



**UNIESZKODLIWIANIE
I UTYLIZACJA ODPADÓW
PŁYNNYCH I STAŁYCH
W ŚRODOWISKU
NATURALNYM**

**OGÓLNOPOLSKA
KONFERENCJA
NAUKOWA
Z UDZIAŁEM
GOŚCI ZAGRANICZNYCH**

**WROCŁAW
24-25.09.1996**

**ZESZYTY
NAUKOWE
AKADEMII ROLNICZEJ
WE WROCŁAWIU**

NR 293

**KONFERENCJE
XIII
(TOM 1)**

**WYDZIAŁ
MELIORACJI
I INŻYNIERII
ŚRODOWISKA**



Sadzide Murat-Błażejewska

DOCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW W STAWACH RYBNYCH
POLISHING OF WASTEWATER IN FISH PONDS

Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Akademia Rolnicza, Poznań
Department of Land Reclamation and Environment Shaping, Agricultural University
Poznań

Abstrakt

W pracy przedstawiono zasady wymiarowania stawów ściekowych rybnych według kryterium, obciążenia azotem całkowitym i bakteriami Coli typu fekalnego. Zweryfikowano z wynikiem pozytywnym na własnych danych empiryczny wzór Reeda, służący do oceny skuteczności usuwania azotu w stawach. Stwierdzono potrzebę dalszej weryfikacji metod obliczeń podstawowych parametrów ściekowych stawów rybnych i opracowania wytycznych ich projektowania.

SŁOWA KLUCZOWE: staw rybny, oczyszczanie ścieków, azot, bakterie Coli

WSTĘP

Stawy rybne mogą być z powodzeniem wykorzystywane do oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych i z przemysłu rolno-spożywczego. Nazywane są one wtedy stawami ściekowymi rybnymi. Zasadnicza różnica między konwencjonalnymi stawami rybnymi a stawami ściekowymi rybnymi polega na tym, że te drugie są zasilane ściekami i prowadzona gospodarka rybacka jest ekstensywna (tj. bez dokarmiania paszami). Uzyskuje się przy tym dobre wyniki hodowlane: w warunkach polskich wydajność stawów wynosi 1000-4000 kg/ha [6, 11]. Znacznie lepsze wyniki (do 13000 kg/ha) można uzyskać w klimacie cieplejszym. Przykładem może być oczyszczalnia miejska dla m. Kalkuty w Indiach, gdzie stawy rybne mają powierzchnię 3000 ha i oczyszczają około 550 tys. m³ ścieków na dobę. Produkcja ryb - głównie karpia i tilapii - osiąga tam 13 tys. ton rocznie [3].

Niniejsza praca jest próbą przedstawienia niektórych metod obliczeń podstawowych parametrów stawów rybnych, doczyszczających oczyszczone biologicznie ścieki bytowo-gospodarcze.

METODY WYMIAROWANIA STAWÓW

Turoboyski [12] podaje, że w stawach ściekowych rybnych można oczyszczać ścieki bytowo-gospodarcze oczyszczone mechanicznie, przyjmując 5 m² powierzchni stawu na jednego równoważnego mieszkańca. Ścieki te powinny być odpowiednio rozcieńczone wodą, tak aby zawartość tlenu w wodzie nie była niższa od 3,0 mg O₂/dm³.

Według Mary i in. [3] najważniejszym kryterium projektowania stawów ściekowych rybnych jest obciążenie ładunkiem azotu. Zbyt małe obciążenie powoduje małe przyrosty biomasy glonów, tj. niską produkcję pierwotną w stawie, a w konsekwencji słabe przyrosty masy ryb. Przeciążenie stawów ładunkiem azotu prowadzi do intensywnych zakwitów glonów, które mogą w nocy tak odtlenić wodę, że jest to zabójcze dla ryb. Optymalnym obciążeniem ładunkiem azotu w klimacie subtropikalnym jest $q_N = 4 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ [3]. W kraju nie stosuje się tak wysokich dawek. Guziur [1] uzyskał dobre rezultaty hodowlane przy dawce azotu 292 kg/ha w ciągu 6 miesięcy, co dawało średnie obciążenie 1,6 kg N ha⁻¹ d⁻¹, nie licząc azotu wnoszonego z opadem atmosferycznym.

Skuteczność usuwania azotu w stawie rybnym podobna jest do skuteczności stawu fakultatywnego i może być opisana wzorem Reeda [3]:

$$C_e = C_i \cdot \exp \left\{ - \left[0,0064 \cdot (1,039)^{T-20} \right] \cdot [\Theta + 60,6(pH - 6)] \right\} \quad (1)$$

gdzie: C_e - stężenie azotu całkowitego na wylocie ze stawu mg/dm³,
 C_i - stężenie azotu całkowitego na wlocie do stawu mg/dm³,
 T - temperatura wody w °C,
 θ - czas retencji w dobach,
 pH - odczyn wody.

Czas retencji oblicza się z zależności (przy założeniu przepływu tłokowego):

$$\Theta = \frac{2V}{Q_i + Q_e} \quad (2)$$

gdzie: V - objętość czynna stawu w m³,

$Q_{i(e)}$ - dopływ (odpływ) ścieków w m³ d⁻¹.

Czas retencji wynosi zwykle 5-30 dni, choć niekiedy osiąga nawet ponad 100 dni.

Wymagana powierzchnia stawu o średniej głębokości h przy dopuszczalnym obciążeniu azotem q_N wyniesie:

$$A = \frac{Q_i + Q_e}{2h} \left[\frac{\ln(C_i / C_e)}{0,0064 \cdot 1,039^{(T-20)} - 60,6 \cdot (pH - 6)} \right] \geq \frac{C_i \cdot Q_i}{q_N} \quad (3)$$

Zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami [9] stężenie azotu całkowitego w ściekach odprowadzanych do wód powierzchniowych nie może przekroczyć 30 g N/m^3 . Należy również kontrolować pH (pH < 9-10 w zależności od temperatury i gatunku ryb), aby nie dopuścić do zatrucia ryb amoniakiem gazowym. Obciążenie ładunkiem BZT₅ stawów rybnych ściekowych można przyjmować, podobnie jak stawów fakultatywnych bez sztucznego napowietrzania, tj. $20 - 70 \text{ kg O}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ [5]. Redukcja BZT₅ jest bardzo duża i nawet zimą przekracza 95% [7, 10].

WERYFIKACJA FORMUŁ OBLICZENIOWYCH

Z uwagi na brak kompletnej informacji, niezbędnej do weryfikacji przedstawionych powyżej formuł obliczeniowych w dostępnym piśmiennictwie krajowym, postanowiono wykorzystać dane własne, zebrane w okresie 1986-1990 podczas kompleksowych badań w zlewni rzeki Maskawy [2]. W ramach tych badań prowadzono stałe obserwacje i pomiary, które między innymi obejmowały:

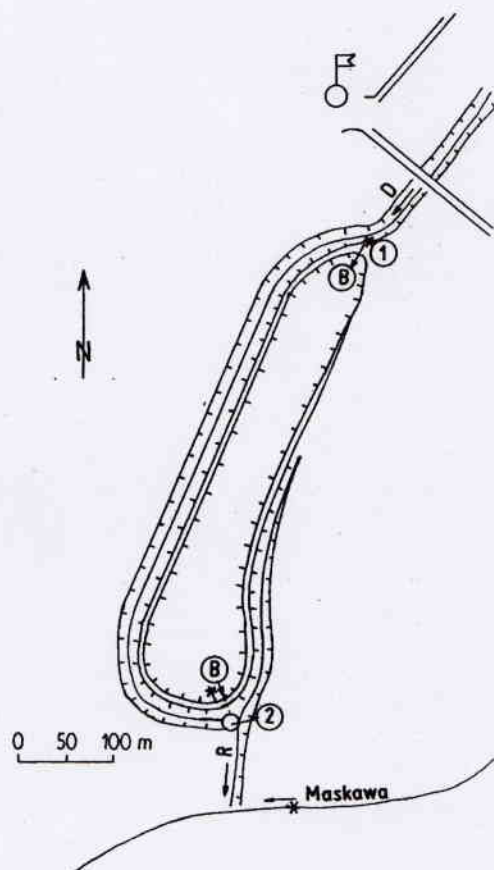
- limnigraficzne notowania stanów wody w przekrojach: zamykającym zlewnie (koryto Parshalla), na dopływie (przelew trapezowy) i na odpływie (przelew trójkątny) ze stawu,
- codzienne pomiary opadów deszczomierzem Hellmanna,
- inwentaryzacje źródeł zanieczyszczeń w zlewni,
- pobieranie próbek wody w trzech przekrojach pomiarowo-kontrolnych.

Miejsca pobierania próbek wody zlokalizowano tak (rys. 1), aby móc oszacować wpływ stawu rybnego w Stroszkach na jakość wód Maskawy i ocenić skuteczność usuwania zanieczyszczeń w stawie.

W okresie od 1986 do końca 1990 roku pobrano i poddano analizom laboratoryjnym 114 próbek wody. Fizyczno-chemiczne analizy obejmowały oznaczenia wskaźników i składników charakteryzujących właściwości fizyczne (pH, temperatura), warunki tlenowe (zawartość tlenu rozpuszczonego, BZT₅, ChZT_{Mn}), stężenia substancji organicznych (sucha pozostałość lotna), obecność biogenów (związki azotu i fosforu) oraz skład mineralny (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cl, SO₄⁻²).

Do wód Maskawy odprowadzane były ścieki komunalne i przemysłowe (ścieki z masarni ok. $2,0 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ i z rozlewni napojów gazowanych ok. $4,0 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$), jak i gnojowica ze źle prowadzonych obór.

Staw doświadczalny o powierzchni 2,8 ha, użytkowany jako narybkowo-kroczkowy zasilany był z rzeki Maskawy rowem otwartym. Dopływ do stawu w okresie hodowlanym wynosił od $7,8 \text{ dm}^3 \text{ sek}^{-1}$ do $16,4 \text{ dm}^3 \text{ sek}^{-1}$, a odpływ od 0 (w okresie suchym 1990 r.) do $8,0 \text{ dm}^3 \text{ sek}^{-1}$. Średnia głębokość stawu wynosiła 1,3 m (głębokość przy mnichu dopływowym 0,6 m a przy mnichu odpływowym 2,4 m). W stawie prowadzono nisko-intensywną gospodarkę rybacką, dokarmiano obsadę (2000 sztuk kroczka karpi) mieszanką paszową w ilości około 50 kg na tydzień. Średnia wydajność stawu wyniosła 500 kg ha^{-1} .



Rys. 1. Szkic stawu doświadczalnego w Stroszkach: D - doprowadzalnik, R - rów opaskowy, 1 - przelew trapezowy, 2 - przelew trójkątny, B - lata wodowskazowa, O - deszczomierz, * - punkty kontrolno pomiarowe

Fig. 1. Research pond in Stroszki: D - conduit, R - tailrace, 1 - trapezoidal weir, 2 - V-notch weir, B - staff gauge, O - rain gauge, * - sampling points

Wyniki badań hydrochemicznych wykazały, że wody rzeki Maskawy odpowiadały II i III klasie czystości wód względem większości wskaźników, okresowo jednak stężenie tlenu rozpuszczonego spadało poniżej wartości normatywnych.

W tabeli 1 przedstawiono minimalne, maksymalne i średnie z okresu badań wartości wybranych wskaźników jakości badanych wód. Z przedstawionych w tabeli danych wynika, że średnie temperatury wody były w doprowadzalniku i w stawie wyższe niż w cieku, i w warunkach dobrego nasłonecznienia występowały sprzyjające warunki dla intensywnego przebiegu procesu fotosyntezy, zwłaszcza w stawie. Świadczą o tym,

Tabela 1

Table 1

Minimalne, średnie i maksymalne wartości wybranych wskaźników jakości wody w badanych punktach pomiarowo-kontrolnych w latach 1986-1990, 1994*

Minimum, average and maximum values of water quality indexes at investigated gauging points in 1986-1990, 1994*

Punkty Points Wskaźniki Indexes	Maskawa Dzierżnica River Maskawa 1	Dopływ do stawu Pond inlet 2	Odpływ ze stawu Pond outlet 3	Średnia skuteczność, % Efficiency mean	
				1-2 1	2-3 2
Temperatura wody Water temperature [°C]	0,5 - 26,5 9,1	6,0 - 26,5 14,7	10,0 - 27,0 17,0		
Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen [mg O ₂ /dm ³]	1,2 - 12,6 7,6	1,2 - 10,6 6,2	4,9 - 12,0 9,2		
Utlenialność COD [mg O ₂ /dm ³]	3,2 - 25,0 10,5	3,8 - 24,7 11,3	0 - 21,7 11,2		
BZT ₅ BOD ₅ [mg O ₂ /dm ³]	0,5 - 9,6 3,3	0,5 - 7,6 2,6	0,1 - 8,2 4,5	21	-73
Sucha pozostałość Solid residue [mg/dm ³]	349 - 1108 746	349 - 1108 680	464 - 687 572	9	16
Odczyn Reaction [pH]	6,8 - 8,6 7,5	6,8 - 8,3 7,4	6,6 - 8,2 7,4		
Azot amonowy Ammoniacal nitrogen mg NH ₄ /dm ³	nw - 3,2 0,44	0,1 - 2,5 0,36	nw - 4,2 0,37	18	-3
Azot azotanowy Nitrate nitrogen mg NO ₃ /dm ³	nw - 13,6 2,0	nw - 8,0 1,2	nw - 4,0 0,27	40	78
Azot całkowity Total nitrogen mg N/dm ³	3,7 - 9,7 5,5	3,7 - 6,5 4,5	1,6 - 4,7 2,9	18	35
Fosforany Phosphates mg PO ₄ /dm ³	nw - 6,0 0,5	nw - 6,0 0,7	nw - 1,0 0,16	-40	77

*Dane za rok 1994 udostępnił WIOŚ w Poznaniu

Data from 1994 according to Provincial Inspectorate of Environmental Protection in Poznań; nw - not detectable

między innymi stosunkowo wysokie stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie stawu pomimo wysokich temperatur. Długi otwarty doprowadzalnik (3,2 km) wpływał korzystnie na jakość wód, redukując substancje biogenne i organiczne: azotu amonowego o 18 %, a azotu azotanowego o 40 %, zaś substancji organicznych o 9 %, (sucha pozostałość lotna) i 21 % (BZT₅). Porównując jakości wód dopływających i odpływających ze stawu można stwierdzić, że w stawie następowało usunięcie 77 % fosforanów, 78 % azotu azotanowego i 35 % azotu całkowitego.

Zweryfikowano wzór (1) dla doprowadzalnika, potraktowanego jako wydłużony staw fakultatywny oraz samego stawu rybnego. Przy średniej prędkości przepływu wody w doprowadzalniku $V_w = 0,1$ m/s i jego długości $L = 3200$ m czas przetrzymania wynosił: $\Theta_w = L/V_w = 0,4$ d. Przyjęto średnią temperaturę wody $T = 12$ °C i $pH = 7,5$, co przy stężeniu azotu całkowitego na początku doprowadzalnika $C_i = 5,5$ mg N/dm³ dało że wzoru (1) $C_e = 3,6$ mg N/dm³ na końcu doprowadzalnika, tj. wartość o 20 % mniejszą od średniej z pomiarów.

Lepszą zgodność wyników uzyskano dla stawu przy $Q_w = 1210$ m³/d, średniej głębokości wody $h = 1,3$ m i powierzchni stawu 2,8 ha, średni czas przetrzymania wynosił $Q_w = A \cdot h / Q_w = 30$ d. Dla $T = 16$ °C, $pH = 7,4$ i $C_i = 4,5$ mg N/dm³, obliczone $C_e = 2,4$ mg N/dm³, a średnia z pomiarów $C_e = 2,9$ mg N/dm³. Błąd względny wynosi tu zatem 17 %. Biorąc pod uwagę fakt, że pewne ilości azotu mogły być dostarczane do stawu z opadem atmosferycznym, wynik weryfikacji można uznać za pozytywny.

SKUTECZNOŚĆ USUWANIA BAKTERII

Stawy posiadają bardzo dużą skuteczność usuwania bakterii. Polak i Miernik [7] podają, że po przejściu ścieków bytowo-gospodarczych przez cztery stawy w układzie paciorkowym ($\Theta_w = 46$ d) redukcja bakterii w okresie całego roku wynosiła od 98,8 do 99,9 %. Podobnie wysokie wyniki podawane są przez innych autorów [10, 11]. Liczbę bakterii Coli typu fekalnego na wypływie ze stawu rybnego można oszacować według wzoru [3]:

$$N_n = \frac{N_i}{(1 + k\Theta_1)(1 + k\Theta_2) \dots (1 + k\Theta_n)} \quad (4)$$

N_n - liczba bakterii Coli typu fekalnego w 100 cm³ ścieków wypływających z n-tego stawu,

N_i - liczba bakterii Coli typu fekalnego w 100ml ścieków dopływających do pierwszego stawu (może to być staw anaerobowego - bez ryb).

$k = 2,6 \cdot 1,19^{T-20}$ - stała szybkość usuwania bakterii, wyrażona w d⁻¹ (T - temperatura w °C),

Θ_n - czas przetrzymania ścieków w n -tym stawie, wyrażony w dobach.

W dostępnym piśmiennictwie brak jest pełnych danych dla zweryfikowania wzoru (4) dla warunków krajowych. Tucholski i Niewolak [11] stwierdzali ponad 99 % redukcję bakterii Coli typu fekalnego już po drugim stawie rybnym, pracującym jako III stopień oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych i z przetwórci owoców i warzyw. Czas przetrzymania ścieków w każdym z tych stawów wahał się od ok. 5 do 13 dni. Aktualnie obowiązujące przepisy krajowe dopuszczają w ściekach odprowadzanych do wód powierzchniowych dla III klasy czystości wód odbiornika miano Coli typu fekalnego nie mniejsze niż 0,01.

WNIOSKI

1. Stawy rybne ściekowe są bardzo skuteczną oczyszczalnią ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłu rolno-spożywczego, działającą nawet w warunkach krajowych przez cały rok.
2. Powierzchnia i głębokość stawów rybnych ściekowych zależą przede wszystkim od ładunku azotu i liczby bakterii typu fekalnego w ściekach dopływających, a także od ich temperatury.
3. Istnieje pilna potrzeba dalszej weryfikacji metodyki obliczeń podstawowych parametrów stawów ściekowych rybnych i opracowania wytycznych ich projektowania.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Guziur J.: Analiza wieloczynnikowej intensyfikacji produkcji karpia towarowych (K₂₃) oraz jej wpływ na ryby i środowisko. Wyd. Morskiego Instytutu Rybackiego, 1991.
- [2] Kosturkiewicz A., Muratowa S.: Wpływ stawów rybnych na jakość wód. Roczn. AR Poznań, 244, 12, 1993, 51-63.
- [3] Mara D. D., Edwards P., Clark D., Mills S. W.: A rational approach to the design of wastewater-fed fishponds. Water Research, vol. 27, 12, 1993, 1797-1799.
- [4] Marais G. v. R.: Faecal bacterial kinetics in waste stabilization ponds. J. Environ. Eng. Div. Proc. ASCE vol. 100 (EE1), 1974, 119-139.
- [5] Metcalf and Eddy : Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw Hill, N. Y., 1991.
- [6] Polak S., Krzanowski S.: Możliwości oczyszczania i wykorzystania ścieków w stawach rybnych. Wiad. Mel. i Łak., nr 4,5, 1973.
- [7] Polak S., Miernik W.: Całoroczne oczyszczanie ścieków w stawach rybnych - badania. Gospodarka Wodna, 3, 1985, 64-68.
- [8] Reed S.C.: Nitrogen removal in wastewater stabilization ponds. J. Wat. Pollut. Control Fed., vol. 57, 1, 1985, 39-45.
- [9] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie klasyfikacji wód i war. ..., Dz. U. nr 116, poz. 503 z 5 listopada 1991r.
- [10] Strutyński J.: Stawy rybne jako strefa buforowa w ochronie wód. Mat. Konf. pt. „Strategia rozwoju gospodarki wodnej”, Zakopane, 1995, 425-434.

- [11] Tucholski S., Niewolak S.: Stawy rybne jako III stopień oczyszczania w małej biologicznej oczyszczalni ścieków. *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, 246, 1994, 179-189.
- [12] Turoboyski L.: *Hydrobiologia techniczna*. PWN, Warszawa, 1979.

POLISHING OF WASTEWATER IN FISH PONDS

S u m m a r y

The paper presents design principles of wastewater - fed fish ponds according to surface loading of total nitrogen and faecal coliforms. On the basis of own data the empirical Reed's formula for calculating a concentration of total nitrogen at the outlet of pond was positively verified. Design criteria of wastewater - fed fish ponds for Polish conditions as well as elaboration of design guidelines are needed.

KEY WORDS: fish ponds, wastewater treatment nitrogen, coliform bacteria