

EFEKTYWNOŚĆ STOSOWANEJ W GOSPODARSTWACH PSTRĄGOWYCH TECHNOLOGII OCZYSZCZANIA WÓD ODPROWADZANYCH DO ŚRODOWISKA

Marek Romuald Rynkiewicz

Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wstęp

O ile zanieczyszczenia powstające podczas chowu zwierząt lądowych najczęściej trafiają do lepiej lub gorzej działających systemów oczyszczania, o tyle akwakultury odprowadzają swoje zanieczyszczenia bezpośrednio do wody, w której prowadzona jest produkcja.

Wśród produkowanych w naszym kraju ryb najintensywniej rozwija się produkcja pstrąga tęczowego, do chowu którego potrzebne są znaczne ilości czystej wody. Z obliczeń wynika, że większość producentów, do wyprodukowania 1 kg pstrąga potrzebuje od 210 do 250 m³ wody [SOLBE 1982; GOLDBURG, TRIPLETT 1997]. Jednocześnie w toku produkcji do wody wprowadza się znaczne ilości paszy. Bazując na przyswajalności składników zawartych w typowej diecie określono, że ilość produkowanej przez ryby łososiowate zawiesiny może wynosić 150–200 g s.m. na kilogram przyrostu ryb przy współczynniku pokarmowym wynoszącym 0,9–1,0 [WONG, PIEDRAHITA 2000]. Oznacza to, że przemianie w ekskrementy ulega co najmniej od 15 do 25% paszy. W rzeczywistości uzyskiwane w gospodarstwach współczynniki pokarmowe są znacznie wyższe, co oznacza że i ilości powstających ekskrementów będą większe.

Oczyszczanie tak dużych mas wody wymaga zastosowania bardzo wydajnych urządzeń oraz o dużej przepustowości, co związane jest ze znacznymi nakładami finansowymi. Dlatego najczęściej stosowanym sposobem ograniczenia ilości odprowadzanych do środowiska zanieczyszczeń jest usuwanie zawiesiny. W warunkach polskich do tego celu wykorzystuje się sedymentację w wydzielonych strefach basenów imitujących osadniki lub są one usuwane poprzez filtrację na mikrositach. W wyniku powyższych zabiegów otrzymuje się osady, które przed dalszymi etapami zagospodarowania przetrzymywane są w stawach zicmnych lub innych zbiornikach. Najczęściej na tym etapie, ze względu na brak odpowiednich technologii, kończy się droga ich utylizacji. W zbiorniku tym (stawie) mogą one być przetrzymywane przez bardzo długi czas.

Dlatego celem niniejszych badań było określenie wpływu powszechnie stosowanej w gospodarstwach pstrągowych technologii oczyszczania wód poprodukcyjnych opartej na usuwaniu zawiesiny i gromadzeniu osadów w odstojniku, na ilość odprowadzanych do odbiornika zanieczyszczeń, ze szczególnym uwzględnieniem związków biogennych.

Materiały i metody badań

Charakterystyka gospodarstwa pstrągowego

W badanym gospodarstwie w 31 betonowych basenach typu „raceway” o łącznej powierzchni 3360 m² oraz w kanale odprowadzającym wody do odbiornika, prowadzona jest produkcja pstrąga tęczowego. Baseny charakteryzują się tym, że posiadają wydzielone części imitujące osadnik, w których zatrzymywane są zanieczyszczenia stałe. Zgromadzone w tych częściach basenów osady, odprowadzane są do stawu osadowego o powierzchni ok. 0,2 ha zwanego odstojnikiem, gdzie są przetrzymywane. Ponieważ zanieczyszczenia stałe zbierające się w osadnikach są usuwane hydraulicznie, w stawie osadowym występuje ciągle przepływ wody o zmiennym natężeniu. Jest to jedyny tego typu ośrodek w okolicy Olsztyna, który przystosowany jest do usuwania zanieczyszczeń z wód poprodukcyjnych.

Wodę do badań pobierano na dopływie i odpływie z basenów oraz z odstojnika. Osady natomiast, za pomocą czerpaka, pobierano z wydzielonych części basenów (osadników) oraz ze stawu osadowego. Badania prowadzono w latach 1998/99 przez okres 18 miesięcy.

Metody analityczne

Analiza fizyczno-chemiczna wody obejmowała oznaczenia: temperatury, odczynu (pH), zawartości ortofosforanów rozpuszczonych (P-PO₄), fosforu ogólnego (P og.), azotu amonowego (N-NH₄), azotu azotanowego (N-NO₃), azotu ogólnego (N og.), biochemicznego zapotrzebowania tlenu (BZT₅).

Badania analityczne służące scharakteryzowaniu osadów obejmowały następujące oznaczenia: zawartość suchej masy (s.m.), pozostałość po prażeniu, azot ogólny (N og.), fosfor ogólny (P og.), ekstrakt cterowy (E.E.), odczyn (pH).

Zawartość ortofosforanów, azotu amonowego i azotanowego oznaczano metodą kolorymetryczną. Próby do oznaczeń azotu i fosforu ogólnego mineralizowano metodą „na mokro”. Następnie azot ogólny oznaczano metodą destylacji w aparacie Parnas-Wagnera. Zawartość tlenu w wodzie do BZT₅ określano metodą Winklera. Pomiary odczynu prowadzono przy użyciu pH-metru.

Zawartość suchej masy i pozostałości po prażeniu (w 550°C) oznaczano metodą wagową, a zawartość tłuszczu i olejów mineralnych drogą ekstrakcji eterem naftowym.

Wszystkie wymienione oznaczenia wykonano zgodnie z metodyką opisaną przez HERMANOWICZA i in. [1999] oraz w STANDARD METHODS [1989].

Wyniki i dyskusja

Biorąc pod uwagę producentów krajowych omawiane gospodarstwo pod względem produkcji zaliczane jest do średniej wielkości. Zgodnie z operatem wodno-prawnym zużywa ono około 121 tys. m³·d⁻³ wody, co porównując z zapotrzebowaniem na wodę człowieka, wynoszącym około 0,15 m³·d⁻³, odpowiada miastu zamieszkałemu przez 800 tysięcy osób.

Gospodarstwo to w 1998 roku wprowadziło do wody około 130 ton paszy, a wraz z nią około 1100 kg fosforu oraz 7000 kg azotu. Zgodnie z danymi literaturowymi z ilości tej od 15 do 30% związków biogenych zostało pobrane

przez ryby i usunięte z wody. Pozostała ilość w zależności od formy występowania trafiła do odpływu lub została zdeponowana razem z osadami.

Ryby łososiowate karmione standardową dietą razem z kałem wydalają około 13% białka, 8% tłuszczu, 40% węglowodanów, 17% materii organicznej i 50% popiołu. Łącznie z tymi składnikami do wody trafia około 7–32% azotu i 30–84% fosforu ogólnego [FOY, RASELL 1991; BERGHEIM i in. 1993].

W okresie badań temperatura pobieranej wody wahała się od 0,1°C zimą do 25,0°C latem. Natomiast zawartość związków biogennych była niska i wynosiła średnio dla azotu og. – 1,8 mg N og. \cdot dm⁻³ i fosforu og. – 0,069 mg P og. \cdot dm⁻³.

Powyżej gospodarstwa rzeka Łyna przepływa przez duży kompleks leśny pod nazwą „Las Warmiński” i z tego względu na tym odcinku występują tylko nieliczne źródła zanieczyszczeń, których liczba od wielu lat nie ulega zmianie. Dlatego również podczas badań prowadzonych w latach 1972–1974 w wodzie stwierdzono podobne ilości zanieczyszczeń [PIOTROWSKA, WIĘCŁAWSKI 1976].

W tabeli 1 zestawiono uzyskane wyniki badań, wpływu gospodarstwa na jakość wód poprodukcyjnych (obliczone jako różnica pomiędzy ilością zanieczyszczeń w wodzie dopływającej i odpływającej z gospodarstwa).

Tabela 1; Table 1

Wzrost wskaźników zanieczyszczeń w wodach odprowadzanych z gospodarstwa
An increase of indexes of pollutants in waters discharged from fish farms

Wskaźniki Indexes	Odpływ z basenów Outflow from basins		Odpływ z odстойnika Outflow from sediment pond	
	wart. średnia average value	odchyl. standar. stand. deviation	wart. średnia average value	odch. standar. stand. deviation
Odczyn; pH value (pH)	0,19	0,14	-0,02	0,20
Ortofosforany; Phosphates (mg P-PO ₄ \cdot dm ⁻³)	0,014	0,009	0,114	0,076
Fosfor ogólny; Total phosphorus (mg P \cdot dm ⁻³)	0,015	0,009	0,121	0,091
Azot amonowy; Ammonia nitrogen (mg N ₄ ⁻ \cdot dm ⁻³)	0,035	0,045	0,364	0,381
Azot azotanowy; Nitrate nitrogen (mg N ₃ ⁻ \cdot dm ⁻³)	-0,012	0,033	-0,004	0,018
Azot ogólny; Total nitrogen (mg N \cdot dm ⁻³)	0,08	0,35	0,37	0,40
BZT ₅ ; BOD ₅ (mg O ₂ \cdot dm ⁻³)	0,36	0,22	2,89	1,98

Otrzymane wyniki wskazują, że w odpływie z basenów wzrost stężenia związków biogennych oraz BZT₅ jest niewielki, a w przypadku azotu azotanowego wystąpił nawet spadek zawartości, co przypuszczalnie jest związane z redukcyjnymi warunkami panującymi w wodzie. Ponieważ, gospodarstwo w procesie produkcji wykorzystując duże ilości wody, dobowe ładunki zanieczyszczeń odprowadzane do odbiornika wynoszą dla azotu ogólnego – 9,7 kg N \cdot d⁻¹, fosforu ogólnego – 1,8 kg P \cdot d⁻³ oraz BZT₅ – 43,6 kg O₂ \cdot d⁻³.

Przeliczając powyższe ładunki na ilości zanieczyszczeń jakie odprowadza oczyszczalnia ścieków, to zgodnie z obowiązującymi normami obsługiwałaby ona od około 4 tys. do prawie 20 tys. mieszkańców. Przykładowo z średniej wielkości miasta zamieszkałego przez 15 tys. obywateli, z oczyszczonymi ściekami odprowa-

dzane jest do odbiornika około $33,7 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ azotu, $4,5 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ fosforu oraz $33,7 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ BZT₅.

Jednocześnie, jak wskazują wyniki zestawione w tabeli 1, duża ilość zanieczyszczeń trafia do odbiornika razem z odpływem z odstojnika. Najwyższe stężenia związków azotu i fosforu oraz BZT₅ w odpływie z tego stawu odnotowywano w miesiącach letnich, kiedy to zarówno temperatura powietrza jak i wody jest wysoka. W miesiącach letnich, ze względu na panujące temperatury, w stawie wzrasta tempo przemian biochemicznych, które najczęściej prowadzą do powstania w wodzie warunków beztlenowych, przy których proces uwalniania z osadów zanieczyszczeń i przechodzenia do przepływającej wody jest bardzo intensywny [MEIJER, AVNIMELECH 1999].

Przeprowadzone kilkakrotnie oznaczenia zawartości tlenu, w przyrodniej warstwie wody stawu osadowego, potwierdziły te przypuszczenia, podczas badań nie stwierdzano obecności tlenu lub bardzo niskie jego stężenia (do ok. $0,1 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$).

Powyższa interpretacja wyników ma również odzwierciedlenie w rezultatach uzyskanych podczas badania osadów. Te zbierające się w wydzielonych strefach basenów charakteryzowały się dużą rozbieżnością składu w zależności od czasu poboru. Uwodnienie ich wahało się od $74,94\%$ do $95,31\%$, przy wartości średniej wynoszącej $88,92\%$ (tab. 2). Natomiast zawartość materii organicznej zmieniała się od $20,5\%$ do $74,70\%$, przy wartości średniej $42,24\%$.

Zawartości związków fosforu zawierały się w przedziale od $3,0$ do $31,53 \text{ mg P}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m., natomiast azotu od $9,08$ do $37,5 \text{ mg N}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. Jednocześnie średnie ilości tych pierwiastków wynosiły – $14,09 \text{ mg P}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. i $19,59 \text{ mg N}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m.

Używana do karmienia ryb pasza zawiera dużo tłuszczu, z tego powodu znaczna jego część trafia do osadów. Zanieczyszczenia te oznaczane jako ekstrakt eterowy określano w ilości od $6,47$ do $254,53 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m., przy wartości średniej wynoszącej $90,39 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m.

Odczyn osadów zmieniał się od pH $5,07$ do $6,88$ i uzależniony był od wielu czynników głównie od zawartości materii organicznej i temperatury, która miała bezpośredni wpływ na intensywność zachodzących przemian.

Osady te następnie, za pomocą specjalnego spustu w dnie basenów, są usuwane do odstojnika, w którym poddawane są resedymentacji. Magazynowane w tym stawie osady charakteryzowały się uwodnieniem od $73,15\%$ do $90,42\%$, a zawartość substancji lotnych wahała się od $15,4\%$ do $24,4\%$ (tab. 2). Średnie zawartości fosforu oraz azotu ogólnego wynosiły odpowiednio – $4,24 \text{ mg P}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. oraz $7,40 \text{ mg N}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. Również stwierdzona ilość ekstraktu eterowego w porównaniu z poprzednimi osadami była niewielka – $7,4 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. (średnia zawartość). Odczyn osadów zmieniał się od $6,65$ pH do $7,1$ pH.

Analizując oraz porównując uzyskane wyniki charakterystyki chemicznej osadów pobranych z odstojnika oraz z basenów do tuczu ryb można wywnioskować, że magazynowanie i przetrzymywanie ich przez dłuższy czas w wodzie, powoduje uwalnianie znacznej części zgromadzonych zanieczyszczeń, a szczególnie niebezpiecznych dla środowiska związków biogenych, które wraz z odpływającymi ze stawu wodami trafiają do odbiornika.

Czas magazynowania osadów w odstojniku może wynosić wiele miesięcy. Przez ten okres osady ulegają prawie całkowitej mineralizacji. System ten w pierwotnym założeniu miał zapobiegać znacznemu zanieczyszczeniu środowiska, jednak jak wskazują otrzymane wyniki, wykorzystywana w gospodarstwach rybackich

technologia oczyszczania jest niewłaściwa i nie zapewnia odpowiedniego usunięcia zanieczyszczeń.

Przyjmując zawartości związków azotu, fosforu w osadach z basenów do tuczu ryb za 100% obliczono, że w wyniku procesu mineralizacji osadów zgromadzonych w odstojniku, uwolniły one do przepływającej wody, około 70% fosforu i 62% azotu. W przypadku tłuszczu ilość ich zmniejszyła się o ponad 90%, a produkt rozkładu przypuszczalnie również trafiły do odbiornika.

Tabela 2; Table 2

Charakterystyka osadów pobieranych z wydzielonych stref basenów oraz stawu osadowego
The characteristics of deposits sampled from separated tank zones and sediment pond

Wskaźniki Indexes	Baseny do tuczu ryb Typ „raceway” basin		Staw osadowy Sediment pond	
	wart. średnia average value	odch. standar. stand. deviation	wart. średnia average value	odch. standar. stand. deviation
Wilgotność; Moisture (%)	88,92	4,684	80,63	6,24
Sucha masa; Total dry matter (g·dm ⁻³)	110,84	46,844	193,68	62,39
Poz. po prażeniu; Mineral matter (%)	57,76	16,609	81,25	3,76
Subst. lotne; Volatile dry matter (%)	42,24	16,610	18,75	3,76
Fosfor ogólny; Total phosphorus (mg P·g ⁻¹ s.m.)	14,09	8,527	4,24	2,45
Azot ogólny; Total nitrogen (mg N·g ⁻¹ s.m.)	19,59	7,569	7,40	1,25
Ekstrakt eterowy; Etheric extract (mg·g ⁻¹ s.m.)	90,39	78,558	7,40	1,08
Odczyn; pH value (pH)	6,06	0,572	6,85	0,23

Wnioski

Analiza charakterystyki wód poprodukcyjnych odprowadzanych przez gospodarstwo pstrągowe oraz powstających w toku produkcji osadów pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

1. Uzyskane wyniki wskazują, że wzrost stężenia zanieczyszczeń w odprowadzanej wodzie jest niewielki, jednak ze względu na znaczne ilości wody jakie gospodarstwo pobiera z rzeki, odprowadzane ładunki BZT₅ przewyższają te, wprowadzane przez oczyszczalnię ścieków obsługującą ponad 15 tys. mieszkańców.
2. Prowadzona obecnie gospodarka osadowa powoduje odpływ do odbiornika znacznego ładunku zanieczyszczeń, w wyniku procesu mineralizacji gromadzonych w stawie osadów.
3. Przyjmując zawartości związków azotu, fosforu w osadach z basenów do tuczu ryb za 100% obliczono, że w wyniku procesu mineralizacji do odbiornika trafiło około 70% fosforu i 62% azotu. W przypadku związków ekstrahujących się eterem naftowym ilość ich w osadach zmniejszyła się o ponad 90 %.

4. Stwierdzono, że prowadzony w gospodarstwie sposób usuwania zanieczyszczeń stałych poprzez ich gromadzenie w stawie osadowym tylko nieznacznie zmniejsza ilość odprowadzanych do odbiornika zanieczyszczeń. Największy wpływ na powyższy fakt ma długi okres przetrzymywania osadów w wodzie.

Literatura

- BERGHEIM A., SANNI S., INDREVIK G., HOLLAND P. 1993. *Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating microsieves*. *Aquacultural Engineering* 12: 97-109.
- GOLDBURG R., TRIPLETT T. 1997. *Murky waters: environmental effects of aquaculture in the US*. Environmental Defense Fund: 111 ss.
- SOLBE L.G. 1982. *Fish-Farm Effluents; A United Kingdom Survey, w: Report of the EIFAC Workshop on fish-farm effluents*. Alabaster J.S., (Eds.), Silkeborg, Denmark. EIFAC Technical Paper 41: 166 ss.
- FOY R.H., ROSELL R. 1991. *Loadings of nitrogen and phosphorus from a Northern Ireland fish farm*. *Aquaculture* 96: 17-30.
- HERMANOWICZ W., DOJLIDO J., DOŻAŃSKA W., KOZIOROWSKI B., ZERBE J. 1999. *Fizyko-chemiczne badania wody i ścieków*. Wyd. drugie, Arkady, Warszawa: 556 ss.
- MEIJER L.E., AVNIMELECH Y. 1999. *On the use of micro-electrodes in fish pond sediments*. *Aquaculture Engineering* 21: 71-83.
- PIOTROWSKA E., WIĘCŁAWSKI F. 1976. *Badania zmian składu fizykochemicznego wód rzeki Łyny w latach 1972-1974*. *Zesz. Nauk. ART Olsztyn* 6: 17-30.
- STANDARD METHODS 1989. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Wyd. 17, Am. Public Health Assoc., Washington: 1268 ss.
- WONG K.B., PIEDRAHITA R.H. 2000. *Settling velocity characterization of aquacultural solids*. *Aquaculture Engineering* 21: 233-246.

Słowa kluczowe: wody poprodukcyjne, osady, pstrąg tęczowy, zanieczyszczenia, ścieki, azot, fosfor, BZT₅, ekstrakt cterowy

Streszczenie

W pracy omówiono badania wód poprodukcyjnych odprowadzanych przez gospodarstwo pstrągowe oraz powstających w toku produkcji osadów.

Z zaprezentowanych rezultatów wynika, że wzrost zawartości zanieczyszczeń w wodach poprodukcyjnych jest stosunkowo niewielki. Jednak, ze względu na znaczne ilości wody jakie gospodarstwo wykorzystuje w toku produkcji, ładunki odprowadzanych zanieczyszczeń mogą być znaczne, na co ma wpływ szczególnie wysokie stężenie zanieczyszczeń w odpływie z odstoju, gdzie gromadzone są osady.

Oznacza to, że usunięte wcześniej razem z osadami zanieczyszczenia, podczas przechowywania ich w stawie osadowym zostają uwolnione do przepływającej wody i odprowadzone do środowiska.

Efektywność technologii oczyszczania wód poprodukcyjnych, ze względu na

niewłaściwy sposób eksploatacji jest bardzo niski, jednak przedstawione wyniki wskazują na znaczny potencjał omawianej metody oczyszczania, która wymaga jednak modernizacji i zmiany sposobu eksploatacji.

W celu poprawy jakości odprowadzanej wody z gospodarstw wskazane jest częstsze usuwanie osadów z wydzielonych części basenów oraz szybkie ich odwodnienie. Takie postępowanie pozwoli na bardzo znaczne zmniejszenie ilości odprowadzanych do środowiska zanieczyszczeń.

THE EFFICIENCY OF WATER PURIFICATION TECHNOLOGY APPLIED IN TROUT FARMS AND FOR WATERS DISCHARGED TO THE ENVIRONMENT

Marek Romuald Rynkiewicz

Department of Environment Protection Engineering,
University of Warmia and Mazury, Olsztyn

Key words: wastewater, sludge, treatment, fish farm, rainbow trout, phosphorus, nitrogen, BOD₅, etheric extract

Summary

Studies were carried out to examine the post-production water discharged from a trout breeding farm and the produced sediments.

Based on the results, the content of contaminants in the post-production water increased relatively slightly. However, due to the significant amounts of water used for the production on the farm, the loads of the discharged contaminants may be significant. The content of contaminants in the discharge from the sediment pond (where sediments are collected) is particularly high.

This means that the contaminants previously removed with the sediments (during storage in a sediment pond) are discharged to the flowing water and introduced to the environment.

The effectiveness of the post-production water purification technology, due to the improper method of exploitation, is very low. However, the presented results indicate the considerable potential of the described purification method after its modernization and modification of the exploitation method.

In order to improve the quality of water discharged from farms, more frequent discharge of sediments from the designated parts of the ponds (raceway) and their immediate dehydration is recommended. Such a procedure will allow a significant decrease in the amounts of contaminants discharged to the environment.

Dr inż. Marek R. **Rynkiewicz**
Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
ul. Prawocheńskiego 1
10-957 OLSZTYN-KORTOWO
e-mail: marekryn@moskit.uwm.edu.pl