

Produkcja ryb w obiegach recyrkulacyjnych – perspektywy rozwoju i obecne bariery technologiczne.

Radosław Kowalski

Zakład Biologii Gamet i Zarodka

Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności PAN, Olsztyn

Agata Kowalska

Zakład Akwakultury

Instytut Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie

W związku z wdrażaniem Ramowej Dyrektywy Wodnej, sytuacja użytkowników wód, w tym i rybaków, ulegnie w naszym kraju drastycznym zmianom. Najprawdopodobniej wprowadzony zostanie system opłat za używaną przez gospodarstwa rybackie wodę co może okazać się zbyt dużym obciążeniem zwłaszcza dla gospodarstw karpowych, których efektywność ekonomiczna już obecnie nie jest zbyt wysoka. Podobnie jak wdrażanie dyrektywy, przejście na ten typ produkcji nie może być wprowadzony w sposób rewolucyjny. Powolne zmiany, którym towarzyszyć powinno rozwijanie technologii dedykowanej dla poszczególnych gatunków ryb, zając mogą nie lata a dekady, niemniej, warto już dziś spojrzeć jak wygląda ten kierunek zmian.

Produkcja ryb w obiegach recyrkulacyjnych rozpoczęła swoją zawrotną karierę wraz z propagowaniem pojęcia „zrównoważonego rozwoju”. W oficjalnych dokumentach definicja zrównoważonego rozwoju pojawiła się w roku 1987 za sprawą „Komisji Brundtland” (Gro Harlem Brundtland). Była ona powołana do życia w 1983 roku przez Organizację Narodów Zjednoczonych w celu zbadania zagrożeń rozwoju cywilizacyjnego związanych z postępującym wykorzystaniem surowców naturalnych oraz związanym z tym przeobrażeniem środowiska naturalnego. Prace komisji zakończył raport, w którym stwierdzono, że: „Na obecnym poziomie cywilizacyjnym możliwy jest rozwój zrównoważony, to jest taki rozwój, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokojone bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie”. Tak rozumiany zrównoważony rozwój musi uwzględniać 3 aspekty generowanych kosztów: aspekt społeczny obejmujący wpływ produkcji na społeczeństwo, określający jakie korzyści materialne i niematerialne uzyskuje ono z produkcji, aspekt środowiskowy dotyczący wpływu produkcji na otaczającą przyrodę oraz aspekt ekonomiczny odzwierciedlający opłacalność produkcji.

W przypadku systemów recyrkulacyjnych zdecydowanie pozytywnie wypadła analiza kosztów produkcji dla środowiska (niska szkodliwość) oraz aspekt ekonomiczny (możliwość stosowania dużych zagęszczeń ryb). Aspekt społeczny tej produkcji ma dwa

oblicza, z jednej strony daje społeczeństwu dobry produkt, za którym nie idzie uszczuplanie zasobów nieodnawialnych, z drugiej jednak strony, prowadzi często do zmniejszenia zatrudnienia w związku z większą efektywnością produkcji. Ponadto w krajach, które w znikomym stopniu korzystają z ekologicznych źródeł energii, bilans ekologiczny wprowadzania takiej produkcji (niezwykle energochłonnej) może być ujemny. W Polsce ilość energii pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych w roku 2010 wynosiła 10,2% całkowitej produkcji energii (Berent – Kowalska i in., 2011).

Produkcja zrównoważona wymaga określenia wartości granicznych przy których może takie miano nosić. W tym celu opracowano kilka wyznaczników pozwalających na ewaluację hodowli, pod względem jej zaawansowania w kierunku idei zrównoważenia. Wyznaczniki podzielono na dotyczące zużycia energii, wody, składników odżywczych, czasu, oraz antybiotyków i środków chemicznych (za SustainAqua, 2009).

Energia: ilość kWh potrzebnych do wyprodukowania 1kg produktu.

Woda: ilość wpływającej wody potrzebnej do wyprodukowania 1 kg produktu, ilość wypływającej wody potrzebnej do wyprodukowania 1 kg produktu

Składniki odżywcze: ilość biogenów (N, P, ChZT) pochodzących ze środowiska skumulowanych w tkance produktu.

ilość N, P oraz obniżenie przewodności właściwej wody odpływającej względem wpływającej.

ilość biogenów zatrzymanych w produkcji dodatkowym (rośliny, osad wykorzystany do nawożenia lub produkcji biogazów itp.).

Koszty produkcji: ilość czasu potrzebna do wytworzenia 1 kg produktu.

Bezpieczeństwo produktu: ilość zabiegów z użyciem antybiotyków i/lub środków chemicznych (wyłączając szczepienia) na cykl produkcyjny.

Im mniejsze zużycie energii oraz pozostałych wyznaczników efektywności, tym wyższe współczynniki zrównoważenia.

W literaturze spotkać można także inne ujęcie tych wyznaczników a mianowicie:

GWP (Global Warming Potential - potencjał globalnego ocieplenia) określane jako emisję CO₂ metanu (CH₄), tlenku azotu (N₂O); Użycie energii (w MJ) rozumianej jako wszelkie źródła energii nie tylko elektrycznej ale i cieplnej (węgiel, gaz, uran itp.); użycie arealu (m²) przeznaczonego na cały cykl produkcyjny; NPPU (Net Primary Product Use – zużycie produkcji pierwotnej netto) podawane w kg węgla (C); EP – potencjał eutrofizacji mierzony w kg PO₄⁻³ a określający wpływ mikronutrientów takich jak azot i fosfor na otaczający hodowlę ekosystem; oraz AP (potencjał zakwaszania) podawany w kilogramach SO₂ i odzwierciedlający wpływ hodowli na zakwaszanie wód.

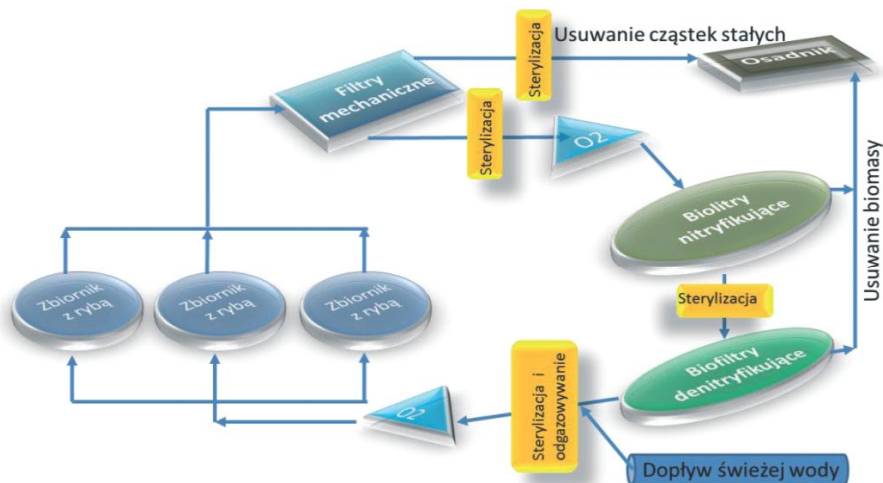
Jednym z kluczowych zagadnień w hodowli w układach zamkniętych jest pasza. Im mniejszy współczynnik FCR tym mniejszy negatywny wpływ hodowli oraz niższe koszty oczyszczania wody w przeliczeniu na kg masy ryb. Udowodniono, że

obniżenie FCR na farmach pstrągowych o 30% pozwoliło obniżyć o 20% całkowite koszty produkcji tak „środowiskowe” jak i związane z wykorzystywaną w ośrodku energią elektryczną (Roque d’Orbcastel i in, 2009).

W związku z tym, że obiegi zamknięte bazują na dużych zagęszczeniach ryb wszelkie zabiegi leczniczo-pielęgnacyjne ryb wymagają znacznie mniejszych ilości stosowanych przy tym środków. Także i nakłady pracy i czasu niezbędnego do ich przeprowadzenia są znacznie mniejsze (Blancheton et al., 2007). Te korzyści niosą ze sobą jednak spore nakłady kosztów na infrastrukturę, która jest niezbędna w produkcji w obiegach zamkniętych.

Układy recyrkulacyjne bazują na różnym poziomie wymiany wody, jest on jednak zawsze związany nie tyle z biomasą hodowanych ryb ile z dawkami paszy. W obecnie funkcjonujących systemach recyrkulacyjnych wymiana wody waha się od 0,1 do 1 m³/kg paszy (Martins et al., 2010). Z tego powodu pasze komponowane i dostosowywane rygorystycznie do gatunku znajdują zastosowanie w tych systemach, gdyż przy ich minimalnym zużyciu, możliwy jest maksymalny efekt hodowlany przy zachowaniu mniejszego obciążenia układu powstałymi biogenami. Jednym z głównych problemów systemów recyrkulacyjnych jest denitryfikacja. Proces oczyszczania wody obejmuje usunięcie cząstek stałych, natlenienie wody czystym tlenem, dwutlenek węgla usuwany jest w procesie odgazowywania a amoniak redukowany do azotanów. Do niedawna zawartość NO₃ w obiegach recyrkulacyjnych była kontrolowana poprzez dopuszczanie świeżej wody (Schuster and Stelz, 1998) obecnie wykorzystuje się bakterie denitryfikacyjne dzięki którym możliwe jest ograniczenie dolewkii do strat wywołanych parowaniem (van Rijn et al., 2006). Denitryfikacja prowadzona jest w specjalnych reaktorach w których przy braku dostępu do wolnego tlenu powstaje: biomasa bakterii, NO₃ zredukowaniu ulega do gazu (N₂), CO₂ zostaje odgazowany z wody do atmosfery, woda zmienia odczyn na zasadowy oraz wydzielone jest ciepło. Stopień wymiany wody w takich systemach trzeba jednak dostosować do wymagań gatunku. W przypadku wymiany 30 litrów wody na kilogram paszy stwierdzono bowiem akumulację w układzie recyrkulującym fosforanów i azotanów a także metali ciężkich co może powodować nieprawidłowości w rozwoju embrionalnym i larwalnym karpia (Martins i in. 2009).

Systemy recyrkulacji wymagają znacznych nakładów energetycznych. Przyjmuje się, że w przypadku obiegów zamkniętych koszty energii to 2/3 a koszty paszy to 1/3 kosztów produkcji. Z kolei w przypadku obiektów z przepływającą wodą, koszty energii i paszy są zazwyczaj w proporcji 1:1 (Martins i in. 2010). Wyższa energochłonność systemu rekompensowana jest jego większą funkcjonalnością oraz często niższymi nakładami pracy ludzkiej. Jako, że większość systemów sterowana jest automatycznie, pozostaje niewiele prac koniecznych do wykonywania przez ludzi. Ponadto, zyskujemy realną możliwość kontrolowania parametrów wody takich jak temperatura czy też nasycenie tlenem. Są to dwa podstawowe parametry, których właściwe zestawienie warunkuje maksymalizację efektów produkcyjnych w obiegach zamkniętych.



Rys. 1. Schemat systemu recykulacji wody.

Problemy do pokonania – niezbędne usprawnienia w obecnej technologii.

Obecna technologia nadal ma znaczne możliwości poprawy swoich parametrów oczyszczania układów RAS z cząstek stałych i rozpuszczonych (Losordo i in., 1999). W osiągnięciu tego celu niezbędne są dalsze badania w kierunku optymalizacji sposobu karmienia (minimalizacja efektu „rozzrucania” paszy przez ryby). Ponadto niezbędna jest taka optymalizacja paszy by jej skład pozostawał niezmienny tak aby skład odchodów ryb był stały. Wszelkie zmiany w składzie odchodów ryb zaburzają prace biofiltrów i reaktorów denityfikacyjnych. Również zastosowanie ozonu może pozwolić na uzyskanie lepszych efektów separacyjnych w przypadku cząstek stałych gdyż zmienia ich właściwości fizyczne (Tango i Gagnon, 2003).

Niezbędna wydaje się poprawa efektywności usuwania z obiegów zamkniętych azotu. Obecnie do reaktorów nityfikujących dostaje się wiele organicznego węgla, co powoduje, że poza bakteriami eutroficznymi (nityfikującymi) pojawiają się bakterie heterotroficzne odpowiedzialne za wzrost biomasy. Z kolei reaktory denityfikujące zasilane są niewielką ilością węgla organicznego („zmarowanego” już w biofiltrach) i często zachodzi potrzeba „dożywiania” bakterii denityfikujących związkami węglowymi (cukry, alkohole itp.), co powoduje powstawanie dodatkowych kosztów (Sauthiner i in., 1998). Obecne próby wykorzystania węgla organicznego pochodzącego z hodowli w reaktorach denityfikujących pozwoliły uzyskać nieomal 100% efektywność oczyszczania (Klas i in., 2006). Szacuje się, że zastosowanie tej technologii pozwoli obniżyć koszty produkcji w obiegach zamkniętych o 10% (Eding i in., 2009). Kolejny krok milowy dla systemów

recykulacji umożliwi najprawdopodobniej odkrycie procesu beztlenowego utleniania amoniaku przeprowadzanego przez bakterie. Już obecnie, bakterie odkryte w 1995 roku przez Muldera i wsp. testowane są w morskich systemach recykulacyjnych osiągających dzięki nim 99% efektywność recykulacji wody (Tal i in., 2009). Niemniej kontrola populacji bakterii w reaktorach nitryfikujących i denitryfikujących nadal pozostaje problemem, często sprzężonym ze zmiennym składem stosowanych pasz. Najmniejszą efektywnością oczyszczania w obecnych systemach recykulacyjnych charakteryzuje się proces pozabawiania wód odpływających fosforu (Martins i in., 2009). Postuluje się aby w przyszłości zoptymalizować retencję fosforu w rybach (pasza), rozwinąć technologie pozwalające usuwać fosfor z wody (Kamstra i in., 2001) bądź wykorzystać go w hodowli multitroficznej (rośliny, glony itp.) (Metaxa i in., 2006).

Podsumowanie

Pomimo trudności, z jakimi spotkać się można w przypadku obiegów zamkniętych dedykowanych do produkcji karpia, przeprowadzono już wiele eksperymentów mających na celu określenie ich efektywności. Współczesna technologia pozwala już wykorzystać procesy denitryfikacyjne do wtórnej produkcji ciepła dla układu hodowlanego opartego o RAS. I chociaż nie jest to perpetuum mobile, może znacznie obniżyć koszty utrzymania zimą wyższej temperatury w obiekcie.



Rys. 2. Wylęgarnia Ryb Dąbie Krzysztof Grecki i Jacek Juchniewicz - system recykulacji wody stosowany do produkcji ryb łososiowatych.

Literatura

- Berent – Kowalska G., Kacprowska J., Gogacz I., Jurgaś A., Kacperczyk G. (2011). Energia ze źródeł odnawialnych w 2010 r. GUS Warszawa, 66s.
- Blancheton J.P., Piedrahita, R., Eding, E.H., Roque d'Orbcastel, E., Lemarié, G., Bergheim, A., Fivelstad, S. (2007). Intensification of land based aquaculture production in single pass and reuse systems. *Aquacultural Engineering and Environment*, Asbjorn Bergheim (Ed.). Research Signpost, Kerala, India, p. 21-47.
- Eding, E., Verdegem, M., Martins, C., Schlaman, G., Heinsbroek, L., Laarhoven, B., Ende, S., Verreth, J., Aartsen, F., Bierbooms, V. (2009). Tilapia farming using Recirculating Aquaculture Systems (RAS) - Case study in the Netherlands, in a handbook for sustainable Aquaculture, Project N°: COLL-CT-2006-030384, <http://www.sustainaqua.org/>
- Enache I., Cristea V., Ionescu T., and Săndita I., (2011). The influence of stocking density on the growth of common carp, *Cyprinus carpio*, in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 4(2): 146-153.
- Kamstra, A., Eding E.H., Schneider, O. (2001). Top eel farm upgrades effluent treatment in Netherlands. *Global Aquaculture Advocate*. 4, 37- 38.
- Klas, S., Mozes, N., Lahav, O. (2006). Development of a single-sludge denitrification method for nitrate removal from RAS effluents: Lab-scale results vs. model prediction. *Aquaculture* 259, 342-353.
- Losordo, T. M., Masser, M. P., Rakocy, J. E. (1999). Recirculating aquaculture tank production systems: a review of component options. SRAC, publication no 453. Martins, C.I.M., Pistrin, M.G., Ende, S.S.W., Eding, E.H., Verreth, J.A.J., 2009. The accumulation of substances in Recirculating Aquaculture Systems (RAS) affects embryonic and larval development in common carp *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 291, 65-73.
- Martins, C.I.M., Pistrin, M.G., Ende, S.S.W., Eding, E.H., Verreth, J.A.J. (2009). The accumulation of substances in Recirculating Aquaculture Systems (RAS) affects embryonic and larval development in common carp *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 291, 65-73
- Martins C. I. M., Eding E. H., Verdegem M. C. J., Heinsbroek L. T. N., Schneider O., Blancheton Jean-Paul, Roque D'Orbcastel Emmanuelle, Verreth J. A. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83-93.
- Metaxa, E., Deviller, G., Pagand, P., Alliaume, C., Casellas, C., Blancheton, J.P. (2006). High rate algal pond treatment for water reuse in a marine fish recirculation system: Water purification and fish health. *Aquaculture*. 252, 92-101.
- Roque d'Orbcastel, E., Blancheton, J.P., Aubin, J., 2009. Towards environmentally sustainable aquaculture: comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquacultural Engineering*, 40, 113-119.
- Sauthier, N., Grasmick, A., Blancheton, J.P. (1998). Biological denitrification applied to a marine closed aquaculture system. *Water Res.* 32, 1932-1938.
- Schuster, C., Stelz, H., (1998). Reduction in the make-up water in semi-closed recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 17, 167-174.
- SustainAqua (2009). Zintegrowane podejście do zrównoważonej i zdrowej akwakultury słodkowodnej. *Podręcznik SustainAqua – Podręcznik zrównoważonej akwakultury*. (Eds. L. Váradi, T. Bardócz, A. Oberdieck) 112s.
- 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.
- Tango, M.S., Gagnon, G.A. (2003). Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems. *Aquacultural Engineering*, 29, 125-137.
- van Rijn, J., Tal, Y., Schreier, H. J., (2006). Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. *Aquacultural Engineering* 34, 364-376.