

Oktawia PLIŻGA¹, Piotr WOŚ¹ i Grzegorz ŁAGÓD¹

BADANIA BIOINDYKACYJNE PEKTONU WYBRANYCH URZĄDZEŃ MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW „HAJDÓW”

BIOINDICATION RESEARCHES ON PECTON IN CHOSEN FACILITIES OF WASTEWATER TREATMENT PLANT “HAJDÓW”

Abstrakt: Na potrzeby kontroli procesu osadu czynnego, realizowanego w oczyszczalniach ścieków, wykorzystywać można wyniki analiz fizykochemicznych i/lub biologicznych. Badane parametry fizykochemiczne stanowią zawsze jedynie fragment charakterystyki oczyszczanych ścieków, natomiast organizmy zasiedlające urządzenia oczyszczalni reagują na wszystkie substancje zawarte w ściekach. Odnosi się to zarówno do organizmów osadu czynnego, jak i pektonu stanowiącego specyficzną błonę biologiczną występującą na powierzchniach urządzeń stykających się ze ściekami. Ponadto metody bioindykacyjne obejmują znaczny przedział czasu oddziaływania ścieków na organizmy żywe, podczas gdy analizy fizykochemiczne informują jedynie o sytuacji w chwili pobierania próbek. W bioindykacji informację na temat warunków procesowych panujących w poszczególnych urządzeniach oczyszczalni uzyskać można, stosując kilka powiązanych ze sobą indeksów i wskaźników biocenotycznych. Można także poszukiwać korelacji pomiędzy nimi a fizykochemicznymi wskaźnikami zanieczyszczeń. Prezentowana praca przedstawia wyniki badań bioindykacyjnych zgrupowań pektonu, prowadzonych w kolejnych urządzeniach ciągu technologicznego miejskiej oczyszczalni ścieków „Hajdów”. Obliczone indeksy i wskaźniki biocenotyczne zaprezentowane zostały na tle wybranych fizykochemicznych wskaźników zanieczyszczeń.

Słowa kluczowe: jakość ścieków, bioindykacja, osad czynny, błona biologiczna, pekton

Pekton jest zespołem mikroorganizmów w formie błony biologicznej, zasiedlającej powierzchnię ciał stałych zanurzonych w wodzie. W jego skład wchodzi: bakterie (*Bacteriophyta*), grzyby mikroskopowe (*Fungi*), glony (*Algae*), pierwotniaki (*Protozoa*) oraz zwierzęta wielokomórkowe (*Metazoa*) [1-6]. Mikroflora pektonu (bakterie i grzyby) rozkłada substancje organiczne na związki proste, natomiast mikrofauna (pierwotniaki, wrotki i nicienie), odżywiając się bakteriami i grzybami, reguluje ich liczebność w biocenozie [4, 6-10].

Zróznicowane zgrupowania pektonu zasiedlające urządzenia oczyszczalni wykazują zdolność wykorzystywania różnorodnych substratów i tym samym usuwania ich ze ścieków oraz zdolność przystosowywania się do zmieniających się warunków środowiskowych.

Powiązania pomiędzy zespołami organizmów błony biologicznej (pektonu) kształtują się podobnie jak w osadzie czynnym [1, 4, 7, 10, 11]. Biofilm charakteryzuje się jednak znaczną różnorodnością organizmów w poszczególnych ogniwach łańcucha pokarmowego heterotrofów.

Przemiany substratów w osiadłej biomacie pektonu przebiegają zarówno w warunkach tlenowych, niedotlenionych, jak i beztlenowych. Polegają one na utlenianiu oraz mineralizacji związków organicznych zawartych w ściekach przy udziale mikroorganizmów. Mikroorganizmy te zużywają związki zawarte w ściekach jako materiał energetyczny i budulcowy, dzięki temu następuje przyrost masy błony biologicznej.

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 81 538 43 22, email: G.Lagod@wis.pol.lublin.pl

Metoda bioindykacji na podstawie występowania w pektonie przedstawicieli konkretnych gatunków nie daje informacji w możliwie krótkim czasie na temat funkcjonowania poszczególnych elementów oczyszczalni ścieków. Dzieje się tak ze względu na potrzebną dużą liczbę specjalistów, którzy mogliby zidentyfikować i przyporządkować do gatunku każdego osobnika. Dlatego też w tej pracy, korzystając z najnowszych trendów w badaniach na świecie [12], posłużono się grupami morfologiczno-funkcjonalnymi [10, 13-16]. Podstawowym kryterium wyznaczenia tych grup była szybkość oraz łatwość identyfikacji osobników, osiągnięta przez osobę identyfikującą po podstawowym przygotowaniu i przeszkoleniu. Należy podkreślić, że identyfikacja mikroorganizmów do gatunków nawet dla specjalisty może być dość czasochłonnym zadaniem.

W tej pracy starano się ustalić i sprawdzić, czy istnieją ewentualne związki pomiędzy parametrami technologicznymi oczyszczalni bądź wskaźnikami zanieczyszczeń a występowaniem wyodrębnionych grup morfologiczno-funkcjonalnych.

Materiał i metody

Materiałem badań były próbki pektonu pobierane z 11 stanowisk zlokalizowanych w oczyszczalni ścieków „Hajdów”. Były to następujące punkty pobierania: I. wlot do komory przed kratami, II. wylot z komory za kratami, III. wlot do komory przed piaskownikiem, IV. wylot z komory za piaskownikiem, V. wylot za osadnikiem wstępnym, VI. wlot do komory beztlenowej bioreaktora, VII. wlot do komory niedotlenionej, VIII. wlot do komory tlenowej bioreaktora, IX. wylot z komory tlenowej bioreaktora, X. wylot za osadnikiem wtórnym, XI. wylot do rzeki Bystrzycy.

Miejsca pobrania próbek oznaczone cyframi rzymskimi oraz liczebności poszczególnych grup morfologiczno-funkcjonalnych oznaczonych cyframi arabskimi przedstawiono w tabeli 1. Pobranie serii próbek miało miejsce 26.07.2006 roku (godz. 9.00). Badania wykonywane były w środę ze względu na możliwość uzyskania od dyrekcji oczyszczalni wartości parametrów technologicznych, które w tym dniu były standardowo kontrolowane.

Pobrane próbki pektonu umieszczano w butelkach, a następnie zalewano do około 1/3 objętości zdekantowanymi ściekami pochodzącymi z miejsca pobrania próbek. Po przeniesieniu do laboratorium próbki poddawane były analizie mikroskopowej oraz były archiwizowane. Preparaty analizowane były za pomocą standardowego mikroskopu optycznego na światło przechodzące w jasnym polu widzenia o powiększeniu 250 oraz 400x. Badania obejmowały wykonanie z każdej próbki preparatu, gdzie każdorazowo, w co najmniej 10 polach widzenia wykonywano po dwa zdjęcia oraz jeden 10-sekundowy film. W analizowanych polach widzenia identyfikowano mikroorganizmy, przypisując je do wyodrębnionych grup morfologiczno-strukturalnych. Wykonywane w tym samym czasie zdjęcia i sekwencje wideo umożliwiają powtórny weryfikację wyników zliczeń bądź też powtórne analizy w przypadku rozszerzenia lub wprowadzenia zmian w obranych grupach m-f.

Na podstawie zliczonych organizmów obliczono wskaźniki i indeksy biocenotyczne [14, 16, 17]. Były to kolejno:

Względna liczebność (obfitość) i-tej grupy morfologiczno-funkcjonalnej:

$$\Pi_i = \frac{n_i}{n_T} \quad (1)$$

gdzie: Π_i - udziały frakcyjne osobników zliczanych w grupach, n_i - liczba poszczególnych osobników w grupie morfologiczno-funkcjonalnej, n_T - suma osobników we wszystkich grupach morfologiczno-funkcjonalnych.

Indeks Shannona:

$$H = -\sum_{i=1}^{S^*} \Pi_i \log_2 \Pi_i \quad (2)$$

gdzie: H - indeks bioróżnorodności obliczony na podstawie grup morfologiczno-funkcjonalnych, S^* - liczba grup morfologiczno-funkcjonalnych.

Indeks równości:

$$V = \frac{H}{H_{\max}} \quad (3)$$

gdzie: V - indeks równości, H_{\max} - wartość, którą indeks Shannona przyjąłby, gdyby wszystkie grupy morfologiczno-funkcjonalne miały taką samą liczbę osobników.

Wartość H_{\max} :

$$H_{\max} = \log_2 S^* \quad (4)$$

Wskaźnik MacArthura:

$$E = z^H \quad (5)$$

gdzie: E - wskaźnik sprawiedliwości MacArthura, z - podstawa użytego logarytmu (w prezentowanej pracy logarytmu dwójkowego).

Wskaźnik proporcjonalności:

$$P = \frac{E}{S^*} \cdot 100 \quad (6)$$

gdzie P - wskaźnik proporcjonalności.

W celu ułatwienia analizy uzyskanych wyników wykonano wizualizację graficzną w postaci wykresów radarowych. Pozwala ona na prostsze w interpretacji porównanie zmian w czasie wskaźników zanieczyszczeń oraz indeksów biocenotycznych mierzonych w tym samym obiekcie. Umożliwia także śledzenie zmian tych wskaźników i indeksów w różnych obiektach oczyszczalni. Z uwagi na wygodę prezentowania wskaźnika proporcjonalności (P) na wykresie radarowym (rys. 1) pominięto mnożenie członu E/S^* przez współczynnik 100. Wartości wskaźników zanieczyszczeń przed umieszczeniem na wykresach radarowych zostały przeskalowane (\log_2) w celu uzyskania łatwiejszego porównania ze wskaźnikami i indeksami biocenotycznymi.

Wyniki i ich omówienie

Uzyskane wyniki badań przedstawiono w tabelach 1-3 oraz na rysunku 1. Dane zamieszczone w tabeli 1 opisują ilościowe rozmieszczenie mikroorganizmów w poszczególnych urządzeniach ciągu technologicznego oraz obrazują tendencje w zmianach liczebności występujących grup morfologiczno-funkcjonalnych w zależności

od urządzenia. Dane te wskazują, iż wiciowce dominowały w urządzeniach części mechanicznej oczyszczalni, natomiast okrzemki były dominantami w próbach pektonu pochodzącego z urządzeń części biologicznej oczyszczalni oraz kanału odprowadzającego oczyszczone ścieki do odbiornika.

Tabela 1
Liczebność grup morfologiczno-funkcjonalnych dla kolejnych punktów pobierania zlokalizowanych w urządzeniach oczyszczalni ścieków „Hajdów”

Table 1
Abundances of morphological-functional groups in particular facilities of the “Hajdów” WWTP

Punkt pobrania	Liczebność organizmów w obrębie grup morfologiczno-funkcjonalnych									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I				88			6	1		2
II				65		4				
III				43		2				
IV			2	65	3		2	1	3	
V			49	93				59		64
VI	3		6	38	6		3			4
VII	2		11	18	12		2	34		93
VIII	3		2		6		2	3		189
IX	6	1	1		10	1	4	1		36
X			54					154		178
XI			2		2	1	1	28		297

Grupy morfologiczno-funkcjonalne: 1. Orzęski osiadłe, 2. Orzęski pływające, 3. Orzęski pływające, 4. Wiciowce, 5. Korzenionózki, 6. Nicienie, 7. Wrotki, 8. Zielenice, 9. Grzyby, 10. Okrzemki.

Tabela 2 przedstawia wartości indeksów i wskaźników biocenotycznych opracowywanych na podstawie tabeli 1. Są to kolejno: indeks Shannona (H), wartość, którą indeks Shannona przyjąłby, gdyby wszystkie grupy morfologiczno-funkcyjne miały taką samą liczbę osobników (H_{max}), indeks równomierności (V), wskaźnik MacArthura (E), wskaźnik proporcjonalności (P) i liczba grup morfologiczno-funkcjonalnych (S^*).

Tabela 2
Wartości indeksów i wskaźników biocenotycznych obliczone dla próbek pektonu na podstawie liczebności grup m-f

Table 2
Values of biocenotic indices developed on abundance of pecton m-f group

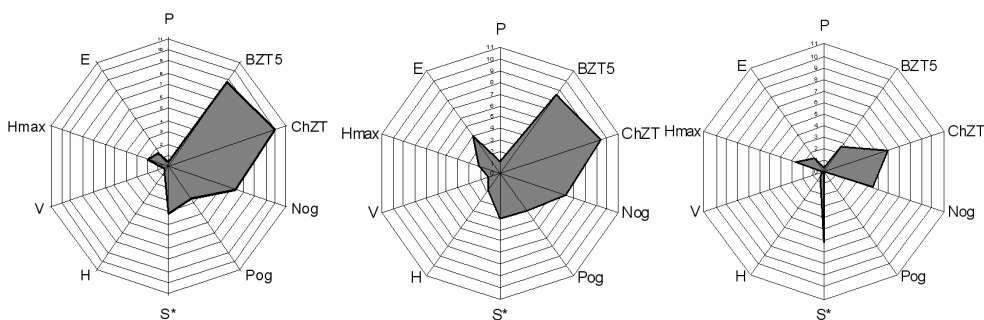
Punkt pobrania	Indeksy i wskaźniki biocenotyczne					
	H	H_{max}	V	E	P	S^*
I	0,559	2,000	0,280	1,474	0,368	4
II	0,319	1,000	0,319	1,248	0,624	2
III	0,262	1,000	0,262	1,199	0,600	2
IV	0,919	2,585	0,356	1,891	0,315	6
V	1,958	2,000	0,979	3,885	0,971	4
VI	1,774	2,585	0,686	3,421	0,570	6
VII	1,954	2,807	0,696	3,874	0,553	7
VIII	0,566	2,585	0,219	1,480	0,247	6
IX	1,859	3,000	0,620	3,629	0,454	8
X	1,441	1,585	0,909	2,715	0,905	3
XI	0,581	2,585	0,225	1,496	0,249	6

Wskaźniki zanieczyszczeń i ich przeskalowane wartości

Tabela 3

Table 3

Pollution indicators and their calculated values			
Punkt pobrania	Wskaźniki	Wartość wskaźnika	Wartość przeskalowana
I	BZT ₅ [g m ⁻³]	470	8,877
	ChZT [g m ⁻³]	1020	9,994
	N _{og.} [g m ⁻³]	75,07	6,230
	P _{og.} [g m ⁻³]	11,5	3,524
V	BZT ₅ [g m ⁻³]	367	8,520
	ChZT [g m ⁻³]	699	9,449
	N _{og.} [g m ⁻³]	75,64	6,241
	P _{og.} [g m ⁻³]	14,5	3,858
XI	BZT ₅ [g m ⁻³]	11	3,459
	ChZT [g m ⁻³]	108	6,755
	N _{og.} [g m ⁻³]	25,64	4,680
	P _{og.} [g m ⁻³]	2,71	1,438



Rys. 1. Wskaźniki zanieczyszczeń oraz wskaźniki i indeksy biocenotyczne obliczone dla I, V, oraz XI stanowiska przedstawione w postaci wykresu radarowego

Fig. 1. Pollution indicators and biocenotic indices measured for I, V and XI place of sampling, presented as a radar graph

Zestawienie wartości wskaźników biocenotycznych (tab. 2, rys. 1) oraz wskaźników zanieczyszczeń (tab. 3, rys. 1) pozwala stwierdzić, że na początku ciągu technologicznego (część mechaniczna), gdzie wskaźniki BZT₅, ChZT, N_{og.}, P_{og.} przyjmują duże wartości, bogactwo grup morfologiczno-funkcjonalnych S* (tab. 2) jest nieduże, gdyż wynosi od 2 do 6. Wzdłuż ciągu technologicznego następuje oczyszczenie ścieków i obniżenie poziomu wskaźników zanieczyszczeń (tab. 3), co ma odzwierciedlenie w wartości S*, która w komorach bioreakcji przyjmuje wartości od 6 do 8 grup.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie badań prowadzonych na obiektach ciągu technologicznego oczyszczalni ścieków „Hajdów” w dniu 26.07.06 r. można sformułować następujące wnioski:

- Badany materiał biologiczny (pekton) pozwala na wyróżnienie w swoim składzie dziesięciu grup morfologiczno-funkcjonalnych możliwych do identyfikacji już po podstawowym przeszkoleniu.

- W badanym materiale stwierdzono jednoczesne występowanie od dwóch do ośmiu z dziesięciu wyróżnionych grup morfologiczno-funkcjonalnych. Najwięcej stwierdzono ich w komorach bioreakcji. Najmniej na wlocie do oczyszczalni i w piaskowniku.
- W ciągu technologicznym oczyszczania ścieków można wyróżnić swoistego rodzaju strefy, które charakteryzują się odpowiednimi wartościami wskaźników i indeksów biocenotycznych oraz parametrów technologicznych.
- Biomonitoring wykorzystujący mikroskopową analizę pektonu pozwala dostrzec zmiany zachodzące w procesie oczyszczania ścieków bez konieczności podziału identyfikowanych organizmów na gatunki, co stanowi dużą oszczędność czasu.
- Charakterystyka zmian parametrów ścieków, wykorzystująca metodę bioindykacji za pomocą pektonu, nie zawsze jest zgodna z charakterystyką analizy fizykochemicznej ścieków w pełnej skali technicznej. Dzieje się tak ze względu na dużą zmienność parametrów technologicznych i wskaźników zanieczyszczeń w czasie, zaś w oczyszczalni badania fizykochemiczne wykonywane są jako średniodobowe.

Literatura

- [1] Eikelboom D.H. i van Buijsen H.J.J.: *Microscopic Sludge Investigation Manual*, 2nd edition. TNO Research Institute for Environmental Hygiene, Delft 1983.
- [2] Klimowicz H.: *Znaczenie mikrofauny przy oczyszczaniu ścieków osadem czynnym*. Zakł. Wyd. Instytutu Kształtowania Środowiska, Warszawa 1983.
- [3] Salvado H., Garcia M.P. i Amigo J.M.: *Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants*. *Water Res.*, 1995, **29**, 1041-1050.
- [4] Buck H.: *Mikroorganizmy w osadzie czynnym*. Seidel-Przywiecki, Szczecin 1999.
- [5] Eikelboom D.H.: *Process Control of Activated Sludge Plants by Microscopic Investigation*. IWA Publishing, London 2000.
- [6] Bitton G.: *Wastewater microbiology*. John Wiley & Sons Inc, Hoboken, New Jersey 2005.
- [7] Hartmann L.: *Biologiczne oczyszczanie ścieków*. Wyd. Instalator Polski, Warszawa 1996.
- [8] Allan J.D.: *Ekologia wód płynących*. WN PWN, Warszawa 1998.
- [9] Evans G.M. i Furlong J.C.: *Environmental Biotechnology*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester 2003.
- [10] Łagód G., Jaromin K., Kopertowska A., Pliżga O., Lefanowicz A. i Woś P.: *Bioindicative studies of pecton in selected facilities of the Hajdów Wastewater Treatment Plant - a case study*. [In:] *Environment Engineering III*, L. Pawłowski, M. Dudzińska i A. Pawłowki (eds.). CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London 2010, 455-461.
- [11] Kańska Z., Grabińska-Loniewska A., Lębkowska M. i Rzechowska E.: *Ćwiczenia laboratoryjne z biologii sanitarnej - część II*. Oficyna Wyd. Polit. Warszawskiej, Warszawa 2001.
- [12] Oliver I. i Beattie A.J.: *A possible method for the rapid assessment of biodiversity*. *Conserv. Biol.*, 1993, **7**, 562-568.
- [13] Łagód G., Malicki J., Chomczyńska M. i Montusiewicz A.: *Interpretation of the results of wastewater quality biomonitoring using saprobes*. *Environ. Eng. Sci.*, 2007, **24**(7), 873-879.
- [14] Montusiewicz A., Malicki J., Łagód G. i Chomczyńska M.: *Estimating the Efficiency of Wastewater Treatment in Activated Sludge Systems by Biomonitoring*. *Environ. Eng.*, Taylor & Francis Group, London 2007, 47-54.
- [15] Łagód G. i Sobczuk H.: *The number and size of samples required to measure the saprobe population at various pollutant concentrations in sewage*. *Arch. Environ. Protect.*, 2008, **34**(3), 281-285.
- [16] Chomczyńska M., Montusiewicz A., Malicki J. i Łagód G.: *Application of saprobes for bioindication of wastewater quality*. *Environ. Eng. Sci.*, 2009, **26**(2), 289-295.
- [17] Łagód G., Chomczyńska M., Malicki J. i Montusiewicz A.: *Quantitative methods of description, estimation and comparison of microorganism communities in urban sewer systems*. *Ecol. Chem. Eng.*, 2006, **13**(3-4), 255-263.

BIOINDICATION RESEARCHES ON PECTON IN CHOSEN FACILITIES OF WASTEWATER TREATMENT PLANT “HAJDÓW”

Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology

Abstract: For the activated sludge process control in wastewater treatment plants, the results of physical-chemical and biological analyses may be used. The physical-chemical parameters describe only partial characteristics of the purified sewage, while the organisms settling inside plant facilities generally respond to the whole spectrum of substances present in sewage. It is true for activated sludge as well as for pecton which is a specific biofilm covering the surfaces of all technological devices being in contact with the sewage. Moreover bioindicative methods cover the considerable time period of sewage influences on the living organisms of process factor, when the physical-chemical analyses inform only about the current situation, existing in the moment of sampling. In bioindication, quite complete information pertaining to the process conditions may be acquired by the application of several mutually connected biotic indices. Correlations between these indices and physical-chemical indicators of contamination may also be sought for. The paper present the results of the above-mentioned bioindicative measurements performed on the pecton of subsequent facilities of the technological line at the “Hajdów” municipal wastewater treatment plant, Lublin, Poland. The calculated indicators and biotic indices have been presented on the background of physical-chemical indicators.

Keywords: wastewater quality, bioindication, activated sewage sludge, biofilm, pecton