

# BALTIC AQUACULTURE INNOVATION CENTRE (BIC)

En rapport från Vattenbrukscentrum Ost i  
samarbete med Sveriges Lantbruksuniversitet  
och Nova Utbildning, FoU & Affärsutveckling



Sammanställd av: Markus Langeland, Anders Kiessling och Odd-Ivar Lekang

Till rapporten har (i alfabetisk ordning) också följande bidragit: Per Bauman, Anders Hellström, Gunnar Hovsenius, Dirk-Jan de Koning, Marcus Laaksoharju, Jana Pickova och Mikael Robertsson.

# Baltic Aquaculture Innovation Center (BIC)

Dokumenttitel: Baltic Aquaculture Innovation Center (BIC)

Författare: Markus Langeland, Anders Kiessling och Odd-Ivar Lekang

Datum: 2014-03-26

Dokumenttyp: Rapport

Kontaktperson: Anders Kiessling  
Anders.kiessling@slu.se  
Markus Langeland  
Markus.langeland@slu.se

Uppdragsgivare: Nova Utbildning, FoU & Affärsutveckling

Finansiärer: Nova FoU och Sveriges Lantbruks Universitet

Fotografi försättsblad: RAS från Grieg Seafood, Stavanger. Foto: A. Kiessling

Rapporten är ett samarbete mellan Vattenbruks Centrum Ost, Nova FoU och Sveriges Lantbruksuniversitet

## FÖRORD

På uppdrag av Nova Utbildning, FoU & Affärsutveckling har de tre författarna, och forskarna/doktoranden på SLU och Universitetet för Miljö och Biovitenskap, Norge gjort en kunskapssammanställning, problematisering och projektbeskrivning över ett tänkt Östersjöcenter för innovativt vattenbruk med hjälp av överskottsvärme, kallat Baltic Aquaculture Innovation Center (BIC). Till hjälp i rapporten har experter från olika kunskapsområden konsulterats.

Vattenbruk är idag outvecklat i Sverige men globalt den snabbast växande livsmedelsproducerande sektorn, och därmed en väldigt intressant produktionsform som spänner från helt extensiva former till de moderna, intensiva och högteknologiska odlingssystemen. Många associerar idag vattenbruk med odling av rovfisk i öppna kassar kombinerat med utfodring av foder baserat på fiskmjöl och soja och inte med en ”grön” näring. Detta är dock delvis en felaktig uppfattning, men framförallt finns det stora möjligheter skapa nya produktionssystem av vattenbruk som karakteriseras av lokala och miljövänliga systemlösningar. Visionen med BIC är att skapa förutsättningar för entreprenörer att etablera slutna produktionssystem för i första hand odling av gös och piggvar, genom kunskapsförmedling, produktionsutveckling och avelsarbete. I de aktuella produktionssystem återanvänds näring och koldioxid från fiskodlingen till växtproduktion, algodling och djurfoder, samtidigt som rent vatten återgår till fisken. Förutom att sådana system i framtiden kan placeras var som helst har de också stor potential att ingå i samhällets utnyttjande av överskottsvärme och då speciellt det idag lågutnyttjade låggradiga segmentet under 60°C. Ett framtida BIC ligger väl i linje med Jordbruksverkets handlingsplan för vattenbruk (2013-2022) ”En grön näring på blå åkrar”.

*Anders Kiessling*

*Professor med ämnesansvar för vattenbruk*

*Sveriges Lantbruksuniversitet*

## SAMMANFATTNING

Man har utrett förutsättningarna för etablering av landbaserad fiskodling med RAS (Recycling Aquaculture System) teknik dvs. ett slutet återcirkulerande vattensystem med minimala utsläpp av näringsämnen och som använder överskottsvärme från industrin för uppvärmning av vattnet vilket leder till en snabbare fisktillväxt.

Utveckling av RAS skall ske genom etablering av ett långsiktigt forsknings- och utvecklingscenter (Baltic Aquaculture Innovation Center, BIC) eftersom ny kunskap och teknik måste tas fram för ett effektivt RAS. BIC bör genomföras i tre steg:

- I)* Forskning och undervisning samt avelsarbete av initialt gös, men också piggvar
- II)* Pilotanläggning för utveckling av nya produktionssystem och storskaligt avelsarbete
- III)* Storskalig BIC anläggning med en bärkraftig avelsverksamhet av både gös och piggvar samt en stabil yngelproduktion, utöver verksamheten i steg I

Målet är att steg III skall vara självförsörjande, baserat på de beräknade 400 ton fisk som årligen säljs. Investeringsbehovet för steg *I)* beräknas till 5-10 mnkr, men kan reduceras kraftigt om befintlig infrastruktur kan användas. För steg *II)* beräknas investeringskostnaden bli 14-18 mnkr, och för steg *III)* 50-70 mnkr. Dessa siffror är preliminära och exklusive investeringsstöd som brukar vara 50 %. Man räknar med att BIC, i dess fulla skala, kan uppskattningsvis ge 16-20 nya lokala arbetstillfällen. BIC skall bli ett globalt kunskaps-, utvecklings och produktionscenter för fiskodling med RAS teknik som utnyttjar låggradig överskottsvärme.

## SAMMANDRAG

**Syftet med denna rapport är att utreda förutsättningar för en regional näringslivsutveckling genom landbaserad fiskodling som utnyttjar överskottsvärme. Detta skall ske genom etablering av ett långsiktigt forsknings- och utvecklingscenter (Baltic Aquaculture Innovation Center, BIC), för forskning av utveckling av nya produktionssystem, biologi kring gös och piggvar samt avel och yngelproduktion av dessa arter. Här skall även studenter och entreprenörer kunna lära sig produktionssystem och biologi om framförallt gös och piggvar. Ramen för arbetet är Oskarshamns kommuns insikt att en långsiktig och hållbar näringslivsutveckling förutsätter en parallell kompetens- och kunskapsutveckling. Arbetet tar sin utgångspunkt i dagens kunskap, dess potentiella utveckling och avslutas med hur en kontinuerlig kunskapsöverföring kan säkras mellan universitet, regional politik/myndighet och entreprenör. Arbete utförs som en del av det framväxande Vattenbrukscentrum Ost (VCO) tillsammans med SSE-C (Swedish Surplus Energy Collaboration)<sup>1</sup>. Enbart odlingssystem med potential att rena och/eller återfånga näringsämnen direkt i odlingen har inkluderats i arbetet.**

Akvakultur, odling av organismer i vatten, har under de senaste 60 åren haft en kraftig tillväxt och världsproduktionen har ökat från en miljon ton per år under 50-talet till 64 miljoner ton under 2011, vilket uppgår till hälften av den totala globala humankonsumtionen av fisk och andra vattenlevande organismer. I Sverige har produktionen av matfisk ökat från 5000 ton till 12 500 ton under de senaste fem åren. Gös och piggvar är ur odlingssynpunkt nya fiskarter, som har stor potential att inom en nära framtid bli kommersiellt gångbara i ett svenskt vattenbruk. De har små ägg och har därför i tillägg till yngelstadiet, ett larvstadium som kräver en teknisk anpassning och specialistkunskaper. Vidare finns det inte något genetiskt utvecklat odlingsmaterial, eller stabil yngeltillgång.

RAS<sup>2</sup> etableras nu globalt i en allt större omfattning för framförallt laxsmoltsproduktion, då den utöver sjukdomskontroll erbjuder signifikant vattenbesparing, ökad tillväxt och förbättrat foderutnyttjande. Vidare finns teknik med ytterligare reducerade utsläpp framtagen. Dock kvarstår några stora utmaningar inom båda dessa former av RAS. En utmaning är de smakförändringar hos fisken som orsakas av förhöjda halter av vissa illasmakande, men ofarliga ämnen, från naturligt förekommande bakterier. En annan är att finna alternativ till de idag stora initiala investeringskostnaderna, samt utvärdera

---

<sup>1</sup> VCO arbetar tillsammans med sina systercenter (Vattenbrukscentrum Väst och Vattenbrukscentrum Norr) verkar för regional näringslivsutveckling genom vattenbruk. SSE-C är ett initiativ lett av Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) för att skapa en kritisk massa mellan näringsliv, regional utveckling och forskning runt överskottsvärme för mat och för attraktiva livsmiljöer.

<sup>2</sup> RAS, Recycling Aquaculture System. Se kap. 3.1.1.

driftskostnaden för en större kommersiell anläggning i drift under längre tid. Vidare finns det fortfarande en del frågor att besvara vad gäller optimal hantering av slam och kväve-föreningar från fiskodlingen. I dagsläget är detta ett område med hög utvecklingshastighet, och marknaden präglas av nya innovationer och förbättringar i snabb takt. RAS applicerad på gös och piggvar får en högre driftskostnad på grund av ett större värmebehov än för laxfiskar. Möjligheten att kombinera produktion av dessa arter i RAS med överskottsvärme är därför ett väldigt intressant alternativ, framförallt då vi bara i Sverige förlorar cirka 150 TWh/år. I framtida produktionssystem kan dock det direkta värmebehovet till fiskodlingen minska i och med ett minskat vattenutbyte, men i kombination med utökad näringsämnesåtervinning uppstår andra värmekrävande processer som och uppvärmning av växthus, fermentering och torkning av bioprotein och gödsel.

En flaskhals för utvecklingen av för odling nyare arter, är att kunskapsbristen om bl.a. produktionsvillkor, teknik, sjukdom/förebyggande hälsoarbete och näringslära. För att näringen skall utvecklas måste en större och välstrukturerad satsning göras mot att skapa kompetensuppbyggnad och tillgång till bra sättfisk på regional nivå och med lokal förankring och stöd. RAS, speciellt om man skall öka lönsamheten genom utnyttjande av överskottsvärme, kräver en hög kunskapsnivå, vilket i sin tur kräver möjligheter för kompetensutveckling och forskning vilket ger förutsättningar för kompetensutveckling för framtidens entreprenörer. Genom att i BIC kombinera kompetens inom fiskodling med bioteknologi och ingenjörsvetenskap kan BIC vara med att leda utvecklingen för framtida RAS, och bli en bricka i utvecklingen av framtidens kretsloppssamhälle där överskottsvärme, fiskens gödsel och matrester inte är ett problem utan en tillgång för att producera ny mat och bioenergi på naturens villkor.

Med BIC vill vi på ett sätt som inte gjorts tidigare integrera en modern RAS anläggning med överskottsvärme för att utveckla ett hitintills unikt, integrerat multitroft, produktionssystem som är ekonomiskt och miljömässigt hållbart, samt genererar produkter av hög kvalitet d.v.s. yngel och konsumtionsfisk. I ett multitroft system kombineras odling av flera olika arter som helt eller delvis kan tillgodogöra sig rester från annan en av systemets andra arter. Produktion av konsumtionsfisk är inget primärt mål för BIC, men avelsbestånden kommer generera en del vuxen fisk som ej skall ingå i vidare avel och därmed kan säljas för humankonsumtion. BIC bör genomföras i tre steg som i steg *I*) domineras av forskning och undervisning samt första steget i avelsarbetet av gös, för att i steg *II*) utöver steg *I* innefatta en större pilotanläggning för utveckling av nya produktionssystem och storskaligt avelsarbete. I steg *III*), som är en fullskalig avels- och yngelproduktionsanläggning, har BIC en bärkraftig avelverksamhet av både gös och piggvar samt en stabil yngelproduktion, utöver verksamheten i steg *I*. Målet är att steg *III* skall vara självförsörjande, baserat på de beräknade 400 ton fisk som årligen säljs.

Investeringsbehovet för steg I) beräknas till 5-10 mnkr, man kan reduceras kraftigt om befintlig infrastruktur kan användas. För steg II) beräknas investeringskostnaden bli 14-18 mnkr, och för steg III) 50-70 mnkr. Dessa siffror är exklusive investeringsstöd på upp till 50 %. Driftkostnaden för steg I är totalt sett låg, men högt sett till kg producerad fisk. I steg II och III räknar vi den årliga driftskostnaden till 4 mnkr respektive 12-20 mnkr. Finansiering av steg I förväntas ske från traditionella statliga och privata forskningsfinansiärer som forskningsråd, stiftelser och intern finansiering. För steg II förväntas statliga medel finansiera 50 % av kostnaderna genom Vinnova och/eller EUs forsknings/struktur fonder, motfinansierade med Nationella medfinansieringsmedel. Steg III kräver däremot en mer utarbetad finansierings och ägarstruktur, där en betydande del av investering förväntas genom näringslivet, eventuellt med initial statlig hjälp.

I den svenska kassodlingsindustrin varierar produktionsmängden från 10 till 300 ton per anställd. Om man utgår ifrån utredningen SOU 2009:26 (Det växande vattenbrukslandet) som ger prognosen 150 000 tons produktion i Sverige till 2020 skulle det motsvara 500 till 15000 arbetstillfällen bara i primärproduktionen beroende på näringens sammansättning. Vidare räknar man i kassodlingsnäringen med tre heltidstjänster per en heltidstjänst i primärproduktionen, vilket beräknas bli högre i RAS. Det skulle för BIC steg III innebära 4-5 anställda i primärproduktionen, exkluderat forskare, lärare m.fl. och 12-15 arbetstillfällen i sekundärproduktionen

Ett stort globalt intresse finns för RAS i olika utformningar, och tros i framtiden kunna bli en hållbar lösning på det växande behovet av fisk som mat. Det finns många olika tekniska lösningar på hur ett RAS byggs upp, vilket innebär att det är stor variation i de produktionssiffror som rapporteras från olika anläggningar. Dessutom sker en snabb teknisk utveckling, vilket innebär en ytterligare osäkerhetsfaktor i de presenterade siffrorna. Utöver detta ändras produktionsförhållandena beroende på vilken fiskart som odlas. Således behövs en satsning på att utveckla RAS för svenska förhållanden, och vidare förmedla denna kunskap till entreprenörer, myndigheter, studenter och forskare. För att fiskodlarna skall få tillgång till ett gynnsamt biologiskt material krävs ytterligare kunskap om nya fiskarter, ett gediget avelsprogram och yngel av hög kvalitet. BIC behövs även för att kunna realisera EU:s och Jordbruksverkets strategi för ett vattenbruk som präglas av såväl ekologisk som ekonomisk och social hållbarhet.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>FÖRORD</b> .....	<b>II</b>
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>III</b>
<b>SAMMANDRAG</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 UPPDRAGET</b> .....	<b>1</b>
<b>2 VARFÖR VATTENBRUK OCH VARFÖR I KOMBINATION MED ÖVERSKOTTSVÄRME?</b> .....	<b>2</b>
2.1 VARFÖR VATTENBRUK .....	2
2.2 VARFÖR I KOMBINATION MED ÖVERSKOTTSVÄRME .....	3
2.3 MATPRODUKTION OCH MILJÖ .....	4
2.4 SYSSELSÄTTNING .....	5
2.5 SJÄLVFÖRSÖRJNING .....	6
2.6 MARKNADEN .....	6
<b>3 BIC, FUNKTION OCH ORGANISATION</b> .....	<b>8</b>
3.1 UTFORMNING.....	8
3.1.1 <i>Hur fungerar en RAS anläggning</i> .....	9
3.1.2 <i>Utökning av RAS – recirkulering av närsalter</i> .....	12
3.1.3 <i>Foder i RAS – nya möjligheter</i> .....	14
3.1.4 <i>Fiskarter i BIC</i> .....	14
3.1.5 <i>Avel och Yngelproduktion</i> .....	15
3.2 FUNKTION .....	17
3.2.1 ÖVERGRIPANDE MÅL.....	17
3.2.2 <i>Vinst av överskottsvärme samt utveckling av multitroft system</i> .....	18
3.2.3 <i>Avelsprogram</i> .....	21
3.3 EKONOMISKA FÖRUTSÄTTNINGAR .....	22
3.4 BIC SOM MOTOR I NÄRINGSLIVSUTVECKLING.....	25
3.5 BIC I OMVÄRLDEN .....	26
3.6 RISKANALYS .....	27
<b>4 SLUTSATSER OCH FORTSÄTTNING</b> .....	<b>28</b>
<b>5 APPENDIX</b> .....	<b>1</b>
APPENDIX 1 INGÅENDE BESKRIVNING AV RAS.....	1
APPENDIX 2 SLUDGE PRODUCTION, TREATMENT AND UTILIZATION .....	1
APPENDIX 3 HETEROTROFA BIOGENERATORER (BIOGAS OCH BIOPROTEIN) .....	1
APPENDIX 4 FOTOTROFA BIOGENERATORER ELLER ”ALGER SOM VATTENRENING, FODERLEVERANTÖR OCH BIOPROSPEKTERING” .....	1
APPENDIX 5 PRESENTATION AV FISKARTER .....	1
APPENDIX 6 ESTABLISHING A BROOD STOCK AND BREEDING PROGRAM FOR PIKEPERCH AND TURBOT.....	1

# 1 UPPDRAGET

Oskarshamns kommun och OKG (Oskarshamnsverkets Kraftgrupp) har sökt möjligheter att utnyttja överskottsvärmen från OKG för nya affärsmöjligheter och därmed nya arbetstillfällen i regionen. Det har konstaterats efter diskussioner att det fanns både infrastruktur och regionala förutsättningar för att i samarbete med ämnesexpertis etablera ett Östersjöcenter för innovativt vattenbruk med hjälp av överskottsvärme. Den bakomliggande tanken var att möta en växande närings behov av tillgång till sättfisk av biologisk hög kvalitet och en långsiktig tillgång på kompetensutveckling för nya produktionssystem. Centret gavs arbetsnamnet Baltic aquaculture Innovation Centre, BIC.

Med Vattenbrukscentrum Ost (VCO) som projektägare tas denna rapport fram i syfte att skapa ett beslutsunderlag med följande innehåll:

- Ge en detaljerad beskrivning av aktiviteter och funktioner med BIC.
- Konstruktions och driftskostnader.
- Utvecklingspotential av BIC att inkludera växthusproduktion

Rapporten skulle ta följande mål i beaktande för syftet med centret:

- Kunskapsproduktion, demonstration och innovation inom avel- och- yngelproduktion på nordiska varmvattensarter
- Generera nödvändig kunskap inom områdena ny teknologi, ekonomisk bärkraftighet, avel och yngelproduktion, hälsa och smittskydd, foder och näringslära samt produktkvalitet
- Stimulera nya entreprenörer inom fiskodling i Östersjöregionen
- Utveckla pilot -och demo anläggningar samt teknologi
- Generera nye forsknings- och industriprojekt på nationell, nordisk och EU-nivå
- Undervisning och kunskapsförmedling

## 2 VARFÖR VATTENBRUK OCH VARFÖR I KOMBINATION MED ÖVERSKOTTSVÄRME?

### 2.1 VARFÖR VATTENBRUK

Akvakultur, odling av organismer i vatten, har under de senaste 60 åren haft en kraftig tillväxt och världsproduktionen har ökat från en miljon ton per år under 50-talet till 64 miljoner ton under 2011 (FAO, 2012). Idag kommer varannan matfisk från odling och det produceras nu mer odlad fiskfilé än rött kött i världen (FAO, 2013), där vattenbruket förväntas öka till 110 miljoner ton 2030. Det är därför uppenbart att utifrån behovet att ställa om vildfisket mot ett uthålligt uttag så kommer odling utgöra den dominerande produktionen av akvatiska livsmedel redan i en nära framtid. I Sverige har däremot utvecklingen varit betydligt mer blygsam med en ökning av odlad matfisk under de senaste femton åren från 5000 till 12500 ton. Idag dominerar ”öppna” system som kassar eller dammar helt den svenska produktionen, med en huvudsaklig lokalisering till Norrlands inland, men också till del till andra glesbygdsområden med låg närsaltsbelastning. I motsats till dessa odlingar ser vi en helt omvänd trend för de spirande initiativ som redan finns av ”slutna” odlingar i Sverige<sup>3</sup> som alla ligger i stadsnära lokaliteter. Mer information om svenskt och internationellt vattenbruk finns på <http://www.svenskvattenbruk.se/> och <http://www.fao.org/fishery/aquaculture/en>.

Det finns idag teknik och kunskap för att bygga och producera odlad fisk i landbaserade odlingar. Detta är ett område som utvecklas snabbt och kostnaderna för investering och drift har på bara de senaste 5 åren nästan halverats. För detaljerade utvärderingar och utredningar se Wright & Arianpoo, 2010<sup>4</sup> och rapport från Kanadas riksdagsgrupp för Fiske och Havsfrågor, 2013<sup>5</sup> som båda fokuserar på kallvattensfisken lax. Materialet i denna rapport är däremot i huvudsak inriktad mot arter med större värmebehov och därför mer relevanta i synergi med överskottsvärme. En hel del information mer direkt riktad mot abborre kan man också finna i AquaBiotech Groups rapport, KLT 01/12<sup>6</sup>.

---

<sup>3</sup> Till exempel: Svensk Fiskodling AB, gös och abborre i RAS pilotanläggning på Ljusterö, Stockholm, <http://svenskfiskodling.se/>, Scandinavian Silver eel, ål i RAS i Helsingborg (<http://www.silvereel.se/>), Kattastrands Kretsloppsodling, abborre i ett akvaponisystem utanför Härnösand (<http://www.rainbowfish.se/abborre/fl47.htm>) och Eko-fisk, tilapia i RAS i Alnarp (<http://www.eko-fisk.se/>).

<sup>4</sup> Technologies for Viable Salmon Aquaculture. An Examination of Land-Based Closed Containment Aquaculture. ([http://www.saveoursalmon.ca/solutions/closed\\_containment/](http://www.saveoursalmon.ca/solutions/closed_containment/)).

<sup>5</sup> CLOSED CONTAINMENT SALMON AQUACULTURE. Report of the Standing Committee on Fisheries and Oceans (<http://www.parl.gc.ca>).

<sup>6</sup> <http://www.kustlandet.com/upload/files/ABTG~KLT01-FinalReport~03-May-14.pdf>

## 2.2 VARFÖR I KOMBINATION MED ÖVERSKOTTSVÄRME

Vid många industriella processer produceras stora mängder överskottsvärme, vanligtvis av lägre temperatur än 40°C (i vissa fall 60°C), som ej tillvaratas. Mer än 50 % av primärenergien i Europa förloras som överskottsvärme, och bara i Sverige har man uppskattat förlusten av överskottsenergi till cirka 150 TWh/år (Hovsenius, 2013). Detta kan sättas i relation till Sveriges totala energianvändning på cirka 620 TWh/år. Inom EU spås det totala elbehovet öka från dagen 3500 TWh/år till 4200 TWh/år under de närmsta 20 åren. Den största delen av eltillskottet förväntas komma från värmebaserad elproduktion, vilket innebär att ännu större värmemängder kommer att kylas bort och därmed förloras. Förutsatt att det inte sker en utveckling i större skala av teknikformer där låggradig (20-40°C) värmeenergi tillvaratas. Ett antal områden där låggradig restvärme kan användas har identifierats, och av dessa har matproduktion pekats ut som ett.

Tillväxt hos fisk, i likhet med våra växter, stimuleras markant av små ökningar av temperatur. Till exempel dubblas tillväxten (det vill säga produktionstiden halveras) hos lax som odlas vid 14°C istället för 9°C (B.F.Terjesen, RAS workshop, Ålborg, Danmark Oktober 2013); en ökning med bara 5°C! Just möjligheten att använda överskottsvärme för livsmedelsproduktion är något som Oskarshamns kommun länge insett är en potential för framtiden och utgör en naturlig grundbult i detta arbete. Detta inte minst för att de mest, utifrån ett svenskt marknadsperspektiv lovande arterna, som gös och piggvar m.fl. (SOU 2009:26, Det växande vattenbrukslandet) alla växer bäst i temperaturer mellan 20-25°C. Temperaturer som naturligt bara förekommer någon enstaka månad per år i våra vildvatten. Billig värme i form av överskottsvärme kan härigenom utgöra skillnaden mellan en förlustaffär och en alldeles utmärkt god produktionsekonomi.

Genom att kombinera matproduktion som fiskodling och växthus, men även primärproduktion som alger och andra mikroorganismer, med processer där överskottsvärme produceras kan man utnyttja lågtemperaturvärmen (fig. 2.1).

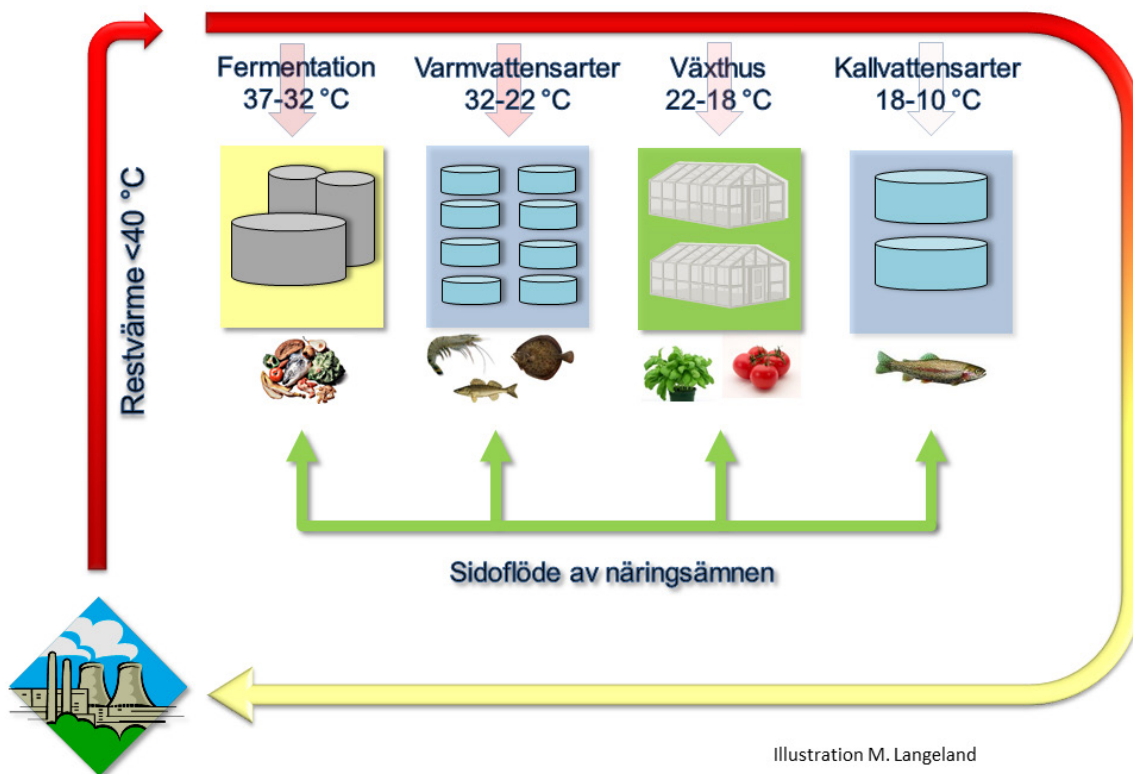


Illustration M. Langeland

Figur 2.1 Utnyttjandet av överskottsvärmevärme från industrin för matproduktion. Olika typer av mat- och foderproduktion kräver varierande produktionstemperatur. Vidare kan näringsämnen från de olika produktionssystemen utnyttjas i andra system, t.ex. mikroorganismer och växter odlas i näring från avloppsvattnet från fiskodlingarna. (Illustration M. Langeland, efter originalbild av A. Kiessling, F. Indebetou och H. Sandin).

### 2.3 MATPRODUKTION OCH MILJÖ

Den primära matproduktionen kan grovt delas upp i öppna respektive slutna system. De öppna systemen representeras till största del av agrara växtodlingssystem, men även viss animalisk produktion som lösdrift av idisslare utfodrade med kraftfoder och fisk i kassodling med genomflödessystem i kar/damm. Dessa system karakteriseras av att desto intensivare och mer storskaliga produktionsenheterna är, desto större är deras påverkan på både den omgivande och den globala miljön. Delvis sker det genom läckage av gödsel, bekämpningsmedel och läkemedel, men även genom att deras gödning och foder bygger på linjära flöden av näringsämnen. Dessa flöden startar med att fosfor utvinns från ändliga källor för konstgödsel, följt av övergödning av vattendrag till en slutdeposition i sediment och djuphav. Dessutom drivs dessa processer i huvudsak av fossil energi.

En avgörande frågan som ställs av allt fler inom forskningen och miljörelsen är huruvida denna intensifiering har gått för lång och hotar resiliensen i hela vårt ekosystem. För att kunna möta framtidens utmaningar i form av såväl lokal som global matförsörjning måste vi utveckla komplementära system. Dessa skall vara kretsloppsbaseade och användningen av fossila bränslen minimal. Istället skall överskottsvärme och förnybara energikällor utnyttjande. I framtiden kommer därför lokalanpassade kombinationer av såväl öppna som mer slutna system vara en lösning för ökad resurseffektivitet. Idag görs förbättringar och effektiviseringar inom de öppna agrara systemen i form av närsaltsfällor som våtmarker och sedimenteringsfällor, precisionsjordbruk och i form av avel och GMO-produkter för mer robusta och effektiva odlings sorter och arter. Poängen är dock, att man menar att dessa inte kommer kunna användas för att öka produktionen av mat utan istället behövs för att återanpassa dagens agrara öppna system till miljöns/ekosystemets toleransgränser.

För att vattenbruksnäringen i Sverige skall växa på ett hållbart sätt har Jordbruksverket tagit fram en strategi, och arbetar med att ta fram en handlingsplan. Detta ligger i linje med EU:s mål att varje medlemsstat skall ha en egen vattenbruksstrategi. Flera av BIC:s mål ligger i linje med den nationella strategin som säger att vattenbruket i Sverige skall präglas av såväl ekologisk som ekonomisk och social hållbarhet, samt innehålla både öppna och slutna system, sträva mot en ökad diversifiering av arter och att odlingsform/art bestäms utifrån lokala förutsättningar. En sådan vision måste naturligtvis backas upp av en kompetensuppbyggnad både för entreprenör som för myndigheter.

## 2.4 SYSSELSÄTTNING

Primärproduktionen av livsmedel har under de senaste 150 åren varit utsatt för en enorm strukturrationalisering och har gått från att vara det i Sverige helt dominerande området för sysselsättning till att bli marginell i antal arbetstillfällen. Samma utveckling har skett inom fisket, men på ett globalt plan har minskad sysselsättning inom fisket helt balanserats genom en ökad sysselsättning inom vattenbruket (FAO, 2012). Frågan är om en kombination av små- och storskalig intensiv landbaserad fiskodling, gärna i kombination med andra odlingsformer som växthus, har potential att vända utvecklingen åtminstone i delar av Sverige. En utveckling av mer ”slutna” system är en förutsättning för att denna utveckling nära konsumenten, på landsbygd, vid kust och i anslutning till överskottsvärme skall kunna ske i hela Sverige då inget/marginellt miljöutrymme finns för öppna system i de södra delarna av Sverige med Östersjön som slutreceptient. Inom landbaserad fiskodling räknar man med att 50 tons produktion leder till ett arbetstillfälle inom primärproduktionen, och ett till två inom ”suportindustrin” samt lika mycket inom processindustrin. Naturligtvis påverkas detta av anläggningens storlek både inom den primära som den sekundära industrin. Mindre enheter ger högre sysselsättningsgrad och

vice versa för större. Detta är uppenbart när man ser på den svenska kassodlingsindustrin där produktionen varierar från 10 till 300 ton per anställd ("put and take" till leverantör av strupskuren fisk). Om man utgår ifrån utredningen SOU 2009:26, som ger prognosen 150000 tons produktion i Sverige till 2020 skulle det motsvara 500 till 15000 arbetstillfällen bara i primärproduktionen beroende på näringens sammansättning.

## 2.5 SJÄLVFÖRSÖRJNING

Extensivt odlad fisk, samt fisk från småskaligt fiske utgör idag den huvudsakliga proteinkällan för mer än 1 miljard människor och då framför allt till de resurssvaga grupperna. Samtidigt ökar den globala konsumtionen av odlade akvatiska produkter snabbt men nu med en fokusering på ekonomiskt värdefulla produkter. Med andra ord drivs dagens ökning framåt av världens växande medelklass och inte som tidigare av ett proteinbehov hos resurssvaga grupper. Enligt FAO (2012) måste världsproduktionen av odlad fisk och skaldjur (ff. musslor) öka med ytterligare 23 miljoner ton till år 2020 för att hålla jämna steg med den växande världsbefolkningens behov av protein. En konsekvens av den nuvarande utvecklingen kan därför bli en direkt konkurrens mellan en fortsatt kraftig expansion av dagens odlingsformer i kassar med fisk och sojabaserade foder och en framtida livsmedelsförsörjning för utsatta grupper i världens resurssvaga områden. En sådan utveckling skulle inte vara positiv för tillväxten av en svensk "etisk" attraktiv produktion. Kretsloppsbaseade foderresurser är därför en viktig komponent i ett framtida BIC. Genom en stark ekonomisk utveckling i Asien och Sydamerika ser vi också hur mönster för världshandeln med sjömat<sup>7</sup> ändras med en minskad tillgång på marknader i traditionellt köpstarka länder i Västvärlden. Med ett svenskt fiske som huvudsakligen utgörs av foderfisk för export till lax- och djurfoder och en minimal egen odling är Sverige idag nästan uteslutande hänvisad till daglig import för vår konsumtion av sjömat.

## 2.6 MARKNADEN

Sverige importerar idag mer än 80 % av all fisk och skaldjur som vi äter, och utan Norge skulle vi mycket snabbt få en akut brist på både odlad och vild fisk<sup>8</sup>. Idag är Sverige ett laxätande folk, där 98 % av laxen vi konsumerar är importerad från Norge (Sjömat i Sverige, 2013). 2013 importerades nästan 40000 ton lax för direkt konsumtion, vilket

---

<sup>7</sup> Med "sjömat" menas all mat från vatten.

<sup>8</sup> Havsmiljöinstitutet (<http://www.havsmiljoinstitutet.se/hav-och-samhalle/fiskkonsumtion/>) redovisade 2012 att importen av matfisk (färsk, fryst och kyld) till Sverige 2011 var ca 450000 ton där norsk fisk utgjorde ca 400000 ton. Samtidigt var vår export av fisk lite större (ca 490000 ton) där den absoluta majoriteten utgjordes av så kallad foderfisk från Östersjön som ofta landas direkt i Danska hamnar och används uteslutande till djur/fisk foder efter detoxifiering.

utgjorde nästan 30 % av all svensk konsumtion av sjömat (ca 19 kg per person och år) och ungefär hälften av den norska exporten av fisk för konsumtion. Utöver import för egen konsumtion importeras en stor del för processering som sedan exporteras vidare till övriga EU. Sverige har härigenom en god beredskap för en expansion inom beredningsindustrin för eventuell egen produktion. Svensken äter idag i genomsnitt mer än 80 kg kött per år. Detta i kombination med en uttalad trend mot mer hälsosam och lokal mat öppnar för en expanderande marknad för svenskproducerad sjömat. Detta förutsatt att produkterna är attraktiva och tillgängliga. Kanadas Fiske och Havsutskott konkluderar i en utredning från 2013 att idag uppnås på den amerikanska marknaden ett 50-100 % högre försäljningspris för kvalitetssäkrad lokal produktion av nischer som coho och steelhead jämfört med traditionellt kassodlad lax. Man bedömer också att med utveckling av certifiering finns det en ytterligare stor expansionspotential för denna typ av produkter. Då det dels finns stora likheter mellan svensk och amerikansk marknad och en generell ökning av ekocertifierad mat i Sverige (men kanske i ännu större grad i Danmark) torde det finnas en liknande potential för miljövänligt producerad fisk i Sverige. Dock har det hittills varit låg efterfrågan på kravmärkt lax i Sverige, medan MSC-märkt vildfisk (Marine Stewardship Council) och fisk från WWFs gröna lista har kommit att dominera marknaden för vildfisk. Försäljning av ekologisk lax har varit framgångsrik i andra EU länder och nu har en grupp som representerar mer än 70 % av världens laxodlare<sup>9</sup> gjort ett frivilligt åtagande om ett miljöprogram som också innehåller ASC-certifiering (Aquaculture Stewardship Council). ASC är odlingens motsvarighet till MSC för vildfisk och har också utvecklats av WWF, baserat på en kontinuerlig uppgradering enligt ”Best practise”. Sammantaget pekar detta på att odlingsbranschen bedömer att miljö och etiska värden kommer bli viktiga konkurrensmedel på en framtida fiskmarknad, i första hand i västvärlden. BIC och dess kompetensutveckling ligger helt i linje med en sådan utveckling.

Idag domineras marknaden för odlad fisk av några få arter. Med en ökad konsumtion finns ett uttalat intresse för odlad fisk av arter som idag huvudsakligen fås från vildfisket (Baumamann & Robertsson, muntligen, 2013). Detta för att bättre kunna svara upp emot marknadens behov av volym, förutsägbara leveranser, storlekssortering och specifika kvaliteter. Det finns redan idag ett uttalat intresse hos ett segment av marknaden att betala bra för just småskaligt och lokalt producerade nischprodukter. Dessutom finns ett behov av stora volymer med förutsägbara leveranser för ”vardagskonsumtion”.

Välbekanta arter för den svenska konsumenten som gös och piggvar har pekats ut av såväl konsumenter, företag och forskare, liksom i utredningar som SOU 2009:26 (Det

---

<sup>9</sup> <http://marineharvest.com/en/CorporateResponsibility/Commitment-to-sustainable-salmon-farming/>

växande vattenbrukslandet) och Mistra<sup>10</sup> (2013) som arter med stor odlingspotential i slutna odlingsystem.

### 3 BIC, FUNKTION OCH ORGANISATION

#### 3.1 UTFORMNING

Utvecklingen av vattenbruk i Sverige har hitintills karakteriserats av enskilda och från andra aktörer separerade initiativ. Detta har inneburit att man inte lärt av andras erfarenhet, ofta själv har låg kunskapsnivå samt inte fört egen lärdom vidare. Syftet med BIC är att skapa ett långsiktigt forsknings- och utvecklingscenter (FoU) för nordiska varmvattensarter i kombination med användandet av överskottsvärme till fiskodling. Detta möjliggör de för framgång nödvändiga avelsprogram, och därmed tryggad tillgång på djurmaterial av högsta kvalitet, samt kunskapsuppbyggnad för rådgivning, stöd och utbildning inom biologisk och teknisk drift, hälsa/smittskydd, välfärd och nutrition.

BIC bör genomföras i tre etappmål (steg I, II och III), där varje steg har ett klart syfte att leda till nästa etapp. Varje enskilt steg skall ha ett självständigt mål som gör att projektet kan avbrytas efter varje deletapp, om arbetet i respektive etapp inte visar på förväntade resultat. Steg I domineras av forskning, och har i och med denna rapports utformning redan startat då ett nätverk mellan de olika intressenterna har börjat byggas upp (tabell 3.1). I steg II utformas en pilotanläggning för avel och yngelproduktion samt teknikutveckling, men som inte är självfinansierande.

Tabell 3.1 Stegvis utveckling av BIC, steg I följer med i både steg II och III

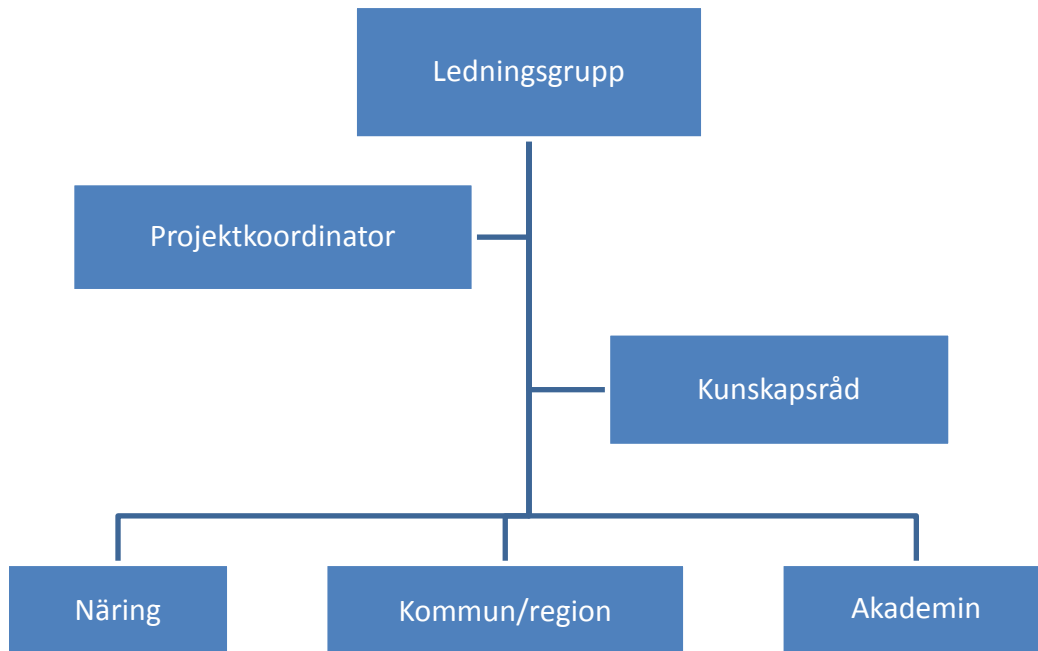
Steg	Stående biomassa (kg)	Årlig produktion (kg)	Huvudsaklig verksamhet
I	100	130	Forskning & undervisning
II	30 000	40 000	Pilotanläggning, avel & yngelproduktion + steg I
III	300 000	400 000	Bärkraftig avel & yngelproduktion + steg I

I steg III byggs en större anläggning och BIC skall vara självfinansierat genom bl.a. avkastning från avelsarbetet och yngelproduktionen samt viss försäljning av konsumtionsfisk inom 5-10 år. Storleken av 200 ton per fokusart är valt utifrån kritisk massa för selektion till avelsprogram, för att skapa ekonomiskt underlag för drift och för att bygga kunskap utifrån kommersiellt gångbara produktionsformer. Forskning,

<sup>10</sup> Background Paper on Aquaculture Research, Mistra 2013-04-09, Authors: Axel Wenblad (Chairman), Sweden, Alfred Jokumsen, Denmark, Unto Eskelinen, Finland, Ole Torrissen, Norway

utveckling och undervisning och kompetensutveckling finns med i alla 3 steg, då det är ett av huvudmålen med BIC. Om steg II är framgångsrikt bör steg III utvecklas som en flytande övergång från steg II.

BIC projektet bör ledas av en lokalt förankrad projektkoordinator, i nära anslutning till ett kunskapsråd som lämpligen består av ämnesexperter från SLU, NMBU<sup>11</sup>, KTH och Lnu (Fig 3.1). Koordinatoren styrs av en ledningsgrupp från SSE-C. Ett nära och integrerat samarbete med OKG, Nova Utbildning, FoU & Affärsutveckling, kommun, region och regionala högskolor som Lnu i kombination med nationella kompetenser som SLU och KTH är en förutsättning för framgång. BIC är ett multidisciplinärt projekt med såväl tekniska, sociala, biologiska som ekonomiska krav.



Figur. 3.1 Organisation av BIC

### 3.1.1 HUR FUNGERAR EN RAS ANLÄGGNING

En allvarlig begränsning med öppna odlingar, som kassodlingar, är att miljöutsläppen är svårkontrollerade och i princip begränsat möjliga att rena. Produktionsformen blir därför

<sup>11</sup> NMBU: Norges Miljø og Biovetenskapliga Universitet, Ås, Norge.

helt beroende av en från miljösynpunkt bra lokalisering, något som är en bristvara i hela Östersjöregionen. Detta i kombination med att även smittskydd är svårkontrollerat i öppna kassar gör att många idag förutser en till kassodlingen parallell utveckling av fiskodling i slutna och landbaserade system, kallade Recirculating Aquaculture Systems (RAS). Dessa system är ofta dyrare i investering och drift, men fördelarna är miljökontroll, arbetsmiljö, skalskydd, smittskydd, foderutnyttjande och möjligheten att utnyttja överskottsvärme för optimerad tillväxt.

Förutom i Norge har akvakultursektorn i övriga Norden haft en sparsam tillväxt. Detta beror bl.a. på skillnader i de naturliga förhållandena, suboptimala temperaturer och hårdare miljökrav. Det är således ett stort intresse, såväl i de Nordiska länderna som utanför dessa, att utveckla RAS för att få ett kostnadseffektivt och miljövänligt alternativ samtidigt som optimala odlingsförhållanden bibehålls. Storskaliga RAS anläggningar finns i Norden för laxsmolt, regnbåge och ål, medan mindre RAS anläggningar finns för t.ex. röding, gös, abborre och stör. Även pilotanläggningar finns för tilapia och hummer, samt planeras för jätteräka. Dessutom sker larv- och yngelproduktion för diverse arter i RAS.

I en RAS anläggning recirkulerar vattnet i bästa fall till mer än 99 % och avfallsämnen (slam) samlas upp; således är miljöbelastningen liten och fullständigt kontrollerbar. Vidare kan smittrisen både från som till vildfisk minimeras. Detta gäller såväl smitta orsakad av patogener som genetisk kontamination (odlad fisk parar sig med vild fisk). Vattenkvaliteten i ett RAS kan anpassas i detalj till den odlade artens optimala behov, vilket ger helt andra möjligheter jämfört med öppna produktionssystem. Det finns otaliga sätt att designa ett RAS. I figur 3.2 visas en schematisk skiss över de olika processerna som syresättning, koldioxidborttagning, desinficering, borttagning av kväveföreningar samt styrning och övervakning av vattenparametrar.

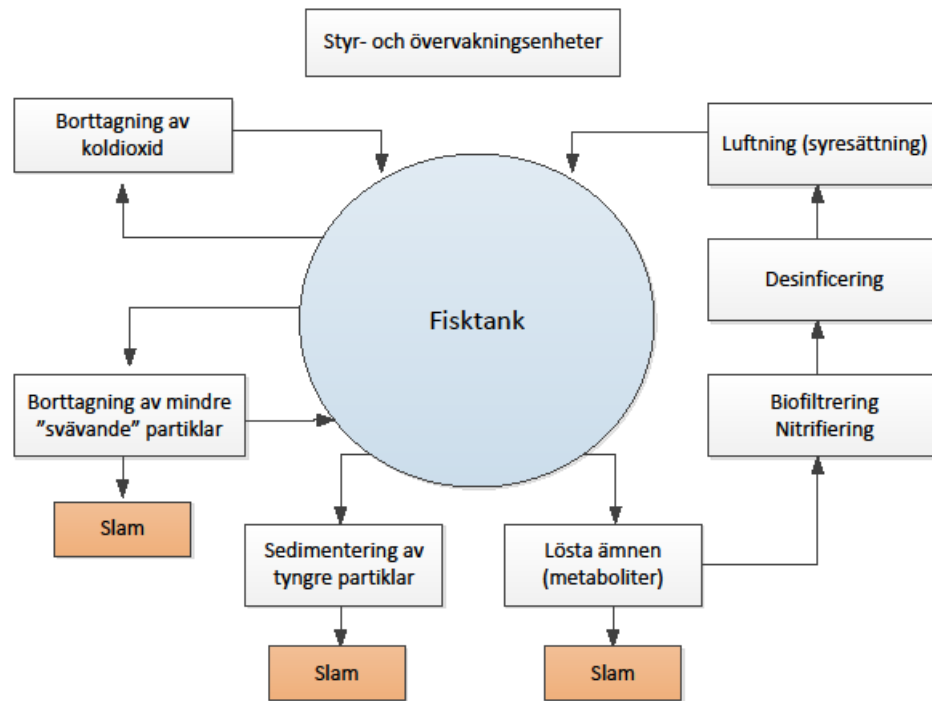


Illustration: M. Langeland

Figur 3.2 Schematisk bild över processer i en RAS anläggning. Notera att processerna kan tas från ett eller flera olika vattenflöden från fisktankarna.

En detaljerad beskrivning av RAS ges i appendix 1, men kortfattad kan processen beskrivas som att vattnet leds från fisktankarna till ett mekaniskt filter, oftast ett trumfilter, där större partiklar avskiljs och slam utvinns. Därefter passerar vattnet ett biofilter där toxisk ammoniak omvandlas till betydligt mindre giftig nitrit/nitrat. Även nitrit/nitrat blir toxiskt vid höga nivåer, därför byts en del av vattnet ut mot färskt vatten (vattenutbyte/blödning). Om för lite vatten byts i systemet, eller speciella tekniska lösningar används, kan man få problem med kvaliteten på fiskköttet i form av bismak (dysmak), ofta orsakat av geosmin eller 2-methylisoborneol (MIB).

#### Fakta bismak

- Fisken smakar ”jord” eller ”dy”
- Ofta orsakat av geosmin eller 2-methylisoborneol (MIB)
- Produceras bla. av cyanobakterier och aktinomycter
- Lagras i fettrik vävnad och tar lång tid att bryta ned
- Drabbad fisk måste gå i rent vatten en tid före slakt för att bryta ned geosmin och MIB
- Problemet kan också minskas med ökat utbyte och/eller ökad desinficering av vatten

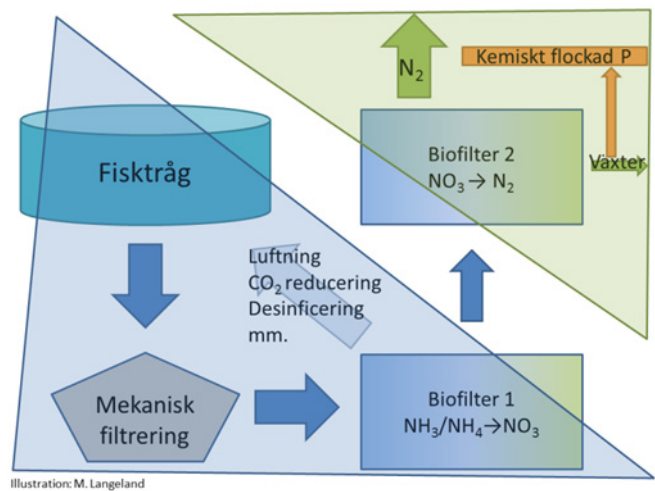
Efter den biologiska omvandlingen av ammoniak till nitrit/nitrat reduceras CO<sub>2</sub> nivån genom att vattnet får passera över en förstorad yta där gasutbyte sker med omgivande luft. Vidare sker desinficering av vattnet genom att det passera ett UV filter, eller i vissa fall genom tillsats av ozon. Beroende på hur stor belastning det är på systemet tillsätts luft eller syrgas. Den första begränsande parametern i ett RAS är mängden löst syre, och ofta den vanligaste orsaken till att fiskar växer sämre och i mer extrema fall dör. För de flesta arter måste mängden löst syre ligga mellan 4-6 mg/l för optimal tillväxt och överlevnad (detta kan jämföras med att lösligheten för syre i vatten vid 20°C är närmare 9 mg/l). Vid en biomassa på upp till 45 kg/m<sup>3</sup> räcker det att tillföra luft, men vid högre belastning måste syrgas tillföras. Det finns flera olika tekniska lösningar på hur luft eller syrgas kan tillföras systemet.

Slammet som fås från reningsprocessen innehåller normalt av 0,1-1 % TS (torrsubstans), ibland upp till 5 %, beroende på vilken typ av filter man använder. För användning av slammet i fortsatta processer måste TS-halten ökas, och det finns ett antal olika tekniska lösningar för att avlägsna vattnet, t.ex. filterpressar, centrifuger eller torkning. Slam från RAS skiljer sig från slam från kommunala reningsverk, både i innehåll och fysiska egenskaper. Detta gör att slammet måste hanteras annorlunda, och har andra användningsområden inom t.ex. matproduktion. Om slammet skall förvaras kan det ske antingen med luft (kompostering) eller lufttätt (rötning). För att inaktivera ev. patogena mikroorganismer kan torr eller blöt kompostering ske eller genom tillsats av kalk för att höja pH-värdet. Slammet kan med fördel spridas som naturgödsel på åkrar. Mer om slam och dess hantering finns att läsa i Appendix 2 (engelska).

### 3.1.2 UTÖKNING AV RAS – RECIRKULERING AV NÄRSALTER

Våra estimeringar visar att med mekanisk filtrering tillsammans med biofilter kan fosfor- och kväveläckaget till omgivningen reduceras med mer än 60 respektive 30 %. Det är möjligt att minska läckaget ytterligare genom att addera ett denitrifieringssteg till ett RAS med partiell rening (P-RAS). Detta, som vi kallar total RAS (T-RAS), innebär att kväveföreningar omvandlas till luftkväve, vilket gör att om det kombineras med fosforfällning reducerar utsläppet ytterligare. Fosfor fångas genom kemisk flockning, vilket innebär att fosfor binder starkt till flockulanten och blir på så sätt svåråtkomlig. I Fig 3.3 visas schematisk bild över denna process, som är under utveckling på Danmarks Tekniska Universitets (DTU) försöksanläggning i Hirtshals. Denna process är för övrigt mycket lik den vi idag har på de flesta kommunala reningsverk. Dock mister vi i detta system möjligheten att återvinna kväve och fosfor som värdefulla komponenter för biologisk produktion. Därför ser vi detta system som ett utvecklingssteg på väg mot att vända begreppet vattenrening till begreppet näringsfångst, eller sekundär produktion.

Faktum är att såväl slam som de lösta näringsämnena från en fiskodling är av livsmedelskvalitet, så länge de inte kontamineras av annat avfall. Detta i motsats till slammet från våra kommunala avloppssystem där avfallsvatten från flera olika källor blandas. Om man kan kombinera odling och skörd av organiska föreningar inom samma system, kan man här skapa ett kretsloppssystem där näringsämnena behålls inom matproduktionen.



Figur 3.3 RAS med partiell rening (P-RAS) i den högra delen av figuren, och RAS med total rening (T-RAS) i den vänstra.

Man kan även betrakta N-RAS som ett betydligt större begrepp som innefattar traditionella extensiva produktionsformer med tusenårig historia från Sydostasiens och Kinas integrerade odlingssystem som t.ex. akvaponi<sup>12</sup>, till mer intensiva tekniker som beskrivs ovan i Fig. 2.1, som om det innefattar växtproduktion faller under begreppet akvaponi. Akvaponi finner vi därför både i mer traditionellt extensiva former, och sorteras då ofta under begreppet integrerade (sammansatta) system, men också i mer moderna/intensiva former, och har då tillsammans med andra metoder som alger, biogas, bioprotein, för utnyttjande av överskottsnäring, sortera under begreppet N-RAS. . Gemensamt är att de alla är multitrofa, dvs. odlingen av fisk kombineras med andra organismer, som alger, jäst, bakterier, växter, musslor eller skaldjur, som absorberar organiska och oorganiska utsläpp från fiskodlingen. I de mer moderna och intensiva varianterna av akvaponi passerar vattnet från odlingen först ett partikelfilter och sen ett biologiskt filter för mikrobiell omvandling av ammoniak till nitrat/nitrit, som i sin tur kan tas upp av växter, varefter det renade vattnet återgår till fisktrågen. N-RAS kan också kombineras med bioflock, där man har mikroorganismer också i fiskens 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 klumpade flockar av mikroorganismer (därav namnet bioflock). Arter aktuella för detta system, t.ex. tilapia och jätteräka, är välbekanta för den svenska marknaden.

<sup>12</sup>Akvaponi innebär kombination av akvakultur och hydrokultur/växtodling.

### 3.1.3 FODER I RAS – NYA MÖJLIGHETER

Den enskilt största kostnaden i en fiskodling, förutom investeringskostnaderna, är foder, som utgör ca 50-60% av produktionskostnaderna i en modern kassodling och nästan lika mycket i ett RAS. Idag är det ökade priset för foderråvaror den starkast kostnadsdrivande faktorn., t.ex. har priset på fiskmjöl under de senaste tre åren ökat från 1000 euro per ton till 1800 euro per ton.

Utfodring i RAS skiljer sig något från utfodring i öppna system. I RAS vill man använda pellets med lite andra fysiska egenskaper, t.ex. högre flytförmåga. Dessutom kan effekterna av en eventuell överutfodring bli mer drastiska eftersom vattenkvaliteten hastigt kan försämrans. I RAS blir foderförbrukningen lägre, dvs. en effektivare foderomvandlingsförmåga, och det är lättare att undvika överutfodring i den kontrollerade miljön. Vidare ger RAS möjlighet att använda nya typer av utfodring, speciellt i kombination med en överskottsvärmekälla.

En ny typ av proteinfodermedel men även lipidfodermedel, mikroorganismer, har rönt stort intresse de senare åren. Många typer av mikroorganismer har ett högt proteininnehåll, och 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. 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, se mer i Appendix 3 och 4, samt kap. 3.2. Ytterligare en utveckling av detta skulle vara att odla mikroalger i näringsflödet från fisktankarna. Mikroalgerna blir sedan föda åt hjuldjur som används som foder till fiskyngel och -larver. Mikroalger har ett högt proteininnehåll och höga halter av omega-3 och -6. I ett senare skede skulle även algbiomassa kunna skördas och torkas för att användas som proteinfodermedel och källa till essentiella fettsyror i torrfoder till större fiskar. För vidare information se Appendix 3 och 4.

### 3.1.4 FISKARTER I BIC

Det finns ett antal inhemska arter som trivs bäst i lite högre temperaturer, är väl kända på den nordiska och europeiska konsumtionsmarknaden och betingar ett högt pris. De arter med stor potential att inom en nära framtid bli kommersiellt gångbara i ett svenskt vattenbruk är gös, piggvar och abborre. De har samtliga små ägg och har därför i tillägg till yngelstadiet, ett larvstadium som kräver en teknisk anpassning och

specialistkunnande. Detta jämfört med laxfiskarna som har stora ägg och ynglet, redan vid startutfodring, har en färdig anatomi inklusive matsmältningsorganen.

Produktionscykeln för piggvar är känd och produktionssystem finns redan, därmed inte sagt att de är färdigutvecklade. För gös har de första systemen börjat utvecklas och skulle bara kräva smärre justeringar för att anpassas till lokala förhållanden på BIC, då arten är relativt känd. För abborre behärskas produktionscykeln sämre och teknik för odling behöver utvecklas vidare för de här tänkta förhållandena. Piggvar har odlats länge i södra Europa medan gös nu börjar odlas kommersiellt av danska AquaPri AS, med en planerad framtida årlig produktion om 500 ton. I Sverige finns det i dagsläget en mindre pilotanläggning för framförallt gös, men även abborre, på Ljusterö, Stockholm (Svensk Fiskodling AB), samt några mindre odlingar med slutna kassar för abborre i St Anna skärgård (St. Anna Fisk AB).

Man kan också tänka sig att även inkludera mer tropiska arter, som jätteräka och tilapia. Idag finns större slutna produktionssystem för tilapia både utanför Reykjavík, Island (med geotermin värme) och utanför Toronto i Kanada. I en förlängning skulle även andra arter som stör, siklöja med flera inhemska arter, kunna innefattas i BIC.

Med stöd av ovanstående anser vi att en satsning mot gös och piggvar rekommenderas för BIC, i ett första skede. Vi rekommenderar gös framför abborre baserat på följande kriterier:

- Reproduktion är bättre känd hos gös.
- Det finns ett uttalat nordiskt intresse för samarbete runt avel och genetiskt utbyte mellan olika domesticerade stammar hos gös.
- Det finns redan en väl inarbetad marknad i Sverige för vild gös, samt kommersiell odling i vårt närområde.
- Gösen har betydligt högre filéutbyte än abborre men samma foderkonvertering, vilket gör att man behöver högre ekonomiska marginaler för abborre än för gös.

Detaljerad information om piggvar och gös finns i appendix 4. Mer information om dessa och andra arter, produktion, produktionssystem, utredningar mm. finns sammanställt av FAO<sup>13</sup>.

### 3.1.5 AVEL OCH YNGELPRODUKTION

Avels- och förädlingsprogram inom djur- och växtproduktion har utvecklats och tillämpats under tusentals år. Effekterna har lett till en enorm ökning i produktion,

---

<sup>13</sup> [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Sander\\_luciperca/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Sander_luciperca/en) och [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Psetta\\_maxima/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Psetta_maxima/en).

kvalitet, miljöförbättring och djurvälstånd. Idag finns det nästan ingen produktionsform som är baserad på opåverkade, vilda djur eller växter, förutom inom delar av vattenbruket. Detta kan delvis förklaras med att vattenbruk länge bedrivits extensivt och i denna produktionsform är det svårare att kontrollera och styra avelsarbetet. Dels saknar vi helt enkelt kunskap om flera arters reproduktion, så odlingen måste därför utgå ifrån vildfångade yngel. Dessutom kommer nya arter hela tiden in i produktion och något avelsarbete hinner inte startas. Idag odlas ca 250 arter i världen. En vanlig uppfattning är att avelsarbetet kan starta när alla andra problemen har lösts. Men framgång i en fiskodling fås bara om man kan kombinera en bra affärsplan och finansiering, rätt produktionssystem, teknik, skötsel och utfodring samt fisk som är genetiskt lämplig för produktionssystemet. I alla produktionssystem, och ännu tydligare när man använder vilda populationer, kommer vissa genotyper att anpassa sig bättre till odlingsmiljön och andra sämre. Val av genotyp, och utveckling av denna från olika vilda stammar är därför väldigt viktigt i steg I. När detta fungerar tillfredställande går avelsarbetet vidare med en kombination av egenskaper för tillväxt, sjukdomsresistens (robustness) och kvalitetskriterier. Till exempel så har fisken i såväl det svenska avelsarbetet för röding som det norska för lax och regnbåge fått ca 7 % ökad tillväxt per generation, samtidigt som tidig könsmodning är nästan borta, fisken har för marknaden attraktiv form och pigmentering.

I det norska avelsarbetet premieras nu sjukdomsresistens framför ökad tillväxt. Alla Norska avelsprogram är idag globala vinstdrivande företag, medan det svenska röding programmet är i utveckling från en statsstödd verksamhet till en kommersiellt gångbar produkt. Idag är en svensk rödingsodlare beroende av denna fisk för en konkurrens kraftig produktion.

Med ett avelsarbete på nya arter kan man förvänta sig en ökad och jämnare tillväxt, förskjuten könsmodning, förbättrad hälsa, mindre aggressivitet och höjd livsmedelskvalitet. Detta har man, som sagt, visat både i norskt laxavelsprogram, och inom det svenska avelsprogrammet på röding där man utvecklat ”Arctic superior” som är en röding anpassad för svenskt vattenbruk.

Romhantering och utfodring av yngel skiljer sig dock för både piggvar och gös jämfört med laxfiskar, som har betydligt större romkorn och med yngel som direkt äter torrfoder. Nykläckta larver från gös och piggvar från dag tre, start-utfodras med levandefoder vilket ofta består av zooplankton, som föds upp på mikroalger och andra mikroorganismer. Larver från piggvar är mindre än göslarver, och ges först rotarier (hjuldjur) innan de kan erbjudas nykläckt artemia (ett slags kräftdjur), som göslarverna får direkt vid start.

Ett egentligt avelsprogram saknas dock för både piggvar och gös, vilket innebär att odling sker med biologiskt suboptimala djurmaterial. Ett yngelcenter för piggvar finns i Danmark, som kan leverera yngel redan idag. De har uttryckt stort intresse att delta i ett Nordiskt samarbete, liksom AquaPri AS med gös, vilket innebär möjligheter till genetiskt utbyte. Likaså har finska kolleger inom det statliga avelsarbetet för fisk uttryckt samma intresse. Även för piggvar finns det yngel att tillgå från Norge och från Spanien, men också här utan systematiskt avelsutveckling. Piggvar från Östersjön har under många tusen år utvecklat tolerans för brackvatten (låg salthalt). All övrig produktion av piggvar i Europa sker i havsmiljö. En viktig fråga under BIC steg I och II är om piggvar måste utvärderas som ett eget avelsprogram för östersjöpopulationen, eller om ett mer direkt samarbete med befintliga kläckerier för Atlantiska saltvattenspopulationer kan utvecklas. Detta beror på om ynglen från saltvattenspopulationen visar sig tolerera bräckvatten, och om det finns en marknadsnisch för en östersjövariant. Utvecklingen av en för BIC unik lokal stam av piggvar kan innebära både mer arbete och resurser, men också unika marknadsfördelar.

För mer information om utfodring av larver och dess utveckling se appendix 5 och FAO<sup>14</sup>.

## 3.2 FUNKTION

### 3.2.1 ÖVERGRIPANDE MÅL

Med BIC vill vi på ett sätt som inte gjorts tidigare integrera en modern RAS anläggning med överskottsvärme för att utveckla ett hitintills unikt, integrerat multitroft produktionssystem som är ekonomiskt och miljömässigt hållbart, samt genererar produkter av hög kvalitet d.v.s. yngel och konsumtionsfisk. I ett multitroft system kombineras odling av flera olika arter som helt eller delvis kan tillgodogöra sig rester från annan en av systemets andra arter. Således kan rester i form av avföring eller metabola processer som koldioxid, syre eller kväveföreningar, eller helt enkelt foderspill, nyttjas av en annan art. Produktion av konsumtionsfisk är inget primärt mål för BIC, men avelsbestånden kommer generera en del vuxen fisk som ej skall ingå i vidare avel och därmed kan säljas för humankonsumtion. I BIC steg II och III kommer utbildning och kompetensutveckling kunna starta. Både utbildning på högre nivå (högskole) inklusive experimentell sådan, och mer praktiskt inriktad utbildning och kompetensutveckling av entreprenörer planeras. Framförallt det senare har visat sig väldigt aktuellt då en workshop för gösproduktion i RAS, vid Institute of Inland Fisheries Potsdam-Sacrow,

---

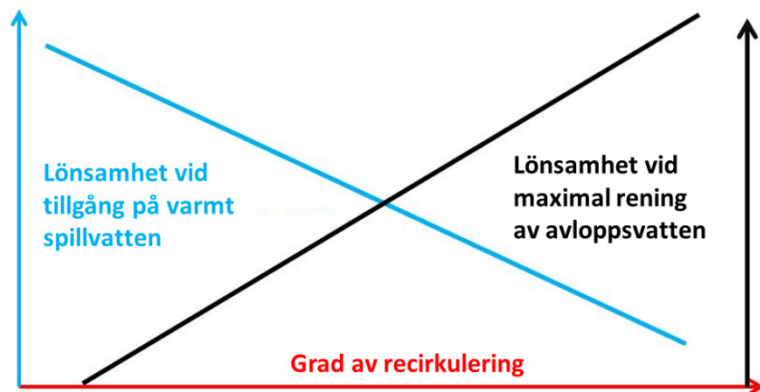
<sup>14</sup>[http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Sander\\_lucioperca/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Sander_lucioperca/en) och [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Psetta\\_maxima/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Psetta_maxima/en)

Tyskland, som hålls en gång per år under gösens leksäsong haft maximalt antal deltagare årligen. Likaså hölls en kurs i RAS i samband med "Nordic RAS" möte i Hirthals 2013, och även denna fick maximalt antal deltagare. Således finns ett stort intresse för praktisk utbildning i Sverige och norra Europa. Även om produktion av matfisk inte är ett självändamål för BIC så ger försäljning av från avelspopulationen utsorterad fisk möjligheten att garantera BICs drifts ekonomi och avsättningar till kontinuerlig uppgradering och möjligen även en smärre forskningsfond. Interna forskningsmedel skulle ge fördelen att garantera en kvalitativt avancerad FoU till BIC och kunna delta som egen partner i större forskningsprojekt på nationell och EU nivå.

### 3.2.2 VINST AV ÖVERSKOTTSVÄRME SAMT UTVECKLING AV MULTITROFT SYSTEM

En avgörande fråga att besvara är huruvida en tillräckligt hög vattenkvalitet kan skapas till en rimlig investeringskostnad, så att vi kan garantera en produkt av högsta livsmedelskvalitet, dvs. utan bismaker. BIC steg III skall inte bara kunna täcka sina driftskostnader utan även generera en vinst för att garantera en kontinuerlig kompetensutveckling och uppgradering av systemet i takt med omvärldens teknikutveckling. Denna optimering kan mycket enkelt illustreras som i Fig 3.4. Förtjänsten består delvis i försäljning av den fisk som inte behöver sparas för avelsprogrammen och avyttras för konsumtion. Därför är slutkvalitet som livsmedel en helt avgörande faktor.

Vi arbetar i vår modellering med 100, 50 och 5 % vattenutbyte per dygn för att skapa nödvändig kunskapsbas för olika scenarier beroende på platsspecifika förutsättningar för kommersiella produktionsanläggningar.

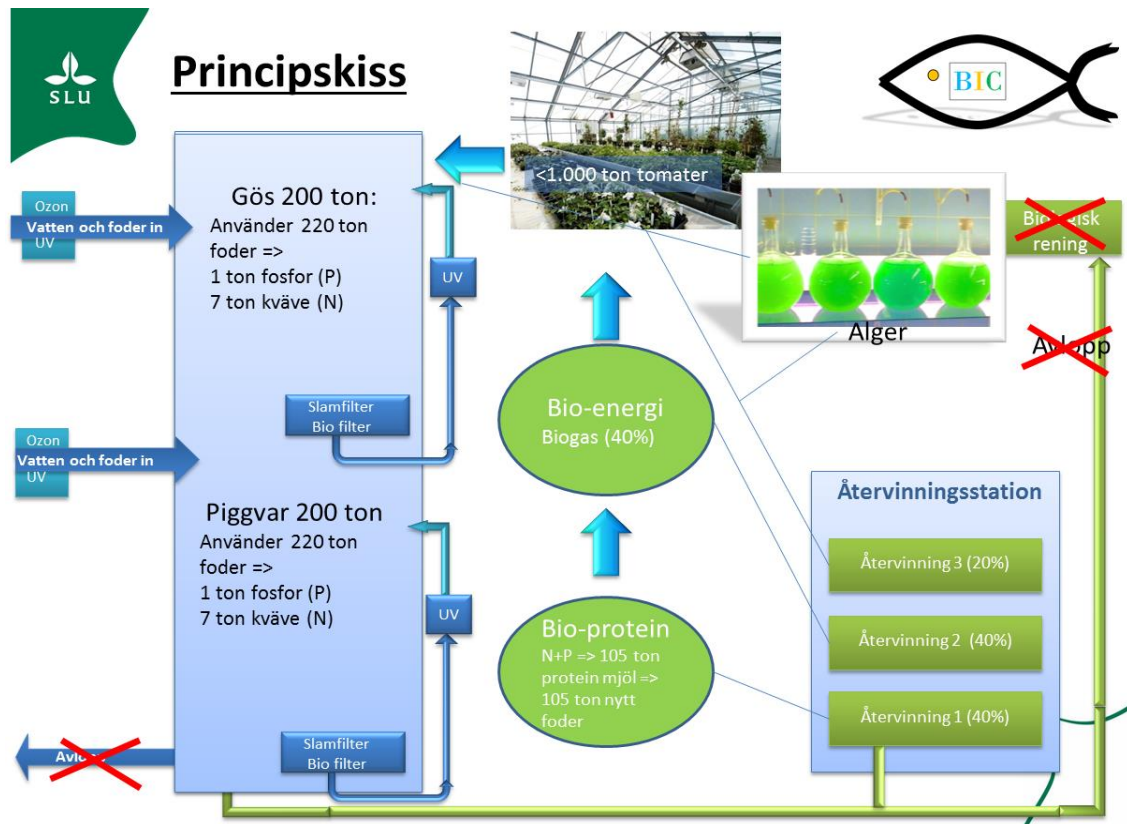


Figur 3.4 Lönsamhet vid tillgång på överskotts värme kontra recirkulering/avblödning. Vid hög tillgång överskottsvärme minskar vinsten med hög recirkuleringsgrad och tvärtom.

Detta dels för att säkra den organoleptiska (smakmässiga) kvalitet på fisken som livsmedel och dels för att kunna testa olika recirkulations- och värmelösningar utan kontinuerligt krav om maximal värmeeffektivitet i BIC. Till exempel finns det indikationer från marknaden som pekar på att den gös som är producerad i RAS (fr.a. Danmark) och säljs i Sverige upplevs ha bismaker, jämfört med vildfångad gös eller gös producerad i den mindre anläggningen på Ljusterö med högre avblödning. Därför kommer BIC, i takt med att produktionssystemet (T-RAS och N-RAS) utvecklas och optimeras, initialt ha ett högre värmebehov pga. att ibland behövs större vattenutbytet för olika experimentella situationer.

Vid BIC vill vi dels utveckla ett högteknologiskt RAS, av karaktären P-RAS, T-RAS, och N-RAS för att erhålla kunskaper att förmedla och visa för de framtida entreprenörer som tänker sig investera i olika system. Bortsett från hantering av slam och effektiv borttagning av kväve-föreningar är det mesta av tekniken i dagens kommersiella RAS känt, men stora kunskapsluckor finns för RAS i kombination med överskottsvärme och multitrofa system. Likaså finns det många biologiska frågeställningar, fr.a. med införandet av nya arter, som att identifiera biologiska krav, bi-smak, avelsmaterial, yngelproduktion, alla som måste besvaras för att ge ett för entreprenörer nödvändigt stöd.

För att i ett utvecklingsarbete gå från vattenrening till skörd (N-RAS) av näringsämnen, är ett av målen med BIC II, d.v.s. att utveckla multitrofa system. I figur 3.5 visas funktionen av möjliga scenarier för olika framtida lösningar, där BIC kommer fungera som ett kompetensstöd i utvecklingen. Utökad biologisk produktion i vatten är ett mycket intressant alternativ för att utnyttja överskottsvärme. Detta då biologisk produktion för många arter, och då speciellt inom växt, mikrobiell och fisk/skaldjur, är till stor del styrd av omgivande temperatur inom intervallet 15-40°C.



Figur 3.5 Principskiss över hur ett integrerat multitroft system (N-RAS) kan utvecklas i BIC. (Illustration A. Kiessling)

Förutsatt att systemen utvecklade i steg II, högteknologiskt T-RAS och N-RAS i kombination med överskottsvärme, uppfyller målen utvecklas i steg III ett system anpassat till större volymer av fisk och vatten. Det innebär en utökad fångst och återanvändning av närsalter, och därmed en betydligt högre recirkuleringsgrad och lägre vattenutbyte. Dock är det viktigt att komma ihåg för en pilotanläggning av BICs typ, att även om vi teoretiskt idag kan förutsäga att systemet kommer kunna öka recirkuleringsgrad betydligt så är det från FoUs sida av stor betydelse att man inte alltid tvingas till detta av ekonomiska skäl. Med andra ord tillgång till en stor restvärmekälla ger inte bara ökad ekonomisk stabilitet men kan tillåta en experimentell design inte hämmas av att man i alla behandlingar måste spara energi i form av uppvärmning.

En viktig fråga för BIC att besvara är hur stor den ekonomiska vinningen av att integrera RAS, i olika utformningar, med överskottsvärme blir. En estimering över effektåtgång för olika processer i en 100 tons (2000 m<sup>2</sup>) produktion, med 15°C vatten, ges i tabell 3.2.

Tabell 3.2 Grov uppskattning för el- och värmeförbrukning i 100 ton RAS-anläggning

Aktivitet	Prestanda	Effekt
Pumpning	3,8 m <sup>3</sup> /min, 5,8 hk	4,4 kW
Syresättning		12 kW
CO <sub>2</sub> stripping		37 kW
Trumfilter	20 m <sup>3</sup> /h	4 kW
UV-C filter		1 kW
Ozon	239 g/h	3,3 kW
Värmeproduktion	Temperatur: 15°C R-värde (byggnad): 1,67 Besparing från värmepump: 50 % Yttertemperatur: 5°C-20°C	< 30 kWh

### 3.2.3 AVELSPROGRAM

För att säkerställa tillhandahållandet av friska larver för den lokala produktionen och, i ett senare skede den expanderande svenska vattenbruksnäringen, är ett av målen med BIC att upprätta en avelsbas för yngelproduktion, för både gös och piggvar. Denna avelsbas kommer också att utgöra utgångspunkten för de egna avelsprogrammen för de båda arterna.

För att upprätta ett selektivt avelsprogram måste vi först ha ett friskt och hälsosamt avelsbestånd, med en bred genetisk bas. Därefter måste vi fastställa avelsmål för de aktuella arterna: vilka är de viktigaste egenskaper som vi måste selektera för? Vi måste uppskatta arvbarheter och korrelationer av egenskaperna i avelsmålen. Detta är ett avgörande steg som kräver: 1) identifiering av fisk, 2) mätningar av de relevanta egenskaperna på fisken och 3) kunskap om familjeförhållandena inom kandidaterna. Nedan presenteras designen av ett avelsprogram. Den design som vi föreslår för de initiala stegen i avelsprogrammen i detta projekt är robusta och välbeprövade. Längre fram i avelsarbetet kan mer detaljerade och sofistikerade metoder för selektion användas.

I avelsprogrammet för gös samlas grunden till avelspopulationen från ägg för bättre hälsokontroll. Dessa tas från Hjälmaran, Hylte bruk och Svensk GöS AB som kläcker, och efter cirka ett år samlas en grupp enhetliga fiskar med hög tillväxt och hälsostatus in, för att skapa grunden till avelspopulationen. Specifika avelsmål för gös är att reducera kannibalism och jaktbeteende genom att selektera för mer lugna och "sociala" fiskar, detta kan fås genom att välja grupper där flera individer når konsumtionsstorlek (1 kg) och en enhetlig kroppsvikt.

I avelsprogrammet för östersjö-piggvar är det viktigt att avla fram fiskar som anpassar sig till en lägre salthalt. Det initiala avelsmaterialet tas således från Östersjön, där denna

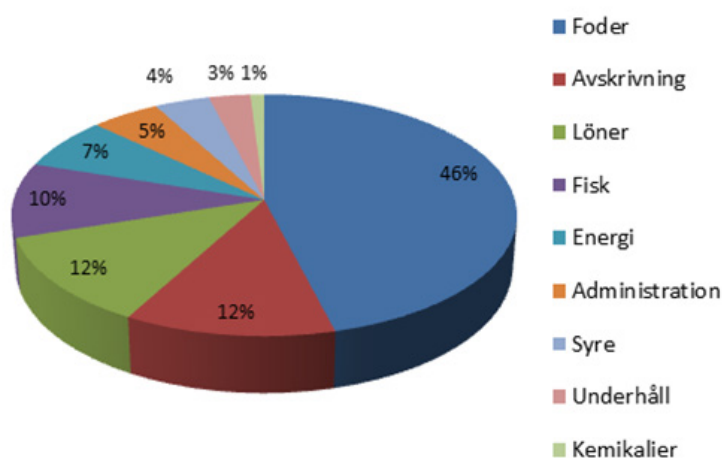
anpassning hos fisken redan skett. Avelsarbetet på piggvar startar efter att en bra produktionsform tagits fram, runt två år efter avelsprogrammet för gös startat.

Med förväntade lekcykler om cirka 4-5 år, kan resurserna växla mellan de båda arterna genom synkronisering av lek vid olika årstider. En nyckelfråga i avelsprogrammet för piggvar är att få in ett brett avelsmaterial utan att kontaminera materialet med sjukdomar från den marina miljön.

Vidare detaljer kring avelsprogrammen finns i appendix 6 (engelska).

### 3.3 EKONOMISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

Flera rapporter pekar på att investeringskostnaden för en modern RAS kan uppskattas till cirka 76 kr/kg producerad fisk (8,55 €/kg), men förhållandevis stor variation (Tabell 3.3). Investeringskostnaden för en 1000 tons RAS för lax har rapporterats till så lågt som 50 kr/kg. Schablonvärdet 90 kr/kg producerad fisk använts i de överslagsmässiga kalkyler som presenteras i avsnitt 3.3 och som gäller produktionskapaciteter i skalan 60-300 ton produktion/år. Vid större produktion sjunker investeringskostnaden per mängd producerad fisk. Vidare bör det tas i beaktande att investeringskostnaden för RAS-anläggningar kan förväntas sjunka i takt med att systemen byggs ut i världen. En tumregel inom andra teknikområden är att produktionskostnaden minskar med en konstant andel när den kumulativa produktionen fördubblas. Det bör undersökas närmare om detta också gäller för RAS. Driftskostnaden för flera kommersiella RAS redovisas i tabell 3.3, och ligger i genomsnitt på 42 kr/kg producerad fisk (4,72 €/kg). Den typiska fördelningen över driftskostnaderna i ett RAS för kallvattensfisk redovisas i Figur 3.6.



Figur 3.6 Vanlig fördelning över driftskostnaderna i ett RAS för kallvattensfisk.

Värmebehovet för RAS med en temperatur på >5°C och ett vattenutbyte om en liter/kg fisk/dygn (15°C vatten) har rapporterats till 5 kWh/kg fisk. Elförbrukningen har skattats av Wright & Arianopp (2010)<sup>15</sup> för en 1000 tons RAS för lax, till 7-11 kWh/kg producerat fisk. Men lägre värden (1,8-3 kWh/kg produktion) har rapporterats från moderna s.k. ”low head” anläggningar konstruerade av Timmons Engineering and AquaMaof Technologies. Vi uppskattar det totala energibehovet för BIC, med ett 50 % vattenutbyte/dygn, en produktionscykel om 1,3 år och med en temperatur i odlingsvattnet >20°C till ca 10 kWh/kg producerat fisk. Detta behov kan antingen öka eller minska beroende dels på byggnadens isolering och transportsträckor för det uppvärmda vattnet, men även beroende på ventilering. En direkt ventilering är tekniskt okomplicerad, billig i drift och billig att installera, men kräver mer i värmeförluster. Å andra sidan om steg II kan kombineras med växthusproduktion för hortikultur/alger, kan koldioxid-rik luft från fiskodlingen transporteras till växthuset där den syresätts och bubblas ned i fisktrågen.

Tabell 3.3 Rapporterade investerings- och driftskostnader för kommersiella RAS

<b>Investeringskostnad</b>				
Referens	Kostnad (€/kg)	Produktion (ton)	Slaktvikt (kg)	Art
Aqua Advance AS	7,75	1000	1	lax
Aqua Biotech	9,00	60	0,5	abborre
Hyllander & Svanholm	10,00	300	0,5	tilapia
Wright & Arianpoo	8,30	100	5	lax
Wright & Arianpoo	7,70	1000	5	lax
<i>Muller-Belecke<sup>1</sup></i>	<i>29,00</i>	<i>100</i>	<i>1</i>	<i>gös</i>
<b>Medel (utan M-B)</b>	<b>8,55</b>			
<b>Driftskostnad (inkl. avskrivningar)</b>				
Aqua Advance AS	2,70	1000	1	lax
Aqua Biotech	7,80	60	0,5	abborre
Hyllander & Svanholm	1,60	300	0,5	tilapia
Wright & Arianpoo	4,20	100	5	lax
Wright & Arianpoo	5,30	1000	5	lax
<i>Muller-Belecke<sup>1</sup></i>	<i>9,40</i>	<i>100</i>	<i>1</i>	<i>gös</i>
<b>Medel (utan M-B)</b>	<b>4,72</b>			

<sup>1</sup> A. Müller-Belecke, Inst. of Inland Fisheries, Potsdam-Sacrow. Presentation vid European Percid Fish Culture workshop, Prag, 2012. Ingen kommersiell anläggning.

Investeringskostnaden (Tabell 3.4) för BIC steg I uppskattas till 5-10 mnkr, men kan befintlig infrastruktur användas minskar kostnaden till ner mot 1 mnkr. Det finns i dagsläget några pilotanläggningar och forskningslaboratorium som skulle kunna anpassas

<sup>15</sup> Technologies for Viable Salmon Aquaculture. An Examination of Land-Based Closed Containment Aquaculture. ([http://www.saveoursalmon.ca/solutions/closed\\_containment/](http://www.saveoursalmon.ca/solutions/closed_containment/)).

till verksamheten i steg I. Investerings- och driftskostnaden för steg II beräknas till 14-18 mnkr respektive 4 mnkr, och för steg III till 50-70 mnkr respektive 12-20 mnkr. Investeringskostnaden är exklusive ev. nyinvesteringsbidrag från EU (20-50%). De beräknade investerings- och driftskostnaderna för BIC högre än de rapporterade i tabell 3.3, beroende på att BIC inte är en kommersiell anläggning. Till BIC kommer, undervisningslokal, mindre laboratorium, avel och yngelanläggning m.m. med ökade personalkostnader.

Tabell 3.4 Uppskattade investerings och driftskostnader för BIC i olika steg

Steg	Investeringskostnad (mnkr)	Driftskostnad (mnkr)
I	5-10	-
II	14-18	4
III	50-70	12-20

Finansiering av de tre stegen för BIC ser olika ut. För steg I, med stark forskningsanknytning och begränsningar till enskilda forskningsfrågor rekommenderar vi traditionella forskningsansökningar till nationella forskningsråd och stiftelser, eventuellt kompletterade med ansökningar till EUs FoU. Detta förutsätter att man kan skapa en fungerande försöksarena inom befintlig infrastruktur vid universitet och/eller befintliga pilotanläggningar. För steg II ser vi en samfinansiering mellan statliga och privata forskningsfinansiärer, t.ex. av Vinnova i kombination med EUs Fiskeri och Landsbyggs fonder och sedvanlig nationell medfinansiering. Här finns också regionala EU fonder att beakta. Finansiering måste ske för dels infrastruktur dels för arbete mot steg III. Nationell medfinansiering kan vara i "cash or kind", men bör vara en kombination. Dessa kan naturligtvis ligga som internprojekt såväl för kommun, region som industri, men också från nationella myndigheter som jordbruksverket (t.ex. Matlandet) och enskilda satsningar från ett departement. Vi föreslår enskilda forskargrupper som projektägare i steg I men i steg II borde t.ex. SSE-C tillsammans med VCO kunna fungera som sammanhållande paraply. För steg III måste näringen involveras tillsammans med nationella och regionala satsningar (se nedan).

Steg III bör investering finansieras på en kombination av strategiska statliga/regionala/EU investerings och industrimedel och sikta på en självförsörjning där investeringen är avskrivnen på 10-15 år. All erfarenhet från liknande stationer som BIC steg III, indikerar att långsiktig drift, utanför marknadsekonomi är svårt och man tenderar ofta att hamna i ett statligt bidragsberoende. BIC steg II är däremot för litet för marknadsekonomi och om det fortsatta arbetet visar att det inte blir ett slutgiltigt steg, så

måste man räkna med att steg I långsiktigt kommer vara beroende av externa forskningsprojekt och regionalt stöd för sin drift. BIC steg I, är helt bidragsberoende, men torde inte ha svårt att attrahera nödvändiga medel för en långsiktig drift om man redan i planeringen tar hänsyn till ett sådant utfall och kan utnyttja befintlig infrastruktur. För BIC steg III bör 50 % av vinst avsättas till forskningsfond och resterande 50 % låses till uppgraderingar av forsknings och produktionsfaciliteter. Cirka 10 forskare kommer vara fast anslutna till verksamheten (finansieras via universitet, forskningsfond och egenandel) när fullt utvecklad. Inom den kommersiella delen är industri schablonen för RAS att 50 ton kommersiell produktion ger ett årsverke och 3-4 årsverke i nästa led. Det vill säga med en produktion om 400 ton ger det 8 anställda i första ledet (på BIC steg III) och 32 årsverke i andra led.

### 3.4 BIC SOM MOTOR I NÄRINGS- OCH LIVSUTVECKLING

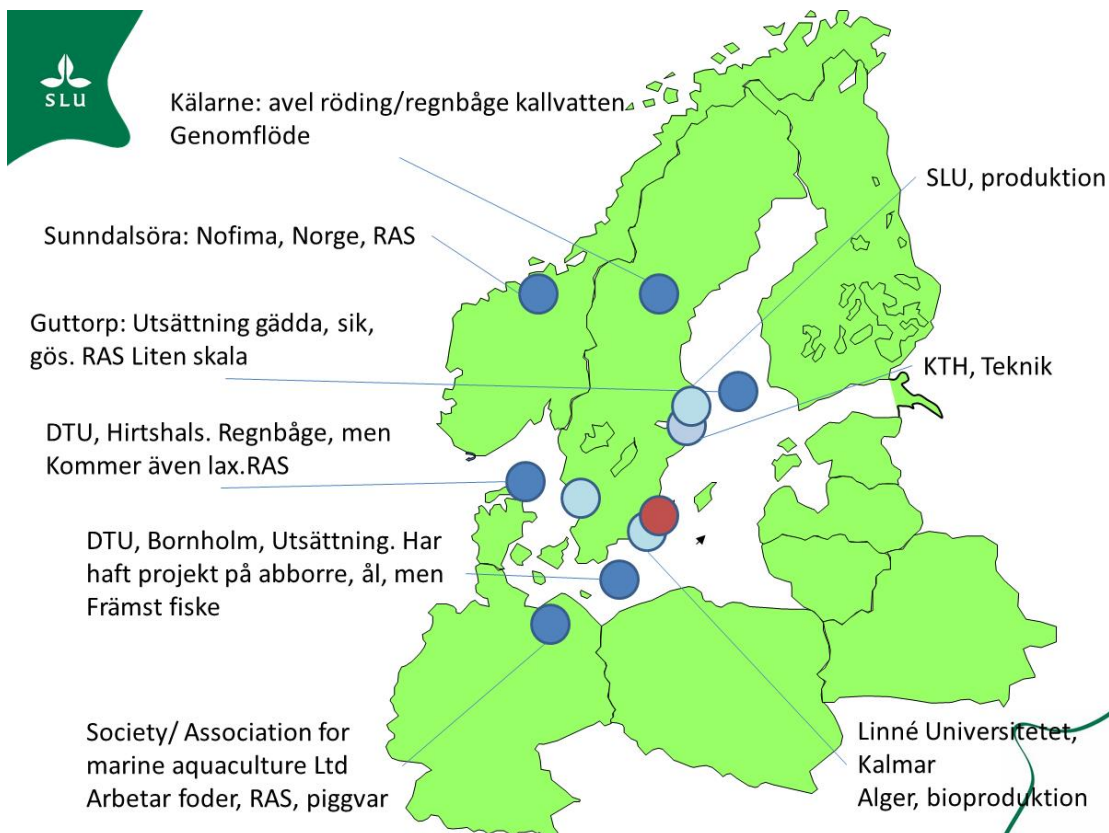
I slutna odling räknar man idag med ett nyckeltal om ett arbetstillfälle per 50 ton odling (Aquaplan-NIVA, Norge). Detta beror naturligtvis på odlingens storlek där en större odling har möjlighet att strukturrationalisera och producera mer fisk per anställd. Extremfallet finner vi i Norges kassodling där det finns exempel på upp emot 1000 tons produktion per anställd och år, medan den största odlingen i Sverige ligger på över 200 ton per anställd. Detta gäller kassodlingar där produkten är antingen levande fisk (norska exemplet) eller strupskuren fisk (svenska exemplet). Snittet per anställd i Norge för produktion av levande fisk är ca 300 ton (FAO, 2012). Slutna odlingssystem, som är betydligt mer avancerade tekniskt än kassodling, är mer arbetsintensiva. Men med ökad teknikutveckling så förväntas produktionseffektiviteten kunna öka till 100 ton per anställd i primärproduktionen (Aquaplan-Niva, Norge, 2013). Dock vet man att varje arbete i primärproduktionen genererar sekundära arbetstillfällen. I kassodlingsnäringen räknar man idag med en faktor om 1:3 som nyckeltal, det vill säga tre arbeten i service/administrations, utrustning per arbetstillfälle i primärproduktionen. Det skulle för BIC steg III innebära 4-5 anställda i primärproduktionen, exkluderat forskare, lärare m.fl. och 12-15 arbetstillfällen i sekundärproduktionen. Denna uppskattning gäller endast för BIC, utöver detta måste man ta i beräkning de produktionsanläggningar som skall genereras i regionen.

Vad det gäller slutna system så räknar man att den siffran är högre, dels för att man arbetar med mer avancerad teknik, dels för att man ser en, jämfört med kassodling, mycket större potential att få synergieffekter med andra näringar som hortikultur, bioteknik för skörd av spillnäring med mera. Dock är underlaget ännu för litet för att säkert slå fast detta i jämförelse med de gedigna underlag som finns för kassodlingen i Norge, Skottland och Kanada. Siffror från Chile, Vietnam, som också är storproducenter vad gäller kassodling är mindre relevant för svenska förhållanden med en betydligt högre

sysselsättningsgrad per produktionsvolym. En annan viktig faktor är arbete inom vidareförädling av produkten. Huvuddelen av fisken från svensk kassodling sänds idag till Finland (Åland) för vidareförädling eller säljs oförädlad som hell fisk till affärer/restauranger. Undantag finns där Börtnans fiskodling, Jämtland (<http://www.bortnanfisken.se>), är ett paradexempel med 60 tons årsproduktion av röding och regnbåge och sex årsarbetstillfällen. Detta fungerar väl och företaget har nu funnits i familjen i två generationer och har genom ett gediget kvalitetsarbete fått nationell uppmärksamhet. Grundkonceptet är att all fisk slaktas, rensas och förädlas (gravning, rökning med mera) i den egna anläggningen och säljs sen uteslutande som lokalproducerad på närmarknaden eller till storstäderna som en ”lokal” och helt spårbar unik produkt. Naturligtvis är detta en nisch, men en lönsam sådan. Utifrån ett sysselsättningsperspektiv är därför en blandning av små och stora företag, inriktade på olika med stor sannolikhet det mest viabla i ett längre perspektiv också för ”nya” arter som gös, piggvar med flera. En långsiktig uppbyggnad av näringen måste därför anpassas både till den ”lilles” såväl som den ”stores” behov.

### 3.5 BIC I OMVÄRLDEN

I Fig 3.3 visas BIC i ett geografiskt perspektiv i norra Europa i förhållande till andra RAS FoU aktiviteter. Såväl Center för Marine Akvakultur, Tyskland, DTUs försökcenter i Hirtshalls, Danmark och Nofimas RAS enhet i Sunndalsöra, Norge, har gett klartecken till att man är positiva till ett direkt kunskapsutbyte och samarbete med ett framtida BIC redan i steg I. Likaså har vi haft kontakt med ansvariga för Finlands avelsprogram och våra kontaktpersoner inom KTH som också ger positiva signaler.



Mycket positivt är också att Lnu redan tidigt i projektet visat intresse för BIC, och att en etablerad kontakt finns. Lnu har en grupp som arbetar med alger, och har redan pågående pilotprojekt för industrisamarbete i regionen. Denna kompetens är helt komplementär och är därför lätt att inkludera i samarbetet runt BIC.

Vidare kan nämnas att på flera håll i världen byggs det stora RAS anläggningar av både kommersiell och FoU karaktär; t.ex.; AKVAgroun har nyligen levererat en 500 ton RAS för flera arter till Förenade Arabemiraten; norska företag inkluderande Futurama och AquaOptima och med stöd av flera forskningsinstitut, har nyligen tecknat kontrakt för en FoU RAS i Kina för lax och torsk; Danish Salmon har nyligen byggt en 2000 ton RAS för lax i Hirtshals; AquaPri i Danmark expanderar och inte minst alla smolt-anläggningar som byggs i Norge, Kanada, Chile och Storbritannien, för att nämna några exempel.

### 3.6 RISKANALYS

En avgörande fråga som måste besvaras är hur stor den ekonomiska vinsten blir i praktiken med utnyttjandet av överskottsvärme, och om vi kan skapa tillräckligt hög

vattenkvalitet till en rimlig investeringskostnad. Detta för att garantera en produkt av högsta livsmedelskvalitet. Likaså kräver ett så lågt vattenutbyte i kombination med fisktätheter om 70-100 kg per kubik att man tillsätter syrgas. Vidare kritiska punkter är som tidigare diskuterats i rapporten, men här ges kortfattat:

- Bismak i fisken, vart ligger gränserna?
- Ekonomi- hur stor blir vinsten i praktiken?
- Vad händer med marknadspriset när produktionen ökar?
- Biologiska krav från fisken, och vilka mål nås med avelsarbetet?
- Optimal hantering av slam och kväveföreningar från RAS?
- N-RAS, fr.a. i kombination med överskottsvärme har aldrig gjorts tidigare och därmed en hel del barnsjukdomar?
- Allmänhetens och myndigheters acceptans för matproduktion integrerat med överskottsvärme från industri, som t.ex. kärnkraft.
- Ekonomi för BIC, viss osäkerhetsfaktor i det första steget då det bygger på forskningsfinansiering.
- Entreprenörer
- Avsättning för yngel innan produktionen är etablerad i Sverige?

#### 4 SLUTSATSER OCH FORTSÄTTNING

Ett stort globalt intresse finns för RAS i olika utformningar, och tros i framtiden kunna bli en hållbar lösning på det växande behovet av fisk som mat. Det finns många olika tekniska lösningar på hur ett RAS byggs upp, vilket innebär att det är stor variation i de produktionssiffror som rapporteras från olika anläggningar. Dessutom sker en snabb teknisk utveckling, vilket innebär en ytterligare osäkerhetsfaktor i de presenterade siffrorna. Utöver detta ändras produktionsförhållandena beroende på vilken fiskart som odlas. Således behövs en satsning på att utveckla RAS för svenska förhållanden, och vidare förmedla denna kunskap till entreprenörer, myndigheter, studenter och forskare. För att fiskodlarna skall få tillgång till ett gynnsamt biologiskt material krävs ytterligare kunskap om nya fiskarter, ett gediget avelsprogram och yngel av hög kvalitet. BIC behövs även för att kunna realisera EU:s och Jordbruksverkets strategi för ett vattenbruk som präglas av såväl ekologisk som ekonomisk och social hållbarhet.

Trots att RAS funnits i flera år finns det många frågor att besvara. Framförallt har RAS inte integrerats i ett integrerat multitroft system med överskottsvärme som värmekälla, vilket vi tror har en betydelsefull utvecklingspotential.

En fallstudie kommer att utföras där de specifika förhållandena för att anlägga BIC i Oskarhamn, och i anslutning till OKG eller annan producent av överskottsvärme,

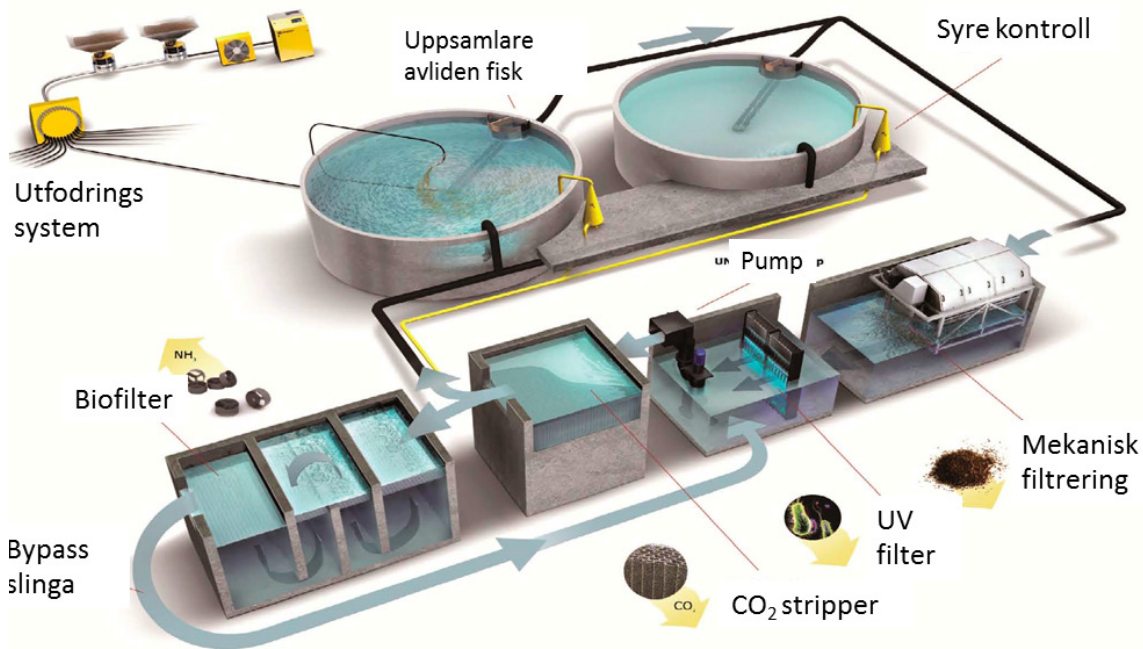
undersöks. I denna rapport kommer även mer detaljerade planer på anläggningens omfattning och uppbyggnad att göras, inkluderat ekonomiska kalkyler. Till denna rapport kommer även extern kompetens att involveras för ekonomiska beräkningar och byggnadstekniska lösningar.

## 5 APPENDIX

### APPENDIX 1 INGÅENDE BESKRIVNING AV RAS

Nedan beskrivs RAS mera ingående och specifika exempel ges på vanligt förekommande produkter på marknaden, dessa illustreras även i vissa fall av egna bilder eller från tillverkaren/distributören. Dessa skall inte ses som den enda lösningen eller produkten, utan snarare ett exempel på lösningar, eller för att ge en konkret bild över hur tekniken ser ut. Förutom de grundläggande funktionerna med RAS ges även en beskrivning över hur en framtida utveckling av ett högteknologiskt RAS kan ta form, med en utökad återanvändning av både vatten och näringsämnen (N-RAS).

I figur A.1.1 visar ett exempel från en högteknologiskt RAS odling, i vilken näringsflödet kan delas upp i två huvudströmmar. Den första är de större tyngre partiklarna från fr.a. faeces och foderpartiklar som avskiljs när vattnet leds från fisktankarna till ett mekaniskt filter.



Figur A1.1 Schematisk bild över konstruktion och flödesschema i en RAS odling (Illustration AKVAgroup, modifierad av M. Langeland).

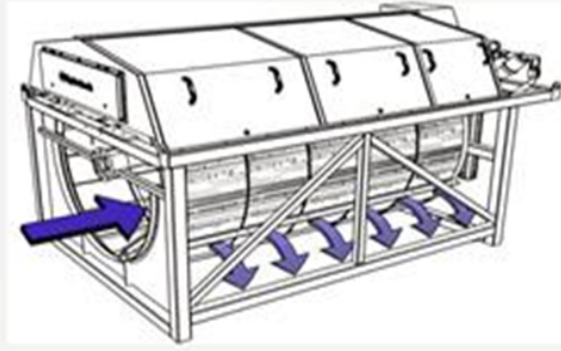
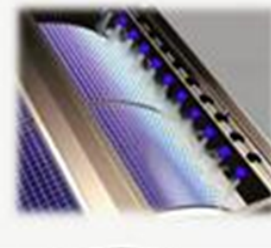
## Appendix 1

### RAS

Det finns några olika modeller av mekaniska filter, t.ex. bandfilter och vanligare förekommande trumfilter (Fig A1.2), som utvecklats av bl.a. det svenska företaget Hydrotech (Veolia Water systems Group).

### Mekanisk filtrering

- Första steget i reningsprocessen av vattnet från fisktankarna.
- Huvudsyfte att avlägsna faeces och foderspill.
- Avlägsnar partiklar större än 40-50 mikron ( $\mu\text{m}$ ).
- Mekanisk filtrering är viktigt för biofiltrets effektivitet.
- Den uppsamlade fraktionen tas bort ur RAS för vidare behandling.



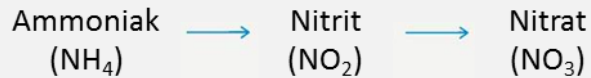
Figur A1.2 Funktion av trumfilter (nedre bilden) samt "spray bar" för rening av filtret (övre bilden) (Illustration AKVAgrou, modifierad av M. Langeland).

Ur det mekaniska filtret erhålls ett slam som normalt har en torrsubstanshalt (TS) kring 1 %, men kan med hjälp av sedimentering ökas till omkring 7 % TS (max 10-15 % TS). Högre TS halt kräver normalt någon typ av bandpress eller annan avvattnings teknik. Som komplement till trumfiltret kan man ha sedimenteringsfällor vid varje fisktank, nu under kommersialisering av Hydrotech tillsammans med Sterner AS. En annan viktig praktisk faktor är att slammet normalt bör stabiliseras (lukt) och hygieniseras (avdödning av mikroorganismer) beroende på hur slammet skall vidareprocesseras. Detta är dock ett högvärdigt och kväverikt substrat av livsmedelskvalitet som idag i bästa fall används som gödsel på åkern, där en del sedan förloras till omgivande vattenrecipient.

Den andra strömmen av närsalter utgörs av i vattnet lösta näringsämnen och då framför allt kväve från fiskens metaboliska nedbrytning av protein. Efter den mekaniska filtreringen når vattnet ett biofilter (Fig A1.3) som är en ytförstorande struktur för mikrober att växa på.

## Biofilter

- Biofiltret delas ofta upp i flera kamrar för att skapa optimala förhållanden för olika biologiska processer.
- Kan vara antingen fixed-, moving-bed eller en kombination av båda.
- Organiskt material bryts ned av heterotrofa bakterier i de första kamrarna.
- I andra kammare sker nitrifikation, dvs ammoniak oxideras till nitrit/nitrat.



Figur A1.3 Funktion av biologiskt filter (nedre bilden) samt filtermaterial (övre bilden) (Illustration AKVAgroup, modifierad av M. Langeland).

Det finns en stor variation på olika biofilter, men mer och mer vanligt blir en s.k. ”moving bed”, där ytförstoringen utgörs av små plaststrukturer som vispas runt i vattnet med hjälp av luftbubbling eller propeller. Detta system kombineras ibland med luftbubblornas förmåga att dra med sig vattnet, och används då för att lyfta vattnet. Man kan lyfta vattnet en tiondel av bubblingsdjupet (1 meters djup ger 10 cm lyft). Detta kallas mammutpump och är ett av de sätt att pumpa vatten som man klarar sig med ett lågt lyft utan tryck. Pumpar används förutom att flytta vatten till att backspola filter, rengöra slamfilter och för syresättning om man använder syrgas. Genom den höga halten av i vattnet löst metaboliskt ammoniak från fisken gynnas nitrifieringsbakterier, som efter någon månads stabilisering dominerar det biologiska filtret (eller delar av det). Här omvandlas då toxisk ammoniak till de betydligt mindre giftiga nitrit och nitrat. Figur A1.4 visar en RAS anläggning från Grieg Seafood utanför Stavanger.

## Appendix 1 RAS



Figur A1.4 RAS anläggning i realiteten, från Grieg Seafood, Stavanger.

Även nitrit och nitrat blir toxiskt vid höga nivåer och för att undvika detta byts en del av vattnet ut, så kallad blödning av systemet. Man kan säga att i detta utförande så är RAS systemets största fördel vattneffektivisering och uppkoncentrering av kväve- och fosforföreningar samt borttagning av partiklar. Det är idag möjligt att reducera användningen av vatten från  $70 \text{ m}^3$  vatten/kg producerad fisk, till nästan  $0,3 \text{ m}^3$  vatten/kg producerad fisk i kommersiella odlingar. Vidare så minskar utsläppet av fosfor med cirka 60 % och kväve med cirka 30 % samt partiklar och organiskt material med nära 80 %. För att nå dessa låga utsläppshalter har vattenutbytet minskat till 0.4 % av motsvarande produktion i ett vanligt genomflödessystem. Likaså kräver ett så lågt vattenutbyte i kombination med fisktätheter om  $70\text{-}100 \text{ kg fisk/m}^2$  vatten att man tillsätter ren syrgas. I ett smolt system där fisken skall gå vidare till en slutproduktion i havet under en 12 månaders period, är inte slutkvalitet som livsmedel ett bekymmer, utan här vill man maximera energi och investerings kostnader i förhållande till produktionstid

## Appendix 1

### RAS

Nästa steg efter biologisk omvandling av ammoniak till nitrit/nitrat är att den av fisken frisläppta metabola  $\text{CO}_2$  måste bort ur systemet. Detta då koldioxid löst i vatten är en syra som sänker pH värdet. Fisk har låg tolerans för sänkt pH vilket först yttrar sig i minskad tillväxt och därmed sänkt lönsamhet. För att ta bort koldioxid ur vattnet så finns det en rad olika typer av s.k. ” $\text{CO}_2$  strippers”. Ytterligare en metod är mikrobubblingsteknik samt modellen som visas i Fig A1.5 från DTU. Här låter man vatten rinna igenom en extremt ytförstorande struktur. I båda fallen så är det en förstorad yta mot luft som utgör grundprincipen, men försök med att applicera vacuum är ytterligare en metod som utvärderas.



Figur A1.5 Teknik för reducering av  $\text{CO}_2$  baserat på självfall och ytförstoring.

En av de stora fördelarna med RAS jämfört med genomflödes system är att smittrisken kan minimeras både från såväl som till vildfisk. Detta gäller såväl smitta orsakad av patogener som av genetisk kontamination (det vill säga rymning). Utvecklingen av UV behandling av såväl inkommande som cirkulerande som avblödnings vatten tillämpas idag på en del moderna RAS, men andra alternativ finns. Att desinficera inkommande vatten är basen i smittskyddet när anläggningen ligger vid kusten. I princip alla kända sjukdomar finns i de vilda kustpopulationerna, så ett orenat vatten garanterar i princip smitta. Väl inne i systemet så leder recirkulering till att smittsam agens också recirkuleras och kan föröka sig till det när patologiska nivåer. Likaså kan ett agens gömma sig i de biofilter och biofilmer som alltid finns i systemet. Med andra ord så gäller det både att hindra agens att komma in i systemet, liksom det gäller att hålla nere alla som kan ha kommit in i systemet.

## Appendix 1

### RAS

I den Norska laxnäringen har man idag en mortalitet om 25 %, vilket till stor del beror på sjukdom och parasiter i kassodlingsfasen. Minskade förluster i sjukdom kan i sig själv försvara de ökade investeringskostnaderna i ett mer slutet system, men om man i tillägg kan öka tillväxten och därmed öka omsättningshastigheten med hjälp av billig energi för varmare vatten så finns möjligheten att till och med få ett bättre ekonomiskt utbyte än med traditionell kasse också för kallvattensfiskar som lax och regnbåge. Vi ser därför idag en rad nya investeringar i Norge mot landbaserade laxodlingar, främst smolt. Med en laxsmolt räknar man med två - tre ggr snabbare produktion om man kan hålla en jämn temperatur om 14°C.

## Appendix 2 Slam

### APPENDIX 2 SLUDGE PRODUCTION, TREATMENT AND UTILIZATION

By Odd Ivar Lekang, IMT, UMB, Norway

#### WHAT IS THE SLUDGE

Removal of particles from the water creates sludge, comprising water and particles. The water content and dry matter (DM) or total solids (TS) of the sludge depend on the particle filter used for effluent treatment. To give an idea of the amount of sludge (faeces) created by the fish, the following estimate can be used: for each kilogram of feed eaten by rainbow trout, 20 % faeces are produced measured on 100% DM basis.<sup>1</sup> However, this value depends on a number of factors, including feed composition, feed type, fish size and fish species, and will therefore vary. If the feed conversion rate (FCR; feed intake /weight gain) is above one and traditional dry feed is used, there will be feed loss and this goes directly to the outlet in addition to the sludge produced from the faeces. This also shows the importance of correct feeding and avoiding feed losses.

#### Example

*How much sludge is produced per kg commercial dry feed supplied to rainbow trout if the treatment efficiency of the filter is set to 50% measured as DM? What happens if the FCR increases to 1.2?*

*Per kg feed supplied, 200 g of sludge is produced and the filter collects 50% of this. This means that the amount of sludge collected per kg feed supplied is 100 g.*

*If the FCR is 1.2, only 0.83 kg of each kg feed supplied will be utilized for growth, while the rest will be feed loss. Calculating that 20% of the feed eaten is converted to faeces, this represents 0.17 kg. If this is added to the feed loss, the total amount is  $0.17 + 0.17 = 0.34$  kg of sludge DM. If collecting 50% of this, the amount collected per kg feed supplied will be 170 g.*

Over the last 20 years, with improved feed quality and feeding control, sludge production per kilogram feed supplied or kilogram fish produced has been markedly reduced. A commonly used relation for salmonids is daily production of sludge DM for different FCR as follows (A. Bergheim, personal communication, 2012):

$$\text{Sludge DM (g/kg fish per day)} = 0.2(10^{0.5 \times \text{FCR}})$$

Based on this relation, the relative quantities of sludge produced are as follows: at FCR 0.9, 89 %; at FCR 1.0, 100 %; and at FCR 1.15, 142 %.

## Appendix 2

### Slam

#### DEWATERING OF THE SLUDGE

The amount of sludge actually present is much higher than when calculating on 100 % DM basis, since the percentage DM in the collected sludge depends on the filter system used. In a mechanical filter, it is mainly a consequence of how the straining cloth is back-washed, whether using air or water, and if water the amount. Normally, the percentage DM in aquaculture sludge is in the range 0.1–1 %, but in special filters it might be up to 5 %. It is advantageous to have as high a DM level in the sludge as possible, which means that back-flushing with water is disadvantageous in this context. The only reason for back-flushing with water is that it is an effective system for cleaning the particle filter cloth. A large proportion of DM in the sludge reduces the amount that must undergo further treatment and transportation; the sludge is therefore often dewatered to increase the percentage DM. Filter presses and special centrifuges (decanters) can be employed for dewatering.<sup>2,3</sup> The sludge may also be sent to a settling system for further separation of particles.<sup>4</sup> Sedimentation in a conical-shaped unit has been used and increases the DM in the sludge to 7–10 %. Coagulation and flocculation chemicals may be added to increase the settling velocity (see Chapter 7) and this increases the DM in the sludge. Drying may also be used but this is typically an expensive method unless there is the possibility for sun drying. Which method to choose also depends on how the sludge is further treated.

Normally, the sludge must be collected and stored so that enough accumulates to make treatment and use efficient. A particle removal system will therefore include storage tanks for the sludge. The size of these will of course be directly related to the DM in the sludge and also the dewatering system used.

#### STABILIZATION OF THE SLUDGE

To make it possible to store the sludge, it must be stabilized. If the sludge is immediately placed in an open container with access to air at the surface, uncontrolled decomposition (rotting) will take place. This is because the sludge will be partly exposed to air (aerobic decomposition) and partly not (anaerobic decomposition). This condition is suboptimal for both decomposition processes and the period needed for decomposition will be much longer. Decomposition of the sludge will always occur because of the growth of microbes (bacteria, fungi, moulds, etc.) that are always available in the sludge. They obtain nutrients and energy for growth from the sludge and the surrounding atmosphere, and in this way the sludge is destabilized.

In simple terms, the end products of fully aerobic decomposition of organic matter (sludge) are CO<sub>2</sub>, water and ash (inorganic materials, minerals). This is actually a

## Appendix 2

### Slam

combustion process. Use of anaerobic decomposition results in gas production, mainly methane (biogas) but also some CO<sub>2</sub>, while the remainder comprises minerals and water. However, this will never occur under practical conditions, because the process is halted before it is fully completed (which takes a long time).

An uncontrolled decomposition process will result in a strong smell and degassing from the sludge, and this will have effects on the development of the microbial community and the nutrient content. This may prevent subsequent use of the sludge. Correct decomposition ensures that nutrients in the sludge are easily available for plants so that it can be used as fertilizer on agricultural land. Sludge from fish farms is typically rich in organic nitrogen (3–9% of DM) and phosphorus (1–4 % of DM). In addition, the concentration of heavy metals is usually below regulatory limits<sup>5</sup> and this makes the sludge useful as an agricultural fertilizer.

Untreated sludge may contain pathogenic microorganisms such as viruses, bacteria and parasites.<sup>5</sup> When infected sludge is spread on agricultural land and there is drainage to lakes or rivers, pathogenic microorganisms could be transferred to local fish strains. Birds could also transfer pathogenic microorganisms from the sludge to lakes. Therefore the sludge must be treated to inactivate the pathogenic microorganisms before it is spread, and this is not achieved with uncontrolled decomposition.

There are several ways to inactivate pathogenic microorganisms in sludge; wet or dry composting is commonly used, and the same is the case with fermentation (controlled rotting). Another method is to add lime to raise the pH in the sludge and hence inactivate the microorganisms. All these methods will also stabilize the sludge so that it can be stored and not release a strong smell. It may also make the sludge more suitable for use as fertilizer on agricultural land.

#### COMPOSTING OF THE SLUDGE: AEROBIC COMPOSITION

When sludge is composted, controlled aerobic decomposition occurs.<sup>6</sup> Because of the low content of DM, wet or liquid composting could be used with advantage for fish farming sludge. If using dry composting, the DM in the sludge must be much increased (>25%). Before composting the sludge may be mixed with manure or municipal sludge. In a community there may be a centrally installed reactor. The sludge is poured into a container where air is added, for instance through an injector pump. In addition the sludge is circulated around the tank so that air comes into contact with all the sludge, i.e. the process is completely aerobic. This results in controlled bacterial development in the container and this decomposes the organic matter. One drawback with this system is that electricity is used for the aeration and circulation.

## Appendix 2

### Slam

In aerobic decomposition, the organisms in the sludge use organic matter for growth and new cell mass are established. The C/N ratio in the sludge is of importance because the microorganisms use carbon as an energy source and carbon is also included in the cell mass. In general, about two-thirds of the carbon is used for energy and the rest for cell growth (i.e. cell mass) in combination with the available nitrogen. However, the processes that occur during decomposition are complex and several cycles of organism growth are required to 'burn' all the carbon. When the C/N ratio is low, the nitrogen will be released as ammonia or some may be oxidized to nitrate.

The process releases energy (exothermic reaction), so the temperature increases depending on the sludge. This is due to the energy released when organic carbon is oxidized to inorganic carbon (CO<sub>2</sub>), as in a combustion process. Fish farming sludge is energy-rich (experimentally producing 3.1 kWh/kg DM<sup>7</sup>) and the temperature rises to 60–70°C. The community of microorganisms in the sludge depends on temperature and changes with increase in temperature; at high temperatures, thermophilic bacteria dominate. By maintaining the high temperature for some time, pathogenic microorganisms are inactivated and the sludge is stabilized for storage. To eradicate the smell that develops during the composting process, it is an advantage to include a smell filter, for instance made of peat, through which all gases emitted by the composting process have to pass.<sup>7-9</sup> Overall, the composting process will result in biological stabilization of the sludge, removal of the major odour compounds, increased availability of some plant nutrients, nitrification of ammonia, and improved waste consistency.<sup>7</sup> However, composting will not decrease the DM in the sludge, but may increase it due to the development of bacterial cell mass.

#### FERMENTATION AND BIOGAS PRODUCTION: ANAEROBIC DECOMPOSITION

If the process is run without access to oxygen, anaerobic digestion (also known as fermentation) will occur (for more details, see refs 10–13). As with composting, naturally occurring microorganisms in the sludge are utilized, but here it is the anaerobic organisms that produce cell mass. However, the organic nitrogen fraction will now be decomposed to organic nitrogen-containing acids and ammonia. Unlike the aerobic process, which is an oxidation process, anaerobic decomposition is a reduction process. Carbon is also used as an energy source for the growth of the microorganisms but only a small amount of heat is released, the rest of the energy being released as gas (biogas). Biogas contains a great deal of energy that can be released by combustion, used for generation of electricity or as fuel in cars and buses.

Anaerobic decomposition is a complex process that is typically divided into four steps:

## Appendix 2

### Slam

hydrolysis, fermentation, acetogenesis and methanogenesis.

The initial step, hydrolysis, involves the interaction of the input material with water; in the next step decomposition of carbohydrates occurs, while in the last two steps the fermentation products are converted into acetate, hydrogen and CO<sub>2</sub> and, finally, methane. The three last steps are performed by microorganisms fitted for the purpose.

The total DM is reduced typically to 50–60 % of the start value, but this depends on sludge composition and how much is easily fermented. A larger part of the material is mineralized compared with aerobic decomposition. Biomass growth in anaerobic digestion is therefore much lower than for aerobic digestion. The sludge that is the end product of fermentation is a good fertilizer, and the degree of mineralization makes it more concentrated. If using fermentation it is important that no air is allowed to enter, so that a completely enclosed unit must be used (i.e. fermenter, digester or reactor). Different reactor types are available.<sup>10</sup> Normally, some heating of the sludge will be necessary to allow faster development of the microorganisms; various regimes are used, but typically temperatures around 30–35°C are used for aquaculture sludge. The period that the sludge is exposed to fermentation also varies, for example animal manure takes 10–35 days, while for aquaculture sludge hydraulic retention times of 6–60 days have been reported.<sup>11</sup> A high fat content reduces the time necessary but high fat content may inhibit the process. Fermentation produces biogas, which is collected on the top of the fermenter. Biogas contains mainly methane but it will also contain some CO<sub>2</sub> and other gases like hydrogen sulphide; methane values of 30–80 % have been reported.<sup>11</sup> How much of the other gases is present is determined by the purity of the biogas. The amount of gas produced depends on the composition of the organic matter in the sludge, with more fat resulting in purer biogas production. Methane gas production can be estimated based on the chemical oxygen demand (COD) in the sludge; for aquaculture sludge, values of 0.02–0.25 L methane gas per gram COD have been reported.<sup>11</sup>

In addition to the production of biogas, there will also be a reduction in offensive odours, a breakdown of organic mass (the reason for biogas production), a reduction in pathogens and an improved fertilizing value due to easier availability of nutrients<sup>6</sup>. The biogas can be used for heating or electricity production, so there is a positive output from the process. Sludge that has gone through this process can be stored for later use as fertilizer for agricultural land. The biogas process typically requires a DM content of 5–10 % and this is reduced during the process to 2–5 % (i.e. diluted sludge). However, all the particle-bound nitrogen has been converted to ammonia, so the ammonia and phosphorus content will be quite high in the diluted solution. Dewatering of the sludge will typically also be necessary.

## Appendix 2

### Slam

#### ADDITION OF LIME

Adding lime (CaO) or slaked lime (Ca(OH)<sub>2</sub>) to the sludge increases the pH and will also stabilize and disinfect the sludge. In experiments with sludge from fish farming, it has been shown that by increasing the pH to 12 and maintaining this value for 7 days, more than 99.9 % of the pathogenic viruses and bacteria were killed<sup>5</sup>. The sludge produced is well suited for use as organic fertilizer. However, the increase in pH results in stripping of available ammonia in the sludge, but will also stop all decomposition of protein in the organic matter, so this nitrogen fraction will still be in the sludge.

#### UTILIZATION OF SLUDGE

The treated sludge must be used and a good solution is as a fertilizer in agriculture. However, there is one challenge – the amount. Taking a farm with a production of 300 tonnes and estimating waste production as 2.5 % per kilogram including feed loss and filtration efficiency as 50 % gives a yearly sludge production of 37.5 tonnes on 100 % DM basis. However, a DM content of 15% results in a sludge production of 250 tonnes, while a DM content of 5 % results in a sludge production of 750 tonnes. This will result in much transport of sludge from the farm and it may therefore be beneficial to increase DM content by additional dewatering after sludge treatment. If spreading sludge on agricultural land, assuming 4.5 tonnes/ha and 5 % DM, the area required will be 167 ha, but this is highly dependent on what is grown and the nutrient content of the sludge.

Which method to choose for sludge treatment therefore depends on how the sludge is utilized. An important factor is how long the sludge must be stored before utilization. The amount will be important due to the fact that there are investment costs related to the treatment facilities, for instance the fermentation/biogas plant. There is also the possibility for delivery of sludge to the plant from other sectors like municipal sludge. Other possibilities for utilization of sludge is as feed to algae or microorganism cultures. An easy predictable way to get rid of the sludge is to deliver to a combustion plant where it is utilized directly for energy production. Regarding the use of the nutrients this is however a sub optimal solution.

When establishing a system for particle removal it is therefore necessary to think not only about the particle filter itself, but also sludge treatment and its utilization. This includes tanks for sludge collection.

REFERENCES

1. Cho, C.Y., Hynes, J.D., Wood, K.R. & Hynes, H.K. (1991) Quantification of fish culture wastes by biological (nutritional) and chemical (liminological) methods. In: *Nutritional Strategies for Aquaculture Waste* (eds C.B. Cowey & C.Y. Cho). Fish Nutrition Research Laboratory, University of Guelph.
2. Tchobanoglous, G., Burton, F.L. & Stensel, D.H. (2002) *Wastewater Engineering*. McGraw-Hill, New York.
3. Montgomery, J.M. (1985) *Water Treatment: Principles and Design*. John Wiley & Sons, New York.
4. Bergheim, A., Liltvedt, H.S., Cripps, G. *et al.* (1996) *Avvanning, stabilisering og utnyttelse av våtslam fra fiskeoppdrett*. Rapport Rogalandsforskning 280 [in Norwegian].
5. Bergheim, A., Cripps, S.J. & Liltvedt, H. (1998) A system for the treatment of sludge from land based fish-farms. *Aquatic Living Resources* 11: 279–287.
6. Burton, C.H. & Turner, C. (2003) *Manure management: treatment strategies for sustainable aquaculture*. Silsoe Research Institute, Bedford, UK.
7. Donantoni, L., Skjelhaugen O.J. & Sæther, T. (1994) Combined aerobic and electrolytic treatment of cattle slurry. Paper given at CIGR and AgEng Congress, Milan, 1994.
8. Skjelhaugen, O.J. & Sæther, T. (1994) Local ecological waste water solution for rural areas, based on aerobic treatment and recycling of nutrients into agricultural land. Paper given at CIGR and AgEng Congress, Milan, 1994. ITF trykk nr 59/1994. Norwegian University of Life Science.
9. Lekang, O.I., Jenssen, P.D. & Skjellhaugen, O.J. (1995) Local ecological solution for treatment from aquaculture. In: *Technical Solutions in the Management of Environmental Effects of Aquaculture* (ed. J. Makkonen). Seminar 258. Scandinavian Association of Agricultural Scientists.
10. Chernicharo, C.A.L. (2007) *Anaerobic Reactors*. IWA Publishing, London.
11. Mirzoyan, N., Tal, Y. & Gross, A. (2010) Anaerobic digestion of sludge from intensive recirculating aquaculture systems: review. *Aquaculture* 306: 1–6.
12. Deublein, D. & Steinhauser, A. (2010) *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
13. Seng, B. (2010) *Advanced Anaerobic Sludge Treatment: Anaerobic Digestibility of Ultrasound, Chemical and Combined Chemical-Ultrasound Pretreated Waste Activated Sludge*. LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany.

## Appendix 3 Mikrobprotein

### APPENDIX 3 HETEROTROFA BIOGENERATORER (BIOGAS OCH BIOPROTEIN)

Av Matilda Olstorpe, Mikrobiologen, SLU och MicProS AB

Protein från mikrober är nästa generations proteinfoderkälla för den globala och lokala marknaden. Huvudsyfte att transformera icke eller lågintressant humanföda och restprodukter till en matresurs för människor på ett miljövänligt och hållbart sätt.

MicProS vision är att koppla ihop specifika restprodukter med lämplig mikroorganism och utifrån dess specifika egenskaper utveckla processsystem för att producera mikrobiellt protein som korresponderar mot fiskens behov. I fallet BIC ligger huvudfokus på möjligheten att kombinera MicroPros med andra biologiska processer för att skörda näringsämnen ur slam och vatten från recirkulerande fiskodling.

MicProS vill skapa en produkt som tillgodoser fiskfoderindustrin med en fullgod proteinkälla samtidigt som ett mervärde skapas för de industriella restprodukterna och minskar deponeringskostnaderna för produktionsföretagen. Högre utnyttjande av restprodukter bidrar även till minskad belastningen på miljön då vi reducerar avfallsproblematiken.

För att ytterligare minska miljöpåverkan utvecklas systemteknologi för nyttjande av överskottsvärme från andra industriella processer för att tillgodose värmebehovet under mikrobproduktionen och under torkningsprocessen av mikrobproteinet.

Mikroorganismer producerar protein med en god aminosyra sammansättning för fiskars behov. De är också de mest effektiva producenterna av organiskt material och kan odlas på ett mycket stort spann av olika näringskällor. Frågan är inte vilket substrat som skall användas utan vilken organism och vilka betingelser som kan ge önskade resultat.

Fiskodlingen och därmed fiskfoder utnyttjar fortfarande icke uthålligt fiskad fisk som foderbas, även om andra högvärdiga resurser som soja mer och mer ersätter fisk. Men även storskalig sojaproduktion anses inte som en uthållig produktion. Man kan därför säga att man är i en återvändsgränd vad gäller att öka fodertillverkningen med dessa råvaror samtidigt som fiskodling förväntas dubblas inom en 18 årsperiod. Detta innebär att det finns ett enormt behov att finna nya miljövänliga protein råvaror med högt näringsvärde för fisk. Protein från mikrober utgör en naturlig föda för alla fiskar i något livsstadium, och har härigenom potentialen att kunna svara upp mot fiskfoder branschens behov av nya näringsriktiga och miljövänliga foderråvaror. En ytterligare poäng med fisk

### Appendix 3

#### Mikrobprotein

och mikrobielt protein är att just fisk har i evolutionen behållit alla enzymssystem som behövs för att äta bakterier, jäst och andra mikrober, medan däggdjur som vi människor och gris, under evolutionens gång (alla land djur har gemensamma förfäder med fiskarna) har förlorat dessa enzymer och måste därför låta mikrobproteinet först bli en fisk innan vi kan äta det.

## APPENDIX 4 FOTOTROFA BIOGENERATORER ELLER ”ALGER SOM VATTENRENING, FODERLEVERANTÖR OCH BIOPROSPEKTERING”

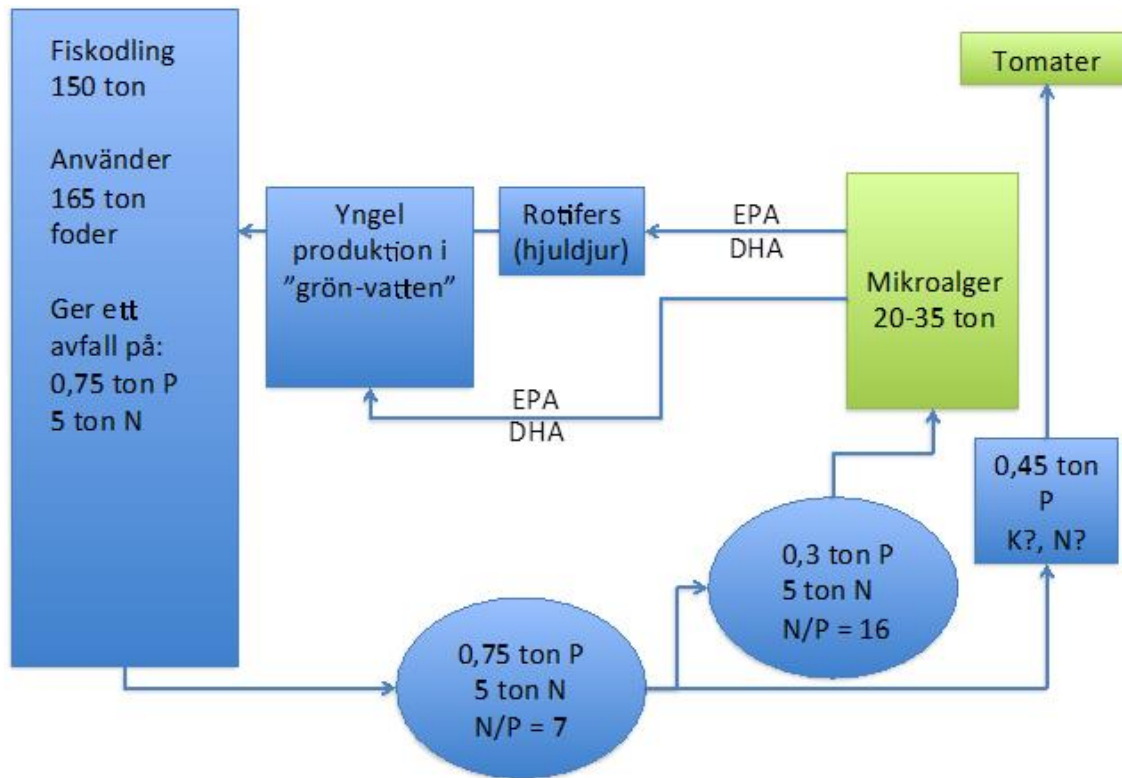
Av Catherine Legrand, Linné univ, Kalmar

Mikroalger är små encelliga växter som använder sig av ljus, näring, koldioxid och vatten för att producera biomassa (fotosyntes). De är basen på näringskedjan i alla akvatiska ekosystem och har en fantastisk tillväxtpotential och hög produktivitet. Inom vattenbruk odlas mikroalger kommersiellt som direkt föda till skaldjur (tex. musslor, ostron) eller för uppfödning av djurplankton, främst rotiferer (hjuldjur), som i sin tur används som föda till larvstadier och juveniler av fisk och kräftdjur. God larvutveckling för fisk beror i hög grad på kvalitén hos födan den första tiden. Mikroalger innehåller höga halter av protein och essentiella fettsyror (omega-3, omega-6) som eikosapentaensyra (EPA) och dokosahexaensyra (DHA), vilka överförs till djurplankton och vidare till fisk via näringskedjan.

Mikroalger har ett effektivt näringsupptag och kan användas för vattenrening av diverse avloppsvatten och restprodukter, de fungerar som ett biologiskt filter. Tanken är att återanvända närsalterna i avloppströmmarna från fiskodlingen för att odla mikroalger som sedan utgör föda för djurplankton (hjuldjur), som i sin tur är huvudfödan för larv och yngel-stadier hos fisk (Fig A4.1). I framtiden kan algbiomassan även ingå som supplement i födopellet till vuxen fisk, vilket ger en bra kvalitet på slutprodukten (FAO, 2008). Arter som vanligtvis odlas för uppfödning av djurplankton till fiskodling kommer ifrån gruppen grön-eller guldalger men även häftalgen *Isochrysis* kan vara aktuell för BIC projektet. Alla är mikroalger med hög andel essentiella fettsyror och karotenoider för att producera fiskfoder av högsta kvalitet.

## Appendix 4

### Alger som rening och foder



Figur A4.1 Vision för en hållbar fiskodling med ett slutet kretslopp för näringsämnen kväve (N) och fosfor (P), där mikroalger odlas på avfall från fiskodlingen. Maximal produktion av mikroalger uppgår till 20-35 ton och mikroalgerna ges som föda till hjuldjur och ynglen matas med hjuldjuren under sin första tid.

En odling av mikroalger kan skördas kontinuerligt, "mjölkas", för att ges till odlingen av djurplankton och för att i utspädd form tillsättas i tankarna med fisklarver. Det är en teknik som kallas "grön-vatten" och ökar överlevnaden hos fiskyngel den första tiden. Sammantaget blir en effektiv produktion till en låg kostnad per yngel.

Maximal produktion av mikroalger, beräknat på avloppströmmar från odlingarna på 0,75 ton P och 5 ton N är presenterat i fig X. För att undvika en begränsning av N för mikroalgerna (som vill ha en N:P kvot på ca 16) använder odlingen endast 0,3 ton P till 5 ton N. Resterande P skulle kunna göda andra grödor, tex tomater odlade i växthus.

För initieringen av BIC projektet med en produktion av 150 ton fisk per år behövs ungefär 100 kg yngel födas upp på djurplankton, hjuldjur. Det betyder att ca 1 ton hjuldjur och 5 ton mikroalger behöver odlas (FAO, 1996). Det skulle innebära att odlingsreaktor (fotobioreaktor, beskriven nedan) för mikroalger skulle täcka en yta på 500-1000 m<sup>2</sup> beroende på val av odlingsystem samt algart.

Överskottsvärme från t.ex. OKG är en utmärkt tillgång och kan öka såväl produktionen av algbiomassa som förlänga tillväxtsäsongen då endast ljuset skulle begränsa tillväxten

## Appendix 4

### Alger som rening och foder

under de mörkaste månaderna. Vid enbart användning av solljus men garanterad tillgång av överskottsvärme kan tillväxstsäsongen uppgå till 250-270 dagar, motsvarande februari till oktober (Legrand & Olofsson, 2011). En framtida samodling med andra grödor (t.ex. tomater) i ett uppvärmt växthus med artificiellt ljus kan förlänga säsongen ytterligare till 300 dagar.

En förutsättning för hög produktion av algbiomassa är, förutom näring, även att koldioxid finns i obegränsad mängd. En utveckling av RAS systemet är att ta vara på den koldioxid som måste ledas bort från odlingsstankarna. Det skulle stärka verksamhetens kretslopp och minska utsläpp av växthusgaser. Bra syreförhållanden i fisktankarna är en förutsättning för låg dödlighet hos odlad fisk. Ren syrgas är en biprodukt av algernas fotosyntes och i ett slutet algodlingssystem skulle syrgasen kunna ledas direkt ner i tankarna med fisk.

Algerna odlas i slutna fotobioreaktorer eller i öppna system, som tankar eller dammar av s.k. raceways. Oavsett odlingsystem krävs att elektricitet tillsätts för cirkulation av algodlingen. Det öppna dammsystemet blandas genom mekanisk omrörning av ett paddelhjul med en ungefärlig effekt på 1 W/m<sup>3</sup> (Posten, 2012). Öppna system är relativt energisnåla men lider av låg produktion och stor risk för kontaminering av oönskade mikrober. Slutna system har en avsevärt högre produktion men också en betydligt högre energianvändning. För att garantera en god och stabil produktion används förslagsvis vertikala panelreaktorer där luft injiceras för omrörning, vilket kräver 100-200 W/m<sup>3</sup> (Shlagermann et al., 2012). Ett sådant system motsvarar en elförbrukning om 60-120 Wh/m<sup>2</sup>/dag (Tredici, 2010). För en odling av 5 ton mikroalger behövs en yta på 500-1000 m<sup>2</sup> och en energiförbrukning på 30-120 kWh/dag. I de här preliminära siffrorna är inga uppströms eller nedströms processer (pumpning av odlingsvatten eller näring till reaktor och pumpning av hjuldjur-odling) inkluderade, ej heller eventuell elåtgång för kylning av fotobioreaktorn under sommaren är inräknad. Andra elkrävande processer (t.ex. artificiell belysning) kan följaktligen delas med odling av andra grödor i ett växthus.

## Appendix 5

### Fiskarter

#### APPENDIX 5 PRESENTATION AV FISKARTER

Piggvar är en plattfisk med karakteristiska piggar, därav namnet. Piggarna är vanligast på ovansidan men kan också förekomma på undersidan. Arten har en stor mun och livnär sig på skaldjur och fisk i naturliga förhållanden. Dess naturliga färg varierar runt bruna toner. Undersidan är vit och kan ha fläckar. I odling förekommer missfärgningar (delar av fiskkroppen kan vara albino) främst som ett resultat av icke optimal fodersammansättning under den känsliga larvfasen.



Figur A5.1 Piggvar i naturlig miljö

I Sveriges vatten fiskas oftast piggvar med en storlek på 1-2 kg men finns betydligt större, upp till 25 kg. Piggvaren är en relativt stationär fiskart och man känner till lokala populationer efter kusterna (östersjöpiggvar är förmodligen en sådan population).

Piggvarsodling sker i relativt varmt vatten, ca 19 grader är optimalt för bra tillväxt och foderutnyttjande. Marknadsstorleken kan variera från 0,5 kg till över 4 kg vilket uppnås från och med 1 år. Odlas främst i Spanien till produktionsstorlek, också Frankrike har en ansevärd produktion i Europa. Yngel odlas främst i Norge, Spanien och Frankrike. Piggvaren har mycket små larver som bara äter levande föda den första tiden. Tillväxt varierar mellan individer och främst mellan honor och hanarna, hanarna växer långsammare och därför bör de sorteras under tillväxtfasen. Detta hänger delvis ihop med könsmognad, då hanar mognar tidigare än honor, vid 2-4 års ålder i odling.

Mortalitet under kläckningen är fortfarande vanlig, mellan 40–70 % överlevnad kan uppnås för olika batcher och överlevnadsgraden ökar med ålder. Vuxen fisk är mycket robust. Piggvar i odling kräver yta men inte så stor vattenvolym, 13-21°C är lämpligt temperaturintervall för vuxen fisk, optimal tillväxt 19-20 grader i produktion.

## Appendix 5

### Fiskarter

Gös är en abborrfisk som främst lever i bottenvatten i näringsrika sjöar men finns också i utsötade kustområden efter Östersjökusten. Arten har en stor mun och livnär sig främst på fisk och botten djur i naturliga förhållanden. I odling förekommer missbildningar (ryggradsdeformationer) främst som ett resultat av icke optimal på fodersammansättning under den känsliga larvfasen.



Figur A5.2 Gös

I Sveriges vatten fiskas oftast gös med en storlek på 1-2 kg men finns betydligt större. Gösen är en relativt stationär fiskart och man känner till lokala populationer efter kusterna i olika insjöar.

Gösodling sker i relativt varmt vatten, ca 20-25 grader är optimalt för bra tillväxt och foderutnyttjande. Marknadsstorleken kan variera från 0,8 kg till över 3 kg vilket uppnås från och med 1 år. Gös odlas främst i Polen och Danmark till produktionsstorlek, men även Frankrike och Belgien har viss produktion i Europa.

Göslarver är väldigt små, och äter helst levande föda den första tiden. Tillväxt varierar mellan individer och främst mellan honor och hanarna, hanarna växer långsammare och därför bör de sorteras under tillväxtfasen. Detta hänger delvis ihop med könsmognad, då hanar mognar tidigare än honor, vid 2-4 års ålder i odling. Mortalitet under kläckningen är fortfarande vanlig, mellan 40-90 % överlevnad kan uppnås för olika produktionsomgångar och överlevnadsgraden ökar med ålder. Gösen är starkt kannibalistisk och kräver frekvent sortering. Utvecklingsarbete för att förbättra odlingsförhållanden för minskning av detta beteende är en nödvändighet. Vuxen fisk är robust. Gös odlas i temperaturer 13-21°C, den lägsta för larvstart och sedan ökande, lämpligt temperaturintervall för vuxen fisk och optimal tillväxt är 20-25 grader i produktion.

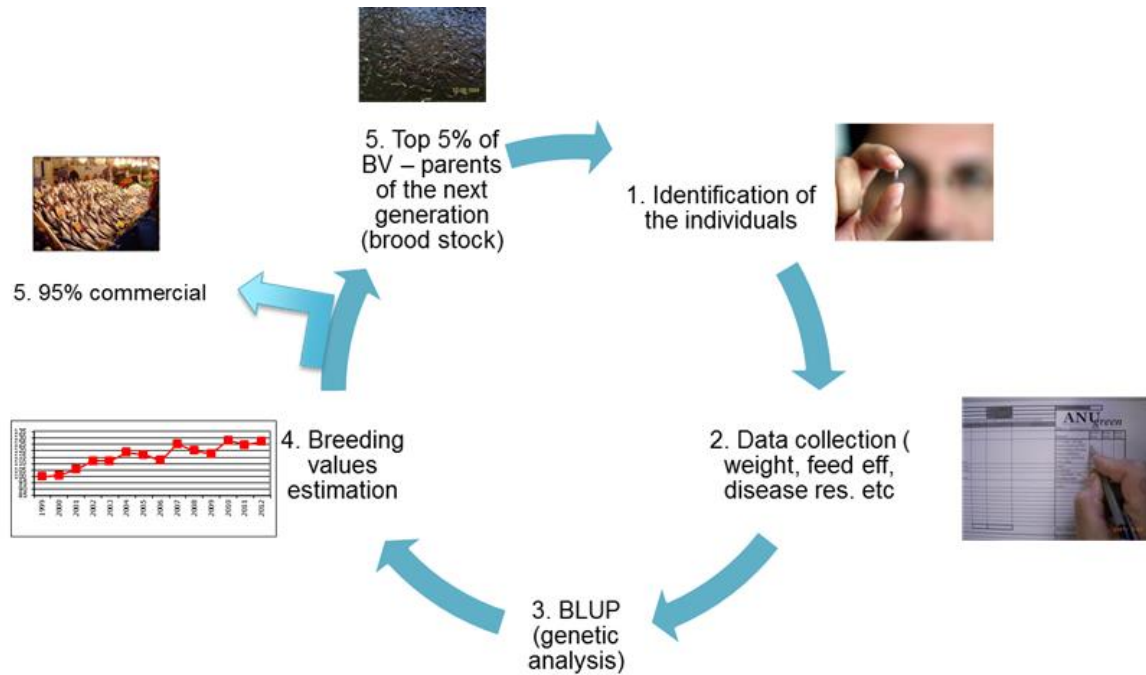
## APPENDIX 6 ESTABLISHING A BROOD STOCK AND BREEDING PROGRAM FOR PIKEPERCH AND TURBOT

In order to ensure the provision of healthy larvae for the local production as well as, at a later stage, the expanding Swedish aquaculture industry, we need to establish a brood stock for both pikeperch and turbot. This broodstock will also form the starting point for in-house breeding programs for both species.

### REQUIREMENTS FOR SELECTIVE BREEDING

In order to run a selective breeding program we first need to establish a healthy broodstock with a broad genetic basis. Subsequently we must define a breeding goal for the species: what are the most important traits that we need to select for? We then need to estimate the heritabilities and correlations of the traits in the breeding goal. This is a crucial step that requires: 1) identification of the fish, 2) measurements of the relevant traits on the fish and 3) knowledge of pedigree relationship among the selection candidates. The outline of a running breeding program is presented in the fig. A6.1. The strategy we propose for the breeding programs in this project is to start with robust and tested approaches with a view to use more detailed and sophisticated breeding tools later in the project.

## Appendix 6 Avelsprogram



Figur A6.1 Schematisk bild över avelsprogrammets utformning.

### A BREEDING PROGRAM FOR PIKE PERCH

**1) The founder population.** To ensure the best control of health status we will establish the founder population from eggs, not from live fish. We aim for a broad genetic basis in the founder population but at the same time we do not want to have fish with too many different origins in order to minimize the requirements for health status checks. It has been shown that the genetic diversity among pikeperch in the large Swedish lakes such as Hjälmaren is comparable to the overall diversity levels in Sweden. We propose to source eggs from different locations within Hjälmaren as well as purchase eggs from Hyltre Bruk (wild population hatched in own ponds) and Swedish Pike Perch (Wild population raised in tanks) to establish the founder population. After hatching and the initial larval stages the young fish will be mixed and divided into several small tanks in parallel 'common garden' experiments. We will use grading in order to prevent competition and cannibalism among fish. After year 1, a group of uniform fish with good growth and health status will be selected to form the broodstock. These fish will be pit-tagged for identification and blood samples will be taken for later DNA isolation. For safety reasons, the brood stocks will be housed in two separate isolated tanks with the highest level of biosecurity. Each tank will have about 50 fish (possible to alter).

We aim for about 20 males and 30 females in each tank. These fish will be raised to sexual maturity at 1,5 kg of body weight after which the breeding program will start (between year 3-4).

- 2) **A breeding Goal for Pikeperch.** Because the brood stock will be established largely from ‘the wild’ the major selection initially is simply for domestication and reproduction. A lot of this selection is implicit in the system in that fish that cannot adapt simply do not survive or reproduce. However, a priority for selection is the cannibalistic and hunting behavior in pikeperch. While both feeding strategies and grading of fish are useful to mitigate these behaviors, it is important to select for more docile and social fish. It is clear that the behavior of individual fish can affect the growth of other fish in the same tank. These types of social effects have recently received a lot of attention in animal breeding because they have a large genetic component: In laying hens it has been shown that selection for more social hens can reduce mortality due to feather pecking and cannibalism. Likewise, there was a large genetic component of social effects in fattening pigs: 87% of the variation in growth rate was due to these indirect genetic effects! The implications are that with selecting for the fastest growing fish, we may select for fish that are more aggressive and not beneficial to overall production. A straightforward solution to this is to select at the group level rather than at the individual level. A first breeding goal for pikeperch will therefore be defined at the group level in terms of 1) number of individuals growing to market size (1 kg) and 2) uniformity of the bodyweight at the group level. At a later stage the breeding program will be augmented to include traits such as slaughter quality, fillet weight, disease resistance etc.
- 3) **The breeding program in action.** At sexual maturity, eggs and semen will be collected from individual animals. Pairings will be made such that eggs from each female are fertilized by two separate males and males are mated to multiple females. The fertilized eggs from each mating will be hatched separately. At the growing stage, full sib families are raised in individual tanks to market weight. In order to select against cannibalism no grading will be performed for the selection experiment. At ~1 year of age, individuals from the tanks with the most survivors and the most uniform body weights will be selected as the next generation of the brood stock. Until this next generation is mature, the current brood stock will primarily be used for hatching production fish.
- 4) **Other practicalities.** In the years between establishing the brood stock and the start of the breeding program, we will source fertilized eggs for production only. These eggs will come from a single source (or as few as possible) with high health status.

## Appendix 6 Avelsprogram

### TOWARDS A BREEDING PROGRAM FOR BALTIC TURBOT

Initially, turbot will be targeted for production only, with commercial fry being sourced from AquaPri AS, Denmark. An area of selection will be the adaptation to lower salinity of the water around Oskarshamn and the Baltic area in general. After establishing best practice for turbot production, we aim to set up a breeding program for turbot that is better adapted to the Swedish circumstances. Such a program would start 2 years after the breeding program for pikeperch. With expected breeding cycles of around 4-5 years, we can switch resources between the two species by running them out of sync.

A key question is how to establish a genetically diverse brood stock of turbot without contracting infectious diseases from the marine environment.