

Stefan TUCHOLSKI<sup>1</sup> i Marcin SIDORUK<sup>1</sup>

## WPŁYW ZASILANIA STAWÓW HODOWLANYCH BIOLOGICZNIE OCZYSZCZONYMI ŚCIEKAMI NA JAKOŚĆ WODY W STAWACH

### EFFECT OF FEEDING FISH PONDS WITH BIOLOGICALLY TREATED WASTEWATER ON POND WATER QUALITY

**Abstrakt:** Badania dotyczące wpływu zasilania stawów hodowlanych biologicznie oczyszczonymi ściekami na jakość wody w stawach przeprowadzono w 2008 roku. Badaniami objęto trzy stawy doświadczalne o powierzchni od 0,94 do 1,04 ha i maksymalnej głębokości w okresie letnim 1,5 m, położonych na terenie Oczyszczalni Ścieków w Olsztynku. Stawy doświadczalne napełniono wodą wybijającą ze źródeł i okresowo użyźniano ściekami biologicznie oczyszczonymi, stanowiącymi mieszaninę ścieków bytowo-gospodarczych i z przetwórstwa owoców i warzyw, i nie stosowano dodatkowego dokarmiania ryb paszą. Woda w stawach doświadczalnych charakteryzowała się niskim stopniem eutrofizacji, była dobrze natleniona, o niskich stężeniach azotu amonowego i amoniaku niezjonizowanego niestanowiących zagrożenia dla zdrowia i życia ryb. Jakość wody w stawach użyźnianych oczyszczonymi ściekami umożliwiała tarło, rozwój embrionalny, szybki wzrost stadiów młodocianych i pełny rozwój osobniczy cennych gatunków ryb.

**Słowa kluczowe:** stawy hodowlane, ścieki, jakość wody

Wykorzystanie ścieków w hodowli ryb może być ukierunkowane na produkcję pokarmu dla ryb - fito- i zooplanktonu [1-4], ale częściej ścieki wprowadza się bezpośrednio do stawów w celu intensyfikacji łańcucha troficznego i wzrostu produkcji ryb [5-7]. W stawach rybnych wykorzystuje się ścieki o różnym stopniu oczyszczenia: od ekskrementów składowanych w latrynach wiszących nad stawami poprzez ścieki surowe po sedimentacji [8], ścieki po oczyszczeniu osadem czynnym [2, 6] po zanieczyszczoną wodę rzeczną [9].

Celem pracy była ocena wpływu zasilania stawów hodowlanych biologicznie oczyszczonymi ściekami na jakość wody w stawach.

#### Materiał i metody badań

Badania terenowe przeprowadzono w sezonie hodowlanym 2008 w trzech stawach doświadczalnych o powierzchni od 0,94 ha - staw nr 2 do 1,04 - staw nr 3 i maksymalnej głębokości w okresie letnim 1,5 m, położonych na terenie Oczyszczalni Ścieków w Olsztynku (N:53°36'15.29", E:20°17'20.66"). Ścieki surowe dopływające do oczyszczalni stanowiły mieszaninę ścieków bytowo-gospodarczych i z przetwórstwa owoców i warzyw. Po oczyszczeniu wstępnym oczyszczano je *biologicznie w sekwencyjnych reaktorach* (SBR).

Stawy doświadczalne napełniono wodą wybijającą ze źródeł w dniu stawu 2 oraz 3 i okresowo użyźniano ściekami biologicznie oczyszczonymi. Ścieki do stawu 1 wpływały

<sup>1</sup> Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, pl. Łódzki 2, 10-756 Olsztyn, tel. 89 523 43 51, fax 89 523 43 51, email: marcin.sidoruk@uwm.edu.pl

bocznym odgałęzieniem kanału odprowadzającego z oczyszczalni, natomiast do stawów 2 i 3 doprowadzono je przy użyciu pompy.

Zakres i metodyka analiz laboratoryjnych

Tabela 1

The scope and methodology of laboratory analysis

Table 1

Lp.	Oznaczenie		Metoda
1	BZT <sub>5</sub>	biochemiczne zapotrzebowanie tlenu	Respirometrycznie w aparacie OXI-top
2	N-NO <sub>3</sub>	azot azotanowy	Kolorymetrycznie z kwasem fenolodisulfonowym
3	N-NO <sub>2</sub>	azot azotynowy	Kolorymetrycznie z kwasem sulfanilowym
4	N-NH <sub>4</sub>	azot amonowy	Metoda Nesslera
5	N <sub>og</sub>	azot ogólny	Metodą Kjeldahla
6	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	fosfor fosforanowy	Kolorymetrycznie z molibdenianem amonu i chlorkiem cyny(II)
7	P <sub>og</sub>	fosfor ogólny	Kolorymetrycznie z molibdenianem amonu i chlorkiem cyny(II) po mineralizacji

Pomiary terenowe i badania laboratoryjne wykonywano raz w miesiącu w okresie od kwietnia do października. Badaniami objęto ścieki surowe, ścieki biologicznie oczyszczone i wody stawowe. Bezpośrednio w terenie przy użyciu wieloparametrycznego miernika multi 350 firmy WTW mierzono: temperaturę [°C], pH, zawartość tlenu rozpuszczonego [mg O<sub>2</sub> · dm<sup>-3</sup>], nasycenie tlenem [%] i przewodność elektrolityczną [μS · cm<sup>-1</sup>]. Analizy laboratoryjne wykonano powszechnie stosowanymi metodami (tab. 1).

## Wyniki

Ścieki biologicznie oczyszczone cechowała zmienność składu chemicznego dotycząca głównie związków azotowych i fosforowych. Wynikało to ze zróżnicowanej na ogół większej skuteczności usuwania azotu i fosforu ze ścieków w okresie pozakampanijnym przy niższym wówczas udziale ścieków z przetwórstwa owoców i warzyw.

Ścieki surowe dopływające do Oczyszczalni Ścieków w Olsztynku charakteryzowała temperatura od 12,4 do 24,8°C, pH w kształtujące się zakresie od 7,2 do 7,9 i niska zawartość tlenu rozpuszczonego od 0,03 mg O<sub>2</sub> · dm<sup>-3</sup>, czyli praktycznie braku tlenu do 0,60 mg O<sub>2</sub> · dm<sup>-3</sup> (tab. 2). Zawierały one duży ładunek materii organicznej o wartości BZT<sub>5</sub> od 400 do 720 mg O<sub>2</sub> · dm<sup>-3</sup>, średnio 527,86 mg O<sub>2</sub> · dm<sup>-3</sup>.

Azot w ściekach surowych występował głównie w formie amonowej - 57,5% (44,02±12,42 mg N-NH<sub>4</sub> · dm<sup>-3</sup>) i organicznej 42,3% (32,38±19,59 mg N-N<sub>org</sub> · dm<sup>-3</sup>) (tab. 2). Azot azotanowy stanowił zaledwie 0,18%, czyli 0,14±0,03 mg N-NO<sub>3</sub> · dm<sup>-3</sup>. Powyższy udział form azotu jest potwierdzeniem reguły, według której azot ogólny w ściekach surowych to azot Kjeldahla.

Fosfor w ściekach surowych występował w formie mineralnej 56,7%, czyli 9,67±3,05 mg P-PO<sub>4</sub> · dm<sup>-3</sup>. Fosfor organiczny stanowił 43,2%, czyli 7,37±2,81 mg P<sub>org</sub> · dm<sup>-3</sup>. Ścieki surowe zawierały znaczne ilości składników mineralnych, stymulując przewodność elektrolityczną od 1291 do 2300 μS · cm<sup>-1</sup>, średnio 1856±334 μS · cm<sup>-1</sup> (tab. 2).

Biologiczne oczyszczanie ścieków w sekwencyjnych reaktorach (SBR) umożliwiło usunięcie ze ścieków związków organicznych. Stężenie BZT<sub>5</sub> zmniejszyło się do 10,43±3,69 mg O<sub>2</sub> · dm<sup>-3</sup> (tab. 2). Ścieki biologicznie oczyszczone zawierały tlen w ilości od 2,55 do 4,57 mg O<sub>2</sub> · dm<sup>-3</sup>, charakteryzowały się lekko zasadowym pH i temperaturą stosowną do pory roku.

Tabela 2  
Skład fizykochemiczny ścieków surowych i oczyszczonych Oczyszczalni Ścieków w Olsztynku - sezon hodowlany 2008

Table 2  
Physico-chemical composition of raw and purified wastewater treatment plants in the breeding season Olsztynek - 2008

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Ścieki surowe				Ścieki oczyszczone			
			$\bar{x}$	min	max	SD	$\bar{x}$	min	max	SD
1	Temperatura	[°C]	20,5	12,9	24,8	4,3	20,1	14,2	25,4	4,0
2	pH		7,6	7,2	7,9	0,2	7,7	7,3	7,9	0,2
3	Tlen rozpuszczony	[mg O <sub>2</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,17	0,03	0,60	0,22	3,54	2,55	4,57	0,82
4	Nasycenie tlenem	[%]	1,76	0,30	5,60	1,84	38,97	29,30	49,40	6,86
5	Przewodność elektrolityczna	[μS cm <sup>-1</sup> ]	1856	1291	2300	334	1885	978	2600	549
6	BZT <sub>5</sub>	[mg O <sub>2</sub> dm <sup>-3</sup> ]	572,86	400,00	720,0	120,10	10,43	5,00	16,00	3,69
7	Azot amonowy	[mg N-NH <sub>4</sub> dm <sup>-3</sup> ]	44,02	32,75	65,41	12,42	2,70	0,18	5,60	1,72
8	Amoniak niezjonizowany	[mg N-NH <sub>3</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,5945	0,2015	1,6399	0,4861	0,0664	0,0015	0,1600	0,0564
9	Azot azotanowy	[mg N-NO <sub>2</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,0043	0,0014	0,0100	0,0028	0,4687	0,2200	0,9240	0,2259
10	Azot azotanowy	[mg N-NO <sub>3</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,14	0,08	0,17	0,03	4,67	3,04	5,60	0,85
11	Azot organiczny	[mg N <sub>org.</sub> dm <sup>-3</sup> ]	32,38	12,27	60,18	19,59	2,62	1,10	4,81	1,45
12	Azot ogólny	[mg N <sub>og.</sub> dm <sup>-3</sup> ]	76,55	46,35	122,38	26,30	10,47	8,21	12,88	1,80
13	Fosforany	[mg P-PO <sub>4</sub> dm <sup>-3</sup> ]	9,67	5,87	14,06	3,05	2,48	1,09	4,95	1,45
14	Fosfor ogólny	[mg P <sub>og.</sub> dm <sup>-3</sup> ]	17,05	10,62	22,79	4,99	5,26	2,36	7,76	2,30
15	Fosfor organiczny	[mg P <sub>org.</sub> dm <sup>-3</sup> ]	7,37	3,42	11,08	2,81	2,78	0,91	6,04	1,80

$\bar{x}$  - średnia, SD - odchylenie standardowe

Usuwanie ze ścieków związków azotu i fosforu było znacznie mniej efektywne aniżeli związków węgla. Zawartość azotu ogólnego zmniejszyła się o 86%. W ściekach oczyszczonych występował głównie azot azotanowy - 44%, azot amonowy - 26%, azot organiczny - 25%, a także azot azotanowy - 5% (tab. 2) jako efekt procesu nityfikacji. Stężenie amoniaku niezjonizowanego kształtowało się w zakresie od 0,0015 do 0,1600 mg · dm<sup>-3</sup>, okresowo stanowiąc zagrożenie dla zdrowia i życia ryb.

Zawartość fosforu ogólnego zmniejszyła się z 17,05 ± 4,99 mg · dm<sup>-3</sup> w ściekach surowych do 5,26 ± 2,30 mg · dm<sup>-3</sup> w ściekach biologicznie oczyszczonych, czyli o 69%, w tym 47% stanowił fosfor mineralny (tab. 2). Ścieki oczyszczone charakteryzowały się podobnie dużą jak ścieki surowe przewodnością elektrolityczną.

Należy sądzić, iż używanie stawów narybkowych tak oczyszczonymi ściekami nie spowoduje nagłych ubytków tlenu, a lekko zasadowy odczyn i temperatura zbliżona do temperatury wody stawowej również nie stanowią zagrożenia dla ryb.

Wody stawów w sezonie hodowlanym 2008 charakteryzowały się podwyższonym pH - do 9,3, wysoką zawartością tlenu rozpuszczonego kształtującą się w stawie 1 na poziomie  $10,70 \pm 4,42 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , stawie 2 -  $14,07 \pm 4,35 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  i  $10,57 \pm 4,37 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  w stawie 3. Efektem intensywnej fotosyntezy było stosownie wysokie wartości BZT<sub>5</sub>, będące średnio na poziomie od 6,3 do 8,0 i maksymalnie osiągając wartość  $23,0 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  w stawie 3 (tab. 3).

Tabela 3

Skład fizykochemiczny wody w stawach w Oczyszczalni Ścieków w Olsztynku - sezon hodowlany 2008

Table 3

Physico-chemical composition of water in the ponds at wastewater treatment plants in Olsztynek - 2008 breeding season

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Staw 1				Staw 2				Staw 3			
			$\bar{x}$	min.	max.	SD	$\bar{x}$	min.	max.	SD	$\bar{x}$	min.	max.	SD
1	Temperatura	[°C]	17,2	9,4	24,3	4,6	16,9	9,5	23,5	4,5	16,6	9,6	23,2	4,3
2	pH		8,4	7,6	9,3	0,5	8,6	7,7	9,2	0,4	8,1	7,6	9,3	0,5
3	Tlen rozpuszczony	[mg O <sub>2</sub> dm <sup>-3</sup> ]	10,70	2,75	21,80	4,42	14,07	6,14	23,30	4,35	10,57	5,53	20,80	4,37
4	Nasycenie tlenem	[%]	111,9	29,2	255,0	47,7	147,6	67,9	242,9	48,6	108,4	58,2	202,3	40,6
5	Przewodność elektrolityczna	[μS cm <sup>-1</sup> ]	415	354	529	47	398	288	474	45	401	255	502	62
6	BZT <sub>5</sub>	[mg O <sub>2</sub> dm <sup>-3</sup> ]	6,7	2,0	17,0	4,0	8,0	1,0	21,0	4,7	6,3	1,0	23,0	4,5
7	Azot amonowy	[mg N-NH <sub>4</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,16	0,01	1,00	0,25	0,10	0,01	0,82	0,17	0,06	0,01	0,18	0,05
8	Amoniak niezjonizowany	[mg N-NH <sub>3</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,0114	0,0007	0,1197	0,0259	0,008	0,0006	0,0538	0,0120	0,004	0,0002	0,0513	0,0109
9	Azot azotynowy	[mg N-NO <sub>2</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,0132	0,0016	0,0310	0,0090	0,0160	0,0012	0,0286	0,0084	0,006	0,0020	0,0142	0,0028
10	Azot azotanowy	[mg N-NO <sub>3</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,23	0,04	0,80	0,22	0,48	0,08	1,34	0,42	0,12	0,04	0,35	0,09
11	Azot organiczny	[mg N <sub>org.</sub> dm <sup>-3</sup> ]	1,46	0,36	2,58	0,60	1,52	0,34	3,88	0,76	1,11	0,34	2,59	0,53
12	Azot ogólny	[mg N <sub>og.</sub> dm <sup>-3</sup> ]	1,87	0,72	2,71	0,52	2,11	0,66	4,17	0,74	1,30	0,56	2,73	0,51
13	Fosforany	[mg P-PO <sub>4</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,05	0,00	0,26	0,07	0,03	0,00	0,07	0,02	0,02	0,00	0,04	0,01
14	Fosfor ogólny	[mg P <sub>og.</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,28	0,08	0,60	0,17	0,27	0,06	0,72	0,16	0,24	0,04	0,55	0,14
15	Fosfor organiczny	[mg P <sub>org.</sub> dm <sup>-3</sup> ]	0,22	0,04	0,58	0,15	0,24	0,03	0,70	0,16	0,22	0,04	0,53	0,14

Azot w wodzie stawowej w każdym stawie występował głównie w formie organicznej (tab. 3) i stanowił od 72,0% azotu ogólnego w stawie 2 do 85,4% w stawie 3. Było to efektem intensywnej fotosyntezy i wysokiej produkcji biomasy fitoplanktonu. Woda stawowa charakteryzowała się niskim stężeniem amoniaku niezjonizowanego i nieznaczną zmiennością stężeń we wszystkich zbiornikach.

Fosfor w wodzie stawów występował głównie w formie organicznej i stanowił od 78,6% w stawie 1 do 91,7% w stawie 3 fosforu ogólnego. Stwierdzono okresowe „wyczerpanie” fosforu mineralnego, co mogło być skutkiem intensywnej fotosyntezy i wykorzystaniem go przez makrofitę.

Wyniki badań składu fizykochemicznego wody w stawach doświadczalnych używanych biologicznie oczyszczonymi ściekami wskazują, iż charakteryzowały się one lepszą jakością niżeli wody w stawach o konwencjonalnych warunkach chowu ryb.

Średnie stężenie azotu amonowego w wodzie stawów doświadczalnych było od 4- do 18-krotnie niższe w porównaniu do najniższych średnich wartości, podanych w [10-13], w stawach zasilanych wodą, nawożonych lub nienawożonych, w których ryby żywiono paszą zbożową lub mieszką granulowaną.

Można sądzić, iż napełnienie stawu wodą ze źródeł i okresowe dozowanie biologicznie oczyszczonych ścieków stymulowało bieżące wykorzystanie mineralnych form azotu i fosforu przez glony i kształtowało niskie ich zawartości w wodzie stawowej. Można zatem stwierdzić, iż metoda okresowego dozowania biologicznie oczyszczonych ścieków do stawów rybnych umożliwia bieżące wykorzystanie wprowadzonych składników, doczyszczanie ścieków i odnowę wody w ekosystemie stawu rybnego.

Nasylenie wody tlenem w stawach doświadczalnych było większe w relacji do średniej 68 i 90% nasycenia w stawach o konwencjonalnych warunkach chowu ryb [13]. Nadto, jak podaje autor, minimalne nasycenie wody tlenem wynosiło 14%. W świetle danych piśmiennictwa [14-16] przy tak niskim natlenieniu następuje nie tylko ograniczenie tempa wzrostu, ale w zależności od wartości pH i poziomu niezjonizowanego amoniaku śnięcie ryb [16]. Średnia zawartość tlenu w stawach doświadczalnych przekraczała nawet ponad 2-krotnie średni poziom tlenu w wodzie stawów nawożonych organicznie i mineralnie [11], a także była wyższa niżeli w stawach nienawożonych przy stosowaniu żywienia karpia śrutą jęczmienną [16].

## Wnioski

1. Biologicznie oczyszczone ścieki pochodzenia bytowo-gospodarczego i z przetwórstwa owoców i warzyw mogą być wykorzystane do użytku stawów narybkowych.
2. Niskie wartości BZT<sub>5</sub> ścieków biologicznie oczyszczonych wskazywały na podobnie niską zawartość materii organicznej, natomiast stosunkowo wysokie zawartości azotu i fosforu świadczą o ich znaczącej wartości nawozowej.
3. Stężenia składników mineralnych w biologicznie oczyszczonych ściekach mogą korzystnie kształtować skład mineralny wody w stawach rybnych.
4. Woda w stawach doświadczalnych zasilanych biologicznie oczyszczonymi ściekami była dobrze natleniona, o niskich stężeniach azotu amonowego i amoniaku niezjonizowanego niestanowiących zagrożenia dla zdrowia i życia ryb.

## Literatura

- [1] Dave G. Experiences with wastewater - culture a Daphnia in the start - feeding rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*. 1989;79:337-343.
- [2] Tucholski S. Chów ryb w stawach zasilanych biologicznie oczyszczonymi ściekami. Olsztyn: Wydawnictwo IRŚ; 1994.

- [3] Golder D, Rana S, Sarkar D, Jana BB. Human urine is an excellent liquid waste for the culture of fish food organism, *Moina micrura*. *Ecol Eng.* 2007;30:326-332.
- [4] Tucholski S, Niewolak S. Stawy rybne jako III stopień oczyszczania w małej biologicznej oczyszczalni ścieków. *Zesz Nauk AR Wrocław.* 1994;246:179-189.
- [5] Tucholski S. Wartość nawozowa ścieków wiejskich odpływających z oczyszczalni mechaniczno-biologicznej. *Zesz Probl Post Nauk Roln.* 2001;475:87-94.
- [6] Kuczyński M, Kolasa-Jamińska B, Lewkowicz S, Pilarczyk M. Production of the two-years old carp in ponds supplied with biologically pre-treated municipal sewage. *Acta Sci Pol.* 2003;2(1):159-168.
- [7] Edwards P. Development status of, and prospects for, wastewater-fed Aquaculture in urban environments: In: Costa-Pierce B, Desbonnet A, Edwards P, Baker D, editors. *Urban Aquaculture*, Wallingford UK: CABI Publishing; 2005:45-59.
- [8] Olah J, Sharangi N, Datta NC. City sewage fish ponds in Hungary and India. *Aquaculture.* 1986;54:129-134.
- [9] Liang Y, Cheung RYH, Everitt S, Wong MH. Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: wastewater treatment in ponds. *Water Res.* 1998;32 (6):1864-1880.
- [10] Wojda R. Ilość i jakość wody jako kryterium gęstości obsad stawów karpowych. *Rozpr Nauk 116 Zesz Nauk SGGW.* 1979.
- [11] Rahman MM, Verdegem M, Nagelkerke L, Wahab MA, Milstein A, Verreth J. Effects of common carp *Cyprinus carpio* (L.) and feed addition in rohu *Labeo rohita* (Hamilton) ponds on nutrient partitioning among fish, plankton and benthos. *Aquacult Res.* 2008;39: 85-95.
- [12] Kolasa-Jamińska B, Kuczyński M, Lewkowicz S, Pilarczyk M. Elimination of nitro gen compounds in carp ponds fertilized with the biologically treated municipal sewage. *Acta Sci Pol.* 2003;2(1):105-114.
- [13] Szumiec J. Effects of diversified pond carp culture. 1. Impact of different feeding and stock density on fish production. *Acta Hydrobiol.* 1995;37:131-138.
- [14] Boyd CE. *Water quality management for pond fish culture.* Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company; 1982.
- [15] Bieniarz K, Kownacki A, Epler P. *Ekologia stawów rybnych.* W: *Biologia stawów rybnych.* Olsztyn: Wydawnictwo IRŚ; 2003;I:5-100.
- [16] Wojda R. *Karp. Chów i hodowla. Poradnik hodowcy.* Olsztyn: Wydawnictwo IRŚ; 2009.
- [17] Karpiński A. *Jakość wody w intensywnej gospodarce rybackiej.* Olsztyn: Wydawnictwo IRŚ; 1994.

## **EFFECT OF FEEDING FISH PONDS WITH BIOLOGICALLY TREATED WASTEWATER ON POND WATER QUALITY**

Department of Land Improvement and Environmental Management  
University of Warmia and Mazury in Olsztyn

**Abstract:** The objective of this study was to determine the effect of feeding fish ponds with biologically treated wastewater on pond water quality. The study was conducted in 2008, on three experimental fish ponds on the premises of the Wastewater Treatment Plant in Olsztynek. Water in the experimental ponds was characterized by a low degree of eutrophication, was well oxygenated, with low concentrations of ammonium and non-ionised ammonia, it poses no-risk to health and fish life. Water quality in ponds fertilized with treated wastewater was sufficiently high to support spawning, embryonic development, fast growth of juveniles and maturation of commercially valuable fish species.

**Keywords:** fish ponds, wastewater, water quality