



## Waste Management in Aquaculture.

Jolanta BIEGAŃSKA<sup>1</sup>, Ewelina PIĄTKOWSKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Konarskiego 18A 44-100 Gliwice, tel.: 50-55-08-358, e-mail: ewelina.piatkowska@polsl.pl

<sup>2</sup> Politechnika Śląska, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Konarskiego 18A 44-100 Gliwice, tel.: 32-23-71-213, e-mail: jolanta.bieganska@polsl.pl

### Abstract

Continuous development of world industrial production of aquaculture directs attention toward improving the breeding technology, production optimization and minimization of waste arising during production processes. The growing demand for food, generating huge amounts of wastes and limited water resources, motivate to further work in achieving sustainable waste management in this area. This article aims to analyze and evaluate the processes and technologies used in aquaculture in waste management range, with particular emphasis on shrimp farming, serving as an example of this production branch.

**Keywords:** waste management, aquaculture, shrimp

### Streszczenie

Gospodarka odpadami w akwakulturze

Nieustanny rozwój światowej produkcji przemysłowej akwakultury kieruje uwagę w stronę udoskonalania technologii hodowlanych, optymalizacji produkcji i minimalizacji odpadów z niej powstających. Rosnące zapotrzebowanie na żywność, generowanie ogromnej ilości odpadów produkcyjnych i ograniczone zasoby wodne motywują do dalszej pracy w dążeniu do osiągnięcia zrównoważonej gospodarki odpadami w tej dziedzinie. Celem artykułu jest analiza i ocena stosowanych w akwakulturze procesów i technologii w zakresie gospodarki odpadami, ze szczególnym uwzględnieniem hodowli krewetek, służącej za przykład produkcji tej gałęzi przemysłu.

**Słowa kluczowe:** gospodarka odpadami, akwakultura, krewetki.

### 1. Wstęp

Akwakultura mająca na celu zwiększenie pozyskiwania żywności ze środowiska wodnego, oprócz podstawowej funkcji, pełni także ważną rolę w przemyśle ornamentalnym, kosmetycznym i chemicznym. Przez ostatnie półwiecze światowa produkcja tego przemysłu znacznie zwiększyła swoją wydajność - z ilości około pół miliona ton w latach 50-tych do ok. 74 milionów ton w 2009 roku [1]. Ogromne korzyści płynące z akwakultury zostały niestety przyćmione negatywnym wpływem, jaki wywiera ten przemysł na środowisko, szczególnie w obrębie rejonów przybrzeżnych. Nieprzerwana generacja odpadów podczas procesów produkcyjnych wpływa zarówno na obecny, jak i przyszły stan ekosystemu wodnego. Nie podejmowanie żadnych działań w kierunku oczyszczania wody z tej produkcji grozi głównie eutrofizacją wód ekosystemu, który ją przyjmuje, a także zasilaniem sfer przybrzeżnych, stratami w sferach połowu, zanieczyszczeniami lagun, osadzaniem się osadów na brzegach wód, wybuchami epidemii czy też przedostawaniem się do niego niepożądanych, rozpuszczonych substancji takich jak różnego rodzaju chemikalia, a w następstwie degradacją wybrzeży [2]. Efektywne zarządzanie produkcją i rozsądna gospodarka odpadami to złożone procesy, wymagające stosowania zaawansowanych technologii wykorzystujących wiedzę z nauk humanistycznych oraz inżynierskich. Dążenia do osiągnięcia stabilnej i zrównoważonej gospodarki akwakultury opierają się na całkowitemu zapobieganiu lub rozpoznawaniu i zmniejszaniu negatywnego wpływu na środowisko poprzez kontrolę jakości wody, kontrolę dawek pokarmowych hodowli, cyklu hodowlanego, czynników chorobotwórczych oraz odpowiednią metodykę

gospodarowania odpadami, począwszy od usuwania odpadów stałych, przez oczyszczanie ścieków po przeróbkę odpadów poprodukcyjnych [3].

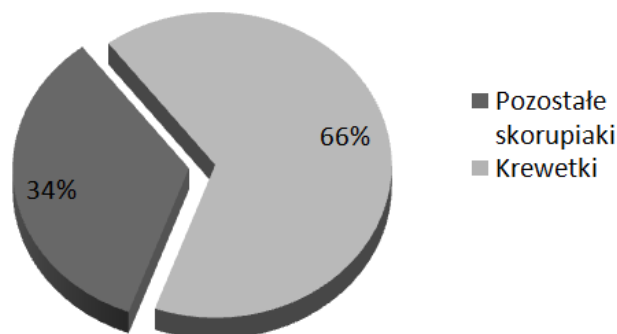
## 2. Odpady w akwakulturze. Analiza na przykładzie hodowli krewetek

Odpady wytwarzane podczas produkcji akwakultury zostały sklasyfikowane w drugiej grupie „Europejskiego Katalogu Odpadów i Listy Odpadów Niebezpiecznych” i umieszczone wśród kategorii odpadów z rolnictwa, ogrodnictwa, leśnictwa, łowiectwa, rybołówstwa i odpadów spożywczych [3]. W niektórych stanach Ameryki Północnej, np. w Zachodniej Virginii, zakwalifikowano je do grupy odpadów przemysłowych [4]. Odpady z akwakultury ograniczają się do dwóch postaci: stałej i ciekłej [5]. Formy stałe odpadów są dalej przetwarzane lub podlegają obróbce wraz z odpadami komunalnymi, natomiast ciekłe zawierające składniki biologiczne i chemiczne, usuwane są razem z wodą i przedtem przechodzą przez proces obróbki ścieków w oczyszczalni i dopiero kierowane są do środowiska [6]. W wielu krajach (np. w Australii) ścieki z basenów akwakulturowych trafiają prosto do wód naturalnych bez podejmowania jakichkolwiek kroków zapobiegających przed emitowaniem zanieczyszczeń [7]. Dlatego zainteresowanie dotyczące gospodarki odpadami w tym zakresie nieustannie rośnie. Ścieki z procesów produkcyjnych akwakultury bezwzględnie wymagają oczyszczenia, a przeprowadzenie obróbki wody warunkuje rząd wskaźników pomiarowych, do których należą parametry fizykochemiczne i biologiczne, a między innymi: pH, temperatura, zawartość cząstek stałych, odór, materia organiczna, BZT (biologiczne zapotrzebowanie na tlen), ChZT (chemiczne zapotrzebowanie na tlen), zawartość azotu i fosforu [8].

Zawartość ścieków i odpady produkcyjne będą różnić się od siebie zależnie od typu hodowanego gatunku morskiego, przebiegu procesu hodowlanego, występujących czynników lokalnych oraz stosowanych technologii unieszkodliwiania odpadów [5].

Analizy odpadów dokonano na przykładzie wybranego gatunku - produkcji krewetek. Jest to przedmiot zainteresowania wśród liderów światowej produkcji skorupiaków i pożądanym produktem na rynku globalnym. Aż 66% (Rys. 2. 1) produkcji wszystkich skorupiaków (kraby, krewetki, pająki morskie, homary) stanowi obecnie właśnie hodowla krewetek [1].

Udział % krewetek na tle produkcji skorupiaków w 2009 roku

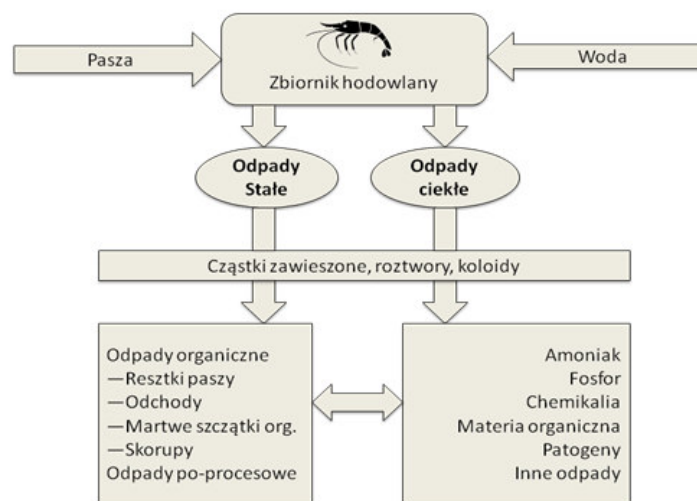


Rys. 2. 1. Światowa produkcja skorupiaków i krewetek w 2009 r - porównanie. Analiza na podstawie danych FAO 2011

Zjawisko bardzo szybkiego postępu tej hodowli, (szczególnie w ciągu ostatnich 10 lat, osiągając aż do 3,5 mln ton w 2009 roku [1]) rodzi pytanie, czy globalna produkcja krewetek będzie dalej rosła w czasie? Jeśli nawet poziom produkcji utrzyma się na jednakowym pułapie, kilku milionów ton rocznie, podejmowanie działań w kierunku ochrony wód jest konieczne.

Rodzaj hodowanego gatunku morskiego ściśle określa warunki, którym instalacja przemysłowa powinna sprostać. Bez względu na to, czy instalacja projektowana jest do celów laboratoryjnych, czy na skalę przemysłową, powinna stworzyć hodowanym organizmom możliwie najlepsze warunki rozwoju i zapewnić

bezkonfliktowe funkcjonowanie gospodarce odpadami [9]. Dokładnie w tym celu przeprowadzono analizę generowanych odpadów i ocenę stosowanych aktualnie technologii i procesów dotyczących produkcji krewetek. Schemat wytwarzania odpadów z tej właśnie hodowli przedstawia Rys. 2. 2.



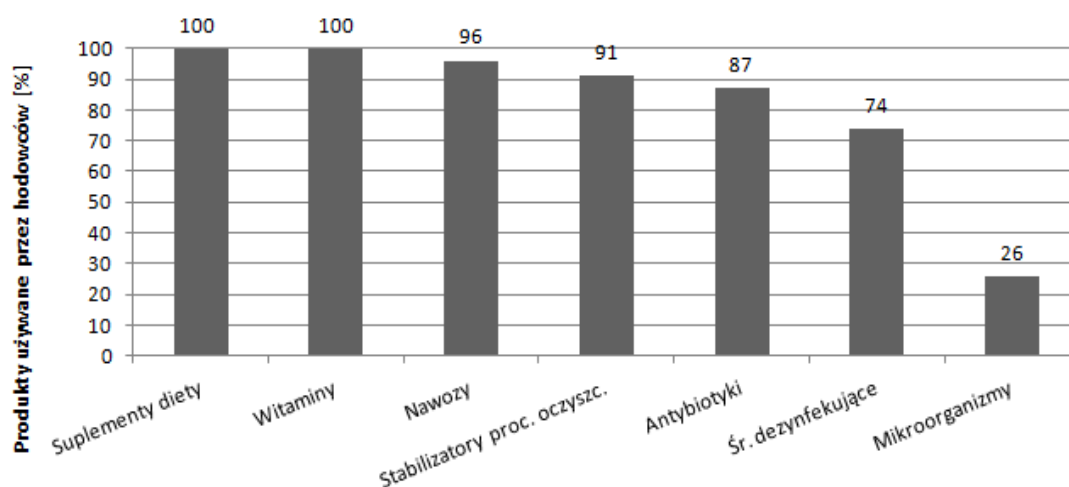
Rys. 2. 2. Schemat odpadów wytwarzanych w produkcji krewetek [2]

Odpady z produkcji krewetek dzielą się pod względem stanu skupienia na stałe i ciekłe. Te z kolei mogą tworzyć cząstki zawieszane i opadające, mające znaczenie w procesach oczyszczania ścieków [2]. Odpady w formie stałej pochodzą przede wszystkim z niezjedzonego pokarmu a następnie z odchodów, procesów "pierzenia" tj. zrzucania pancerza, jak również mogą stanowić je martwe szczątki organizmów. Odrębny element stanowią odpady poprodukcyjne (skorupy, głowy, ogony), których nie bierze się pod uwagę w procesach obróbki ścieków, aczkolwiek ze względu na atrakcyjne składniki zawarte w skorupach tych dziesięcionogów, można je ponownie wykorzystać do innych produkcji przemysłowych (np. w przemyśle kosmetycznym, medycznym, papierniczym) dzięki odzyskowi chityny [10].

Składniki zawarte w pożywieniu mają wpływ na ilość produktów przemiany materii a zatem na jakość powstającego osadu ściekowego. Z procesów metabolizmu hodowanych organizmów przez skrzelę lub urynę przedostają się do wody związki azotu czy fosforu i reprezentują cząstki rozpuszczone odpadów z tej produkcji [11]. Wraz ze wzrostem pH wody rośnie zawartość toksycznego dla zwierząt amoniaku [12]. Fosfor podobnie jak amoniak ma swoje źródło w odchodach, wydzielinach i niewykorzystanym pożywieniu i w nadmiarze przyczynia się do eutrofizacji zbiorników wodnych.

Wszystkie odpady (za wyjątkiem poprodukcyjnych) ściśle zależą od dozowanych dawek i jakości pokarmu. Ilość niezjedzonego materiału stanowi w przybliżeniu około 30% dawki wyjściowej [4], dlatego też tak ważna jest odpowiednia strategia żywienia. Technolog produkcji jest w stanie znacznie zredukować powstawanie odpadów u źródła, poprzez dozowanie odpowiedniej ilości pokarmu przypadającej na cykl hodowlany oraz zwracanie szczególnej uwagi na metody ich podawania [13]. Dawki pokarmu zawieszzonego w wodzie rosną wraz z temperaturą, dlatego latem tych odpadów jest znacznie więcej [4]. Odpady organiczne należy usunąć najszybciej jak to możliwe przeprowadzając procesy wstępnej obróbki wody. Nadmierna akumulacja pokarmu u niektórych hodowlanych gatunków może powodować choroby.

Wraz z pokarmem dla hodowlanych zwierząt, w celu zwiększenia szybkości nich rozwoju, dodawane są także różnego rodzaju suplementy diety, witaminy, nawozy, antybiotyki, środki odkażające i drobnoustroje, mające wpływ na skład i jakość wody oraz wytwarzanych ścieków i osadu, składające się na odpady chemiczne. Najczęściej używane są kolejno dodatki żywnościowe, witaminy i nawozy (Rys. 2. 3) [3, 14]. Stosowanie nawozów może przyczynić się do zarastania zbiorników wodnych, niektóre wykazują nawet właściwości korozyjne. Należy być bardzo ostrożnym z ich stosowaniem tak samo jak przy używaniu środków do dezynfekcji, utleniaczy, algicydów, herbicydów, pestycydów, antybiotyków i probiotyków. Wszystkie dodaje się w celu poprawienia jakości wody w systemie wodnym i kontroli czynników chorobotwórczych, aczkolwiek w nadmiarze są powodem wielu problemowych zjawisk biologicznych [12].



Rys. 2. 3. Dodatki używane przez hodowców [%] [3, 14]

Jako przykład może posłużyć zależność: im wyższy stopień wykorzystania antybiotyków, tym większe prawdopodobieństwo, że patogen odporni się na ich działanie. Stosowanie zamienników i mieszanek antybiotyków jest pewnym rozwiązaniem, aczkolwiek nie na długo. Odporność zwiększa się i w efekcie słabnie funkcja wszystkich stosowanych leków [3, 12]. Należy pamiętać, że stężenie antybiotyków może utrzymywać się jeszcze jakiś czas po tym jak przestały być dodawane. Żadne dodatki stosowane w nadmiarze nie wpływają korzystnie na procesy hodowlane i poprodukcyjne, dlatego powinny być stosowane zgodnie ze standardami żywienia, regulowanymi prawnie. Trwają badania nad udoskonalaniem dozowania dawek i nowymi formami pokarmu. Jedną z metod zmniejszania ilości odpadów organicznych jest podawanie pokarmu w formie wysokorozpuszczalnej [4, 15]. Duże znaczenie w gospodarce odpadami organicznymi ma także prawidłowy przebieg procesów mechanicznych, jak prędkość przepływu wody przez system.

Większe efekty redukcji odpadów organicznych i chemikaliów można osiągnąć w przypadku modernizacji starej instalacji lub jeśli planowana jest budowa całkiem nowej instalacji, stosując nowoczesne, automatyczne dozowniki pokarmu, projektowane z myślą o precyzji, wydajnej produkcji i ochronie środowiska [13].

W produkcji organizmów wodnych można spotkać się także z występowaniem organizmów chorobotwórczych [16]. Częstki pasożytnicze, bakteryjne i wirusowe należy skutecznie usuwać z instalacji stosując odpowiednie metody dezynfekcji wody.

Oprócz wymienionych odpadów organicznych, chemicznych, poprodukcyjnych i patogenicznych zdarza się także napotkać problem z metalami ciężkimi [12]. Obecność żelaza, cynku, miedzi oraz stopów metali takich jak np. mosiądz, może być wynikiem korozji elementów konstrukcyjnych systemu. Zasadniczo należy unikać przedostania się tych związków do obiegu wody. Źródłem podobnych zanieczyszczeń może być również skraplanie się cieczy z śrub galwanicznych lub z gwoździ murarskich. Dowiedziono, że poziom miedzi, cynku i kadmu w tkance wątrobo-trzustki krewetek wrasta wraz z gęstością zarybienia. Najbezpieczniejszym materiałem konstrukcyjnym systemów hodowlanych jest odporna na korozję stal tytanowa.

Do nietypowych i niebezpiecznych odpadów, z jakimi można spotkać się przy produkcji krewetek należą także dioksyny [17]. Dibenzodioksyny i dibenzofurany odkryto w tkance mięśniowej krewetek z rodzaju *Arteus antennatus* wyłowionych na głębokości ponad 600 m Morza Śródziemnego. Toksyczne zanieczyszczenia pochodzenia antropogenicznego jakimi są dioksyny mają tendencję do rozpuszczania się w tłuszczach i w zetknięciu się ryb/skorupiaków z osadem, mogą akumulować się w jadalnej części zwierząt wodnych.

### 3. Współczesne procesy i technologie redukcji odpadów

Większość odpadów stałych można odseparować zanim nastąpi ich fragmentacja w wodzie [4]. Można to osiągnąć poprzez kontrolę przepływu wody przez system hodowlany [9]. Prędkość przepływu odpowiada za fragmentację produktów przemiany materii i prędkość opadania zawiesiny oraz jej koncentrację na dnie zbiornika. Nierozdrobnione odchody jest łatwo odseparować, dzięki czemu można znacznie zmniejszyć ilość powstających odpadów organicznych.

Zbiorniki powinny być projektowane także pod kątem oczyszczania u źródła. W przypadku zbiorników kołowych możliwe jest uruchomienie szybkiego i wolnego przepływu, które mają za zadanie usunąć większość zawiesiny na etapie samej hodowli. Zbiorniki kołowe z poprawnie zaprojektowanym dopływem, drenażem i filtrem usuną znaczną ilość odpadów niewielkim wkładem. Siły odśrodkowe usuną zawiesinę do drenażu centralnego przy prędkości wody nie przekraczającej 20 cm/sek [4]. W basenach o takich i innych kształtach można zastosować areatory prądowe, które pomagają odseparować skumulowane odpady i skierować je do drenaży centralnych [12].

Rozpuszczone odpady organiczne, zawierające azot i fosfor, stanowiące składniki pokarmowe dla roślin mogą zostać usunięte poprzez biofiltr, mający za zadanie przetransformować toksyczny dla zwierząt amoniak w nieszkodliwy azotan(V). Umieszczony w systemie traw i glonów wodnych również pełni funkcję biofiltru, dzięki któremu nadmiar amoniaku zostanie przez nie zneutralizowany [4].

Usuwanie małych rozmiarów zawieszonych materii organicznej i cząstek nieorganicznych jest często bardzo trudne do zrealizowania, a z pewnością nieopłacalne. Małe cząstki nie wykazują właściwości sedymentujących, dlatego zazwyczaj na etapie flokulacji stosuje się odpowiednie dawki koloidów, by usprawnić proces sedymentacji, aczkolwiek do stosowania w akwakulturze jest to zdecydowanie zbyt kosztowne rozwiązanie. Zastępuje się je najczęściej dodatkowym filtrem biologicznym. Przykładem naturalnego biofiltru jest np. usuwanie małych cząstek za pomocą małż, ostryg i mułków jadalnych [7]. Hodowanie ich w zbiorniku do oczyszczania wody wymaga również odpowiedniego zarządzania procesami, w tym wypadku należy zapewnić adekwatną prędkość przepływu i właściwą cyrkulację wody a także wystarczającą ilość rozpuszczonego tlenu. Dowiedziono, że tego typu rozwiązanie nie tylko redukuje koszty oczyszczania, ale skutecznie poprawia jakość wody.

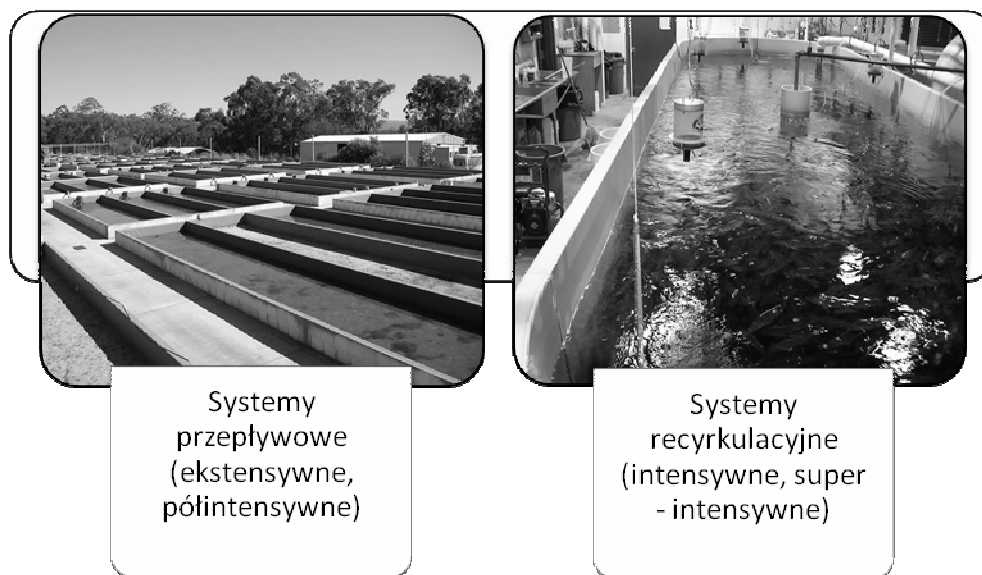
Kolejną metodą stosowaną w redukcji odpadów organicznych jest dezynfekcja przez naświetlanie promieniami ultrafioletowymi, ozonowanie lub chlorowanie [9]. Dzięki niewielkiej dawce promieniowania UV można zredukować znaczną ilość patogenów i wirusów. Zaleca się, by odpady stałe zostały usunięte przed naświetlaniem w celu usprawnienia tego procesu. Metoda ta nie niesie dużego ryzyka dla hodowli, gdyż naświetlanie odbywa się w komorach poza systemem hodowlanym. Stosowanie utleniaczy w postaci ozonu lub chloru stwarza już ryzyko śmiertelności hodowanych organizmów, gdyż dezynfekcja przeprowadzana jest bezpośrednio w zbiorniku. Resztki ozonu są szkodliwe dla zwierząt, a niskie stężenia ozonu w powietrzu są także szkodliwe dla ludzi. Wymienione metody usuwania czynników patogenicznych są dość kosztowne, dlatego przeważnie stosuje się jedynie tradycyjne metody filtracji i sedymentacji [4].

Ilość emitowanych ścieków jest ściśle związana z typem stosowanego do produkcji systemu. Największa objętość ścieków produkowana jest przez systemy klatkowe, zanurzone w wodzie, przy których zachodzi nieustanna wymiana wody między systemem a otaczającym środowiskiem; zaś najmniejsza przez zamknięte, zbiornikowe systemy wodne wymieniające wodę w ilości od 10% do 1% dziennie.

Systemy hodowli dzielą się kolejno ze względu na (Rys. 3. 1):

- wykorzystanie źródła wodnego, czyli przepływowe (gdzie woda używana jest tylko raz i przepływa przez system) oraz recykulacyjne (gdzie woda używana jest kilkakrotnie a na ujściu dodatkowo oczyszczana);
- oraz ze względu na intensywność produkcji, gdzie podziału dokonuje się na ekstensywne, pół-intensywne, intensywne i super-intensywne, reprezentujące odpowiednio niskie, średnie, wysokie i ekstremalnie wysokie gęstości zarybienia [8].





Rys. 3. 1. Rodzaje systemów akwakulturowych, przykłady obiegu wody [9]

Redukcję niekorzystnego wpływu jaki wywierają intensywne produkcje i ograniczenie emisji zanieczyszczeń do wód naturalnych w znacznym stopniu zapewniają obecnie systemy recykulacyjne RAS (Recirculating Aquaculture Systems) [18]. Systemy te wyróżniają się na tle tradycyjnych instalacji intensywnością produkcji i wbudowaną oczyszczalnią ścieków [3]. Woda na wylocie ze zbiornika zawracana jest do układu oczyszczającego, w którym przeprowadzane są procesy fizykochemiczne i biologiczne obróbki wody. Systemy RAS charakteryzuje wysoka prędkość przepływu  $>50 \text{ m}^3/\text{kg}$  pokarmu i recykulacja  $0,1 - 1 \text{ m}^3/\text{kg}$  pokarmu, a w nowszych modelach nawet  $<0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$  pokarmu [19]. Systemy RAS zapewniają także łatwiejszą kontrolę prędkości przepływu, oszczędność energii (ilość pompowanej świeżej wody jest mniejsza), usprawniają czyszczenie basenu a przede wszystkim chronią zasoby wód naturalnych dzięki kilkukrotnemu użyciu tej samej wody. W porównaniu do instalacji w których recykulacja wody nie jest praktykowana, koszty utrzymania RAS są znacznie niższe [8]. Mimo swych zalet i rosnącej liczby stosowania technologii RAS, ich użycie jest wciąż za małe w porównaniu z tradycyjnymi klatkami morskimi i systemami przepływowymi. Wolna adaptacja może wynikać z wysokich kosztów inicjacyjnych, które można pokryć tylko przy osiągnięciu wysokich gęstości zarybienia [19].

Podobnie jest w przypadku systemów super-intensywnych, których koszt inwestycji wynosi około 992,000 \$ USD [20]. Przy założeniu, że intensywność produkcji utrzyma się na wymaganym poziomie ok. 530 sztuk krewetek na  $\text{m}^3$ , a ilość wymienianej wody będzie stanowić tylko 1% objętości całego systemu dziennie, inwestycja zwróci się po 3 latach z 28% nadwyżką. Systemy te oferują zaledwie 1% wymiany wody, w celu uzupełnienia tej objętości wody, która wyparuje w trakcie dobowego cyklu recykulacji. Oznacza to, iż systemy RAS o przykładowej pojemności  $500 \text{ m}^3$  produkują  $50 \text{ m}^3$  ścieków dziennie (o 90% mniej niż systemy przepływowe), a systemy super-intensywne o tej samej pojemności produkują zaledwie  $5 \text{ m}^3$  dziennie. Dane te świadczą o znacznym postępie technologicznym w tej dziedzinie i stanowią dla inżynierów akwakultury wyzwanie wskazując, iż należy kontynuować badania w kierunku tzw. produkcji zero-odpadowej.

Znane są również inne, pośrednie metody minimalizacji odpadów, których przykładem jest odzysk ciepła. To intrygujący model, którym jest innowacyjny system SGSPs (The Salt Gradient Solar Ponds) [21], polegający na kumulowaniu i przechowywaniu energii słonecznej w basenie wodnym dzięki absorpcji promieniowania słonecznego. Skumulowana energia może być wykorzystana do dalszego użycia na przykład do ogrzewania zbiornika hodowlanego. Metoda ta jest nie do końca poznana i skuteczna, lecz perspektywa wykorzystania „zielonej” energii w akwakulturze prorokuje na przyszłość i może przynieść ciekawe rozwiązania technologiczne w całej akwakulturze [3].

#### 4. Podsumowanie

Odpady produkowane przez krewetki mają swoje źródło w ich pochodzeniu, stosowanej diecie oraz przemianie materii. Pierwszym krokiem do kontroli tych odpadów jest zaplanowanie właściwej strategii żywieniowej [5]. Dotychczas dokonano dużego postępu w udoskonalaniu technik dozowania dawek pokarmowych i poprawie jakości wody, co pomogło zmniejszyć ilość powstających odpadów we wszystkich rodzajach systemów akwakulturowych [2]. Generacja odpadów podczas procesów akwakultury może zostać znacznie zredukowana, ale nigdy nie będzie wyeliminowana całkowicie. Najbliższe osiągnięcia produkcji bezodpadowej są technologie RAS oraz systemy super-intensywne. Analiza dowiodła o wyższości tych systemów nad przepływowymi pod względem wydajności i minimalizacji odpadów. Zapowiadają świetlaną przyszłość dalszego jego rozwoju także dzięki takim właściwościom jak: ochrona przed czynnikami chorobotwórczymi, redukcja negatywnego wpływu na środowisko, konserwacja zasobów wodnych, wysoka wydajność i opłacalność [3].

Każda działalność przemysłu akwakultury wiąże się z udoskonalaniem technologii, redukcją odpadów i eliminowaniem negatywnego oddziaływania na środowisko. Globalna tendencja minimalizacji odpadów kształtuje się w stronę produkcji „zero odpadowej”, a nacisk kładziony jest na zapobieganie i podejmowanie wszelkich działań profilaktycznych innymi słowy redukcję u źródła. Większa wiedza o dynamice systemów, nacisk na monitoring mogą służyć do osiągnięcia niezawodności i ogólnego udoskonalenia produkcji [20]. Trend rozwojowy akwakultury nieustannie będzie polegać na optymalizacji procesu produkcji poprzez szukanie balansu między intensyfikacją, ekologią i ekonomią [8].

#### Literatura

- [1]. Food and Agriculture Organizations of The United Nations, Fishery and Aquaculture Statistic, 2011, FAO.
- [2]. Amirkolaie A.K., Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture*, 2011. **3**(1): p. 19-26.
- [3]. Piatkowska E., Waste minimization on the example of chosen industrial production, based on Chemical Abstracts., in Faculty of Energy and Environmental Engineering 2010, Silesian University of Technology: Gliwice. p. 73.
- [4]. Miller D., Semmens K. Waste Management in Aquaculture. Best management practices to reduce aquaculture wastes. *Aquaculture Information Series*, 2002.
- [5]. Bureau D.P., Hua K., Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. *Aquaculture Research*, 2010. **41**(5): p. 777-792.
- [6]. <http://www.fao.org/fishery/topic/12326/en>, "Fisheries and Aquaculture Department", 10.10.2011
- [7]. Jones A.B., Preston N.P. and Dennison W.C., The efficiency and condition of oysters and macroalgae used as biological filters of shrimp pond effluent. *Aquaculture Research*, 2002. **33**(1): p. 1-19.
- [8]. Piatkowska E., Calado R. and Bieganska J., Waste minimization on the example of shrimp production. Case study, in Ongoing publication 2011.
- [9]. Odd-Ivar Lekang, *Aquaculture Engineering 2007*, Oxford: Backwell Publishing.

- [10]. Manni L., et al., Extraction and Characterization of Chitin, Chitosan, and Protein Hydrolysates Prepared from Shrimp Waste by Treatment with Crude Protease from *Bacillus cereus* SV1. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2009. **162**(2): p. 345-357.
- [11]. Burford M.A., Williams K.C., The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. *Aquaculture*, 2001. **198**(1-2): p. 79-93.
- [12]. Wickins J.F., Lee D.O.C., *Crustaceans Farming Ranching and Culture 2002*, Oxford: Backwell Science.
- [13]. Chang C.M., et al., Development of an intelligent feeding controller for indoor intensive culturing of eel. *Aquacultural Engineering*, 2005. **32**(2): p. 343-353.
- [14]. Lyle-Fritch L.P., Romero-Beltran, E., and Paez-Osuna F., A survey on use of the chemical and biological products for shrimp farming in Sinaloa (NW Mexico). *Aquacultural Engineering*, 2005. **35**(2): p. 135-146.
- [15]. Cho C.Y., Bureau D.P., Reduction of waste output from salmonid aquaculture through feeds and feeding. *Progressive Fish-Culturist*, 1997. **59**(2): p. 155-160.
- [16]. Sambasivan S., Chandran R. and Khan S.A., Role of probiotics on the environment of shrimp pond. *Journal of Environmental Biology*, 2003. **24**(1): p. 103-106.
- [17]. Rotllant G., et al., Dioxin compounds in the deep-sea rose shrimp *Aristeus antennatus* (Risso, 1816) throughout the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 2006. **53**(12): p. 1895-1906.
- [18]. Wik T.E.I., Linden B.T. and Wramner P.I., Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modelling for recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, 2009. **287**(3-4): p. 361-370.
- [19]. Martins C.I.M., et al., New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*. **43**(3): p. 83-93.
- [20]. YSI Aquaculture, Super-Intensive shrimp System Provides A Look Into The Future, in YSI Environmental, A573, Editor 2009, YSI Aquaculture.
- [21]. Gouveia L., et al., Solar Pond devices: free energy or bioreactors for *Artemia* biomass production? *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 2009. **36**(8): p. 1035-1045.
-