniken. För havskatt, piggvar och tunga har inget ekonomiskt underlag gått att få fram. Idag finns lönsamma storskaliga företag för dessa arter i Europa (t.ex. Stolt Sea Farm som producerar piggvar och tunga). I Holland finns sedan en längre tid ett företag med lägre produktionsvolym men som vänder sig till miljömedveten marknad (Seafarm BV som odlar piggvar). Ett företag i Skottland producerar hälleflundra och vidareförädlar denna produkt genom rökning. Odling av hummer sker idag huvudsakligen för stödutsättning av juveniler för att stärka de vilda bestånden. Dessa odlingar drivs vanligen ideellt och icke-kommersiellt. Två företag i Norge driver kommersiell odling varav båda säger sig ha ekonomisk bärkraft. Det ena företaget har satsat på sea-ranching (havbeite) i naturen och det andra på en högteknologisk robotanläggning för produktion av portionshummer på land. Då marknadspriset för hummer är högt och tillgången på vilda humrar är låg så är de ekonomiska marginaler möjligen högre för denna art för potentiell odling i kommersiell skala.

För odling med de nya miljöanpassade teknikerna som innebär relativt höga investeringskostnader och högt risktagande är säkerställande av ett så högt pris som möjligt på produkten avgörande i en kommersiell satsning. I en affärsplan bör därför ingå att identifiera de kundsegment som är beredda att betala för en produkt som är framställd enligt ny miljöanpassad teknologi. Kvaliteten på slutprodukten kommer att ha en avgörande betydelse för betalningsviljan. Miljömärkning/certifiering, varumärkesbyggande, produktutveckling och andra värdehöjande åtgärder är viktiga verktyg för att öka kundens betalningsvilja och slutpriset på produkten.

8.3. Framtida perspektiv

En övergripande slutsats från den här rapporten är att de nya odlingssystemen för matfisk- och skaldjursodlingar, som landbaserade RAS-anläggningarna och semislutna havsbaserade system, är under stark utveckling men är ännu inte ”färdiga”. Forskningsbehovet är fortsatt stort gällande dessa system och stora utrymmen finns för att öka systemens kostnadseffektivitet genom tekniska innovationer. Det samma gäller för de marina arterna som tas upp i studien – det finns fortfarande luckor när det gäller kunskapen om arternas olika livsstadier och dess behov i en odlingssituation. Därför är även fortsatt FoU-verksamhet för ökad förståelse av de marina arternas biologi nödvändig. Som denna rapport beskriver drivs utvecklingen av olika tekniker för fiskodling hela tiden mot mer kontrollerbara system och starkare barriärer mellan odlingen och den omgivande miljön. Detta sker såväl på land där rening och recirkulering av vattnet ger låg åtgång på både vatten och näringsutsläpp, och i havet där slutna behållare i stället för nätkassar gör det möjligt att samla upp slamrester, rena utgående vatten och minska riskerna för rymning och smittspridning. I våra grannländer används nu flera av de nya teknikerna i storskalig produktion (årlig produktionsvolym om 1000 ton). Dessa verksamheter bedriver ett kontinuerligt FoU-arbete och det finns goda möjligheter för Sverige att dra lärdomar från dessa.

Framtiden för marina livsmedel och marint vattenbruk i Västsverige är ljus. Områdena är prioriterade utvecklingsområden för Västra Götalandsregionen (Wenblad et al. 2012) och det pågår en kraftsamling för att stärka möjligheterna för innovation och tillväxt inom hela den marina och maritima sektorn (se www.maritimaklustret.se). Blåmusslor och en liten mängd ostron produceras idag på den svenska västkusten, men det finns stort utrymme för ökad produktion av filtrerande organismer. Fisket klarar inte att möta efterfrågan av marina livsmedel och vi importerar idag stora mängder odlad fisk och vildfångad amerikansk hummer. En marknad för produkter från fisk- och hummerodling finns alltså redan och behovet av odlade marina livsmedel förutsägs att öka ytterligare i framtiden. Tillgång på lokalproducerade marina arter genom etablering av ett hållbara odlingssystem bör därför vara efterfrågad. En etablering av en ny näring på västkusten, som ett marint vattenbruk innebär har också stor potential att skapa arbetstillfällen och levande kustsamhällen. Idag är ett flertal företag i startgroparna att etablera fiskodling på den svenska västkusten genom att anamma de tillgängliga teknikerna som beskrivits i denna rapport. Offentliga sektorn behöver

nu stötta dessa kommersiella initiativ via projektfinansiering av FoU-verksamhet och tillståndsgivande myndigheter behöver följa med i teknikutvecklingen, se över och uppdatera regelsystemen och verka för att de nya odlingssystemen ska kunna etableras. Vidare måste myndigheterna enas om ramarna för ett övervakningsprogram som är tillpassat svenska havsområden. Där kan det norska MOM-system som används för kontroll av fiskodlingar i Norge fungera som modell.

Referenser

Abreu, M. H., R. Pereira, C. Yarish, A. H. Buschmann and I. Sousa-Pinto (2011). ”IMTA with Gracilaria vermiculophylla: Productivity and nutrient removal performance of the seaweed in a land-based pilot scale system.” Aquaculture 312(1-4), 77-87.

Agnalt, A.-L. (2008). ”Stock enhancement of European lobster (Homarus gammarus) in Norway; Comparisons of reproduction, growth and movement between wild and cultured lobster.” Doktorsavhandling Department of Biology, Universitetet i Bergen, Norge.

Aguado-Gimenez, F., M. D. Hernandez, J. Cerezo-Valverde, M. A. Piedecausa and B. Garcia-Garcia (2014). ”Does flat oyster (Ostrea edulis) rearing improve under open-sea integrated multi-trophic conditions?” Aquaculture International 22(2), 447-467.

Aiken, D. E.and S. L. Waddy (1992). ”The growth process in crayfish”. Rev. Aquat. Sci. 6, 335-381.

Aksungur, N., M. Aksungur, B. Akbulut and İ. Kutlu (2007). ”Effects of Stocking Density on Growth Performance, Survival and Food Conversion Ratio of Turbot (Psetta maxima) in the Net Cages on the Southeastern Coast of the Black Sea ” Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 7, 147-152

Alanärä, A. and Å. Strand (2011). ”Fiskodlingens närsaltsbelastning.” SLU-rapport 1.

Albertsson, E., Å. Strand, S. Lindegarth, K. Sundell, S. Eriksson and B. Björnsson (2012). ”Marin fiskodling på den svenska västkusten: Biologiska förutsättningar.” Rapport No 1 från Vattenbrukscentrum Väst, Göteborgs Universitet. Responstryck, Borås. 96 s.

Almansa, C., I. Masalo, L. Reig, R. Piedrahita and J. Oca (2014). ”Influence of tank hydrodynamics on vertical oxygen stratification in flatfish tanks.” Aquacultural Engineering 63, 1-8.

Almansa, C., L. Reig and J. Oca (2012). ”Use of laser scanning to evaluate turbot (Scophthalmus maximus) distribution in raceways with different water velocities.” Aquacultural Engineering 51, 7-14.

Andreassen, I., I.-B. Falk-Pettersen, A. Pedersen and H. Tveiten (2005). ”Flekksteinbit i oppdrett.” Kapitel 5 Marin fisk i Kyst og Havbruk, 146-148. .

Anon (2011). ”Vurdering av eutrofieringssituasjonen i kystområder, med særlig fokus på Hardangerfjorden og Boknafjorden. Rapport fra ekspertgruppe oppnevnt av Fiskeri- og kystdepartementet i samråd med Miljøverndepartementet. s. 83.”.

Apostolaki, E. T., T. Tsagaraki, M. Tsapaki and I. Karakassis (2007). ”Fish farming impact on sediments and macrofauna associated with seagrass meadows in the Mediterranean.” Estuarine Coastal and Shelf Science 75(3), 408-416.

Árnason, T., B. Magnadóttir, B. Björnsson, A. Steinarsson and B. Björnsson (2013). ”Effects of salinity and temperature on growth, plasma ions, cortisol and immune parameters of juvenile Atlantic cod (Gadus morhua).” Aquaculture 380-383, 70-79.

Aubin, J., E. Papatryphon, H. M. G. Van der Werf, J. Petit and Y. M. Morvan (2006). ”Characterisation of

the environmental impact of a turbot (Scophthalmus maximus) re-circulating production system using Life Cycle Assessment." Aquaculture 261(4), 1259-1268.

Ayer, N. W. and P. H. Tyedmers (2009). "Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada." Journal of Cleaner Production 17(3), 362-373.

Badiola Amillategui, M., O. Cabezas, R. Curtin, M. García, I. Gartzia and D. Mendiola (2014). Land based on-growing of atlantic cod (Gadus morhua) to marketable size – a feasibility study from the Basque Country (Northern Spain). Presentation at Aquaculture Europe 2014, San Sebastian, Spain.

Bailey, J., J. Pickova and A. Alanärä (2005). "Förutsättningar och potential för torskodling i Sverige. The prerequisites for, and potential of, cod farming in Sweden. FInfo 2005:12. s. 48. ."

Barrington, K., T. Chopin and S. Robinson (2009). "Soto, D. (ed.). Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529. Rome, FAO. p. 7-46.".

Ben-Ari, T., A. Neori, D. Ben-Ezra, L. Shauli, V. Odintsov and M. Shpigel (2014). "Management of Ulva lactuca as a biofilter of mariculture effluents in IMTA system." Aquaculture 434, 493-498.

Bergheim, A. (2012). "Recent growth trends and challenges in the Norwegian aquaculture industry. Lat. Am. J. Aquat. Res. 40: 800–807.".

Bergheim, A. and B. Braaten (2007). " Modell for utslipp fra norske matfiskanlegg til sjø. Rapport IRIS – 2007/180. 35 s.".

Bergström, P. (2014). Blue Oceans with Blue Mussel - management and planning of mussel farming in coastal ecosystems. Department of Biology and Environmental Sciences, University of Gothenburg. Doctor of Philosophy.

Bjornsdottir, R., E. G. Karadottir, J. Johannsdottir, E. E. Thorarinsdottir, H. Smaradottir, S. Sigurgisladottir and B. K. Gudmundsdottir (2010). "Selection of bacteria and the effects of bacterial treatment of Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus L.) eggs and larvae." Aquaculture 302(3–4), 219-227.

Bjornsson, B. (1994). "Effects of stocking density on growth-rate of halibut (Hippoglossus hippoglossus L.) reared in large circular tanks for 3 years." Aquaculture 123(3-4), 259-270.

Bjornsson, B. and S. V. Tryggvadottir (1996). "Effects of size on optimal temperature for growth and growth efficiency of immature Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus L.)." Aquaculture 142(1-2), 33-42.

Bjornsson, B. T., O. Halldorsson, C. Haux, B. Norberg and C. L. Brown (1998). "Photoperiod control of sexual maturation of the Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus): plasma thyroid hormone and calcium levels." Aquaculture 166(1-2), 117-140.

Blancheton, J. P. (2000). "Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species." Aquacultural Engineering 22(1-2), 17-31.

Bolton-Warberg, M. and R. D. FitzGerald (2012). "Benchmarking growth of farmed Atlantic cod, Gadus morhua: a case study in Ireland." Aquaculture Research 43(5), 670-678.

Borges, M. T., P. Silva, L. Moreira and R. Soares (2005). ”Integration of consumer-targeted microalgal production with marine fish effluent biofiltration – a strategy for mariculture sustainability. Journal of Applied Phycology 17: 187-197.

Braaten, B., G. Lange and A. Bergheim (2010). ”Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett i sjø.” KLIF – Klima- og forurensningsdirektoratet, 50s. Rapport NIVA/Iris - 2010/134.

Branford, J. R. (1978). ”Incubation period for the lobster Homarus gammarus at various temperatures.” Mar. Biol. 47:363–368.

Broch, O. J. and D. Slagstad (2012). ”Modelling seasonal growth and composition of the kelp Saccharina latissima.” Journal of Applied Phycology 24(4), 759-776.

Brown, J. A., G. Minkoff and V. Puvanendran (2003). ”Larviculture of Atlantic cod (Gadus morhua): progress, protocols and problems.” Aquaculture 227(1–4), 357-372.

Bruno, E. (2014). ”Miljöanpassat vattenbruk i Sverige – en näring med stor potential.” Naturskyddsföreningen Rapport. 25 s. ISBN: 978-91-558-0157-1.

Buschmann, A., D. Varela, M. Hernandez-Gonzalez and P. Huovinen (2008). ”Opportunities and challenges for the development of an integrated seaweed-based aquaculture activity in Chile: determining the physiological capabilities of Macrocystis and Gracilaria as biofilters.” Journal of Applied Phycology 20(5), 571-577.

Buschmann, A. H., F. Cabello, K. Young, J. Carvajal, D. A. Varela and L. Henríquez (2009). ”Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems.” Ocean & Coastal Management 52(5), 243-249.

Buschmann, A. H., V. A. Riquelme, M. C. Hernandez-Gonzalez, D. Varela, J. E. Jimenez, L. A. Henriquez, P. A. Vergara, R. Guinez and L. Filun (2006). ”A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific.” Ices Journal of Marine Science 63(7), 1338-1345.

Carmona, R., G. P. Kraemer and C. Yarish (2006). ”Exploring Northeast American and Asian species of Porphyra for use in an integrated finfish–algal aquaculture system.” Aquaculture 252(1), 54-65.

Carss, D. N. (1990). ”Concentrations of wild and escaped fishes immediately adjacent to fish farm cages.” Aquaculture 90(1), 29-40.

Chopin, T., J. A. Cooper, G. Reid, S. Cross and C. Moore (2012). ”Open-water integrated multi-trophic aquaculture: environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture.” Reviews in Aquaculture 4(4), 209-220.

Daniels, C. L., D. L. Merrifield, D. P. Boothroyd, S. J. Davies, J. R. Factor and K. E. Arnold (2010). ”Effect of dietary Bacillus spp. and mannan oligosaccharides (MOS) on European lobster (Homarus gammarus L.) larvae growth performance, gut morphology and gut microbiota.” Aquaculture 304(1–4), 49-57.

Dannevig, G. (1885). ”Artificial hatching and rearing of salt-water fish and lobsters in Norway”. Bull. U.S.

Comm. Fish Fish. 5:437–440.

DeMoyer, C., Schierholtz, E., Gulliver, J. och Wilhelms, S. (2003). ”Impact of bubble and free surface oxygen transfer on diffused aeration systems.” Water Research, 37, 1890-1904.

Desjardins, M., N. R. Le François, G. L. Fletcher and P. U. Blier (2007). ”High antifreeze protein levels in wolffish (Anarhichas lupus) make them an ideal candidate for culture in cold, potentially ice laden waters.” Aquaculture 272(1–4), 667-674.

Drengstig, A. and A. Bergheim (2013). ”Commercial land-based farming of European lobster (Homarus gammarus L.) in recirculating aquaculture system (RAS) using a single cage approach.” Aquacultural Engineering 53, 14-18.

Drengstig, A., T. Drengstig, A.-L. Agnalt, K. Jørstad and E. Farestveit (2009). ”Utvikling av metoder for stabil produksjon av hummeryngel med gode vekstegenskaper, 42 pp. Sluttrapport til Vestlandsrådet for prosjektperioden 2007 -2009. http://www.rup.no/vision/vision7.aspx?hierarchyid=763&type=3.”

Eagles, M., D. Aiken and S. Waddy (1986). ”Influence of light and food on larval American lobster, Homarus americanus.” Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43:2303–2310.

Ekroth, I. och Granryd, E. (1990). ”Tillämpad termodynamik”. Institutionen för mekanisk värmeteori och kylteknik, KTH.

Ervik, A., P. K. Hansen, J. Aure, A. Stigebrandt, P. Johannessen and T. Jahnsen (1997). ”Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming I. The concept of the MOM system (Modelling-Ongrowing fish farms-Monitoring).” Aquaculture 158(1–2), 85-94.

EU (2000). ”Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG, om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område.”

Falk-Petersen, I. B., T. K. Hansen, R. Fieler and L. M. Sunde (1999). ”Cultivation of the spotted wolf fish Anarhichas minor (Olafsen) - a new candidate for cold-water fish farming.” Aquaculture Research 30(9), 711-718.

Feindel, N. J., T. J. Benfey and E. A. Trippel (2010). ”Competitive spawning success and fertility of triploid male Atlantic cod Gadus morhua.” Aquaculture Environment Interactions 1(1), 47-55.

Feindel, N. J., T. J. Benfey and E. A. Trippel (2011). ”Gonadal development of triploid Atlantic Cod Gadus morhua.” Journal of Fish Biology 78(7), 1900-1912.

Fernandes, T. F., A. Eleftheriou, H. Ackefors, M. Eleftheriou, A. Ervik, A. Sanchez-Mata, T. Scanlon, P. White, S. Cochrane, T. H. Pearson and P. A. Read (2001). ”The scientific principles underlying the monitoring of the environmental impacts of aquaculture.” Journal of Applied Ichthyology 17(4), 181-193.

Fernández, I., Bravo, J.I., Mosquera-Corall, A., Pereira, A., Campos, J.L., Méndez, R. and Melo, L.F. (2014). ”Influence of the shear stress and salinity on Anammox biofilms formation: modelling results.” Bioprocess Biosyst Eng, 37: 1955-1961.

Fernandez-Jover, D., L. Martinez-Rubio, P. Sanchez-Jerez, J. T. Bayle-Sempere, J. A. L. Jimenez, F. J. M.

Lopez, P. A. Bjorn, I. Uglem and T. Dempster (2011). ”Waste feed from coastal fish farms: A trophic subsidy with compositional side-effects for wild gadoids.” Estuarine Coastal and Shelf Science 91(4), 559-568.

Ferreira, J. G., A. Sequeira, A. J. S. Hawkins, A. Newton, T. D. Nickell, R. Pastres, J. Forte, A. Bodoy and S. B. Bricker (2009). ”Analysis of coastal and offshore aquaculture: Application of the FARM model to multiple systems and shellfish species.” Aquaculture 289(1-2), 32-41.

Flocazur AB. 2015. ”Utvärdering av Flocazur vattenreningsteknik för fiskodling”. Pilotprojekt EFF. Slutrapport Jordbruksverket.

Folke, C. and N. Kautsky (1989). ”The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture.” Ambio 18(4), 234-243.

Folke, C. and N. Kautsky (1992). ”Aquaculture with its environment - prospects for sustainability.” Ocean & Coastal Management 17(1), 5-24.

Folkvord, A., C. Jørgensen, K. Korsbrekke, R. Nash, T. Nilsen and J. Skjæraasen (2014). ”Trade-offs between growth and reproduction in wild Atlantic cod.” Can. J. Fish. Aquat. Sci. 71, 1106–1112

Foss, A., T. H. Evensen, A. K. Imsland and V. Oiestad (2001). ”Effects of reduced salinities on growth, food conversion efficiency and osmoregulatory status in the spotted wolffish.” Journal of Fish Biology 59(2), 416-426.

Foss, A., A. K. Imsland, I. B. Falk-Petersen and V. Oiestad (2004). ”A review of the culture potential of spotted wolffish Anarhichas minor Olafsen.” Reviews in Fish Biology and Fisheries 14(2), 277-294.

Garcia-Sanz, T., J. Ruiz-Fernandez, M. Ruiz, R. Garcia, M. Gonzalez and M. Perez (2010). ”An evaluation of a macroalgal bioassay tool for assessing the spatial extent of nutrient release from offshore fish farms.” Mar Environ Res 70, 189–200.

García-Sanz, T., J. M. Ruiz-Fernández, M. Ruiz, R. García, M. N. González and M. Pérez (2010). ”An evaluation of a macroalgal bioassay tool for assessing the spatial extent of nutrient release from offshore fish farms.” Marine Environmental Research 70(2), 189-200.

Gjelland, K. O., R. M. Serra-Llinares, R. D. Hedger, P. Arechavala-Lopez, R. Nilsen, B. Finstad, I. Uglem, O. T. Skilbrei and P. A. Bjorn (2014). ”Effects of salmon lice infection on the behaviour of sea trout in the marine phase.” Aquaculture Environment Interactions 5(3).

Grotmol, S., H. Kryvi and G. K. Totland (2005). ”Deformation of the notochord by pressure from the swim bladder may cause malformation of the vertebral column in cultured Atlantic cod Gadus morhua larvae: a case study.” Diseases of Aquatic Organisms 65(2), 121-128.

Hamre, K., T. Mollan, O. Sæle and B. Erstad (2008). ”Rotifers enriched with iodine and selenium increase survival in Atlantic cod (Gadus morhua) larvae. .” Aquaculture 284, 190–195.

Handa, A., S. Forbord, X. X. Wang, O. J. Broch, S. W. Dahle, T. R. Storseth, K. I. Reitan, Y. Olsen and J. Skjermo (2013). ”Seasonal- and depth-dependent growth of cultivated kelp (Saccharina latissima) in close proximity to salmon (Salmo salar) aquaculture in Norway.” Aquaculture 414, 191-201.

Hannah, L., C. M. Pearce and S. F. Cross (2013). ”Growth and survival of California sea cucumbers (Parastichopus californicus) cultivated with sablefish (Anoplopoma fimbria) at an integrated multi-trophic aquaculture site.” Aquaculture 406–407, 34-42.

Hansen, O. J., V. Puvanendran and A. Mortensen (2012). ”Importance of broodstock holding temperature on fecundity and egg quality in three groups of photo-manipulated Atlantic cod broodstock.” Aquaculture Research 44(1), 140-150.

Hansen, P. K., A. Ervik, M. Schaanning, P. Johannessen, J. Aure, T. Jahnsen and A. Stigebrandt (2001). ”Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming: II. The monitoring programme of the MOM system (Modelling–Ongrowing fish farms–Monitoring).” Aquaculture 194(1–2), 75-92.

Hansen, T., O. Karlsen, G. L. Taranger, G. I. Hemre, J. C. Holm and O. S. Kjesbu (2001). ”Growth, gonadal development and spawning time of Atlantic cod (Gadus morhua) reared under different photoperiods.” Aquaculture 203(1-2), 51-67.

Hansen, T. K. and I. B. Falk-Petersen (2001). ”Effects of egg disinfection and incubation temperature on early life stages of spotted wolffish.” Aquaculture International 9(4), 333-344.

Harboe, T., A. Jelmert and A. Lein (2004). Plommesekkfasen. in: Håndbok i kveiteoppdrett. . A. Mangor-Jensen and H. Holm: pp. 37-44.

Harboe, T., A. Mangor-Jensen, K. E. Naas and T. Næss (1998). ”A tank design for first feeding of Atlantic halibut, Hippoglossus hippoglossus L., larvae.” Aquaculture Research 29(12), 919-923.

Hedegärd, M. and T. Wik (2011). ”An online method for estimation of degradable substrate and biomass concentrations in an activated sludge.” Water Research, 45(19) s. 6308-6320.

Heldbo, J., R. Skøtt Rasmussen and S. Holdt Løvstad (2013). ”Bat for fiskeopdræt i Norden, Bedste tilgængelige teknologier for Akvakultur i Norden.” TemaNord 2013:529. ISBN 978-92-893-2560-8. 409 pp.

Helvik, J. V. and B. T. Walther (1993). ”Development of hatchability in halibut (Hippoglossus hippoglossus) embryos.” International Journal of Developmental Biology 37(3), 487-490.

Hiscock, K.M., Lloyd, J.W. and Lerner, D.N. (1991). ”Review of natural and artificial denitrification of ground water.” Water Research, 25(9): 1099-1111.

Howell, B. R. (1997). ”A re-appraisal of the potential of the sole, Solea solea (L.), for commercial cultivation.” Aquaculture 155(1-4), 355-365.

Howell, W. and M. Chambers (2005). ”Growth performance and survival of Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus) grown in submerged net pens.” Bull. Aqua. Assoc. Canada Special Publication No. 9.

Hu, Z., Lotti, T., de Kreuk, M., Kleerebezem, R., van Loosdrecht, M., Kruit, J., Jetten, M. and Kartal, B. (2013). ”Nitrogen removal by a nitritation- anammox bioreactor at low temperature.” Appl. Environ. Microbiol, 79(8): 2807-2812.

Huse, I. and P. A. Jensen (1983). ”A simple and inexpensive spawning and egg collection system for fish with pelagic eggs.” Aquacultural Engineering 2(3), 165-171.

Imsland, A. (2010). 21 The Flatfishes (Order: Pleuronectiformes). 450-496. in: Finfish Aquaculture Diversification 450. M. J. eds N.R. Le François, C. Carter and P.U. Blier: pp. 450-496.

Imsland, A., A. Foss, S. Gunnarsson, M. Berntssen, R. FitzGerald, S. Bonga, E. Ham, G. Nævdal and S. Stefansson (2001). ”The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (Scophthalmus maximus).” Aquaculture 198, 353–367.

Imsland, A., A. Foss, C. LEC, M. Dinis, D. Delbare, E. Schram, A. Kamstra, P. Rema and P. White (2004). ”A review of the culture potential of Solea solea and S. senegalensis.” Reviews in Fish Biology and Fisheries 13, 379–407.

Imsland, A. K., M. Dragsnes and S. O. Stefansson (2003). ”Exposure to continuous light inhibits maturation in turbot (Scophthalmus maximus).” Aquaculture 219(1-4), 911-919.

Imsland, A. K., S. Gunnarsson, A. Foss, B. Sigurdsson and S. Sigurdsson (2009). ”Stocking Density and its Influence on Growth of Spotted Wolffish, Anarhichas minor, in Shallow Raceways.” Journal of the World Aquaculture Society 40(6), 762-770.

Imsland, A. K., S. Gunnarsson, A. Foss, L. O. Sparboe, V. Oiestad and S. Sigurdsson (2007). ”Comparison of juvenile spotted wolffish, Anarhichas minor, growth in shallow raceways and circular tanks.” Journal of the World Aquaculture Society 38(1), 154-160.

Imsland, A. K., S. Gunnarsson, B. Roth, A. Foss, S. Le Deuff, B. Norberg, H. Thorarensen and T. Helming (2013). ”Long-term effect of photoperiod manipulation on growth, maturation and flesh quality in turbot.” Aquaculture 416, 152-160.

Imsland, A. K., A. Gústavsson, S. Gunnarsson, A. Foss, J. Árnason, I. Arnarson, A. F. Jónsson, H. Smáradóttir and H. Thorarensen (2008). ”Effects of reduced salinities on growth, feed conversion efficiency and blood physiology of juvenile Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus L.).” Aquaculture 274(2–4), 254-259.

Imsland, A. K., H. Hanssen, A. Foss, E. Vikingstad, B. Roth, M. Bjornevik, M. Powell, C. Solberg and B. Norberg (2013). ”Short-term exposure to continuous light delays sexual maturation and increases growth of Atlantic cod in sea pens.” Aquaculture Research 44(11), 1665-1676.

Imsland, A. K., P. Reynolds, G. Eliassen, T. A. Hangstad, A. Foss, E. Vikingstad and T. A. Elvegard (2014). ”The use of lumpfish (Cyclopterus lumpus L) to control sea lice (Lepeophtheirus salmonis Kroyer) infestations in intensively farmed Atlantic salmon (Salmo salar L).” Aquaculture 424, 18-23.

Imsland, A. K., P. Reynolds, G. Eliassen, T. A. Hangstad, A. V. Nytro, A. Foss, E. Vikingstad and T. A. Elvegard (2014). ”Assessment of growth and sea lice infection levels in Atlantic salmon stocked in small-scale cages with lumpfish.” Aquaculture 433, 137-142.

Iversen, A., Andreassen, O., Hermansen, Ø., Larsen, T.A. och Terjesen, B.F. (2013). ”Oppdrettsteknologi og konkurransepsisjon.” Nofima Rapport 32/2013.

Johnsen, I. A., O. Fiksen, A. D. Sandvik and L. Asplin (2014). ”Vertical salmon lice behaviour as a response to environmental conditions and its influence on regional dispersion in a fjord system.” Aquaculture

Environment Interactions 5(2).

Jonassen, T. M., A. K. Imsland and S. O. Stefansson (1999). ”The interaction of temperature and fish size on growth of juvenile halibut.” Journal of Fish Biology 54(3), 556-572.

Jonassen, T. M., A. T. Imsland, S. Kadowaki and S. O. Stefansson (2000). ”Interaction of temperature and photoperiod on growth of Atlantic halibut Hippoglossus hippoglossus L.” Aquaculture Research 31(2), 219-227.

Jones, A., M. O’Donohue, J. Udy and W. Dennison (2001). ”Assessing ecological impacts of shrimp and sewage effluent: biological indicators with standard water quality analyses. .” Estuarine Coastal and Shelf Science 52, 91-109.

Jones, P. G., K. L. Hammell, G. Gettinby and C. W. Revie (2013). ”Detection of emamectin benzoate tolerance emergence in different life stages of sea lice, Lepeophtheirus salmonis, on farmed Atlantic salmon, Salmo salar L. J. Fish Dis. 36, 209–220.”.

Jordbruksverket (2014). ”Vattenbruk 2013. Sverige officiella statistik Statistika meddelande JO 60 SM 1401, Jordbruksverket Serie Jordbruk, skogsbruk och fiske. SCB. ISSN
1654-4196.”

Kalantzi, I. and I. Karakassis (2006). ”Benthic impacts of fish farming: Meta-analysis of community and geochemical data.” Marine Pollution Bulletin 52(5), 484-493.

Kankainen, M. and J. Vielma (2013). ”Offshore fish farming technology in Baltic Sea conditions. Reports of Aquabest project 10/2013. 23s. .”

Karakassis, I., M. Tsapakis, E. Hatziyanni, K. N. Papadopoulou and W. Plaiti (2000). ”Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas.” Ices Journal of Marine Science 57(5), 1462-1471.

Karlsen, Ø., K. Skjærven, J. Fernandes, T. van der Meeren, I. Rønnestad and K. Hamre (2015). ”Langtidseffekter av ulike startfôr.” NFExpert 1, 42-43.

Keck, N. and Blanc, G. (2002). ”Effects of formalin chemotherapeutic treatments on biofilter efficiency in a marine recirculating fish farming system.” Aquatic Living Resources, 15: 361-370.

King, N., R. Healey, D. Tucker, S. Hann Haley and D. Boyce (2010). ”Newfoundland Commercial-Scale Atlantic Cod Hatchery Production Technology Project—Live Feed Component. p. 13-16. In Cod Aquaculture. Bulletin of the Aquaculture Association of Canada 108-2. ISSN 0840-5417 Printed by Taylor Printing Group Inc., Fredericton, NB.”

Korsoen, O. J., T. Dempster, J. E. Fosseidengen, O. Karlsen, F. Oppedal, L. H. Stien and T. S. Kristiansen (2013). ”Towards cod without spawning: artificial continuous light in submerged sea-cages maintains growth and delays sexual maturation for farmed Atlantic cod Gadus morhua.” Aquaculture Environment Interactions 3(3), 245-255.

Koster, F. W., E. A. Trippel and J. Tomkiewicz (2013). ”Linking size and age at sexual maturation to body growth, productivity and recruitment of Atlantic cod stocks spanning the North Atlantic.” Fisheries Re-

search 138, 52-61.

Kristiansen, T., A. Drengstig, A. Bergheim, T. Drengstig, I. Kollsgård, R. Svendsen, E. Nøstvold, E. Farestveit and L. Aardal (2004). ”Development of methods for intensive farming of European lobster in recirculated seawater. Results from experiments conducted at Kvitsøy lobster hatchery from 2000 to 2004.” Fisken og havet, nummer 6 - 2004.

Kristjansson, T. (2013). ”Comparison of growth in Atlantic cod (Gadus morhua) originating from the northern and southern coast of Iceland reared under common conditions.” Fisheries Research 139, 105-109.

Kutti, T., A. Ervik and T. Hoisaeter (2008). ”Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. III. Linking deposition rates of organic matter and benthic productivity.” Aquaculture 282(1-4), 47-53.

Labatuta, R. and J. Olivares (2004). ”Culture of turbot (Scophthalmus maximus) juveniles using shallow raceways tanks and recirculation.” Aquacultural Engineering 32, 113–127.

Lander, T. R., S. M. C. Robinson, B. A. MacDonald and J. D. Martini (2012). ”Enhanced growth rates and condition index of blue mussels (Mytilus edulis) held at integrated multitrophic aquaculture sites in the bay of fundy.” Journal of Shellfish Research 31(4), 997-1007.

Le Francois, N., M. Jobling, C. Carter and P. Blier (2010). Finfish Aquaculture - Species Selection for Diversification, CABI Publishing.

Le Francois, N. R., S. G. Lamarre, H. Tveiten, P. U. Blier and J. Bailey (2008). ”Sperm cryoconservation in Anarhichas sp., endangered cold-water aquaculture species with internal fertilization.” Aquaculture International 16(3), 273-279.

Li, X., Y. Liu and J. P. Blancheton (2013). ”Effect of stocking density on performances of juvenile turbot (Scophthalmus maximus) in recirculating aquaculture systems.” Chinese Journal of Oceanology and Limnology 31(3), 514-522.

Lindahl, O., R. Hart, B. Hernroth, S. Kollberg, L.-O. Loo, L. Olrog, A.-S. Rehnstam-Holm, J. Svensson, S. Svensson and U. Syversen (2005). ”Improving marine water quality by mussel farming: a profitable solution for Swedish society.” Ambio 34, 131-138.

MacDonald, B. A., S. M. C. Robinson and K. A. Barrington (2011). ”Feeding activity of mussels (Mytilus edulis) held in the field at an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) site (Salmo salar) and exposed to fish food in the laboratory.” Aquaculture 314(1-4), 244-251.

Mangor-Jensen, A., T. Harboe, J. S. Henno and R. Troland (1998). ”Design and operation of Atlantic halibut, Hippoglossus hippoglossus L., egg incubators.” Aquaculture Research 29(12), 887-892.

Mangor-Jensen, A., T. Harboe, R. Shields, G. B and K. Naas (1998). ”Atlantic halibut, Hippoglossus hippoglossus., larvae cultivation literature, including a bibliography.” Aquaculture Research 29, 857-886.

Mangor-Jensen, A. and J. Holm (2004). Håndbok i kveiteoppdrett. .

Martinez-Aragon, J. F., I. Hernandez, J. L. Perez-Llorens, R. Vazquez and J. J. Vergara (2002). ”Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (Dicentrarchus labrax) waste waters 1. Phosphate.” Journal of Applied Phycology 14(5), 365-374.

Martins, P., D. F. R. Cleary, A. C. C. Pires, A. M. Rodrigues, V. Quintino, R. Calado and N. C. M. Gomes (2013). ”Molecular Analysis of Bacterial Communities and Detection of Potential Pathogens in a Recirculating Aquaculture System for Scophthalmus maximus and Solea senegalensis.” Plos One 8(11).

Mattsson, A. (1997). ”Denitrification in a non-nitrifying activated sludge system employing recirculation from a tertiary nitrification unit.” Dissertation no 13, Department of sanitary engineering, Chalmers University of Technology (ISBN 91-7197-546-2).

Moe, H., R. H. Gaarder, A. Olsen and O. S. Hopperstad (2009). ”Resistance of aquaculture net cage materials to biting by Atlantic Cod (Gadus morhua).” Aquacultural Engineering 40(3), 126-134.

Moksness, E., E. Kjorsvik and Y. Olsen (2004). Culture of cold-water marine fishes. Blackwell Publishing Company, Oxford, UK. 2004. 528pp. ISBN 0-85238-276.

Møller, J. H., K. Teilmann, N. Dalsgaard and L. Jess Plesner (2013). ”Anvendelsesmuligheder for produkter fra integreret blåmusling og havbrugsproduktion etablering af platform for kommerciel anvendelse. Faglig rapport fra Dansk Akvakultur nr. 2013-5.”

Molloy, S. D., M. R. Pietrak, D. A. Bouchard and I. Bricknell (2011). ”Ingestion of Lepeophtheirus salmonis by the blue mussel Mytilus edulis.” Aquaculture 311(1-4), 61-64.

Mortensen, A., H. Toften and K. Aas (2007). ”Cage culture of spotted wolffish (Anarhichas minor Olafsen).” Aquaculture 264(1–4), 475-478.

Murray, F., Bostock, J. and Fletcher, D. (2014). ”Review of recirculation aquaculture system technologies and their commercial application.” Stirling Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK.

Navarrete-Mier, F., C. Sanz-Lazaro and A. Marin (2010). ”Does bivalve mollusc polyculture reduce marine fin fish farming environmental impact?” Aquaculture 306(1-4), 101-107.

Neori, A., T. Chopin, M. Troell, A. H. Buschmann, G. P. Kraemer, C. Halling, M. Shpigel and C. Yarish (2004). ”Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture.” Aquaculture 231(1–4), 361-391.

Nicosia, F. and K. Lavalli (1999). ”Homarid lobster hatcheries: their history and role in research, management, and aquaculture. Marine Fisheries Review 61 (2), 1–57.”.

Oiestad, V. (1999). ”Shallow raceways as a compact, resource-maximizing farming procedure for marine fish species.” Aquaculture Research 30(11-12), 831-840.

Olive, P. J. W. (1999). ”Polychaete aquaculture and polychaete science: a mutual synergism.” Hydrobiologia 402, 175-183.

Olsen, A. and L. Sparboe (2003). ”Flekksteinbit i oppdrett. Rapport Fiskeri och Havbruksnæringens Landsforening, FHL Havbruk. 17s.”

Opstad, I., P. G. Fjelldal, O. Karlsen, A. Thorsen, T. J. Hansen and G. L. Taranger (2013). ”The effect of triploidization of Atlantic cod (Gadus morhua L.) on survival, growth and deformities during early life stages.” Aquaculture 388, 54-59.

Pavlov, D. A. and E. Moksness (1996). ”Swelling of wolffish, Anarhichas lupus L., eggs and prevention of their adhesiveness.” Aquaculture Research 27(6).

Pedersen, L-F, Pedersen, P.B., Nielsen, J.L. and Nielsen, P.H. (2010). ”Long term/low dose formalin exposure to small-scale recirculation aquaculture systems.” Aquacultural Engineering 42: 1-7.

Person-Le Ruyet, J. (2002). ”Turbot (Scophthalmus maximus) Grow-out in Europe: Practices, Results, and Prospects.” Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2(1), 29-39.

Puvanendran, V., H. Toften, H. Tveiten, I. Lein, B.-S. Sæther and H. Johnsen (2015). ”Høyere temperatur i tidlige livsstadier kan forbedre torskens vekst og kvalitet.” NFExpert 1, 8-9.

Reid, G. K., M. Liutkus, A. Bennett, S. M. C. Robinson, B. MacDonald and F. Page (2010). ”Absorption efficiency of blue mussels (Mytilus edulis and M. trossulus) feeding on Atlantic salmon (Salmo salar) feed and fecal particulates: Implications for integrated multi-trophic aquaculture.” Aquaculture 299(1-4), 165-169.

Riaza, A. and J. Hall (1993). ”Large scale production of turbot. In: Reinertsen, H., Dahle, L.A., Jorgensen, L., Tvinnereim, K. ŽEds.., Fish Farming Technology. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 147–148.”.

Rillahan, C., M. Chambers, W. Howell and W. Watson III (2011). ”The behavior of cod (Gadus morhua) in an offshore aquaculture net pen.” 310, 361-368.

Riley, J.P. and Skirrow, G. (1975). ”Chemical Oceanography”. Vol. 4. 2nd ed. Academic Press, London.

Rose, J. M., S. B. Bricker and J. G. Ferreira (2015). ”Comparative analysis of modeled nitrogen removal by shellfish farms.” Marine Pollution Bulletin 91(1), 185-190.

Rosten, T., Terjesen, B., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Biering, E. Och Winther, U. (2013). Lukkede oppdrettsanlegg i sjø – økt kunnskap er nødvendig. VANN, 48(1): 5-13.

Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y. and Lygren, E. (2006). Design an operation of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. Aquacultural engineering, 34:322-331.

Rosenlund, G. and Ó. Halldórsson (2007). ”Cod juvenile production: Research and commercial developments.” Aquaculture 268(1–4), 188-194.

Sæther, B., S. Løkkeborg, O. Humborstad, T. Tobiassen, Ø. Hermansen and K. Midling (2012). ”Fangst og mellomlagraing av villfisk ved oppdrettsanlegg.” NOFIMA rapport 8/2012. ISBN 978-82-7251-961-1 (tryckt), ISBN 978-82-7251-961-8 (pdf).

Schneider, O., E. Schram, J. Kals, J. van der Heul, M. Kankainen and H. van der Mheen (2012). ”Welfare interventions in flatfish recirculation aquaculture systems and their economical implications.” 16(4 (IS)), 399-413.

Schram, E., J. W. Van der Heul, A. Kamstra and M. C. J. Verdegem (2006). ”Stocking density-dependent growth of Dover sole (Solea solea).” Aquaculture 252(2–4), 339-347.

Schram, E., M. Verdegem, R. Widjaja, C. Kloet, A. Foss, R. Schelvis-Smit, B. Roth and A. K. Imsland (2009). ”Impact of increased flow rate on specific growth rate of juvenile turbot (Scophthalmus maximus, Rafinesque 1810).” Aquaculture 292, 46-52.

Scolding, J., A. Powell and D. Boothroyd (2012). ”The effect of ozonation on the survival, growth and microbiology of the European lobster (Homarus gammarus).” AQUACULTURE 364, 217-223

Shields, R. (2001). ”Larviculture of marine finfish in Europe.” Aquaculture 200, 55–88.

Skår, C. K. and S. Mortensen (2007). ”Fate of infectious salmon anaemia virus (ISAV) in experimentally challenged blue mussels Mytilus edulis. .” Diseases of Aquatic Organisms
74, 1-6.

Skjermo, J., I. Aasen, J. Arff, O. Broch, A. Carvajal, H. Christie, S. Forbord, Y. Olsen, K. Reitan, T. Rustad, J. Sandquist, R. Solbakken, K. Steinhovden, B. Bernd Wittgens, R. Wolff and A. Handå (2014). ”A new Norwegian bioeconomy based on cultivation and processing of seaweeds: Opportunities and R&D needs. SINTEF Fisheries and Aquaculture report 46s. .”

Small D. P. (2013) ”The effects of elevated temperature and pCO2 on the developmental eco-physiology of the European lobster, Homarus gammarus (L.).” Doktorsavhandling Universitetet i Plymouth, England.

Soto, D. and F. Norambuena (2004). ”Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: a large-scale mensurative experiment.” Journal of Applied Ichthyology 20(6), 493-501.

Stigebrandt, A., J. Aure, A. Ervik and P. K. Hansen (2004). ”Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming - III. A model for estimation of the holding capacity in the Modelling-Ongrowing fish farm-Monitoring system.” Aquaculture 234(1-4), 239-261.

Sommerfelt, S.T. (2003). ”Ozonation and UV-radiation – an introduction and examples of current applications.” Aquacultural Engineering, 28:21-36.

Sundelof, A., V. Bartolino, M. Ulmestrand and M. Cardinale (2013). ”Multi-Annual Fluctuations in Reconstructed Historical Time-Series of a European Lobster (Homarus gammarus) Population Disappear at Increased Exploitation Levels.” Plos One 8(4).

Summerfelt, S. T., J. W. Davidson, T. B. Waldrop, S. M. Tsukuda and J. Bebak-Williams (2004). ”A partial-reuse system for coldwater aquaculture.” Aquacultural Engineering 31(3–4), 157-181.

Sund, T. and I. B. Falk-Petersen (2005). ”Effects of incubation temperature on development and yolk sac conversion efficiencies of spotted wolffish (Anarhichas minor Olafsen) embryos until hatch.” Aquaculture Research 36(11), 1133-1143.

Svåsand, T., H. Otterå and T. GL (2004). The Status and Perspectives for the Species. in: Culture of Cold-Water Marine Fish. E. Moksness, E. Kjørsvik and Y. Olsen: pp. 433-444.

Svedang, H., E. Neuman and H. Wickstrom (1996). ”Maturation patterns in female European eel: Age and size at the silver eel stage.” Journal of Fish Biology 48(3), 342-351.

Taranger, G., M. Carrillo, R. Schulz, P. Fontaine, S. Zanuy, A. Felip, F. Weltzien, S. Dufour, O. Karlsen, B. Norberg, E. Andersson and T. Hausen (2010). ”Control of puberty in farmed fish.” Gen. Comp. Endocrinol. 165(Suppl. 3), 483-515.

Taranger, G. L., L. Aardal, T. Hansen and O. S. Kjesbu (2006). ”Continuous light delays sexual maturation and increases growth of Atlantic cod (Gadus morhua L.) in sea cages.” Ices Journal of Marine Science 63(2), 365-375.

Tal, Y., Watts, J. and Schreider, H. (2006). ”Anaerobic Ammonium-Oxidizing (Anammox) Bacteria and Associated Activity in Fixed-Film Biofilters of a Marine Recirculating Aquaculture System.” Applied and Environmental Microbiology, 72(4): 2896-2904.

Tal, Y. Schreider, H.J., Sowers, K.R., Stubblefield, J.D., Place, A.R. and Zohar, Y. (2009). ”Environmentally sustainable land-based marine aquaculture.” Aquaculture, 286: 28-35.

Terjesen, B.F., Summerfelt, S.T., Nerland, S., Ulgenes, Y., Fjæra, S.O., Megård
Reiten, B.K., Selset, R., Kolarevic, J., Brunsvik, P., Bæverfjord, G., Takle, H., Kittelsen, A.H. and Åsgård, T. (2013). ”Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in RAS environments.”
Aquacultural Engineering, 54(0):49-63.

Torrissen, O., S. Jones, F. Asche, A. Guttormsen, O. T. Skilbrei, F. Nilsen, T. E. Horsberg and D. Jackson (2013). ”Salmon lice - impact on wild salmonids and salmon aquaculture.” Journal of Fish Diseases 36(3), 171-194.

Trippel, E. A., T. J. Benfey, S. R. E. Neil, N. Cross, M. J. Blanchard and F. Powell (2008). ”Effects of continuous light and triploidy on growth and sexual maturation in Atlantic cod, Gadus morhua.” Cybium 32(2), 136-138.

Troell, M. (2009). ”Integrated marine and brackishwater aquaculture in tropical regions: research, implementation and prospects. In D. Soto (ed.). Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529. Rome, FAO. pp. 47–131.”.

Troell, M., J. A, T. Chopin, A. Neori, A. Buschmann and G. Fang (2009). ”Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems.” Aquaculture 297(1-4), 1-9.

Tveiten, H., S. E. Solevag and H. K. Johnsen (2001). ”Holding temperature during the breeding season influences final maturation and egg quality in common wolffish.” Journal of Fish Biology 58(2), 374-385.

Uglem, I. (1995). ”Håndbok i hummeryngeloppdrett,” Havforskningsinstituttet, Bergen, Norway. 68 s.

Uglem, I., O. Knutsen, O. S. Kjesbu, O. J. Hansen, J. Mork, P. A. Bjorn, R. Varne, R. Nilsen, I. Ellingsen and T. Dempster (2012). ”Extent and ecological importance of escape through spawning in sea-cages for Atlantic cod.” Aquaculture Environment Interactions 3(1), 35-51.

Ungfors, A. and S. Lindegarth (2014). ”Småskalig marin fiskodling och levandelagring - beskrivning av teknik och ekonomi. Samförvaltning Norra Bohuslän och Vattenbrukscentrum Väst. 78 s. http://www.samforvaltningnorrabohuslan.se.

Wik, T., C. Breitholtz (1996). Steady state solution of a two-species biofilm problem. Biotechnology and Bioengineering, 50(6):675-686.

Üstündağ, C., Y. Çiftci and F. Sakamoto (2002). ”Rearing of Larvae and Juveniles of Black Sea Turbot, Psetta maxima, in Turkey.” Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2(1), 13-17.

van Bussel, C., J. Schroeder, S. Wuertz and C. Schulz (2012). ”The chronic effect of nitrate on production performance and health status of juvenile turbot (Psetta maxima).” Aquaculture 326–329, 163–167.

van Bussel, C. G. J., J. P. Schroeder, S. Wuertz and C. Schulz (2012). ”The chronic effect of nitrate on production performance and health status of juvenile turbot (Psetta maxima).” 326–329, 163-167.

van der Meeren, T. and V. P. Ivannikov (2006). ”Seasonal shift in spawning of Atlantic cod (Gadus morhua L.) by photoperiod manipulation: egg quality in relation to temperature and intensive larval rearing.” Aquaculture Research 37(9), 898-913.

van der Meeren, T., Ø. Karlsen, A. Mangor-Jensen, I. Rønnestad and K. Hamre (2015). ”Effekter av byttedyrtype på vekst hos torskelarver: Naturlig dyreplankton versus hjuldyr og saltkreps.” NFExpert 1, 10-13.

van der Meeren, T. and T. Lønøy (1998). ”Use of mesocosms in larval rearing of saithe Pollachius virens (L.), goldsinny Ctenolabrus rupestris (L.), and corkwing Crenilabrus melops (L.).” Aquacultural Engineering 17(4), 253-260.

van der Meeren, T. and K. E. Naas (1997). ”Development of rearing techniques using large enclosed ecosystems in the mass production of marine fish fry.” Reviews in Fisheries Science 5(4), 367-390.

VattenbruksCentrum Norr AB. 2015. Översiktlig ekonomisk analys av kandidatarterna - havskatt, piggvar, hälleflundra, , tunga, torsk och hummer, 16s. Konsultuppdrag på uppdrag av Göteborgs Universitet.

Wang, X., K. Andresen, A. Handa, B. Jensen, K. Reitan and Y. Olsen (2013). ”Chemical composition and release rate of waste discharge from an Atlantic salmon farm with an evaluation of IMTA feasibility. .” Aquaculture environment interactions 4(2), 147-162.

Wang, X. X., O. J. Broch, S. Forbord, A. Handa, J. Skjermo, K. I. Reitan, O. Vadstein and Y. Olsen (2014). ”Assimilation of inorganic nutrients from salmon (Salmo salar) farming by the macroalgae (Saccharina latissima) in an exposed coastal environment: implications for integrated multi-trophic aquaculture.” Journal of Applied Phycology 26(4), 1869-1878.

Wenblad, A., S. Lindegarth and A. Hanning (2012). ”Maritima kluster i Västra Götaland 2012. 48 s.”

Wickins, J. F. and D. O. C. Lee (2002) ”Crustacean Farming, Ranching and Culture.” Blackwell Science Ltd (2nd ed.), Oxford. UK. 446pp.

Wold, P.-A., A. Buran Holan, G. Øie, K. Attramadal, I. Bakke, O. Vadstein and T. Leiknes (2014). ”Effects

of membrane filtration on bacterial number and microbial diversity in marine recirculating aquaculture system (RAS) for Atlantic cod (Gadus morhua L.) production." Aquaculture 422–423, 69–77.

Yokoyama, H. (2013). "Growth and food source of the sea cucumber Apostichopus japonicus cultured below fish cages — Potential for integrated multi-trophic aquaculture." Aquaculture 372–375, 28–38.

Zheng, K., W. Fang, F. Kong, Q. Chang and M. Liang (2010). "Feeding rhythm and optimal feeding time for turbot Scophthalmus maximus L juvenile." Fishery modernization 5, 26-30.

Zhu, S. and Chen, S. (2002). The impact of temperature on nitrification rate in fixed film biofilters. Aquacultural Engineering, 26: 221-237

Bilaga 1. Företagsinformation

Ett urval av företag, dock inte ämnat att vara heltäckande, men flera viktiga aktörer medtagna inom respektive art.

HÄLLEFLUNDRA
Sterling White Halibut, Marine Harvest Ltd, Norge
I detta företag finns stamfiskanläggning och kläckeri för hälleflundra i Reipholmen i Rørvik i Nord Trøndelag i mitten av Norge. Yngelproduktionen bedrivs i Imsland och Helland i Vindafjorden och tillväxt i kasse i Vassvik och Kjeurda, Hjelmeland, norr om Stavanger. Ytterligare bearbetning, försäljning och administration är i Hundsnes i Hjelmeland.
För ytterligare information: http://www.sterlingwhitehalibut.com

Nordic SeaFarm, Norge
Företaget grundades 1995 och har gradvis vuxit till att bli en av de ledande aktörerna för odling av hälleflundra i världen. Alla produktionsled från avel till slakt ombesörjs via flera dotterbolag. I Midsund sker avel och ägginkubation; larvperioden, startfodring och tillvänjning till pelleterat foder och tillväxt upp till en vikt om 5 gram sker i Askøy; juvenil tillväxt upp till 0,5 kg sker i Averøy i landbaserade tankar medan den fortsatta tillväxten sker i kasse i Eide. Huvudkontor och säljavdelning ligger i Bergen. Bolagets mål är att vara att bli självförsörjande på yngel och nå fullt utnyttjande av befintlig produktionskapacitet om 2000 ton.
För ytterligare information: www.nordicseafarms.no

Scotian Halibut, Kanada
Företaget håller till i sydvästra Nova Scotia dels i Clark's Harbour där kläckning och yngelproduktion sker dels i Wood's Harbour där landbaserad tillväxt bedrivs. Försäljningspris för hel, rensad hälleflundra från odlingen ligger på ca. 150 SEK/kg.
För ytterligare information: http://www.halibut.ns.ca/

Sogn & Aqua AS, Norge
Sogn Aqua AS, Sognefjorden, norr om Bergen är en landbaserad anläggning, som pumpar upp djupvatten från 100 m djup med stabil temperatur om 8°C och 35 ppt. Låg designade lokaler används för att smälta in i naturliga omgivningen, och odlingsrännorna ligger i terrasser på fjället ovanför fjorden. 100 gram juveniler (15 cm) köps in och tillåts växa i 3-4 år till slaktvikt om 2-7+ kg.
För ytterligare information: http://www.sognaqua.no/

Otter Ferry Seafish Ltd, Skotland
Yngelproduktionen i detta företag sker i Otter Ferry, Tighnabruaich, Argyll, Östra Skottland. När juvenilerna är 1,5 år gamla transporteras de till en landbaserad anläggning på ön Gigha där den odlas i ytterligare 2,5 år tills slakt. Produktionen marknadsförs som miljövänlig och organisk, där bl.a. endast fiskrens används som fiskproteinkälla i fodret. En del av hällerflundraproduktionen förädlas på Gigha genom rökning i en process där man använder träspån från använda whiskyfat. Den rökta hälleflundran kan köpas direkt från odlingen via företagets hemsida www.gighahalibut.co.uk/ för 950 SEK/kg (75 £/kg). Se också www.theguardian.com/lifeandstyle/2013/may/22/farmed-gigha-halibut-chefs-environment.

TORSK (forskningsprojekt)
CODE-projektet, norskt utvecklingsprojekt om torsk.
Läs mer på: www.imr.no/filarkiv/2015/02/nfe1_code_low_res.pdf/nb-no

EirCod, torskodlingprojekt på Irland
För ytterligare information: http://www.ryaninstitute.ie/facilities/carna-research-station/research/eircod/

PIGGVAR
France Turbot (Groupe Adrien), Frankrike. Företaget började redan med odling av piggvar under 1980-talet, och driver nu med på kläckning och egen tillväxtodling i landbaserade system. Företaget anger att det tar upp mot 30 månader från äggstadier till marknadsstorlek (0,5-3 kg), och att fisken handmatas. Olika storlekar av piggvar försäljes under certifieringen Label Rouge.
För ytterligare information: www.franceturbot.com

Maximus A/S, Danmark
Maximus anläggning i Danmark föder upp sin piggvar på egenodlade levande foder. Dessa copepoder av olika stammar föds upp i 2200 m3 betongtankar. Ingående vatten filtreras och UV-behandlas för att bli av med vilda copepoder och parasiter. Maximus är nöjda med detta levande foder som ger sätt fettsyrasammansättning, med hög jämn tillväxt. Problemet för Maximus AS är inte födan då fodertekniken är under full kontroll, utan de brottas med höga sommartemperaturer > 21 °C och begränsad tillgång till piggvarslarver med gulesäck. Tillförsel av näring sker för bildning av grönvatten, och justeras med hänsyn till mängden klorofyll-a. Copepoder står för näringsriktig föda men den största födan i kvantitet är fortfarande Artemia.

Maximus anläggning i Danmark påbörjar tillvänjning av torrfoder inomhus i 4 m2 tankar när larverna gått 3 till 4 veckor i betongtankarna utomhus på copepoder. Företaget använder inte Artemia i övergångsfasen, som de anser friska piggvarsynglen inte behöver vilket även minskar risken för sjukdomsutbrott (t ex Vibrio) som kan följa med Artemia. Företaget använder först 300-500 µm foder från Inve, som sedan ökas till 2-3 mm piller från Biomar. Företaget har utvecklat automatiska foderapparater som klarar dessa små foderstorlekar, vilket effektiviserar arbetet. Främst producerar Maximus AS piggvarsyngel om 5 till 10 gram för vidareförsäljning till tillväxt (ca 1månad larvfas, 3-4 månader juvenilfas). Med hjälp av bortsortering av yngel med felpigmentering garanteras att minst 99 % av ynglen har rätt pigmentering på ovansidan. Maximus är dock nu (år 2014-2015) under ombyggnad, och piggvarsverksamheten osäker då den ingår i ett nytt konsortium.
För ytterligare information: www.maximus-fry.dk

Stolt Sea Farm, ProdemarTM Turbot, Spanien
Prodemar köptes 1993 av Stolt Sea Farm och producerade 500 000 5 grams juveniler årligen under 1995 och 1996. Under 1997 fördubblades produktionspotentialen. Idag har företaget produktionskapacitet för 5400 ton årligen främst då i Galicien, men innefattar även Portugal, Frankrike, Island och Norge.
För ytterligare information: www.prodemar.com

SeaFarm BV, Holland
Företaget grundades år 1993 av Adri Bout, som kommer ifrån en fiskarfamilj. De har idag ca. 20 anställda och driver med både piggvarsodling och vildfångade skaldjur som knivmussla och handplockade hjärtmussla. 200 ton ekologisk piggvar produceras årligen i ett slutat RAS-system, som erhållit s.k. grönt certifikat från holländska myndigheter och fisken säljes under Label Rouge. Vattnet hålls omkring 16°C. Energi tas ifrån SloeCentrale, en låg-emission anläggning som drivs på gas/ångturbiner.

Vatten kommer ifrån en saltvattenkälla och återanvänds flera gånger för att reducera vattenförbrukningen varför man använder mekaniska och biologiska filter. Man utnyttjar gravitationskraften optimalt för att reducera energiåtgång vid pumpning. Vatten pumpas upp en gång och sedan fördelas med denna kraft till

karen i hyllsystem. Vattenkvalitet övervakas och kan justeras vid behov. Det behövs ingen extra uppvärmning. Antibiotika används inte, fisken hålls frisk genom optimal vattenkvalitet och låg stress. Företaget anger att det tar 1,5-2 år till marknadsstorlek (0,4-2 kg levande vikt). Företaget har utvecklat en egen storlekssorteringsmaskin, där piggvaren sorteras baserad på vikt innan de återförs till olika tankar.
För ytterligare inforamtion: www.seafarm.nl

HAVSKATT

Tomma Marinfisk

Tomma Marinfisk producerade under perioden 2003-2006 nästan 100 000 juveniler och 100 ton matfisk årligen. I februari 2007 orsakade ett pumphaveri att stamfiskarna och hälften av produktionen dog. Utan förmågan att producera yngel, och p.g.a. skulder efter egenfinansierad FOU, valde ägaren att lägga ner företaget. Ett nytt bolag, Tomma Steinbit, skapades för att bygga upp ett nytt stamfiskbestånd. Utvecklingen av vattenbruk för fläckig havskatt har därför stått stilla då det inte fanns andra aktörer som bedrev kläckning av arten och därmed fanns det ingen som kunde upprätthålla kontinuiteten i leveransen av matfisk.

HUMMER

Orkney Lobster Hatchery, Orkneyöarna, Skottland

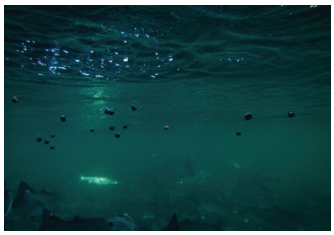
Verksamheten startade 1986 och drivs sedan 2006 av Orkney Sustainable Fisheries. Odlingen är avsedd för stödutsättning av juveniler runt Orkneyöarna. Man tar in vilda honor med färdig rom och kläcker i anläggningen. För larvstadierna används inkubatorer på 70 l, och för de bottenlevande stadierna Aquahives. Anläggningen producerar >60 000 PL 4-6 för stödutsättning varje säsong.
För ytterligare information: http://www.orkneylobsterhatchery.co.uk/

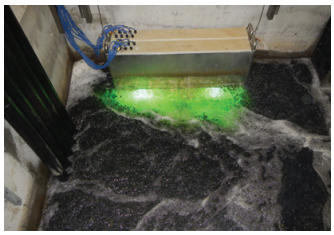
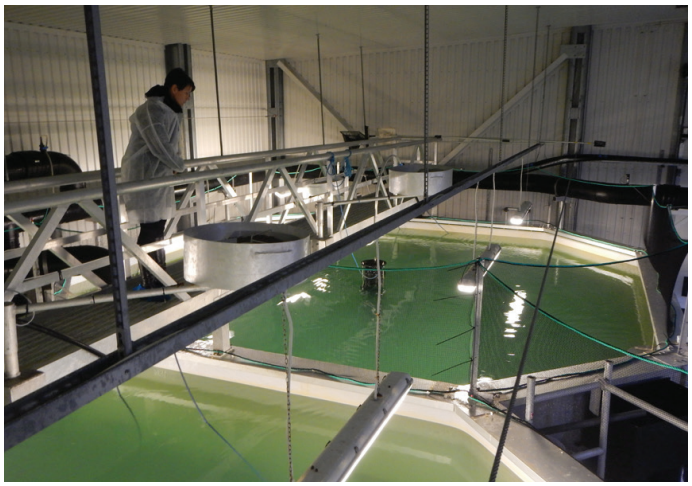
National Lobster Hatchery, Padstow, England

Verksamheten startade år 2000 och drivs av en icke-vinstdrivande organisation med en styrelse. I styrelsen ingår forskare, representanter för kustfisket och Conservation Authority (IFCA) samt medlemmar av det lokala samhället. Anläggningen har några stycken permanent personal men en stor del av arbetet görs ideellt. I anslutning till kläckeriet finns en publik del där allmänheten får information om hummerns biologi och om arbetet på anläggningen. De juveniler som produceras kläcks från vilda honor med färdig rom och stödutsätts i området. Anläggningen har idag en kapacitet för 6 Aquahives och producerar ca 50-75000 PL 4-6 för stödutsättning varje säsong.
För ytterligare information: http://www.nationallobsterhatchery.co.uk/

Norwegian Lobster Farm AS, Stavanger, Norge

Verksamheten startade år 2006 och drivs av ett aktiebolag. Anläggningen håller avelsdjur för att säkerställa larvproduktion då fångstsäsongen är kort i området. Man producerar larver över hela året genom att manipulera miljön och anläggningen är ett högteknologiskt och helautomatiserat RAS system med robotteknik för sortering av larver. Verksamheten har en 3-dimensionell tillväxtenhet och producerar hummer i portionsstorlek på ca 300 g.
För ytterligare information: http://www.norwegian-lobster-farm.com



EUROPEISKA UNIONEN
Europeiska fiskerifonden
- En satsning på hållbart fiske -

FISKEOMRÅDE
BOHUSLÄN

VÄSTRA
GÖTALANDSREGIONEN

www.vbcv.science.gu.se

GÖTEBORGS
UNIVERSITET