

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zoologie a rybářství**



**Recirkulační systémy chovu ryb s mořskou vodou**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Jakub Růžička**

**Obor studia: ABPR**

**Vedoucí práce: prof. Ing. Lukáš Kalous, Ph.D.**

**© 2018 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Recirkulační akvakulturní systémy s mořskou vodou" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20. 4. 2018

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval profesorovi Lukášovi Kalousovi za jeho rady, trpělivost a především vstřícnost a naprostou absenci arogance.

Rád bych poděkoval celé katedře zoologie a rybářství a jejímu vřelému přístupu k okolnímu světu, jenž je na České zemědělské univerzitě v Praze tak vzácný a jen díky němu jsem našel chuť tuto práci napsat.

## **Recirkulační systémy chovu ryb s mořskou vodou**

### **Souhrn**

Tato bakalářská práce pojednává formou rešerše o akvakultuře, její dynamice, definici, jejím stavu, o recirkulačních akvakulturních systémech (RAS), jejich definici, roli v akvakultuře, přednostech, negativěch, funkci, vztahu s vnějším prostředím, vývoji, fungování, ekonomice, sociálnímu vlivu, o jejich využití při produkci slanovodních organismů, specifitě takové produkce, jejím vývoji, její budoucnosti, o využití těchto systémů při produkci tří různých druhů živočichů (dvou ryb a jednoho korýše) s různým přístupem k návrhu a managementu systému, o jejich detailním popisu, schématu, popisu jednotlivých částí systémů a jejich funkce, o vyhodnocení funkce celého systému, vyhodnocení produkce, ekonomiky produkce, jejího možného uplatnění, o pojmech složitě přeložitelných z anglického jazyka a jejich definici.

**Klíčová slova:** Recirkulační akvakulturní systémy, *Salmo salar*, *Homarus gammarus*, *Sparus aurata*, mořská voda, produkce

## **Marine recirculating systems of fish production**

### **Summary**

This bachelor thesis discuss (as recherche) aquaculture, its dynamics, definition and state, recirculating aquaculture systems (RAS), their definition, place in aquaculture, upsides, downsides, function, nature – friendliness, developement, economics, sociologic aspect, their use in marine organisms production, specificity of this king of production, its developement, its application in three different kinds of systems with three different species (two of bony fishes, one of crustaceans) with different attitude to design and management of those systems, their comprehensive description, schematic description, description of each part, its function and function of whole system, their production and economic, hardly traslatable words from english to czech are discussed at the and of the thesis.

**Keywords:** Recirculating aquaculture systems, *Salmo salar*, *Homarus gammarus*, *Sparus aurata*, sea water, production

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Akvakultura.....</b>	<b>3</b>
<b>3.2</b>	<b>Definice akvakultury.....</b>	<b>3</b>
<b>3.3</b>	<b>Recirkulační akvakultura.....</b>	<b>4</b>
<b>3.4</b>	<b>RAS slanovodní.....</b>	<b>5</b>
<b>3.5</b>	<b>Popis RAS systému s produkcí lososa obecného .....</b>	<b>6</b>
<b>3.6</b>	<b>Popis RAS systému s produkcí mořana zlatého.....</b>	<b>10</b>
<b>3.7</b>	<b>Popis RAS systému s produkcí humra evropského .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Seznam literatury.....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Přílohy.....</b>	<b>36</b>

## 1 Úvod

Neolitická revoluce. Tak značíme převratný úsek historie, kdy se člověk přeorientoval z loveckého způsobu života na zemědělský. Tato změna nastartovala moderní historii tohoto druhu tak, jak jej dnes známe.

Zemědělství se ukázalo jako lepší alternativa k lovu a sběru. Výhodou je, že v zemědělství má člověk kontrolu nad výrobním procesem a využívá svých schopností k tomu, aby dosáhl svých cílů. Oproti lovu či sběru je tak schopný zajistit větší produkci a její stálost.

Již odedávna pro člověka sloužily jako zdroj vodní organismy. V tomto směru však k žádné revoluci dlouho nedocházelo.

Až v pozdním novověku a moderních dějinách lze pozorovat přechod z lovného způsobu na zemědělský i ve vodním prostředí. Lze tedy říci, že takováto analogie neolitické revoluce ve vodním prostředí probíhá právě nyní. A v tomto odvětví zemědělství, které nazýváme akvakultura, je jedním z nejmodernějších a technicky nejnáročnějších způsobů chov slanovodních živočichů v uzavřených akvakulturních systémech.

Tato práce popisuje známé informace o způsobu chovu dvou mořských ryb a humra.

## **2 Cíl práce**

Cílem práce je vytvořit kvalitní rešerši na základě syntézy informací z recenzovaných zdrojů.



### **3 Literární rešerše**

#### **3.1 Akvakultura**

Akvakultura je nejrychleji rostoucí odvětví v produkci potravin ve světě. Dnes již více než 50 procent konzumovaných ryb pochází z produkce akvakultury (FAO, 2016).

Nyní je akvakulturně chováno 591 vodních druhů, v sladkých, slaných i brakických vodách (FAO, 2016).

V roce 2015 byla zaznamenána produkce 106 milionů tun v živé váze vyprodukovaných vodních živočichů, rostlin a nekonzumního zboží (perly, schránky živočichů), s hodnotou 163 miliard US \$ (FAO, 2016).

Ekonomický růst akvakultury v letech 2001 - 2015 byl 5.9 %, přičemž pro porovnání v posledních 15 letech minulého tisíciletí tento růst byl dvojciferný. V Africe byl růst 10.4 % v Asii 6 %, v Americe 5.7 %, v Oceánii a Evropě 2.5 %. V roce 2015 byl celosvětový růst jen 4 %, což je nejnižší hodnota za několik posledních dekad (FAO, 2016).

Podle vyprodukovaného množství mají rybovití obratlovci v sektoru produkce vodních živočichů dominantní postavení (2015). Jejich podíl v tomto sektoru je 63 – 68 %. Měkkýši mají zastoupení 21 %, koryši 10 %. Rostliny tvoří 27,7 % celkové produkce (FAO, 2016).

V letech 2000 – 2015 se zvýšila akvakulturní produkce vodních živočichů z 25.7 % na 45,3 % na úkor odlovu. V mořském prostředí se tato produkce zvýšila z 13,8 % na 25,5 %, ve sladkovodním z 68,6 % na 81 % (FAO, 2016).

Narozdíl od lovného rybářství je většina ryb z akvakultury určena pro lidský konzum, proto lze říci, že v akvakultuře je vyprodukována větší polovina celkové lidské spotřeby, přestože produkce je jen 45,3 % (2015). Kvantifikovaně to představuje 10,42 kg na osobu (FAO, 2016).

Mezi státy je největším konzumentem vodních živočichů Čína, která je také největším akvakulturním producentem, kdy vykazovala 67 % celosvětové produkce v měřítku kvantity a 49% v měřítku hodnoty v roce 2006 (FAO, 2008).

#### **3.2 Definice akvakultury**

Akvakultura neboli produkce biomasy ve vodě, je ekvivalentem k zemědělství na souši. Zemědělství zahrnuje produkci rostlinnou a živočišnou. Akvakultura je v tomto shodná. Na rozdíl od zemědělství je akvakultura schopna využívat mořskou vodu pro produkci, zatímco zemědělství je závislé na vodě sladké (FAO, 1988).

V roce 1988 FAO definovala pojem akvakultura, tato definice odděluje akvakulturu od „culture — based“ nebo „enhanced fisheries“: „Akvakultura je obhospodařování vodních organismů. Obhospodařování znamená jistou formu zásahů do chovných procesů k podpoře produkce. Obhospodařování také znamená osobní, nebo společné vlastnictví organismů, které jsou produkovány. Veškeré vodní organismy, které byly v průběhu chovného procesu vlastněny, jsou produktem akvakultury.“

### **3.3 Recirkulační akvakultura**

Společně se světovým trendem v oblasti trvalé udržitelnosti je akvakultura kritizována (Subasinghe et al., 2012). Různé důvody jsou vyzdvihovány, nevyjímaje používání rybích mouček a olejů jako součást krmení (Naylor et al., 2000), možné úniky chovaných živočichů z chovných zařízení do volné přírody a nekontrolované znečišťování okolních vod (Boyd et al., 2005; Buschmann et al., 2006).

RAS (recirculating aquaculture systems) jsou systémy, v nichž je voda částečně, či úplně recyklována poté, co projde procesem čištění (Rosenthal et al., 1986).

Hlavní výhodou RAS je výrazně nižší (10 % a méně oproti průtočným systémům) spotřeba vody (Masser et al., 1999; Verdegem et al., 2006; Hamlin et al., 2008; Schneider et al., 2010), avšak tato voda musí být kvalitní a její zdroj udržitelný (Brune et al., 2003; Summerfelt et al., 2009).

Dále RAS nabízí výhody lepších podmínek pro čištění vody a využívání živin (Piedrahita, 2003), lepší hygieny a prevence nemocí (Summerfelt et al., 2009; Tal et al., 2009) a lepší kontroly biologického znečištění, díky nemožnosti úniku organismů ze systému (Zohar et al., 2005).

V RAS se dá dobře kontrolovat teplota vody v systému, rozpuštěný kyslík, oxid uhličitý, amoniak, nitrity, nitráty, pH, salinita, a nerozpuštěné pevné látky. Toto umožňuje udržování ideálních podmínek pro chov organismů, podle jejich fyziologických požadavků (Le Francois et al., 2010).

Navíc jejich použití je možné pro velkou varietu různých živočichů, kteří se díky tomu nemusí dovážet, ale mohou být produkováni v místě spotřeby (Masser et al., 1999; Schneider et al., 2010), to znamená menší náklady na dopravu a s tím související snížení emisí.

RAS jsou závislé na nízkém stresu v průběhu produkce, a komplikované kooperaci mnoha produkčních faktorů. Jejich finanční návratnost se odvíjí od maximalizování produkce biomasy na daný objem vody (Brune et al., 2003; Summerfelt et al., 2009).

Vysoké obsádky jsou nutné k lepší návratnosti investic. Toto opatření naproti tomu vyvolává otázky týkající se welfare (Martins et al., 2005). Na druhou stranu lze pozitivně v rámci welfare uvažovat schopnost systému udržovat stálou kvalitu vody a omezit přenášení nemocí (Roque d'Orbcastel et al., 2009).

Nevýhoda je spojována s prevencí nemocí, kdy postižení mohou být nejen produkovaní vodní živočichové či rostliny, ale i bakterie, které jsou součástí procesů čištění vody (Martins et al., 2005). Minerální látky, residua léčiv, residua rizikových prvků v krmivech a metabolismu se mohou akumulovat v systému a ovlivňovat zdraví, kvalitu a bezpečnost chovaných živočichů, či rostlin (Martins et al., 2009).

Pro produkci v RAS se dříve používaly spíše druhy snášející zhoršenou kvalitu vody. S rozmachem chování slanovodních a brakických druhů se však začaly RAS zdokonalovat. (Martins et al., 2005)

Přestože RAS jsou prokazatelně šetrnější k životnímu prostředí a v mnoha zemích roste jejich počet, tak v porovnání s klasickou akvakulturou (rybníky, mořské klece apod.) či komerčním lovem jde stále o malý sektor produkce. To je dáváno za vinu hlavně vyšším pořizovacím nákladům na RAS (Schneider et al., 2006).

Návrh a produkční plán RAS vyžaduje přesný management mnoha biologických procesů a k nim vztažených operací. Špatný management je popsán jako primární důvod biologického či ekonomického selhání systému u mnoha případů (Libey et Timmons, 1996; Summerfelt, 1996; Timmons et al., 2002).

### **3.4 RAS slanovodní**

Antropogenní aktivity jako intenzivní rybolov, znečištění životního prostředí, zničení habitatů a klimatické změny zapříčiňují úbytek biodiverzity v mořích a oceánech (Jackson et al., 2001; Dulvy et al., 2003; Pandolfi et al., 2003; Worm et al., 2005 Lotze et al., 2006; Halpern et al., 2008). Antropogenní aktivity v čele s rybolovem povedou ke kolapsu populací nejhojněji lovených druhů do roku 2048 (Worm et al., 2006).

Zpomalení až zastavení tohoto trendu, znovuoobnovení mořské biodiverzity a uspokojení stále rostoucí poptávky po mořských organismech je otázkou budoucí integrace managementu lovného rybníkářství (Pauly et al., 2002), snížení znečištění (Lotze et al., 2006), znovuoobnovení habitatů (Lotze et al., 2006; Worm et al., 2006) a především vývojem udržitelné mořské akvakultury šetrné k životnímu prostředí.

Akvakulturně produkovaní slanovodní živočichové tvoří pouze 25.5 % (3,2 % pro rybovitě obratlovce) celkové světové produkce (lovné i akvakulturní) (FAO, 2017). Na

zmenšení lovného tlaku na divoce žijící populace je zapotřebí výrazně navyšovat produkci. Toto se týká hlavně rybovitých obratlovců (Tal et al., 2008).

Akvakulturní chovy s mořskou vodou řeší dva významné problémy znemožňující dosažení udržitelné produkce. Jedná se o interakci těchto chovů s okolním prostředím a dále o používání rybích produktů ve výkrmu, což tlak na populace nikterak nesnižuje, jen přenáší na jiné živočišné druhy (Naylor et al., 1998, 2000; Gyllenhammar et Hakanson, 2005; Gatlin et al., 2007).

Pobřežní klecové chovy vypouští živiny a chemikálie do okolních vod (Naylor et al., 2000; Gyllenhammar et Hakanson, 2005), mohou ovlivňovat divoce žijící populace křížením uprchlých jedinců, což snižuje celkové fitness populace a přenosem chorob (McGinnity et al., 2003; Naylor et Burke., 2005). Způsobují soupeření o zdroje mezi populacemi uniklých živočichů a divokými populacemi či biologické invaze (Fleming et al., 2000; Soto et al., 2001; Volpe et al., 2001) a přenos nemocí mezi těmito chovy a volně žijícími živočichy (Naylor et al., 2000; Krkosek et al., 2005).

Rozvoj produkce slanovodních živočichů ve velké míře závisí na schopnosti eliminovat tyto problémy. RAS jsou velmi dobře schopny řešit problém s interakcí ve všech rovinách. Toto je staví do velmi dobré výchozí pozice pro další rozvoj (van Rijn, 1996; Piedrahita, 2003; Schipp et Gore., 2006; Burnell et Allan., 2009; Kouřil, 2015).

### **3.5 Popis RAS systému s produkcí lososa obecného**

Losos obecný (*Salmo salar*, L. 1758) je momentálně nejvíce ceněným druhem ryby produkované v Evropě (21.32 % celkové hodnoty rybích produktů) (COM, 2016). Toto odvětví je ve velkém zájmu veřejnosti, z důvodu problematické udržitelnosti, což nahrává rozvoji RAS v tomto odvětví. Losos už dávno není luxusní produkt, ale globální komodita (Badiola et al., 2017).

Půmysl produkce lososů nepřetržitě roste už 40 let v korelaci s tím, jak se snižují divoké populace lososů (Gross 1998).

V roce 1996 tento akvakulturní průmysl převážil nad lovem lososů. V roce 2004, světová produkce lososů v akvakultuře byla o více než milion tun vyšší, než u lovu (Asche et al., 2013; FAO, 2016). O deset let později (2014) se tento nárůst zdvojnásobil (tzn. 2326288 tun lososa vyprodukováno a 2319 tun odloveno) (FAO 2016). Dnes je akvakulturní produkce lososa brána jako nejrychleji rostoucí část potravinového průmyslu na světě (Shepherd et Little 2014).

Produkce lososů je na popředí společenského zájmu hledajícího udržitelnost a vysloužila si mnoho kritiky v tisku (Naylor et Burke 2005; Amberg et Hall 2008; Shepherd et Little 2014), přestože environmentální restrikce pro produkci se zpřísnily v mnoha zemích (Fernandes et al., 2001). Příklady kritiky jsou množství vypouštěných odpadních látek a chemikálií (Buschmann et al., 2006), přenos patogenů, úniky chovaných živočichů a jejich interakce s divokými populacemi (Dempster et al., 2002; Buschmann et al. 2006; Uglem et al., 2014), ničení predátorů a zkrmování odpadních ryb z produkce (Naylor et al., 2000).

RAS v průmyslu produkce lososů nabývá na důležitosti. Dostupná data ukazují hromadný trend přesunu líhň z průtočných systémů, či jezerních klecových systémů na RAS systémy. To se děje především z následujících důvodů: 1. Omezení výkonostních problémů (např. lordosa) ve fázi před hlavním výkrmem (Bergheim et al. 2009). 2. Minimalizace výskytu málo kvalitní vody (Joensen, 2008; Kristensen et al., 2009). 3. Vyvarování se změnám teplot (Kristensen et al. 2009). 4. Zajištění růstu, nízké mortality a kvality smoltů (Martins et al., 2010).

Velký zájem o přechod z průtočných systémů na RAS při produkci smoltů stojí především na téměř trojnásobné konečné hmotnosti, které je smolt schopný dosáhnout. V průtočných systémech váží vyprodukovaný smolt 50 – 70 g, v RAS váží 140 – 170 g (Joensen 2008). Již několik studií (Summerfelt et al., 2013; Davidson et al., 2014) došlo k závěru, že produkce lososa v RAS je ekonomicky možná nejen do stadia smolt, ale až k produkci stolních ryb. Dnes se již celý produkční cyklus lososa obecného v RAS používá v Kanadě, Číně, Dánsku, Francii, Polsku a USA (Davidson et al., 2015).

Konzumace lososa je celosvětově trojnásobná oproti 80. letům. Takový nárůst reagoval na boom supermarketů a na zvýšenou poptávku po zdravém jídle, což losos svými nutričními hodnotami dobře plnil a mezi jinými produkty vynikal (Forster, 2010; Asche et Bjørndal, 2011). Z luxusního zboží se stalo dostupné rybí maso pro konzumenty v rozvinutých zemích (Pelletier et Tyedmers, 2007; Forster, 2010). Nicméně mnoho potravinářských produktů se může potýkat se slabou poptávkou, kvůli špatnému marketingu, či jiným stravovacím návykům (Asche et Bjørndal, 2011). A ani u lososa tomu není jinak, a studie se zabývají především sensorickými vlastnostmi masa lososů z RAS (Badiola et al., 2012). Přesněji řečeno jde o špatnou vůni, a její původce v mase z RAS produkce (fenomén známý nejen u lososů), která byla široce studována (Schrader et al., 2005; Schrader et al., 2010; Houle et al., 2011; Petersen et al., 2011; Burr et al. 2012). Nejčastěji se jedná o plesnivou či zemitou vůni ve filetu, což má negativní dopad na kvalitu produkce a znamená to významné ekonomické ztráty (Engle et al., 1995; Tucker, 2000).

Naplňování kvalit, po kterých konzument touží, je klíčový faktor životnosti každého nového produktu. Sensorické uspokojení konzumenta je nejsilnější faktor určující poptávku a úměrně s ním koreluje cena produktu (Verbeke et Vackier, 2005).

Momentální znalosti v oblasti produkce lososa v RAS jsou značné. V posledních desetiletích bylo v severní Evropě provedeno mnoho studií, týkajících se lososa obecného: vývoj a růst (Bergheim et al., 2008; Bergheim et al., 2009; Dalsgaard et al., 2013), welfare a produkce (Kolarevic et Terjesen, 2011), fyziologické tolerance (Handeland et al., 2004), stavba svalů, čerstvost, textura a barva (Einen et Thomassen, 1998), kvalita filetů a špatná vůně (Guttman et Vanrijn, 2008; Burr et al., 2012; Davidson et al., 2014), organoleptické vlastnosti (Sylvia et al., 1995), technika chovu (Summerfelt et al., 2013) a ekonomika (Asche et Bjørndal, 2011). Z těchto znalostí lze sestavit prediktivní model, jenž je důležitý při plánování a stavbě RAS, avšak je třeba tyto znalosti vztahovat k místním podmínkám (Badiola et al., 2017).

Studie byla provedena v oblasti, kde teplota moře kolísá mezi 7 a 21 °C (Goikoetxea et al., 2009). Voda byla z moře čerpána do systému přímo, byla pouze ošetřena UV sterilizérem. RAS se dělí na dvě shodné jednotky, skládající se z tří chovných nádrží, expanzní nádrže, skimmeru, pískového filtru, biofiltru, oxygenačního kužele, UV systému, ochlazovače vody a systémem monitorujícím vlastnosti vody (obrázek. 1 a 2). Chovné nádrže byly modré barvy, měly 3 m v průměru a obsah 7 m<sup>3</sup>. Pracovní objem v jednotce byl 24 m<sup>3</sup>. Nádrže měly dvojitý odtok z důvodu minimalizace rizika přetečení a zachování nejlepšího proudění pro lososovité ryby. Po odtoku z nádrží voda tekla do 2m<sup>3</sup> expanzní nádrže, kde se usazovaly výkaly a zbytky krmiva (odstraněny každé tři dny násoskou). Odtud 30 % vody zamířilo do skimmeru a zbytek procházel pískovým filtrem (0.4 – 0.8 mm) s filtrační plochou 0.636 m<sup>2</sup>. Poté voda tekla do biologického filtru. Skimmer se každý týden čistil. Pískový filtr se promýval každé dva dny. Odtud filtrovaná voda tekla skrz UV sterilizer a podle potřeby se chladila. Poté byla zbavena CO<sub>2</sub> a nasycena O<sub>2</sub> a vracela se do chovných nádrží. Každá nádrž měla zavedena přívod kyslíku pro případ nouze (Badiola et al., 2017).

Chovu předcházela transport 1500 násadových lososů z Irska. Po něm tři fáze výkrmu. První fáze (aklimatizační) trvala jeden měsíc. Po 500 kusech bylo dáno do třech nádrží s protékající mořskou vodou o teplotě 10.5 ± 1.1 °C a salinitou 31.9 ± 0.6 ppm. Počáteční průměrná délka činila 181.1 ± 10.5 mm a váha 57.7 ± 10.2 g. Druhá fáze trvala 11 měsíců. Polovina jedinců byla dána do tří separátních nádrží (obsádka 9.18 kg / m<sup>3</sup>) po 250 kusech. V tomto období pracoval systém jako částečný RAS (25% výměnné vody) při stálých 14 °C. Poslední fáze znamenala rozdělení systému na dvě různé teplotní skupiny. Tzv. kontrolní

system (nádrže C1, C2 a C3) s maximální teplotou  $14 \pm 1.5$  °C a tzv. přírodní systém (N1, N2, N3) s maximální teplotou  $19 \pm 1.5$  °C. Tato fáze trvala 4 měsíce (Badiola et al., 2017).

Fotoperioda při celém výkrmu byla 16 h světla a 8 h tmy. Stejně krmivo pro obě skupiny zkrmováno třikrát denně (8:00, 12:00 a 16:00). V průběhu výkrmu nebyla požitá žádná antibiotika. Denní krmná dávka byla ekvivalentní 0.8 % biomasy. Rozměr pelet byl 3 až 9 mm. Nezkrmené zbytky byly odstraňovány denně. Probíhala denní vizuální kontrola případné mortality (Badiola et al., 2017).

Všechny parametry (kyslík, pH, amoniak, dusičnany, dusitany, teplotu, salinitu, obsah bromidu a chloridu) se dařilo úspěšně udržovat v bezpečných hodnotách potřebných k přežití a dobré prosperitě. Nicméně mezi dny 49 – 98 byla zvýšená koncentrace nitritových iontů. Ovšem na mortalitě či růstu se to nijak neprojeвило. Teplota se pohybovala mezi 9.1 – 15.6 °C a 9.5 – 20.5 °C v kontrolovaném, respektive přírodním systému. Rozdíly v mortalitě mezi obou systémy nebyly pozorovány. Ke konci studie vychází stupeň přežití na 85 % v přírodním respektive 75 % v kontrolovaném systému (Badiola et al., 2017).

Pro každý systém jsou parametry růstu stanoveny dle Rickera (1975). V průměru byly přírůstky v obou jednotkách stejné. Konverze krmiva byla  $1.51 \pm 0.30$  v kontrolním a  $1.23 \pm 0.47$  v přírodním systému. Žádné výrazné odchylky v konverzi nebyly nalezeny (Badiola, 2017).

Senzorické testy konzumentů ukazují, že chuťový rozdíl mezi masem lososa z RAS a mořských klecí není pro laika znatelný. Pokud se tedy konzument bude chtít něčím řídit při nákupu, pak lokální produkce může více zaujmout, než zahraniční (Badiola, 2017).

Normálně při váze přibližně 60 – 90 g projde losos obecný fyziologickou proměnou zvanou smoltifikace a může se adaptovat na slanou vodu, při nasazení do systému s mořskou vodou (Bergheim et al., 2009). Budoucí plány ale počítají s váhou smoltů až 1 kg před nasazením do slané vody (Dalsgaard et al., 2013). Losos obecný roste ve sladké vodě o 12 ‰ rychleji díky tomu, že vynaloží méně energie na osmoregulaci (Warrer-Hansen, 2015). Post-smolt stádium lososa obecného může být bez obav chováno v RAS s koncentrací nitrátů do 100 mg / L (Davidson et al., 2015). Zvýšení maximální koncentrace nitrátů umožní snížit výměnu vody v systému, což znamená snížení nákladů na vytápění a čerpání vody (Badiola, 2017).

V průměru měl přírodní systém vyšší teplotu, rozdíl oproti kontrolnímu činil 4.5 - 5.6 °C. Pokusy s treskou obecnou (*Gadus morhua*, L. 1758) (Luczkovich et Stellweg, 1993; Imsland et al., 2005; Badiola, et al., 2016) a platýsem obecným (*Hippoglossus hippoglossus*, L.

1758) (Larsen et al., 2010) prokázaly, že pokles teploty vody v juvenilním stadiu ryb může mít vliv na dlouhodobé zvýšení růstu.

Jedním z problémů farmové ryby může být její “zemitá“ chuť (Schrader et al., 2005; Houle et al., 2011; Petersen et al., 2011; Burr et al., 2012). Tato chuť je přirozeně způsobena geosminem a 2-methylisborneolem (Persson, 1980; Schrader et al., 2005; Guttman et Vanrijn, 2008; Schrader et Summerfelt, 2010; Houle et al., 2011). Tyto látky jsou sekundární metabolity jistých druhů cyanobakterií a aktinomycet (Slater et Blok, 1983; Guttman et Vanrijn, 2008; Schrader et Summerfelt, 2010). Tyto látky jsou perzistentní a přetrvávají vysoké teploty (vaření) (Farmer et al., 2000). Nicméně ve spotřebitelském testu produktů z tohoto systému nebyla takto chuť pozorována v žádném vzorku. Při srovnání lokálního farmového lososa s norským byl výsledek 6.876 bodů pro lokálního a 6.800 pro norského. To je zanedbatelný rozdíl (Badiola et al., 2017).

Velký vliv na sensorické vlastnosti masa má fáze pohlavního dospívání lososů, kdy sensorické vlastnosti se zhoršují (jejich intenzita slábne) s pohlavním dospíváním jedince (Aksnes et al., 1986). Ranné pohlavní dospívání může způsobit ekonomické ztráty v podobě menšího růstu a horší jakosti masa. Faktory jako fotoperioda a teplota vody toto významně ovlivňují (Good et Davidson, 2016). Vylačnění by mělo být okolo 24 hodin (Johansson et Kiessling, 1991; Einen et Thomassen, 1998). Lokální produkce umožňuje prodej čerstvých ryb přímo zákazníkovi. Není nutno ryby mrazit. Zmrazení ryby má všeobecně špatný vliv na sensorické vlastnosti masa, především ztráty šťavnatosti a čerstvého vzezření při podávání pokrmu, způsobené porušením vaznosti masa (Shewfelt, 1981; Mackie, 1993).

### **3.6 Popis RAS systému s produkcí mořana zlatého**

Systém chovu mořana zlatého (*Sparus aurata*, L. 1758), zvaného též pražma královská, dle Tal et al. (2009), pojednává o vývoji plně fungujícího, land-based slanovodního RAS. Systému, který produkuje pouze zanedbatelné množství odpadní vody a blíží se zero-discharge systémům. Technologicky je tento RAS inovativní hlavně v oblasti čištění odpadních vod, využívající kombinaci denitrifikace, anaerobní oxidace amoniaku a anaerobní fermentace k redukci obsahu a objemu toxických dusíkatých sloučenin ve vodě. Jinak se jedná o klasický RAS (obrázek 3 a 4).

V tomto výzkumu sehrál významnou roli faktor RAS, který umožňuje chovat mořana zlatého i v Severní Americe, kde je jinak jeho chov jakožto invazivního druhu zakázán (Tal et al., 2009).



Tento systém je porovnávan s komerčným chovem mořana zlatého v mořských klecových chovech v oblasti Středoziemního moře z hlediska růstu, konverze, a celkové produkce. Vyhodnocena je jeho konkurenceschopnost (Tal et al., 2009).

Systém se skládá ze dvou 12 m<sup>3</sup> nádrží, které jsou připojeny k integrovanému modulu filtrace (IMF) jako komponent primární úpravy vody. IMF modul se skládá z komponentů: odstraňovač CO<sub>2</sub>, odstraňovač bílkovin či odpěňovač (skimmer), nitrifikační biofiltr s plovoucím substrátem a generátorem kyslíku pro oxygenaci v systému. Biofiltr je naplněn 4 m<sup>3</sup> polyethylenových maticí, které mají 1 cm v průměru a obsah 500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Ozon produkovaný ozonovým generátorem je vpouštěn přímo do skimmeru v objemu 10 – 20 l / min kvůli desinfekci a zlepšení parametrů vody, jako například turbidity. Průtok vody skrze IMF modul je nastaven na 45 m<sup>3</sup>/h, což umožňuje kompletní výměnu nádrží 2 x za hodinu. Hlavní aerobní proud je připojen k anaerobní smyčce, která se skládá ze dvou usazovacích nádrží a denammox biofiltru (denammox: s funkcí anaerobní oxidace amoniaku a denitrifikace). Sběr kalu má na starosti bubnový filtr (60 μm) a systém zpětného promývání filtrů, který bere vodu z chovných nádrží. Kal a voda z promývání filtrů jsou usazovány v první usazovací nádrži. Voda přetéká vrchem do druhé usazovací nádrže, která má zároveň aktivační funkci. Je zde 0.3 m<sup>3</sup> polyethylenových maticí, které jednak zabraňují přílišné pohyblivosti vody, a zlepšují sedimentaci a zároveň slouží jako substrát pro bakterie. Zadržení vody v těchto dvou nádržích záleží na objemu vody, který je použit pro promývání bubnového filtru, ale v průměru se jedná o 2.5 h. Z obou usazovacích nádrží se usazenina čerpá do vyhnívací nádrže (anaerobního reaktoru). Voda přepadávající z druhé nádrže se připojí zpět k hlavnímu aerovnému proudu a je pumpována skrze biofiltr. Tato konfigurace umožňuje zásobit biofiltr vodou bohatou na nitráty z chovných nádrží spolu s vodou bohatou na sulfidy, amoniak a rozpuštěné organické sloučeniny z anaerobní smyčky. Denammox biofiltr obsahuje 1.5 m<sup>3</sup> polyethylenových maticí k zachytávání pevných částic a jako substrát pro bakterie. Průtok tímto filtrem je 0.44 m<sup>3</sup>/h s průměrnou dobou zadržení vody 6.8 h. Což znamená výměnu objemu obou chovných nádrží jednou za 4 dny. Kapalný kyslík je ve vodě rozpuštěn v okysličovači a nasycená voda je smíšena s hlavním proudem vody, který teče do chovných nádrží. Koncentrace kyslíku je kontinuálně monitorována analyzérem rozpuštěného kyslíku a udržována nad hodnotou 5 mg / l. Oxidačně-redoxní potenciál (ORP) je monitorován přímo v chovných nádržích ORP analyzérem a ozon byl automaticky dodáván do skimmeru při hodnotách ORP pod 350 mV (Tal et al., 2009).

PH v systému bylo udržováno v rozmezí 7.2 ± 0.3 automatickým dávkovačem 20 % roztoku hydroxidu sodného. Teplota systému byla udržována na hodnotě 26 ± 1 °C. Systém byl

napuštěn uměle vytvořenou mořskou vodou, připravenou přidavkem potřebných látek do vody (Zohar et al., 2005); salinita byla udržována v rozmezí 15 až 17 g / l (Tal et al., 2009).

Nasazeno bylo 5000 kusů rychleného plůdku mořana zlatého s průměrnou vahou 0.5 g. Po nárustu na průměr 61 g v aklimatizačním systému bylo 4230 ryb přesunuto do slanovodního RAS a rozděleno rovnoměrně do obou nádrží. Krmivo bylo přímo určeno pro mořana zlatého obsahující 45 % proteinů, 18 % tuku a 1.8 % fosforu. Rozměr pelet se zvětšoval úměrně růstu obsádky od drceného krmiva až po 7mm pelety. Krmná dávka byla průběžně zvyšována v nastavených intervalech od 6:00 do 16:00. Fotoperioda byla nastavena na 16 hodin světla (Tal et al., 2009).

Vyskladňování stolních ryb začalo za 131 dní při průměrné váze 412 g, obsádce 73 kg / m<sup>3</sup>, a mortalitě 1 %. Průměrné tržní váhy 450 g bylo dosaženo za 153 dní. Celý výkrm od 0.5 g do 450 g včetně aklimatizace trval 274 dní (obrázek 5). Tyto přírůstky jsou až o 85 % lepší, než u chovu v klecích, které jsou považovány za standardní a výkrm zde trvá 14 - 17 měsíců (Theodorou, 2002). V průběhu výkrmu 131 dní byla průměrná konverze krmiva 1.2. Konverze reflektuje lepší efektivitu využití nutričních látek u ryb chovaných v ideálních podmínkách RAS. Standardní konverze krmiva pro klecové systémy je 1.8, což představuje třetinové úspory ve prospěch RAS v nákladech na krmivo (Theodorou, 2002). Svojí zásluhu na tomto výsledku má jistě i stabilní fotoperioda (16 h), která vyvolává oddálení pohlavního dospívání a investování energie do tvorby gonád (Kissel et al., 2001; Norberg et al., 2001). 1000 kg produkce bylo distribuováno do vyhlášených restaurací se zaměřením na mořské jídlo v Baltimore. Zpětná vazba týkající se kvalitativních parametrů zahrnující chuť a konzistenci byla pozitivní bez výjimky. Analýzy (Lancaster Laboratories, PA) na polychlorované bifenyly (PCB) a rtuť neprokázaly detekovatelnou koncentraci těchto látek tzn. rtuť pod 0.05 mg / kg a PCB pod 8.4 µg / kg. Přestože obsádka byla intenzivní (73kg/m<sup>3</sup>), více než 99 % z celkového objemu vody 40 m<sup>3</sup> bylo denně zrecyklováno. V průběhu výkrmu bylo ztraceno 22 m<sup>3</sup> slané vody z důvodu úniků netěsnostmi a při manipulaci s rybami (denní ztráta 0.36 %). Což je věc, která může být ještě výrazně zlepšena. 2.35 m<sup>3</sup> slané vody bylo odstraněno spolu s kalem (denní ztráta 0.05 %). 26.2 m<sup>3</sup> bylo evaporováno (denně 0.5 %) a doplněno čistou vodou. Přes vysokou obsádku a vysokou recyklaci vody byly kvalitativní parametry vody v průběhu výkrmu výrazně pod koncentracemi, které jsou považovány za stresující u mořských rybovitých obratlovců (Tal et al., 2009).

Spojení anaerobní oxidace amoniaku (anammox) a denitrifikace do jednoho reaktoru vyústilo v proces zvaný denammox (Pathak et Kazama, 2007; van der Star et al., 2007), kdy se

najednou redukují sulfidy, amoniak a nitráty. Část kalu byla použita jako endogenní zdroj uhlíku pro proces denitrifikace a zbytek byl použit na anaerobní fermentaci v bioplynovém reaktoru (Tal et al., 2009).

Tyto procesy výrazně snížily celkový objem organického odpadu o více než 96 % a posloužily pro produkci methanu, který lze jímat a dále využívat. Vzhledem k tomu, že kal ze slanovodního RAS nelze použít jako hnojivo, jsou tyto procesy redukce objemu odpadu esenciální. Poměrně ojedinělá konfigurace systému čištění odpadních vod umožňuje vznik tří různých redoxních zón, což výrazně podporuje mikrobiální procesy důležité pro čištění těchto vod. Okysličená chovná nádrž a denitrifikační filtr měli nejvyšší redoxní potenciál ( $400 \pm 100$  mV), zatímco fermentační reaktor měl velmi nízký ( $-500 \pm 100$  mV), což vytvářelo redoxní gradient v rámci systému až 1 V (Tal et al., 2009).

V tomto systému také docházelo k fenoménu popsanému již dříve (van Rijn et al., 2006). Aerobní nitrifikace a dýchání ryb snižuje pH, zatímco anaerobní fermentace a denitrifikace zase pH zvyšují, což ve výsledku vede k vybalancování systému a jen to potvrzuje jeho schopnost samo-regulace (Tal et al., 2009).

V systému byl zkoumán i výskyt fosforu, který i ve vysokých koncentracích není pro ryby toxický (Iwama, 1991). Také je známo, že jen 29 % fosforu v krmivu je využito a zachyceno v organismu (Lupatsch et Kissel, 1998). V této studii bylo jen 7.7 % fosforu akumulováno ve vodě, se zbytkem uloženým v kalu (18.2 %) a zachyceným v biofiltru (42.8 %). Také pravidelné čištění biofiltru a zpracování kalu přispělo k bezpečnému odvodu fosforu a jeho bezproblémovému opětovnému ukládání (Tal et al., 2009).

Průměrné denní koncentrace amoniaku nepřekročily 0.8 mg / l a nitritů 0.2 mg / l. Pro druhy jako je mořan zlatý jsou přitom doporučené maximální hodnoty pro amoniak 1.7 - 2.5 mg / l (Person-Le Ruyet et al., 1995) a nitritů 200 mg / l (Parra et Yufera, 1999), pokud jsou ostatní podmínky optimální. Koncentrace nitrátů se zvyšovala v průběhu prvních 50 dní a poté se stabilizovala na hodnotě 150 mg / l po zbytek výkrmu. Produkce sulfidů sulfát-redukujícími bakteriemi v kalu byla zmírněna stimulací autotrofní denitrifikační aktivity, kde se sulfidy uplatňují jako donor elektronů v procesu redukce nitrátu. Na sulfidech závislá autotrofní denitrifikace v biofiltru převažovala nad heterotrofní denitrifikací v průběhu prvních padesáti dní, kdy byla menší krmná dávka. V tomto období měla autotrofní denitrifikace podíl na rozkladu nitrátů až 60 %. Naopak v období mezi 50 až 130 dny výkrmu převažovala heterotrofní denitrifikace. To dokazuje komplementaritu těchto procesů (Tal et al., 2009).

Procesy odstraňování amoniaku probíhaly souběžně v aerobním biofiltru (přes nitrifikaci) a v anaerobním denamnox biofiltru (přes anaerobní oxidaci amoniaku). Již předtím byly anammox bakterie identifikovány jako součást mikrobiální komunity ve slanovodních denitrifikačních biofiltrech (Tal et al., 2006) a integrace a aktivita anammox bakterií byla definována jako důležitá součást odstraňování dusíku ze slanovodních RAS. Zahrnutí anammox procesu do anaerobní smyčky umožňuje odstraňování amoniaku vyprodukovaného v průběhu mineralizace kalu bez nutnosti zvyšování kapacity aerobního denitrifikačního biofiltru, který je energeticky více náročný. Krátkodobé laboratorní inkubace mikrobiálních společenstev z denamnox biofiltru potvrdily konkurenční rozklad amoniaku a nitrátů. Studie též prokázaly společnou aktivitu anammox bakterií a denitrifikačních bakterií v přírodě, či umělém prostředí (Trimmer et al., 2005). Tyto studie předpokládají, že nějaký z meziproductů denitrifikace se může dostat ven z buňky do okolí a dodat nitrit pro anammox, čímž umožní průběh tohoto procesu v anaerobním prostředí. Toto tvrzení silně podporuje zjištění, že amoniak a nitráty jsou do denamnox biofiltru přijímány současně. Výsledky testu ukazují, že 11.6 % dusíku, který byl do systému dodán v krmivu, se rozložil díky anammox procesu. Většina byla rozložena v denitrifikačním biofiltru. V průběhu testu bylo zkrmeno 1807 kg krmiva, ve kterém bylo obsaženo 130.1 kg dusíku a 32.5 kg fosforu (7.2 % N a 1.8 % P). Z celkového dusíku v krmivu bylo 28.6 kg zadrženo v tělech (Lupatsch et Kissel, 1998), 4.2 kg bylo uloženo v kalu a 9.3 kg akumulováno ve vodním sloupci. Přibližně 85.4 kg dusíku bylo odstraněno denitrifikačním procesem a 15.1 kg dusíku anammox procesem. 9.4 kg fosforu bylo uloženo v tělech ryb, 5.9 kg v kalu, 2.5 kg ve vodním sloupci a 13.9 kg bylo akumulováno v denamnox biofiltru ve formě organických částí a biomase bakterií. Celkový odbouraný dusík lehce přesáhl celkový dusík v krmivu (142.6 kg / 109.6 %) a celkový odbouraný fosfor byl lehce pod celkovým fosforem v krmivu (31.7 kg / 97.7 %) (Tal et al., 2009).

Ukládání a rozklad organických látek zde mimo jiné představuje zdroj endogenního uhlíku pro denitrifikaci a zároveň umožňuje mineralizaci organického uhlíku za produkce  $\text{CH}_4$  (Tal et al., 2009).

Bioplynový reaktor, který byl plněn hlavně částečně mineralizovaným materiálem z usazovacích nádrží, relativně konstantně produkoval metan, dosahující 60 % konverze v průběhu hlavní růstové fáze ryb. Více než 80 % vstupních látek bylo přeměněno na plyn, což výrazně zmenšilo objem digestátu, se kterým bylo třeba dále nakládat (Tal et al., 2009).

V slanovodním prostředí mohou methanogenezi konkurovat sulfát redukující bakterie. Nicméně methanogeneze je konkurenceschopná v habitatech s přebytkem substrátu např.

zdrojem organického uhlíku (Sowers et Ferry, 2002). Je předpokládáno, že poměr CHSK (Chemická spotřeba kyslíku) /  $\text{SO}_4^{2-}$  vyšší než 10 eliminuje inhibici methanogeneze sulfát redukujícími bakteriemi (Hulshoff Pol et al., 1998; Pind et al., 2003). V provedené studii se CHSK /  $\text{SO}_4^{2-}$  pohyboval v rozmezí 25 – 55 (Tal et al., 2009).

V průběhu experimentu bylo 2.61 m<sup>3</sup> kalu (3 % sušiny) usazeno v odkalovacích nádržích. Pokusný bioreaktor s objemu 20 litrů produkoval průměrně 40 mmol metanu za den a celkově využil jen 0.26 m<sup>3</sup> kalu. Na velikost systému, který byl použit k výzkumu, by stačil bioreaktor o objemu 100 litrů, který by využil veškerý kal a produkoval by 26 molů methanu na každou tunu vyprodukovaných ryb. Při využití této technologie bude třeba na každou tunu vyprodukovaných ryb odstranit pouze 10.5 kg digestátu, což představuje asi 2.8 % v porovnání s 375 kg / t při klasickém výkrmu ryb při konverzi 1.5 a výkaly tvořící 25 % přijatého krmiva (Timmons et al., 2002). Tímto se také minimalizuje ztráta slané vody. V průběhu 131 dní výkrmu byla ztráta 16.4 l / kg vyprodukovaných ryb, což je velmi nízké číslo v porovnání s klasickými RAS, kde se tyto hodnoty pohybují ve stovkách až tisících litrů na kilogram vyprodukovaných ryb (Piedrahita, 2003; Suzuki et al., 2003). Vzhledem k takto nízkým ztrátám vody lze s tímto systémem uvažovat jako s možností produkce mořských organismů ve vnitrozemí, bez napojení na zdroj slané vody (Tal et al., 2009).

### 3.7 Popis RAS systému s produkcí humra evropského

V dnešní době je humr evropský (*Homarus gammarus*, L. 1758) považován za vrchol exkluzivity mezi mořskými pochoutkami po celém světě. Jeho světový roční odlov čítá 2000 - 2500 tun (Agnalt, 2008). V Norsku jeho roční odlov poklesl z 1000 - 1300 tun v první polovině 20. století na 30 - 50 tun v osmdesátých letech. Toto umožnilo vzniknout vysokému rozdílu mezi nabídkou a poptávkou, jehož důsledkem byl výrazný nárůst ceny. Tím se humr evropský stal velmi žádaným druhem pro produkci v akvakultuře. Tento zájem eskaloval v sedmdesátých letech a byl podporován vládními dotačními programy nejen v Norsku, ale produkce humra amerického (*Homarus americanus*, H. Milne-Edwards 1837) v USA a Kanadě (Coffelt et Wikman-Coffelt, 1985). V důsledku toho bylo provedeno mnoho výzkumů a studií a lze říct, že biologie humra evropského je velmi dobře popsána (van Olst et al., 1980; Aiken et Waddy, 1995; Factor, 1995; Nicosia et Lavalli, 1999). Přesto první pokusy o produkci humrů skončily finančním propadákem (Nicosia et Lavalli, 1999). Toto záviselo především na nestálosti dotačních titulů, nedostatečně vyvinuté chovné technologii a nedostatečně vyvinutém krmivu (Aiken et Waddy, 1995). Dále v té době nebyly rozvinuty informační technologie (IT) tak, jak je tomu dnes. Přičemž právě IT jsou esenciální pro automatizaci celé produkce a minimalizaci nákladů. Průlom zde přišel s novým tisíciletím, přinesl automatizaci produkce, technologie land-based produkce a technologie recirkulačních systémů, především monitoring a účinný ohřev vody (Drengstig et Bergeim, 2010a).

V porovnání s ostatními rody humrů je genus *Homarus* velmi otužilý s jednoduchým a krátkým larválním stádiem. Rychle se rozkrmí na přirozené potravě i na krmných směsích (Drengstig et al., 2009), je odolný vůči chorobám a vykazuje rapidní růst v teplých vodách (van Olst et al., 1980; Kristiansen et al., 2004).

Teplota je parametrem nejvýrazněji se podepisujícím na intenzitě růstu. Optimální teplota pro humra evropského je 20 °C (Aiken et Waddy, 1995). Larvální stádium trvá 12 dní při 20 °C (Waddy, 1988; Drengstig et al., 2009) v porovnání s 35 dny při 15 °C (van Olst et al., 1980). Humr evropský je schopen dorůst 250 - 300 g (délka 210 mm, karapax 75 mm) za 24 - 30 měsíců při konstantní teplotě 20 °C (Wickins et Beard, 1991; Kristiansen et al., 2004). Vyšší intenzita růstu při teplotě 20 °C je způsobena hlavně potlačením zimní inhibice růstu a zajištěním celoročně stabilních přírůstků (Asbjørn et Asbjørn, 2013).

Z důvodu velkých velikostních rozdílů, vysoké mortality v důsledku kanibalismu a zranění při společném chovu jsou jedinci chováni individuálně (Asbjørn et Asbjørn, 2013).

Ideální systém na chov humrů by měl být levný na výstavbu a provoz, jednoduchý na údržbu, založen na automatickém krmení a čištění, udržující stálou kvalitu vody, využívající všech tří dimenzí v nádrži, umožňující vysoké intenzity obsádky, dobře izolovaný pro udržování stále teploty, zajistit nízkou mortalitu a umožnit dobrý přístup obsluze k inspekcím (van Olst et al., 1980; Grimsen et al., 1987; Aiken et Waddy, 1995). První farma (Norwegian Lobster Farm Ltd.), která byla schopna všechny tyto parametry splnit a vytvořit první opravdu dobře fungující systém, započala své výzkumy až v roce 2000 a od roku 2007 je jedinou land-based farmou produkující humra evropského (obrázek 6). V průběhu tohoto výzkumu bylo testováno 6 rozdílných technických řešení, vytvářely se krmné směsi, testovaly se automatické části systému (automatické krmítko, vyskladňovací robot, třídící robot a kontrola systému na dálku), byly vytvářeny biologické protokoly k chovu, prováděny kulinářské testy a testy trhu. Výsledný systém je RAS s patentovanou klecovou technologií pro individuální chov humrů. Produkce zde probíhá od jikry do stolního kusu. Výkrm využívá krmné směsi vytvořené v testování. Jejich kvalita se projevuje ve vysoké kvalitě vyskladněných jedinců. Biologická data jsou na tomto systému sbírána více než 10 let (Asbjørn et Asbjørn, 2013).

Systém se skládá z chovné části pro produkci chovných jedinců, z líhně a z části pro výkrm s roční produkcí 2 tuny. Nachází se v něm čerpadlo pro mořskou vodu (tento systém je napojen na moře), mechanická filtrace, UV filtr, biofiltr, titanové tepelné výměníky, ohříváče, zásobní nádrže, chovné nádrže, inkubátory larev a příslušenství (Asbjørn et Asbjørn, 2013).

Budovy jsou zatepleny pro lepší ekonomiku provozu. Celkový objem líhně je 30 m<sup>3</sup>. Produkční část má objem 150 m<sup>3</sup>. Záložní voda je čerpána z hloubky 52 metrů pod mořskou hladinou. Tři recirkulační smyčky dodávají 300 l / min filtrované (30 μm) a okysličené vody o teplotě 18 - 20 °C. Do každé smyčky je dodáváno 15l / min čerstvé mořské vody, která je filtrována a UV sterilizována, to znamená výměnu celkového objemu vody systému jednou za tři dny (důležité je mít průtoky pro výměnu naddimenzované v případě špatného fungování recirkulace). Hlavní jednotka pro čištění vody jsou dva biofiltry s plovoucím substrátem, mechanický filtr a zásobní nádrž pro chemickou stabilizaci vody. Biofiltry jsou výrazně provzdušňovány a jejich obsah je 0.5 m<sup>3</sup>. Náplní jsou AnoxKaldnes<sup>TM</sup> matrice v objemu až 60 % biofiltru. Relativní obsah biofiltru je 500 m<sup>2</sup> / m<sup>3</sup>. Líheň má produkční kapacitu 350,000 juvenilů v IV. fázi vývoje při využívání 24 Kreislových inkubátorů se stoupajícím proudem o objemu jednoho inkubátoru 40 l. Obsádka v průběhu pelagické fáze (I - IV) je přibližně 2500

juvenilních jedinců na inkubátor. Třídící robot je využíván k determinaci posledního larválního stadia (IV). Využívá fotografií a jejich analýz. Jeho kapacita je ca. 20 jedinců / min. Jedinci, kteří nedosáhli stadia IV, jsou navraceni zpět do líhně, jedinci IV stadia pokračují do distribučního robota, ten dává jednotlivce do samostatných klecí pro výkrm. Jednotlivé klece jsou pohybovány principem dopravního pásu. Krmení jsou jedinci v klecích, které jsou ve vzpřímené poloze. Pod krmičkou je kamera umožňující individuální sledování jedinců programem, který vyhodnocuje, jestli jsou živí, mrtví či jestli se svlékají. Tento program také odhaduje individuální dobu vyskladnění jedinců podle frekvence svlékání. Celá pohyblivá jednotka se poté otočí o jednu řadu klecí po směru hodinových ručiček. Humři na cestě směrem dolů konzumují krmivo, které jim bylo podáno. Když se klece dostanou do spodní pozice, zbytky krmiva a fekálie vypadnou z klecí díky gravitační síle. Na dně nádrže je stírač s odsáváním, který dno čistí. Jednotlivé klece jsou pročišťovány proudem vody, který se zvětšuje se spodní pozicí klece, to zvětšuje tlak v kleci a umožňuje lepší vymývání produktů metabolismu a zbytků krmiva. Obsádky se mění podle jednotlivých velikostí jedinců. Maximální obsádka činí 25 kg / m<sup>3</sup> u 6 cm humrů, 35 kg / m<sup>3</sup> u 12 cm humrů, 45 kg / m<sup>3</sup> u kuchyňské velikosti humrů (Asbjørn et Asbjørn, 2013).

Pro sledování růstové intenzity je měřena délka karapaxu (CL) a celková délka těla (TL). Nicméně tyto dvě veličiny vykazují korelační koeficient 0.97. Pro účel sledování intenzity růstu lze tedy využívat pouze CL (Kristiansen et al., 2004). Čas potřebný k vykrmení 300 g humra (ca. 75 mm CL) záleží na intenzitě růstu. V popisovaném systému tento výkrm trval od líhnutí do vyskladnění 800 – 900 dní či 17,000 denních stupňů při dobrých podmínkách (Drengstig et al., 2009). Lineární růstové křivky (obrázek 7) ukazují různé růstové intenzity (Kristiansen et al., 2004). Růst humrů v tomto systému se pohybuje v nejlepších možných hodnotách v porovnání s jinými studii (Wickins et Beard, 1991; Aiken et Waddy, 1995). Již mnoha studii bylo prokázáno, že vykrmit humra od IV stadia do 300 g za kratší dobu než 24 měsíců je možné v intenzivním výkrmu (Kristiansen et al., 2004; Drengstig et al., 2009). Předpokladem pro takto vysokou intenzitu růstu je především optimální složení krmné dávky a udržování stabilních podmínek v systému. Navíc při použití nového složení krmné dávky (obrázek 8) jsou všichni jedinci schopni vytvořit přírodní černé pigmentování. Při zkrmování klasického komerčního krmiva pro mořské ryby se humři po 2 - 3 svléknutích stávají bledě modří až bílí. Při měření obsahu astaxanthinu v krmivu (50, 100 a 200 mg / kg sušiny) se neprokázal žádný rozdíl v pigmentaci humrů u těchto tří koncentrací (Drengstig et al., 2003). Průměrná konverze v komerční produkci je přibližně 1.5, u malých chovů lze dosáhnout konverze 1.2 - 1.3. Dále lze intenzitu růstu zvýšit (resp. snížit dobu výkrmu) šlechtitelskou



prací. Na tomto systému byly provedeny studie, které dokázaly, že celoroční produkce juvenilů je možná a zkoumaly heritabilitu u růstu a mortality (Agnalt, 2008; Drengstig et al., 2011).

Systém zásobovaný kvalitní vodou je nezbytný pro udržení správné produkce, welfaru a zmenšuje stres a výskyt nemocí. Obzvláště v uzavřeném systému, kde je minimální, nebo žádná výměna vody je riziko velkých koncentrací metabolitů (Timmons et Losordo, 1994). Nicméně v RAS systému pro chov humrů je voda znovuvyužívána především kvůli zmenšení nákladů na vyhřívání vody (Asbjørn et Asbjørn, 2013).

Vysoké nasycení vody kyslíkem je velmi nebezpečné, jelikož bylo prokázáno, že se mohou vytvářet kyslíkové bublinky v hemolymfě a mohou přerušit oběh krve (Aiken et Waddy, 1995). Přestože jsou humři relativně přizpůsobiví vysokému rozptylu salinit, optimální je salinita mezi 28 a 35 ppt (van Olst et al., 1980; D'Abramo et al., 1985). Ve svých pracích nebyli Beard et al. (1985) a Beard et McGregor (2004) schopni přesně definovat doporučené hodnoty pro nitrity a nitráty, musí se tedy pracovat s hodnotami pro mořské ryby. Lze říci, že amoniak je nejvíce limitující parametr ve všech slanovodních RAS a to platí i u humrů (Asbjørn et Asbjørn, 2013). Optimální TAN (celkový amonný dusík) stanovena van Olstem et al. (1980) je o něco větší, než TAN doporučená D'Abramem et al. (1985), přesto lze říci, že by měla být menší než 1.5 mg / L. Není pochyb o tom, že druh *Homarus* je více odolný než většina rybovitých obratlovců. Estrella (2002) prokázal, že maximální krátkodobé koncentrace jsou u nitrátů až 5 mg / L a nitritů až 100 mg / L. Podle Wickinse et Leeho (2002) jsou ideální hodnoty parametrů vody pro chov humrů s klepety následující: teplota 18 – 22 °C, salinita 28 – 35 ‰, kyslík 6.4 mg / L, pH 7.8 – 8.2 a méně než 14 g N / L pro NH<sub>3</sub>. Přesto se zdá, že humr evropský dokáže krátkodobě tolerovat parametry daleko méně přívětivé, než jsou ty ideální. Obzvláště nízký obsah kyslíku a vysoký obsah amoniaku (Asbjørn et Asbjørn, 2013).

Na tomto popisovaném systému také Hamelo (2006) provedl studii, která ukázala, že spotřeba kyslíku humry výrazně kolísá s jejich velikostí. Při 19 °C má potěr o hmotnosti 7 – 10 g spotřebu 0.8 – 6.3 mg O<sub>2</sub> / kg \* min, jedinec o hmotnosti 43 – 54 g spotřebu 0.5 – 3.5 mg O<sub>2</sub> / kg \* min a veliký jedinec 148 – 208 g 0.7 – 2.1 mg O<sub>2</sub> / kg \* min. Typická spotřeba kyslíku u stresovaného humra je 2 x vyšší (Asbjørn et Asbjørn, 2013).

Standartní spotřeba pro humry o hmotnosti 230 – 600 g je 0.73 mg O<sub>2</sub> / kg \* min při 20 °C (Whiteley et al., 1990).

Rozpětí spotřeby kyslíku je velké ve stejných hmotnostních skupinách (1: 8 – 1: 3). Výkyvy byly diurnální a vrchol měly v době krmení (Hamel, 2006). Produkce CO<sub>2</sub> byla 1.5 až 2 krát větší než spotřeba O<sub>2</sub> (Asbjørn et Asbjørn, 2013).

Produkce amoniaku klesá s větší velikostí jedinců: potěr o hmotnosti 0.5 – 1.8 g má produkci 0.35 mg TAN / kg \* min, jedinci o hmotnosti 20 – 44 g produkci 0.07 – 0.1 mg TAN / kg \* min, jedinci o hmotnosti 94 – 208 g produkci 0.04 – 0.09 mg TAN / kg \* min. Zvýšená produkce amoniaku koreluje se zvýšenou spotřebou kyslíku. Opakované měření však ukázalo, že výchyly v produkci amoniaku jsou značné. Beard et al. (1985) odhadnul spotřebu amoniaku u 300 g jedinců na 0.10 – 0.37 mg TAN / kg \* min, což je 3 - 4 krát více, než v tomto systému. Amoniak je velmi dobře odstraňován biofiltrem v průměrné intenzitě 50 – 70 % TAN. Krmivo pro humry je bohaté na bílkoviny a tedy produkce amoniaku u adultních jedinců je v rozmezí 0.1 - 0.5 g TAN / kg \* den. Kvůli vysokému obsahu bílkovin v krmivu a relativně nízké toleranci na amoniak (Wickins et Lee, 2002), je efektivita biofiltru v RAS s produkcí humrů velmi důležitá (Crear et al., 2002). Při malé intenzitě naskladňování byly požadavky na parametry vody dodrženy či jen málo překročeny. Zdá se, že biofiltr funguje velmi dobře a bez problémů při naskladňovací intenzitě 0.1 kg / m<sup>3</sup> \* 24 h (Drengstig et Bergheim., 2010b).

#### **4 Závěr**

Využití recirkulačních akvakulturních systémů k produkci slanovodních živočichů je možné. Takové systémy jsou technologicky velmi složité a je třeba využívat nejmodernější technologie k jejich návrhu i provozu. Jejich počáteční náklady jsou velmi vysoké, proto se uplatní především při produkci hodnotných druhů, nebo pokud dokáží méně hodnotným druhům dodat přidanou hodnotu v podobě menšího zatěžování přírody při produkci.

Recirkulační systémy s mořskou vodou lze stavět s potrubním spojením s mořem a vodu v něm částečně obměňovat, lze ale také provozovat systémy, kde není třeba výměna vody. Takové lze stavět i ve vnitrozemí, čímž je možná domácí produkce druhů, které doposud nebylo možno ve vnitrozemí produkovat.

## 5 Seznam literatury

- Agnalt, A. L. 2008. Stock enhancement of European lobster (*Homarus gammarus*) in Norway; comparisons of reproduction, growth and movement between wild and cultured lobster. Dr. Scient. Thesis. Department of Biology., University of Bergen. Norway.
- Aiken, D. E., Waddy, S. L. 1995. Aquaculture. In: Factor, J. R. (ed.). *Biology of the Lobster Homarus americanus*. Academic Press. San Diego. p. 153 – 175. ISBN: 0080528031.
- Aksnes, A., Gjerde, B., Roald, S. O. 1986. Biological, chemical and organoleptic changes during maturation of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 53. 7 – 20.
- Alabaster, J. S., Lloyd, R. 1982. *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*. FAO. London. p. 361. ISBN: 0408106735.
- Amberg, S. M., Hall, T. E. 2008. Communicating risks and benefits of aquaculture: a content analysis of US newsprint representations of farmed salmon. *Journal of World Aquaculture Society*. 39. 143 – 157.
- Asbjørn, D., Asbjørn, B. 2013. Commercial land-based farming of European lobster (*Homarus gammarus* L.) in recirculating aquaculture system (RAS) using a single cage approach. *Aquacultural Engineering*. 53. 14 – 18.
- Asche, F., Bjørndal, T. 2011. *The Economics of Salmon Aquaculture*. Wiley-Blackwell. Chichester. ISBN: 0852382898.
- Asche, F., Roll, K. H., Sandvold, H. N., Sorvig, A., Zhang, D. 2013. Salmon aquaculture: larger companies and increased production. *Aquaculture Economics & Management*. 17. 322 – 339.
- Badiola, M., Albaum, B., Curtin, R., Gartzia, I., Mendiola, D. 2016. Land based on-growing of Atlantic cod (*Gadus morhua*) using Recirculating Aquaculture Systems; a case study from the Basque region (Northern Spain). *Aquaculture*. 468. 428 – 441.
- Badiola, M., Gartuia, I., Basurko, O. C., Mendiola, D. 2017. Land-based growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and consumers' acceptance. *Aquaculture Research*. 48. 4666 - 4683.
- Badiola, M., Mendiola, D., Bostock, J. 2012. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering* 51. 26 – 35.

- Beard, T. W., McGregor, D. 2004. Storage and Care of Live Lobster. Laboratory Leaflet Number 66. Cefas. ISBN: 9781118517499.
- Beard, T. W., Richards, P. R., Wickins J. F. 1985. The techniques and practicability of year-round production of lobsters, *Homarus gammarus* (L.), in laboratory recirculation systems. Fisheries Research Technical Report No. 79. Lowestoft. p. 22. ISSN: 0308-5589.
- Bergheim, A., Drengstig, A., Ulgenes, Y., Fivelstad, S. 2008. Dominating systems for production of Atlantic salmon smolt in Europe. Proceedings of the Aquacultural Engineering Society's Fourth Issues Forum.
- Bergheim, A., Drengstig, A., Ulgenes, Y., Fivelstad, S. 2009. Production of Atlantic salmon smolts in Europe - current characteristics and future trends. *Aquacultural Engineering*. 41. 46 – 52.
- Brune, D. E., Schwartz, G., Eversole, A. G., Collier, J. A., Schwedler, T. E., 2003. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacultural Engineering*. 28. 65 – 86.
- Burnell, G., Allan, G. 2009. New technologies in aquaculture. Woodhead Publishing Limited. p. 1191. ISBN: 9781845693848.
- Burr, G. S., Wolters, W. R., Schrader, K. K., Summerfelt, S. T. 2012. Impact of depuration of earthy-musty offflavors on fillet quality of Atlantic salmon, *Salmo salar*, cultured in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*. 50. 28 – 36.
- Buschmann, A., Riquelme, V., Hernandezgonzalez, M., Varela, D., Jimenez, J., Henriquez, L., Vergara, P., Guinez, R., Filun, L. 2006. A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. *ICES Journal of Marine Science*. 63. 1338 – 1345.
- Coffelt, R. J., Wikman-Coffelt, J. 1985. Lobsters: one million one pounders per year. *Aquacultural Engineering*. 4. 51 – 58.
- COM. 2016. Facts and figures on the Common Fisheries Policy. Publications Office of the European Union. Luxembourg. p. 56. ISBN: 9789279609725

- Crear, B. J., Forteath, G. N. R. 2002. Feeding rate has the largest effect on the ammonia excretion rate of the southern rock lobster, *Jasus edwardsii*, and the western rock lobster, *Panulirus cygnus*. *Aquacultural Engineering*. 26. 239 – 250.
- D’Abramo, L. R., Conklin, D. E. 1985. Lobster aquaculture. In: Huner, J., Brown, E. E. *Crustacean and Mollusc Aquaculture in the USA*. AVI Publ. Co. Westport. p. 159 – 201. ISBN: 9781468415056
- Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drengstig, A., Arvonen, K., Pedersen, P. B. 2013. Farming different species in RAS in Nordic countries: current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering*. 53. 2 – 13.
- Davidson, J., Good, C., Weber, G., Russell, C., Summerfelt, S. T. 2015. Comparing the effects of “high” (100 mg/l) versus “low” (10 mg/l) nitrate-nitrogen on post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) performance and physiology in Recirculation Aquaculture Systems Nordic RAS Molde (Norway). In: Dalsgaard, A. J. T. (ed.). 2015. 3rd NordicRAS Workshop on Recirculating Aquaculture Systems. Molde. National Institute of Aquatic Resources. Technical University of Denmark. p. 56. ISBN: 9788774812159.
- Davidson, J., Schrader, K., Ruan, E., Swift, B., Aalhus, J., Juarez, M., Wolters, W., Burr, G., Good, C., Summerfelt, S. T. 2014. Evaluation of depuration procedures to mitigate the off-flavor compounds geosmin and 2- methylisoborneol from Atlantic salmon *Salmo salar* raised to market-size in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*. 61. 27 – 34.
- Dempster, T., Sanchez-Jerez, P., Bayle-Sempere, J. T., Gimenez-Casalduero, F., Valle, C. 2002. Attraction of wild fish to sea-cage fish farms in the south-western Mediterranean Sea: spatial and short-term temporal variability. *Marine Ecology Progress Series*. 242. 237 – 252.
- Drengstig, A., Agnalt, A. L., Jørstad, K. 2011. Genetic mapping to improve growth performance, survival and feed conversion ratio (FCR) for on-growing of European lobster in Recirculating Aquaculture Systems (RAS). In: Proceeding 9th International Conference and Workshop on Lobster Biology and Management. Bergen.
- Drengstig, A., Bergheim, A. 2010a. Single cage technology for on-growing of lobster in RAS. In: Abstract and Oral Presentation Progress in Marine Recirculating Aquaculture Systems – World Aquaculture Society. AES Fifth Issues Forum. San Diego.

- Drengstig, A., Bergheim, A. 2010b. A pilot RAS for commercial production of European lobster. In: Aquacultural Engineering Society Proceedings VII. Roanoke. p. 178 – 186.
- Drengstig, A., Drengstig T., Agnalt A. L., Jørstad K. E., Farestveit, E. 2009. Utvikling av metoder for stabil produksjon av hummeryngel med gode vekstegenskaper . Sluttrapport til Vestlandsrådet/Innovasjon Norge. Norwegian Lobster Farm rapport. ISBN: 8299708009
- Drengstig, A., Kristiansen T. S., Bergheim A., Drengstig T., Aardal L. 2003. It does matter if they are black or white! Quantification of the minimum required level of astaxanthine to ensure natural pigmentation in the European lobster. EAS (33). Trondheim. p. 168 – 169.
- Dulvy, N. K., Sadovy, Y., Reynolds, J. D. 2003. Extinction vulnerability in marine populations. Fish and Fisheries. 4. 25 – 64.
- Einen, O., Thomassen, M. S. 1998. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*): II. White muscle composition and evaluation of freshness, texture and colour characteristics in raw and cooked fillets. Aquaculture. 169. 37 – 53.
- Engle, C. R., Johnson, P. B., Vinyard, B. T. 1995. The cost of off-flavour. Journal of the World Aquaculture Society. 26. 297 – 306.
- Estrella, B. T. 2002. Techniques for live storage and shipping of American lobster. Technical Report. Division of Marine Fisheries. New York.
- FAO. 2007. Food and Agricultural Organization of the United Nations. The State of World Aquaculture 2006. FAO Press. Rome. p. 129. ISBN: 9789251055687
- FAO. 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO Press. Rome. ISBN: 9789251091852
- FAO. 2017. FAO Aquaculture Newsletter. No. 56 (April). Rome
- Farmer, L. J., McConnell, J. M., Kilpatrick, D. J. 2000. Sensory characteristics of farmed and wild Atlantic salmon. Aquaculture. 187. 105 – 125.
- Fernandes, T. F., Miller, K. L., Read, P. A. 2001. The monitoring and regulation of marine aquaculture in Europe. In: Uriarte, A., Basurc, B., Zaragoza, O. C. (ed.) Environmental Impact Assessment of Mediterranean Aquaculture Farms. Cahiers Options Mediterraneennes. p. 193 – 200. ISBN: 2841076083.

- Fleming, I. A., Hindar, K., Mjølnerod, I. B., Jonsson, B., Balstad, T., Lamberg, A. 2000. Lifetime success and interactions of farm salmon invading a native population. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 267. 1517 – 1523.
- Forster, J. 2010. What can U.S. open ocean aquaculture learn from salmon farming? *Marine Technology Society Journal*. 44. 68 – 79.
- Gatlin, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., Herman, E., Gyllenhammar, A., Hakanson, L. 2005. Environmental consequence analyses of fish farm emissions related to different scales and exemplified by data from the Baltic - a review. *Marine Environmental Research*. 60. 211 – 243.
- Goikoetxea, N., Borja, A., Fontan, A., Gonzalez, M., Valencia, V. 2009. Trends and anomalies in sea-surface temperature, observed over the last 60 years, within the south n Bay of Biscay. *Continental Shelf Research*. 29. 1060 – 1069.
- Good, C., Davidson, J. 2016. A review of factors influencing maturation of Atlantic Salmon, *Salmo salar*, with focus on water recirculation aquaculture system environments. *Journal of the World Aquaculture Society*. 47. 605 – 632.
- Grimsen, S., Jaques, R. N., Erenst, V., Balchen, J.G. 1987. Aspects of automation in a lobster farming plant. *Modelling, Identification and Control*. 8 (1). 61 – 68.
- Gross, M. R. 1998. One species with two biologies: Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the wild and in aquaculture. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 55. 131 – 144.
- Guttman, L., Vanriijn, J. 2008. Identification of conditions underlying production of geosmin and 2-methylisoborneol in a recirculating system. *Aquaculture*. 279. 85 – 91.
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J. F., Casey, K. S., Ebert, C., Fox, H. E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H. S., Madin, E. M. P., Perry, M. T., Selig, E. R., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R. 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*. 319. 948 – 952.
- Hamel, J. S. 2006. Investigation of respiration rates of European lobster (*Homarus gammarus*) in land-based, lobster farming system. Master Thesis. Univ. of Stavanger. Norway. p. 86.
- Hamlin, H. J., Michaels, J. T., Beaulaton, C. M., Graham, W. F., Dutt, W., Steinbach, P., Losordo, T. M., Schrader, K. K., Main, K. L. 2008. Comparing denitrification rates and



- carbon sources in commercial scale upflow denitrification biological filters in aquaculture. *Aquacultural Engineering*. 38. 79 – 92.
- Handeland, S. O., Wilkinson, E., Sveinsbø, B., McCormick, S. D., Stefansson, S. O. 2004. Temperature influence on the development and loss of seawater tolerance in two fast-growing strains of Atlantic salmon. *Aquaculture*. 233. 513 – 529.
- Houle, S., Schrader, K. K., Le Francois, N. R., Comeau, Y., Kharoune, M., Summerfelt, S. T., Savoie, A., Vandenberg, G. W. 2011. Geosmin causes off-flavour in arctic charr in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Research*. 42. 360 – 365.
- Hulshoff Pol, L. W., Lens, P. N. L., Stams, A. J. M., Lettinga, G. 1998. Anaerobic treatment of sulphate-rich wastewaters. *Biodegradation*. 9. 213 – 224.
- Imslund, A. K., Foss, A., Folkvord, A., Stefansson, S. O., Jonassen, T. M. 2005. The interrelation between temperature regimes and fish size in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*): effects on growth and feed conversion efficiency. *Fish Physiology and Biochemistry*. 31. 347 – 361.
- Iwama, G. K. 1991. Interactions between aquaculture and the environment. *Critical Reviews in Environmental Control*. 21. 177 – 216.
- Jackson, J. B. C., Kirby, M. X., Berger, W. H., Bjorndal, K. A., Botsford, L. W., Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R. G., Erlandson, J., Estes, J.A., Hughes, T. P., Kidwell, S., Lange, C. B., Lenihan, H. S., Pandolfi, J. M., Peterson, C. H., Steneck, R. S., Tegner, M. J., Warner, R. R. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*. 293. 629 – 638.
- Joensen, R. 2008. Resirkulering av vand i oppdrett. Presentation at Seminar of Recirculation of Water in Aquaculture. Sunndalsøra. Norway.
- Johansson, L., Kiessling, A. 1991. Effects of starvation in rainbow trout: II. Eating and storage quality of iced and frozen fish. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 41. 207 – 216.
- Kissel, G. W., Lupatsch, I., Elizur, A., Zohar, Y. 2001. Long photoperiod delayed spawning and increased somatic growth in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*. 200. 363 – 379.

- Kolarevic, J., Terjesen, B. T., 2011. Research on Atlantic Salmon Welfare and Performance in RAS at Nofima Centre for Recirculation in Aquaculture. Aquaculture Innovation Workshop. Campbell River.
- Kouřil, J. 2015. ÚVOD DO INTENZIVNÍHO CHOVU RYB VČETNĚ PŘEHLEDU RAS V ČESKÉ REPUBLICE. In: Velíšek, J., Kouba, A., Dvořáková, Z. 2015. Potenciál recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) pro české produkční rybářství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. p. 105. ISBN: 9788075140289.
- Kristensen, T., Atland, A., Rosten, T., Urke, H. A., Rosseland, B. O. 2009. Important influent-water quality parameters at freshwater production systems in two salmon producing countries. *Aquacultural Engineering*. 41. 53 – 59.
- Kristiansen, T. S., Drengstig, A., Bergheim, A., Drengstig, T., Svensen, R., Kollsgård, I., Nøstvoll, E., Farestveit, E., Aardal, L. 2004. Development of intensive farming methods for the European lobster (*Homarus gammarus* L.) in recirculated seawater. Institute of Marine Research. Bergen. p. 52. ISSN: 0071-5638
- Krkosek, M., Lewis, M. A., Morton, A., Frazer, L. N., Volpe, J. P. 2005. Epizootics of wild fish induced by farm fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 103. 15506 – 15510.
- Larsen, S. V., Imsland, A. K., Lohne, P., Pittman, K., Foss, A. 2010. Stepwise temperature regulation and its effect on growth, feeding and muscle growth patterns of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture International*. 19. 825 – 837.
- Le Francois, N. R., Jobling, M., Carter, C., Blier, P. 2010. *Finfish Aquaculture Diversification*. CABI. ISBN: 184593752X.
- Libey, G. S., Timmons, M. B. 1996. Successes and failures in commercial re-circulating aquaculture. In: *Proceedings of an International Workshop*. Northeast Regional Aquacultural Engineering Service. Cornell University. New York. p. 656.
- Lotze, H. K., Lenihan, H. S., Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R. G., Kay, M. C., Kidwell, S. M., Kirby, M. X., Peterson, C. H., Jackson, J. B. C. 2006. Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*. 312. 1806 – 1809.

- Luczkovich, J. J., Stellwag, E. J. 1993. Isolation of cellulolytic microbes from the intestinal-tract of the pinfish, *Lagodon rhomboides*, size-related changes in diet and microbial abundance. *Marine Biology*. 116. 381 – 388.
- Lupatsch, I., Kissil, G. W. 1998. Predicting aquaculture waste from gilthead seabream (*Sparus aurata*) culture using a nutritional approach. *Aquatic Living Resources*. 11. 265 – 268.
- Lupatsch, I., Kissil, G. W., Sklan, D., Pfeffer, E. 1998. Energy and protein requirements for maintenance and growth in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Nutrition* 4. 165 – 173.
- Mackie, I. M. 1993. The effects of freezing on flesh proteins. *Food Reviews International*. 9. 575 – 610.
- McGinnity, P., Prodohl, P., Ferguson, A., Hynes, R., Maoileidigh, N. O., Baker, N., Cotter, D., O'Hea, B., Cooke, D., Rogan, G., Taggart, J., Cross, T. 2003. Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farm salmon. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 270. 2443 – 2450.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Mooney, H., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C., Kautsky, N., Lubchenco, J., Primavera, J., Williams, M. 1998. Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. *Science*. 282. 883 – 884.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C. M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*. 405. 1017 – 1024.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J., Kautsky, N., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*. 405. 1017 – 1024.
- Naylor, R., Burke, M. 2005. Aquaculture and ocean resources: raising tigers of the sea. *Annual Review of Environmental Resources*. 30. 185 – 218.
- Nicosia, F., Lavalli, K. 1999. Homarid lobster hatcheries: their history and role in research, management, and aquaculture. *Marine Fisheries Review*. 61 (2). 1 – 57.

- Norberg, B., Weltzien, F. A., Karlsen, O., Holm, J. C. 2001. Effects of photoperiod on sexual maturation and somatic growth in male Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*. 129. 357 – 365.
- Parra, G., Yufera, M. 1999. Tolerance response to ammonia and nitrite exposure in larvae of two marine fish species (gilthead seabream *Sparus aurata* L. and Senegal sole *Solea senegalensis* Kaup). *Aquaculture Research*. 30. 857 – 863.
- Pathak, B. K., Kazama, F., 2007. Influence of temperature and organic carbon on denammox process. *Water Environment Federation*. 12. 402 – 413.
- Pauly, D., Christensen, V., Guenette, S., Pitcher, T. J., Sumaila, U. R., Walters, C. J., Watson, R., Zeller, D. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*. 418. 689 – 695.
- Pelletier, N., Tyedmers, P.H. 2007. Feeding farmed salmon: Is organic better? *Aquaculture*. 272. 399 – 416.
- Person-Le Ruyet, J., Chartois, H., Quemener, L. 1995. Comparative acute ammonia toxicity in marine fish and plasma ammonia response. *Aquaculture*. 136. 181 – 194.
- Persson, P. E. 1980. Sensory properties and analysis of two muddy odour compounds, geosmin and 2-methylisoborneol, in water and fish. *Water Research*. 14. 1113 – 1118.
- Petersen, M. A., Hyldig, G., Strobel, B. W., Henriksen, N. H., Jørgensen, N. O. 2011. Chemical and sensory quantification of geosmin and 2-methylisoborneol in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from recirculated aquacultures in relation to concentrations in basin water. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 59. 12561 – 12568.
- Piedrahita, R. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*. 226. 35 – 44.
- Piedrahita, R. H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*. 226. 35 – 44.
- Pind, P. F., Angelidaki, I., Ahring, B. K., Stamatelatos, K., Lyberatos, G. 2003. Monitoring and control of anaerobic reactors. In: Ahring, B. K. (ed.). *Biomethanation*. Springer – Verlag. Berlin. p. 135 – 182. ISBN: 9783540458388.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research of Canada*. 191. 401.

- Shepherd, C. J., Little, D. C. 2014. Aquaculture: are the criticisms justified? II—aquaculture’s environmental impact and use of resources, with specific reference to farming Atlantic salmon. *World Agriculture*. 4. 37 – 52.
- Shewfelt, R. L. 1981. Fish muscle lipolysis – a review. *Journal of Food Biochemistry*. 5. 79 – 100.
- Schipp, G., Gore, D. 2006. *Recirculating Marine Aquaculture Systems*. International Specialised Skills Institute. p. 86.
- Schrader, K. K., Acuna-Rubio, S., Piedrahita, R. H., Rimando, A. M. 2005. Geosmin and 2-methylisoborneol as the cause of earthy/musty off-flavors in cultured largemouth bass (*Micropterus salmoides*) and white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *North American Journal of Aquaculture*. 67. 177 – 180.
- Schrader, K. K., Davidson, J. W., Rimando, A. M., Summerfelt, S. T. 2010. Evaluation of ozonation on levels of the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol in water and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* from recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*. 43. 46 – 50.
- Schrader, K.K., Summerfelt, S.T. 2010. Distribution of off-flavor compounds and isolation of geosmin-producing bacteria in a series of water recirculating systems for rainbow trout culture. *North American Journal of Aquaculture*. 72. 1 – 9.
- Slater, G. P., Blok, V. C. 1983. Volatile compounds of the Cyanophyceae—a review. *Water Science and Technology*. 15. 181 – 190.
- Soto, D., Jara, F., Moreno, C. 2001. Escaped salmon in the Inner Seas, Southern Chile: facing ecological and social conflicts. *Ecological Applications*. 11. 1750 – 1762.
- Sowers, K. R., Ferry, J. G. 2002. Methanogenesis in the marine environment. In: Bitton, G. (ed.). *Encyclopedia of Environmental Microbiology*. John Wiley & Sons. New York. p. 1913 – 1923. ISBN: 0471360481.
- Subasinghe, R. P., Arthur, J. R., Bartley, D. M., De Silva, S. S., Halwart, M., Hishamunda, N., Mohan, C. V., Sorgeloos, P. 2012. *Farming the Waters for People and Food*. FAO/NACA. p. 896. ISBN: 978925107233.
- Summerfelt, S. T. 1996. Engineering design of modular and scalable RAS containing circular tanks, micro screen filtering, fluidised sand bio filter, cascade aeration, and low-head or

- U-tube oxygenation. In: Libey, G. S., Timmons, M. B. (ed.). Proceedings of the Third International Symposium on Recirculating Aquaculture Systems. Roanoke. VA. p. 217 – 244.
- Summerfelt, S. T., Davidson, J., Wilson, G., Waldrop, T. 2009. Advances in fish harvest technologies for circular tanks. *Aquacultural Engineering*. 40. 62 – 71.
- Summerfelt, S., Sharrer, M., Tsukuda, S., Gearheart, M. 2009. Process requirements for achieving full-flow disinfection of recirculating water using ozonation and UV irradiation. *Aquacultural Engineering*. 40. 17 – 27.
- Summerfelt, S., Waldrop, T. B., Good, C., Davidson, J., Backover, P., Vinci, B., Carr, J. 2013. Freshwater Grow - Out Trial of St. John River Strain Atlantic salmon in Commercial - Scale, Land - Based, Closed - Containment System. The Freshwater Institute. Shepherdstown. p. 52.
- Suzuki, Y., Maruyama, T., Numata, T., Sato, H., Asakawa, M. 2003. Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eel: towards zero emission. *Aquacultural Engineering*. 29. 165 – 182.
- Sylvia, G., Morrissey, M. T., Graham, T., Garcia, S. 1995. Organoleptic qualities of farmed and wild salmon. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 4. 51 – 64.
- Tal, Y., Schreier, H. J., Sowers, K. R., Stubblefield, J. D., Place, A. R., Zohar, Y. 2009. Environmentally sustainable land-based marine aquaculture. *Aquaculture*. 286. 28 – 35.
- Tal, Y., Schreier, J. H., Sowers, R. K., Stubblefield, D. J., Place, R. A., Zohar, Y. 2009. Environmentally sustainable land-based marine aquaculture. *Aquaculture*. 286. 28 – 35.
- Tal, Y., Watts, J. E. M., Schreier, H. J. 2006. Anaerobic ammonia-oxidizing (anammox) bacteria and related activity in fixed-film biofilters of a marine recirculating aquaculture system. *Applied and Environmental Microbiology*. 72. 2896 – 2904.
- Theodorou, J. A. 2002. Current and future technological trends of European seabass– seabream culture - Reviews in Fisheries. *Science*. 10. 529 – 543.
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T., Vinci, B. J. 2002. Recirculating aquaculture systems. Cayuga Aqua Adventures. New York. p. 157 – 204. ISBN: 0971264619.

- Timmons, M. B., Losordo, J. G. 1994. *Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management*. Elsevier. New York. ISBN: 9780444895851.
- Trimmer, M., Nicholls, J. C., Morley, N., Davies, C. A., Aldridge, J. 2005. Biphasic behavior of anammox regulated by nitrite and nitrate in an estuarine sediment. *Applied and Environmental Microbiology*. 71. 1923 – 1930.
- Tucker, C. S. 2000. Off-flavor problems in aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*. 8. 45 – 88.
- van der Star, W. R. L., Abma, W. R., Blommers, D., Mulder, J. W., Tokutomi, T., Strous, M., Picioreanu, van Loosdrecht, M. C. M. 2007. Startup of reactors for anoxic ammonium oxidation: experiences from the first full-scale anammox reactor in Rotterdam. *Water Research*. 41. 4149 – 4163.
- van Olst, J. C., Carlberg, J. M., Hughes, J. T. 1980. Aquaculture. In: Cobbs, J. S., Phillips, B. F. (ed.). *The biology and management of lobsters, vol. II Ecology and management*. Academic Press. New York. p. 333 – 384. ISBN: 9780080917344.
- van Rijn, J. 1996. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture - a review. *Aquaculture*. 139. 181 – 201.
- van Rijn, J., Tal, Y., Schreier, H. J. 2006. Denitrification in recirculating systems: theory and applications. *Aquacultural Engineering*. 34. 364 – 376.
- Verbeke, W., Vackier, I. 2005. Individual determinants of fish consumption: application of the theory of planned behaviour. *Appetite*. 44. 67 – 82.
- Verdegem, M. C. J., Bosma, R. H., Verreth, J. A. J. 2006. Reducing water use for animal production through aquaculture. *International Journal of Water Resources Development*. 22. 101 – 113.
- Volpe, J. P., Glickman, B. W., Anholt, B. R. 2001. Reproduction of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a controlled stream channel on Vancouver Island, British Columbia. *Transactions of the American Fisheries Society*. 130. 489 – 494.
- Waddy, S. L. 1988. Farming the homarid lobsters: state of the art. *World Aquaculture*. 19 (4). 61 – 71.
- Warrer-Hansen, I. 2015. Potential for land based salmon grow-out in recirculating aquaculture systems (RAS) in Ireland. *IFA Aquaculture*. 28 – 30.

- Whiteley, N. M., Al-Wassia, A. H., Taulor, E. W. 1990. The effect of temperature, aerial exposure and disturbance on oxygen consumption in the lobster, *Homarus gammarus* (L.). *Marine Behaviour and Physiology*. 17. 213 – 222.
- Wickins, J. F., Beard, T. W. 1991. Variability in size at moult among individual broods of cultured juvenile lobsters. *Aquaculture and Fisheries Management*. 22. 481 – 489.
- Wickins, J. F., Lee, D. O., 2002. *Crustacean Farming – Ranching and Culture*. Blackwell Science. United Kingdom. p. 446. ISBN: 9780632054640.
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., Jackson, J. B. C., Lotze, H. K., Micheli, F., Palumbi, S. R., Sala, E., Selkoe, K. A., Stachowicz, J. J., Watson, R. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*. 314. 787 – 790.
- Worm, B., Sandow, M., Oschlies, A., Lotze, H. K., Myers, R. A. 2005. Global patterns of predator diversity in the open oceans. *Science*. 309. 1365 – 1369.
- Zohar, Y., Tal, Y., Schreier, H., Steven, C., Stubblefield, J., Place, A.R. 2005. Commercially feasible urban recirculated aquaculture: addressing the marine sector. In: Costa-Pierce, B., DesBonnet, A., Edwards, P., Baker, D. (ed.). *Urban Aquaculture*. CABI Publishing. Wallingford. p. 159 – 171. ISBN: 0851998291.



## 6 Seznam použitých zkratek a symbolů

**Enhanced fisheries:** Životní cyklus organismu je minimálně v jedné fázi podpořen aktivní prací člověka za účelem zisku. Tím se odlišuje od akvakultury, kde jsou v průběhu životního cyklu organismy vlastněny (viz. 4.2 Definice akvakultury).

V Evropě nejznámější enhanced fisheries je **culture-based fisheries**: Výtěr, líhnutí a vývoj juvenilních jedinců je kontrolován člověkem a provozován v umělých nádržích, tím se drasticky sníží mortalita, ale také se tím omezí účinek přirozeného výběru. Tito uměle odchovaní jedinci se vypouští do volné přírody většinou za účelem zisku.

**Recirculating aquaculture systems** (chov ryb v uzavřeném vodním okruhu) dále RAS: Chovný systém, kde je voda za pomoci různých technologií čištění recyklována. Voda je systémem spotřebovávána, ale její spotřeba je výrazně redukována oproti konvenčním systémům.

**Zero-discharge:** RAS kde není spolu s odpadními látkami odváděna voda, odpadní látky jsou zpracovány v systému (bioplynový reaktor etc.) a v maximálně koncentrovaném stavu odstraněny.

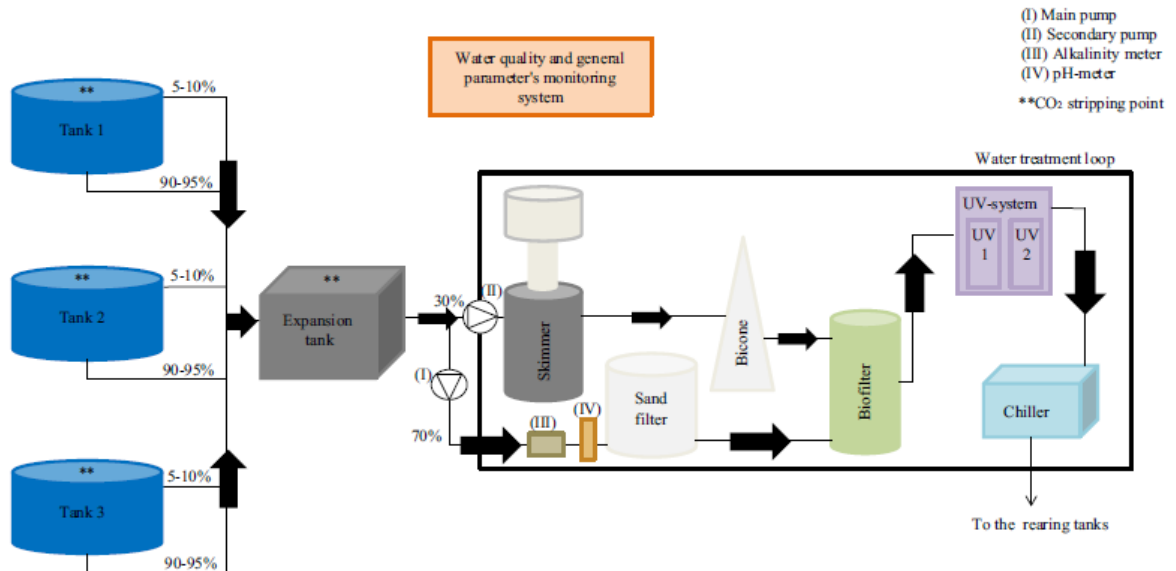
**Land-based aquaculture:** Jde o akvakulturní produkci umístěnou na souši.

**Smolt:** Nejvyšší vývojové stadium, kterého je losos schopen dosáhnout ve sladké vodě, dochází k němu při první migraci, a mění se při něm fyziologické funkce v zájmu adaptace na slanovodní prostředí, předchozí stadium je parr (česky strdlice), další stadium je dospělý jedinec.

**Post-smolt:** Pokud ve sladké vodě držíme lososa ve stadiu smolt i poté, co už prodělal fyziologickou transformaci, pak hovoříme o stadiu post-smolt.

## 7 Přílohy

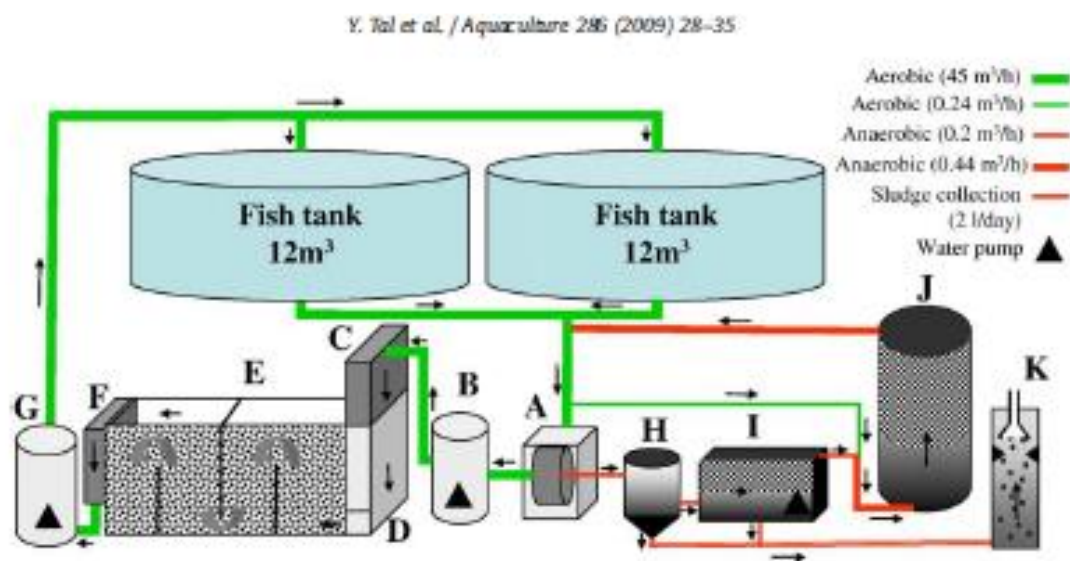
Obrázek 1: Schéma RAS systému (Badiola et al., 2017).



Obrázek 2: Seznam vybavení systému z obrázku 1 (Badiola et al., 2017).

Equipment	Quantity (per unit)	Model	Manufacturer	Country
UV system	2	UV Active 65W	FIAP	Germany
Biofilter	1	950-75	Astrapool	Spain
Sand-filter	1	Cantabric 900	Astrapool	Spain
Skimmer	1	Neptun 10.000	Ratz Aqua & Polymer Technik	Germany
Bicone	1			
Principal pump	1	Columbia 3CV III	Astrapool	Spain
Secondary pump	1	Sena 1.25CV III	Astrapool	Spain
Measured water quality parameter	Equipment used	Model	Manufacturer	Country
Temperature, salinity, dissolved oxygen, pH	Multiparametric meter	556	YSI, a xylem brand	USA
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> analyzer	CO <sub>2</sub> portable	Oxyguard	Denmark
Turbidity	Portable turbidimeter	2100Q	HACH	USA
Gas pressure	Total gas pressure meter	PT4 Tracker	Eagar Inc.	USA
Ammonia	Spectrophotometer	DR5000	HACH	USA
Nitrite	Spectrophotometer	DR5000	HACH	USA
Nitrate	Spectrophotometer	DR5000	HACH	USA
Formaldehyde	Spectrophotometer	DR5000	HACH	USA
Bromine	Spectrophotometer	DR5000	HACH	USA
Chlorite	Spectrophotometer	DR5000	HACH	USA

Obrázek 3: Schéma RAS systému (Tal et al., 2009).

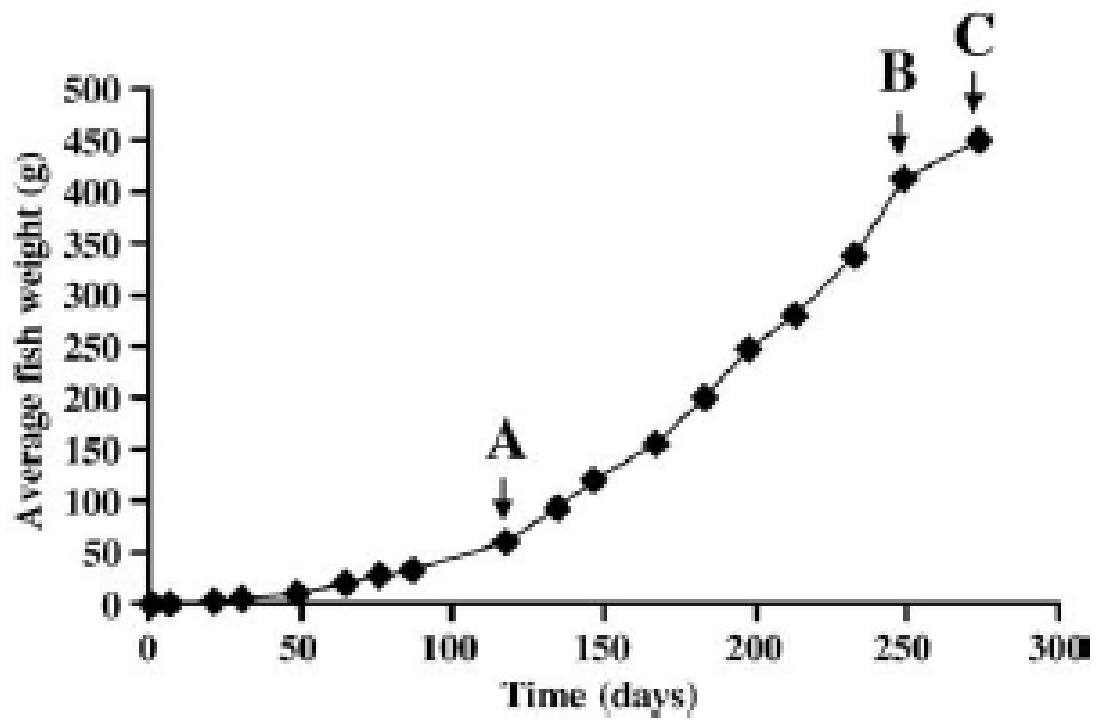


A: bubnový filtr, B: zásobník vody pro čerpání, C: odstraňovač CO<sub>2</sub>, D: skimmer, E: biofiltr, F: kyslíkový generátor, G: zásobník vody pro čerpání, H: usazovací nádrž na kal, I: nádrž na digesci kalu, J: denamox biofiltr, K: bioplynový reaktor (Tal et al., 2009).

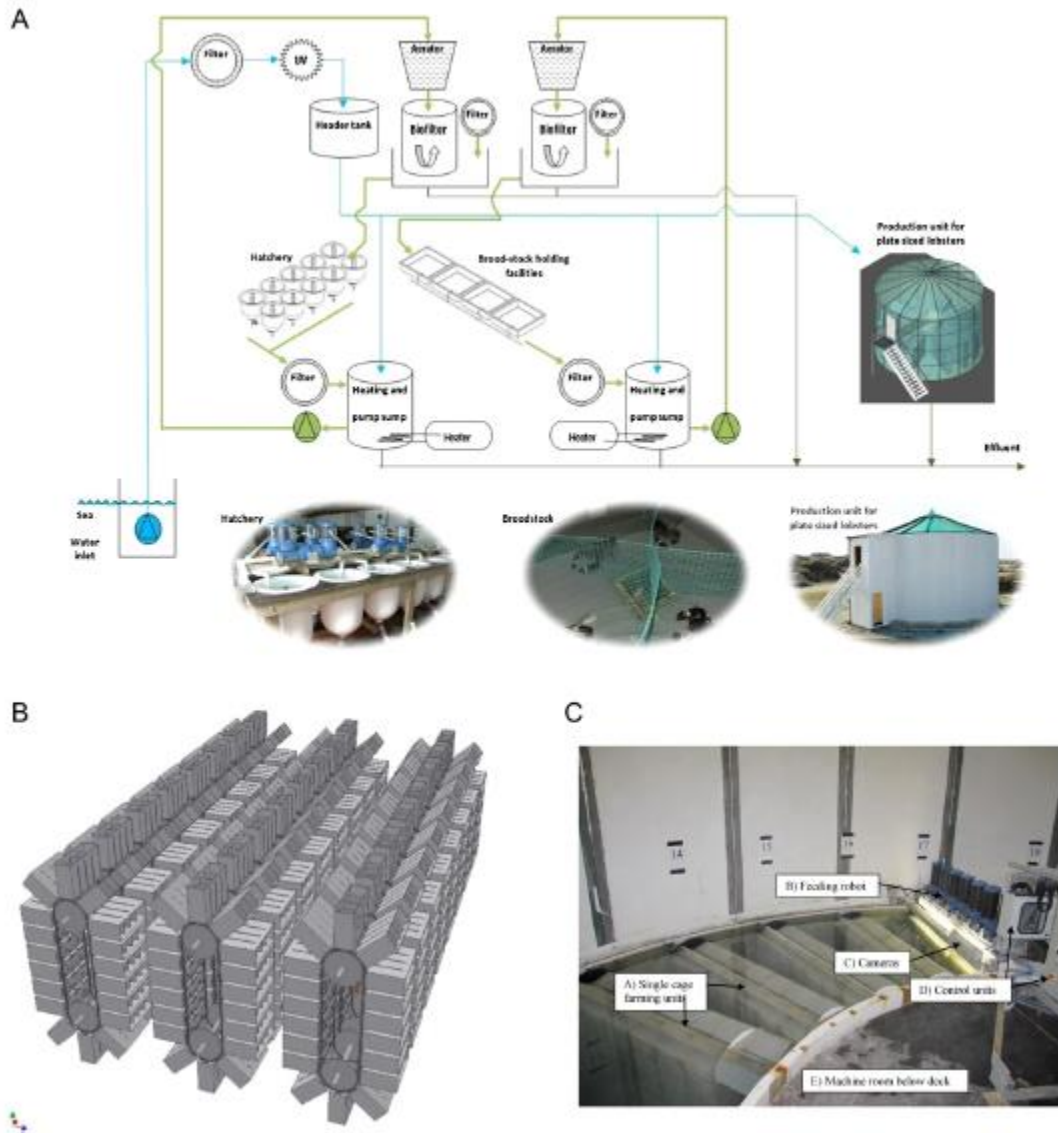
Obrázek 4: Charakteristiky komponentů systému z obrázku 3 (Tal et al., 2009).

Compartment	Volume (m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	Flow rate (m <sup>3</sup> /h)	Retention time (h)
Fish tanks <sup>b</sup>	24	45	0.53
Nitrifying moving bed biofilter <sup>c</sup>	8	45	0.17
Denamox fixed-bed up-flow biofilter <sup>d</sup>	3	0.44	6.8
Sludge digestion tanks <sup>e</sup>	0.65	0.2	2.5
Pilot UASB reactor <sup>f</sup>	0.02	0.00008	250
Microscreen drum filter (60 μm) <sup>g</sup>	0.3	45	N.D
CO <sub>2</sub> stripper chamber <sup>h</sup>	0.9	45	0.02
Protein skimmer <sup>i</sup>	1.5	45	0.03
Low head oxygenator <sup>j</sup>	1	45	0.02

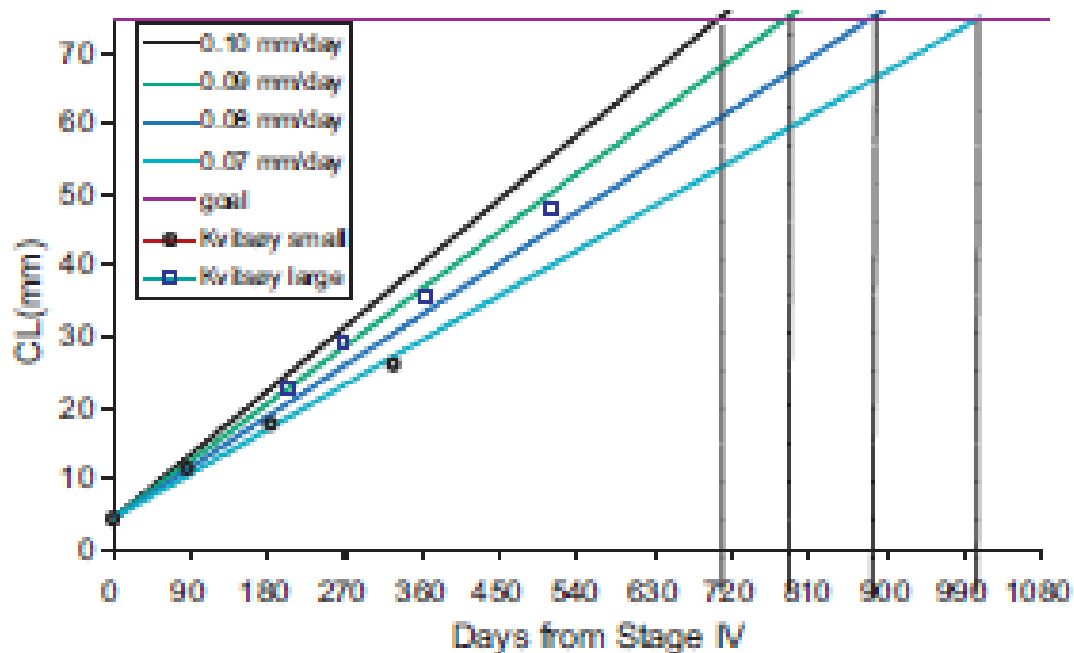
Obrázek 5: Graf výkrmu mořana zlatého (Tal et al., 2009).



Obrázek 6: A: Schéma RAS systému, včetně líhně. B: Princip klecového chovu. C: Pohled na produkční nádrž a krmícího robota (Asbjørn et Asbjørn, 2013).



Obrázek 7: Růstová intenzita ve výkrmu (Asbjørn et Asbjørn, 2013).



Obrázek 8: Složení krmné dávky (Asbjørn et Asbjørn, 2013).

Chemical composition and nutritional content of the feed.

Nutrient content	% of wet weight
Protein	54.7
Lipid	15.6
Carbohydrates	13.6
Ash	9.5
Moisture	6.8
Crude energy (MJ/kg)	21.6

Astaxanthin level was 50, 100 and 200 mg/kg dry weight.

## Seznam příloh

Obrázek 1: Schéma RAS systému (Badiola et al., 2017). .....	36
Obrázek 2: Seznam vybavení systému z obrázku 1 (Badiola et al., 2017). .....	36
Obrázek 3: Schéma RAS systému (Tal et al., 2009). .....	37
Obrázek 4: Charakteristiky komponentů systému z obrázku 3 (Tal et al., 2009).....	37
Obrázek 5: Graf výkrmu mořana zlatého (Tal et al., 2009).....	38
Obrázek 6: A: Schéma RAS systému, včetně líhně. B: Princip klecového chovu. C: Pohled na produkční nádrž a krmicího robota (Asbjørn et Asbjørn, 2013).....	39
Obrázek 7: Růstová intenzita ve výkrmu (Asbjørn et Asbjørn, 2013). .....	40
Obrázek 8: Složení krmné dávky (Asbjørn et Asbjørn, 2013). .....	40