

# ÖVERSIKT AV TEKNIKER FÖR ODLING AV VATTENLEVANDE ORGANISMER I SVERIGE

– miljöpåverkan, odlingssystem, odlingsarter och foder



FOTO: DANIEL WIKBERG

Susanne Eriksson, Göteborgs universitet

Markus Langeland, Sveriges lantbruksuniversitet

Daniel Wikberg, Vattenbrukscentrum Norr AB

Jonas Nilsson, Göteborgs universitet

Kristina Snuttan Sundell, Göteborgs universitet

Detta är en rapport som har tagits fram på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten och innebär inte något ställningstagande från Havs- och vattenmyndighetens sida.



2017 rapportering av <sup>1</sup>Susanne Eriksson, <sup>2</sup>Markus Langeland, <sup>3</sup>Daniel Wikberg, <sup>4</sup>Jonas Nilsson, <sup>1</sup>Kristina Snuttan Sundell  
<sup>1</sup>SWEMARC & institutionen för biologi och miljövetenskap, Göteborgs universitet, <sup>2</sup>Institutionen för husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, <sup>3</sup>Vattenbrukscentrum Norr AB, <sup>4</sup>Juridiska institutionen, Göteborgs universitet på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten.

Konsulter:

Tina Hedlund, Aquanord AB, Krokomp med fokus på öppna system för intensiv fiskodling i öppna system och dess miljöpåverkan samt lokalisering och övervakning

Daniel Bergfors, Umlax AB, fokus på praktisk odlarkunskap för intensiv fiskodling i öppna system

Granskad av:

Anders Alanärrä, professor, institutionen för Vilt, Fiske och Miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet

Överlämnad till Havs- och vattenmyndigheten den 30 november 2017.

Reviderad och uppdaterad med nya referenser den 15 Mars 2019.



GÖTEBORGS  
UNIVERSITET



VATTENBRUKSCENTRUM  
NORR AB

# INNEHÅLL

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>FÖRORD</b>                                          | <b>5</b>  |
| <b>SAMMANFATTNING</b>                                  | <b>6</b>  |
| <b>BAKGRUND</b>                                        | <b>8</b>  |
| <b>METOD OCH AVGRÄNSNINGAR</b>                         | <b>11</b> |
| <b>ÖPPNA SYSTEM FÖR INTENSIV FISKODLING</b>            | <b>12</b> |
| <b>TEKNIK OCH DRIFT</b>                                | <b>12</b> |
| KASSODLING                                             | 12        |
| OFFSHORE ODLING INKLUSIVE NEDSÄNKTA SYSTEM             | 16        |
| <b>MILJÖPÅVERKAN</b>                                   | <b>16</b> |
| KASSODLING                                             | 16        |
| LÄCKAGE AV FOSFOR FRÅN FODERPELLETS                    | 18        |
| OFFSHORE ODLING INKLUSIVE NEDSÄNKTA SYSTEM             | 20        |
| <b>ÖPPNA SYSTEM FÖR MARIN EXTENSIV ODLING</b>          | <b>20</b> |
| <b>TEKNIK OCH DRIFT</b>                                | <b>20</b> |
| MUSSLOR                                                | 20        |
| OSTRON                                                 | 20        |
| SJÖPUNGAR                                              | 22        |
| MAKROALGER                                             | 22        |
| <b>MILJÖPÅVERKAN</b>                                   | <b>22</b> |
| MUSSLOR                                                | 22        |
| OSTRON                                                 | 23        |
| MAKROALGER                                             | 23        |
| SKYDDSODLING/FÅNGGRÖDOR                                | 23        |
| KOMBINERAD EXTENSIV OCH INTENSIV ODLING I ÖPPNA SYSTEM | 24        |
| <b>SEMISLUTNA SYSTEM FÖR INTENSIV ODLING</b>           | <b>26</b> |
| <b>TEKNIK OCH DRIFT</b>                                | <b>26</b> |
| MJUKA SKAL                                             | 26        |
| HÅRDA SKAL                                             | 27        |
| <b>MILJÖPÅVERKAN</b>                                   | <b>30</b> |
| <b>SLUTNA SYSTEM FÖR INTENSIV ODLING</b>               | <b>31</b> |
| <b>TEKNIK OCH DRIFT</b>                                | <b>31</b> |
| PARTIELL OCH FULL RAS                                  | 31        |
| AKVAPONIK                                              | 37        |
| IMTA PÅ LAND I RAS                                     | 38        |
| BIOFLOC                                                | 38        |
| <b>MILJÖPÅVERKAN</b>                                   | <b>38</b> |
| ENERGIFÖRBRUKNING                                      | 38        |
| TEKNIKBEROENDE                                         | 39        |
| UTGÅENDE VATTEN                                        | 39        |
| SLAM                                                   | 39        |
| LANDYTA                                                | 40        |
| <b>ARTER FÖR ODLING</b>                                | <b>40</b> |
| <b>LAXFISKAR</b>                                       | <b>40</b> |
| <b>AVEL</b>                                            | <b>42</b> |
| <b>DIVERSIFIERING</b>                                  | <b>43</b> |
| <b>FISKYNGELPRODUKTION</b>                             | <b>45</b> |

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>NYA FISKARTER – NYA UTMANINGAR</b>             | <b>46</b> |
| INHEMSKA ABBORRFISKAR                             | 46        |
| MARINA KANDIDATARTER                              | 46        |
| ARTER FÖR SEMISLUTNA SYSTEM                       | 47        |
| TROPISKA FISKARTER                                | 48        |
| <b>BOTTENLEVANDE RYGGRADSLÖSA DJUR</b>            | <b>48</b> |
| SÖTVATTENSKRÄFTOR – TRADITIONELLT ODLADE I DAMMAR | 48        |
| HUMMERODLINGSFÖRSÖK                               | 48        |
| BOTTENLEVANDE ARTER FÖR IMTA ODLING               | 48        |
| TROPISKA KRÄFTDJUR (BIOFLOC)                      | 49        |
| <b>MUSSLOR, OSTRON OCH SJÖPUNGAR</b>              | <b>50</b> |
| <b>ALGER OCH VÄXTER</b>                           | <b>51</b> |
| <b>NÄRINGSBEHOV OCH FODER</b>                     | <b>52</b> |
| <b>NÄRINGSBEHOV</b>                               | <b>53</b> |
| <b>FODERRÅVAROR</b>                               | <b>54</b> |
| FISKMJÖL OCH FISKOLJEANVÄNDNING                   | 55        |
| VEGETABILISKA FODERRÅVAROR                        | 57        |
| ANIMALISKA FODERRÅVAROR                           | 58        |
| MIKROBIELLA FODERRÅVAROR                          | 60        |
| <b>KEMIKALIER OCH LÄKEMEDEL</b>                   | <b>61</b> |
| <b>LOKALISERING</b>                               | <b>63</b> |
| <b>ÖVERVAKNING AV MILJÖPÅVERKAN</b>               | <b>65</b> |
| <b>EKONOMISKA ASPEKTER</b>                        | <b>67</b> |
| <b>SLUTSATSER</b>                                 | <b>68</b> |
| <b>REFERENSER</b>                                 | <b>70</b> |
| <b>PUBLICERADE REFERENSER</b>                     | <b>70</b> |
| <b>EJ PUBLICERADE REFERENSER</b>                  | <b>84</b> |
| <b>HEMSIDOR</b>                                   | <b>85</b> |
| <b>APPENDIX</b>                                   | <b>86</b> |
| <b>ENKÄT –UTSKICK</b>                             | <b>86</b> |
| <b>SAMMANFATTNING ENKÄTSVAR</b>                   | <b>87</b> |
| ORDLISTA                                          | 88        |

# FÖRORD

Denna rapport har tagits fram av Göteborgs universitet (GU), Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Vattenbrukscentrum Norr AB (VBCN) på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten (HaV) och beskriver tillgängliga och möjliga odlingstekniker för odling av vattenlevande organismer i svensk miljö. Rapporten är en kunskapssammanställning om odlingstekniker och dess belastning/påverkan på miljön utifrån naturvetenskapliga aspekter och publicerade data. Sammanställningen ger en beskrivning av tekniker som kan användas i Sverige för odling av vattenlevande organismer (fisk, blötdjur, skaldjur, alger) i sötvattens- och havs-

vattensmiljöer samt i landbaserade odlingsmiljö. Rapporten redogör för om teknikerna är industriellt tillgängliga eller på experimentstadiet samt för det aktuella kunskapsläget inom området.

Kunskapssammanställningen kommer att utgöra ett av underlagen till Havs- och vattenmyndighetens arbete med vägledning men innebär inte något ställningstagande från myndighetens sida. Författarna ansvarar för innehåll och sammanfattningar i rapporten.

Göteborg, november, 2017

*Björn Sjöberg*

Avdelningschef, Havs och Vattenmyndigheten, HaV

**Havs  
och Vatten  
myndigheten**

## SAMMANFATTNING

Inom vattenbruket går teknikutveckling av miljömässigt hållbara produktionsformer fort framåt, både vad gäller de mer traditionella öppna systemen och de nyare halvslutna och slutna odlingssystemen. Olika tekniker är lämpliga i olika typer av habitat, men det kan också vara flera tekniker som passar väl in i samma habitat. Vidare varierar den lämpligaste tekniken också beroende på art och storlek på fisken som odlas. En del system med potential är fortfarande endast på prototypstadiet men många andra är under ständig utveckling och drivs i mindre kommersiell skala parallellt med teknikutvecklingen.

Denna rapport är en kunskapssammanställning som ger en översikt av olika odlingstekniker som idag antingen används i kommersiella odlingar, testas i mindre skala eller är på prototypstadiet, men som alla har potential att kunna användas i Sverige. Rapporten innehåller också en beskrivning av miljöpåverkan i stort av de olika typerna av tekniker, samt har ett speciellt fokus på foderingredienser som idag används inom vattenbruk av fisk samt de som är under utveckling. Odlingsteknikerna är under ständig och snabb utveckling, både vad gäller reningssystem, anläggningarnas typ, vattenåtgång, diversifiering av arter, integrering mellan arter, etc. Dessa nya tekniker har en stor potential för minskad miljöbelastning men kan behöva utvecklas genom fortsatt forskning och tekniska innovationer.

Majoriteten av den svenska vattenbruksproduktionen sker idag i öppna system, med välbeprövad odlingsteknik där odlingen står i direkt kontakt med den omgivande miljön. Ett fåtal storskaliga odlare med öppna kassar finns i Sverige, som producerar hundratal till tusentals ton fisk per år. Miljöpåverkan sker huvudsakligen genom utsläpp av närsalter och organiskt material via metaboliter, fekalier och foderrester. Nätkassar för fisk är öppna odlingssystem med naturlig genomströmning av vatten och därmed också tillförsel av syre. Det är mindre lämpligt att placera denna typ av odlingssystem i näringsbelastade, s.k. eutrofa eller hypertrofa, miljöer. Även om de lokala miljöförutsättningarna finns, med god vattenomsättning och måttligt näringsrik (mesotrof) miljö, så bör förhållandena i recipienten i stort beaktas då lösta ämnen kan transporteras med strömmar in i närliggande områden. Landbaserade öppna anläggningar med vattengenomflöde används huvudsakligen till sättfiskproduktion. I vissa av dessa anläggningar får vattnet passera fritt igenom, medan andra samlar upp

en stor del av det partikulära materialet före utloppet i recipienten.

I marin och brackvattenmiljö sker även öppen, extensiv odling där organismerna lever fastsittande på odlingssubstratet (ex linor, nät) eller i burar/kassar på botten och tar upp näring och mat direkt från vattnet eller från botten och binder in i biomassa. Blåmusslor odlas i kommersiell skala (~1 500 ton) fr.a. på västkusten. Denna typ av odlingsorganismer extraherar näring från miljön och utgör vid skörd en positiv ekosystemtjänst. Samodling av fisk och extraktiva arter utgör också delar i s.k. IMTA (Integretad multitrophic aquaculture), integrerade havsbaserade flerartsodlingssystem där de extraktiva arterna kan balansera nettoeffekten av en fiskodling där näring tillförs. De kan också fungera som skyddsodling i näringsbelastade miljöer. Det finns fler potentiella extraktiva arter i marin miljö (ex sjöpungar, ostron, brunalgen sockertare och sedimentätande djur) än det gör i brackvatten- och sötvattensmiljöer. Det finns vidare potential för samodling genom flöde av näringsämnen från ”matat” vattenbruk upp på land, till odling av växter, s.k. akvaponik samt flöde av näringsämnen från olika typer av vattenbruk till odling av insekter, men dessa system hanteras inte i denna rapport.

Inom den norska laxindustrin sker smoltproduktionen på land. Utvecklingen går mot produktion av större smolt samt i mer slutna system. Slutlig tillväxt sker oftast i traditionella öppna kassar. Men även här sker en teknikutveckling som leder mot mer slutna/kontrollerbara system i havet. De stora drivkrafterna för dessa teknikutvecklingar är att minska angrepp av parasiter och patogener, reducera rymningar samt öka produktiviteten genom förbättrad hälsa och välfärd hos den odlade fisken. Fokus ligger på att öka barriärerna, dvs. minska utbytet mellan de odlade fiskarna och omgivningen, samt på ökad kontroll av miljön inne i odlingen. Detta leder till minskad inverkan på miljön, exempelvis utsläpp av näringsämnen effekter på ekosystem, men också till en stabilare och bättre anpassad miljö för de odlade organismerna.

I nya typer av semislutna eller slutna odlingssystem finns möjlighet till ökad kontroll och optimering av fiskens miljö, mindre utbyte och därmed mindre påverkan på miljön i form av t.ex. rymningar och närsaltsbelastning. I semislutna odlingssystem i hav eller sjö, är fisken instängd i ett hårt eller mjukt yttre hölje (skal) och har ingen direktkontakt med omgivande miljön. Vatten pumpas in i odlingen från valfritt djup under odlingen och leds ut genom specifika avlopp.

Det mesta av de partikulärt bundna närsalterna sedimenterar och/eller filtreras på väg ut från odlingsbehållaren och tas om hand medan lösta organiska ämnen passerar ut. Denna teknikutveckling är speciellt tydlig i Norge, för att där kunna öka andelen fisk som odlas i slutna system. En av de stora drivkrafterna för utvecklingen av semislutna system i Norge är att minska parasiteringstrycket från laxlusen då vattnet tas in från större djup än där laxlusen förekommer. Detta är dock inte ett problem i många vattenområden i Sverige, då laxlus endast förekommer i marin miljö. Metoden har potential för svenskt vattenbruk, men semislutna system är fortfarande relativt nya på marknaden och erfarenheterna är begränsade.

Landbaserade system finns i många former: genomflödessystem med eller utan rening av utvattnet, partiellt eller helt recirkulerande system (ex. RAS, biofloc och akvaponik). Att odla vattenlevande organismer i hav/sjöar och vattendrag kräver lite energi men de arter som odlas behöver vara anpassade för de naturliga omständigheter som råder avseende t.ex. vattenkvalitet och klimat. Om odlingen flyttas upp på land kan miljön kontrolleras bättre och antalet potentiella odlingsarter ökar. Odlingsbiologiskt kunnande, teknikutveckling och osäkert ekonomiskt utfall av investeringarna sätter gränser för vad som praktiskt går att odla. Mer specifika kostnader för landbaserade odlingar ligger initialt i bl.a. investeringskostnaden för byggnation och senare i energikostnader för uppvärmning, kylning, pumpning samt rening, syre mm.

I slutna och recirkulerande system på land är den direkta miljöpåverkan låg och rymning är i princip obefintlig. Det sker dock alltid ett visst vattenutbyte och miljöbelastningen från avloppsvatten och slam beror framför allt på reningskapaciteten i anläggningen. En nackdel är att teknik- och kunskapsberoendet ökar med slutna, landbaserade odlingssystem i förhållande till traditionella öppna system. Odling på land för matproduktion sker i Sverige idag i skala från tiotals till hundratals ton. Riktigt storskalig produktion är ännu inte igång men flera mindre företag och forskningsinitiativ finns.

Kemikalieanvändningen i svensk odling är relativt låg för alla typer av odlingssystem, men viss behandling av fisk/yngel eller desinfektion av vatten/utrustning sker. Läkemedelsanvändningen i svenskt vattenbruk är generellt lågt. Antibiotika används endast vid sjukdomsutbrott och efter förskrivning av veterinär. Den totala mängden aktiv substans antibiotika som användes i fiskodlingar i Sverige mellan 2010-2015, var

hälften eller mindre av motsvarande siffra för övrig svensk köttproduktion.

Sedan mitten av 2000-talet har andelen fiskmjöl minskat markant i fiskfoder, men trots detta går majoriteten av det producerade fiskmjölet till vattenbruksindustrin vilken kan förklaras av de totalt sett ökade produktionsvolymerna i vattenbruket. Fiskmjöl har främst ersatts av olika typer av vegetabiliskt protein, framförallt soja, och en ökande del av fodret består av råvaror från restflöden, t.ex. fiskprotein och -olja från slakteriavfall, men dessa kan inte täcka hela det växande behovet av foderråvaror. För att få ett miljömässigt uthålligt vattenbruk, måste alternativa foderråvaror identifieras och utprövas. Nya foderkällor måste möta fiskens/djurets näringsbehov, ha hög smältbarhet och smaklighet samt inte minst vara fritt från substanser som försämrar upptag, metabolism eller hälsa. Inblandningen av fiskolja har också minskat, men inte i samma takt som när det gäller fiskmjölet.

På lång sikt måste vattenbruksfoder baseras på råvaror som inte direkt konkurrerar med human konsumtion, samt baseras på cirkulära näringsflöden (kretslopp) där näring inte går förlorad och belastar miljön. Svenska fiskodlare är i dagsläget i huvudsak hänvisade till de stora foderproducenterna, som är väldigt styrda av ekonomi och inte minst stora volymer av råvaror, samt att råvaran är godkänd att inkluderas i foder. Därför kan foderinnovationer ta relativt lång tid innan de når den kommersiella marknaden med konkurrenskraftiga priser.

## BAKGRUND

År 2050 förväntas världens befolkning överskrida 9½ miljarder människor (United Nations, World Population Prospects 2017<sup>1</sup>). Att producera näringsriktig mat till alla – på ett miljövänligt sätt – är en av våra största utmaningar. Fiskkonsumtionen per capita har mer än fördubblats sedan 1960 och de vilda fiskbestånden är i många fall överutnyttjade. Vattenbruk har därför utvecklats kraftigt för att fylla den växande efterfrågan på fisk och skaldjur och idag är mer än varannan fisk av som äts globalt, odlad (FAO, 2016). I Sverige är dock vattenbruket i dagsläget en relativt liten näring, trots att det globalt sett är den snabbast växande livsmedelssektorn. Import av odlad fisk är därför stor till Sverige. Ett flertal internationella och nationella rapporter och utlysningar pekar på ett ökat intresse och behov av att utveckla det svenska vattenbruket.

I Jordbruksverkets strategi för 2012-2020

”Svenskt vattenbruk – en grön näring på blå åkrar” lyfts vattenbruket som en framtidsnäring med stor tillväxtpotential. I den tillhörande handlingsplanen har Jordbruksverket, för varje åtgärd, identifierat en sammanfattande organisation som ansvarar för att påbörja samverkan inom åtgärden genom kommunikation med andra utpekade utförare. Detta ligger i linje med EU:s mål att varje medlemsstat skall ha en egen vattenbruksstrategi. Jordbruksverkets vision är att *”Svenskt vattenbruk är en växande, lönsam och hållbar bransch med en etisk produktion”*. Denna vision delas också av regeringens Maritima strategi (augusti, 2015) där man lyfter *”Sveriges möjlighet att ta tillvara tekniska landvinningar i företag och projekt i syfte att bidra till tillväxt och nya jobb. Miljöutmaningar kan vändas till en fördel, genom att Sverige kan vara ledande inom miljöteknik och med miljöanpassade lösningar kan svenska företag få konkurrensfördelar. Regeringen vill därför stödja utvecklingen av ett hållbart vattenbruk”* samt den nyligen presenterade Livsmedelsstrategin *”En livsmedelsstrategi för Sverige – fler jobb och hållbar tillväxt i hela landet”* (december 2016) där regeringen identifierat vattenbruket som en av de frågor som är särskilt viktiga för att möta de övergripande målen. Regeringens bedömning: *”Marina livsmedel och resurser har förutsättningar att möta en ökad efterfrågan. Vattenområden för hållbart vattenbruk, t.ex. fisk-, skaldjurs-, ostron och musselodlingar, bör göras tillgängliga för att stärka det svenska vattenbruket ”inom detta strategiska område”*.

Proteinproduktionen behöver öka globalt för att möta behovet från en växande befolkning. Enligt FN-organet FAO (Food and Agricultural Organization) har fiskkonsumtionen per världsinnevanare och år ökat från 10 kg till nästan 20 kg under de senaste femtio åren (FAO 2014). Denna utveckling drivs på av en kombination av befolkningstillväxt, stigande inkomster samt urbanisering. Fiskprotein utgör en viktig näringskomponent i vissa tätbefolkade länder där de totala halterna av proteinintag kan vara låga. Jordens befolkning ökar och de flesta vilda fiskbestånd är fiskade till, eller över sin maximala kapacitet, och därför finns inget utrymme för ytterligare expansion av världsfisket. Den globala fångsten från vilda fiskpopulationer har under de senaste trettio åren varit i stort sett stabil på ca 100 miljoner ton, varav 80 % fångas i marina vatten (FAO 2014).

Vattenbruksproduktion har under samma tidsperiod gått från att vara en blygsam produktion på några miljoner ton till 74 miljard ton, vilket motsvarar drygt hälften av vår konsumtion av ”sjömat” och FAO (2016) har uppskattat att den globala vattenbruksproduktionen uppgår till ett värde av 160 miljarder US \$.

Majoriteten av odlade organismer är matfisk (2/3) och resten utgörs av ryggradslösa djur (främst skaldjur), alger och vattenlevande växter. Globalt dominerar sydöstra Asien produktionsvolymerna. De fem länder som toppar FAOs lista över odlade vattenorganismer är Kina, Indien, Vietnam, Indonesien och Bangladesh, där Kina ensamt står för drygt hälften av all vattenbruksproduktion globalt. Kina har en diversifierad odlingsindustri, där man odlar många olika typer av organismer och utnyttjar en mångfald av odlingssystem. EU-kommissionen har en integrerad havspolitik kallad ”Blå tillväxt” (EU/COM 2013). Vattenbruket utgör cirka 20 % av EU:s fiskproduktion och sysselsätter ungefär 85 000 människor, framförallt i små företag i kust- och landsbygdsområden. Detta kan jämföras med Sverige som under 2015 hade ca 500 personer sysselsatta inom själva odlingsdelen (SCB 2016). EU fokuserar på att produktionen ska hålla hög kvalitet, vara hållbar och ge konsumenterna säkra produkter. Sedan 2000 har dock EU:s totala produktion varit relativt konstant, medan den globala produktionen under samma period ökat med ca 7 % per år. För att bland annat främja en utveckling av vattenbruket tog EU-kommissionen år 2013 fram en reform för en gemensam fiskeripolitik, som antogs 1 januari 2014. Där ingick strategiska riktlinjer för en hållbar



Figur 1. Yngel av Hälleflundra (*Hippoglossus hippoglossus*) i landbaserad odling på Island. Bilden visar yngel i olika utvecklingsstadier (5 – 8) före metamorfos.

utveckling av vattenbruket med gemensamma prioriteringar och allmänna mål för EU. Fyra områden ansågs prioriterade: att minska byråkratin, förbättra tillgången till mark och vatten, stärka konkurrenskraften samt utnyttja konkurrensfördelarna med höga kvalitets-, hälso- och miljönormer.

Med utgångspunkt i riktlinjerna samarbetar kommissionen och medlemsländerna nu för att öka produktionen och konkurrenskraften. Medlemsländerna har uppmanats att ta fram fleråriga planer för att främja vattenbruket. Kommissionen hjälper till att kartlägga flaskhalsar och underlätta samarbete, samordning och utbyte av bästa praxis mellan medlemsländerna. Ramen för blå tillväxt ska främja ett ansvarsfullt och hållbart fiske och vattenbruk.

Vissa länder, t.ex. USA, har under senare år minskat sin produktion, främst på grund av konkurrens från länder med lägre produktionskostnader. Den svenska produktionen utgör i dagsläget endast 1 % av EU:s totala produktion men då Sverige både har en lång kuststräcka och många sjöar och vattendrag bör det finnas potential för ökad tillväxt. Bland topp 15 av vattenbruksproducenter globalt finns endast ett europeiskt land, Norge som ligger på sjätte plats med

1,4 miljoner ton i årsproduktion. Till skillnad mot Kinas diversifierade vattenbruk har Norge utvecklat en produktion som domineras av en art, odling av Atlantlax (*Salmo salar*) i traditionella kassodlingar i kustområden till havs. Norge producerade 2012 1,3 miljoner ton fisk vilket kan jämföras med Sveriges blygsamma produktion på drygt 12 500 ton fisk och ca 1 500 ton musslor per år (FAO 2014, SCB 2016).

Majoriteten av den fisk vi äter i Sverige importeras från Norge (huvudsakligen lax), samtidigt som vi exporterar motsvarande mängd vildfångad fisk (huvudsakligen från Östersjön) som foderråvara (Havsmiljöinstitutet 2012) och vi exporterar även en stor del av den fisk som odlas i Sverige idag. FAO uppskattar att över 600 olika arter odlas globalt, varav drygt hälften är fiskar och en fjärdedel skaldjur (kräftdjur och mollusker). Globalt är det mest karpfiskar som odlas. En betydande men minskande andel (14 %, 2014, FAO) av världsproduktionen av fisk bearbetas till fiskmjöl (proteinfoder) och fiskolja (fodertillsats i vattenbruket eller hälsolivsmedel).

Cirka 25 miljoner ton sjögräs och alger skördas årligen för att användas, som livsmedel i kosmetika, som tillsats till djurfoder, som gödsel eller för utvinning av förtjockningsmedel.



FOTO: KRISTINA SNUTTAN SUNDELL

Figur 2. Äggsamling från grå havskatt (*Anarhichas lupus*) på forsknings och utvecklingsanläggning i Tromsø, Norge. Äggsamlingarna inkuberas i upp till 4 månader innan kläckning.

Sverige bör ha som mål att öka produktionen av livsmedel från vattenlevande organismer utan att utarma vilda populationer genom att utveckla ett miljömässigt hållbart vattenbruk som därmed bidrar till en ekologiskt hållbar livsmedelsproduktion.

Vattenlevande organismer kan odlas i salt, bräckt och sött vatten, på land, i vattendrag och i hav och sjöar. Landbaserade odlingar som är en bit från kusten använder vanligtvis sötvatten, men även saltvatten förekommer i landbaserade odlingar långt ifrån en kust (t.ex. i Egypten och Kina). Marina organismer odlas oftast kustnära, i tidvattenzoner och till havs (offshore). Vattenbruk kan delas in i extensiva och intensiva odlingsformer. Med extensiv odling menas att den odlade arten lever av naturligt förekommande föda och därför inte behöver utfodras. I en intensivodling utfodras djuren. Dessa anläggningar kan variera från relativt enkla dammar till tekniskt komplicerade system med uppvärmning och recirkulering av vattnet. Vattenbruk kopplas ibland samman med miljöproblem såsom övergödning, kemikaliehantering, rymningar och sjukdomssprid-

ning. I slutna odlingssystem på land filtreras vattnet och renas innan det återförs till systemet, vilket möjliggör bra kontroll över näringsämnen och kemikalier samt minskar risken för smittspridning mellan odlingar. De har dock en högre investeringskostnad och är mer energikrävande än öppna traditionella odlingssystem. Vattenförbrukning och rening, foderråvaror och tillverkning, material och energi för anläggningens drift är alla viktiga aspekter ur miljösynpunkt. I sammanställningarna "Bästa Tillgängliga Teknologier (BAT) för nordisk akvakultur" (Heldbo m.fl. 2013) och "Marin fiskodling på den svenska västkusten: Tekniska lösningar (Ungfors m.fl. 2015) ges detaljerade översikter över modern land- och havsbaserad odlingsteknik, samt vilken miljöpåverkan dessa tekniker har.

Odlingsteknikerna är under ständig utveckling och ett antal FoU-projekt och uppbyggda forskningsanläggningar med fokus på olika system, har genomförts och presenterats. Hösten 2014 finansierade Norska Forskningsrådet ett "Centre of excellence" för forskningsdriven innovation: CtrlAqua (Centre

for Closed-containment Aquaculture) där forskningspartners och kommersiella aktörer arbetar tillsammans för forskning och utveckling av innovativa, halv-slutna och slutna odlingssystem, såväl i havet som på land. Särskilda försöksanläggningar för forskning kring landbaserade recirkulerande odlingssystem är uppbyggda bl. a. vid Danmarks tekniska högskola, DTU Aqua, i Hirtshals, NOFIMA, Sunndalsöra i Norge och LUKE, Lauka, Finland. Den svenska vattenbruksforskningen har ökat kraftigt under de senaste åren i och med ett ökat intresse från EU och stöd från svenska forskningsfinansiärer och universitet. Men att omsätta forskning i kommersiell produktion är en långsiktig process som tar många år i anspråk.

Det är viktigt att påpeka att en optimal odlingsteknik behöver tillgodose fiskens biologiska behov vad gäller näring, hälsa och livsmiljö då dessa är nära sammankopplade. Oavsett om fisken odlas i kar, bassänger, dammar, sjö eller hav så behöver alltså utfodring, hantering och odlingsutrustning samverka så att fisken kan behållas i god kondition.

Det foder som används vid intensivt vattenbruk produceras från ett stort antal olika ingredienser med olika näringsmässiga och fysikaliska egenskaper. Traditionellt har fiskfoder baserats på fiskmjöl och fiskolja från vildfångad fisk. Ett stort fokus har under senare tid legat på att skapa foder som produceras av alternativa, mer miljömässigt och etiskt hållbara råvaror. Produktionen kan bli hållbarare genom att fodret innehåller ökande andel primärproducenter (landlevande växter och alger). Foderutvecklingen strävar också efter att mer och mer utnyttja foder ingredienser som baseras på återvunna råvaror för att på så sätt skapa ett mervärde för sidoflöden som idag till stora delar går till spillo. Biprodukter från fiske, beredningsindustrin, men även andra industrier kan nyttjas. Andra foder ingredienser som testas i olika forskningsprojekt från olika andra marina källor som t.ex. musslor, sjöpungar, brunalger, som alla extraherar näringsämnen från miljön för att bilda biomassa, samt insekter och mikroorganismer. Foderråvaror kan påverka fodrets kvalitet på flera sätt bl.a. genom att ändra näringsvärdet (t.ex. aminosyrasammansättning, fettsyrasammansättning, foderomvandlingsförmåga etc.) och fodrets fysikaliska egenskaper (bl.a. stabilitet i vattnet, sjunkhastighet etc.). Båda dessa faktorer påverkar den eventuella effekt fodret har på miljön om det läcker ut antingen i löst, partikulär eller metaboliserad form.

Miljöpåverkan av vattenbrukssystem kan minskas genom utveckling av nya mer kontrollerade odlingssystem, förbättrad vattenrening och skapande av cirkulära näringsflöden genom samodling av olika organismer samt genom att förbättra de system som redan existerar. Förbättring och effektivisering av öppna system, i form av näringsfällor som t.ex. sedimenteringsfällor, minskar effekter på miljön och ekosystemet. De övergripande effekterna på miljön kan mätas med hjälp av t.ex. livscykelanalyser (LCA) där man jämför hur mycket energi, naturresurser och arbete som krävs samt hur stor produktion och hur stora utsläpp som odlingen ger mellan olika odlingsformer.

Den svenska konsumtionen av proteinrika livsmedel har ökat ända sedan 1970-talet och den genomsnittliga konsumtionen är nu nästan 110 gram per person och dag (HMI 2016). Så länge den största delen av detta protein är animaliskt behöver vi fortsatt stimulera en utveckling mot miljövänligare produktion. Vattenbruket har potential att bidra med denna utveckling.

### Metod och avgränsningar

Rapporten baseras på underlag från tidigare nationella och internationella sammanställningar, vetenskapliga artiklar, intervjuer med odlare och forskare i pågående projekt samt på svar från en enkät som skickades ut under hösten 2016 (se Appendix). Enkäten riktade sig till aktiva vattenbruksodlare på såväl kommersiell som i försöksskala. Denna rapport utger sig inte för att ge en helt täckande bild av alla i Sverige befintliga odlingar då svarsfrekvensen inte varit 100 % och tid för uppföljning eller detaljer varit begränsad. I denna rapport går det heller inte att utläsa svar från enskilda företag utan avsikten är att ge en generell bild av de tekniker som idag används inom svenskt vattenbruk och de som är under utarbetande. Rapporten omfattar primärproduktionen av vattenlevande organismer, dvs. inte slakt/skörd, beredning eller vidare transport i konsumentled. Innehållet är fokuserat på miljöpåverkan i stort av de olika typerna av tekniker. Rapporten har i huvudsak ett nationellt perspektiv men inkluderar exempel på tekniker från andra nordliga länder. Rapporten behandlar endast översiktligt veterinärmedicinska aspekter. Delar av rapporten behandlar områden där den offentliga kvantitativa dokumentationen är begränsad. Detta gäller bl. a. övervakning och ekonomiska aspekter för nyetablerad teknik och vattenbruksverksamhet i Sverige.

# ÖPPNA SYSTEM FÖR INTENSIV FISKODLING

Vattenbruket i Sverige består till stor del av fiskodling i öppna kassar och utgörs huvudsakligen av matfiskproduktion (SCB 2016). Antalet regnbågsodlingar har nästan halverats mellan 2006 och 2015, från 83 till 48 stycken, samtidigt som produktionen har fördubblats. Antalet rödingodlingar har samtidigt varit relativt stabilt under samma period. Sammantaget har utvecklingen därmed gått mot färre men större fiskodlingar.

Att odla fisk kan ha olika syften och produktionen kan därigenom vara fokuserad på endast en del av fiskens livscykel eller hanterar hela livscykeln. Generellt sett kan man särskilja fiskodling i öppna system på om de huvudsakligen odlas för utsättning eller för livsmedelsproduktion, men odling av fisk i öppna system finns även för andra syften som t.ex. ornamentala fiskar. Fisk för utsättning kan användas såväl för vidare matfiskodling som för sportfiske eller bevarande av fiskbestånd. Även på livsmedelssidan kan odlingens inriktning vara olika då det t.ex. kan gälla odling av rom eller matfisk.

I viss mån kan marknadens efterfrågan påverka odlingen exempelvis kan olika grad av infärgning på köttet önskas varvid fodervalet kan variera. Det är också stor variation mellan fiskarter i behov, beteende och förutsättningar där anpassningar och olika långa produktionscykler uppkommer, men odlingsmetodiken i öppna system är i stort densamma.

Många av de tekniska lösningar som utvecklats för öppna kassar kan också överföras till de nya,

mer slutna odlingssystemen, speciellt när det gäller halvslutna system i vatten.

## Teknik och drift

Den vetenskapliga litteraturen gällande teknik och drift i öppna kassar är relativt knapphändig varför nedanstående sammanställning bygger på samlad erfarenhet och faktiska praktiska rutiner, utrustning och teknik som idag används hos svenska matfiskodlare.

## Kassodling

De öppna kassarna kan antingen vara placerade med den övre delen av kassen över vattenytan, men de kan även vara nedsänkbara. De senare kan vara nedsänkta under hela eller delar av året och till exempel sänkas ned vid isläggning och islossning för att minimera risken för skador. De nedsänkbara kassarna är kostsammare och mer komplicerade att övervaka då kassen och fisken inte är synlig från ytan. En traditionell kassodling består av nätkassar monterade på flytkonstruktioner och förankrade i botten med förankringssystem. Djupet i området, genomströmningen och den tillgängliga ytan avgör tillsammans med odlingsvolymen samt praktiska förutsättningar vilken storlek på kassarna som används samt hur många kassar som utnyttjas i odlingen.

I större fiskodlingar är kassarna vanligen cirkulära och cirka 30-100 meter i omkrets, men det finns kassar med en omkrets på upp till 200 meter. Djupet uppgår vanligen till mellan sju och 15 meter men den tekniska utvecklingen har lett till att större odlingar, i synnerhet de som inte har kassarna i direkt anslutning till land, använder större kassar. Tätheten av fisk i odlingskassarna uppgår vanligen till maximalt

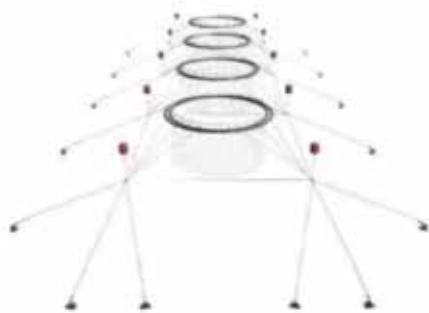


FOTO: TINA HEDLUND

Figur 3. Principskisser över kassodlingar. Konstruktionen består av förankring, flytkonstruktion och en nätkasse.

30 kg fisk/m<sup>3</sup>. Det används även mindre rektangulära kassar med en sidolängd på tre till tolv meter, i vissa fall upp till 30 m. Mindre kassar används oftast som sorteringskassar där fisken sorteras och kan förvaras tills fisken ska slaktas. Beroende på förutsättningarna kan dock hela odlingskassen i många fall dras in till slakteriet. Storleken på de laxfiskar som sätts ut för vidare tillväxt i kassodlingar har däremot ökat de senare åren vilket innebär att en allt större del av fiskens livscykel äger rum i landbaserade anläggningar (se landbaserade odlingar).

Maskstorleken i kassen är anpassad till den fiskart och den storlek på fisk som ska odlas. Det vanligaste materialet i näten är nylon men polyetentereftalat (PET) och dyneema är nyare material, varav den senare uppvisar en mycket hög hållbarhet. Näten klassificeras utifrån hållbarhet och är därmed klassificerade för olika ström- och vågförhållanden.

Kassarnas övre del består antingen av runda flytkragar eller fyrkantiga bryggssystem för att hålla uppe näten. Flytkraften i flytkonstruktionen måste vara stor, speciellt på stora odlingar eller då de är lokaliserade i utsatta områden. Konstruktionen ska även tåla vikten av sorteringsmaskiner, syrebehållare och eventuella pumpar samt snö och is som tynger ner vid vinterförhållanden. Konstruktionen måste dessutom klara av svåra väderförhållanden med höga eller kraftiga vågor. Flytanordningen ska också vara en säker och ergonomisk arbetsplats för vattenbrukarna. Materialet i de runda eller fyrkantiga kragarna är ofta PVC-plast medan de fyrkantiga bryggssystemen består av trä, stål eller betongkonstruktioner med flytelement i plast/frigolit.

För att minimera risken för skador på anläggningen är ändamålsenliga förankringar nödvändiga. Dessa skall vara starka och helst skall förankringssystemen uppvisa en viss flexibilitet så att kassar kan flyttas och förankras om inom området vid behov. Förankringarna skall förhindra att kassarna rör sig från eller inom odlingsområdet eller att kassarna välter i hårt väder. Förankringen hindrar kassarna från att nöta på varandra och förhindrar därmed rymningar. Förankringarna måste utformas och anpassas till de lokala bottenförhållandena och sträcker sig oftast ett hundratal meter utanför den synliga delen av odlingen. Förankringarna består av tyngder eller tunga ankare av t.ex. metall eller cement fästade i vajrar, kättingar eller kraftiga trossar. Utfodringssystemet i större fiskodlingar är oftast automatiserat. Maskinell utrustning används till de stora fodervolymer som

används i dessa typer av odlingar och för att möjliggöra en jämn fördelning av foder givan över dagens ljusa timmar. Utrustningen kan vara tryckluftsstyrd och bestå av stora fodersilor i anslutning till en doserare vilken släpper ner foder i slangar varefter tryckluft blåser fodret vidare till den valda kassen. I slutet på slangen sprids fodret för att det ska fördelas jämnare över vattenytan och minimera foderspill. Tryckluftsfodringen kan styras från land eller från en speciell foderflotte, vilken då innehåller ett komplett system med foderlager, kompressorer osv. Till denna utrustning kan även en sensor installeras som avbryter utfodringen vid tekniska problem, t.ex. om ett utfodringsrör går sönder. Utrustningen kan även vara av slungtyp där en foderbehållare är kopplad till en matarskruv vilken vrider fram foder till en slunga som sedan fördelar fodret över kassens yta.

På vissa mindre odlingar finns en enklare uppsättning där foderbehållaren är förbunden direkt nedåt med en tallrik under sig som snurrade ut foder. Denna förutsätter att foderbehållaren placeras mitt i fiskenheten. All automatiserad utfodring styrs elektroniskt. I de mer moderna systemen är denna datoriserad och styrs via applikationer i dator och/eller smartphone där utfodringen av vardera kasse sker där hänsyn tas till antalet fiskar i kassen, medelvikten hos fisken, fodersort, syrgashalt samt vattentemperaturen och förändringar i den sistnämnda. Fodermängden som ska ges beräknas i datorbaserade modelleringar baserade på fiskens energibehov eller fås från tillväxttabeller baserad på erfarenhetstal om procentuell daglig tillväxt relaterad till ovanstående parametrar.

Vattentemperaturen är en av de viktigaste inverkanse faktorerna på fiskens aptit. Aptiten påverkas däremot även av andra faktorer som syrgashalt, vindar, vattenströmmar och solinstrålning. Fisken växer även snabbare i början av sitt liv medan tillväxten därefter avtar allteftersom de blir äldre. Det finns även stora skillnader i tillväxthastighet mellan individer beroende på genetiska variationer, varför fisken sorteras i odlingen för att effektivisera utfodringen och minska konkurrensen. Sortering sker dock inte oftare än nödvändigt för att minimera stressen för fisken genom hanteringen, vilket också är orsak till att vissa odlare inte sorterar fisken alls efter att de placerats ut i kassarna.

Hälsotillståndet är en annan viktig faktor då sjuka eller stressade fiskar tappar aptiten. Noggrannheten i datormodelleringar och/eller tillväxttabeller är



FOTO: MARCUS BÄCKSTRÖM

Figur 4. Utfodring av röding.

inte heller lika välbeprövade för alla fiskarter. För atlantlax och regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) finns väl etablerade system medan tabeller för exempelvis röding (*Salvelinus alpinus*) och öring (*Salmo trutta*) är mindre standardiserade. Utfodring kan även ske för hand, vilket innebär att fodret kastas manuellt med exempelvis en skopa. Detta är dock alltför krävande för att kunna genomföras effektivt på en större fiskodling. Däremot används metoden emellanåt för att kontrollera fiskens aptit och beteende.

Fiskens aptit övervakas dagligen och eventuella nödvändiga justeringar av utfodringen genomförs därefter. För att effektivisera utfodringen och minimera foderspillet går det att installera sensorer i kassen för att övervaka mängden foder som passerar genom kassen. Alla tekniska lösningar innehåller dock brister varför utfodringen och andra delar av verksamheten alltid måste åtföljas av att fiskens beteende övervakas för att kontrollera dess välmående och aptit. Foderförbrukningen registreras för att det ska vara möjligt att följa upp tillväxteffektiviteten, kallad foderkoefficienten (FCR) eller foderomvandlingsförmåga, och för att kunna beräkna vilka utsläpp av näringsämnen som sker från verksamheten. Död fisk plockas regelbundet från kassarna. Hos odlare med datoriserade utfodringsystem,

där biomassan finns registrerad för respektive kasse, registreras även den bortplockade fiskmängden in i datasystemet för att justera utfodringsmängden samt lagervärdet i odlingen. Genom att följa andelen fisk som dör i odlingen kan även fiskens allmänna hälsotillstånd övervakas och eventuella avvikelser upptäckas. Död eller sjuk fisk utgör merarbete för odlaren och har en potentiellt negativ effekt på den generella hälsosituationen hos besättningarna, men också på den omgivande miljön.

Tillvägagångssättet vid plockning av död fisk varierar. Traditionellt har håvar med långt skaft använts för plockning av död fisk vid ytan. En del fisk tenderar dock att falla till botten varvid en ansamling av död fisk kan uppstå och ge en försämring av miljön i kassen samt utgöra substrat för vidare bakterietillväxt. Denna fisk har traditionellt insamlats genom s.k. rullning av kassen, vilket innebär att kassen lyfts i ena änden och sedan lyfts längs båda sidorna så att död fisk på botten hasar efter mot den andra änden av kassen. Slutligen lyfts då fickan som uppstår upp och den döda fisken plockas upp. De större odlingarna har numera tekniska lösningar för att förenkla insamlingen av död fisk från botten av kassarna. I nedre delen av kassen kan näthåvar eller en extrabotten som kan vinschas upp för tömning

installeras. Genom en annan metod, kallad lift-up-system, sugs fisken upp genom slangsystem från en tratt i botten på kassen till en uppsamlingsenhet. I en del odlingar plockas fisken bort med hjälp av dykare. Den döda fisken tas därefter omhand och lagras luktfritt, antingen genom infrysning eller genom att den behandlas med myrsyra. Beroende på lokaliseringen och förutsättningen för odlaren skickas den självdöda fisken därefter till förbränning eller, om möjligt, till biogastillverkning i antingen Norge eller Finland.

Andra tekniska tillbehör som kan installeras på kassarna är utrustning för syresättning som kan nyttjas vid behov t.ex. vid ökad stress under hantering. Även strömbildare, för att skapa eller styra vattenströmmar kan installeras och skyddsnät (fågelnät) över kassarna används vanligtvis för att skydda fisken från fåglar och i vissa fall även däggdjur.

Den sortering av fisk som genomförs i odlingen utförs vanligen genom att fisken pumpas upp från kassen och därefter får gå genom ett sorteringsbord. Vanligen finns någon form av vals-system i sorteringsbordet, varefter mindre fisk faller mellan valarna medan större individer passerar förbi och fisken

därefter leds till olika kassar. En annan metod är att dra ett specialanpassat nät, ett s.k. Shetlands-rist genom kassen med ett noga avvägt plastgallarsystem som gör att vissa små fiskar tar sig igenom medan större sveps med. Det medför därmed en sorts silning. Shetlandsristen kan vara skonsammare då sorteringen sker i vatten, men det är däremot inte möjligt att veta antalet fiskar som sorteras. Vid pumpsortering över bord kan räknare kopplas till rörutgångarna från sorteringsbordet, vilket gör att fisklagret för kassen kan stämmas av. Vid sorteringen kontrolleras vanligen även medelvikten hos fisken.

Pumpning av fisk kan även ske utan sortering då den skall flyttas från en kasse till en annan eller pumpa upp för slakt. Vid flytt av fisk kan även manuell håvning eller håvning med kran användas. Vid s.k. torrhåvning kan fisken vägas medan håvning med presenningshåv, kallad vattenhåvning, är skonsammare men förhindrar vägning. Ytterligare en metod för att flytta fisk mellan kassar är att sy ihop kassarna. För detta finns det speciella dragkedje-modeller. Metoden är skonsam men arbetskrävande och ger inte heller möjlighet till varken vägning eller räkning.

Figur 5. Exempel på dödfiskhåv.





FOTO: DANIEL WIKBERG

Figur 6. Flytt av fisk inför slakt.

### Offshore-odling inklusive nedsänkta system

Odlingar i utsjöområden som är exponerade och utsatta för hårda väderförhållanden kräver mer robust utrustning och förankring. Utflyttning av vattenbruksverksamhet till områden längre ut från kusten (offshore), för att minska miljöbelastning på 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 speciella och robusta lösningar (Vielma och Kankainen 2013).

Modern fiskodlingsteknik för offshore-bruk 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. Nedsänkbara kassar för offshore-bruk kan vara ett alternativ för att periodvis undkomma dåligt väder som odlingen utsätts för i exponerade lägen t.ex. vintertid.

Nedsänkta odlingssystem, består av öppna kassar/burar eller linor som sänkts ner under ytan för att bl. a. undvika dåligt väder, isläggning, islossning, predation av fågel och konkurrens med andra aktiviteter. Dessa system har vissa fördelar vad gäller en mer stabil vattenkvalitet (temperatur, salthalt,

färre smittämnen osv.) samt att burarna inte behöver rengöras så ofta som de som ligger på ytan. Dessutom blir stressen av höga vågor mindre, vilket kan förbättra fiskens tillväxt, överlevnad och foderutnyttjande. Produktionssäsongen blir dessutom längre. Då nedsänkta system inte påverkar landskapsbilden så kan de i vissa områden vara mer tilltalande till den lokala befolkningen och mindre kontroversiella. Denna typ av odlingssystem är än så länge dock huvudsakligen prövade i svenska vatten på musslor och ostron.

### Miljöpåverkan

Vid odling av vattenlevande organismer så kan inverkan på miljö ske både direkt och indirekt. Läckage av näring, kemikalier och organismer från odlingarna har en direkt inverkan, medan den indirekta inverkan sker via transporter samt förbrukning av energi och naturresurser (såsom råvaror till både infrastruktur och foder).

### Kassodling

I öppna odlingssystem är fisken innesluten i nätkassar där omgivande vatten kan passera fritt igenom och där näringsämnen, foderrester och fekalier från kassen släpps ut i den kringliggande miljön (Heldbo m.fl. 2013, Ungfors m.fl. 2015). Traditionell öppen kassodling är både kostnadseffektiv och välbeprövad och behovet av odlingsutrustning är mindre än vid andra odlingsmetoder. De öppna kassarna står dock

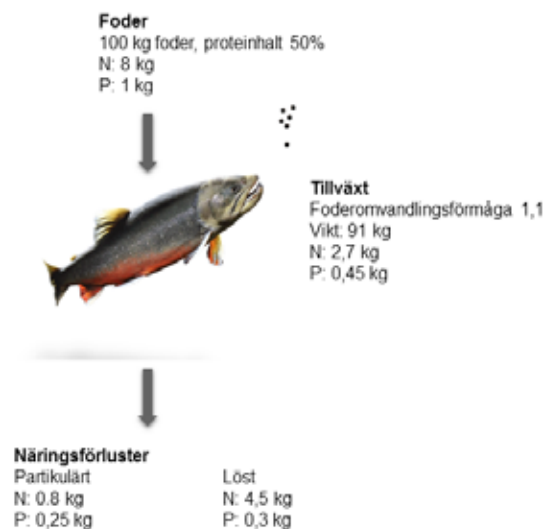
i direktkontakt med det kringliggande ekosystemet och risken för miljöpåverkan är därför större än i semislutna/slutna odlingsystem.

Dimensioneringen, lokaliseringen och skötseln av en kassodling är helt avgörande för hur stor påverkan den kommer att ha på den omkringliggande miljön. Topografi, vattenströmmar, fysikaliska värden (t.ex. salthalt, temperatur, syrgashalt) och framförallt näringsstatus påverkar hur lämpat ett område är för en ökad närsaltsbelastning från en öppen kasse.

De näringsämnen som släpps ut från odlingen frigörs dels från fekalier och foderrester som kan vara lösta eller sedimentera och dels från exkretionsprodukter via gälar och urin (Figur 7). Näringsutsläpp från öppna fiskodlingar beräknas bl. a. genom en modell framtagen av Johansson m.fl. (2000). Modellen baserar fosforutsläppet på mängden fosfor i fodret minus den mängd fosfor som stannar i fisken. Ekvationen är  $L = P * (FK * CI - CR) * 10$ , där L står för fosforutsläppet (kg), P för fiskproduktion (netto, ton), FK för Foderkoefficient (dvs. den mängd foder som åtgår för att producera ett kilo fisk), CI för koncentration av fosfor i foder (%) och CR för koncentration av fosfor i fisk (%). CR uppgår vanligtvis till 0,4 %. Samma formel går att använda för att beräkna utsläppet av kväve, i dessa fall anger man CR till 2,5 -3,5 % kväve i fisken, beroende på bland annat fiskstorlek (Naturvårdsverket 1993).

För att beräkna tillskottet av fosfor per liter vatten (den flödeskorrigerade förlusten av fosfor (TPin)) används formeln:  $TPin = L * 1000000/Q$ , där L är fosforförlusten från odlingen (kg/år) och Q är vattenföringen (m<sup>3</sup>/år). Den faktiska höjningen av fosforhalterna i en sjö kan dock vara lägre än den flödeskorrigerade förlusten av fosfor eftersom en del av fosfor binds in genom retention i botten sedimentet och därmed försvinner från den för ekosystemet tillgängliga fosformängden.

En ökad mängd näringsämne bidrar till en ökad produktion i det omgivande vattnet i form av en ökad mängd primärproducenter (växtplankton, makrofytter och alger) men också en ökad mängd djurplankton, vilket i sin tur kan bidra till en ökad fiskproduktion (Milbrink m.fl. 2003, Persson m.fl. 2008). Även de bottenlevande organismerna i området kan gynnas av den ökade födotillgång som det sedimenterade materialet innebär förutsatt att inte den ökade mängden näringsämnen medför obalans mellan producenter och konsumenter och leder



Figur 7. Räkneexempel på massbalans från röding med FCR på 1.1 där 100 kg foder producerar 91 kg fisk.

felbelastningen på botten substratet som medför syrebrist. Fördelningen mellan olika arter i bottenfaunan påverkas däremot (Nordström och Bonsdorff 2017, Saarinen 2017) så att arter som livnar sig på sediment gynnas i förhållande till arter som livnar sig på växter och växtplankton. Sammantaget kan en rätt dimensionerad odling i ett näringsfattigt vattenområde bidra till en ökad diversitet och biomassa hos den vilda faunan i området (Milbrink m.fl. 2003). En del av näringsämnena i sedimentet frigörs när sedimentet bryts ned med hjälp av de bottenlevande organismerna.

För att minska mängden sedimenterat material i anslutning till de öppna kassarna har försök sedan mitten av 1980-talet genomförts med insamlingsanordningar under kassarna (Naturvårdsverket 1993). För att minimera miljöpåverkan från kassodling är korrekt dimensionering, lokalisering och skötsel av väsentlig betydelse (Alanärä 2012). Dimensioneringen genomförs utifrån kunskaper om nuvarande näringstillstånd samt det ursprungliga näringstillståndet och därmed kan även den tillåtna näringsbelastningen som kan medges enligt vattendirektivet utan att statusklassificeringen av vattenförekomsten förändras beräknas. Vatten genomströmningen i området, vattenförekomstens omsättningstid samt interna strömmar inom vattenförekomsten är viktiga parametrar för att bedöma näringsbelastningen utifrån den planerade odlings foderförbrukning, beräknade foderkoefficient och fosforinnehåll i fodret (se ovan).

Ett förslag till uppföljning av sedimentet i anslutning till fiskodlingar, som är baserat på det norska MOM-systemet (Modelling-Ongrowing fish farm-monitoring, Stigebrandt m.fl. 2004) har tagits fram (Hedlund 2015).

En annan, mindre känd olägenhet, som kan uppkomma från fiskodlingen är en konsekvens av de moderna högenenergifodren eftersom de kan frigöra fett som ansamlas på ytan. Detta visar sig som en svag oljefilm på ytan och kan leda till olägenheter för närboende och badande då oljefilmen kan fastna på båtar, stränder eller de som badar och avge en svag doft av fisk. Orsaken till detta fenomen är att fodren har en annan densitet för att sjunka långsammare och därigenom maximera chansen för fisken att hinna äta upp fodergränsen innan den faller genom kassens botten. Som ett sista steg i tillverkningsprocessen tillsätts fett till pellets under vakuum.

Olägenheten med en oljefilm på ytan är mest noterbar vid vindstilla förhållanden och soliga dagar när närboende rör sig i omgivningen. För att minimera denna olägenhet lägger en del odlare ut oljelänsor i strömriktningen för att samla in fett. Värme, lagringstid och problem vid fodertillverkningen kan dock öka på problemet genom att en större mängd fett löser ut från fodret varför foderförvaringen skall ske så svalt som möjligt, fodret inte lagras längre än nödvändigt och att foder där inte fett absorberats av pelleten vid leveransen reklameras.

Eftersom det sker ett visst spill av foder i öppna kassar så drar de också till sig vilda organismer (Carss 1990, Dempster m.fl. 2010, Holmer 2010, Fernandez-Jover m.fl. 2011). Detta kan stimulera antal och i vissa fall även biodiversitet av den vilda faunan lokalt runt odlingen (Karakassis m.fl. 2006, Buschmann m.fl. 2006, Kutti m.fl. 2007, Hargrave 2010). Ett flertal studier visar på positiva effekter på det lokala fisket (Milbrink m.fl. 2003, Person m.fl. 2008, Arechavala-Lopez m.fl. 2011).

### Läckage av fosfor från foderpellets

Fosfor är ett livsnödvändigt mineral som krävs för en normal skelettutveckling och i ett flertal fysiologiska processer. Brist på fosfor leder hos de flesta fiskarter till minskad tillväxt, foderomvandlingsförmåga och benmineralisering (NRC 2011). Fosforinnehållet i fiskfoder för den nordiska marknaden minskade mellan år 1974 och 1989 från 1,7 till 1,0 % inblandning (Enell och Ackefors 1991). Ingen senare sammanställning över motsvarande värden finns

tillgänglig. Men med dagens höga inblandning av vegetabilier kan det faktiska fosforinnehållet i fodret ökat, med en högre andel otillgängligt fosfor i fodret. Å andra sidan leder utvecklingen med enzymatiska tillsatser till att denna fosfor blir mer tillgänglig för fiskar, och ett minskat totalinnehåll fosfor i fodret.

I spannmål och oljeväxter lagras fosfor som fytinsyra (även kallat fytat: myo-inositol hexakisfosfat), vilket är en otillgänglig form av fosfor för de flesta djur. Mellan 60-80 % av en växts totala fosforinnehåll kan finnas bundet i fytinsyra. Fytas (myo-inositol hexakisfosfat) är ett fosfatas-enzym som katalyserar spjälkningen av fytinsyra till inositol och oorganiskt fosfor, vilket ökar tillgängligheten av fosfor och andra mineraler. Fytas utvinns främst ur filamentösa svampar och jäst, och i studier med fisk och räkor har fytas från *Aspergillus* arter används i de allra flesta fall. Tillskott av fytas har visat sig öka smältbarheten av fosfor i vegetabilier i både kall- och varmvattensarter, för såväl herbivorer som omni- och karnivorer (Lemos och Tacon 2015, Kumar m.fl. 2012).

Den optimala inblandningen av fytas verkar ligga mellan 250-1500 FTU/kg foder (Simons m.fl. 1990). De flesta fytaser som används inom vattenbruk har ett aktivitetsmaximum (maximal kapacitet) vid ett pH-värde mellan 4,0-6,0. Detta kan vara ett potentiellt hinder för arter som saknar magsäck, t.ex. karp och räkor, vars surhetsreglerande funktion saknas. Därför bör fokus riktas mot att utveckla fytaser som arbetar effektivt även vid ett neutralt pH värde, för att öka användningen av fytaser i räk- och karpfoder samt optimera fytaseffekten (Tacon och Metian 2015).

Näring i form av t.ex. löst fosfor (Figur 7) som läcker till omgivande vattendrag från odlingar stimulerar tillväxt av fytoplankton, med ökad risk för växlingar i syrekoncentrationer. Flera studier med flera olika fiskarter, visar en tydlig minskning i fosfor-utsöndring från fiskodlingar efter tillsats av fytas i fodret (Kumar m.fl. 2012). Det har även visats på lax att foder baserat på fytasbehandlat soja-koncentrat leder till mindre fosforläckage än fiskmjölsbaserat foder (Storebakken m.fl. 2000). Det har rapporterats om reduceringar av fekalt fosforläckage på 60-70 %, men den vanligaste bilden tyder på att fytas-tillskott i fodret reducerar fosfor läckaget med 30-40 % (Tacon och Metian 2015, Kumar m.fl. 2012).

## Rymningar, konkurrens och genetisk kontaminering

Beroende på hur odlingsorganismerna är avskilda från det kringliggande ekosystemet varierar risken för rymningar. Odlares har inte råd att förlora individer pga. dålig utrustning men även om utrustningen noggrant ses över regelbundet och risken för rymning är generellt låg, så är den ändå högre i öppna odlingssystem än i semislutna- och slutna system. Skador på kassen kan uppkomma av många olika anledningar såsom oväder i kombination med undermåliga konstruktioner, nötnings slitage i kombination med dåligt underhåll, skador vid bogsering av kassar eller propellerskador i samband med båttransporter. Det förekommer även avsiktliga sabotage mot kassodlingar och åverkan från rovdjur. Oavsett orsak så kan skador på nätkassar resultera i rymningar av större mängder fisk.

Rymningar av inhemska reproducerbara arter kan ge stora ekologiska konsekvenser. Om odlingsfisk framavlade för matfiskodling har en annan genetisk bakgrund än den vilda stammen och reproducerar sig med den vilda stammen kommer det att påverka den vilda stammens genetiska signatur och egenskaper. Det sker en genetisk kontaminering (Bolstad m.fl. 2017). Även om den förrymda fisken inte reproducerar sig med den vilda fisken, så kan den påverka det lokala ekosystemet negativt genom t.ex. predation och födokonkurrens, eller som passiv bärare av sjukdomar. Regnbåge är den vanligast förekommande matfisken i öppna odlingssystem i Sverige men finns inte naturligt i Sverige och kan i princip inte reproducera sig i svenska vatten. Endast ett fåtal tillfälliga bestånd av regnbåge har lyckats etablera sig genom åren (Pakkasmaa och Petersson 2005). Den medför därmed inte någon större risk för genetisk inblandning med de vilda fiskbestånden. Regnbågen kan däremot påverka öringbestånden i biflöden till sjöar genom att den väljer samma typer av lekbottnar som öringen vid sina försök att reproducera sig. Öringen är till skillnad från regnbågen höstlekare men dess rom har inte hunnit kläcka ut innan regnbågen på våren försöker leka på samma bottnar, vilket kan skada kläckningen av öringens rom.

Under de senaste åren har några större uppmärksammade rymningar eller sabotage skett. De större volymerna har förorsakats av mekanisk skada på kassarna. Is har varit en av orsakerna, men även ett sabotage av djurrättsaktivister. De senare är svåra att skydda sig mot, men vissa odlare har installerat

övervakningssystem i syfte att både stävja sabotage och kunna bevisa att de har ägt rum. Även rymningar i samband med bogsering har tidigare förekommit men risken för detta kan minimeras genom rätt rutiner. Uppskattningsvis står dock dessa rymningar pga. sabotage och större olyckshändelser för endast <0.5 % av totala mängden kassodlad fisk (uppgifter från större utsläpp 2012-2015, genom SCB produktionsstatistik över samma period). Dessa siffror inkluderar inte eventuella rymningar av enstaka fiskar vid t.ex. hantering.

Rymningar och sabotage orsakar stora ekonomiska kostnader för odlaren som dels investerat i fiskens tillväxt utan att få något utbyte av detta och dels måste ersätta den havererade utrustningen. Beroende på orsaken till rymningen och hur snabbt denna upptäcks kan en större del av rymlingarna återfångas i närheten av odlingen genom bra rutiner. Endast delar av återfångsten, beroende på metod, kan däremot återföras till kassarna. Resterande individer skadas vid återfångsten och måste därför avlivas/slaktas men kommer däremot inte att orsaka någon påverkan på omkringliggande ekosystem. Återfångster av rymlingar motverkar därför inte de ekonomiska förlusterna för odlaren annat än till mindre andel.

## Sjukdomsproblematik och parasitbekämpning

Precis som vilda djur, så kan odlade djur som står i kontakt med den kringliggande miljön drabbas av sjukdomar och parasiter. Dessa är en naturlig del av ekosystemet och finns närvarande i vattnet. Vid intensiv odling där den odlade fisken återfinns i höga tätheter så kan sjukdomar och parasiter öka och medföra besvär. En parasit som i Norge orsakat stora problem och är ekonomiskt kostsam för fiskodlare är laxlus (*Lepeophtheirus salmonis*).

Då svensk laxfiskproduktion nästan uteslutande sker i sött eller bräckt vatten så är laxlus inte ett problem i Sverige. De sjukdomar som kan finnas latent i vattnet eller i mindre omfattning spridd hos det vilda fiskbeståndet kan däremot inte förhindras att nå kassarna med den odlade fisken ens med semislutna system. Förebyggande åtgärder för att behålla fisken frisk, samt att endast sätta ut frisk fisk i kassarna är de enda sätten för odlaren att upprätthålla och bibehålla en frisk fiskbesättning i odlingen.

## Offshore-odling inklusive nedsänkta system

Näringsläckage från offshore-odlingar ute till havs riskerar inte att påverka kusterna på samma sätt

som när det gäller inomskärs belägna öppna system. Näringsläckaget, som ju kan innebära en risk för miljöpåverkan, upphör dock inte, men de lokala effekterna minskar då djupen ofta är större och näringsämnena späds ut i större utsträckning.

## ÖPPNA SYSTEM FÖR MARIN EXTENSIV ODLING

Till öppna system tillhör även extensiv odling av extraktiva sessila och suspensionsätande arter såsom blåmusslor (*Edulis mutilus*), tarmsjöpung (*Ciona intestinalis*) och makroalger.

### Teknik och drift

#### Musslor

Odling av blåmusslor är en fullständigt extensiv odling, dvs. ingen näring tillsätts odlingen utan musslorna extraherar all näring från vattnet de växer i. I Sverige används framför allt den så kallade långlinemetoden för att odla musslor, vilket i korthet innebär att man hänger ut odlingsband som mussellarverna kan sätta sig fast (settle) och tillväxa på (Figur 8). Linorna förankras i bägge ändar och är ca 200 meter långa. Linorna hålls uppe med flytelement (tunnor). Från långlinorna hänger sedan 5-6 meter långa odlingsband eller rep ned med ca fem meters mellanrum. En odlingsenhet täcker ca 0,5-1 ha yta och placeras ofta på lite grundare områden (<30 m djup). Odlingen får gärna ligga något skyddad. På senare år har även andra metoder som rör/nätodlingar och odlingsstegar använts. I rör/nätodlingar används långa plaströr som flythjälpmiddel och på dessa sitter stormaskiga nät som hänger ner i vattnet och på vilka mussellarver fäster och växer (Figur 9, Fredriksson m.fl. 2015). Dessa odlingar kan uppfattas som mindre synliga eftersom flytelementen inte är så framträdande. Näten når inte ner lika långt som odlingsbanden/repen utan är ofta ca 3 meter djupa. Viktiga faktorer för musselodling är att sätta ner odlingsstrukturerna vid rätt tid och på rätt djup i havet (Dunér Holtius m.fl. 2013). Det finns många djurarter som förökar sig samtidigt som musslorna och som då konkurrerar om ytor att sätta sig fast och tillväxa på. Den främsta konkurrenten till blåmusslorna på odlingsrepen är tarmsjöpungen.

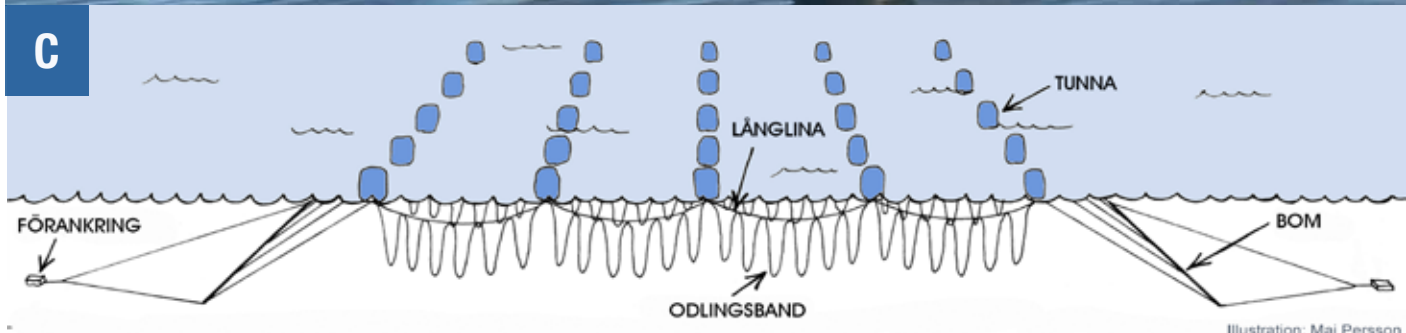
Tekniker för nedsänkning av musselodlingar har utvecklats för att skydda odlingarna från is under vintern (Wang m.fl. 2015). Det enda som syns på vattenytan är då markeringsbojar (se vidare

”Nedsänkta öppna system”). I övrigt fungerar odlingarna på samma sätt som en långline- eller en nät/rörodling. Vid långlineodling hålls linorna uppe med flytbojar som dock aldrig når upp till havsytan, samtidigt som sänken håller linorna nere på lämpligt djup. Vid nät/rörodling fylls rören med vatten så att de och näten sjunker ned till botten. Metoden är ännu inte prövad i Sverige men har testats med goda resultat i Danmark (Fredriksson m.fl. 2015). Det går också att odla musslor i kassar eller burar, men då måste man ha tillgång till redan settlade småmusslor. En fördel med burodling är att sjöfåglar m.fl. inte kan komma åt musslorna (Richman m.fl. 2012). Musslorna lossnar inte heller lika lätt och faller ner på botten.

#### Ostron

Även odling av ostron kan göras genom att erbjuda vilda ostronryngel substrat att fästa på för att sedan odla dem vidare upp till ätbar storlek. För detta används speciella strukturer, t.ex. ”kinesiska ostronhattar” bestående av tallriksformade PVC-plattor som staplas på höjden på ett PVC-rör med lagom mellanrum mellan plattorna för att ostronrynglen skall kunna settle (Figur 10). För att ytterligare attrahera ynglen täcks plattorna med kalk genom att doppas i lika delar vatten och släkt kalk ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Ostronhattarna har använts och utvärderats i svenska vatten med bra resultat (Dunér Holtius m.fl. 2014). Efter settling och tillväxt under ca 9 månader, förs ostronen över till burar eller kassar och odlas vidare i havet, liggande på lämplig botten. Speciell utrustning finns kommersiellt tillgänglig för maskinell borttagning av ostronen från hattarna för vidare hantering. Ostron (i Sverige det platta ostronet, *Ostrea edulis*) kan också odlas delvis på land, i en sluten livscykel, där avelsdjur hålls och leken sker i temperatur och salthaltskontrollerade bassänger inomhus. Larverna föds vidare upp i större bassänger fortfarande inomhus där de matas med odlade fytoplankton.

Vid tid för settling erbjuds larverna speciella ytor som efter settling och ytterligare tillväxt (till ca 5 mm) placeras ut i nätkassar/burar i havet. I takt med att ostronen växer flyttas de till större burar/kassar. Ostron kassarna/burarna kan läggas på botten eller hängas i vattenmassan och denna del av produktionscykeln är extensiv, all näring som behövs för tillväxt extraheras ur vattenmassorna av ostronen. I Sverige finns odling av det platta, europeiska ostronet på experiment och utvecklingsstadiet, och är nära kommersialisering. Endast det platta ostronet kan i



Figur 8. (A) Havsbaserad öppen långlineodling för musslor/sjöpungar. Odlingen sätts ut före larverna settlar i maj/juni. (B) Öppen repodling av Sockertare (marin brunalg). Odlingen sätts ut på hösten och skördas följande vår innan algera blivit könsmogna. (C) Principskiss långlinemodell.



FOTO: PER BERGSTRÖM

Figur 9. Havsbaserad öppen nät/röroddling för blåmusslor.

dagsläget komma ifråga för odling i Sverige då det japanska ostronet (*Crassostrea gigas*) är en invasiv art och därför inte får hållas i annat än helt slutna system med fullständig rening som ser till att könsceller eller yngel inte kan komma ut i omgivande vatten (Thomas m.fl. 2016).

### Sjöpungar

Tarmsjöpungen odlas i Sverige på samma typ av linor som blåmusslor (se ovan). Sjöpungar är ryggsäckdjur (manteldjur) och är också fastsittande (sessila) och sätter sig ofta på odlingsmaterialet något djupare och några veckor tidigare än mussellarverna (Dunér Holtius m.fl. 2013).

### Makroalger

Globalt är produktionen av makroalger en stor industri och nu testas även odling av flera olika arter i Sverige. Längst i utvecklingen har odling av brunalgen sockertare (*Saccharina latissima*) kommit. Odling av sockertare i Sverige idag går till så att små algskott produceras i landbaserade genomflödes-system med tillsats av närsalter. Plantorna ympas sedan in på tunna rep som lindas runt stabilar tjocka nylonrep och sedan sätts ut i havet och förankras i långlinor (Nylund pers. komm. Peteiro m.fl. 2006). Tillväxtperioden för makroalger är höst till vår, varför en "skiftesodling" med annan extensiv odling som t.ex. blåmusslor kan ske på samma rigg eftersom blåmusslorna settlar efter att algerna blivit skördade. En testanläggning för makroalger finns i Kosterhavet som, beroende på odlingsystem, har fått tillväxt på upptill 15 kg (horisontellt odlade alger) respektive 25 kg (vertikalt odlade alger) räknad per horisontell meter, vilket motsvarar 39 respektive 65 ton våtvikt per ha. Liknande siffror finns också publicerade från bl. a skotska och amer-

ikanska odlingar (Gröndahl och Costa-Pierce pers. komm.). Odling av grönalger, som t.ex. Havssallad (*Ulva Lactuca*) (kan framför allt vara aktuella för Östersjön; [www.seafarm.se](http://www.seafarm.se)) i havet är dock svårt att göra på rep, men det finns vedertagna tekniker (används i stor utsträckning i Asien) där algerna istället odlas på dukar av textil. Denna teknik provas nu i Holland (Gröndahl pers. komm). Grönalger kan också odlas landbaserat i s.k. "tumbling-odling".

### Miljöpåverkan

I öppna havsbaserade system med extraktiva arter uppges ingen användning av kemikalier, inte heller näringsämnen (foder) tillsätts. Däremot behövs närsaltlösning tillföras i de landbaserade systemen där de första stadierna av makroalger, algskotten, tas fram innan de sätts ut i havet.

### Musslor

Odling av musslor innebär en extraktion av näringsämnen från havet i medeltal ca 10 kg kväve (N)/ton skördad mussla och 1 kg fosfor (P)/ton skördad mussla (Bergström m.fl. 2013, Bergström 2014). Detta innebär ett nettoupptag av närsalter från vattnet. Andra positiva miljöeffekter utgörs av de fysiska strukturerna som musselodlingen innebär som även kan attrahera olika andra fastsittande arter (McKindsey m.fl. 2011, Willemsen 2005), men också fisk och rörliga ryggradslösa djur som livnär sig på de djur som fäster på strukturerna (Costa-Pierce och Bridger 2002), (Suplicy 2018). När musslor filtrerar föda från vattnet produceras fekalier som tillsammans med annat nedfall från odlingar (döda och levande musslor, skal, andra djur som lever i och kring odlingen etc.) kan öka sedimentationen och ackumuleringen av organiskt material på botten. Denna ackumulation av organiskt material kan innebära en

ökad attraktion av olika bottenlevande arter till området med höga halter närsalt och organiskt material (Nielsen m.fl. 2016).

Lokalt, direkt under odlingen kan en alltför snabb sedimentation leda till en kraftigt ökad mängd organiskt material vilket i sin tur kan leda tillsyresbrist. Dock har tidigare studier visat på att effekten oftast är väldigt lokal (<50 m) kring odlingen samt att den försvinner om odlingen flyttas (Bergström m.fl. 2013, Bergström 2014). Placering av musselodlingarna och de lokala strömförhållandena är viktiga faktorer för att minska effekten av det lokala nedfallet av organiskt material på bottenarna.

### Ostron

Även ostron, vid användning av settlade vilda yngel samt under den extensiva delen av produktionscykeln, extraherar kväve och fosfor ur vattnet genom filtrering på liknande sätt som musslor. Data på mängd kväve och fosfor som byggs in i biomassa per odlad mängd ostron är dock svåra att hitta. Tillväxtodling av ostron i burar och/eller korgar på botten eller hängande i vattenmassan innebär också att odlingsstrukturerna kan fungera som substrat för vilda organismer och en hel del studier är gjorda som visar på dessa positiva effekter av ostronodlingar som artificiella rev (Peterson m.fl. 2003, Drent och Dekker 2013).

### Makroalger

Makroalger assimilerar näringsämnen, främst lösta kväveföreningar, och då de skördas på våren uppmäter de en kvävehalt på mellan 2,5- 6,2% av torrvikten (Sanderson m.fl. 2012, Handå m.fl. 2013, Costa-Pierce pers. komm.). Inga negativa miljöeffekter av makroalgodlingar finns till vår kännedom publicerade. Vid testanläggningen i Koster har

man förutom viss påverkan i landskapsbilden inte uppmätt några negativa effekter (Hasselström m.fl. 2018). Ansvariga för FoU anläggningen nämner dock att det vid skörd kan lossna en del biomassa, vilket skulle kunna leda till lokal och temporär ansamling av biomassa på botten och en större syreförbrukning. Risken måste dock ses som liten då kommersiella algodlare kommer sträva efter att använda metoder som minimerar just biomassaförlust (Nylund pers. komm.).

### Skyddsodling/Fånggrödor

För att ta hand om utsläpp av närsalter från en fiskodling kan man parallellt odla extraktiva arter som tar upp närsalter ut vattnet genom filtrering eller ätning av partikulärt bundna närsalter (musslor/ostron, detritusätare) eller genom assimilerande av lösta närsalter (alger) och som därmed fungerar som fånggrödor (Troell m.fl. 2009, Buck m.fl. 2018). Detta kan ske i direkt anslutning till fiskodlingen eller i samma vattenområde (definieras olika beroende på plats) för att närsaltbalansera utsläppen från fiskodlingen och kallas då skyddsodling. Storlek på vattenområden och avstånd mellan odlingarna är inte enkelt definierade utan beror på strömmar, bottenpografi och kustlinjer, men mängden fånggrödor kan definieras utifrån massbalans modelleringar där mängden kväve och fosfor som släpps ut från fiskodlingen balanseras upp av odlingar av extraktiva arter som är dimensionerade för att ta upp motsvarande mängd kväve och fosfor.

På västkusten är musslor, sjöpungar och alger fånggrödor som odlas idag, men det finns många fler arter som har potential att fungera som fånggrödor. I Östersjöområdet växer visserligen musslorna något sämre än de gör på västkusten, i fullt saltvatten, men



Figur 10. "Kinesiska ostronhattar" för insamling av ostronyngel före (vänster) och efter (höger) utsättning.

| Art             | Produktion (ton) | Volym el. yta       | Total-N kg | Total-P kg | N:P kvot | Sänka (minskar mer än utsläppet) | Referens                                   |
|-----------------|------------------|---------------------|------------|------------|----------|----------------------------------|--------------------------------------------|
| Fisk (FCR 1.1)* | 100              | 3333 m <sup>3</sup> | +5 824     | +604       | 10:1     |                                  | Omräknat från utsläpp i Figur 7            |
| Tarmsjöpfung    | 2 851            | 0.33 hektar         | -7 920     | -648       | 12:1     | Kvävesänka                       | Norén pers. komm beräkning                 |
| Blåmussla       | 600              | 2 hektar            | -6 000     | -600       | 10:1     | -                                | Bergström m.fl. 2013                       |
| Sockertare      | 275              | 50 hektar           | -6 000     | -2 200     | 3:1      | Fosforsänka                      | Omräknat från Pechsiri m.fl. 2016 Tabell 1 |
| Kiselalger      | 100              |                     | - 10 000   | -625       | 16:1     | Kvävesänka                       | Allert pers. komm beräkning                |

Tabell 1. Räkneexempel med utsläpp av totalkväve (total-N) och totalfosfor (total-P) från fiskodling med en täthet i kassen på max 30kg/m<sup>3</sup> vatten. Beskrivet är hur stor mängd fångstgrödor, såsom musslor, sjöpfungar och alger, i ton eller yta som skulle behövas för att teoretiskt kompensera för fiskodlingen. Exemplet speglar förhållanden på den svenska västkusten. \* FCR=Foderkonversionsfaktor.

musslor fungerar bra som fångstgrödor även där. I Östersjön finns det även potential att odla grönalger, något som dock fortfarande är på experimentstadiet. Vid skörd av musslor kan man räkna med ett uttag på ca 8-12 kg N och 0,6-0,8 kg P per ton skördad mussla (se Musslor, ostron och sjöpfungar) och ett hektar kan producera ca 300 ton musslor. Det kan vara stor skillnad i tillväxt hos blåmussla mellan olika platser t.ex. beroende på olika exponeringsgrad oh salthalt, genom att välja ut rätt lokaler kan man i bästa fall fördubbla produktionshastigheten (Bergström m.fl. 2013).

I Öresund har uppskalningsberäkningar från pilotstudier (Bucefalos, 2015) visat att en musselodling med finmaskigt nät, vilket var den metod som gav störst biomassa, gav följande uttag av närsalter/ha/2år: total-N = 1652 kg/ha/2år, total-P = 165,2 kg/ha/2år. När det gäller assimilering av lösta näringsämnen av alger har upptag av kväve och fosfor kvantifierats från 0,5 ha odling av brunalgen sockertare. Under 8 månaders tillväxt producerades 2,5-3 ton algbiomassa (torrvikt) vilket beräknades ha tagit upp och byggt in ca 60 kg N och 22 kg P (Pechsiri m.fl. 2016). Detta motsvarar 20-24 kg N och 7,3-8,8 kg P per ton alger, eller 120 kg N och 44 kg P per hektar. Motsvarande siffror för odling av fastsittande mikroalger: kiselalger, i vatten från en landbaserad fiskodling har visat på ett upptag per ton algbiomassa på ca 1,8 ton koldioxid, 100 kg N och ca 6,25 kg P (Allert pers. komm.). Enligt ett räkneexempel på massbalans (se Figur 7, FCR

1.1) skulle utsläppet från en 100 tons fiskodling på västkusten teoretiskt kunna massbalanseras avseende kväve och fosfor genom skyddsodling med antingen 2 hektar blåmusselodling, 50 hektar sockertare eller 100 ton kiselalger (Tabell 1). Upptag av kväve i förhållande till fosfor (N:P kvoten) varierar för de olika organismerna och beroende på omständigheter så kan fångstgrödan fungera som en särskild sänka, dvs. ta upp mer än vad som släpps ut, för något av näringsämnena.

### Kombinerad extensiv och intensiv odling i öppna system

Flerartsodling kännetecknas av att flera arter från olika nivåer i näringskedjan (s.k. trofnivåer) odlas tillsammans eller i närheten av varandra. Denna typ av multitrof flerartsodling kallas också IMTA: "integrated multitrophic aquaculture systems", där graden av integration varierar mellan olika system (se även kapitlen: "Musslor, ostron och sjöpfungar" samt "Alger" under rubrik "Arter för odling") (Troell m-fl- 2009, Buck m.fl. 2017). I dessa flerartssystem skapas ett flöde av näringsämnen från en organism till en annan och på det viset utnyttjas större del av den näring som man ursprungligen tillsätter i form av foder i det intensiva, "matade" odlingssteget.

Det intensiva odlingssystemet kan vara öppet, semislutet eller slutet och vara placerat i vatten eller på land. Alger och fröväxter samt musslor är exempel på vanliga extraktiva arter som kan utnyttja

näringsutsläppet från fiskodlingarna för tillväxt<sup>3</sup>. Oftast används kombinationen filtrerare och alger/växter i IMTA-system för att extrahera näringsämnen i både löst och partikelform. Även bottenlevande djur som t.ex. maskar, tagghudingar och kräftdjur kan livnära sig på foderspill och fekalier under fiskodlingar i IMTA-modeller (se Bottenlevande arter för IMTA odling). Sockertare växer snabbt (Broch och Slagstad 2012) och har god potential för samodling med fisk (Handå m.fl. 2013, Kim m.fl. 2017). I IMTA försök har Wang m.fl. (2014) visat (m h a stabila kväveisotoper,  $\delta^{15}\text{N}$ ) att en stor del av kvävet i algerna kom från den närliggande fiskodlingen och att tillväxten var 50 % högre när algerna odlades vid de öppna laxkassarna.

I studien uppskattades att en hektar (10 000 m<sup>2</sup>) sockertare skulle kunna absorbera 0,8-1,2 ton kväve under en säsong. Dessa siffror är tio ggr högre än de som är uppvisade i svenska odlingar (Tabell 1, Pechsiri m.fl. 2016) vilket kan bero på skillnader i förutsättningar i vattnet på de olika lokalerna eller på överskattning i beräkningsmodellerna använda av Wang m.fl. (2014). Även röda makroalger har potential för IMTA (Buschmann m.fl. 2008, Abreu m.fl. 2011, , Ghadiryanfar m.fl. 2016, Barceló-Villalobos m.fl. 2017). García-Sanz m.fl. (2010) utvecklade och utvärderade en metod att använda makroalger som biologisk markör för att studera spridningen av lösta ämnen kring en fiskodling. Genom att studera upptaget av en stabil kväveisotop ( $\delta^{15}\text{N}$ ) efter olika lång inkubationstid (exponering) kom man fram till att algerna bör placeras på ca 5-20 m djup och ha en inkubationstid på minst 4 dagar. Intressant är också att även när det gäller musslor har studier visat att tillväxten ökar i närheten av fiskodlingskassar. Reid m.fl. (2010) visade att musslorna har en hög absorptionskapacitet för lax-fekalier. Musslor som odlades i direkt närhet till laxodlingen växte snabbare än de som odlades 200 m bort, och båda dessa grupper växte snabbare än referensgruppen (Lander m.fl. 2014).

Ytterligare studier stöder dessa resultat, blåmusslor visade en högre tillväxt i direkt anslutning till en laxodling, jämfört med några hundra meter bort (MacDonald m.fl. 2011). MacDonald med fler (2011) drog slutsatsen att det är viktigt att designa en IMTA-anläggning noggrant om man vill ha ett faktiskt partikelflöde från fiskodlingarna till omkringliggande alg- eller musselodlingar, en iakttagelse som stöds av en nylig studie där 6 olika fiskodlingar i kombination med musselodlingar

testades i medelhavet (Sanz-Lazaro och Sanchez-Jerez, 2017). För sockertare visade en skotsk IMTA-studie det intressanta att algerna inte bara hade en högre tillväxt närmre fiskodlingen utan även att innehållet av kväve var högre per gram våtvikt då algerna växte närmre fiskodlingen. Detta indikerar att det näringsrika vattnet stimulerar till ökat upptag av kväve (Sanderson m.fl. 2012). Graden av integrering är olika i olika flerartssystem (varför termen IMTA kan ifrågasättas), dock är fördelarna med flerartsodling jämfört med enbart fiskodling påtagliga oavsett om det sker genom en direkt integrering mellan de olika odlingsarterna och därmed ett direkt näringsflöde från art till art eller om det sker genom en nettobalansering av näringsämnen mellan olika arter i ett större område.

I en mindre, lokal skala med mer direkt flöde av näring från en art till en annan kan IMTA ge en bättre användning av en odlingslokal, reducerad effekt på miljön och en diversifierad produktion med bättre utbyte (Folke och Kautsky 1989, Troell m.fl. 2009, Sanderson m.fl. 2012). I Norden har flerartsodlingar skett och sker i mindre forsknings- och utvecklingsanläggningar i Sverige, medan det i Norge och Danmark finns större forskningsinitiativ som satsar på samodling av lax, blåmussla, alger och bottenlevande djur (Bellona Report 2013)<sup>4,5</sup>. Exempel på kommersiella IMTA-anläggningar finns också från både tempererade och tropiska områden (Neori m.fl. 2004, Barrington m.fl. 2009, Troell m.fl. 2009, Chopin m.fl. 2012, Cyrus m.fl. 2015, Fang m.fl. 2016).

När flera arter från olika trofnivåer, på de sätt som beskrivs ovan, odlas tillsammans kallas systemen alltså multitrofa, till skillnad från polykulturer där arter från samma trofnivå t.ex. olika fiskar samodlas. Som målsättning har multitrofa system att minst ha en närsaltsneutral nettoeffekt på miljön, då balanserar de olika arterna varandra i utsläpp och upptag av näringsämnen. Varje ingående art ska även ha ett eget ekonomiskt värde vid skörd. Den biomassan som skördas i form av extraktiva arter kan också den användas till human föda, och/eller till ingredienser i fiskfoder, utvinning av högvärdiga biomolekyler och medicin samt olika typer av biobränsle (Ghadiryanfar m.fl. 2016).

Då systemen är komplexa, kan det också krävas komplexa beräkningar och modelleringar för att kunna visa miljöfördelarna. De ingående organismerna kan exempelvis odlas under olika

årstider, såsom fisk och blåmusslor som tillväxer mest under vår – höst medan sockertare istället har sin tillväxtperiod under hösten till våren. De extraktiva arterna tar därmed sannolikt inte upp exakt de näringsmolekyler som fiskodlingen släpper ut, utan ämnena hinner spridas i omgivningen och genomgå biogeokemiska förändringar i vattenmassan innan de binds in i organiskt material igen. Men tanken med multitrofa odlingar är att det är nettoeffekten av hela systemet, i både tid och rum, som förväntas bli neutral.

För odlaren innebär det att välja rätt kombination av arter som ger flest fördelar på lokalen. Detta kräver fördjupad kunskap om lokalens egenskaper såsom djup, topografi, strömförhållanden, rumsliga och tidsmässiga förändringar i närsalter, temperatur, salthalt och syrgasnivåer samt isläggning. En fördel med multitrofa odlingar är att man som odlare kan sprida de ekonomiska riskerna genom att odla flera olika arter men det kan också vara en ekonomiskt och kunskapsmässigt krävande att odla flera olika arter varför samarbete mellan olika odlare kan vara en lösning.

## SEMISLUTNA SYSTEM FÖR INTENSIV ODLING

### Teknik och drift

#### Semislutna vattenbaserade anläggningar

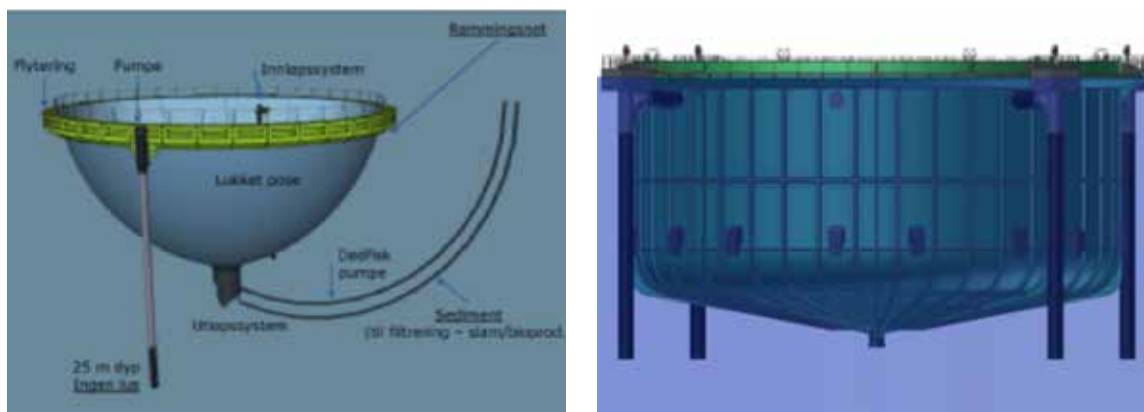
I moderna, semislutna odlingssystem i vatten är de organismer som odlas inneslutna i täta behållare medan vattnet pumpas från recipienten och strömmar igenom systemet för att slussas ut i miljön igen efter olika steg av rening (Figur 11). Denna teknik är bl.a. under utveckling i Norge, där flera anläggningar producerar fisk för marknaden samtidigt som de parallellt arbetar med kontinuerlig teknikutveckling av systemen. Tekniken har även testats vid ett par havsbaserade lokaler i Sverige (Mollösund, Sankt Annas skärgård, Figur 12A-B). Behållarna är antingen hårda och gjorda av ex. plast, stål eller betong, eller så är de flexibla och rörliga och tillverkade av ex. mjukare duk (Figur 11; Heldbo m.fl. 2013, , Park m.fl. 2017, Ungfors m.fl. 2015). Vattnet pumpas in i behållaren från ett större djup för att ge optimal vattenkvalitet, ex. avseende temperatur, salthalt och syrgasmättnad, samt för att undvika sjukdomsalstrande organismer, som i de flesta fall befinner sig i vattenmassorna från 0-5 m. Utflödesvattnet kan renas från partikulärt och/eller löst material i olika grad beroende på reningsteknik

och flöden, innan det blandas med omgivande vatten (Heinen m.fl. 1996; Heldbo m.fl. 2013). Detta görs genom rening av partikulärt material (ex foderpartiklar och fekalier), genom gallerfilter, filterduk, trumfilter och/eller sedimenteringsmetoder (Figur 12C) vilka ofta innebär en reningsgrad av > 80 % av det partikulära materialet. De lösta näringsämnena tillförs till större del omgivningen. Teknikerna erbjuder möjligheter att ansluta ytterligare reningssystem, men enligt vår vetenskap används ännu inga metoder för att reducera de lösta näringsämnena, men teknikerna är fortsatt under utveckling. Anläggningarna behöver tåla påfrestningar från vind- och vågenergi samt kraftiga strömmar för att inte behållarna ska gå sönder eller tyngas ned så att ytvatten kan flöda in (försämrade vattenkvalitet och ökad smittrisk) och fiskarna rymma (Haaland m.fl. 2017).

Till de halvslutna systemen räknas också många av de landbaserade anläggningarna som idag producerar sättfisk, detta för att kunna ha bra kontroll av befruktning, rominkubering, kläckning och övervaka överlevnaden under de känsliga yngelstadierna hos fisken. Till de semislutna systemen hör också landbaserade dammar som försörjs med vatten genom självfall från närliggande vattensystem och där ytvattnet filtreras genom marken innan det når recipienten (Haaland m.fl. 2017).

#### Mjuka skal

Mjuka halvslutna havs-/sjö-baserade system består en kasse gjord i en tät, tålig presenningsduk för öppna nätkassar. Ett flertal prototyper är under utveckling och några modeller finns tillgängliga för kommersiellt bruk. Presenningsmaterialet är under ständig utveckling för optimering för vattenbruksanvändning; ex. marina miljöer, mekaniska påfrestningar och andra utmaningar<sup>6</sup>. Kassarna hålls flytande med hjälp av flytkrage, ofta i plast men även betong används mer och mer (Ungfors m.fl. 2015; Ytrestøyl m.fl. 2013). Inpumpning av djupvatten sker via pumpar, doserad syresättning sker i vattenvolymen vid inpumpning. Vattnet leds ut från odlingssystemet genom ett centralt bottenrör där även slam (sedimenterat material) och död fisk samlas upp och avskiljs. Olika konstruktioner har olika hantering av slamavskiljning och död-fiskavskiljning, med t.ex. separata pumpar för död-fisk och olika separerings- och transport system för omhändertagande av slam. För vidare information om slam se separat avsnitt under miljöpåverkan från partiellt och slutet RAS.



Figur 11. Principskiss över två olika typer av semislutna odlingssystem. (A) mjukt, flexibelt presserings-”skal” (Aquafuture). (B) Hårt, stål-förstärkt glasfiber skal med 40 m i diameter och 20 m djup<sup>14</sup>.



Figur 12. I semislutna odlingssystem är fiskarna inneslutna medan vatten passerar igenom. Partikulärt material tas om hand till olika stor grad beroende på filter och filtreringstekniker medan lösta närsalter följer med vattnet ut. Behållaren kan antingen bestå av (A) ett hårt skal (B) eller en mjuk tät påse. Slammet samlas upp i (C) en bottenventil.

### Hårda skal

Hårdskaliga system i vatten är mer diversa och nya designer utvecklas ständigt (ex. preline Figur 12, neptun, egget). Materialet är ofta någon form av förstärkt glasfiberplast i olika former. Världens hittills största testade prototyp, Aquafarms ”Neptun”, har formen av en hemisfär, en cylinder

med rundad botten (Ungfors m.fl. 2015)<sup>7,8</sup>. Neptun har kontinuerligt utvecklats sedan den första prototypen sjösattes i juli 2013 och är nu kommersiellt tillgänglig<sup>8</sup>. Formerna på de hårdskaliga systemen varierar dock mycket. En likaså vältestad prototyp ”Preline” består av rörformade fisktankar i vilka fiskarna hela tiden simmar mot en ström –

avpassad för att ge mest optimala simhastighet för god fiskvälfärd, hälsa och tillväxt, (Figur 13; Ytrestøyl m.fl. 2013; Solstorm 2017) <sup>9</sup>. Ytterligare en annan prototyp som nyligen fått tillstånd att testköras vid Norges kust är ”Egget”<sup>10,11,12</sup> som kommer att testas från såväl energiförbrukningsaspekter som fiskvälfärd, smitta, parasiter och rymningsaspekter (Lyngøy m.fl. 2018). I dessa system kan vattenvolymen variera från 2 000 – ca. 20 000 m<sup>3</sup> per enhet. Allt eller delar av vattnet innehållande det mesta av avfallet, fekalier och eventuella oätta pellets, leds ut genom ett avlopp där slamavskiljning och/eller andra typer av rening sker. I förekommande fall leds resterande vatten ut genom reglerbara luckor och håll lite högre upp på konstruktionernas sidor. Vattnet in till anläggningen pumpas upp från önskat djup, med kraftiga pumpar. Ingående vatten syresätts automatiskt med hjälp av en syrepump som är kontrollerad av syresensorer i behållaren. För att förhindra påväxt rengörs insidan av de lodräta väggarna med några veckors mellanrum med hjälp av högtryck, borstar, skrapor och/eller roterande skivor<sup>13</sup>.

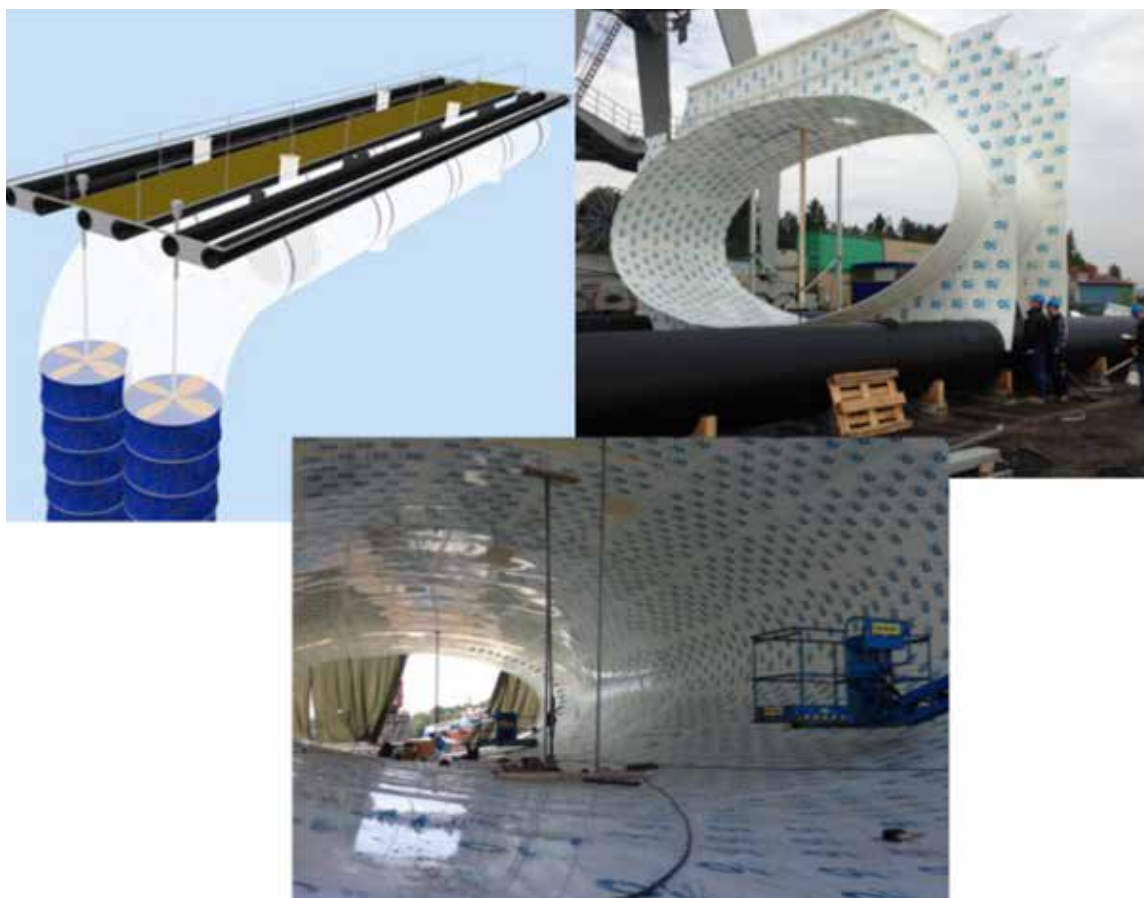
Dessa nya typer av odlingstekniker har flera fördelar jämfört med öppna odlingssystem. När det gäller hälsa och välfärd hos de odlade organismerna gör de semislutna odlingssystem det möjligt att hålla en hög kontroll på vattenkvaliteten vilket leder till lägre mortalitet jämfört med öppna system (Ytrestøyl m.fl. 2013; Handeland m.fl. 2015). Vatten kan pumpas in från valfritt djup och därmed kan ett vatten med stabilitet avseende temperatur, salthalt och syrehalt samt med låg halt av smittämnen och parasiter väljas.

En begränsning med dessa typer av odlingssystem är att de fortfarande är relativt oprövade och under utveckling samt att de är dyrare konstruktioner än nät i öppna kassar och därmed har en högre investeringskostnad. Utvecklingen av de halvslutna systemen har gått fort de senaste 5 åren och de odlingsföretag som satsar på denna teknik innefattar storskalig kommersiell verksamhet för både juvenil tillväxt och matfiskodling, med produktionsvolymerna på >1000 ton/år (Handeland m.fl. 2015). Förutom den initiala investeringen så bör produktionen, när den väl är i gång, vara kostnads effektiv. En utmaning är att designa och producera teknik som tål kraftiga stormar och isbildning. De semislutna systemen kräver mer övervakning och utrustning än öppna odlingssystem.

## Landbaserad odling med genomströmmande vatten

Till de semislutna systemen hör också landbaserade odlingar och dammodlingar som ofta försörjs med vatten genom självfall från närliggande vattensystem och där utvattnet kan filtreras genom tekniska lösningar eller genom marken innan det når recipienten. Vanliga arter för dammodling i Sverige är regnbåge medan tilapia, pangasius, clarias och räkor är vanligt i andra delar av världen (van der Blom m. fl. 2031, Dalsgaard m. fl. 2013, FAO, 2018). I landbaserade karodlingar med genomströmmande vatten sker i Sverige den huvudsakliga produktionen av rom och yngel av våra idag viktigaste matfiskar s.k. sättfiskanläggningar. Vattnet kan tas från närliggande vattendrag eller sjöar vilket här benämns ytvatten oavsett vilket djupt det hämtas från men det kan även hämtas från grundvatten. Det finns för- och nackdelar med båda typerna av vattenintag och kombinationer av de båda vattenkällorna är vid gynnsamma förutsättningar det bästa både för produktionen och för kostnadseffektiviteten. Grundvattnet håller en jämn temperatur över året vilket innebär att vattnet är varmare än ytvatten under vintern och svalare under sommaren. Detta medför att rommen kan kläckas tidigare och att tillväxten hos ynglen därmed påbörjas tidigare men även att kläckning och tillväxt blir mer likriktad mellan produktionsåren. Dessutom riskerar inte vattentemperaturen att bli för hög under sommaren. Grundvatten behöver dock ofta syresättas, antingen mekaniskt eller via syrgasgenerator. Vid tillförsel av syre faller vattnet ofta ut olika metaller som måste filtreras bort innan vattnet når produktionsenheten. Intag av ytvatten följer årets naturliga temperaturvariation. En för låg vattentemperatur i inkommande vatten kan kompenseras genom att vattnet värms till önskad temperatur. Detta är energikrävande och medför extra kostnader för odlaren. På samma sätt kan vattnet under sommaren behöva kylas. Normalt har ytvatten en tillfredsställande syrehalt, men ofta genomförs ändå mekanisk luftning för att höja syrehalten. Även ingående ytvatten kan behöva filtreras innan det går in i odlingsanläggningen.

Vid tillgång till både ytvatten och grundvatten kan de olika vattenkällorna kombineras för att slippa kostnaden för uppvärmning och kylning. Temperaturen och odlingsperioden/erna kan då bättre styras och optimeras. Genomströmningsanläggningar placeras ofta i områden med fallhöjd på vattnet så att kostnad för pumpning av vatten



Figur 13. Rörformat semislutet odlingsystem där fisken simmar mot en ström (Preline).

in till anläggningen kan minimeras genom att man utnyttjar vattnets naturliga fallhöjd. Ett flertal anläggningar är därför placerade i anslutning till vattenkraftsdammar, i dessa fall kan odlaren behöva betala för den minskade energiproduktionen som bortledningen av det vatten som leds till odlingen innebär.

Odlingsanläggningar med självtryck har betydligt mindre risk för produktionsstörning i form av pumphaveri och negativa konsekvenser som kan följa av brist på vatten i anläggningen.

Avelsfisken hålls också den i bassänger i anläggningarna alternativt i närliggande dammar eller, vilket dock är mindre vanligt, i öppna odlingskassar. Utfodringen av fisken sker oftast med hjälp av foderautomater som antingen aktiveras mekaniskt eller med elektronisk styrning. Oavsett metod avgör fiskens dagliga kondition hur fodergiven optimeras. Både konventionellt torrfoder och foder med extra hög flytförmåga används. Storlek på kornen optimeras utifrån fiskens storlek för att undvika foderspill.

### Odling i dammar

Odling i dammar förekommer främst i anslutning till sättfiskanläggningar. Dammarna utnyttjar genomströmmande ytvatten men det förekommer att detta blandas med grundvatten. Utfodring i dammar sker liksom i landbaserade genomströmningsanläggningar antingen för hand eller med hjälp av mekaniskt- eller elektroniskt styrda foderautomater. I dammanläggningar är dock handmatning vanligare än i andra typer av odlingsanläggningar. Oavsett utfodringssmetod är det fiskens dagliga kondition som avgör hur fodergiven optimeras. Både konventionellt torrfoder och foder med extra hög flytförmåga används. Storlek på kornen optimeras utifrån fiskens storlek för att undvika foderspill. Den totala produktionen i dammanläggningar är marginell i förhållande till andra produktionsmetoder. Att odla i dammar är relativt billigt, men liksom andra odlingsmetoder av fisk kräver anläggningen daglig tillsyn (FAO 2018). Hantering av fisk, ex. leverans och sortering kan dock vara mer arbetsintensiv och fysiskt krävande än i landbaserade anläggningar.

## Miljöpåverkan

### Semislutna vattenbaserade anläggningar

Idag finns delvis kommersiella semislutna anläggningar som parallellt också arbetar med forskning och teknikutveckling på flera ställen längs den norska kusten och teknikerna har även testats vid några tillfällen i Sverige. Inom laxodlingen i Norge har en av drivkrafterna för utveckling av såväl halvslutna som slutna system varit att minska tiden då fisken befinner sig i öppna kassar i havet. Detta bl.a. för att den maximala "bärigheten" (möjliga utrymmet) för närsaltbelastning från fiskodlingar i Norge är nått och inga fler tillstånd för laxodling i havet ges. Denna utveckling leder till att längre tid av produktionscykeln sker på land i recirkulerande system och/eller i havet i halvslutna system där näringsämnen helt eller delvis bättre kan tas om hand vilket frigör utrymme för att kunna öka den totala produktionen.

Andra viktiga drivkrafter bakom denna utveckling är att minska problemen med laxlus och andra infektioner i odlingarna, minska rymningar och öka överlevnaden framför allt under den första tiden efter överföring till de öppna kassarna i havet. Vid överföring av Atlantlax smolt till öppna kassar i havet vid traditionell storlek, ca 100 g, har en så hög dödlighet som 20 % rapporteras<sup>14</sup>. Överlevnaden vid saltvattens överföring har visats sig öka dels om smolten sätts ut vid större storlek (200-600 g) och dels om de sätts ut i halvslutna system en period först (Handeland m.fl. 2015, Calabrese m.fl. 2017).

I de halvslutna, vattenbaserade systemen pumpas djupvatten in i den mjuka eller hårda slutna "kassen" och utvattnet leds igenom filter av olika typer – olika för de olika systemen - men oftast tas > 80 % av det partikulära materialet om hand innan utvattnet återförs till recipienten. De system som testas idag redovisar värden på att 80-100 % omhändertagande av det partikulära materialet i ut-vattnet. I utsläpp av kväve och fosfor innebär detta att ca 15-30 % av kvävet samt 65-80% av fosfor tas om hand i slammet. Tekniken är än så länge endast testad vid ett fåtal tillfällen under de miljömässiga förhållanden som gäller för svenska vattenområden och behöver därför utredas vidare för att fastslå potentialen för svenska förhållanden.

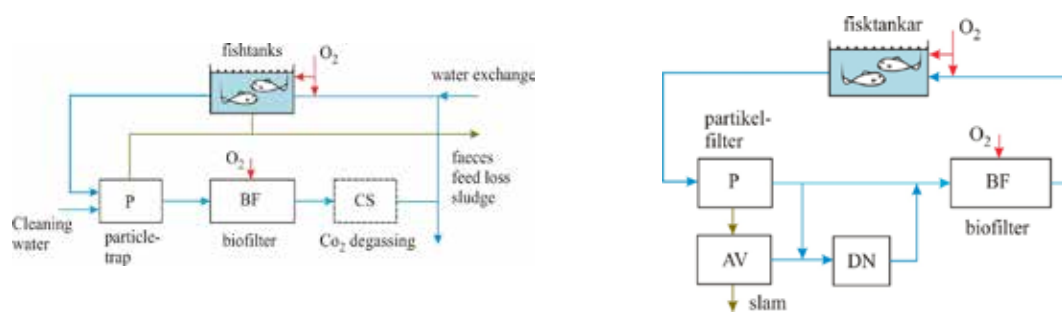
Då lösta näringsämnen fortfarande släpps ut till omgivningen med utgående vatten, så är det även i dessa odlingssystem värt att undersöka om integrerad odling (IMTA) med extraktiva arter

kan vara lämplig i närområdet. Miljöfördelar med tekniken är att partikulär överskottsnäring kan samlas upp vilket också minskar den organiska miljöbelastningen. Eftersom fisken är helt innesluten är rymningsrisken låg och som ytterligare försäkring mot rymningar kan ett extranät fästas på utsidan om skador och hål uppstår i skalet. Ingående vatten pumpas också igenom "nätpåsar" för att förhindra att fisk sugts bakvägen ut till omgivningen vid eventuellt pumpstopp. Såväl dessa nät som eventuella partikel filter och "rymningskassarna" rengörs genom maskintvätt och själva kassarna tvättas genom borstning och spolning.

En av fördelarna i norska storskaliga tester av semislutna system är den kraftiga nedgången av laxlusutbrott då laxlusen spridningsstadiet huvudsakligen uppehåller sig i ytvattnet och inte i någon större täthet i det djupvatten som pumpas in i systemet (Johnsen m.fl. 2014). Det finns också undersökningar som visar att fiskens beteende ändras där Atlantlaxen i traditionella öppna system ofta är aggregerad medan man har noterat att laxen under dagtid är mer jämnt utspridd i kassen i ett halv-slutet system. Tillväxthastigheten har visat sig vara högre och en lägre foderkonversionsfaktor har uppmätts i halvslutna anläggningar i jämförelse med öppna kassar. En lägre mortalitet har också rapporterats i de halv-slutna systemen (Kolarevic m.fl. 2014; Calabrese m.fl. 2017).

### Landbaserad odling med genomströmmande vatten

I en landbaserad odling med genomströmmande vatten filtreras vanligen utgående vatten genom ett mekaniskt och/eller biologiskt filter. Mekanisk filtrering tar bort huvuddelen av det partikulära spillet medan lösta näringsämnen och mindre partiklar når recipienten. Genomströmningsanläggningar kräver god tillgång till vatten. En hög genomströmning medför samtidigt att det vatten som passerar ut från anläggningen innehåller låga halter av näringsämnen per liter vatten. För att minska vattenbehovet kan hela eller delar av anläggningens vatten recirkuleras. Detta ökar möjligheterna till rening av vattnet men medför även ett ökat energibehov för pumpning av vattnet för cirkuleringen (se "Slutna system för intensiv odling"). Merparten av den sättfisk som produceras i anläggningar med genomströmmande vatten sätts ut i matfiskodlingar med fortsatt produktion i öppna kassar.



Figur 14. Principskiss för (A) partiellt RAS med vattenutbyte samt (B) RAS med fullständig recirkulering av vattnet. P=Partikelfilter/avskiljare, BF=Biofilter för nitrifikation och nedbrytning av organiskt material, CS=CO<sub>2</sub> avskiljning, AV=O<sub>2</sub> avskiljning, DN=Denitrifikation.

## Odling i dammar

Vanligtvis renas inte utgående vatten men vissa dammanläggningar har nedströms liggande sedimenteringsdammar där grövre sediment ansamlas. Produktionsvolymen i dammar i Sverige är låg jämfört med andra produktionssystem.

## SLUTNA SYSTEM FÖR INTENSIV ODLING

Odling i recirkulerande system bedrivs i Sverige idag småskaligt och i system med pågående teknikutveckling. Såväl tropiska som kallvattensarter odlas.

### Teknik och drift

#### Partiell och full RAS

I slutna recirkulerande odlingssystem s.k. RAS, Recirculating Aquaculture Systems, renas vattnet i olika steg, helt eller till stor del, och recirkuleras tillbaka till fisken (Heldbo m.fl. 2013; Ungfors m.fl., 2015). Tekniken används på land och anläggningen är därmed inte utsatt för vågenergi eller is som vattenbaserade system. Vattenmiljön för de odlade organismerna kan kontrolleras väl genom desinficering, rening och kontroll av olika vattenkvalitetsparametrar som temperatur, pH, salthalt och kvävehaltiga restprodukter. Principiellt kan RAS-system delas upp i två huvudgrupper: partiellt recirkulerande (recirkulerar <90% av vattnet) RAS och fullt recirkulerande RAS (recirkulerar >90% av vattnet). En RAS anläggning kan utformas på många olika sätt med vissa grundfunktioner är alltid med i partiell RAS (Figur 14A) respektive full RAS (Figur 14B). Hög recirkulationsgrad ställer höga krav på vattenreningen, vilket i sin tur kan öka installations- och driftkostnaderna.

Vilken typ av RAS-anläggning som är bäst lämpad beror på art som skall odlas, foder, produktionsmängd, temperatur och lokala faktorer som vattentillgång, utsläppsnivåer, tillgång till mark, byggnader och värme har relativt RAS höga initiala investeringskostnader och det krävs stort tekniskt kunnande för att utforma en effektiv RAS-anläggning. Även dagligt bruk, drift och skötsel, kräver mer teknisk utrustning och kompetens än för ett öppet system. RAS-tekniken erbjuder en betydande vattenbesparing och kraftiga barriärer mellan de odlade organismerna och omgivningen och en god odlingsmiljö för organismerna som visar sig i god överlevnad och tillväxt (Terjesen m.fl. 2013).

Utfodring i RAS skiljer sig något från utfodring i öppna system. I RAS vill man använda pellets med andra fysiska egenskaper, t.ex. högre flytförmåga. Man har också ofta mer utvecklad kontroll av utfodringen för att undvika överutfodring. Effekterna av överutfodring blir ofta mer drastiska i ett RAS-system då det påverkar de olika filtren och kan leda till att vattenkvaliteten hastigt kan försämrats. I RAS blir foderförbrukningen därför ofta lägre samt att en effektivare foderomvandling har rapporterats i dessa system.

#### a) Odlingstankar

De två vanligaste typerna är odlingsrännor (långa bassänger) där vattnet rinner från ena änden till den andra och där vattenkvaliteten ofta avtar ju närmare utloppet man kommer. Den andra typen av odlingskärl är runda eller mångkantiga kar vilka generellt anses ha en jämnare vattenkvalitet i hela vattenvolymen (Figur 15). Med rätt vinklat inflöde kan en cirkulär ström på vattnet skapas framförallt i runda tankar, vilket skapar en ström som fiskarna



FOTO: (A) ANDERS KIESSLING (B) ELENA GAZEVA

Figur 15. Landbaserade odlingssystem med recirkulerande vatten, så kallat RAS. (A) Svensk odling av abborre (B) och steglet (stör) .

kan simma mot (bra t.ex. för laxfiskar) och en bättre självrenerande funktion då partiklar som foderrester och fekalier samlas i en centrerad virvel och lätt kan avskiljas via en bottenventil (jmf. semislutna system; Figur 12C). En nackdel med runda kar är att de kräver större markyta för samma odlingsvolym. Tankarna är ofta av plast eller glasfiber, och ibland gjutna av betong.

#### b) Filter och partikelavskiljare

Vattnet i en RAS-anläggning kan ledas på många olika sätt till de i systemet ingående reningsstegen, men ofta leds den största delen av vattnet från odlingtankarna först till ett mekaniskt filter, där större partiklar och slam tas bort (Figur 16). Vanligen används trumfilter, men bandfilter, skivfilter, sildukar eller s.k. hydrocykloner förekommer också. De uppsamlade partiklarna kompakteras på olika sätt och avlägsnas med en slamavskiljare.

En riskfaktor i RAS är att små partiklar kan ansamlas i vattnet. Detta kan påverka fiskarna negativt på flera sätt, bl. a. genom att orsaka irritation och skador på gälarna vilket kan minska fiskens syreupptagningsförmåga och öka risken för bakteriella angrepp. Vid ansamling av suspenderade partiklar kan viss typ av oönskad anoxisk (syrefri) nedbrytning av organiskt material uppkomma, vilket i sin tur kan resultera i en dysmak på fiskköttet. En ökad mängd partiklar kan också försämra sikten i vattnet vilket skulle kunna påverka fiskarnas födosök, minska födoupptaget och därmed öka foderspillet. Dock finns också motsatta förhållanden hos framförallt juveniler av vissa arter, t.ex. hälleflundra och torsk, där lera eller s.k. "grönvatten" (växtplankton, se Figur 19) tillsätts då detta stimulerar foderupptaget. Suspenderade partiklar

kan också påverka vattenreningen i RAS-system genom att sätta igen biofilter och försämma UV- och/eller ozonbehandling (Schumann m.fl. 2017). Vid användning av sand- eller s.k. bead-filter kräver eventuell igensättning av dessa med partikulärt material extra arbetstid för backspolning, igångsättning osv. Det är därför viktigt att hålla ner partikelhalten i vattnet och detta görs oftast med en av tre huvudprinciper för avlägsnande av suspenderat partikulärt material: Sedimentering, filtrering och flotation (skumning). Sedimentering sker naturligt då flödes hastigheten är tillräckligt låg. För att uppnå låg flödes hastighet krävs stora volymer/ytor och därför lämpar sig sedimentering dåligt för odling inomhus.

Filtrering är en rent mekanisk metod där vattnet går igenom ett filter med en given porstorlek (Holm och Andreassen 2018). De vanligast förekommande är trumfilter och bandfilter. Båda kräver att filtren 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. Flotationsmetoden används framförallt i kläckerier och yngelanläggningar, i serie med filtrering, för att avlägsna de kvarvarande minsta partiklarna, så kallad polering av vattnet (Heldbo m.fl. 2013).

Ordning och typ av filter kan varieras på väldigt många sätt, se Ungfors m.fl. (2015) för exempel på flera idag befintliga system. Dessa komplexa serier med filter kräver en kontinuerlig kontroll och övervakning av vattenparametrar som salthalt, temperatur, kväveföreningar och syrgashalt och pumpar som säkerställer vattenflödet i systemet, samt kan användas till syresättning, backspolning och rengöring av filter.



Figur 16. Två olika typer av trumfilter för borttagning av tyngre partiklar och slam i RAS anläggning. Filtret till höger består av mässing för att tåla saltvatten bättre.

### c) Bakteriella reningssteg för partiell och full RAS

#### I. 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. Mängden organiskt material kan mätas genom att se hur mycket syre som krävs för att totalt bryta ned (oxidera) det organiska material som finns. Detta kan antingen göras indirekt på kemisk väg (COD) eller biologiskt med hjälp av bakterier (BOD) (Ungfors m.fl. 2015). Det organiska materialet bryts ned i en biogeokemisk process där olika slag av heterotrofa bakterier använder syre eller oxiderade oorganiska föreningar för att bryta ned det organiska materialet och binda in det i biomassa.

Syre är det mest effektiva oxidationsmedlet som ger bakterierna mest energi, aeroba bakterier har därmed en konkurrensfördel mot anaeroba. Men om syret tar slut tar andra mer långsamt växande bakterier över, såsom denitrifikanter. Aktivslamprocessen, som är den traditionella tekniken för kommunal vattenrening, bygger helt på suspenderade bakterier i öppna bassänger. Bakterierna bildar slamflockar som sedimenteras, urvattnas och sedan avlägsnas. Metoden kan även användas i vattenbrukssammanhang, men kan vara problematisk i RAS då så kallad slamflykt, vilken sker då flockarna inte sedimenterar tillräckligt fort, kan uppstå och ge problem med ökad partikelmängd i systemet. I en RAS-anläggning används istället oftast biofilter, även kallat bioreaktorer, där bakterierna sitter fast på ett ytförstorande underlag (bärrmaterial) som kan vara sand, sten, plast eller trä i någon form där bakterierna därmed inte behöver sedimentera (Xiao, R., m.fl. 2018, von

Ahnen m.fl. 2018). Ju större yta desto fler bakterier får plats och bärrmaterialen kan antingen sitta fast eller vara rörligt (Moving Bed Biofilm Reactor - MBBR). Det senare har flera fördelar som att biofilmen lättare kan kontrolleras och hållas på en lagom tjock nivå samt att omrörningen oftast sker med hjälp av luft så att en god oxygenering sker.

#### II. Nitrifikation

Nedbrytning av kväveprodukter sker genom s.k. nitrifikation: detta innebär en oxidation av ammoniak till nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) med hjälp av bakterier och reaktionen sker i 2 steg. Det kväve som tillförs systemet kommer från proteiner i fodret. Den huvudsakliga kväveprodukten som utsöndras i vattnet från djuren är ammoniak ( $\text{NH}_3$ ).  $\text{NH}_3$  är giftig för både fiskar och kräftdjur redan i mycket låga koncentrationer (Roques 2013). Beroende på pH-värdet i vattnet kommer en större eller mindre mängd av  $\text{NH}_3$  att överföras till den mindre toxiska formen ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Gränsvärdena för  $\text{NH}_4^+$  i vatten för fisk ligger på 0,5-1,0 mg  $\text{NH}_4^+$ -N/m<sup>3</sup> (se Ungfors m.fl. 2015).

Nitrifikationsbakterier omvandlar  $\text{NH}_3$  i två steg under närvaro av syre. Först oxideras  $\text{NH}_3$  till nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) som i sin tur oxideras vidare till nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (Brailo, m.fl. 2018). Då  $\text{NH}_3$  oxideringen frigör vätejoner är det viktigt att alkaliniteten (buffertkapaciteten) i vattnet är god så att de frigjorda vätejonerna kan bindas upp, buffras, annars är det risk att pH-värdet sjunker i vattnet.  $\text{NO}_2^-$  är liksom  $\text{NH}_3$  toxiskt och det är därför viktigt att koncentrationen av  $\text{NO}_2^-$  inte byggs upp utan att processen drivs hela vägen till  $\text{NO}_3^-$ . En effektiv syresättning är viktig för att nitrifikationsbakterierna skall fungera optimalt. I bioreaktorerna får vattnet strila ner över biobädden



FOTO: ANDERS KIESSLING

Figur 17. Borttagning av koldioxid, för reglering av pH. Två olika typer av filter för avluftning av koldioxid i RAS anläggning. Systemen utökar ytan mellan vatten och luft så att koldioxid kan avgå i gasform från vattnet till luften och resultatet blir att pH i vattnet därmed höjs.

varvid vattnet luftas så att syrehalten ökar. I biobädden får de nitrifierande bakterier växa till på bärmaterial som kan vara konstruerat på många olika sätt (se ovan samt Ungfors m.fl. 2015), där komplext veckade plastbollar med kraftig ytförstoring är vanligt förekommande. De nitrifierande bakterierna är autotrofa och utnyttjar koldioxid (inte organiskt material) som substrat för sin biomassa. Eftersom bakterierna tillväxer långsamt behöver ett biofilter få mogna då kvävebelastningen i systemet behöver successivt byggas upp för att bakteriepopulationen skall växa till sin maximala kapacitet (Rurangwa m.fl. 2015). En väl fungerande biobädd skall byggas upp succesivt och det tar tid att få den optimerad. Alla biologiska vattenreningsprocesser är temperaturberoende. Detta gäller inte minst nitrifikationsbakteriernas tillväxt som minskar ganska kraftigt med sjunkande temperatur. Nitrifikationen sker optimalt vid rumstemperatur. Tillväxthastigheten för bakterierna är ungefär halverad vid 12°C jämfört med vid 20°C och sjunker till en tredjedel vid 8°C. Det kan därför vara svårare att åstadkomma en stabil och hög nitrifikation med vid temperaturerna under 7-8°C. Nitrifikationen beror på antal bakterier men också på hur tjock biofilmen är då syre och  $\text{NH}_4^+$  behöver kunna diffundera in till de innersta bakterierna i filmen så ju större yta desto bättre (Zhu och Chen, 2002). I vattnet är nitrifikationen oftare begränsad av mängden tillgängligt syre än av  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -koncentrationerna. Då vattnet kan innehålla högre mängd syre vid låga temperaturer så kompenserar detta något den lägre tillväxthastigheten hos bakterierna (Zhu och Chen 2002). I saltvatten är nitrifikation något lägre än i sötvatten vilket kan bero på att saltvatten innehåller lägre halter syre än sötvatten av samma temperatur

(Rusten m.fl. 2006). Vilken design på anläggningen som är den bästa beror såväl på salthalt och temperatur som odlingsart, foder, odlingsstorlek och lokala faktorer som vattentillgång, utsläppskrav och tillgång till byggnader och värme.

Då det är flera kemiska processer som sker i succession är biofiltren ofta uppdelade i flera separata kammare där det organiska materialet (se I) bryts ned i de första behållarna och omvandling från  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  till  $\text{NO}_2^-$  och vidare till  $\text{NO}_3^-$  sker i de följande kamrarna. I ett partiellt RAS kommer koncentrationen av  $\text{NO}_3^-$  sakta att byggas upp i systemet, men  $\text{NO}_3^-$  är betydligt mindre giftigt än  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  och  $\text{NO}_2^-$ , varför en viss höjning av halterna tolereras av fisken (Roques 2013). Gränsvärden för  $\text{NO}_3^-$  ligger på 50-300 g  $\text{NO}_3^-/\text{N}/\text{m}^3$ ; Ungfors m.fl. 2015). I det partiella RASet är det huvudsakligen ökningen i  $\text{NO}_3^-$  halterna som bestämmer hur mycket vatten som skall bytas ut. Ofta sker ett kontinuerligt utbyte av vatten (så kallad "blödning"). Detta kan ske på flera olika sätt. Vid användning av trumfilter, bandfilter och sandfilter måste (back-) spolning ske regelbundet, då sker även ett indirekt vattenutbyte då spolvatten följer med slamuttaget även om eventuellt vattenöverskott leds tillbaka till reningen. Vid behov av högre vattenutbyten räcker inte detta utan systemet tappas på renat vatten och nytt vatten leds till odlingsstankarna. Utöver  $\text{NO}_3^-$ -koncentrationen så bestäms graden av vattenutbyte också av pH och alkaliniteten på vattnet. Nitrifikationen frigör ju vätejoner vilket kan sänka pH-värdet på vattnet. Detta kan regleras upp igen genom att reducera mängden koldioxid ( $\text{CO}_2$ ) i vattnet. Vattnet strilas över ytförstörade

konstruktioner så att utbytesytan mellan vatten och luft ökas, vanligen genom olika plastkonstruktioner och självfall (Figur 17). Gasutbyte kan då ske med omgivande luft så att koldioxid avges och pH i vattnet höjs. Avgasning av koldioxiden påverkar dock alkaliniteten negativt, varför en del utbyte av vatten kan vara nödvändigt även för att öka alkaliniteten. Olika typer av kalciumreaktorer, skalgrus etc. används också för att höja alkaliniteten i systemet.

#### d) Bakteriella reningssteg för full RAS

##### III. Denitrifikation och anammox

Den huvudsakliga skillnaden mellan de två huvudgrupperna av RAS-system är att full RAS även innefattar denitrifikation/annamox vilket innebär att  $\text{NO}_3^-$  och/eller  $\text{NO}_2^-$  och ammonium överförs till kvävgas ( $\text{N}_2$ ) som kan diffundera ut i luften. I och med att kvävet på det sättet tas bort ur vattnet kan re-cirkuleringsgraden öka avsevärt (Ungfors m.fl. 2015). Även denna överföring av bildade kväveprodukter till  $\text{N}_2$  sker med hjälp av bakterier i bioreaktorer. Två huvudsakliga bakteriergrupper kan bilda  $\text{N}_2$ , de heterotrofa denitrifikationsbakterierna som bryter ned  $\text{NO}_3^-$  vidare till  $\text{N}_2$ , samt anammox-bakterier som kombinerar  $\text{NH}_4^+$  och  $\text{NO}_2^-$  till  $\text{N}_2$  och vatten, båda kan endast verka under syrefria förhållanden.

Denitrifikationsbakterierna behöver organiskt material som kolkälla för sin nedbrytning, vilket inte anammox-bakterierna behöver, dessa kan istället använda  $\text{CO}_2$  som kolkälla. Ofta återfinns dessa två bakterietyper tillsammans i denitrifierande, anoxiska biofilter. Men bidraget till denitrifieringen ifrån anammox-bakteriernas är ofta relativt lågt, på grund av deras låga aktivitet och krav på högre temperaturer (Awata m.fl. 2013). Denitrifikation genom de denitrifierande heterotrofa bakterierna verkar dock inte vara lika temperaturkänslig som nitrifikationen och dessa bakterier bibehåller god hastighet ända ner till 5 grader (Rusten m.fl. 2006). Flera forskningsprojekt arbetar med möjliga lösningar för optimering av olika kombinationer, i samma eller separata filter, av denitrifierande heterotrofa bakterier och anammox-bakterier.

De speciella krav som de olika bakterierna har på syre eller syrefri miljö, med eller utan  $\text{NH}_4^+$ , med eller utan organiskt material etc. gör att det är svårt att ”bara” lägga till ett denitrifikationssteg i slutet av den serie av filter som beskrivits för det partiella RAS systemet. Till exempel fungerar nitrifikationen bäst

om halten organiskt material är relativt låg, därför saknas det i regel tillräckligt med såväl organiska ämnen som  $\text{NH}_4^+$  i slutet av filterserien, för att denitrifikation, på ena eller andra sättet, skall kunna ske. Olika lösningar används för att komplettera upp ett partiellt system till ett fullt RAS i olika typer av separata loopar där delar av vattnet leds till ett anoxiskt denitrifikationsfilter direkt från odlings-tankarna eller direkt efter partikelfiltret och därefter vidare till övriga filter. Denitrifikation kan också ske på utflödesvattnet med då behöver oftast en extern kolkälla tillsättas. Detta kan avhjälpas m h a tillsats av slam som rötats eller enkla kolkällor såsom alkohol. Det är kol/kväveknoten i fodret tillsammans med fiskens respiration som avgör hur mycket  $\text{NO}_3^-$  som kan denitrifieras utan tillsats av externa organiska material (se Ungfors m.fl. 2015 för exempel).

##### e) Desinficering

I ett RAS-system finns ofta också ett desinficerande steg där oönskade bakterier, svampar, virus och patogener avdödas. Desinfektionen sker genom att vattnet antingen passerar förbi ett UV-filter och/eller genom tillsats av ozongas eller kemikalier. Då RAS-anläggningar utnyttjar ”goda” bakterier för sin vattenrening så är kemikalier inte att generellt rekommendera då dessa kan slå ut hela biofiltret om de inte har hunnit brytas ned innan de kommer dit via vattenflödet. Låga koncentrationer av formalin, och perättiksyra gör ingen större skada på nitrifierande bakterier, men i höga doser har de en negativ effekt på nitrifikationen (Keck och Blanc 2002, Pedersen m.fl. 2010, Murray m.fl. 2014, Ungfors m.fl. 2015).

Väteperoxid, har visat sig ha en signifikant negativ påverkan på funktionen i biofiltret (Arvin och Pedersen 2015). Istället för kemikalier används därför oftast metoder som har en kortvarig effekt på det vattnet som passerar och där inga kemiska biprodukter produceras; UV-behandling, ozonbehandling och oxidationsprocesser. Ju långsammare vattnet flödar förbi UV-lampan desto mer intensitet utsätts vattnet och patogenerna för. UV-dosen benämns som  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ , för vattenbruk ligger denna generellt runt  $320 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ . UV-ljus på 100-400 nm i våglängd dödar eller inaktiverar de flesta bakteriella, virala och parasitiska patogener (Wedemeyer m.fl. 1978, Sharrer m.fl. 2005, Skall och Olesen 2011, Jan-ning m.fl. 2012). Ozon ( $\text{O}_3$ ) är en aggressiv gas och effektivare än UV-ljus vilket gör att processen går snabbare och kapaciteten för rening och desinficering

blir större. Ozonet gör att partiklar flockas, och sedimenterar och därmed kan tas bort genom filtrering eller flotering. Ozonet oxiderar också lösta organiska ämnen så att dessa faller ut och kan filtreras bort, samt oxiderar giftigt  $\text{NO}_2^-$  till  $\text{NO}_3^-$ . Det skapas inga skadliga restprodukter och ozongasen omvandlas snabbt till syrgas.

Vid ozonanvändning måste resterande ozon dock tas bort innan den kommer i kontakt med fisken. Detta kan vid behov göras mha UV-ljus då ozon absorberar UV-energi och bryts ned. Kraftigast desinfektions-effekt får man om man kombinerar ozon och UV-ljus även om de var och en för sig har en god förmåga att döda patogener (Wedemeyer m.fl. 1978, Liltved m.fl. 2006, Skall och Olesen 2011, Janning m.fl. 2012, Murray m.fl. 2014). Ett annat alternativ är att rena vattnet mha AOT-teknik (Advanced Oxidation Technology) där bakterier dödas mha hydroxylradikaler vilket är en form av reaktiva syreradikaler (Gonzalez 2017). Effekten av alla dessa metoder är beroende av vattenflödet där en snabb flödes hastighet minskar effekten, medan en långsam hastighet ökar den. Endast en av de landbaserade slutna anläggningarna som svarade på enkäten angav att de använder ozon för vattenrening. Då gasen snabbt bryts ned måste den produceras på plats, och säkerhetssystem krävs då den kan verka cancerogent och förhöjda halter bör undvikas i anläggningen. Detta kan vara orsaken till att mindre odlare och försöksanläggningar använder sig av den något mindre effektiva men säkrare UV-ljusmetoden.

## f) Syresättning

Då alla organismer som odlas i vatten andas syre som de behöver för sin ämnesomsättning är det viktigt med konstant och god tillgång på syre i odlingsstankarna. Syrehalten i vattnet bör därför övervakas kontinuerligt och vid behov tillsätts luft eller syrgas. För de flesta fiskarter ligger optimal mängd löst syrgas ( $\text{O}_2$ ) på mellan 4-6  $\text{O}_2$  mg/L. Vid lägre organisk belastning på systemet räcker det att tillsätta luft, men vid intensiv odling behöver oftast syrgas tillföras (Figur 18; Summerfelt m.fl. 2000).

För att säkerställa att syrehalten är tillräckligt hög för odlingsorganismerna bör det i varje tank (eller i deras utlopp) finnas en syregivare kopplat till ett styrsystem med automatisk syretillförsel och/eller larmfunktioner. Då syresättning, precis som alla annan teknik, medför en kostnad för anläggningen så är det viktigt att anpassa systemet till typ av odling och därmed det behov man har. Genom att använda

sig av en återkopplad reglering baserat på uppmätt syrehalt och temperatur kan man minimera kostnaderna för den metod man valt. I slutna (och ibland även i halvslutna) system är en kontinuerlig automatiserad mätning kopplad till ett system som vid behov kan tillföra extra luft/syrgas regel. Hur mycket syrgas (i mol eller vikt) som kan lösa sig i vattnet beror på vattnets täthet (densitet). Detta gör att vatten med låg temperatur och låg salthalt innehåller mer syrgas vid full mättnad än vatten med hög temperatur och hög salthalt (Riley och Skirrow, 1975). Vid normalt lufttryck (1 bar/101,1 kPa) är full syrgasmättnad i sötvatten vid 10°C ca 11,3mg/L och sjunker sedan till 9,1mg/L vid 20°C. Motsvarande siffror för havsvatten med en salthalt på 35 PSU (3,5%) är 8,8mg/L respektive 7,2mg/L. Då organismernas behov av syrgas ofta ökar med temperaturen gör det att odling av arter vid hög temperatur ställer högre krav på extra syrgastillförsel. Om tätheten på vattnet ändras, exempelvis genom att temperaturen höjs, så ändras sig också mättnaden, och ett vatten som först var mättat blir då övermättat vilket resulterar i att gasbubblor börjar bildas. Dessa bubblor med syrgas stiger mot ytan, och kan ha en negativ effekt på de odlade organismerna (Stenberg 2016). Extra syretillförsel sker i mindre anläggningar normalt med hjälp av en enkel luftpump, men vid större installationer och högre odlingsstäthet krävs luft-/syrgaskompressorer. Vid användning av komprimerad syrgas, alternativt syrekon och katalys, där kväve och syre separeras, kan syret inlösas i inflödet till övermättnad. Dessa typer av syresättning är troligen mer energikrävande än bubbling. Även i vissa steg i vattenreningen behövs luftning. Luftningen i dessa steg kan ske genom att vattnet strillas över ytor eller 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 båda sätten åstadkomma en stor kontaktyta mellan luft och vatten. Effekten som åtgår beror på flera faktorer; friktionsförluster i diffusorerna, verkningsgraden hos kompressorn och vattendjupet (som avgör mottrycket; Ungfors m.fl. 2015).

## g) Energibehov

Vattenbruk har behov av olika typer av energikällor. Elektrisk ström för att driva pumpar och annan utrustning, drivmedel för transport och uppackningsgeneratorer och energi för att värma och/eller kyla. Ett RAS-system är beroende av energi för att pumpa vatten samt eventuellt för att reglera temperaturen på vattnet samt värma lokaler.



Figur.18. Utrustning för vattenbehandling i RAS anläggning. (A) Proteinskummare tar bort löst organiskt material (B) I rörligt biofilter (MBBR) växer bakterier som biofilm på yttörstörande substrat (här plastbollar). Biofilmen får stor yta mot vattnet och bryter ner och renar vattnet från kvävehaltiga (och för odlingsorganismerna giftiga) ämnen i vattnet. (C) Desinficering. Vattnet passerar en lampa med UV-ljus på 254 nm våglängd för att ta bort virus, bakterier, svamp och parasiter. (D) Syresättning av vattnet. I en syrekon tillsätts ren syrgas via tryck till vattnet.

## Akvaponik

Landbaserade anläggningar där djur och landväxter odlas i samma slutna vattensystem kallas akvaponik och tekniken har urgamla traditioner. Oftast odlas matfisk eller skaldjur i system tillsammans med grönsaker, örter, svamp och blommor. Fiskarnas avfall används som näring åt växterna, och växterna samt andra organismer som bakterier och musslor renar vattnet, som kan recirkuleras tillbaka till fisken. Vanligast förekommande fiskar i denna typ av odling är fiskar som är tåliga, enkla att hålla och som växer snabbt, exempelvis varmvattenslevande arter som tilapia och olika arter av mal men även regnbåge används. Vattnet från odlingsstanken med fisk leds till en utfällningstank/biobädd där bakterier bryter ner fekalier och foderrester till löst näring. Vattnet leds sedan vidare till landväxterna i systemet, vilka odlas utan jord (s.k. hydroponik) och näringen tas därmed upp direkt ur vattnet. Därefter pumpas vattnet tillbaka in till fiskarna. Odlingar av denna typ sker ofta i urbaniserad miljö där markyta och

tillgång på vatten är begränsande, och odlingarna placeras då på de ytor som har tillgång på sol och är outnyttjade, exempelvis på tak. Odlingarna bidrar därmed också till att tillföra växtlighet till stadsbilden. Odlingarna kan vid gynnsamma väderförhållanden ske utomhus, men i svenskt klimat blir detta troligen mest gångbart med odling i växthus. Då det går åt mycket energi att värma vattnet så går utvecklingen nu mot mer energieffektiva växthus och det finns i den urbana miljön också en god tillgång på spillvärme från både byggnader och industrier som kan utnyttjas. Proportionen mellan växter och fisk i ett akvaponiksystem är ca 10 till 1, och växterna kommer därmed att ta ganska stor yta i anspråk om de ska kompensera för fisken fullt ut. Genom att odla vertikalt kan man komprimera växtodlingsytan. I Sverige används denna teknik ännu bara i liten skala, enskilda hushåll och demonstrations-/försöksanläggningar, men kommersiella system i något större skala är under uppbyggnad. Odlingsskärnen består

vanligen av plast eller betong, och för att växterna ska ha stöd kan deras kärl fyllas med inert material såsom lecakulor eller småsten. Vattencirkulationen i systemet går via slangar, hängrännor, automat- hävertar och pumpar. I Sveriges finns ett flertal försök och demonstrationsanläggningar för akvaponik, där växter (bladgrönt, tomater eller tropiska växter) odlas ihop med fisk. I Sveriges första kommersiella störodling har man i RAS-anläggningen även satt in tropiska växter såsom bananer och papayaträd som biofilter.

### IMTA på land i RAS

Integrerade multitrofa odlingar kan även ske i RAS. Försök görs nu bl. a. i Kungshamn med odling av kiselalger (mikroalger) på avfallsvatten från en mindre landbaserad RAS-fiskodling. För att algerna ska kunna växa tillsätts även vissa nödvändiga spårämnen samt koldioxid från fiskodlingsvatten och luft. Vattnet från fiskodlingen pumpas ut ur fiskodlingsanläggningen in i ett växthus där det får flöda över plana odlingsytor i ett biofilmsystem. På ytan växer kiselalger (tagna från det lokala bottensedimentet) och dessa mikroalger renar vattnet genom att ta upp näringsämnen från vattnet och binda in i biomassa. Algerna kan sedan skördas och bearbetas för industriella processer (se Alger och växter).

### Biofloc

I biofloc-odling, har man bakterier och växtplankton direkt i fiskens/kräftdjurets odlingsvatten, där de fungerar som en kombination av internt reningsverk, foder och probiotika. Dessa system kan bara användas till arter som är anpassade till att filtrera/äta föda som består av klumpade flockar av bakterier (därav namnet biofloc), t.ex. Vannamei-räka och Tilapia (Figur 19B). Odlingssystemen är helt slutna, landbaserade system, med i princip nollutsläpp (Avnimelech 2009). Bioflocen består av mikroorganismer som cirkuleras runt och fungerar som foder åt räkorna (alternativt filtrerande fiskarter som tilapia).

Bioflocen består av mikroorganismer som lever av organiskt material med högt proteininnehåll (ex. baljväxter). Mikroorganismerna i systemet, som kräver hög temperatur, är tänkta att kunna försörja fisken eller räkorna helt eller med viss stödutfodring, med energi och näringsämnen för en hög produktion. Näringsammansättningen på bioflocen varierar och beror bl.a. på tillsatta näringsämnen, odlingsart, odlingsförhållanden, salthalt, ljus,

bakterier/fytoplankton relationen etc. Proteininnehållet i olika bioflocsystem kan variera mellan 14-50 % på torrsubstans basis. Lipidinnehållet är vanligtvis lågt, med värden mellan till strax över 1 % till 9 %, även om det lägre spannet är vanligast (genomgång av Martínez-Córdova m.fl. 2015).

### Miljöpåverkan Energiförbrukning

Energibehovet i en landbaserad RAS-anläggning är högre än för vattenbaserade öppna och halvslutna system (Ayer and Tyedmers 2009; Badiola m.fl. 2017). Detta beror framför allt på pumpning av vatten och på, vid behov, temperering av lokaler och vatten. Vattentemperaturen är den faktor som starkast påverkar tillväxten hos vattenlevande organismer och genom att höja vattentemperaturen med några grader kan tillväxten öka markant, vilket förkortar produktionstiden. Men alla arter trivs inte bra i höga vattentemperaturer och i system för odling av kallvattensarter kan vattnet istället behöva kylas. Den energi som behövs för att kyla eller värma vattnet är i princip proportionell mot antalet grader som temperaturen ska förändras (Ungfors m.fl. 2015, Badiola m.fl. 2017). För att minska energibehovet för att värma eller kyla inkommande vatten till anläggningen kan man använda sig av en värmeväxlare. Vilken utformning som är bäst blir en avvägning mellan investerings- och pumpkostnad å ena sidan och önskad temperatur å andra sidan. Olika delprocesser i anläggningen påverkar också värme och kylbehovet, så som pumpar, luftning, avdunstning och värmeutbyte med omgivande luft. Om temperaturskillnaden mellan vatten och luft är stor skapas onödig energiförlust i systemet. Övrigt energibehov i en RAS-anläggning är el för belysning, både allmän belysning och UV-ljus för desinficering. Om ozon används så tillverkas det på plats och detta tar också el i anspråk (Summerfelt 2003). Oxidationsprocesser, som t.ex. Wallenius AOT kräver nära kontakt mellan vatten, UV-ljus och katalysator vilket kräver en minskning av vattenflödet på vissa ställen i systemet vilket resulterar i tryckförluster.

Även ventilationen av lokalerna kan behöva vara kraftig för att hantera hög luftfuktighet och koldioxid. Luften kan också behöva passera genom ett filter för att ta bort partiklar som kan verka irriterande på andningsvägar och slemhinnor. Då energiförbrukningen beror av många olika faktorer så kan man inte ge en generell kostnadsbild för ett RAS system. Men tillgängliga beräkningar



Figur 19. Landbaserade odlingssystem med (A) odling i grönt vatten (mikroalger) (B) och slutna system med odling i biofloc.

som gjorts i storskaliga RAS odlingar i Norge ligger på 1.67 NOK/kg fisk (Iversen m.fl., 2013) eller 8 % av de totala driftkostnaderna (Rosten m.fl., 2013).

### Teknikberoende

Landbaserade RAS system kan hålla en stabil och optimal vattenmiljö tack vare teknisk utrustning. Detta innebär dock även risker. Strömbortfall eller haveri på pumpar, styrutrustning, etc. kan medföra en snabb förändring i vattenkvalitet vilket kan leda till dödlighet. Detta kan i sin tur utgöra en miljömässig risk då vatten och den döda fisken behöver omhändertas. Det finns därför en stor marknad av avancerade kontrollsysteem, sensorer och varningssystem för RAS anläggningar och nya system utvecklas kontinuerligt.

### Utgående vatten

Ett partiellt RAS-system kan behöva upp till 10 % vattenutbyte/dygn medan det i full RAS endast behövs < 10 % utbyte/dygn och det kan vara så lågt som 1-2% (Heldbo m.fl. 2013, Langeland m.fl. 2014a; Ungfors m.fl., 2015). I båda typerna av RAS renas vattnet både mekaniskt, kemiskt och biologiskt för att sedan till största delen återföras till odlingsbassängerna. Då odlingsorganismerna aldrig kommer i direktkontakt med ekosystemet utanför anläggningen så är överföring av patogener minimal och genetisk kontaminering genom rymningar i stort sett omöjlig.

I partiellt RAS är det huvudsakligen gränsvärdet för önskade nitrathalter som bestämmer hur mycket kontinuerligt utbyte av vatten som behövs, normalt mellan 10-20%. Detta innebär också att den volym vatten som leds ut från anläggningar kan innehålla relativt höga  $\text{NO}_3^-$ -halter: 50 – 300 gN/m<sup>3</sup>, som är

gränsvärdena för fiskens tålighet för nitrat (se kapitel ”Reningssteg för partiell och full RAS, II, Nitrifikation” ovan). Utvattnet behöver därför ledas till ett avloppsnät för denitrifiering mot en avgift eller behandlas ytterligare m h a ett biofilter med denitrifikation. Den förra är mest lämpad för utomhusodling i bassänger eller dammar då utsläpp och upptag av  $\text{NO}_3^-$  då är synkroniserade med årstiderna och varierande temperaturen. Om vattnet skall denitrifieras innan utsläpp (även kallat efterdenitrifikation) krävs det att lätt nedbrytbara organiska ämnen tillsätts som extern kolkälla (ex alkohol) då det utgående vattnet har för lågt organiskt material för de heterotrofa bakterier som ska utföra processen. Det går också att utnyttja det organiska material som finns i slammet genom att hydrolysera och röta det och sedan leda överskottsvattnet till denitrifikationssteget. Denitrifikationen sker anaerobt och någon form av omrörning är bra för att hålla en hög verkningsgrad.

Med mekanisk filtrering och heterotrofa och nitrifierande biofilter kan mängden fosfor och kväve som leds ut från anläggningen i utvattnet reduceras (Langeland m.fl. 2014a, Ungfors m.fl. 2015). Sätter man dessutom till ett denitrifikationssteg där kväveföreningar omvandlas till luftkväve och en fosforfällning så reduceras utsläppet ytterligare, och recirkuleringsnivåer så låga som 1-2% kan fås. Fosfor kan fångas genom kemisk flockning och då fosfor binder starkt till flockulanten kan det filtreras eller floterats bort.

### Slam

Alla typer av vattenrening producerar en viss mängd slam som består av bakterieflockar, fekalier och foderrester. Slammet innehåller en stor del vatten och

endast en liten del (0.1-5%) är torrs substans (Lekang 2013). För att kunna använda slammet så avlägsnas vatten antingen m.h.a. press, filtrering, centrifugering eller torkning. Slammet kan därefter komposteras i luft eller rötas i lufttäta behållare. Tillsats av kalk (bränt, CaO, eller släckt kalk, Ca(OH)<sub>2</sub>) höjer pH-värdet och gör att både lukt och eventuella patogener försvinner.

Slam från sötvattensodlingar kan vara lämpliga som gödsel inom jordbruket, men enligt Mirzoyan m.fl. (2010, 2018) kan slam från marina odlingar innehålla för mycket salt och kan därför lämpa sig bättre till biogasproduktion (genom rötning), men här pågår forskning om möjligheter att använda även marint slam till gödning då olika grödor kan ha olika salttolerans (se även Övervakning och tillsyn). Så länge foder och tillsatser inte innehåller persistenta föroreningar (exempelvis tungmetaller) som överstiger gränsvärden bör det slam som produceras i en sluten eller partiell RAS kunna användas som näring till annan produktion, exempelvis inom jordbruket. Det är detta som utnyttjas i integrerade system, såsom Akvapponik där näringsämnen inte går till spillo utan används till matproduktion (Enduta m.fl. 2011). Då kunskapen fortfarande är relativt begränsad inom detta område så finns behov av ytterligare forskning och utredningar framförallt kring slamhantering och möjligheter för användning av slam.

### Landyta

En miljöpåverkan är den relativt sett större yta en landbaserad anläggning kräver om den ska nyttjas för odling av stora volymer av matfisk. Att lyfta upp en volym fisk motsvarande en vattenbaserad öppen kasse på land kräver större yta i form av bassänger, och därmed yta land, gentemot en sjöbaserad anläggning, där kassarnas djup är väsentligt större och därmed ger en större volym/yta.

## ARTER FÖR ODLING

Enligt Statistiska Centralbyråns sammanställning av svenskt vattenbruk så producerades vattenlevande organismer till ett värde av 487 miljoner SEK för konsumtion och ett värde för utsättning på ytterligare 68 miljoner SEK, under 2016.

Huvuddelen av produktionen består av fisk. 11 417 ton matfisk, i slaktvikt, vilket motsvarar 13 451 ton i färskvikt. Utöver matfisk produceras i huvudsak musslor, 2 317 ton i hel färskvikt. Inrapportering sker frivilligt och enligt SCB är underlaget inte

komplett då flera odlare saknas.

Enligt branschorganisationen Matfiskodlarna producerar deras medlemmar mer regnbåge och röding än vad som rapporteras och SCBs siffror för dessa arter underskattar därmed den verkliga produktionen. För enkelhets skull används dock SCBs siffror framöver då några annan sammanställning inte är tillgänglig. Kommersiellt svenskt vattenbruk består idag av odling av strax över tiotalet arter. Laxfiskar utgör den största delen, där regnbåge står för ca. 86 % av fiskproduktionen och röding för ca 15 %. Därefter kommer skaldjur huvudsakligen blåmussla och en mindre mängd signalkräftor. Försöksodling sker dock på betydligt fler arter, både fiskar, skaldjur, andra vattenlevande djur och primärproducenter (alger/växter). Totalt finns enligt Centrala vattenbruksregistret (Jordbruksverket) över 100 odlingsanläggningar som tillsammans innehar odlingstillstånd för ett 30-tal olika typer av fisk eller skaldjur där nästan hälften av arterna/varianterna tillhör familjen laxfiskar. Dessa anläggningar är utspridda över Sveriges alla län (SCB 2016, Centrala vattenbruksregistret 2016). Ostron och tarmsjöpunng försöksodlas dock enbart i Västra Götalands län. Vissa odlingar producerar flera olika arter samtidigt och Jämtland och Västerbotten står tillsammans för mer än hälften av 2016 års matfiskproduktion. Matfiskproduktionen har sedan 2010 ökat från 5 000-7 000 ton till att ligga på en produktionsnivå på ca 14-15 000 ton. Ökningen består i huvudsak av ökad odling av regnbåge och röding. De flesta regnbågsodlingar är små, mindre än 50 tons storlek, men majoriteten av produktionen (95 %) sker på ett tiotal större odlingar på > 100 tons storlek.

Yngel och sättfisk odlas generellt i landbaserade system med varierande grad av recirkulering av vattnet. Ynglen är små och tar visserligen liten plats men ställer samtidigt höga krav avseende vattenkvalitet och skötsel för att hålla låg dödlighet. I landbaserade anläggningar kan vattenkvalitet (t ex salthalt, temperatur, eller närsalter till alg- och växtskott) och foder (levande eller torrfoder) lättare att kontrolleras och övervakas och därmed optimeras till de stadier som ska odlas.

### Laxfiskar

Regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) har fått sitt namn av att hanen under lektiden skiftar i olika färger. Även när fisken inte bär lekdräkt skiftar den i olika färger, om än inte lika tydligt. Den har även rosa



Figur 20. Majoriteten av all odlad fisk i Europa och i Sverige är laxfiskar. Det vanligaste sättet att odla laxfiskar på är i öppna kassar. Här visas hur laxarna står i en kasse med foderpellets som flyter på ytan. Foto: Anette Ungfors.

kinder och svarta prickar längs hela kroppen. Arten kommer ursprungligen från Nordamerika och östra delen av Stilla havet och förekommer inte naturligt i Sverige men har i mycket stor omfattning vid ett stort antal tillfällen planterats in som sportfisk i olika vatten då den är den populäraste sportfisken i Sverige. Den har i vissa sjöar rymt från odlingar då den även är den fiskart som odlas mest i landet. De rymningar som skett från odlingar är till största delen regnbåge eftersom regnbågen står för ca 80 % av den odlade volymen fisk i Sverige (Dalsgaard m.fl. 2013). De första inplanteringarna i landet skedde redan 1892 (van der Blom, 2013). Etablering av reproducerande bestånd har endast skett i drygt 15 vattendrag, de flesta i södra Sverige, varför arten inte räknas som självreproducerande i resten av landet. Gemensamt för dessa vattendrag är höga pH-värden och låg temperatur, vilket gynnar rommen som är

känsligare för låga pH-värden än öringen. Regnbågen leker till skillnad från övriga laxfiskar under våren vilket motverkar möjligheterna att hybridisera med andra fiskarter i Sverige.

Regnbågen föredrar syrerikt, rent sötvatten, men kan även klara sig i grumliga vattenmiljöer med lägre syrehalter, till skillnad från andra laxfiskarter. Den livnär sig på kräftdjur, sniglar, vatteninsekter och flygande insekter samt småfisk och fiskägg. Regnbågen finns i två varianter varav en är havsvandrande (steelhead) och den andra är helt sötvattenslevande (rainbow). Det är den sistnämnda som framförallt odlats och planterats ut i Sverige då den är lättodlad med låga krav på temperatur och vattenkvalitet. Den har visat sig väldigt flexibel och kan leva i vattentemperaturer mellan 0–25°C, men trivs bäst i vatten som är ca 16°C. Till skillnad från

den havsvandrande varianten dör den emellertid ofta efter reproduktionen. Den kan uppnå en storlek på drygt 20 kg och en ålder på cirka 18 år men uppnår sällan dessa storlekar i svenska vatten. Arten är huvudsakligen stimlevande och har oftast inget revirhävande beteende, vilket gör att man i en odling kan hålla relativt höga tätheter av regnbåge utan att detta skadar fisken.

Röding (*Salvelinus spp.*) är en laxfisk som lever och trivs bäst i kalla, syrerika vatten. Den både klarar och trivs i kallare vatten än övriga svenska fiskarter varför den till skillnad från mer varmvattenkrävande arter både äter och tillväxer under en stor del av vintern. I fiskodlingar medför detta även att odlingssäsongen förlängs under hösten men att den samtidigt kan störas under sommaren om vatten-temperaturen stiger över rödingens temperatur-optimum. I naturen väljer rödingen att söka upp djupare och kallare områden i sjöar under sommaren för att undvika det varmare ytvattnet.

Rödingen förekommer i flera olika underarter eller varianter vilka kan korsas sinsemellan. Den variant som odlas utgörs av storröding, vilken under goda förhållanden är den mest snabbväxande varianten. Rödingens diet växlar från djurplankton via inslag av bottenlevande insekter till att vid större storlekar även inkludera fisk. Småväxta individer och varianter klarar däremot inte att övergå till att äta fisk, vilket vanligen även hämmar dess fortsatta tillväxt. Rödingen har små fjäll med ljusa fläckar mot grönsilvrig bakgrund. Den spektakulära röda bukfärgen som gett fisken dess namn framträder speciellt i samband med leken och fenorna är orangeröda med vackert vita ytterkanter. Den leker på sten- och grusbottnar i sjöar under höst och tidig vinter. Den kan uppnå en vikt på över 10 kg och bli över 25 år gammal.

### Avel

Det finns i Sverige endast avelsprogram för två fiskarter, röding och regnbåge. Avel och förädling inom produktion av både djur och växter har resulterat i ökad tillväxt/produktion, bättre köttkvalitet, hälsa och välfärd för djuren. De arter där vi inte lyckats sluta livscykeln i odling är fortfarande beroende av vild reproduktion och yngelproduktion (ex ål). I öppna system där rymning kan förekomma är det en fördel om de arter som odlas har liten inverkan på det vilda ekosystemet om de skulle komma ut. Detta gäller inte bara djur utan även alger och växter. I semislutna och slutna system

är de odlade organismerna inneslutna och det är en fördel om avelsprogram kan utarbetas för ökad tillväxt (i djur är detta via ökad foderkonvertering och förskjuten könsmognad) och välfärd (minskad aggressivitet, sjukdomsresistens och förbättrad hälsa). För varje ny art är detta dock en omfattande och lång process att få fram ett avelsprogram med önskat resultat. Detta gäller särskilt långlivade organismer med normalt sen könsmognad och lång generationstid.

Avelsprogrammet på röding startades egentligen redan åren 1982-1985 då intresset för att odla röding för konsumtion började visa sig i Sverige. Efter en 3-årig försöksperiod kunde den mest lämpade rödingstammen väljas ut och avelsarbetet påbörjas (Brännäs m.fl. 2007).

Sverige är världsledande i att driva avelsprogram för röding som odlas i kasse. Med ett ursprungsmaterial från Hornavan har det under mer än trettio år bedrivits ett framgångsrikt avelsarbete på röding. Några av de mer betydande avelframgångarna är en röding som växer betydligt fortare och når sin könsmognad senare än den icke avlade rödingen. Det innebär att fisken i odling inte hinner bli könsmogen innan den har uppnått slaktstorlek. Rödingens färg och form har blivit bättre och även storleken har blivit mer homogen inom beståndet. Under senare avelsgenerationer har det även lagts vikt vid att avla på stresståliga individer vilket gynnar fiskvälfärden och fiskens tillväxt. Avelsarbetet bedrivs vid försöksstationen i Kälarne av Sveriges lantbruksuniversitet i samarbete med Vattenbrukscentrum Norr AB (svb). Den tredje parten i samarbetet är näringen, vilka även odlar fisken i öppna kassar vid ett flertal odlingslokaler.

Avelsarbetet har gett de svenska odlare som nyttjar den framavlade rödingen (Arctic Superior) konkurrensfördelar. Homogena bestånd med liten storleksspridning medger effektivare hantering och utfodring, samt att kostnaderna minskar när fisken inte behöver sorteras lika ofta. Eftersom sortering kan ge upphov till stress hos fisken minskar både stressen och dess följder med försvagat immunförsvar och en sämre tillväxt med ett mer homogent material. Vid längre intervall mellan sorteringarna blir det även färre tillfällen i hanteringen som i värsta fall kan medföra rymningar.

Eftersom könsmognaden inträffar först vid fyra års ålder är dock avelsarbete en tidskrävande process som inte kan påskyndas. En avelsgeneration har efter att den kramats och befruktats inget fortsatt värde för avelsarbetet eftersom dess genetiska framsteg endast kan användas en gång. De kan däremot användas som stamfisk för kommersiell romproduktion. Delar av den använda avelsgenerationen placeras även ut hos olika odlare i syfte att ha tillgång till reservbesättningar om något skulle inträffa vid försöksstationen i Kålarne.

För närvarande pågår ett forskningsprojekt där SLU och VBCN ska genomföra nya försök att triploidisera röding. Med hjälp av ändamålsenlig utrustning ska försöken medföra en högre överlevnad. Triploid röding som saknar reproduktionsförmåga bör på sikt kunna finnas tillgänglig på marknaden vilket förhindrar risken att den odlade fisken kan reproducera sig med vild röding.

Det finns även ett avelsprogram för regnbåge vilket drivs i samarbete mellan SLU och VBCN. Programmet är fortfarande i en tidig fas men det finns ett stort intresse bland inblandade myndigheter, forskningsinstitutioner och näringen. Bland annat har Sveriges veterinärmedicinska anstalt (SVA) liksom Jordbruksverket uttryckt behovet av ett svenskt avelsprogram för regnbåge. Efter åtta års förberedelse kommer avelsgenerationen som skapades 2016 utgöra basen för det framtida avelsprogrammet. Det sker årligen import av regnbågsrom från andra länder varav Danmark och Finland är de största exportörerna. Inhemskt producerad rom kan möjligen minska risken för sjukdomar.

Ett nationellt kontrollprogram som är under framtagande kommer, förutsatt att det godkänns av Jordbruksverket, öka möjligheterna till spårbarhet och branschen uppmuntras därigenom att minska importen av rom.

I enlighet med avelsprogrammet för röding kommer avelsarbetet inriktas på liknande önskvärda egenskaper hos fisken. Det planeras även försök att undersöka om det finns skillnader i foderupptagningsförmåga mellan olika regnbågsfamiljer. Om dessa försök kan påvisa att det på individ- eller familjenivå finns skillnader så kan aveln riktas mot familjer med god foderupptagningsförmåga vilket ger förutsättningar att minska foderkoefficienten hos regnbågen när den odlas till matfisk. Triploidisering av regnbåge har däremot pågått under en längre tid i andra länder, varför denna teknik redan finns tillgänglig.

### Diversifiering

Ökat antal odlade arter kräver kunskap om bl.a. odlingsbiologi, produktionsvillkor, teknik, sjukdom/förebyggande hälsoarbete och näringslära (Albertsson m.fl. 2012, Heldbo m.fl. 2013, Ungfors m.fl. 2015). För att odling av nya arter ska kunna bli ekonomiskt bärkraftiga krävs kunskap om arternas odlingsbiologi, näringsbehov, lämpliga tekniker beroende på artens beteende och behov och produktionskvalitet samt hälsa och smittskydd. Odling av nya arter kan också innebära att organismer i olika livsstadier behöver importeras till Sverige för att utgöra startmaterial till odling. Detta omfattas då av gällande regelverk för införsel av organismer (genetiskt material) till Sverige<sup>16, 17</sup>.



Figur 21. Långsiktiga avelsprogram. (A) Röding. Genom avelsprogram har man fått fram fiskar med önskvärda odlingsegenskaper, som ex minskad aggressivitet. (B) Abborrfiskar, som här abborre, och även gös odlas kommersiellt men ännu saknas avelsprogram då arterna är relativt nyetablerade inom svensk odling.

Tabell 3. Odlingssarter, kommersiellt eller test, förekommande i Sverige och deras miljöbehov. \*I tillägg några arter som idag odlas kommersiellt eller på försök i andra europeiska länder och där intresse funnits för att starta svensk odling.

| Arter                           | Latinskt namn                                                                                                                 | Temp-<br>eratur | Salthalt              | Livsmiljö                   | Födostrategi     |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|------------------|
| <b>Fisk</b>                     |                                                                                                                               |                 |                       |                             |                  |
| Lax                             | <i>Salmo salar</i>                                                                                                            | Kallt           | Anadrom               | Pelagisk                    | Karnivor         |
| Öring                           | <i>Salmo trutta</i>                                                                                                           | Kallt           | Anadrom               | Pelagisk                    | Karnivor         |
| Regnbågslax                     | <i>Oncorhynchus mykiss</i>                                                                                                    | Kallt           | Sött                  | Pelagisk                    | Karnivor         |
| Röding                          | <i>Salvelinus spp.</i>                                                                                                        | Kallt           | Sött                  | Pelagisk                    | Karnivor         |
| *Torsk                          | <i>Gadus morhua</i>                                                                                                           | Kallt           | Marin/<br>Bräckt      | Pelagisk-<br>Bottenlevande  | Karnivor         |
| Europeisk ål                    | <i>Anguilla anguilla</i>                                                                                                      | Kallt           | Katadrom              | Pelagisk-<br>Bottenlevande  | Karnivor         |
| Grå Havskatt                    | <i>Anarhichas lupus</i>                                                                                                       | Kallt           | Marin                 | Bottenlevande               | Karnivor         |
| Fläckig havskatt                | <i>Anarhichas minor</i>                                                                                                       | Kallt           | Marin                 | Bottenlevande               | Karnivor         |
| Gös                             | <i>Sander lucioperca</i>                                                                                                      | Kall-<br>Varmt  | Sött/<br>Bräckt       | Pelagisk                    | Karnivor         |
| Abborre                         | <i>Perca fluviatilis</i>                                                                                                      | Kall-<br>Varmt  | Sött/<br>Bräckt       | Pelagiskt                   | Karnivor         |
| *Piggvar                        | <i>Scophthalmus maximus</i>                                                                                                   | Varmt           | Marin/<br>Bräckt      | Bottenlevande               | Karnivor         |
| Tilapia                         | <i>Oreochromis niloticus</i>                                                                                                  | Varmt           | Sött                  | Pelagisk                    | Omnivor          |
| Afrikansk vandrarmal            | <i>Clarias gariepinus</i>                                                                                                     | Varmt           | Sött                  | Pelagisk-<br>Bottenlevande  | Omnivor          |
| Sterlettstör                    | <i>Acipenser ruthenus</i>                                                                                                     | Varmt           | Sött/<br>Bräckt       | Bottenlevande               | Karnivor         |
| <b>Kräftdjur</b>                |                                                                                                                               |                 |                       |                             |                  |
| Flodkräfta                      | <i>Astacus astacus</i>                                                                                                        | Kallt           | Sött                  | Bottenlevande               | Omnivor          |
| Europeisk hummer                | <i>Homarus gammarus</i>                                                                                                       | Varmt           | Marin                 | Bottenlevande               | Karnivor         |
| Vannamei-räka                   | <i>Litopenaeus vannamei</i>                                                                                                   | Varmt           | Marin/<br>Bräckt      | Pelagisk                    | Omnivor          |
| <b>Mollusker</b>                |                                                                                                                               |                 |                       |                             |                  |
| Blåmussla                       | <i>Mytilus edulis</i>                                                                                                         | Kallt           | Marin/<br>Bräckt      | Fastsittande                | Suspensionsätare |
| Platt ostron                    | <i>Ostrea edulis</i>                                                                                                          | Kallt           | Marin                 | Bottenlevande               | Suspensionsätare |
| *Japanskt jätteostron           | <i>Crassostrea edulis</i>                                                                                                     | Kallt           | Marin/<br>Bräckt      | Fastsittande                | Suspensionsätare |
| *Kammussla                      | <i>Pecten maximus</i>                                                                                                         | Kallt           | Marin                 | Bottenlevande               | Suspensionsätare |
| <b>Manteldjur</b>               |                                                                                                                               |                 |                       |                             |                  |
| Tarmsjöpfung                    | <i>Ciona intestinalis</i>                                                                                                     | Kallt           | Marin                 | Fastsittande                | Suspensionsätare |
| <b>Havsborst-mask</b>           |                                                                                                                               |                 |                       |                             |                  |
| *Bakborstig rovmask             | <i>Hediste diversicolor</i>                                                                                                   | Kallt           | Marin/<br>Bräckt      | Bottenlevande               | Omnivor          |
| *Jätterovmask                   | <i>Alitta virens</i>                                                                                                          | Kallt           | Marin                 | Bottenlevande               | Omnivor          |
| <b>Alger</b>                    |                                                                                                                               |                 |                       |                             |                  |
| Cyanobakterier                  | <i>Spirulina spp.</i>                                                                                                         | Varmt           | Sött                  | Pelagisk                    |                  |
| Mikroalger                      | ex. <i>Chlorella spp.</i> ,<br><i>Phaeodactylum tricornutum</i> ,<br><i>Bacillariophyceae spp.</i> , <i>Dunaliella salina</i> | Kallt/<br>Varmt | Sött/Bräckt/<br>Marin | Pelagisk/Botten-<br>levande | Primärproducent  |
| Sockertare                      | <i>Saccharina latissima</i>                                                                                                   | Kallt           | Marin                 | Fastsittande                | Primärproducent  |
| Fingertång                      | <i>Laminaria digitata</i>                                                                                                     | Kallt           | Marin                 | Fastsittande                | Primärproducent  |
| *Nori tång                      | <i>Porphyra spp.</i>                                                                                                          | Kallt           | Marin                 | Fastsittande                | Primärproducent  |
| Söl                             | <i>Palmaria palmata</i>                                                                                                       | Kallt           | Marin                 | Fastsittande                | Primärproducent  |
| <b>Växter</b>                   |                                                                                                                               |                 |                       |                             |                  |
| Bladgrönt (sallad, örter, kål)  |                                                                                                                               |                 | Sött                  |                             | Primärproducent  |
| Tomater                         |                                                                                                                               |                 | Sött                  |                             | Primärproducent  |
| Tropiska växter (banan, papaya) |                                                                                                                               |                 | Sött                  |                             | Primärproducent  |

I multitrofa, mer eller mindre integrerade system, som IMTA och akvaponik, måste arter från olika delar av näringsväven ingå, oavsett om odlingen är havs- eller landbaserad. Sekundärkonsumenter, såsom fiskar eller kräftdjur producerar de restprodukter (foderrester, fekalier, NH<sub>3</sub>) som resterande arter skall tillväxa på och då även rena systemet ifrån. Primärproducenter, som alger och

växter, tar upp närsaltarna direkt från vattnet. Suspensionsätare såsom musslor och andra mollusker tar upp näring i form av partikulärt organiskt material, antingen i form av levande mikroorganismer eller dött organiskt material (se även IMTA & IMTA på land).

Tabell 4. Odlingsslag förekommande i Sverige, i kommersiell eller i försöksodling. Odling är baserad på tillgång på larver/ungel/sporer som antingen är vildfångad (vild), importerade (import) eller från svenskt avelsprogram och/eller uppfödning med sluten livscykel (sluten) Odlingssystem Ö=Öppet, SS=Semislutet, S=Slutet, I=Integrerade multitrofa system, A=Akvaponik.

| Arter                           | Vild förekomst i Sverige                                       | Larver/ungel   | Odlingssystem | Odling                                              |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------|---------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Fisk</b>                     |                                                                |                |               |                                                     |
| Lax                             | Alla livsstadier                                               | Sluten, vild   | SS, S, I      | Kommersiell                                         |
| Öring                           | Alla livsstadier                                               | Sluten, vild   | Ö, SS         | Kommersiell                                         |
| Regnbåglax                      | Alla livsstadier (utplanterad, enstaka bevis för reproduktion) | Sluten         | Ö, SS, S      | Kommersiell                                         |
| Röding                          | Alla livsstadier                                               | Sluten         | Ö, SS         | Kommersiell                                         |
| Torsk                           | Alla livsstadier                                               | Sluten, Vild   | Ö             | Försök ( <i>kommersiell i Norge, vild, sluten</i> ) |
| Europeisk ål                    | Adulter                                                        | Vild           | S             | Kommersiell                                         |
| Grå Havskatt                    | Alla livsstadier                                               | Import         | S             | Försök                                              |
| Fläckig havskatt                | Adulter                                                        | Import         | S             | Försök                                              |
| Gös                             | Alla livsstadier                                               | Vild           | S             | Kommersiell                                         |
| Abborre                         | Alla livsstadier                                               | Vild           | SS, S         | Kommersiell                                         |
| Piggvar                         | Alla livsstadier                                               | Sluten, import | S             | ( <i>Kommersiell, Norge</i> )                       |
| Tilapia                         | Nej (tropisk)                                                  | Import         | S, A          | Kommersiell                                         |
| Ålmal                           | Nej (subtropisk)                                               | Import         | S             | Kommersiell                                         |
| Sterlettstör                    | Nej                                                            | Import         | S             | Kommersiell                                         |
| <b>Krätdjur</b>                 |                                                                |                |               |                                                     |
| Flodkräfta                      | Alla livsstadier                                               | Sluten         | Ö, S          | Kommersiell                                         |
| Europeisk hummer                | Alla livsstadier                                               | Vild           | Ö, S          | Försök                                              |
| Vannamei-räka                   | Nej (tropisk)                                                  | Import         | S             | Försök/Kommersiell                                  |
| <b>Mollusker</b>                |                                                                |                |               |                                                     |
| Blåmussla                       | Alla livsstadier                                               | Vild           | Ö, I          | Kommersiell (Ö), Försök (I)                         |
| Platt ostron                    | Alla livsstadier                                               | Vild           | Ö, S          | Försök                                              |
| Japanskt jätteostron            | Alla livsstadier (invasiv)                                     | Vild           | S             | ( <i>kommersiell i EU</i> )                         |
| Kammussla                       | Alla livsstadier                                               | Sluten, Vild   |               | ( <i>försök, kommersiell i Norge</i> )              |
| <b>Manteldjur</b>               |                                                                |                |               |                                                     |
| Tarmsjöpung                     | Alla livsstadier                                               | Vild           | Ö             | Försök                                              |
| <b>Havsborst-mask</b>           |                                                                |                |               |                                                     |
| Bakborstig rovmask              | Alla livsstadier                                               |                |               | Försök, ( <i>kommersiell i EU</i> )                 |
| Jätterovmask                    | Alla livsstadier                                               |                |               | <i>kommersiell i EU</i>                             |
| <b>Alger</b>                    |                                                                |                |               |                                                     |
| Kiselalger                      | Alla livsstadier                                               | Vild           | S, I          | Försök                                              |
| Sockertare                      | Alla livsstadier                                               | Vild           | Ö,            | Kommersiell (Ö), Försök (I)                         |
| Fingertång                      | Alla livsstadier                                               | Vild           |               | Försök                                              |
| Nori tång                       | Alla livsstadier                                               |                |               | Försök ( <i>kommersiell i Norge</i> )               |
| Söl                             | Alla livsstadier                                               |                |               | Försök                                              |
| <b>Växter</b>                   | Alla livsstadier                                               |                |               |                                                     |
| Bladgrönt (sallad, örter, kål)  | Alla livsstadier                                               |                | S, A          | Försök                                              |
| Tomater                         |                                                                |                | S, A          | Försök                                              |
| Tropiska växter (banan, papaya) |                                                                |                | S, A          | Försök                                              |

## Fiskyngelproduktion

Olika arter och livsstadier kräver olika odlingstekniker. Då yngelproduktion tar liten plats men är odlingsbiologiskt krävande så sker denna produktion ofta i landbaserade system med olika grad av recirkulering samt rening av vattnet (se även Sättfiskproduktion i öppna...). Stamfisk, som ibland ingår i avelsprogram, används för ägg och spermieproduktion. De befruktade äggen inkuberas i silos eller i tråg med genomströmmande vatten för god vattenkvalitet och syresättning. Eventuell desinfektion (t.ex. med Buffodine, 10 min) av äggens yttre lager görs efter att äggen svällt. Inkubationstiden är artspecifik och beräknas i dygnsgrader ( $D^\circ$ ;  $\text{dygn} \times \text{temperatur i } ^\circ\text{C}$ ). Äggen kläcks sedan till yngel. Äggen är känsliga för ex. vibrationer, stötar och ljus och för att minska risk för deformationer reduceras ofta UV-ljuset genom att ljus med lång våglängd (orange eller rött) eller mörker används (Zagarese m.fl. 2001). Döda ägg avlägsnas då de är en grogrund för angrepp av bakterier och svampar (Stickney 2017).

Ynglen har en gulesäck som förser dem med näring och energi under den första utvecklingstiden. Först när gulesäcken är slut börjar de att aktivt inta föda. Vilken yngelföda som är optimal är helt beroende på art men varierar med allt från levande frisimmande rotatorier (hjulddjur) och små kräftdjur (artemia eller copepoder) till formulerat foder i form av granulat eller pellets. Många arter med små och mindre utvecklade yngel vid kläckning behöver levande foder initialt efter det att gulesäcken konsumerats, men kan sedan vänjas vid att äta torrfoder (s.k. weaning). När detta kan ske beror på art, storlek och utveckling (Moksness m.fl. 2004). Foderrester i vattnet kan irritera ynglens gälar och ge upphov till bakterie- och svampangrepp därför rekommenderas att ge yngel lite foder åt gången men göra det ofta.

Odlingsrännor har relativt stor yta per vattenvolym och innebär lätt åtkomst av hela ytan vid hantering av fisken t.ex. storlekssortering (Labatuta och Olivares 2004). För att undvika gradienter av syre och metaboliter har man ofta en lägre vattennivå (0,7 till 25 cm) i jämförelse med standard ränna (Labatuta och Olivares 2004) vilket ger 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. När fiskarna passerat yngelstadiet och blir juveniler flyttas de till andra tankar eller ut i öppna odlingsystem för tillväxtfasen. Ofta behövs flera omgångar av

sortering under de tidiga tillväxtfaserna då storleksskillnaderna kan vara betydande, detta gäller främst för kannibalistiska arter (Kestemont m.fl. 2003; Szczepkowski m.fl. 2011).

## Nya fiskarter – nya utmaningar

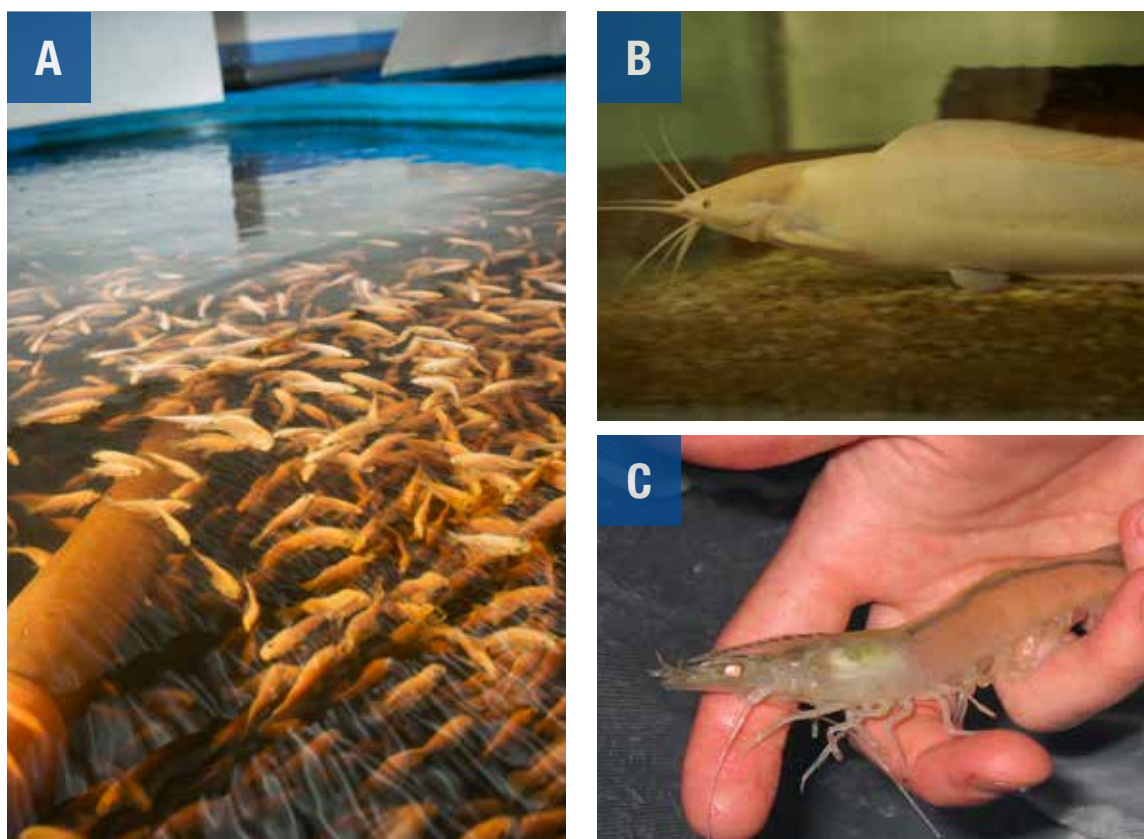
### Inhemska abborrfiskar

Gös (*Sander lucioperca*) och abborre (*Perca fluviatilis*) är abborrfiskar och exempel på inhemska arter som trivs bäst i högre vattentemperaturer (23°C ger optimal tillväxt). De är väl kända på marknaden och betingar ett högt pris. Det är arter med potential för svenskt vattenbruk (Kestemont & Dabrowski, 1996; Langeland m.fl. 2014a). Men arterna har ett yngelstadium som kräver en teknisk anpassning och specialistkunskaper och det saknas genetiskt utvecklat odlingsmaterial, och stabil yngeltillgång. Då arterna kräver högre temperatur än laxfiskar blir energibehovet och därmed kostnaden i ett RAS-system högre än för laxfiskar. Möjligheten att kombinera produktion av dessa arter i RAS med överskottsvärme är därför ett väldigt intressant alternativ. Båda arterna odlas nu kommersiellt om än fortfarande i mindre skala och något avelsprogram finns ännu inte för arterna i Sverige.

### Marina kandidatarter

I Albertssons m.fl. rapport (2012) utreds de odlingsbiologiska förutsättningarna för etablering av vattenbruk av marina fiskarter på den svenska västkusten. Kommersiellt lovande arter analyserades fram ur ett hundratal svenska marina arter med reproducerande bestånd på svenska västkusten. Då ekonomisk bärkraft är en förutsättning för etablering av vattenbruk jämförde man arternas marknadsvärde med produktionskostnaden för lax (2010= 23 SEK/kg). Lax bedömdes vara en art för vilken odling och produktionskostnad har optimerats och denna jämförelse kunde därmed ge en fingervisning om minimikostnaden för odling av andra fiskarter. Kunskapsnivå om respektive art samt om dess odlingsbiologi och möjlighet att sluta odlingscykeln ingick i urvalskriterierna.

Sex arter bedömdes slutligen att vara ”kandidatarter” för framtida odling i Sverige; Hälleflundra (*Hippoglossus hippoglossus*), tunga (*Solea solea*), pigghvar (*Scophthalmus maximus*), havskatt (*Atlantisk, Anarhichas lupus och fläckig, Anarhichas minor*) samt lyrtorsk (*Pollachius pollachius*) och torsk (*Gadus morhua*). Torsk har en god biologisk odlingspotential men priset för torsk är för närvarande för lågt för att skapa de ekonomiska förutsättningarna, med-



Figur 22. Tropiska arter odlas i slutna landbaserade odlingssystem. (A) Tilapia (*Oreochromis* spp.) (B) Ålmal (*Clarias* spp.) (C) Vannamei-räka (*Litopenaeus vannamei*).

an lyrtorsken betingar ett högre pris, men är oprövad i odling. Kunskapen om kandidatarternas biologiska förutsättningar jämfördes med västkustens abiotiska faktorer. Resultat av dessa analyser visade att de abiotiska förhållandena på den svenska västkusten inte är optimala för traditionell öppen kassodling för någon av kandidatarterna. Då den svenska västkusten har relativt stora variationer i temperaturer med höga sommartemperaturer, speciellt i ytvattnet, och låga under vintern med isbildning blev slutsatsen att fiskodling i öppna kustnära odlingssystem kan bli problematiskt och att speciella tekniska lösningar kan behövas. Höga vattentemperaturer under sommaren (ofta tillsammans med låga syrgashalter) kan vara direkt dödligt för kallvattensarter som hälleflundra, medan de låga vintertemperaturerna hämmar tillväxten hos andra arter. För etablering av framgångsrika odlingssystem behövs tekniska lösningar, som möjliggör reglering av abiotiska faktorer såsom salthalt, syrgashalt och temperatur, t ex genom landbaserade odlingar eller semislutna havsbaserade odlingar där vatten pumpas upp från djup med hög stabilitet på vattenkvaliteten. Alla

kandidatarterna odlas i andra länder helt eller delvis i landbaserade system, där den tidiga yngelutvecklingen alltid sker på land men där exempelvis hälleflundra och torsk kan flyttas ut i havsbaserade burar eller kassar när de blir större. Arter som lämpar sig för offshore-odling bör vara stresståliga då starkare strömmar och våg- och vindexponering medför ökad turbulens i kassarna.

### Arter för semislutna system

Både Atlantlax och regnbåge har testats i halvslutna system på svenska västkusten. Fisken visade god tillväxt under två säsonger varför det finns potential för odling av olika arter fisk i halvslutna system i vatten (Ungfors pers. komm.). Möjligheten att välja djup för vattenintag gör att en mer jämn och optimal vattenkvalitet kan säkerställas i jämförelse med öppna system (Ytrestøyl m.fl. 2013, Handeland m.fl. 2015; Calabrese m.fl. 2017). Eftersom semislutna system tar vatten från djup med jämn kall temperatur under året så kan denna typ av odlingssystem vara lämplig för tillväxt av kallvattensarterna såsom hälleflundra och havskatt.

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 arter med temperatur-optima vid högre temperaturer som tunga och piggar, varför säsongsodling av dessa arter kan fungera även i svenska vatten.

### Tropiska fiskarter

Under de senaste åren så har det startats en rad mindre svenska anläggningar för landbaserad odling av tropiska fiskarter. Framförallt är det arterna Niltilapia (*Oreochromis niloticus*) och Clarias som odlas i både slutna RAS-system och i försök med Akvapponik. Både Tilapia och Clarias är erkänt tåliga arter och framförallt Tilapia odlas globalt i stor omfattning. Arterna är fortfarande relativt dåligt etablerad som matfiskar på svensk marknad men uppbyggnad av en inhemsk marknad pågår. Odlarna arbetar intensivt med marknadsföring av arten för att få ekonomisk hållbarhet i sina odlingar. Clarias marknadsförs bl. a. som en ersättning till ål för rökning då Clarias (precis som ålen) har ett relativt högt fettinnehåll och med fördel kan rökas. Även stör odlas nu i mindre kommersiell skala i slutna varmvattenssystem. Störfiskar odlas både för sin rom och i vissa fall även som matfisk. Än så länge importeras alla yngel/ mindre fisk av dessa arter. Slutna system har små begränsningar vad gäller möjliga odlingsarter. Om bara odlingsbiologin är känd så går det att odla de flesta arter i ett slutet system, men därmed inte sagt att det går att få ekonomisk hållbarhet i alla typer av sådana odlingar. Odling av tropiska arter kräver uppvärmt vatten vilket kan innebära en hög energiförbrukning. Tillgång på billig (och miljövänlig) energi blir därför en förutsättning för att denna typ av odling ska kunna bli kommersiellt konkurrenskraftig.

### Bottenlevande ryggradslösa djur

#### Sötvattenskräftor – traditionellt odlade i dammar

Odling av sötvattenskräftor görs kommersiellt antingen i semiintensiva eller extensiva system. Några försök har gjorts att odla kräftor i intensiva system, där kräftorna hålls inomhus i burar tills de är klara för skörd, men systemen har inte visat sig ekonomiskt hållbara (Rodríguez-Canto m.fl. 2002; Franke och Hoerstgen-Schwark 2013). I det semiintensiva systemet sker produktionen av yngel i separata inomhusanläggningar där man både kan hålla god kontroll på vattenkvalitet, temperatur och föräldradjur. Efter att honan befruktats bär hon

romen tills ynglen kläcks. Ynglen hålls i ett slutet system med uppvärmt vatten och matas med små kräftdjur (*Artemia*) för att få en hög tillväxt med låg dödlighet. Efter det att ynglen har vuxit lite och blivit mer robusta sätts de ut i speciella yngeldammar (jordddammar).

Vanligtvis sker ytterligare en förflyttning till en slutlig tillväxtdamm, i vilken kräftorna går i tills de skördas. Kräftor kan antingen äta växter som finns naturligt i dammen, eller odlas mer intensivt och då utfodras med torrfoder. Ofta måste då extra luft tillföras dammen.

Vid extensiv kräftproduktion sker all reproduktion i dammen och således får man flera olika åldrar och storlekar på kräftorna. För att minimera kannibalism förses dammen med gömslen i vilka nyömsade djur kan söka skydd. Tätheten är betydligt lägre i denna produktionsform jämfört med den intensivare och man har ingen kontroll på föräldradjuren så avelsarbete är inte möjligt. Fördelen är att en låg arbetsinsats krävs, och i princip är det endast att försäkra födotillgången under tillväxtperioden samt att kontrollera syre och pH som måste göras. Kalciumhalten i vattnet måste vara tillräckligt hög för att kräftorna skall kunna bilda nya skal. Under vintersäsongen kan det bildas is på dammen, vilket inte är något problem så länge den inte blir bottenfryst. Den låga temperaturen gör att kräftorna inte växer på vintern. Under sommaren däremot har kräftorna sin högsta tillväxt för att sedan skördas till hösten. Både den inhemska flodkräftan (*Astacus astacus*) och den invasiva signalkräftan (*Pacifastacus leniusculus*) har odlats kommersiellt i Sverige. Signalkräftan är dock sedan 2016 klassad som en invasiv främmande art inom hela EU och enligt de nya EU-reglerna för hantering av levande signalkräfter innebär det att det nu är förbjudet att sätta ut och att odla signalkräfter (Figur 23A).

#### Hummerodling på försöksstadie i Sverige

Europeisk hummer (*Homorus gammarus*) odlas i ett flertal landbaserade anläggningar i Europa. De flesta av kläckerierna odlar dock bara hummern under den första levnadsmånaden så att den hinner passera de första frisimmande larvstadierna och sätts sedan ut i havet när den nått det relativt sett tåligare bottenlevande stadiet. Syftet med odlingen är framförallt att stödja de vilda populationerna eller, som i Norge, ”rancha” dem i avspärrade havsområden. Försök med odling av hummer görs nu i Sverige. Även om hummerns odlingsbiologi är ganska väl dokument-



Figur 23. (A) Odling av sötvattenskräftor sker f a i dammar. Signalkräftan (på bilden) är dock numera klassad som invasiv art och får inte längre odlas (B) Av de marina kräftdjuren anses hummern ha störst potential som vattenbruksart och försök görs nu för att skala upp odling till kommersiell skala i landbaserade system.

erad så finns det goda möjligheter att förbättra processen. Det gäller särskilt utveckling av ekologiskt och ekonomiskt hållbart foder och odling i landbaserade RAS-anläggningar där närsalter helt eller delvis kan tas om hand. Eftersom hummer kan odlas vid relativt höga temperaturer, 18 till 20 °C, kan tillväxten optimeras, genom uppvärmning av vattnet i RAS, och blir då betydligt snabbare än ute i naturen (Powell och Eriksson, 2016; Powell m.fl. 2017).

### Bottenlevande arter för IMTA-odling

Under fisk- och musselodlingar hamnar foderspill och fekalier och den lokala organiska belastningen kan öka. Förutsatt att belastningen inte är för hög och orsakar syrebrist utan att vattnet nere vid botten fortfarande är syresatt och av god kvalitet så finns det en rad bottenlevande djur som skulle kunna trivas och tillväxa bra i denna miljö, samt även bidra med att förbättra syresättning och kvalitet på bottenmiljön. Dessa är ryggradslösa djur såsom tagghudingar (ex. sjögurkor, sjöborrar) och havsborstmaskar som normalt lever på dött organiskt finfördelat material (detritus). Där kan också kräftdjur (både sötvattenskräftor och marina arter) som lever av de bottenlevande djuren eller av as (kadaver) och annat dött material tillväxa bra. Man har i Norge kunnat mäta en ökad produktion av bottenlevande organismer på upp till 250 m avstånd från en laxodling (Kutti m.fl. 2008). Marknaden för tagghudingar är f a som livsmedel samt för export och havsborstmaskar har visat sig värdefulla som agn till fritidsfiske (trolling) och biogas. Tagghudingar lever enbart i marin miljö. Det finns inga sötvattensarter inom denna djurgrupp. Odling av dessa organismer i Sverige skulle därmed kunna bli i form

av marina RAS-anläggningar på land eller som del i IMTA under öppna eller halvslutna odlingssystem på västkusten. IMTA-experiment visar att då sjögurkor placeras i burar i vattenkolumnen under fiskodlingar reduceras utsläppen av totalt organiskt N och kol med  $\approx 60\%$ . Sjögurkorna äter fiskdetritus och matrester och har dessutom hög överlevnad och tillväxt (Yokoyama 2013). Havsborstmaskar av familjen *Nereidae* odlas i dammar i t.ex.

Storbritannien och Holland som agn till trollingsfiske (Olive 1999). Havsborstmaskar kan livnära sig på organiskt fekalimaterial både från fisk- och musselodlingar och de tillväxer bra (Bergström 2014). Då dessa maskar gräver i bottensedimentet (s.k. bioturbation) ökas den mikrobiella aktiviteten och syresättningen av bottensedimentet och maskarna bidrar därmed även till att förbättra miljön under odlingen (Bergström 2014). Kräftdjur är också bottenlevande ryggradslösa djur där några arter gräver gångar i bottensedimenten. De är omnivorer, vilket innebär att de äter både dött och levande organiskt material. Flera kommersiella både marina och sötvattensarter är tänkbara att odla integrerat och/eller skörda i anslutning till fiskodlingar ex. krabba, hummer, havskräfta, signalkräfta och flodkräfta.

Observationer i Kanada (Archambault pers. komm.) 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.

### Tropiska kräftdjur (biofloc)

Vannamei-räkan är en stor tropisk räka med en komplex livscykel och många larvstadier. Räkan är vanlig i odling, främst i Asien och på amerikanska kontinenten (FAO Fishery Statistics, 2016). Larver

importeras nu från ett amerikanskt kläckeri för att odlas i biofloc system i Sverige. Odlingssystemen är helt slutna, landbaserade system, med i princip nollutsläpp (Avnimelech 2009). Bioflocen består av mikroorganismer som cirkuleras runt och fungerar som foder åt räkorna (alt. filtrerande fiskarter som tilapia). Bioflocen består av mikroorganismer som lever av organiskt material med högt proteininnehåll som tillsätts systemet (t.ex. baljväxter).

Mikroorganismerna i systemet, som kräver hög temperatur, är tänkta att kunna försörja fisken eller räkorna helt och hållet, eller med viss stödutfodring, med energi och näringsämnen för en hög produktion. Näringsammansättningen på bioflocen varierar och beror bl.a. på tillsatta näringsämnen, odlingsart, odlingsförhållanden, salthalt, ljus, bakterier/fytoplankton relationen etc (Barbieri, 2010). Proteininnehållet i bioflocsystem kan variera mellan 14-50 % på torrsustans basis. Lipidinhållet är vanligtvis lågt, med värden mellan till strax över 1 % till 9 % även om det lägre spannet är vanligast (Martínez-Córdova m.fl. 2015).

### Musslor, ostron och sjöpongar

Filtrerande organismer s.k. suspensionsätare, fångar upp partiklar från vattnet när det strömmar förbi. Både mollusker (musslor och ostron) och sjöpongar filtrerar och livnär sig på små partiklar (2-200 µm) i vattnet och det kan bestå av både levande (såsom växtplankton) och dött material (exempelvis foderspill, fekalier och flockat organiskt material). Dessa organismer tar därmed upp näringspartiklar från vattnet och bygger in dem i sin biomassa. Produktionen blåmusslor på en långlineodling på västkusten kan vid skörd (efter 1-1,5 år) uppgå till drygt 7,5 kg per meter lina. Det ger ca 300 ton musslor per hektar. En sådan odling utnyttjar

produktionen av växtplankton från en yta på ungefär 25 ha. Vid lägre salthalt blir tillväxten lägre och musslorna når oftast inte till "normal" konsumtionsstorlek.

Ett flertal regionala och europeiska projekt studerar odling av musslor i Östersjön för upptag av näring och används sedan till framställning av foder, gödsel och biogas (t.ex. Baltic Blue Growth, Bucefalos 2015). Blåmusslor som växer i anslutning till laxodlingar har visat sig ha en högre födoaktivitet, en hög absorptionskapacitet för laxfekalier och därmed en kraftigare tillväxt (MacDonald m.fl. 2011, Reid m.fl. 2010, Lander m.fl. 2012). Då musslorna gärna vill ha ett så konstant partikelflöde som möjligt så behöver detta beaktas när man designar en eventuell IMTA-anläggning eftersom utsläpp från öppna fiskodlingar kan komma stötvis, särskilt i anslutning till utfodring. Även ostron kan dra nytta av ökad näringstillgång i närheten till fiskodling (Aguado-Gimenez m.fl. 2014). Det finns dock även studier som inte kunnat påvisa någon ökad tillväxt längs en gradient allt närmare en fiskodling (Navarrete-Mier m.fl. 2010).

Dessa filtrerande organismer kan även filtrera copepoditer, det planktoniska spridningsstadiet av laxlus, vilket innebär att de potentiellt sett kan minska problemet med laxlus i öppna odlingssystem. Odling av filtrerande organismer både upp- och nedströms från fiskodling skulle därmed kunna rekommenderas (Ungfors m.fl. 2015). Musslor har även potential för att ackumulera och inaktivera ILA, infektiös lax anemi virus (Skår och Mortensen 2007). Genom att modellera produktionspotentialen för musslor baserat på lokalspecifika data (Ferreira m.fl. 2009) har det potentiella



FOTO: (A) PIA NORLING (B) FREDRIK NORÉN

Figur 24. Odling av marina extraherande djurarter sker genom att vilda larver sätter sig fast på odlingssubstratet, här i form av långlinor. Djuren filtrerar organiska partiklar ur vattnet (A) Blåmussla (bivalv) (B) Tarmsjöpong (manteldjur)



Figur 25. Sockertare (marin brunalg) odlas extensivt (A) de mm-stora sporofyterna ympas in på tunna rep innan de sätts ut i havet. (B) efter ett halvår skördas algerna och har då blivit över en meter långa.

kväveupptaget skattats i flera länder, spridda över fyra kontinenter (Rose m.fl. 2015). Från 12 till 152 gram N per m<sup>2</sup> och år (i genomsnitt 58) kan reduceras genom odlingarna. Liknande modeller kan användas för svenska förhållanden för att beräkna närsaltupptaget av musselodlingar. Andra beräkningar visar att en odlad mussla innehåller ungefär 1 % kväve och knappt 0,1 % P. Vid skörd av musslor kan man med hjälp av detta räkna med ett uttag på ca 8-12 kg kväve och 0,6-0,8 kg P per ton skördad mussla. Denna beräkning bygger på att kötthalten i musslorna ligger på 20-30 % (se Skyddsodling/Fånggrödor). Som vid all odling kräver ju även odling av närsaltreducerande organismer att det finns avsättning för den biomassa som skapas. Avsättningen för bivalver finns inom: livsmedel, råvara för djurfoder, fisk, svin och fjäderfä, biogas, jordförbättring, etc. Då sjöpungar sätter sig på samma typ av odlingsrep som musslor kan man riskera att istället för blåmusslor få en sjöpungar på odlingen. Genom att noga följa vattenparametrar och förekomst av larver i vattnet under säsongen så försöker man kontrollera vilken av arterna som sätter sig på odlingsrepen. Sjöpungar är också effektiva närsaltreducerare. De är ettåriga organismer och behöver därmed skördas varje år. Produktion i forsknings- och utvecklingsanläggningar har gett ca 6,6 kg våtvikt sjöpung per meter långlina, där innehållet av N var ca 5,5 % av torrvikten och P-halten ca 0,4-0,5% (Norén pers. komm). Tidigare har det inte funnits någon

avsättning för sjöpungar men nu testas möjligheterna att utnyttja sjöpungar på motsvarande sätt som blåmusslor, till bioaktiva ämnen, biogas och som gödningsmedel. Vidare finns ett stort intresse för att använda både sjöpungar och blå musslor som alternativ foderråvara med högt proteininnehåll och båda organismerna testas även avseende innehåll av olika typer av bioaktiva molekyler.

### Alger och växter

De flesta alger och växter är autotrofa, d.v.s. de skapar sin egen näring med solljuset som energikälla. Dessa organismer ingår också i gruppen primärproducenter, dvs. organismer som omvandlar oorganiska ämnen till biomassa. Lösta näringsämnen binds in i alger och växter och vid skörd tas därmed näring upp och avlägsnas ur systemet (Skjermo m.fl. 2014). Både mikro- och makroalger kan exempelvis användas som extraktiva arter i IMTA-odlingar där de kan reducera nivån av lösta N- och fosforföreningarna i anslutning till fiskodlingar (Neori m.fl. 2004) och de är dessutom en värdefull råvara i sig.

Avsättningen för alger ligger främst i dess möjligheter för användning som foderingrediens, fodertillskott, etanol, biogas, och livsmedel men även användning i textilier är föreslaget (Van Hal m.fl. 2014, Seghetta m.fl. 2017).



FOTO: (A) ADAM POWELL (B) MIKAEL HEDBLOM

Figur 26. Mikroalger odlas på land (A) och används huvudsakligen som foder för larv-/yngelstadier till olika vattenbruksarter. (B) Försök görs också med odling av kiselalger i biofilmssystem. Algerna växer på närsalter från RAS fiskodling och biofilmen skördas veckovis för vidare industriell beredning.

Ett flertal svenska projekt pågår för att utvärdera olika arters potential. Den bruna makroalgen sockertare (*Saccharina latissima*) är snabbväxande och har visat sig vara en kandidatart för samodling med fisk (Handå m.fl. 2013). Algen har i Sverige odlats på försök sedan 2014 i öppna odlingar på västkusten (Gröndahl pers. komm.) och pågående projekt studerar dess tillväxtpotential i vatten från semislutna fiskodlingssystem då en ökad tillgång på löst kväve har visat sig ha en additivt positiv effekt på sockertarens tillväxt (Handå m.fl. 2013).

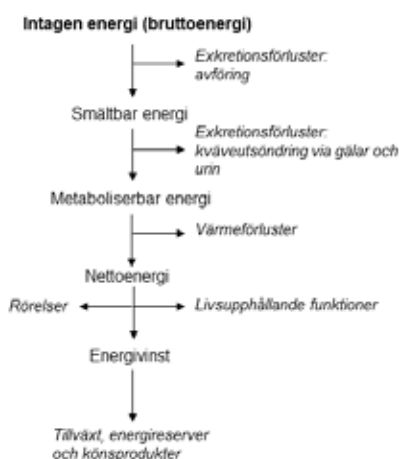
De gröna makroalgerna *Ulva sp.* (Ben-Ari m.fl. 2014) och *Enteromorpha sp.* (Martinez-Aragon m.fl. 2002) är effektiva biofilter, dvs. de assimilerar lösta näringsämnen från vattnet, men användningsområdet efter skörd är begränsat till agar eller biogas som betingar relativt lågt pris.

Flera inhemska och asiatiska arter av den röda makroalgen *Porphyra sp.* har visat god tillväxt- och upptagskapacitet och betingar dessutom ett högre ekonomiskt värde inte minst som Nori för human konsumtion (Carmona m.fl. 2006). Matos m.fl. (2006) testade rödalger *Gracilaria bursa pastoris*, karragenalg *Chondrus crispus* och *Palmaria palmata* och fann att *G. bursa pastoris* växte bäst med det effektivaste kväueupptaget och denna art rekommenderas därför att användas som assimilerande art i IMTA att odlas tillsammans med fisk och/eller skaldjur. I Östersjön är antalet alger lämpliga för odling begränsat pga. den låga salthalten, men skyddsodling med vissa brunalgarter (*ex. fucus*) och grönalger borde vara tekniskt möjligt även en bit upp i Östersjön.

Mikroalger som odlas i landbaserade system är lovande komponenter i landbaserade IMTA-system. Arterna *Isochrysis galbana*, *Tetraselmis suecica* och *Phaeodactylum tricornutum* har testats i samodling med piggvar och havsabborre (*Dicentrarchus labrax*), där den växer bra och reducerar näringen i vattnet (Borges m.fl. 2005). Mikroalgerna kan sedan skördas och användas som föda till musslor (*Tapes decussatus*). Försök görs nu även med integrerad odling av kiselalger i anslutning till en mindre RAS-anläggning i Kungshamn (Figur 26. Kiselalgerna odlas i biofilmssystem och växer på närsalterna från fiskodlingen. Biofilmen skördas veckovis och kiselalgerna bearbetas för olika industriella tillämpningar (Wulff pers. komm).

## NÄRINGSBEHOV OCH FODER

Nuvarande produktion av foder till vattenlevande organismer beräknas öka från dagens 50 miljoner ton till mer än 65 miljoner ton år 2020 och mer än 87 miljoner ton år 2025 (Tacon och Metian, 2015). För att detta skall vara möjligt måste det ske på ett miljömässigt och ekonomiskt hållbart sätt. Den kanske viktigaste frågan ur ett resursmässigt hållbarhetsperspektiv är vattenbrukets användning av dels fiskade marina resurser, dvs. fiskmjöl och fiskolja i foder, då flera av dessa ursprungskällor (fa. anchoveta; *Engraulis ringens* och skarpsill; *Clupea harengus*) bedöms vara nyttjade till populationens fulla kapacitet (FAO 2016), men även beroendet av sojaprodukter. En stor del av lösningen ligger i att byta ut fiskmjöl och fiskolja i foder mot alternativ som inte är beroende av ändliga naturresurser som konstgödsel och linjära



Figur 27. Schematisk översikt av energiförluster i fisk från intagen föda. Störst förlust av energi och näringsämnen fås initialt med avföring, och i nästa steg med kväveutsöndring via gälar och urin. Den energi och näring som finns kvar efter dessa processer kan omsättas i metabola processer i djuret.

näringsflöden i form av näringsförluster från odlingen (SOU 2009). För att fodret skall generera en bra tillväxt, god djurvälstånd och hälsa för olika livsstadier samt ge hög köttkvalitet med minimal miljöbelastning och till ett rimligt pris ställs dock en mängd villkor och krav på foderråvarorna som skall ersätta fiskmjölet och fiskolja.

Uppskattningsvis hälften av det globala vattenbruket är beroende av tillförsel av foder, vilket i synnerhet gäller för fiskproduktion i västvärlden. Med ett växande intensivt vattenbruk kommer behovet av foderråvaror att växa och foder är redan idag den enskilt största driftskostnaden i en fiskodling. Det utgör ca 50-60 % av produktionskostnaderna i en modern kassodling och nästan lika mycket i ett RAS. Idag är det ökande priset för foderråvaror den starkast kostnadsdrivande faktorn. Priset på fiskmjöl har t ex under de senaste åren ökat från 1000 euro till över 1800 euro per ton. Detta beror dels på hög efterfrågan men också på att det är stora variationer i produktionsvolym främst beroende på att väderfenomenet El Niño i östra Stilla havet påverkar fångsten av anchoveta.

Utvecklingen av nya fiskfoder har under senare år intensifierats med genom att fiskmjöl och fiskolja till allt större grad ersätts med vegetabiliska råvaror eller andra alternativa råvaror. Andelen råvaror från fisket har därför minskat väsentligt

och kvoten "Fish In - Fish Out" uppgår numera i medeltal till ungefär 1, d.v.s. fiskodlingen producerar lika mycket fiskråvaror som man förbrukar. Spårbarheten i fodret har parallellt med detta utvecklats så att råvarorna kan spåras ner till gårds- eller fiskebåtsnivå för att kunna garantera att all foderfisk kommer från ett hållbart fiske och hållbara bestånd. Alla ingående råvaror i fodret är även noggrant testade och utvalda i avseende att ge en hög smältbarhet hos fisken, ett välbalanserat innehåll av näringsämnen och att minimera exkretionsprodukterna. Foderindustrin är underställd kvalitets/hygienkontroller och skall garantera att fodret uppfyller livsmedelslagstiftningens krav.

För att effektivisera verksamheten och minimera miljöpåverkan måste även fodret vara av god kvalitet. Detta innebär bland annat att det är viktigt att fodret lagras och hanteras på ett sådant sätt att det inte kontamineras eller förstörs. Lokaler och utrustning som nyttjas för lagring, utfodring och transport av foder kontrolleras därför som regel genom daglig tillsyn. Fodret får inte utsättas för väta, solljus, värme eller dylikt utan transporteras direkt från lastbilen till det lager eller silos i vilka de får ett gott skydd. Eventuella avvikelser i foderkvaliteten vid mottagandet rapporteras till tillverkaren.

### Näringsbehov

Fler än 550 olika fisk- och skaldjursarter odlas i världen med vitt skilda näringsbehov, födosöksbeteenden, anatomi och fysiologi, vilket resulterar i stora skillnader i förmåga att tillgodogöra sig olika foder. Behovet av energi, protein, fett, vitaminer och mineraler påverkas förutom av art även av fiskens tillväxtfas, könsmodnhet, omgivande temperatur mm. Näringsbehoven vid normal tillväxt och funktion under normala produktionsförhållanden är i huvudsak känt för de vanligaste odlingsarterna: det ca 40-talet arter som idag står för ca 90 % av produktionen. Men det saknas fortfarande mer detaljerade kunskaper om optimala behov av proteiner, aminosyror, fettsyror, vitaminer och mineraler för många arter, vilket också blir ett ökande problem i takt med att nya arter introduceras inom vattenbruket. Man kan grovt dela in arterna i karnivorer (köttätare), omnivorer (allätare) och herbivorer (växtätare). Karpfiskar (herbi- och omnivorer) och tilapia (omnivorer) tillhör de mest odlade fiskarterna i världen, medan framförallt marina karnivora fiskarter (t.ex. laxfiskar, sea bream och sea bass) är de mest odlade i västvärlden.

Tabell 4. Skillnader i olika fiskarters matsmältning, illustrerat som aktivitet av det stärkelsespjälkande enzymet amylas i lever, tarm och galla i olika herbi-, omni- (karp, gulfisk och sutare) och karnivora fiskarter (seabream, regnbåge och ål) (Hidalgo m.fl. 1999). Olika fiskarter har varierande förmåga att bryta ned, dvs. tillgodogöra sig, stärkelse, en vanlig kolhydratkälla i foder, vilket mäts som enzymatisk aktivitet (U = units).

| Fiskarter                               | Lever (U mg <sup>-1</sup> protein) | Tarm (U mg <sup>-1</sup> protein) | Galla (U ml <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Karp ( <i>Cyprinus carpio</i> )         | 108,0 ± 7,3                        | 72,5 ± 8,5                        | 4,79                        |
| Gulfisk ( <i>Carassius auratus</i> )    | 23,8 ± 4,2                         | 75,5 ± 15,8                       | 1,61                        |
| Sutare ( <i>Tinca tinca</i> )           | 13,1 ± 1,3                         | 19,5 ± 2,7                        | -                           |
| Seabream ( <i>Sparus aurata</i> )       | 2,7 ± 0,4                          | 1,75 ± 0,28                       | 0,84                        |
| Regnbåge ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) | 0,0                                | 1,30 ± 0,07                       | 0,0                         |
| Ål ( <i>Anguilla anguilla</i> )         | 0,76 ± 0,08                        | 0,46 ± 0,05                       | 0,067                       |

Den senare gruppen är de största konsumenterna av foder innehållandes protein- och fettkällor från vildfångad fisk.

Foder består förutom vatten, huvudsakligen av protein, fett och kolhydrater, och till mindre del bl.a. vitaminer och mineraler. Sammansättning av dessa ingredienser är viktig för att få friska djur med god tillväxt. Djur får sitt energi- och näringsbehov uppfyllt genom att bryta ned (smälta), absorbera (ta upp) och metabolisera näringsämnen i fodret. Energin från födointaget delas upp i olika delar och energiförluster sker i flera olika steg beroende av fysiologiska och metabola processer (Figur 27), då all energi och näring i den intagna födan ej kan tillgodogöras.

Hur stora förlusterna blir i varje steg är dels beroende på foderingrediensernas (hur stor del som absorberas av djuret), deras kemiska sammansättning och fiskens (djurartens) förmåga att tillgodogöra sig fodret. Detta innebär att herbi- och omnivora arter med ett längre magtarmsystem kan tillgodogöra sig t.ex. komplexa kolhydrater bättre än vad karnivora fiskar med ett kortare magtarmsystem kan. Förutom anatomiska skillnader finns det även fysiologiska skillnader. Detta avspeglas bl.a. i olika arters digestionsenzymer som katalyserar nedbrytningen av födan. Amylas, som katalyserar nedbrytningen av stärkelse till enklare sockerarter, har hittats i mag- och tarmsystemet hos många olika fiskarter, men med stora skillnader i aktivitet (Tabell 4) och är oftast högre i herbi- och omnivora arter (Kroghdahl m.fl. 2005). Alla dessa aspekter måste tas i åtanke vid komponering av foder. De näringsämnen som ej kan tas upp av

fiskarna kan bli en belastning för den omgivande miljön.

En mer detaljerad kunskap om den optimala kompositionen av fodret är relativt känd för de vanligaste odlingsarterna och skillnader i behovet av protein, aminosyror, fettsyror, energi, vitaminer och mineraler och energi mellan arter och tillväxtfaser presenteras i Tabell 5. Aminosyror bildar di-, tri- och polypeptidkedjor som slutligen arrangerar sig i större strukturer, proteiner. För att bilda dessa strukturer behövs det hos fisk ca 23 olika aminosyror, varav 10 av dessa är essentiella, dvs. kan ej bildas av fisken själv utan måste tillföras via fodret. Olika foderingredienser har olika förhållande mellan de essentiella aminosyrorna, vilket benämns aminosyraprofil eller vanligare proteinkvalitet. Aminosyraprofilen skall i bästa fall korrelera med fiskens behov, då utnyttjas alla aminosyror maximalt och mindre mängd protein behövs för att täcka fiskens behov. Om en essentiell aminosyra endast finns i väldigt liten mängd, måste det totala proteinintaget öka för att uppnå behovet av den begränsande aminosyran vilket resulterar i att övriga aminosyror i större utsträckning "blir över" och kan användas till energi, men som också ger en ökad exkretion av N till den omgivande miljön och även kan resultera i en lägre tillväxt.

För en del arter, framförallt marina karnivora fiskar i intensiv produktion är det en stor utmaning, om än möjligt i experimentell skala, att exkludera inblandningen av fiskmjöl och fiskolja i fodret, speciellt om fodret istället helt skall baseras på vegetabiliska fodermedel. Detta beror delvis på att fodret får en lägre smaklighet och resulterar ofta i en lägre tillväxt.

Tabell 5. Proteinbehov (% av foder) för olika fiskarter i olika storleksintervall (NRC 2011)

|                                                  | <b>Vikt</b> |          |           |            |         |
|--------------------------------------------------|-------------|----------|-----------|------------|---------|
|                                                  | < 20 g      | 20-200 g | 200-600 g | 600-1500 g | >1500 g |
| Atlantlax<br>( <i>Salmo salar</i> )              | 48          | 44       | 40        | 38         | 34      |
| Nile tilapia<br>( <i>Oreochromis niloticus</i> ) | 40          | 34       | 30        | 28         | 26      |
| Karp<br>( <i>Cyprinus carpio</i> )               | 45          | 38       | 32        | 28         | 28      |
| Regnbåge<br>( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )       | 48          | 40       | 38        | 38         | 36      |

Vidare har aminosyror i de vegetabiliska alternativa ingredienserna ofta en lägre tillgänglighet och en aminosyra- och fettsyraprofil som inte motsvarar fiskens behov. Industriellt framställda aminosyror, s.k. renframställda eller syntetiska, kan minska ovan nämnda förlust genom att tillsättas så att aminosyraprofilen i fodret balanseras upp. Foderutvecklingen strävar därför efter att hitta andra råvaror som har ett mer snarligt näringsinnehåll som fiskmjöl och fiskolja, och kan ersätta dessa som foderråvaror till fa. karnivora fiskarter (se nedan "Animaliska foderråvaror")

### Foderråvaror

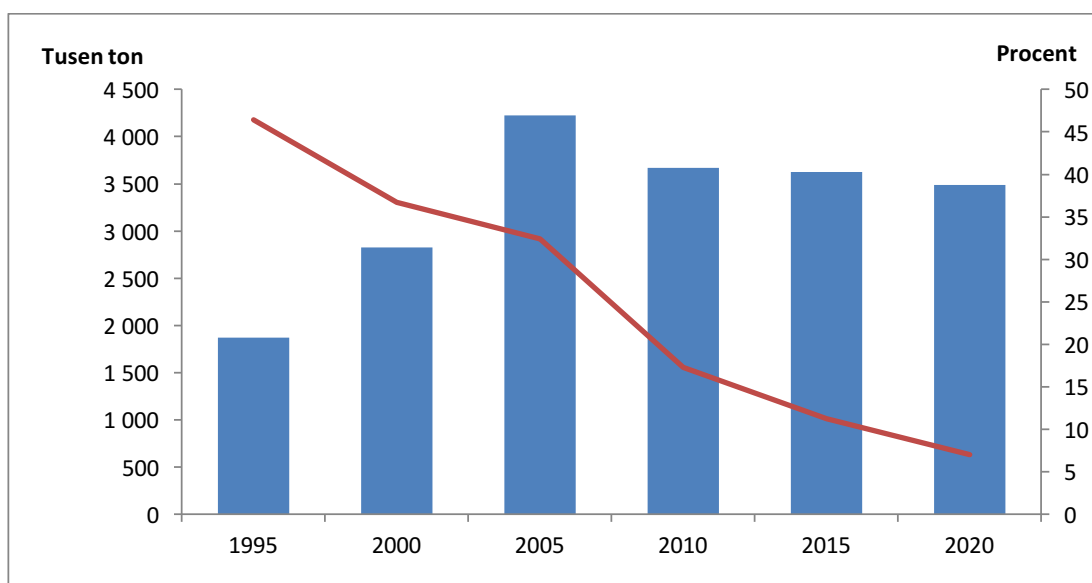
Foderindustrin är underställd hårda kvalitets-/hygienkontroller som bland annat omfattar analyser av miljögifter, konserveringsmedel, tungmetaller och andra främmande ämnen för att kunna garantera att fodret uppfyller livsmedelslagstiftningens krav samt är "rent" och hälsosamt för både fisken och i förlängningen även konsumenten av fisken.

### Fiskmjöl och fiskoljeanvändning

Traditionellt har fiskmjöl och fiskolja varit de dominerande foder ingredienserna i foder till fisk och räkor. Fiskmjöl har ett högt proteininnehåll,

Tabell 6. Användningen (ton samt del av global produktion) av fiskmjöl och fiskolja i foder till olika fisk- och kräftdjursarter. (Tacon och Metian 2008).

|                           | <b>Fiskmjöl</b>  |                       | <b>Fiskolja</b> |                       |
|---------------------------|------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| <b>Artgrupp</b>           | Tusen ton        | % av tillverkat foder | Tusen ton       | % av tillverkat foder |
| Marina räkor              | 1 005 480        | 27                    | 100 200         | 12                    |
| Marina fiskar             | 670 320          | 18                    | 167 000         | 20                    |
| Lax                       | 558 600          | 15                    | 359 050         | 43                    |
| Kinesiska karpar          | 409 640          | 11                    | 0               | 0                     |
| Öringar (inkl. regnbåge)  | 223 440          | 6                     | 108 550         | 13                    |
| Ål                        | 223 440          | 6                     | 16 700          | 2                     |
| Malar                     | 186 200          | 5                     | 33 400          | 4                     |
| Tilapia                   | 186 200          | 5                     | 16 700          | 2                     |
| Skaldjur, sötvatten       | 148 960          | 4                     | 16 700          | 2                     |
| Karnivora sötvattensarter | 111 720          | 3                     | 8350            | 1                     |
| <b>Totalt</b>             | <b>3 724 000</b> | <b>100</b>            | <b>835 000</b>  | <b>100</b>            |



Figur 28. Faktiskt och förutspådd a) total användning av fiskmjöl i det globala vattenbruket i tusen ton (staplar) och b) genomsnittlig procentuell inblandning i foder (linje) (anpassad från Tacon m.fl. 2011).

aminosyraprofilen motsvarar ofta aminosyrabehovet hos den odlade arten, det har hög smältbarhet och innehåller essentiella mineraler och fettsyror. Likaså är fiskolja en svårutbytbar källa till de långkedjade omega-3 fettsyror, som dessutom ger hög smaklighet till fodret. I takt med den ökade medvetandegraden om överexploateringen av marina resurser och till följd av detta brister i foderfiskstillgång, har ett intensivt arbete gjorts för att reducera inblandningen av dessa råvaror i fodret.

Många försök att byta ut fiskmjöl med alternativ har gjorts, och fram till år 2006 hade man framgångsrikt lyckas reducera inblandningen av fiskmjöl med 25-50 % i foder. Detta till såväl herbi- och omnivora arter som i foder till karnivora fiskarter som lax, regnbåge, seabream (guldsparid) och seabass (havsabborre), som totalt konsumerade 45 % av det fiskmjöl som användes av vattenbruksindustrin (Tabell 6). Samma år gick 88,5 % av världsmarknadens fiskolja till vattenbruksindustrin, varav 43 % användes i laxfoder (Tabell 6). Trots tidigare framgångar med att ersätta fiskmjöl i fodret fortsatte vattenbruksindustrin att konsumera allt större andel av fiskmjölsproduktionen, på grund av den ökande foderproduktionen till den växande vattenbruksindustrin (Figur 28). Men 2006 producerades cirka 1 miljon ton mindre fiskmjöl än de tidigare 20 årens genomsnitt, vilket gjorde att priset ökade markant och industrin var tvungna att snabbt anpassa sig till de nya marknadsvillkoren genom

ökad inblandning av mer alternativa foderråvaror (Hardy 2010).

Även om vattenbruksindustrin använder allt mer av den tillgängliga mängden fiskmjöl, så har andelen fiskmjöl i fodret minskat. Man har framförallt bytt ut fiskmjölet mot fodermedel av vegetabiliskt ursprung, sojamjöl och -koncentrat, vetegluten samt i något lägre utsträckning bondböna, solrosmjöl, majsprodukter och ärtprotein. Mycket av produktionen av dessa råvaror sker i länder med längre växtsäsong än i Skandinavien och Norden. Östersjöområdet är nettoimportörer av protein, framförallt i form av soja (Andersen och Tybirk 2016). Man har ersatt en stor del av fiskoljan med framförallt rapsolja, men användningen av fiskolja har inte avtagit i samma takt som fiskmjöl, mycket beroende på marknadens krav på ett högt innehåll av omega-3 fettsyror i slutprodukten vilket inte återfinns i vegetabilisk olja (om ej genmodifierad sådan).

Problem som kan uppstå med nya, obeprövade fodermedel förutom att de inte har en optimal näringssammansättning, är att de kan innehålla antinutritionella substanser som direkt eller indirekt via dess metaboliter stör upptag eller ämnesomsättning, t.ex. i form av skador på tarmslemhinnan och tarminflammationer (Jutfelt m.fl. 2007, Knudsen m.fl. 2008, Geurden m.fl. 2009, Krogdahl m.fl. 2010).

För att nya fodermedel skall anses vara ett intressant alternativ till fiskmjöl måste de ha ett lågt innehåll av fiber och speciellt olösliga kolhydrater, stärkelse samt antinutritionella substanser och ha ett relativt högt proteininnehåll med god aminosyraprofil, hög smältbarhet samt vara någorlunda välsmakande. Utöver detta måste det också ha stor tillgänglighet, konkurrenskraftigt pris, vara lätt att hantera, transportera lagra och inte minst ha rätt fysiska egenskaper för att kunna användas i foderproduktion (extruderas; Gatlin m.fl., 2007). Alternativ till fiskmjöl innefattar bl.a. nya växt-proteinkällor, nya marina källor samt sidoflöden och biprodukter från animalieindustrin från vatten och land. Vegetabilier behöver ofta bearbetas eller förädlas för att reducera effekten av antinutritionella substanser och/eller förbättra näringssammansättning. Fokus behöver ökas mot odling av fisk- och skaldjursarter med andra näringsbehov (herbi- och omnivorer) och i synnerhet nyttjande av restflöden från vattenbruk, fiske, lantbruk, skogsbruk, industrier etc. för att skapa näringsrika födoämnen och innovativa protein- och lipidkällor (Rana m.fl. 2009). På längre sikt måste alternativa fodermedel baseras på cirkulära näringsflöden istället för linjära där vi har en konstant källa till näringsförluster, och inte minst vara otjänliga eller ointressanta för direkt human konsumtion.

### Vegetabiliska foderråvaror

De huvudsakliga vegetabiliska mjöl och olje-produkter som används i foderproduktion inom vattenbruket, är listade nedan i fallande ordning efter global produktion och marknadsanvändning (Tacon m.fl. 2011).

Spannmål, inklusive mjöl och oljor av biprodukter:

- mald eller annan processad majs, vete, ris, korn, sorghum, havre, hirs, rågvete etc.,
- mjöl av biprodukter från majs gluten, vete-gluten, drank, ris-protein koncentrat, riskli, vetekli,
- extraherade oljor av majs och ris.

Oljefrön och oljor:

- fullfet soja (hel sojaböna)
- ösningsmedelsextraherade mjöl av sojaböna, raps/rybs, bomull, jordnöt, solros, palmkärna, kokosnöt (kopra)
- biproduktsmjöl bestående av sojakoncentrat och rapsproteinkoncentrat
- extraherade oljor från palm, sojaböna, raps/rybs, solros, linfrö, bomullsfrö och oliv.

Baljväxter och proteinkoncentrat:

- mald eller annan processad ärt och lupin,
- biproduktsmjöl bestående av ärt/bönproteinkoncentrat och lupinprotein-koncentrat.

Proteinrikt sojakoncentrat pekades tidigt ut som det med lovande alternativet för utbyte av fiskmjöl och har framgångsrikt ersatt upp till 75 % av fiskmjölet i foder till laxfiskar. I koncentratet återfinns lika höga eller högre värden av de annars begränsande aminosyror lysin, metionin och treonin, än i fiskmjöl. Dessutom orsakar koncentratet inte magtarm inflammation hos laxfiskar till skillnad från hel soja (genomgång av Hardy, 2010). Ett problem med sojaprodukter är att fosfor och en del andra mineraler inte finns i en tillgänglig form, utan är bundet i fytinsyra. Detta kan dock avhjälpas genom tillsats av enzymet fytas som gör mineralerna mer tillgängliga för djuret. Sojaproduktionen är dock kritiserad för att bidra till att stora arealer av naturmarker omvandlas till jordbruksmark med miljöpåverkningar som frigörelse av växthusgaser, övergödning, jorderosion och minskad biologiskt mångfald som följer. Utöver detta används en stor mängd bekämpningsmedel i sojaproduktionen som sedan gammalt är förbjudna i Sverige pga. dess negativa hälsoeffekter. Endast några få hektar soja odlas i södra Sverige, men med klimatförändringen och genteknik skulle nya sorters soja lämpade för ett Skandinaviskt klimat kunna komma att odlas här (Poulsen m.fl. 2016). De stora fiskfoderföretagen (Skretting, Biomar och Ewos/Cargill) som årligen producerar hållbarhetsrapporter redovisar att de endast handlar soja från Pro Terra certifierade producenter vilket skall innebära att produktionen tagit hänsyn till uthålligt miljömässiga, sociala och ekonomiska parametrar. Den något mindre finska foderproducenten Rasio, har pekats ut av WWF som ett företag med miljömässigt hänsynstagande<sup>17</sup>.

Majs produceras till största delen i USA, där majoriteten av grödan används som energifodermedel till produktionsdjur, resten bearbetas till olika livsmedel som majsolja, stärkelse, sirap mm, och inte minste etanolproduktion. Ett på marknaden typiskt majs glutenmjöl har hög smältbarhet och innehåller minst 60 % råprotein, och i renad, koncentrerad form över 70 % råprotein. Dock är lysinnivåerna ofta låga. Majs glutenmjöl används vanligen i foder till lax och marina arter som havsabbore och guldsparid. Den kemiska sammansättningen begränsar inblandningen i fodret till dessa arter till maximalt 20-25 procent, men vanlig

inblandning är mellan 10-15 %. Drank från majs är en restprodukt från etanolframställning som används som foderingsrediens. Dessvärre begränsar det låga proteininnehållet, normalt 28-33 %, och relativt höga fiberinnehållet användningen i fiskfoder. Det görs utvecklingsarbete med att ta fram ett proteinkoncentrat genom att separera proteinfraktionen från fiber och stärkelse. Vete har stor användning inom matindustrin i form av bröd, pasta m.m., men mycket av biprodukterna från mjöltillverkningen används som djurfoder. Vete skiljer sig från andra spannmål genom sitt höga innehåll av glutenproteiner. Förutom sitt näringsvärde har glutenprotein en väldigt stor betydelse som bindemedel i foder, vilket är speciellt viktigt inom vattenbruket. Vete som används till foder har normalt ett proteinvärde på cirka 12 %, men används främst som energikälla genom sitt höga innehåll av stärkelse. Aminosyrasammansättningen i vete och andra spannmål består till cirka 30 % av den icke-essentiella aminosyran glutaminsyra, samt låga halter av lysin och metionin. Biprodukten av vetemjöl framställning, som oftast används i foder, har dock flera begränsningar i användningen som fiskfoder. Vid mjölförädlning går det mesta av de smältbara kolhydraterna till mjölkfraktionen, vilket innebär att biprodukten dels har ett högt fiberinnehåll och dels reducerar det smältbara energivärdet i allmänhet i fiskfoder och i synnerhet i ett högenergifoder som t.ex. till lax, på grund av dess lägre smältbarhet. Utöver detta så har biprodukten ett lägre gluteninnehåll, så de positiva egenskaperna som bindemedel är betydligt lägre. Korn har haft en begränsad användning i fiskfoder främst p.g.a. dess relativt höga fiberinnehåll, men har i takt med framtagandet av nya sorter samt förbättrad processteknik lett till sorter med bl.a. lägre fiberinnehåll och mängd fytinsyra. Korn innehåller 9-15 % råprotein, med ett lysininnehåll på cirka 3,6 % per råprotein. Störst framgång har man haft med proteinkoncentratet, som är en biprodukt från framställning av etanol och  $\beta$ -glukaner (kostfiber). Smältbarheten av kornprodukter ökar signifikant med modern foderteknologi i form av extrudering (Gatlin m.fl. 2007).

Rapsmjöl (avfettat) är en biprodukt från rapsoljaframställning, och innehåller runt 35 % råprotein, men 12 % växttråd. Vidare framställs ett proteinisolat (rapsproteinkoncentrat) som till stor del går att ersätta fiskmjöl med i foder till laxfiskar och andra karnivora arter så länge fodret kompletteras med aminosyror för att få en aminosyraprofil som

motsvarar fiskens behov. Smakförstärkare, som t.ex. betain eller blåmusslor, behöver i regel tillsättas foder med hög rapsmjöls inblandning för att undvika minskat foderintag p.g.a. antinutritionella substanser i raps som minskar smakligheten.

Baljväxter som bomullsfrön (*Gossypium hirsute*), lupiner, ärtor och bönor (främst bondböna: *Vicia faba*) har ett högt till relativt högt proteininnehåll (42-25 % råprotein). Generellt är innehållet av lysin och metionin begränsat i baljväxter, varav foder med inblandning av dessa produkter noggrant måste balanseras med andra källor av dessa begränsande aminosyror (Gatlin m.fl. 2007, Caruso, 2015). Det finns dock undantag som innehåller relativt höga halter av lysin. t.ex. bondböna. Både ärtor och bönor innehåller mycket stärkelse, medan lupiner innehåller höga halter av bl.a.  $\beta$ -(1,4)-galaktan, en polysackarid som dock inte är stärkelse (s.k. non-starch polysackarides: NSPs). Generellt har fiskar låg kapacitet att bryta ned och tillgodogöra sig NSPs. Baljväxter innehåller varierande grad av antinutritionella substanser. I en del lupiner förekommer det t.ex. saponiner, alkaloider, trypsin inhibitorer, oligosackarider och tanniner som bl.a. påverkar upptag, metabolism och smakligheten i fodret (Gatlin m.fl. 2007). Råprotein-koncentrat, med ett råprotein innehåll på cirka 75 % och fettinnehåll på cirka 11 %, är ytterligare en vegetabilisk foderråvara med potential att byta ut delar av fiskmjöl i fisk- och räkfoder (Caruso 2015), men med minskad smältbarhet vid inblandningsnivåer på över 20 % i fiskfoder och 50 % i räkfoder.

Andra vegetabilier med framtida potential, som idag inte finns rapporterade alls som foderråvaror inom vattenbruksindustrin, kan vara fraktioner av rödklöver, som ger en högre avkastning per ytenhet av protein, inklusive både lysin och metionin, än t.ex. soja. Den stora utmaningen ligger i att koncentrera proteinet (Poulsen m.fl. 2016).



Figur 29. Alternativa foderråvaror med högt proteininnehåll (A) Prepuppor av svart soldatflyga. (B) Sidoflöden från beredningsindustrin (här sillskrov).

### Animaliska foderråvaror

De huvudsakliga animaliska mjöl och oljeprodukter från akvatiska organismer som används i foderproduktion är listade nedan i fallande ordning efter global produktion och marknadsanvändning (Tacon m.fl. 2011).

- Mjöl och oljor producerade från direkt fiske samt bifångster av fisk och skaldjur
- (makrovertebrater),
- Biproduktmjöl och -oljor från fisk och skaldjur producerade från produkter från fiske och/eller vattenbruk,
- Mjöl och oljor producerade av marina zooplankton från vilda bestånd,
- Hydrolysat, ensilage och fermenterad fisk och skaldjur producerade från vattenbruk, fiske, makroinvertebrater, zooplankton och/eller restströmmar från sjömatproduktion,
- Mjöl producerat av fångade eller odlade marina ringmaskar (havsborstmaskar).

En växande andel fiskmjöl och fiskolja produceras av bi- och/eller restflöden från fiske, vattenbruk och livsmedelsindustrin. Det finns idag ingen säker information på hur stor andel det är. Man har tidigare uppskattat att inom EU härrör 33 % av det producerade fiskmjölet från bi-/restflöden (SEAFISH 2009), och icke-validerade uppskattningar pekar på att 25-35 % av den globala produktionen av fiskmjöl och fiskolja kommer från biprodukter (FAO 2016).

Vidare har det gjorts flera lovande försök med blåmusslor som foderings ingrediens till bl.a. olika laxfiskar (Vidakovic m.fl. 2015, Langeland m.fl. 2014b) och piggvar (Nagel m.fl. 2014). Musslor har en väldigt snarlik näringssammansättning som

fiskmjöl och hög smältbarhet och smaklighet och tillväxt och hälsoparametrar skiljer sig inte från kontrollgrupperna av fisk som fått foder med fiskmjöl och fiskolja. Den största utmaningen med detta ligger i de ekonomiska förutsättningarna för produktion av musslor och musselmjöl också innefattande toxinanalyser.

#### Landlevande animaliska protein- och fettråvaror

- Mjöl och fett från köttbiprodukter; produceras från slaktad livsmedelsproducerande boskap (nötkreatur, gris, får, etc.) och innefattar kött- och benmjöl, köttmjöl, upplöst kött samt späck, ister och talg,
- Mjöl och fett från höns/kycklingbiprodukter; produceras från slaktad kyckling och höns och innefattar mjöl från biprodukter, fjädermjöl och kyckling fett,
- Mjöl från blodbiprodukter; produceras från slaktad livsmedelsproducerande boskap och innefattar blodmjöl, hemoglobinjöl, och torkad plasma,
- Blandade produkter från landlevande ryggradslösa djur; produceras från vilda bestånd och/eller odlade ringmaskar (Annelida), insektslarver/puppor och gastropoder.

Modernt framställda proteinmjöl och fetter av animaliska biprodukter har generellt ett högt näringsvärde för fiskar. De flesta produkter är kostnadseffektiva alternativ med hög andel smältbart råprotein, energi, fett och en bra aminosyrasammansättning, med hög tillgänglighet för de flesta arter inom vattenbruket. Utanför EU har intresset för att använda animaliska biprodukter i fisk- och räkfoder ökat, men i Europa blev produkter av landle-

vande animaliskt ursprung förbjudet efter BSE krisen i början av 90-talet. Sedan 2013 är det dock återigen lagligt att använda de flesta animaliska biprodukter i fiskfoder (Kategori 3 ABP, European Commission Regulation No. 1774/2002 och No. 999/2001), som t.ex. PAPs (processed animal proteins). Detta innebär animaliska biprodukter eller slaktkroppar som är lämpade för direkt human-konsumtion, men som inte används till detta av kommersiella skäl.

Insekter, rika på protein, fett och energi, har nyligen pekats ut som en potentiell foderråvara i vattenbruk-sindustrin (Makkar m.fl. 2014). Det finns över 1 miljon olika insektsarter beskrivna, och närings-sammansättningen skiljer sig mellan arter, metamorfiskt stadium, föda samt miljö och säsong. Flera fiskarter från båda marin och limnisk miljö, har insekter i sin naturliga diet. Flera insektsarter har den stora fördelen av en hög tillväxt, kort generationscykel, enkla och anspråkslösa krav för reproduktion, effektiva foderomvandlare och inte minst kan leva på rest- och/eller biflöden från industri eller livsmedelsproduktion. Dessutom kräver insektsproduktion lite vatten och yta. Av 150 analyserade insektsarter hade 20 arter ett råproteininnehåll mellan 60 till 78 %, och 41 arter ett råproteininnehåll mellan 40 till 78 % (på torrsustans basis; Sánchez -Muros m.fl. 2014). Aminosyrasammansättningen är ofta låg på de essentiella aminosyrorerna histidin, lysin och tryptofan, men med ett relativt högt innehåll av metionin. Generellt har insekter ett fettinnehåll på mellan 15-30 %, vilket är högre än i fiskmjöl och sojamjöl. Fettsyrasammansättningen kan delvis styras i insekter genom födan de äter, vilket öppnar möjligheter för nya källor av långkedjiga, fleromättade fettsyror till fiskfoder (Makkar m.fl. 2014). Störst fokus har hitintills riktats mot larver och prepuppor av svart soldatfluga (*Hermetia illucens*). Denna tvåvingeart (ordning Diptera) är känd för att effektivt kunna bryta ned

organiskt avfall som gödsel och matrester, och omvandla det till högvärdigt protein och fett. Normalt avfettar man insekterna och får fram ett proteinkoncentrat på omkring 70 % råprotein-innehåll och en fettfraktion. Flera studier har gjorts på fisk där man framgångsrikt bytt ut stora delar av fiskmjölet i fodret med insektsprotein (St-Hilaire m.fl. 2007, Makkar m.fl. 2014; Lock m.fl. 2016). Insekter innehåller i varierande mängd kitin (aminopolysackarid), som utgör en del av exoskelettet. Det är fortfarande inte kartlagt hur olika fiskarter hanterar höga kitinmängder i fodret och huruvida det leder till tarmskador/inflammationer måste undersökas. I dagsläget är insekter inte tillåtna som varken livsmedel eller foderråvara i EU, men mycket pekar på att en lagändring om detta snart kommer att ske.

### Mikrobiella foderråvaror

En ny typ av protein- och lipidfodermedel i form av mikroorganismer eller "single cell proteins" har rönt stort intresse de senaste åren, även om försök med bl.a. bakterier i fiskfoder har gjorts sedan 80-talet. Många typer av mikroorganismer, som jäst, mikroalger, bakterier och/eller filamentösa svampar, har ett högt proteininnehåll (Tabell 7) och i vissa fall en intressant fettsyraprofil. Flera studier visar att fiskar kan utnyttja mikroorganismer, t.ex. jäst, på ett mycket bra sätt. Dessutom konkurrerar användningen av denna produkt inte med människan, då vår metabolism inte kan hantera de höga halterna av nukleinsyra som återfinns i mikroorganismer. Det verkar som att de flesta fiskar kan hantera relativt höga intag av nukleinsyror, men däremot kan mikroorganismernas cellväggar ställa till problem i form av låg smältbarhet och ev. skador/inflammationer i tarmen (Langeland m.fl. 2014b; Vidakovic m.fl. 2015). I kombination med ett RAS skulle skörd av näringsämnen ur slammet kunna användas som substrat för att odla mikroorganismer och därmed skapa ett integrerat multitroft system.

Tabell 7. Genomsnittlig kemisk sammansättning av de huvudsakliga grupperna av mikroorganismer av intresse för vattenbruk (% torrsustans).

| Näringsämne         | Svamp | Mikroalger | Jäst  | Bakterier |
|---------------------|-------|------------|-------|-----------|
| Protein             | 30-45 | 40-60      | 45-55 | 50-65     |
| Nukleinsyror        | 7-10  | 3-8        | 6-12  | 8-12      |
| Total N             | 37-55 | 43-68      | 51-67 | 58-77     |
| Råfett              | 2-8   | 7-20       | 5-10  | 3-7       |
| Aska (mineralämnen) | 9-14  | 8-10       | 5-10  | 3-7       |

Ytterligare en utveckling av detta skulle vara att odla mikroalger i näringsflödet från fisktankarna. Mikroalgerna blir sedan föda åt hujldjur som används som foder till fiskyngel och -larver. Mikroalger har ett högt proteininnehåll och många arter har höga halter av omega-3 och -6 fettsyror. I ett senare skede skulle även alger kunna skördas och torkas för att användas som proteinfodermedel och källa till essentiella fettsyror i torrfoder till större fiskar.

Tabell 8. Kemikalier som enligt uppgift används i svenska odlingssystem (enkätutskick Appendix). Kemikalier med samma användningsområde listas separat från varandra för att kunna lista förbrukning. Kemisk formel inom parentes och varumärke i kursiv stil. Mängd och volymer (där så finns uppgett) är normaliserat till mängd ton produktion per år av respektive vattenbruksorganism (fisk, skaldjur eller alger). Ö=Öppna, Ö(land)=genomflödessystem på land, S=slutna recirkulerande, A= Akvaponik.

| Odlings-system | Kemikalier                                                                                                                                                 | Användningsområde                                              | Mängd kemikalier/ton producerad odlad organism/år              |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Ö, S           | Antibiotika                                                                                                                                                | Vid diagnos.                                                   | ca 6 kg aktiv substans (baserat på SCB siffror för produktion) |
| Ö (land)       | Ättiksyra (CH <sub>3</sub> COOH)+Perättiksyra (CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> OH)+Väteperoxid (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) <i>Ecolab P3-Oxysan ZS</i> | Desinfektion                                                   | <0.5 L                                                         |
| Ö (land)       | Kloramin-T (C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> ClNO <sub>2</sub> S·Na) ex <i>Halamid</i>                                                                        | Desinfektion (oxiderande), yngelbad                            | 1.4 kg, 0.25 L                                                 |
| Ö (land), S    | Formalin (utspädd formaldehyd CH <sub>2</sub> O)                                                                                                           | Desinfektion av rom och yngel/sättfisk (ej matfisk), rengöring | 0.25 L                                                         |
| Ö (land)       | Jod (I) <i>Buffodine</i> O <sub>3</sub> )                                                                                                                  | Desinfektion av rom                                            | 0.25 L                                                         |
| S              | Natronlut 25 % (utspädd Natriumhydroxid NaOH)                                                                                                              | Rengöring (alkalint)                                           | 2 kg                                                           |
| S              | Kaliumhydroxid 10-20% (KOH)+Natriumhypoklorit 2-5% (NaClO) <i>DeLaval Ultra</i>                                                                            | Rengöring (alkalint)                                           | <1 L                                                           |
| S              | Saltsyra (HCl)                                                                                                                                             | Rengöring (surt)                                               | <1 L                                                           |
| S              | Fosforsyra 10-20% (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )+Svavelsyra 5-10% (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) <i>DeLaval Cidmax</i>                               | Rengöring (surt)                                               | <1 L                                                           |
| S              | Natriumkarbonat (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )                                                                                                         | pH-reglerande                                                  |                                                                |
|                | Myrsyra (HCOOH)                                                                                                                                            | Ensilerings av avfall                                          |                                                                |

En annan typ av mikrobiellt foder som sätts i ett annat sammanhang är Biofloc, där man har ett helt slutet system med i princip nollutsläpp (Avnimelech 2009). I dessa system föder man en näringsrik soppa av mikroorganismer (biofloc) som konsumeras främst genom filtrering av vanligen räkor eller tilapia. Mikroorganismerna i systemet, som kräver hög temperatur, är tänkta att kunna försörja fisken eller räkorna helt eller med viss stödutfodring, med energi och näringsämnen för en hög produktion.

## KEMIKALIER OCH LÄKEMEDEL

Odlingskassar kan i vissa fall vara impregnerade med antipåväxtpreparat, men då framförallt vid odling i marina eller brackvattenförhållanden, eftersom detta i stort sett inte behövs i sötvatten och framförallt inte i näringsfattiga regleringsmagasin där den mesta av den kassodlingsbaserade verksamheten sker. I sötvatten tvättas istället kassarna på land med hjälp av vatten och högttryckstvätt alternativt i storskaliga tvättmaskiner, eller så torkas kassarna varefter smuts, påväxt mm kan tas bort och samlas upp. I öppna kassodlingar i sötvatten används därför i princip inga kemikalier.

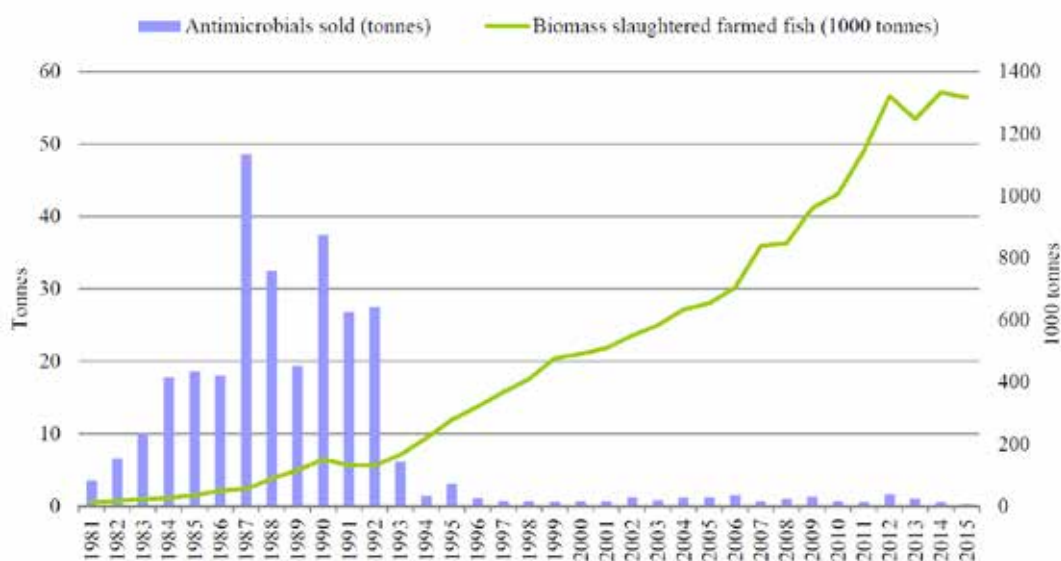
I recirkulerande system kan parasitangrepp och sjukdomar undvikas genom hög kontroll på hygien, rutiner och god vattenkvalitet. Från det insamlade enkätmaterialiet framgår det att de flesta kemikalier som används inom vattenbruk är rengöring eller desinfektionsmedel, ofta kraftiga syror med lågt pH eller alkaliska lösningar med högt pH (Tabell 8). Då svarsfrekvensen inte varit 100 % så skall tabellen ses som en indikation på de kemikalier som används i Sverige och inte en heltäckande beskrivning av branschens kemikalieanvändning. Huvudsakligen används kemikalierna idag i de landbaserade anläggningarna, både för stora (matfisk) och små organismer (rom, larver/ungel, sättfisk). En del av dessa landbaserade anläggningar är genomflödes-system där vattnet flödar igenom anläggningen och vidare ut i recipienten.

Desinfektion av rom och yngel sker i slutna bad, dock framgår det inte var behandlingsvattnet sedan tar vägen. Flera odlare uppger att de använder formalin (formaldehyd löst i vatten) eller kloramin-T för desinfektion av rom och yngel. Dosen anpassas till sjukdom, fiskstorlek m.m. Denna typ av kemikalier används dock inte i matfiskproduktion. Kalk används normalt på samma sätt som i semislutna system för att ta bort lukt av avskilt slam. Den enda uppgift om pH-reglering i slam från landbaserad anläggning som inkommit använder Natriumkarbonat (Tabell 8). Nitrifikationen är försurande och därför kan man i RAS system behöva tillsätta alkalinitetshöjande kemikalier. Detta har

dock inte bekräftats i det underlag som kommit in.

I helt slutna system som akvaponik och biofloc uppges ingen särskild kemikalieanvändning. En akvaponik-anläggning angav att man använder nyttoinsekter vid angrepp på odlingsväxterna och en biofloc-anläggning angav att man gav tillskott av mineraler (Ca/Mg) till de odlade kräftdjuren.

Fisk som drabbas av sjukdomar får antingen medicinfoder utskrivet av veterinär eller slaktas bort. Enligt Jordbruksverket (Ahlberg pers komm.) såldes totalt 10,4 ton antibiotika 2014 till djurhållning. Av detta uppgick den totala antibiotikaanvändningen i fiskodlingar i Sverige (2015) till endast 65,4 kg aktiv substans. Det går inte att exakt fastställa fördelningen av antibiotikaanvändningen mellan kassodling och landbaserade odlingar, men den övervägande delen (ca. 70%) används i de landbaserade anläggningarna innan fisken placeras ut i kassar medan ca 30% används i kassodlingarna (Wikberg pers. komm.). Antibiotika inom fiskodling är inte tillåtet att använda i förebyggande syfte utan används endast efter förskrivning av behandlade veterinär (Högfors-Rönnholm 2014). Mängden utskriven antibiotika sammanställs varje år. Den största mängden av aktiv antibiotikasubstans används för att behandla flavobakterier där smittan kan överföras både horisontellt (från annan fisk eller infekterat vatten) och vertikalt (till avkomman). Flavobacterios (*Flavobacter psychrophilum*) ger hög



Figur 30. Antibiotika användning i Norsk laxodling i jämförelse med producerad mängd fisk från laxodlingens start till 2015 (NORM NORM-VET 2015)

dödlighet hos yngel och fenskador samt sår som kan gå in i muskulaturen. Sjukdomen är vanligast förekommande vid låga temperaturer <15°C, och förekommer i både sött och bräckt vatten. Aktiv substans vid antibiotikabehandling av flavobacterios är florfenicol. En annan vanlig förekommande sjukdom orsakad av flavobakterier (*Flavobacter columnare*) är ”kolumnare sjukan”. Sjukdomen förekommer i sötvatten och ger skador på gälar och hud hos fisk. Aktiv substans för att behandla sjukdomen är oxytetracyklin. Den fisk som odlas i havsområden inklusive i bräckt vatten vaccineras oftast mot de vanligaste och/eller viktigaste sjukdomarna innan de placeras ut i kassarna.

Sjukdomar kan komma med införsel av sjuka individer (i alla livsstadier), kontakt med smittad vilda djur eller med fodret. Många patogener (sjukdomsalstrande organismer) är ofta förekommande i låg mängd i vattnet, men så länge halterna inte blir för höga kan de odlade djurens försvarsbarriärer effektivt förhindra infektion med efterföljande sjukdomsutbrott (Segner m.fl. 2011, Sundh och Sundell 2015). Vid ökad eller additiv stress som exempelvis dålig vattenkvalitet, bristande hygien och rutiner ökar risken för sjukdomsutbrott då stress negativt påverkar organismernas eget försvar (Sundh m.fl. 2009, Segner m.fl. 2011, Sundh och Sundell 2015). Spridning av sjukdomar kan ske med redskap för hantering av individer, genom omflyttning och genom att olika smittämnen kan föras omkring inom odlingen med strömmande vatten.

De patogener som orsakar sjukdom hos fiskar påverkar i allmänhet inte människor eller andra landlevande djur. Då laxfiskar vaccineras mot vanligt förekommande sjukdomar så har antibiotikamängden gått ned markant sedan mitten av -

Tabell 9. Mängd utskriven aktiv substans antibiotika till svensk fiskodling (Ahlberg pers. komm.) och antibiotika i övrig köttproduktion i Sverige (EMA 2012, 2016). Antibiotikaanvändning uttryckt som mg aktiv substans per kg levandevikt. (e.t.=ej tillgänglig).

|      | Fiskodling<br>(g/ton<br>levandevikt) | Övrig köttproduktion till<br>livsmedel<br>(g/ton levandevikt) |
|------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 2009 | 1.7                                  |                                                               |
| 2010 | 2.9                                  | 15.2                                                          |
| 2011 | 4.0                                  | 13.6                                                          |
| 2012 | 4.7                                  | 13.5                                                          |
| 2013 | 6.7                                  | 12.7                                                          |
| 2014 | 6.0                                  | 11.5                                                          |
| 2015 | 5.8                                  | e.t.                                                          |

90-talet. Enligt norska veterinärinstitutets årliga rapport om antibiotika förbrukning i Norge har antibiotika-användningen i norsk laxodling minskat med 99 % sedan 1987 (NORM\_NORM-VET 2105, Figur 30). Vid vaccination bedövas fisken och sedan injicerar man vaccinet i bukhålan. Detta kan ske för hand eller maskinellt (ex. NFT-20). Fisken vaccineras mot vibrios och furunkulos och ett vanligt vaccin är Alphaject 3000. Vaccindosen är 0,01 ml och man kan, beroende på utrustning, injicera i fisk som är 10-20 g eller större. Efter ca 400 dygnsgrader har fisken erhållit immunitet och kan exponeras för smitta utan att bli sjuk (Lönström pers. komm.). Små fiskyngel (<10 g) kan även få ett visst skydd mot vibrios genom dopp eller badvaccinering där vaccinet tas upp över gälar eller kroppsytan (Dhar m.fl. 2014)<sup>18,19</sup>.

Antibiotikan skrivs alltså endast ut vid diagnos och distribueras via fodret. Den största delen av den antibiotikan i fodret metaboliseras av fisken och metaboliterna samt en del ometaboliserat antibiotika som läcker ut från medicinfodret hamnar därmed i recipienten. Då mängden antibiotika som skrivs ut är begränsat så är det för odlaren särskilt viktigt att foderupptaget är så högt som möjligt, därigenom minimeras även utsläppet till miljön. Dock, det gör även den antibiotika som förskrivs till andra matproduktionsdjur och inom övrig veterinär- och sjukvård, varför den del som kommer från behandling av fisk i odling är försumbar. Antibiotikaanvändningen för livsmedelproduktion i Europa ligger i snitt på 100 g aktiv substans/ton levandevikt (d.v.s. före slakt) (EMA 2012, 2016). I Sverige ligger den siffran på ca 11-14 g/ton för livsmedel generellt, medan det i fiskodling används bara hälften (2-7g/ton) så mycket antibiotika som inom övrig livsmedelsproduktion (EMA 2012, 2016, Heldbo m.fl. 2013, Tabell 9). Dessa siffror kan jämföras med ca 2 g/ton för norsk fiskodling, som är huvudsakligen öppna odlingssystem, och ca 80 g/ton för dansk fiskodling, som är huvudsakligen recirkulerande system (Heldbo m.fl. 2013, Figur 30).

## LOKALISERING

Odlingar skall placeras där de är bäst lämpade både ur ett miljömässigt och samhälls-sekonomiskt perspektiv där minsta möjliga intrång på miljön görs. Då de olika odlingssystemen har helt olika egenskaper och behov samtidigt som olika vattensystem har olika förutsättningar med avseende på bl.a. abiotiska faktorer, antropogen påverkan och nyttjande

av land- och vattenarealer är det inte möjligt att ge generella rekommendationer för var det är lämpligast att placera en odling. Odling i exempelvis öppen kasse kräver generellt ett större närsaltsutrymme i recipienten än andra odlings tekniker medan RAS-anläggningar exempelvis kräver större tillgång till landytor för byggnader samt god tillgång till elförsörjning. För att kunna ge förslag på lämplig geografisk placering och/eller val av teknisk lösning behövs därför djupare analyser av syftet med den tänkta odlingsverksamheten, omfattningen av denna, val av art samt de möjliga lokaliseringarnas förutsättningar i varje enskilt fall. Vid planering av en fiskodling bör abiotiska faktorer som strömförhållanden, bottentopografi, temperatur, närsalthalter och i förekommande fall salthaltsprofiler etc. kartläggas. Även någon form av inventering av flora och fauna bör göras med avseende på växter och djur på botten, inom det vattenområde som beräknas kunna påverkas. Detta dels för att konstatera om där finns känsliga eller särskilt hänsynskrävande arter samt för att ge en bild av nulägesstatus i området för att kunna följa upp hur odlingen eventuellt påverkar miljön.

En odling, vare sig den är på land eller i vattnet påverkar både landskapet och vattenkvaliteten i recipienten. Odlingssystemen blir i sin tur påverkade av den vattenkvalitet som råder vid odlingslokaliseringen och för att säkerställa hög produktion och minimera stress och sjukdomsutbrott är en god vattenkvalitet i odlingen nödvändig. Vid placering av odlingar behöver man ta hänsyn till olika typer av aktiviteter i området, såsom sjöfart, rekreation och friluftsliv. Tillgång till vägar och el (infrastruktur) är också nödvändigt.

Närsaltsstatusen för våra vatten sätter till stor del begränsningar för vilken typ av odlingssystem som är lämpligt. I de stora reglerade sjöarna i Sverige finns bra förutsättningarna för sjö- och inlandsbaserade fiskodlingar då näringshalterna i dessa sjöar har minskat på grund av vattenkraftsregleringen samt att magasinerna vanligen är stora och djupa vilket tillsammans ger en god potential för fiskodlingsverksamhet. Vattenkraftsregleringen har medfört att huvuddelen av växt- och djurlivet i den litorala zonen (det strandnära området) slås ut när vattennivån sjunker under vintern, området torrläggas och därefter bottenfrysar innan magasinet åter fylls upp under våren och försommaren. Dessa områden är i oregerade sjöar de mest produktiva områdena med tillgång till bottenlevande växter och

hyser även ett rikt insektsliv som utgör födobasen för fiskbeståndet i sjön (Runnström 1955, 1964, Grimås 1962, 1964, Nilsson 1964, Rodhe 1964, Fürst 1968, Andersson 1978, Fürst m.fl. 1983, 1984, 1986, Svärdsson och Nilsson 1985, Hill & Forsberg 1986, Degerman m.fl. 1998, Vrede m.fl. 2006, Persson m.fl. 2008, Rydin m.fl. 2008, Milbrink m.fl. 2011, Markesten m.fl. 2012). Litoralzonen tar i en oregerad sjö dessutom hand om en stor del av näringsämnena i vattnet genom att dessa binds upp i biomassan. I de reglerade sjöarna saknas däremot detta växt- och djurliv i litoralzonen som kan binda upp näringsämnena, vilket även minskar den biologiska produktionen som helhet i magasinet (Runnström 1955, 1964, Grimås 1962, Nilsson 1964, Fürst 1968, Andersson 1978, Fürst m.fl. 1983, 1984, 1986, Svärdsson och Nilsson 1985, Jensen 1988, Degerman m.fl. 1998, Milbrink m.fl. 2003, Vrede m.fl. 2006, Persson m.fl. 2008, Milbrink m.fl. 2011, Markesten m.fl. 2012). I de flesta regleringsmagasin har även tidigare landområden överdämts, vilket utökat volymen i magasinet och därmed även omsättningstiden. Detta medför en ökad sedimentering och därmed även en ökad fosforretention, vilket är fastläggandet av näringsämnen i bottensubstratet (Runnström 1955, 1964, Andersson 1964, 1978, Grimås 1962, Nilsson 1964, Rodhe 1964, Grimås & Nilsson 1965, Fürst m.fl. 1978, 1984, Svärdsson och Nilsson 1985, Jensen 1988, Naturvårdsverket 1996, Degerman m.fl. 1998, Stockner m.fl. 2000, Milbrink m.fl. 2003, Vrede m.fl. 2006, Rydin m.fl. 2008, Milbrink m.fl. 2011, Siergieiev 2014, Siergieiev m.fl. 2014). Den sammantagna effekten av vattenkraftsregleringen blir att näringsämnena, istället för att tas upp av de litorala delarna av ekosystemet, sjunker till botten i de djupa partierna av sjön och fastläggs, alternativt strömmar ut ur sjön via bottentappningen i dammen under vintern (Naturvårdsverket 1986, 1996, Degerman m.fl. 1998, Rydin m.fl. 2008, Milbrink m.fl. 2011, Siergieiev 2014, Siergieiev m.fl. 2014). De allteftersom minskande halterna av näringsämnen i regleringsmagasinen medför i förlängningen att hela den biologiska produktionen minskar (Runnström 1955, 1964, Grimås 1962, Andersson 1964, Sundborg 1977, Fürst m.fl. 1984, Svärdsson och Nilsson 1985, Naturvårdsverket 1986, 1996, Ney 1996, Degerman m.fl. 1998, Stockner m.fl. 2000, Milbrink m.fl. 2003, Vrede m.fl. 2006, Persson m.fl. 2008, Rydin m.fl. 2008, Milbrink m.fl. 2011, Siergieiev 2014, Siergieiev m.fl. 2014). Ett visst fosfortillskott till dessa magasin, t.ex. i form av anläggandet av en rätt dimensionerad fiskodling, kan ses som en biotopförbättrande

åtgärd, så länge närsaltsutrymmet i sjön inte över-  
skrids. Områdena kring dessa magasin är även glest  
befolkade och hyser sällan andra intressen, vilket  
minskar risken för intressekonflikter.

Stora delar av de svenska kustområdena, framförallt  
i Östersjön, har däremot redan en hög närsaltsbelast-  
ning från avrinningsområdena på land och från  
vattendrag och har därför mycket sämre förutsät-  
tningar att klara av ett ökat tillskott av närings-  
ämnen (HMI 2016). Egentliga Östersjön är  
fortfarande övergödd och har inte visat mycket, eller  
någon, förbättring under de senaste tio åren - trots  
en tydlig minskning i tillförsel av näringsämnen. En  
del av orsaken till detta är på grund av vattnets låga  
omsättning, långa uppehållstid och brist på inflöde  
av vatten över Öresund (HELCOM 2014). Cirka  
45% av bottenarealen i Egentliga Östersjön, Finska  
viken och Rigabukten täcks idag av  
syrefattigt eller syrefritt vatten (HMI 2016). På  
många håll har dock vattenkvaliteten i kustvattnet  
förbättrats genom olika åtgärder. I Bottenviken och  
delar av Bottenhavet, både längs delar av kusterna,  
men framförallt i de öppna havsområdena, är näring-  
stillståndet väsentligt bättre varför förutsättningar  
för odling i öppna kassar finns i väl valda områden.  
Statusen i Bottenhavet visar på en sjunkande status  
(HMI 2016). I Bottenhavets utsjö har totalfosfor-  
halterna ökat sedan 1970-talet samtidigt som syre-  
halten i djupvattnet minskat. I kustvattnen uppnår  
mindre än hälften av vattenförekomsterna god  
ekologisk status enligt vattendirektivets bedömnings-  
grunder. Sedimenten och bottenvattnet har också  
genom långvarig övergödning blivit rika på organiskt  
material som när det bryts ned ökar syreförbrukning-  
en. Vid fluktuerande syrehalter i vattnet kan denitri-  
fikationen i det anoxiska sedimentlagret gynnas, men  
vid långvarig syrebrist (hypoxi) kan istället leda till  
en minskad denitrifikation, vilke i sin tur kan leda till  
ökad frisättning av fosfor från sedimenten (Jäntti och  
Heitanen 2012). Bottenviken är det svenska  
havsområde som är minst påverkat av övergödning  
(HMI 2016). Totalfosforhalterna är låga och  
dessutom minskande sedan 1970-talet, samtidigt  
som syresituationen är god i djupvattnet. I de  
kustnära områdena är det något sämre och var femte  
vattenförekomst uppvisar tecken på övergödning.  
Sverige har ett reduktionsbeting på 530 ton fosfor  
och 9240 ton N för Östersjön (HELCOM 2013) och  
enligt HELCOM (2014) är det önskvärt att minska  
utsläppet i recipienten som helhet, d.v.s. Östersjöns  
totala yta.

Längs västkusten är näringstillståndet bättre vilket  
innebär potential för marint vattenbruk. I  
Skagerraks utsjövattnen är statusen generellt god både  
i vattenmassan och vid botten (HMI 2016). Däremot  
är situationen mer varierande vid kusten. Statusen  
i vattenmassan är generellt god, men bottenlevande  
djur uppvisar måttlig status i många områden i södra  
Bohuslän. Vid kusten i Kattegatt är statusen generellt  
god, men något sämre neråt Halland och Öresund.  
Statusen för bottenlevande djur vid kusten har för-  
bättrats under senare år förutom vid Laholmsbukten  
i Halland där dålig status råder idag.

Kustområdena har högre befolkning och intressekonf-  
likter mellan vattenbruk och andra aktiviteter som  
friluftsliv och båttrafik kan föreligga. Kartor över  
vattenområdets lämplighet för vattenbruk finns bl.  
a för Norra Bohuslän (Blå översiktsplan), Kalmark-  
usten (Andersson m.fl. 2013a; Olofsson och Anders-  
son 2014) och delar av Norrland (Andersson m.fl.  
2013b; Olofsson och Andersson 2014). Dessa kartor  
baserar sig såväl på vattenkvalitet och abiotiska  
faktorer som på olika aktiviteter i områden, ex.  
farled, rekreationsområden, skyddade områden  
(Natura 2000<sup>20</sup>) eller båthamnar.

Närsaltstatusen behöver alltid beaktas vid val av od-  
lingssystem för olika vattenområden. Vidare, för den  
detaljerade placeringen behöver individuella analys-  
er, som förutom närsaltsanalyser också inkluderar  
utvärdering av andra miljömässiga hänsynstaganden  
som energiförbrukning, transporter, andra vatten-  
kvalitetsparametrar mm. samt sociala, ekonomiska  
och kulturella aspekter, göras för att kunna välja  
bästa odlingssystem och bästa placering.

## ÖVERVAKNING AV NÄRINGS- ÄMNINGEN TILL RECIPIENTEN

Mängden näringsämnen som släpps ut från  
odlingsverksamhet beräknas med hjälp av olika  
beräkningsmodeller och påverkan på vattenmiljön  
följs upp med hjälp av provtagning av vattenkemi,  
biologiska parametrar samt i många fall även  
provtagning av sediment. Generella rekommenda-  
tioner om uppföljning om vattenbrukets påverkan  
på nationella miljömål finns t.ex. i Fernandes m.fl.  
(2001). Mer specifika förslag på utformning av  
kontrollprogram för övervakning av fiskodling i  
sötvatten presenteras i rapporten

”Förslag till modeller för tillståndsbedömning av fiskodling, kontrollprogram och analys av miljöpåverkan” av Alanärä (2012), men kraven från myndigheterna ändras så modeller och kontrollprogram behöver uppdateras och utvecklas. En av de beräkningsmodeller som används idag, Vollenwieder OECD (nordisk kalibrering), anses fungera för beräkningar av punktutsläpp från fiskodlingar på hela sjöar och har rekommenderats att bli nationellt gällande för att skatta potentiellt närsaltsutrymme i sjöar och regleringsmagasin (Alanärä 2012).

För marina förhållanden har MOM-modellen, (Modelling-Ongrowing fish farm-monitoring, Stigebrandt m.fl. 2004) utvecklats och används som nationell standard i Norge. Denna är inriktad på vattenkvaliteten i såväl omkringliggande miljö som i odlingen. Modellen accepterar en viss lokal effekt av näringsbelastning under odlingen, men miljön får inte bli så påverkad att bottenlevande organismer försvinner. Modellen som är utvecklad för marina förhållanden är inte helt överförbar till limniska miljöer. Den har dock tillsammans med de undersökningar och filmningar som redan idag genomförs på ett flertal odlingar utnyttjats som utgångspunkt för ett förslag till hur övervakningen av bottenförhållanden i anslutning till fiskodlingar kan genomföras. Syftet med förslaget är att normera hur uppföljningarna av sedimentet bör genomföras då det inte finns några riktlinjer för detta (Hedlund 2015).

Två nationella rapporter (Alanärä 2012 och Andersson m. fl. 2016) pekar dock tydligt på ett stort behov av fortsatt utrednings- och utvecklingsarbete för att ta fram mer dynamiska modeller som också tar hänsyn till fler parametrar liksom till olika vattenbrukssystem och recipientssystem.

Miljöpåverkan från öppna odlingssystem orsakas dels av lösta näringsämnen och dels av partikulärt material som sedimenterar. Det är svårt att mäta den exakta mängden näringsämnen som tillförs recipienten från öppna system då dessa sprids med vattenströmmarna som i sin tur ofta är varierande i styrka och riktning. Det väsentliga för bedömningen av miljöpåverkan och statusklassificeringen av vattenförekomsten är den totala förändringen som sker på vattenförekomsten som helhet med avseende på näringsämnen. De beräkningsmodeller som används

(exempelvis Vollenwieder OECD, nordisk kalibrering) är anpassade för beräkningar av punktutsläpp från fiskodlingar på hela sjöar och ger relevanta värden på den påverkan som kan förväntas (Alanärä 2012). Dessa beräkningar kan kombineras med ytterligare parametrar, t.ex. hur mycket av det partikulära avfallet som äts upp av vild fisk, eller hur stor del av den fosfor och kväve som är bunden i fodret som är biotillgänglig samt avancerade beräkningar av spridningen av näringsämnen baserat på strömmodelleringar vilket skulle ge en mer detaljerad bild av inverkan på olika delområden i recipienten (Andersson m. fl. 2016).

De tillgängliga näringsämnen som kommer ut i recipienten ger effekt på primärproduktionen i området varför växtplankton vanligen följs upp i recipientkontrollprogrammen för fiskodlingar. Växtplankton är även en av de biologiska parametrarna för bedömning av ekologisk statusklassificering. Vid en ökning av halten av näringsämnen ökar mängden (biomassan) av växtplankton samtidigt som förekomsten av arter kan förändras så att de eutrofi indikerande arterna ökar, vilket återspeglas i TPI (Trofisk PlanktonIndex) samt att andelen cyanobakterier ökar. Detta kan ge påverkan på den ekologiska statusen.

Det partikulära materialet från en odling som sedimenterar ger två olika effekter i området som till viss del även samspelar. Från det sedimenterade materialet kan näringsämnen frigöras. Effekten av detta följs upp genom dels de vattenkemiska provtagningarna och dels genom provtagning av växtplankton. Provtagningar av bottenfauna kan visa påverkan av de förändrade näringsförhållandena på recipientens botten, men kan dessutom visa förekomst av den andra effekt som sedimentering av organiskt material kan medföra, dvs. försämrade syreförhållanden. Då det sedimenterade materialet bryts ned åtgår syre vilket gör att syrebrist kan uppstå om syreförbrukningen överstiger syresättningsförmågan i området. Då sedimentationen emellertid sker inom ett begränsat område påverkar eventuell syrebrist under odlingen oftast inte recipienten som helhet. Bottenfauna är liksom växtplankton en parameter för statusklassificering av vattenförekomster. Statusklassificering skall ske på hela vattenförekomster medan påverkan på bottensubstratet är lokal runt odlingen, därför följs utbredningen och mängden sedimenterat material samt syresättningen av

bottensubstratet ofta upp även med andra metoder. Filmning av botten visar förekomst eller avsaknad av sulfatreducerande bakterier vilket i sin tur visar om syrefria förhållande förekommer eller inte. Filmningarna visar även utbredningen av sedimentet vilket i kombination med mätningar av sedimentdjupet ger en bedömning av de totala sedimentmängderna under odlingen.

Utveckling av semislutna och slutna odlingssystem, både vatten- och landbaserade, skapar möjligheter till mer exakta data för beräkningar av påverkan på vattenmiljön då provtagning på utgående vatten kan genomföras. Fördelningen av olika näringsämnen och dess former skiljer sig åt mellan olika odlingstekniker. Detta behöver också vägas in i utvecklings- och utredningsarbetet för framtagande av nya, mer komplexa modeller för kontrollprogram och övervakning. Även utveckling av skyddsodling genom filtrerande och assimilerande arter, skapar ytterligare komplexitet som behöver inkluderas i modellerna. Både semislutna och slutna system producerar slam som oftast innebär en kostnad att ta hand om. Detta slam innehåller dock näringsämnen och kan ses som en värdefull råvara varför möjliga användningar av slam från vattenbruket är ytterligare ett område som behöver utredas vidare.

## EKONOMISKA ASPEKTER

I rapporten finns det redovisat tre olika produktionsmetoder för odling av fisk. Investeringskostnaden varierar med valet av produktionsmetod och respektive methods behov av anläggningar. I Norge finns semislutna och slutna system anpassade för marint bruk, systemen är under utveckling men medför troligen en högre investeringskostnad än odling i öppna kassar. Investeringskostnaden för semislutna system är dock troligen lägre än för motsvarande produktionsvolym i RAS-system, vilket innebär att investeringskostnaden för en produktionsanläggning med öppna kassar är väsentligt lägre än för motsvarande RAS-system. Driftskostnaden för semislutna system är lägre än i RAS-system men högre än för odling i öppna kassar. Semislutna system för odling i svenska sötvatten finns inte.

Generellt ger fiskodling i öppna kassar en godtagbar avkastning. Efter de initiala etableringsåren uppvisar de flesta fiskodlare positiva resultat med ett stabilt kassaflöde. Tillväxten och expansionen kan många gånger även ske med egna medel. Det finns få

fiskodlingsföretag i Sverige och ett fåtal aktörer står för nästan hela den totala svenska produktionen av röding och regnbåge. Produktionen har trots detta mer än fördubblats under de senaste åren. Vid en genomgång av de sju största fiskodlingsföretagens årsredovisningar, vilka har matfiskproduktionen i öppna kassar, uppvisade samtliga god lönsamhet över de fem år som undersöktes (Ekegerd m.fl. 2014). Prisfluktuationen är större för regnbåge än röding men trots det är odling av regnbåge i öppna kassar lönsamt. I rapporten (Ekegerd m.fl. 2014) undersöktes hur olika finansiärer ställer sig till att investera i fiskodling. Rapporten visade att för odlingsföretag som kan påvisa lönsamhet finns goda möjligheter till externt kapital. Även representanter för riskvilligt lånekapital och riskkapital är positiva till att investera i framför allt matfiskodling. Det finns alltså goda förutsättningar att finansiera både etablering och expansion i fiskodlingsföretag.

I Europa, Nordamerika och Asien finns det kommersiella landbaserade RAS-anläggningar i drift, för såväl kall- som varmvattensarter. Det finns relativt få uppskattningar av investerings- och driftskostnader tillgängliga, och dessa skiljer stort då tekologin och bilogin varierar stort för anläggningarna samt att den tekniska utvecklingen och kunskapen går snabbt framåt vilket påverkar investerings- och driftskostnaden. De flesta kalkyler som är gjorda för RAS anläggningar pekar på att man i nuläget behöver sälja en premiumprodukt till ett högre pris för att få lönsamhet. Langeland m.fl. (2014b) räknade ut ett schablonvärde för investeringskostnader i kommersiella RAS anläggningar. Detta hamnade på 90 kr/kg producerad fisk, inkl. avskrivningar, för anläggningar med en produktionskapacitet på 60-300 ton produktion/år av lax, abborre och tilapia. Ju större produktion desto lägre investeringskostnad per mängd producerad fisk. Då tekniken är under frammarsch så bör dessa kostnader kunna minska allt eftersom tekniken blir mer etablerad. Driftskostnaderna uppskattades 2013 till i genomsnitt drygt 42 kr/kg producerad fisk.

Kommersiell extensiv odling i öppna marina system utgörs i Sverige idag av odling av blåmusslor. Investeringskostnaden för en 300 tons blåmussleodling av långlinesystem i Bohuslän är beräknad till mellan 250 000 – 500 000 kr. Det innebär en investeringskostnad på ca 1-2 kr/kg.

Kvaliteten på slutprodukterna har en avgörande betydelse för hur hög betalningsviljan blir. Dels finns ett behov av en förutsägbar produktion av storavolymer med stabil kvalitet. Samtidigt finns det konsumenter som är villiga att betala ett högre pris för småskaligt och lokalt producerade produkter. Det kan även gälla då produktionen är certifierad eller på annat sätt garanterat etiskt och miljömässigt hållbar. Behov finns att göra fördjupade undersökningar av de ekonomiska förutsättningarna för olika odlingssystem.

## SLUTSATSER

Alla typer av vattenbrukssystem bör kunna utvecklas i Sverige, men olika tekniker lämpar sig bättre eller sämre för olika miljöer och olika arter. Precis som annan livsmedelsproduktion innebär vattenbruk att resurser måste till för att producera livsmedel. Detta gäller både naturresurser och ekonomiska resurser. Teknikutveckling med fokus på ekointensiv produktion går starkt framåt och odlingssystemen har som mål att skapa förutsättningar för både ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet. Nya mer tekniskt avancerade system kräver att också kunskapsnivån byggs upp, både när det gäller brukare och myndigheter. Det finns idag också möjligheter att anpassa eller ställa om konventionella metoder till att bli mer miljövänliga t.ex. skyddsodling av extensiva arter i anslutning till öppna kassar och/eller teknisk utveckling för uppsamling av näringsämnen också från de öppna systemen. Vattenbruket globalt kommer att behöva öka för att tillgodose det proteinbehov som finns främst med avseende på en växande världsbefolkning. Sverige har en stor möjlighet att expandera vattenbruket och att satsa på miljöanpassad teknik, men detta kommer inte att ske per automatik om det initialt medför för höga kostnader för brukaren för att få ekonomisk bärkraft. Det behövs incitament för att fortsätta driva utvecklingen i en hållbar och miljöanpassad riktning. Majoriteten av den fisk som äts i Sverige idag importeras. Det finns samtidigt uttalade politiska mål om ett växande vattenbruk, det pågår forskning och försök att utveckla nya och befintliga produktionstekniker och det finns entreprenörer och nya såväl som etablerade företag som vill öka den svenska produktionen av vattenbruksprodukter.

Fortsatt utveckling av odlingssystem, såsom semislutna och slutna, ökar möjligheterna för ett mer diversifierat vattenbruk. I öppna system kan de

arter som klarar vårt svenska klimat och naturliga säsongsvariationer i temperatur odlas. I semislutna och slutna systemen kan miljön i odlingarna kontrolleras vilket ökar möjligheten till diversifiering samtidigt som påverkan på den omgivande miljön kan minskas. I slutna och till viss del i semislutna system är dock investeringskostnaderna högre än för öppna system. Odling vid, för arten, optimala temperaturer kan ge en jämn och hög tillväxt och minskat foderspill. Möjligheter att kontrollera utbytet mellan odlingen och omgivningen samt att vattenmiljön i odlingen kontrolleras noga minskar riskerna för sjukdom och parasitangrepp både i odlingen och i recipient, eliminerar risken för genetisk kontamination och minskar risken för övergödning i närområdet. RAS-systemet kräver en väl fungerande vattenrening och denna utgör en stor och essentiell del av anläggningen. De semislutna och slutna systemen stora teknikberoende kräver väl utvecklade kontroll- och larmsystem, samt reservsystem, för att minska risken för snabbt försämrade vattenkvalitet.

Att ha tillgång till vatten som passar den art eller de arter man vill odla är helt grundläggande. En del arter tål större variationer i olika vattenparametrar, medan andra är mer känsliga och behovet varierar dessutom över organismernas livscykel. I öppna system liksom i semislutna system med genomflöde, beror vattenkvaliteten på var odlingen är placerad, i semislutna system beror det även på från vilket djup man pumpar upp vattnet och i slutna och recirkulerande system beror det på hur vattnet renas och behandlas. Effekterna av det eventuella näringsläckaget från ett odlingssystem är dels beroende av dimensioneringen på utsläppen och dels förutsättningarna i recipienten.

Vid odling av fisk och kräddjur utgör fodret den största driftkostnaden och utveckling av mer ekologiskt hållbara foder till konkurrenskraftiga priser är därför viktigt. Men faktorer såsom fodrens fysiska egenskaper, minskade näringsutsläpp, fiskarnas tillväxt och god djurvälstånd och hälsa måste beaktas avför utveckling av nya foder kräver tid. Utvecklingen har länge gått mot mer vegetabiliska inslag och mindre fiskmjöl och olja, vilket är en utveckling mot mer hållbara foder. Mer innovativa, nya råvaror såsom exempelvis marina organismer från lägre trofnivå, insektsmjöl och utnyttjande av fler av sidoflödena från beredningsindustrin utgör alternativ med stor potential som kommande foderråvaror.

Dessa behöver dock utvärderas vidare innan de kan användas i storskalig produktion.

Kunskapsmässigt finns många områden som behöver utvecklas, detta gäller exempelvis kvalitetssäkrade metoder att övervaka effekter av och kvantifiera utsläpp från odlingssystemen och fördjupade analyser av de ekonomiska förutsättningarna för vattenbruksproduktion bl.a. avseende art och produktionsmetod. Då odlingsorganismerna också i viss mån "är vad de äter" behövs ökad kunskap om eventuella tillsatser i foder, som kan ha sitt ursprung ifrån produktionen av foderråvaran. Vidare finns det frågor att utreda och besvara vad gäller optimal hantering av slam.

Sverige har sedan den offentliga utredningen "Det växande vattenbrukslandet" (SOU 2009), i flera strategier och visioner; "Svenskt vattenbruk – en grön näring på blå åkrar, JV Strategi 2012-2020, "En svensk maritim strategi – för människor, jobb och miljö" regeringen (aug. 2015) och "En livsmedelsstrategi för Sverige – fler jobb och hållbar tillväxt i hela landet " regeringen (dec. 2016), lyft nödvändigheten av att öka vattenbruksproduktionen i landet, men att detta skall ske på ett hållbart sätt. För att kunna infria dessa visioner och stödja utvecklingen av ett hållbart vattenbruk i Sverige behöver åtgärder vidtas som samordnar och underlättar tillstånds- och tillsynsprocesser, främjar utveckling av nuvarande tekniker samt främjar omställning och diversifiering mot nya typer av odlingssystem, både vad gäller teknik, arter och foder.

# REFERENSER

## Publicerade referenser

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

Aguado-Giménez, F., Hernández, M.D. & Cerezo-Valverde, J. (2014). Does flat oyster (*Ostrea edulis*) rearing improve under open-sea integrated multi-trophic conditions? *Aquac Int*, 22(2):447–467.

Ahnen, M.von., Pedersen, P.B. & Dalsgaard, J. (2018). Performance of full-scale woodchip bioreactors treating effluents from commercial RAS. *Aquacultural Engineering*, 83:130-137.

Alanärä, A. (2012). *Förslag till modeller för tillståndsbedömning av fiskodling, kontrollprogram och analys av miljöpåverkan* (Inst. för Vilt, Fisk, och Miljö-rapport, 2012:9). Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Albertsson, E., Strand, Å., Lindegarth, S., Sundell, K.S., Eriksson, S. & Björnsson, B.Th. (2012). *Marin fiskodling på den svenska västkusten: Biologiska förutsättningar* (Vattenbrukscentrum Väst-rapport 1). Göteborg: Göteborgs universitet.

Andersson, H., Bram Eriksson, L., Hjerdt, N., Lindström, G., Löptien, U. & Strömqvist, J. (2016). *Översikt av beräkningsmodeller för bedömning av fiskodlingars näringsämnesbelastning på sjöar, vattendrag, magasin och kustvatten* (SMHI Oceanografi-rapport, 118). Norrköping: SMHI.

Andersson, J., Eriksson, A. & Olofsson, E. (2013a). *GIS analysis of suitable localities for mussel farms along the county of Kalmar's coast* (Aquabest-report 9). Helsingfors: Finnish Game and Fisheries Research Institute.

Andersson, J. Olofsson, E., Henriksson, K. & Lundberg, C. (2013b). *GIS analysis for the localisation of suitable localities for fish farming in the county of Jämtland* (Aquabest-rapport, 8). Helsingfors: Finnish Game and Fisheries Research Institute.

Andersson, K. (1964). *Fiskar och fiske i Norden. Fiskar och fiske i sjöar och floder* (band 2). Stockholm: Natur och Kultur.

Andersen, K. & Tybirk, K. (2016). Introduktion. I K. Andersen & K. Tybirk (Red.) *Nordic Alternative Protein Potentials. Mapping of regional bioeconomy opportunities* (s. 13-17). Köpenhamn: TemaNord.

Andersson, T. (1978). *Förändringar av fiske och fiskbestånd i Umeälven under senare decennier med särskild hänsyn till vattenkraftsutbyggnaden: Del 1 sjöarna*. (Information från Sötvattenslaboratoriet, 2). Drottningsholm: Sötvattenslaboratoriet, SLU.

Arechavala-Lopez, P., Sanchez-Jerez, P., Bayle-Sempere, J., Fernandez-Jover, D., Martinez-Rubio, L., Lopez-Jimenez, J.A. & Martinez-Lopez, F.J. (2011). Direct interaction between wild fish aggregations at fish farms and fisheries activity at fishing grounds: a case study with Boops boops. *Aquaculture Research*, 42: 996–1010.

Arvin, E. & Pedersen, L-F. (2015). *Hydrogen peroxide decomposition kinetics in aquaculture water*. *Aquacultural engineering*, 64: 1-7.

Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc Technology-A Practical Guide Book*. Baton Rouge: World Aquaculture Society.

- Awata, T., Oshiki, M., Kindaichi, T., Ozaki, N., Ohashi, A. & Okabe, S. (2013). *Physiological characterization of an anaerobic ammonium-oxidizing bacterium belonging to the "Candidatus Scalindua" group. Applied and environmental microbiology*, 79(13): 4145-4148.
- Ayer, N.W. & Tyedmers, P.H. (2009). Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *Journal of Cleaner Production*, 17: 362-373.
- Badiola, M., Basurko, O.C., Gabiña, G. & Mendiola, D. (2017). Integration of energy audits in the Life Cycle Assessment methodology to improve the environmental performance assessment of Recirculating Aquaculture Systems. *Journal of Cleaner Production*, 157:155-166.
- Barbieri, E. (2010). Acute toxicity of ammonia in white shrimp (*Litopenaeus schmitti*) (Burkenroad, 1936, Crustacea) at different salinity levels. *Aquaculture*, 306(1-4): 329-333.
- Barceló-Villalobos, M., Figueroa, F.L., Korbee, N., Álvarez-Gómez, F. & Abreu, M.H. (2017). Production of mycosporine-like amino acids from *Gracilaria vermiculophylla* (Rhodophyta) cultured through one year in an Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) system. *Marine Biotechnology*, 19(3): 246-254.
- Barrington, K., Chopin, T. & Robinson, S. (2009). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. In D. Soto (Ed.) *Integrated mariculture: a global review*. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529). Rome: FAO.
- Ben-Ari, T., Neori, A., Ben-Ezra, D., Shauli, L., Odintsov, V. & Shpigel, M. (2014). Management of *Ulva lactuca* as a biofilter of mariculture effluents in IMTA system. *Aquaculture*, 434: 493-498.
- Bergström, P., Lindegarth, S. & Lindegarth, M. (2013). *Restaurering av övergödda havsvikar med hjälp av miljömusselodling* (Projekt Hav möter land-rapport, 21). Länsstyrelsen.
- Bergström, P. (2014). *Blue Oceans with Blue Mussels - Management and planning of mussel farming in coastal ecosystems*. Doktorsavhandling. Göteborgs Universitet.
- Blom, D.W. van. der. (2013). *Aquaculture in Sweden: Sustainability of land-based recirculation aquaculture as a future alternative for Swedish fish farmers*. Magisteruppsats. Linköpings universitet.
- Bolstad, G.H., Hindar, K., Robertsen, G., Jonsson, B., Sægvog, H., Diserud, O.H., Fiske, P., Jensen, A.J., Urdal, K., Næsje, T.F., Barlaup, B.T., Florø-Larsen, B., Lo, H., Niemelä, E. & Karlsson, S. (2017). Gene flow from domesticated escapes alters the life history of wild Atlantic salmon. *Nature Ecology & Evolution*, 1(5): 124.
- Borges, M.T., Silva, P., Moreira, L. & Soares, R. (2005). Integration of consumer-targeted microalgal production with marine fish effluent biofiltration—a strategy for mariculture sustainability. *Journal of Applied Phycology*, 17: 187–197.
- Braile, M., Schreier, H.J., McDonald, R., Lučić Maršić, J., Gavrilović, A., Pećarević, M. & Jug-Dujaković, J. (2018). Bacterial community analysis of marine recirculating aquaculture system bioreactors for complete nitrogen removal established from a commercial inoculum. *Aquaculture*, 503: 198-206.
- Broch, J. & Slagstad, D. (2012). *Modelling seasonal growth and composition of the kelp Saccharina latissima*. *Journal of Applied Phycology*, 24(4):759-776.
- Brännäs, E., Nilsson, J. & Eriksson, L-O. (2007). *Rödingavel. En summering av det Svenska Avelsprogrammet från 1982-2006* (Sveriges Lantbruksuniversitet-rapport, 57). Umeå: Vattenbruksinstitutionen, Sveriges lantbruksuniversitet.

Buck, B.H., Nevejan, N., Wille, M., Chambers, M.D. & Chopin, T. (2017). Offshore and multi-use aquaculture with extractive species: seaweeds and bivalves. In B.H. Buck & R. Langan (Eds.) *Aquaculture perspective of multi-use sites in the open ocean: The untapped potential for marine resources in the Anthropocene* (pp. 23-69). Dordrecht: Springer.

Buck, B.H., Troell, M.F., Krause, G., Angel, D.L., Grote, B. & Chopin, T. (2018). State of the art and challenges for offshore integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Frontiers in Marine Science*, 5: 165.

Buschmann, A.H., Riquelme, V.A., Hernández-González, M.C., Varela, D., Jiménez, J.E., Henríquez, L.A., Vergara, P.A., Guínez, R. & Filún, F. (2006). A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1338e1345.

Buschmann, A.H., Varela, D.A., Hernández-González, M.C. & Huovinen, P. (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):121–12.

Calabrese, S., Nilsen, T.O., Kolarevic, J., Ebbesson, L.O.E., Pedrosa, C., Fivelstad, S., Hosfeld, C., Stefansson, S.O., Takle, H., Martins, C.I.M., Sveier, H. & Mathisen, F. (2017). Stocking density limits for post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) with emphasis on production performance and welfare. *Aquaculture*, 468:363-370.

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

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

Caruso, G. (2015). Use of Plant Products as Candidate Fish Meal Substitutes: An Emerging Issue in Aquaculture Productions. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 6:3.

Chopin, T., Cooper, J.A., Reid, G., Cross, S. & Moore, S. (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.

Costa-Pierce, B.A. & Bridger, C.J. (2002). The role of marine aquaculture facilities as habitats and ecosystems. In R.R. Stickney & J.P. McVey (Eds.). *Responsible marine aquaculture* (pp. 105–144). Wallingford: CABI Publishing.

Cyrus, M.D., Bolton, J.J. & Macey, B.M. (2015). The role of the green seaweed *Ulva* as a dietary supplement for full life-cycle grow-out of *Tripneustes gratilla*. *Aquaculture*, 446: 187-197.

Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drengstig, A., Arvonen, K. & Bovbjerg Pedersen, P. (2013). Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural engineering*, 53: 2-13.

Degerman, E., Nyberg, P., Näslund, I. & Jonasson, D. (1998). *Ekologisk fiskevård*. Spånga: Sportfiskarna.

Dempster, T., Sanchez-Jerez, P., Uglem, I. & Bjørn, P.A. (2010). Species-specific patterns of aggregation of wild fish around fish farms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86: 271–275.

Dhar, A.K., Manna, S.K. & Thomas Allnutt, F.C. (2014). Viral vaccines for farmed finfish. *Virus Disease*,

25(1): 1-17.

Drent, J. & Dekker, R. (2013). *How different are subtidal Mytilus edulis L. communities of natural mussel beds and mussel culture plots in the western Dutch Wadden Sea?* (NIOZ-report, 6). Texel: NIOZ.

Dunér Holtius, T., Lindegarth, M. & Lindegarth, S. (2013). *Mussel catcher - En metod för att mäta rekrytering av musslor och konkurrerande påväxtorganismer inom vattenbruket* (Vattenbrukscentrum Väst-rapport). Göteborgs: Göteborgs universitet. [http://swemarc.gu.se/digitalAssets/1447/1447102\\_musselcatcher\\_130415.pdf](http://swemarc.gu.se/digitalAssets/1447/1447102_musselcatcher_130415.pdf)

Dunér Holtius, T., Thorngren Matsson, L., Lindegarth, M. & Lindegarth, S. (2014). *Utveckling av metodik för insamling av ostronyngel – Ett småskaligt system för ostronproduktion i Bohuslän* (Vattenbrukscentrum Väst-rapport). Göteborgs: Göteborgs universitet. [http://swemarc.gu.se/digitalAssets/1504/1504577\\_insamling-av-ostronyngel---rapport-.pdf](http://swemarc.gu.se/digitalAssets/1504/1504577_insamling-av-ostronyngel---rapport-.pdf)

Ekegerd, M., Wikberg, D., Wikner Backlund, J. & Olofsson, E. (2014). *Ekonomiskt beräkningsunderlag och finansiell modell för vattenbruk* (Aquabest-rapport, 20). Kälarne: Vattenbrukscentrum Norr AB.

EMA. (2012). *Sales of veterinary antimicrobial agents in 19 EU/EEA countries in 2010* (ESVAC-rapport, 2). Amsterdam: EMA. (EMA/88728/2012).

EMA. (2016). *Sales of veterinary antimicrobial agents in 29 European countries in 2014* (ESVAC-rapport, 6). Amsterdam: EMA. (EMA/61769/2016).

Enduta, A.J.A., Ali, N. & Wan Nik, W.B. (2011). Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. *Desalination and Water Treatment*, 32(1-3): 422-430.

Enell, M. & Ackefors, H. (1991). Belastning av fosfor och kväve från fiskodling i Norden på omgivande havsområden. I E. Hoffman, R. Persson, E. Gaard & E. Stein-Jonasson (Red.). *Havbrug og miljø. Havbrugets påvirkning af det omgivende miljø* (s. 83-101). Nordiska ministerrådet.

EU/COM. (2013). *Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, rådet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén. Strategiska riktlinjer för en hållbar utveckling av vattenbruket i EU* (EU-meddelande, COM(2013) 229). Hämtad från: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TX-T/?uri=CELEX:52013DC0229>

Fang, J., Zhang, J., Xiao, T., Huang, D. & Liu, S. (2016). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in Sanggou Bay, China. *Aquaculture Environment Interactions*, 8: 201-205.

FAO. (2014). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Opportunities and challenges*. Rome: FAO.

FAO. (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Contributing to food security and nutrition for all*. Rome: FAO.

FAO. (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018—Meeting the Sustainable Development Goals*. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

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

Fernandez-Jover, D., Martinez-Rubio, L., Sanchez-Jerez, P., Bayle-Sempere, J.T., Jimenez, J.A.L., Lopez, F.J.M., Bjorn, P.A., Uglem, I. & Dempster, T. (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., Sequeira, A., Hawkins, A.J.S., Newton, A., Nickell, T., Pastres, R., Forte, J., Bodoy, A. & Bricker, S.B. (2009). Analysis of coastal and offshore aquaculture: application of the FARM model to multiple systems and shellfish species. *Aquaculture*, 292:129–138.
- Folke, C. & Kautsky, N. (1989). The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio*, 18(4): 234-243.
- Franke, R. & Hoerstgen-Schwark, G. (2013). Lunar-rhythmic molting in laboratory populations of the noble crayfish *Astacus astacus* (Crustacea, Astacidea): an experimental analysis. *PLoS ONE*, 8(7): e68653
- Fredriksson, R., Sögnel, C. & Hansson, A. (2015). *Utformning av fullskalig musselodling i Öresund* (Projekt Bucefalos-rapport). Malmö: Region Skåne, Trelleborgs kommun.
- Fürst, M. (1968). *Försök med överföring av nya näringsdjur till reglerade sjöar III*. (Information från Sötvattenslaboratoriet, 2). Drottningholm: Sötvattenslaboratoriet, SLU.
- Fürst, M., Boström, U. & Hammar, J. (1978). *Effekter av nya näringsdjur i Blåsjön*. (Information från Sötvattenslaboratoriet, 15). Drottningholm: Sötvattenslaboratoriet, SLU.
- Fürst, M., Hammar, J., Boström, U., Hill, C. & Kinsten, B. (1983). *Effekter av inplantering av *Mysis relicta* i reglerade sjöar* (Information från FÅK, 15). Drottningholm: Sötvattenslaboratoriet, SLU.
- Fürst, M., Hammar, J., Hill, C., Boström, U. & Kinsten, B. (1984). *Effekter av introduktion av *Mysis relicta* i reglerade sjöar i Sverige*. (Information från Sötvattenslaboratoriet, 1). Drottningholm: Sötvattenslaboratoriet, SLU.
- Fürst, M., Hammar, J. & C. Hill (1986). *Inplantering av nya näringsdjur i reglerade sjöar* (FÅK-slutrapport, II). Drottningholm: Sötvattenslaboratoriet, SLU.
- Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Krogdahl, Å., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D.J., Souza, E., Stone, D., Wilson, R. & Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, 38: 551–579. doi:10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x
- García-Sanz, T., Ruiz-Fernández, J.M., Ruiz, M., García, R., González, M.N. & Pérez, M. (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.
- Geurden, I., Jutfelt, F. & Sundell, K. (2009). Growth, digestibility and intestinal fatty acid uptakes in rainbow trout following a period of vegetable oil feeding. *Comp. Biochem. Physiol. A*, 152:552-559.
- Ghadiryanfar, M., Rosentrater, K.A., Keyhani, A. & Omid, M. (2016). A review of macroalgae production, with potential applications in biofuels and bioenergy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54: 473-481.
- Gonzalez, L.C.R. (2017). *Advanced Treatment Technologies for Mitigation of Nitrogen and Off-flavor Compounds in Onsite Wastewater Treatment and Recirculating Aquaculture Systems*. PhD thesis, University of South Florida.
- Grimås, U. (1962). *The effect of increased water level fluctuation upon the bottom fauna in Lake Blåsjön, northern Sweden*. (Sötvattenslaboratoriet-rapport, 44). Drottningholm: Sötvattenslaboratoriet, SLU.

Grimås, U. (1964). *Studies on the bottom fauna of impounded lakes in southern Norway*. (Sötvattenslaboratoriet-rapport, 45). Drottningholm: Sötvattenslaboratoriet, SLU.

Grimås, U. & Nilsson, N-A. (1965). *Faunan och dess betingelser i norrländska älvmagasin* (Information från Sötvattenslaboratoriet, 2). Drottningholm: Sötvattenslaboratoriet, SLU.

Haaland, S.A. (2017). *Semi-closed containment systems in Atlantic salmon production-Comparative analysis of production strategies*. Magisteruppsats. Norwegian University of Science and Technology.

Hal, J.W. van., Huijgen, W.J.J. & López-Contreras, A.M. (2014), Opportunities and challenges for seaweed in the biobased economy. *Trends in Biotechnology*, 32(5): 231-233.

Handeland, S., Calabrese, S., Kolarevic, J., Breck, O. BF, T. (2015). Storskala uttesting av semi-lukket anlegg i sjø for produksjon av postsmolt. I B. Terjesen (Red.), *Prosjektrapport «Optimalisert Postsmolt Produksjon»* (OPP) 2012-2014 (s. 107-131), Sunndalsøra: Nofima.

Handå, A., Forbord, S., Wang, X., Broch, O.J, Dahle, S.W., Størseth, T.R., Reitan, K.I., Olsen, Y. & Skjermo, J. (2013). Seasonal- and depth-dependent growth of cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in close proximity to salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. *Aquaculture*, 414–415:191-201.

Hardy, R.W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fish-meal. *Aquaculture research*, 41: 770-776. Doi: 10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x

Hargrave, B. (2010). Empirical relationships describing benthic impacts of salmon aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 33–46.

Hasselström, L., Visch, W., Gröndahl, E., Nylund, G. & Pavia, H. (2018). The impact of seaweed cultivation on ecosystem services-a case study from the west coast of Sweden. *Marine Pollution Bulletin*, 133: 53-64.

Hedlund, T. (2015). *Förslag till uppföljande undersökningar av sediment under fiskodlingar – baserat på det norska MOM-systemet*. Krokum: Aquanord AB.

Heinen, J.M., Hankins, J.A., Weber, A.L. & Watten, B.J. (1996). A Semiclosed Recirculating-Water System for High-Density Culture of Rainbow Trout. *The Progressive Fish-Culturist*, 58(1): 11-22.

HELCOM. (2013). *Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan - Reaching Good Environmental Status for a healthy Baltic Sea* (HELCOM-Copenhagen Ministerial Declaration). Copenhagen: HELCOM.

HELCOM. (2014). *Eutrophication status of the Baltic Sea 2007–2011 – A concise thematic assessment*. *Baltic Sea Environment Proceedings*, 143.

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

Hidalgo, M.C., Urea, E. & Sanz, A. (1999). Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. *Aquaculture*, 170(3–4): 267-283.

Hill, C. & Forsberg, G.(1986). *Födoval hos fiskar i sjöar där taggmärslan *Pallasea quadrispinosa* introducerats* (Information från Sötvattenslaboratoriet, 10). Drottningholm: Sötvattenslaboratoriet, SLU.

HMI. (2016). *Om miljötillståndet i svenska havsområden. Havet 2015/16*. Göteborgs: Havsmiljöinstitutet.

ISBN 978-91-982291-3-4 (Havsmiljöinstitutet), ISBN 978-91-87967-12-2 (Havs- och vattenmyndigheten). Holm, T. & Andreassen, J.E. (2018). *Systems and Methods of Intensive Recirculating Aquaculture*. Google Patents.

Holmer, M. (2010). Environmental issues of fish farming in offshore waters: perspectives, concerns and research needs. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 57–70.

Högfors-Rönholm, E. (2014). *Phase variation in Flavobacterium psychrophilum: Influence on host-pathogen interactions in salmonid fish*. Doktorsavhandling, Åbo Akademi Universitet, Åbo, Finland.

Iversen, A., Andreassen, O., Hermansen, Ø., Larsen, T.A. & Terjesen, B.F. (2013). *Oppdrettsteknologi og konkurranseposisjon* (Nofima-rapport, 32). Hämtat från: <https://nofima.no/filearchive/rapport-32-2013-opdrettsteknologi-ogkonkurranseposisjon.pdf>

Janning, K., Heldbo, J., Heinicke, G. & Møller Klausen, M. (2012). *Udredning af muligheder for: Hygiejniseri af dambrugsvand ved anvendelse af UV- og Ozonteknologier* (DHI –rapport). Hørsholm: DHI.

Jensen, J. W. (1988). Crustacean plankton and fish during the first decade of a subalpine, man-made reservoir. *Nordic Journal of Freshwater Research*, 64:5-53.

Johansson, T., Nordvarg, L. & Håkansson, L. (2000). *Övergödnings effekter av fiskodling i sötvatten* (Vattenbruksinstitutionen, Sveriges Lantbruksuniversitet-rapport, 2000:25). Umeå: SLU.

Johnsen, I.A., Fiksen, O., Sandvik, A.D. & Asplin, L. (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).

Jutfelt, F., Olsen, R.E., Björnsson, B.Th. & Sundell, K. (2007). Parr-smolt transformation and dietary vegetable lipids affect intestinal nutrient uptake, barrier function and plasma cortisol levels in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 273:298-311.

Jäntti, H. & Hietanen, S. (2012). The Effects of Hypoxia on Sediment Nitrogen Cycling in the Baltic Sea. *AMBIO*, 41(2): 161–169.

Karakassis, M., Tsapakis, E.T., Apostolaki & Malej, A. (2006). The influence of caged mariculture on the early development of sublittoral fouling communities: a pan-European study. *Ices Journal of Marine Science*, 63: 637-649.

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

Kestemont, P. & Dabrowski, K. (1996). Recent advances in the aquaculture of percid fish. *Journal of Applied Ichthyology*, 12 (3-4):137-200.

Kestemont, P., Jourdan, S. & Houbart, M. (2003). Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and abiotic influences. *Aquaculture*, 227:333–356.

Kim, J.K., Yarish, C., Kyoung Hwang, E., Park, M. & Kim, Y. (2017). Seaweed aquaculture: cultivation technologies, challenges and its ecosystem services. *Algae*, 32(1): 1-13.

Knudsen, D., Sundh, H., Jutfelt, F., Sundell, K., Koppe, W. & Frøkiaer, H. (2008). Dietary soyasaponins increase gut permeability and play a key role in the onset of soybean-induced enteritis in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British J Nutr*, 100:120-129.

- Kolarevic, J., Baeverfjord, G., Takle, H., Ytteborg, E., Reiten, B.K.M., Nergård, S. & Terjesen, B.F. (2014). Performance and welfare of Atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems. *Aquaculture*, 432, 15-25.
- Krogdahl, Å., Hemre, G.I. & Mommsen, T.P. (2005). Carbohydrates in fish nutrition: digestion and absorption in postlarval stages. *Aquaculture Nutrition*, 11: 103-122. doi:10.1111/j.1365-2095.2004.00327.x
- Krogdahl, A., Penn, M., Thorsen, J., Refstie, S. & Bakke, A.M. (2010). Important antinutrients in plant feed-stuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids. *Aquaculture Research*, 41(3): 333-344.
- Kumar, V., Sinha, A.K., Makkar, H.P.S., De Boeck, G. & Becker, K. (2012). Phytate and phytase in fish nutrition. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96:335–364.
- Kutti, T., Ervik, A. & Høisæter, T. (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: 47-53.
- Kutti, T., Hansen, P.K., Ervik, A., Høisæter, T. & Johannessen, P. (2007). Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in infauna community composition. *Aquaculture*, 262: 355-366.
- Labatuta, R. & Olivares, J. (2004). Culture of turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles using shallow raceways tanks and recirculation. *Aquacultural Engineering*, 32: 113–127.
- Lander, T.R., Robinson, S.M.C., MacDonald, B.A. & Martin, J.D. (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*, 32: 997-1007.
- Lander, T.R., Robinson, S.M.C., MacDonald, B.A. & Martin, J.D. (2014). Characterization of the suspended organic particles released from salmon farms and their potential as a food supply for the suspension feeder, *Mytilus edulis* in integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) systems. *Aquaculture*, 406-407: 160–171.
- Langeland, M., Kiessling, A. & Nordberg, G. (2014a). *Baltic Aquaculture Innovation Centre (BIC)- En fallstudie över BIC i Oskarshamn* (Vattenbrukscentrum Ost-rapport). Vreta Kloster: Vattenbrukscentrum Ost.
- Langeland, M., Vidakovic, A., Vielma, J., Lindberg, J.E., Kiessling, A. & Lundh, T. (2014b). Digestibility of microbial and mussel meal for Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) and Eurasian perch (*Perca fluviatilis*). *Aquaculture Nutrition*, DOI: 10.1111/anu.12268
- Lekang, O.I. (2013). *Aquaculture engineering* (2 ed.). West Sussex: John Wiley & Sons. Ltd.
- Lemos, D. & Tacon, A.G.J. (2017). Use of phytases in fish and shrimp feeds: a review. *Reviews in Aquaculture*, 9: 266–282.
- Liltved, H., Vogesang, C., Modahl, I. & Dannevig, B.H. (2006). High resistance of fish pathogenic viruses to UV irradiation and ozonated seawaters. *Aquaculture Engineering*, 34:72-82.
- Lock, E.R., Arsiwalla, T. & Waagbø, R. (2016). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture nutrition*, 22: 1202-1213.
- Lyngøy, C. (2018). *Floating and submersible closed-contained aquaculture farming, and method of rearing fish*. Google Patents.

- MacDonald, B.A., Robinson, S.M.C. & Barrington, K.A. (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*, 314:244-251.
- Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuzé, H. & Ankers, P. (2014). Review: State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197: 1–33.
- Markestén, H., Fölster, J., Vrede, T. & Djodjic, F. (2012). *Näringspåverkan av fiskodling i regleringsmagasin* (Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö-rapport, 20). Uppsala: SLU.
- Martínez-Aragón, J.F., Hernández, I., Pérez-Lloréns, J.L., Vázquez, R. & Vergara, J.J. (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.
- Martínez-Córdova, L., Emerenciano, M., Miranda-Baeza, A. & Martínez-Porchas, M. (2015). Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. *Reviews in Aquaculture*, 7:131–148.
- Matos, J., Costa, S., Rodrigues, A., Pereira, R. & Sousa Pinto, I. (2006). Experimental integrated aquaculture of fish and red seaweeds in Northern Portugal. *Aquaculture*, 252:31–42.
- McKindsey, C.W., Archambault, P., Callier, M.D. & Olivier, F. (2011). Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: a review. *Canadian Journal of Zoology*, 89: 622–646.
- Milbrink, G., Vrede, T., Rydin, E., Persson, J., Holmgren, S., Jansson, M., Blomqvist, P. & Tranvik, L. (2003). *Restaurering av regleringsmagasin – optimering av fisk- och planktonproduktion genom balanserad näringsanrikning* (Slutrapport för perioden 2000-2003).
- Milbrink, G., Vrede, T., Tranvik, L. & Rydin, E. (2011). Large-scale and long term decrease in fish growth following the construction of hydroelectric reservoirs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68: 2167-2173.
- Mirzoyan, N., Avetisyan, N., Mnatsakanyan, H. & Tadevosyan, L. (2018). Groundwater use and efficiency in small-and medium-sized aquaculture farms in Ararat Valley, Armenia. *Groundwater for Sustainable Development*, 6: 1-5.
- Mirzoyan, N., Tal, Y. & Gross, A. (2010). Anaerobic digestion of sludge from intensive recirculating aquaculture systems: review. *Aquaculture*, 306: 1–6.
- Moksness, E., Kjorsvik, E. & Olsen, Y. (2004). *Culture of Cold-Water Marine Fish*. Wiley-Blackwell. pp. 544. ISBN: 978-0-85238-276-9.
- Murray, F., Bostock, J. & Fletcher, D. (2014). *Review of recirculation aquaculture system technologies and their commercial application* (Aquaculture Research Reports). Stirling: Stirling Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK.
- Nagel, F., von Danwitz, A., Schlachter, M., Kroeckel, S., Wagner, C. & Schulz, C. (2014). Blue mussel meal as feed attractant in rapeseed protein- based diets for turbot (*Psetta maxima* L.). *Aquaculture Research*, 45:1964–1978.
- Navarrete-Mier, F., Sanz-Lázaro, C. & Marín, A. (2010). Does bivalve mollusc polyculture reduce marine fin fish farming environmental impact? *Aquaculture*, 306:101-107.

- Naturvårdsverket. (1986). *Vattenkraften och naturen, vattenkraftsutbyggnadens effekter på natur och miljö*. Solna: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (1993). *Fiskodling – Planering, tillstånd, tillsyn*. Solna: Naturvårdsverket. ISBN 91-620-0080-2
- Naturvårdsverket. (1996). *Näringstillförsel för att återställa biologisk mångfald i regleringsmagasin*. Solna: Naturvårdsverket.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M. & Yarish, C. (2004). Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, 231(1–4): 361-391.
- Ney, J.J. (1996). Oligotrophication and its discontents: Effects of reduced nutrient loading on reservoir fisheries. *American Fisheries Society Symposium*, 16: 285-295.
- Nielsen, P., Cranford, P.J., Maar, M. & Petersen, J.K. (2016). Magnitude, spatial scale and optimization of ecosystem services from a nutrient extraction mussel farm in the eutrophic Skive Fjord, Denmark. *Aquaculture Environment interactions*, 8: 311-329.
- Nilsson, N-A. (1964). Effects of impoundment on the feeding habits of brown trout and char in Lake Ransaren (Swedish Lapland). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 15:444-452.
- Nordström, M.C. & Bonsdorff, E. (2017). Organic enrichment simplifies marine benthic food web structure. *Limnology and Oceanography*, 62: 2179-2188. DOI: 10.1002/lno.10558.
- NRC. (2011). *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13039>. ISBN: 978-0-309-16338-5.
- Olive, P.J.W. (1999). Polychaete aquaculture and polychaete science: a mutual synergism. *Hydrobiologia*, 402:175–183.
- Olofsson, E. & Andersson, J. (2014). *Spatial planning guidelines for Baltic Sea Region aquaculture* (Aquabest-report, 3). Helsingfors: Finnish Game and Fisheries Research Institute. ISBN 978-952-303-078-7.
- Pakkasmaa, S. & Petersson, E. (2005). *Fisk i fel vatten. Ekologiska konsekvenser av utsättningar av fisk* (Finfo-rapport, 2005:9). Drottningholm: Fiskeriverket, Sövattnenslaboratoriet.
- Park, J., Renukdas, N., Luna, T. & Roy, L.A. (2017). Maximum yield approximation and size distribution patterns of stocker size largemouth bass, *Micropterus salmoides* reared in a semi-closed indoor system. *Aquaculture Research*, 48(3): 780-791.
- Pechsiri, J.S., Thomas, J-B.E., Risena, E., Ribeiroa, M.S., Malmström, M.E. Nylund, G.M., Jansson, A., Welanders, U., Pavia, H. & Gröndahl, F. (2016). Energy performance and greenhouse gas emissions of kelp cultivation for biogas and fertilizer recovery in Sweden. *Science of the Total Environment*, 573: 347–355.
- Pedersen, L-F, Pedersen, P.B., Nielsen, J.L. & Nielsen, P.H. (2010). Long term/low dose formalin exposure to small-scale recirculation aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 42: 1-7.
- Persson, J., Vrede, T. & Holmgren, S. (2008). Responses in zooplankton populations to food quality and quantity changes after whole lake nutrient enrichment of an oligotrophic sub-alpine reservoir. *Aquat. Sci.* 70., 142-155.

- Peteiro, C., Salinas, J., Freire, Ó. & Fuertes, C. (2006). Cultivation of the autoctonous seaweed *Laminaria saccharina* off the Galician coast (NW Spain): Production and features of the sporophytes for an annual and biennial harvest. *Thalassas*, 22(1): 45-53.
- Peterson, C.H., Grabowski, J.H. & Powers, S.P. (2003). Estimated enhancement of fish production resulting from restoring oyster reef habitat: Quantitative valuation. *Marine Ecology Progress Series*, 264: 249-264.
- Poulsen, G., Solberg, Ø.S. & Tybirk, K. (2016). Regional Potentials in Protein Supply from Agriculture. In K. Andersen & K. Tybirk (Eds.). *Nordic Alternative Protein Potentials*. ISBN: 978-92-893-4591-0.
- Powell, A. & Eriksson, S. (2016). New developments in European Lobster aquaculture. *Aquaculture Europe*, 4(2).
- Powell, A., Hinchcliffe, J., Sundell, K., Carlsson, N-G. & Eriksson, S. (2017). Comparative survival and growth performance of European lobster larvae, *Homarus gammarus*, reared on dry feed and conspecifics. *Aquaculture research*, 48(10):5300-5310.
- Rana, K.J., Siriwardena, S. & Hasan, M.R. (2009). *Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production* (FAO Fisheries and Aquaculture -Technical Paper, 541). Rome: FAO.
- Reid, G.K., Liutkus, M., Bennett, A., Robinson, S.M.C., MacDonald, B. & Page, F. (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*, 299:165-169.
- Richman, S.E., Varennes, E., Bonadelli, J. & Guillemette, M. (2012). Sea duck predation on mussel farms: a growing conflict. *Proceedings of Aquaculture Canada*.
- Riley, J.P. & Skirrow, G. (1975). *Chemical Oceanography* (2nd ed). London: Academic Press.
- Rodríguez-Canto, A., Arredondo-Figueroa, J.L., Ponce-Palafox, J.T. & Rouse, D.B. (2002). Growth characteristics of the australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, cultured in an indoor recirculating system. *Journal of Applied Aquaculture*, 12(3): 59-64.
- Rodhe, W. (1964). Effects of impoundment on water chemistry and plankton in Lake Ransaren (Swedish Lappland). *Verh. Internat. Verein. Limnol*, 15 :437-443.
- Roques, J.A.C. (2013). *Aspects of fish welfare in aquaculture practices*. PhD thesis, Radboud University Nijmegen.
- Rose, J.M., Bricker, S.B. & Ferreira, J.G. (2015). Comparative analysis of modeled nitrogen removal by shell-fish farms. *Marine Pollution Bulletin*, 91(1):185-190.
- Rosten, T.W., Henriksen, K., Hognes, E.S., Vinci, B. & Summerfelt, S. (2013). *Land Based RAS and Open Pen Salmon Aquaculture: Comparative Economic and Environmental Assessment*. Trondheim: SINTEF. Hämtad från: <http://tidescanada.org/wpcontent/uploads/files/salmon/workshop-sept-2013/NEWD1-11TrondRostenandBrianVinci.pdf>
- Runnström, S. (1955). Changes in fish production in impounded lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 12:176-182.
- Runnström, S. (1964). Effects of impoundment on the growth of *Salmo trutta* and *Salvelinus alpinus* in Lake Ransaren (Swedish Lappland). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 15: 453-461.

- Rurangwa, E. & Verdegem, M.C. (2015). Microorganisms in recirculating aquaculture systems and their management. *Reviews in aquaculture*, 7(2): 117-130.
- Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y. & Lygren, E. (2006) Design and operation of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural engineering*, 34: 322-331.
- Rydin, E., Vrede, T., Persson, J., Holmgren, S., Jansson, M., Tranvik, L. & Milbrink, G. (2008). Compensatory nutrient enrichment in an oligotrophic mountain reservoir – effects and fate of added nutrients. *Aquatic Sciences*, 70: 323-336.
- Saarinen, A. (2017). *Återhämtning av vattenmiljön efter avvecklandet av fiskodling: uppföljning av återhämtningsstatus vid Andersö samt vid en ny lokal, Bergö* (Husö biologiska station-rapport, 145). Husö: Husö biologiska station.
- Sánchez-Muros, M.-J., Barroso, F.G. & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: A review. *Journal. Cleaner Production*, 65:16–27.
- Sanderson, J.C., Dring, M.J., Davidson, K. & Kelly, M.S. (2012). Culture, yield and bioremediation potential of *Palmaria palmata* (Linnaeus) Weber & Mohr and *Saccharina latissima* (Linnaeus) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders adjacent to fish farm cages in northwest Scotland. *Aquaculture*, 354: 128-135.
- Sanz-Lazaro, C. & Sanchez-Jerez, P. (2017). Mussels do not directly assimilate fish farm wastes: Shifting the rationale of integrated multi-trophic aquaculture to a broader scale. *Journal of Environmental Management*, 201: 82-88.
- SCB. (2016). Vattenbruk 2015. *Sveriges officiella statistik* (Statistiska meddelanden, JO 60 SM 1601). Jönköping: Jordbruksverket. ISSN 1654-4196.
- Schumann, M., Unger, J. & Brinker, A. (2017). Floating faeces: Effects on solid removal and particle size distribution in RAS. *Aquacultural Engineering*, 78: 75-84.
- SEAFISH. (2009). *Annual review of the feed grade fish stocks used to produce fishmeal and fish oil for the UK market*. Grimsby: Sea Fish Industry Authority.
- Seghetta, M., Romeo, D., D'Este, M., Alvarado-Morales, M., Angelidaki, I., Bastianoni, S. & Thomsen, M. (2017). Seaweed as innovative feedstock for energy and feed – Evaluating the impacts through a Life Cycle Assessment. *Journal of Cleaner Production*, 150: 1-15.
- Segner, H., Sundh, H., Buchmann, K., Douxfils, J., Sundell, K., Mathieu, C., Ruane, N., Jutfelt, F., Toften, H. & Vaughan, L. (2011) Health of farmed fish: its relation to fish welfare and its utility as welfare indicator. *Fish Physiol Biochem*. 38:85-105.
- Sharrer, M.J., Summerfelt, S.T., Bullock, G.L., Gleason, L.E. & Taeuber, J. (2005) Inactivation of bacteria using ultraviolet irradiation in a recirculating salmonid culture system. *Aquacultural Engineering*, 33: 135–149.
- Siergieiev, D. (2014). *Hydrogeochemical effects of hydropower regulation on river-aquifer continuum in boreal rivers*. Doktorsavhandling. Luleå tekniska universitet.
- Siergieiev, D., Widerlund, A., Lundberg, A., Collomp, M., Almqvist, L. & Ölander, B. (2014). Impact of hydropower regulation in river water composition in northern Sweden. *Aquatic geochemistry*, 20(1): 59-80.
- Simons, P.C.M., Versteegh, H.A.J. & Jongbloed, A.W. (1990) Improvement of phosphorus availability by

- microbial phytase in broilers and pigs. *British Journal of Nutrition*, 64, 525-540.
- Skall, H.F. & Olesen N.J. (2011). *Treatment of wastewater from fish slaughterhouses Evaluation and recommendations for hyginisation methods* (National Veterinary Institute- report). Lyngby: Technical University of Denmark.
- Skjermo, J., Aasen, I.M., Arff, J., Broch, O.J., Carvajal, A., Christie, H., Forbord, S., Olsen, Y., Reitan, K.I., Rustad, T., Sandquist, J., Solbakken, R., Steinhovden, K.B., Wittgens, B., Wolff, R. & Handå, A. (2014). *A new Norwegian bioeconomy based on cultivation and processing of seaweeds: Opportunities and R&D needs* (SINTEF Fisheries and Aquaculture report). Trondheim: SINTEF.
- Skår, C.K. & Mortensen, S. (2007). Fate of infectious salmon anemia virus (ISAV) in experimentally challenged blue mussels *Mytilus edulis*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 74:1–6.
- Solstorm, F. (2017). *The effect of water currents on post-smolt Atlantic salmon, Salmo salar (L.). A welfare approach to exposed aquaculture*. Doktorsavhandling, Universitetet i Bergen.
- SOU. (2009). *Det växande vattenbrukslandet*. Stockholm: Edita Sverige AB.
- Stenberg, S.K. (2016). *Effects of gas supersaturation on migrating Atlantic salmon smolt (Salmo salar) in Evangervatnet*. Magisteruppsats. University of Bergen.
- St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J.K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Hardy, R.W. & Sealey, W. (2007). Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38: 59-67.
- Stickney, R. (2017). *Aquaculture: an introductory text* (3rd edition). Boston, MA: CABI. ISBN-13: 978-1786390103
- Stigebrandt, A., Aure, J., Ervik, A. & Kupka Hansen, P. (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*, 234:239–261.
- Stockner, J.G., Rydin, E. & Hyenstrand, P. (2000). Cultural oligotrophication: Causes and consequences for fisheries resources. *Fisheries*, 25(5): 7-14.
- Storebakken, T., Refstie, S. & Ruyter, B. (2000). Soy products as fat and protein sources in fish feeds for intensive aquaculture. In J. K. Drackley (Ed.), *Soy in Animal Nutrition* (pp. 127-70). IL, USA: Federation of Animal Science Societies.
- Summerfelt, S. (2003). Ozonation and UV irradiation - an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering*, 28: 21-36.
- Summerfelt, S.T., Vinci, B.J. & Piedrahita, R.H. (2000). Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. *Aquacultural Engineering*, 22(1–2): 87-108.
- Sundborg, Å. (1977). *Älv, kraft, miljö. Vattenkraftsutbyggnadens effekter*. Motala: Borgströms tryckeri.
- Sundh, H., Olsen, R.E., Fridell, F., Koestan, G., Evensen, Ø., Glette, J., Taranger, G.L., Myklebust, R. & Sundell, K. (2009). The effect of hyperoxygenation and reduced flow in freshwater and subsequent IPN virus challenge in seawater, on the intestinal barrier integrity in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Fish Disease*, 32: 687-698.

- Sundh, H. & Sundell, K. (2015). Environmental impacts on fish mucosa. In B.H. Beck & E. Peatman (Eds.) *Mucosal Health in Aquaculture* (s. 171-197). Amsterdam: Academic Press. ISBN: 9780124171862.
- Suplicy, F.M. (2018). A review of the multiple benefits of mussel farming. *Reviews in Aquaculture*, pp. 1-20.
- Svårdsson, G. & Nilsson, N-A. (1985). *Fiskebiologi*. Stockholm: LTs förlag.
- Szczepkowski, M., Zakęś, Z., Szczepkowska, B. & Piotrowska, I. (2011). Effect of size sorting on the survival, growth and cannibalism in pikeperch (*Sander lucioperca* L.) larvae during intensive culture in RAS. *Czech J Anim Sci*, 56: 483-489.
- Tacon, A.G.J., Hasan, M.R. & Metian, M. (2011). *Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans; trends and prospects* (FAO Fisheries and Aquaculture -Technical Paper, 564). Rome: FAO. ISBN: 978-92-5-106933-2.
- Tacon, A.G.J. & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture*, 285:146-158.
- Tacon, A.G.J. & Metian, M. (2015). Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture, *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 1-10. DOI: 10.1080/23308249.2014.987209.
- Terjesen, B.F., Summerfelt, S.T., Nerland, S., Ulgenes, Y., Fjåra, S.O., Megård Reiten, B.K., Selset, R., Kolarevic, J., Brunsvik, P., Bäverfjord, G., Takle, H., Kittelsen, A.H. & Åsgård, T. (2013). Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in RAS environments. *Aquacultural Engineering*, 54(0):49-63.
- Thomas, Y., Pouvreau, S., Alunno-Bruscia, M., Barillé, L., Gohin, F., Bryère, P. & Gernez, P. (2016). Global change and climate-driven invasion of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) along European coasts: a bioenergetics modelling approach. *Journal of Biogeography*, 43(3): 568-579.
- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H. & Fang, J-G. (2009). Ecological engineering in aquaculture—potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297(1-4): 1-9.
- Ungfors, A., Björnsson, T., Lindegarth, S., Eriksson, S., Wik, T. & Sundell, K.S. (2015). *Marin fiskodling på den svenska västkusten: Tekniska lösningar* (Vattenbrukscentrum Väst-rapport, 4). Göteborgs: Göteborgs Universitet.
- Vidakovic, A., Langeland, M., Sundh, H., Sundell, K., Olstorpe, M., Vielma, J., Kiessling, A. & Lundh, T. (2015). Evaluation of growth performance and intestinal barrier function in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) fed yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), fungi (*Rhizopus oryzae*) and blue mussel (*Mytilus edulis*). *Aquaculture Nutrition*, 22 (6): 1348-1360. DOI: 10.1111/anu.12344.
- Vielma, J. & Kankainen, M. (2013). *Offshore fish farming technology in Baltic Sea production conditions* (Aquabest - report, 10). Helsingfors: Finnish Game and Fisheries Research Institute. ISBN 978-952-303-064-0
- Vrede, T., Rydin, E. & Milbrink, G. (2006). Restoration of fish stocks in oligotrophicated regulated reservoirs. Dams under debate. *Formas*, 85-92.

- Wang, X., Broch, O.J., Forbord, S., Handå, A., Skjermo, J., Reitan, K.I., Vadstein, O. & Olsen, Y. (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. *J Appl Phycol*, 26:1869–1878.
- Wang, X-X., Swift, M.R., Dewhurst, T., Tsukrov, I., Celikkol, B. & Newell, C. (2015). Dynamics of submersible mussel rafts in waves and current. *China Ocean Engineering*, 29(3): 431-444.
- Wedemeyer, G.A., Nelson, N.C. & Smith, C.A. (1978). Survival of the salmonid viruses infectious haematopoietic necrosis (IHNV) and infectious pancreatic necrosis (IPNV) in ozonated, chlorinated, and untreated waters. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 35: 875-879.
- Willemsen, P. (2005). Biofouling in European aquaculture: is there an easy solution. *European Aquaculture Society Special Publication*, 35: 82–87.
- Xiao, R., Wei, Y., An, D., Li, D., Ta, X., Wu, Y. & Ren, Q. (2018). A review on the research status and development trend of equipment in water treatment processes of recirculating aquaculture systems. *Reviews in Aquaculture*. doi:10.1111/raq.12270
- 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.
- Ytrestøyl, T., Takle, H., Kolarevic, J., Calabrese, S., Rosseland, B., Teien, H-C., Nilsen, T.O., Stefansson, S., Handeland, S. & Terjesen, B. (2013). Effects of salinity and exercise on performance and physiology of Atlantic salmon postsmolts reared in RAS. *Book of abstracts Aquaculture Europe* (2013).
- Zagarese, H.E. & Williamson, C.E. (2001). The implications of solar UV radiation exposure for fish and fisheries. *Fish*, 2: 250–60.
- Zhu, S. & Chen, S. (2002). The impact of temperature on nitrification rate in fixed film biofilters. *Aquacultural Engineering*, 26: 221-237.

## Ej publicerade referenser

Astrid Ahlberg, Jordbruksverket. Mail 2016-05-24.

## Hemsidor

- <sup>1</sup> <https://esa.un.org/unpd/wpp/United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2017; World Population Prospects>:
- <sup>2</sup> <http://www.aquaculture-freelance-expertise.com>
- <sup>3</sup> [https://www.researchgate.net/profile/Alejandro\\_Buschmann/publication/279910326\\_Integrated\\_algal\\_farming\\_A\\_review/links/55a12fa508aec9ca1e63d432.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alejandro_Buschmann/publication/279910326_Integrated_algal_farming_A_review/links/55a12fa508aec9ca1e63d432.pdf)
- <sup>4</sup> <http://bellona.org/projects/ocean-forest>
- <sup>5</sup> <https://www.leroyseafood.com/en/Business/About-us/News/ocean-forest/>
- <sup>6</sup> [https://issuu.com/fishfarmermagazine/docs/ff\\_july\\_2016](https://issuu.com/fishfarmermagazine/docs/ff_july_2016)
- <sup>7</sup> <http://kyst.no/nyheter/gigantmerden-neptun-3-sjosettes-i-dag/>
- <sup>8</sup> <http://aquafarm.no/>
- <sup>9</sup> <http://www.preline.no/en>
- <sup>10</sup> <http://ilaks.no/slik-fungerer-egget/>
- <sup>11</sup> <http://e24.no/naeringsliv/marine-harvest/dette-egget-kan-revolusjonere-norsk-lakseoppdrett/23615684>
- <sup>12</sup> <https://www.nrk.no/trondelag/marine-harvest-prover-lukkede-oppdrettsanlegg-1.12803934>
- <sup>13</sup> [http://ac.els-cdn.com/S0144860916301480/1-s2.0-S0144860916301480-main.pdf?\\_tid=5ae19048-334c-11e7-bdcc-00000aacb35e&acdnat=1494179049\\_f759481545c4a742454626e94a6d6007](http://ac.els-cdn.com/S0144860916301480/1-s2.0-S0144860916301480-main.pdf?_tid=5ae19048-334c-11e7-bdcc-00000aacb35e&acdnat=1494179049_f759481545c4a742454626e94a6d6007)
- <sup>14</sup> [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY\\_-\\_The\\_Norwegian\\_Aquaculture\\_Analysis\\_2017/\\$FILE/EY-Norwegian-Aquaculture-Analysis-2017.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_-_The_Norwegian_Aquaculture_Analysis_2017/$FILE/EY-Norwegian-Aquaculture-Analysis-2017.pdf)
- <sup>15</sup> <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/djur/resorochtransporter/granskontroll.4.207049b811d-d8a513dc80002480.html>
- <sup>16</sup> <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/tradgardsodling/plantskolorochgardencenter/vaxtpas-sochsundhetscertifikat/euochsverige.4.1bd41dbf120d2f595da8000113.html>
- <sup>17</sup> <http://soyscorecard.panda.org/check-the-scores/feed-companies#analysis>; WWF 2016
- <sup>18</sup> <http://web.abo.fi/instut/fisk/Swe/Odling/Vacchandbok.pdf>
- <sup>19</sup> <http://web.abo.fi/instut/fisk/Swe/index.htm>
- <sup>20</sup> <http://www.naturvardsverket.se/natura2000>

# APPENDIX

## Enkät –utskick

Följande enkät skickades ut 2016-11-01 via epost-listan från den nationella Vattenbrukskonferensen 2016 (712 mottagare). Med hjälp av detta utskick ämnade vi nå en så bred grupp av vattenbruksaktiva som möjligt. Listan inkluderade kommersiella företag, forskare och myndigheter samt enskilda personer och organisationer med ett intresse i vattenbruk. På grund av mottagargruppens bredd blev svarsfrekvensen utifrån antalet utskick totalt låg (<10%) men då alla större odlare svarat så finns majoriteten av den produktion som idag sker i Sverige med. Vissa företag föredrog att svara gemensamt, eller muntligen. Tidsutrymmet gjorde att uppföljningsintervjuer blev begränsat men där de inlämnade uppgifterna var oklara eller behövde förtydligas.

Underlag till HaVrapport om svenskt vattenbruk

### 1. Produktion

- a. Anläggningstyp (RAS, slutet, halvslutet, öppet)
- b. Sjö/havs baserad eller landbaserad
- c. Art/arter
- d. Total Produktionsvolym
- e. Ursprung odlingsorganism (stamorganismer, yngelimport, vildfångad, land...)
- f. Risk för rymning/spridning i miljön (stor, liten, obefintlig)
- g. Infrastruktur (typ av kar/nät, typ av material samt )
- h. Vattentyp (salthalt, temperatur)
- i. Volym per art (produktionsvolym samt vattenvolym)

### 2. Foder

- a. Hur stor % av energi och näringsbehovet täcks av utfodringen? (m.a.o. är odlingen intensiv eller extensiv?)
- b. Typ (levande, blötfoder, torrfoder, kommersiellt tillgänglig, egentillverkad.)
- c. Kemisk sammansättning på mest använda foder/fodren
- d. Huvudsakliga råvaror i de mest använda foder/fodren
- e. Förbrukning

### 3. Vattenrening

- a. Typ (sedimentering, filtrering, biokemisk, kemisk...)
- b. Infrastruktur
- c. Förbrukning (liter renat vatten per timme)

### 4. Energi

- a. Typ (sol, vind, el, vatten, berg...)
- b. Förbrukning

### 5. Kemikalier

- a. Typ (samt funktion)
- b. Förbrukning

### 6. Om ni ämnar öka produktionsvolymen, vad är den största anledningen till att detta inte görs?

Skulle det vara troligt att er produktionsvolym ökade om tillståndsgivningen var baserad på faktiskt när-saltsbelastning istället för indirekt belastning beräknad via foderförbrukning?

## Sammanfattning enkätsvar

Översikt av vattenrening/förbrukning, produktion, foderkonvertering (FCR), täthet per odlingssystem. (\* uppskattad siffra vid full produktion).

Odlingssystem: Ö=Öppna, Ö(land)=genomflödessystem på land, S=slutna recirkulerande, A= Akvaponik.

FCR=Foderkonverteringsfaktor (åtgång foder/ produktion). Max densitet = kg odlingsorganismer mer m3 vatten (kg/m3), eller produktion i ton per hektar (t/ha).

| System   | Infrastruktur                          | Arter                   | Vattenutbyte per dag (L/d)<br>Renat vatten/ton/ timme | Produktion ton | Foderåtgång ton             | FCR      | Max densitet             |
|----------|----------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|----------|--------------------------|
| Ö        | Kasse                                  | Regnbåge                | -                                                     | 12000          | 14000                       | 1.17     | 25 kg/m3                 |
| Ö        | Kasse                                  | Regnbåge                | -                                                     | 5000           | 6000                        | 1.2      | 25 kg/m3                 |
| Ö        | Kasse                                  | Regnbåge                | -                                                     | 40             | 50                          | 1.25     | 9 kg/m3                  |
| Ö        | Kasse                                  | Röding                  | -                                                     | 2000           | 2300                        | 1.15     | 30 kg/m3                 |
| Ö (land) | Bassänger, jorddammar                  | Öring/Röding/Regnbåge   |                                                       | 25-30          | 30-35                       | 1.17-1.2 |                          |
| Ö (land) | Glasfiber, plastbassänger              | Sätfisk                 |                                                       |                |                             |          |                          |
| Ö        | Linodling                              | Filtrerande organismer  | -                                                     | 1200           | -                           |          |                          |
| Ö        | Lin och Nätodling+ Plaströr (polyeten) | Filtrerande organismer  |                                                       | 5000           | -                           |          |                          |
| Ö        | Nätodling                              | Filtrerande organismer  | -                                                     | 10             | -                           |          | 80 t/ha                  |
| Ö        | Linodling                              | Alger                   | -                                                     | 60-70          | -                           |          | 30-35 t/ha               |
| Ö (land) |                                        | Filtrerande organismer  | Rening 4m3/timme                                      |                |                             |          |                          |
| S        | Plastbassäng                           | Lax                     | Rening 15m3/ton/timme                                 | 1.5            |                             | 1.1*     |                          |
| S        | Glasfiber bassäng                      | Varmvattenfisk          |                                                       | 36             | 40                          | 1.1      | 50-70 kg/m3<br>230kg/m3* |
| S        | Plastbassäng (polypropylen)            | Regnbåge/Steglett       | Rening 11m3/ton/timme                                 | 35             |                             |          | 87 kg/m3                 |
| S        | Murade bassänger                       | kräddjur                |                                                       | 50             |                             |          | 6 kg/m3                  |
| A        |                                        | Varmvattensfisk, växter | Utbyte 10 %/dag                                       | 2              | -                           |          |                          |
| A        |                                        | Varmvattensfisk, växter | 2 L                                                   | 0.4            | 1 % av kroppsvikten per dag |          | 22 kg/m3                 |

## Ordlista

Adult – Könsmogen organism  
Anadrom – fisk som reproducerar sig i Sött miljö men lever som adult i marin miljö  
Antinutritionella substanser – ämnen som hämmar upptag av näringsämnen i foder  
Antipåväxtmedel – Biocid, ett ämne som dödar levande organismer  
BOD – (biological oxygen demand) mängden syre som förbrukas vid biologisk nedbrytning av organiska ämnen via mikroorganismer  
BSE – (Bovin Spongiform Encefalopati) sjukdom i CNS hos nötkreatur som kan överföras till människor.  
COD – (chemical oxygen demand) mängden syre som förbrukas vid kemisk nedbrytning av organiska ämnen  
Detritus - dött organiskt finfördelat material  
Extraktiva arter – arter som extraherar närsalter ur vattnet  
FCR – (feed conversion ratios) foderkonvertering  
FTU – phytase unit, hur mycket enzym som frigör oorganiskt fosfat från natriumfosfat per tidsenhet  
Herbivor – växtätare  
Hydrolysat – hydrolyserat protein som består av kortare kedjor av aminosyror som lättare tas upp av kroppen  
IMTA - Integrerad multitrofisk odling  
Innovativ – nyskapande, förbättrande, förnyande  
Karnivor – köttätare  
Katadrom – fisk som reproducerar sig i marin miljö men lever som adult i Sött miljö  
Larv- tidigt utvecklingsstadium hos organismer som genomgår metamorfos, exempelvis plattfiskar och muslor.  
MBBR - (moving bed biofilm reactor) rörligt bärmaterial i biofilmreaktor  
N:P-kvot – Proportionen mellan andelen kväve (N) och fosfor (P)  
 $\text{NH}_3$  – Ammoniak  
 $\text{NH}_4^+$ -N Ammoniumkväve  
 $\text{NO}_3^-$ -N Nitratkväve  
 $\text{NO}_2^-$ -N Nitritkväve  
NSP – (non-starch polysaccharide) polysackarid som ej är stärkelse  
Omnivor – allätare  
PAP – (processed animal protein)  
PSU – (practical salinity unit) Salthalt  
RAS – (recirculating aquaculture systems) odlingssystem med recirkulerande vatten  
Sessil - fastsittande  
Smältbarhet – hur lätt en organism kan tillgodogöra sig ett foder  
Suspensionsätare – filtrerare  
Svb - ett aktiebolag med särskild vinstutdelningsbegränsning (svb) är ett särskilt slag av privat aktiebolag. Reglerna syftar till att säkerställa att företagets vinst huvudsakligen stannar kvar i företaget.  
Triploidisering - Antalet kromosomuppsättningar ändras från normala två till tre. Individer med tre kromosomuppsättningar är som regel sterila då kromosomdelning vid meios (när könsceller bildas) är obalanserad och störd.  
Yngel – tidigt utvecklingsstadium efter äggkläckning och innan könsmognad, exempelvis hos många fiskarter och sötvattenskräftor



