

WYKORZYSTANIE MIKROFAUNY SAPROBIONTÓW DO BIOINDYKACJI JAKOŚCI ŚCIEKÓW W SYSTEMACH KANALIZACYJNYCH

GRZEGORZ ŁAGÓD, JACEK MALICKI, AGNIESZKA MONTUSIEWICZ,
MARIOLA CHOMCZYŃSKA

Politechnika Lubelska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin

Keywords: sewage system, bioindication, saprobes system, biodiversity, self-purification in the sewage systems.

APPLICATION OF SAPROBIONTS FOR BIOINDICATION OF WASTEWATER QUALITY IN SEWAGE SYSTEMS

There is a need for quality control of wastewater introduced into drainage systems. Physical and chemical analyses of wastewater inform only about the situation existing at the moment of sampling. The analysis based on bioindication methods allows to evaluate the existing state before sampling and so to recognize a drop of excessive loads or harmful substances for activated sludge. This refers to the moment preceding the sample taking at least by the generation time of the species with the lowest reproduction rate. For these reasons, the possibility of using microfauna representatives (feeding on organic pollutions) for bioindication was evaluated. The estimation was made of the usefulness of indicator species from the Kolkwitz-Marsson system, the Shannon-Wiener index based on species abundance and the latter based on abundances of morphological-functional organism groups. The study results showed that the Shannon-Wiener index calculated for morphological-functional groups (easiest to determine) was accurate enough for bioindication.

Streszczenie

Niekiedy zachodzi potrzeba kontroli jakości ścieków wprowadzanych do systemów kanalizacyjnych. Wyniki analiz fizyko-chemicznych odzwierciedlają wyłącznie sytuację istniejącą w momencie poboru prób ściekowych. Natomiast wnioskowanie oparte o metody bioindykacyjne umożliwia ocenę stanu przed pobraniem prób, a tym samym wykrycie zrzutów nadmiernych ładunków lub substancji szkodliwych dla osadu czynnego, w momencie poprzedzającym pobranie prób przynajmniej o czas generacji gatunku o najniższym tempie rozmnażania.

W pracy przeanalizowano możliwości użycia dla potrzeb bioindykacji przedstawicieli mikrofauny zasiedlającej systemy kanalizacyjne i wykorzystującej ścieki jako źródło pokarmu. Ocenie poddano przydatność:

- 1) gatunków wskaźnikowych z systemu saprobów Kolkwitza-Marssona (K-M),
- 2) indeksu Shannona-Wienera (S-W) obliczonego w oparciu o liczebności gatunków – H,
- 3) indeksu Shannona-Wienera obliczonego w oparciu o liczebności grup morfologiczno-funkcjonalnych – H'.

Uzyskane wyniki badań wykazały, że indeks Shannona-Wienera oparty o grupy morfologiczno-funkcjonalne (najłatwiejszy do obliczenia), jest wystarczająco dokładny dla potrzeb bioindykacji.

WSTĘP

Skład gatunkowy osadu czynnego (lub błony biologicznej) wynika z selekcji (inhibicji i stymulacji) gatunków dopływających ze ściekami, wprowadzanych z powietrzem, powracających z recyrkulowanym osadem lub fragmentami błony biologicznej oraz wnoszonych do układu przez ptaki i owady [10]. Przedstawiciele tych gatunków obecni w komorach napowietrzania czy zasiedlający powierzchnię wypełnienia złóż, tworzą mniej lub bardziej skomplikowane zbiorowiska osobników, żywiących się substratami pochodzącymi ze ścieków lub biomasą wytworzoną w wyniku zużycia tych substratów. Tworzą także zbiorowiska saprobiontów i saprofilii w systemach kanalizacyjnych [2, 7].

Czynniki zakłócające funkcjonowanie mikroorganizmów osadu czynnego, oddziałują również negatywnie na zbiorowiska organizmów zasiedlających systemy kanalizacyjne. Analogicznie, ścieki szkodliwe dla mikroorganizmów zasiedlających kanalizację, szkodzą osadowi czynnemu i błonie biologicznej.

Niekiedy zachodzi potrzeba kontroli jakości ścieków wprowadzanych do kanalizacji, szczególnie w przypadku niekorzystnych zjawisk zachodzących w urządzeniach części biologicznej oczyszczalni, będących skutkiem zrzutów nadmiernych ładunków lub substancji toksycznych. Efektem takich kontroli jest możliwość weryfikacji informacji o użytkownikach sieci kanalizacyjnej, a szczególnie informacji o dotrzymywaniu przez nich umów dotyczących warunków określających parametry odprowadzanych ścieków. Wyniki wykonywanych rutynowo analiz fizyko-chemicznych odzwierciedlają wyłącznie sytuację chwilową – istniejącą w kolektorze kanalizacyjnym w czasie pobrania prób ściekowych [6]. Uzyskanie informacji o sytuacji wcześniejszej – w momencie poprzedzającym pobranie prób przynajmniej o czas generacji gatunków wskaźnikowych – możliwe jest w oparciu o metody bioindykacyjne [5].

Systemy kanalizacyjne zasiedlane są przez zgrupowania organizmów saprobiotycznych i saprofilnych [2, 7]. W związku z powyższym można oczekiwać, że zbiorowiska tych organizmów dadzą się wykorzystać dla potrzeb bioindykacji.

W literaturze spotyka się prace dotyczące oceny czystości zbiorników wodnych w oparciu o bioindykację. Stosowane podejścia stanowią bądź to rozwinięcie koncepcji Kolkwita-Marssona [11], bądź wykorzystanie indeksów bioróżnorodności [8] czy też różnych indeksów opartych o taksony w randze powyżej gatunku [5, 11].

Celem niniejszej pracy jest porównanie przydatności metod opartych na bioindykacji do wnioskowania o warunkach bytowania zbiorowisk saprobiontów i saprofilii osadu czynnego, a w konsekwencji – również zbiorowisk organizmów zasiedlających systemy kanalizacyjne.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem wykorzystanym w niniejszym opracowaniu są dane opublikowane w pracy Henryka Klimowicza „Znaczenie mikrofauny przy oczyszczaniu ścieków osadem czynnym” wydanej przez Instytut Kształtowania Środowiska w 1977 roku [4]. Publikacja ta zawiera

zestawienie organizmów osadu czynnego z podaniem przynależności gatunkowej (190 gatunków), liczebności (w granicach 5–10, 10–100, 100–1000, ponad 1000 osobników w 1 cm³) w wyróżnionych stopniach oczyszczania ścieków (uzależnionych od zawartości BZT₅ w przedziałach 0–10, 11–20, 21–30, ponad 30 g/m³), oraz miejsca w systemie Kolkwiza-Marssona (74 gatunki). Na podstawie powyższych danych, dla poszczególnych stopni oczyszczania ścieków obliczono: wskaźnik bogactwa gatunkowego Δ_{sr} , indeks saprobowości S, indeks bioróżnorodności Shannona-Wienera H oraz ten sam indeks H*, obliczony w oparciu o następujące grupy morfologiczno-funkcjonalne:

- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| 1. orzęski wolno pływające, | 8. skąposzczety, |
| 2. orzęski osiadłe, | 9. niesporczaki, |
| 3. orzęski pełzające, | 10. brzuchorzęski, |
| 4. wrotki, | 11. pajęczaki, |
| 5. ameby, | 12. widłonogi, |
| 6. wiciowce, | 13. wioślarki, |
| 7. nicienie, | 14. wirki. |

Wskaźnik bogactwa gatunkowego Δ_{sr} określono poprzez proste zsumowanie poszczególnych gatunków mikrofauny [1]. Indeks saprobowości S obliczono jako średnią ważoną według zmodyfikowanej metody Pantlego i Bucka [3]:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot s_i}{\sum_{i=1}^n k_i}$$

gdzie: S – wskaźnik saprobowości; n – liczba gatunków k_i – liczba osobników gatunku „i”; s_i – charakterystyka gatunku (średnia ważona) systemu saprobów (x, o, βm , αm , p); x = 0–1; o = 1–2; βm = 2–2,5; αm = 2,5–3; p = 3–4.

Indeks Shannona-Wienera H i H* wyznaczono na podstawie równania [1, 9]:

$$H = -\sum_{i=1}^n \Pi_i \lg_2 \Pi_i$$

gdzie: H – indeks Shannona-Wienera (S-W); n – liczba gatunków; Π_i – względna liczebność gatunku „i” w zakresie od 0 do 1.

Do obliczeń wartości indeksu saprobowości S oraz indeksu Shannona-Wienera H i H*, z podanych przez Klimowicza przedziałów liczebności gatunków, przyjęto następujące liczby osobników [4]:

- przedział 5–10 osobników w cm³ – przyjęto 7;
- przedział 10–100 osobników w cm³ – przyjęto 50;
- przedział 100–1000 osobników w cm³ – przyjęto 500;
- przedział ponad 1000 osobników w cm³ – przyjęto 1100.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Uzyskane wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 1–4 i na rysunku 1. W tabeli 1 zamieszczono liczebność mikrofauny w wyróżnionych stopniach oczyszczania ścieków, oraz liczby gatunków wskaźnikowych z systemu Kolkwitza-Marrsona. Jak wynika z obliczeń, w przedziale 0–10 g BZT₅/m³ stwierdzono występowanie 152 gatunków, z czego 59 to gatunki zaliczane do systemu saprobów. W przedziale wartości BZT₅ 11–20 g/m³ wystąpiło 146 gatunków (co stanowiło 96% w stosunku do poprzedniego przedziału) w tym 64 z systemu Kolkwitza-Marrsona. Przy wzroście wartości BZT₅ do poziomu 21–30 g/m³ stwierdzono obecność 125 gatunków w tym 61 wskaźnikowych, a w ostatnim wyróżnionym przedziale wartości BZT₅ (>30 g/m³) zaobserwowano 95 gatunków w tym 47 wskaźnikowych.

Uwzględniając powyższe prawidłowości i przyjmując całkowitą liczbę gatunków za wskaźnik bioróżnorodności można wnioskować, że wraz ze spadkiem stopnia oczyszczania ścieków zmniejsza się bogactwo gatunkowe zbiorowisk saprobiontów i saprofilii. (Spadek liczby gatunków związany z gorszą jakością oczyszczanych ścieków wynika prawdopodobnie ze zmian wieku osadu, a nie ze zmian stężenia BZT₅ w układzie).

Tabela 1. Liczby gatunków mikrofauny w wyróżnionych stopniach oczyszczania ścieków
Numbers of microfauna species in specified sections of purified sewage

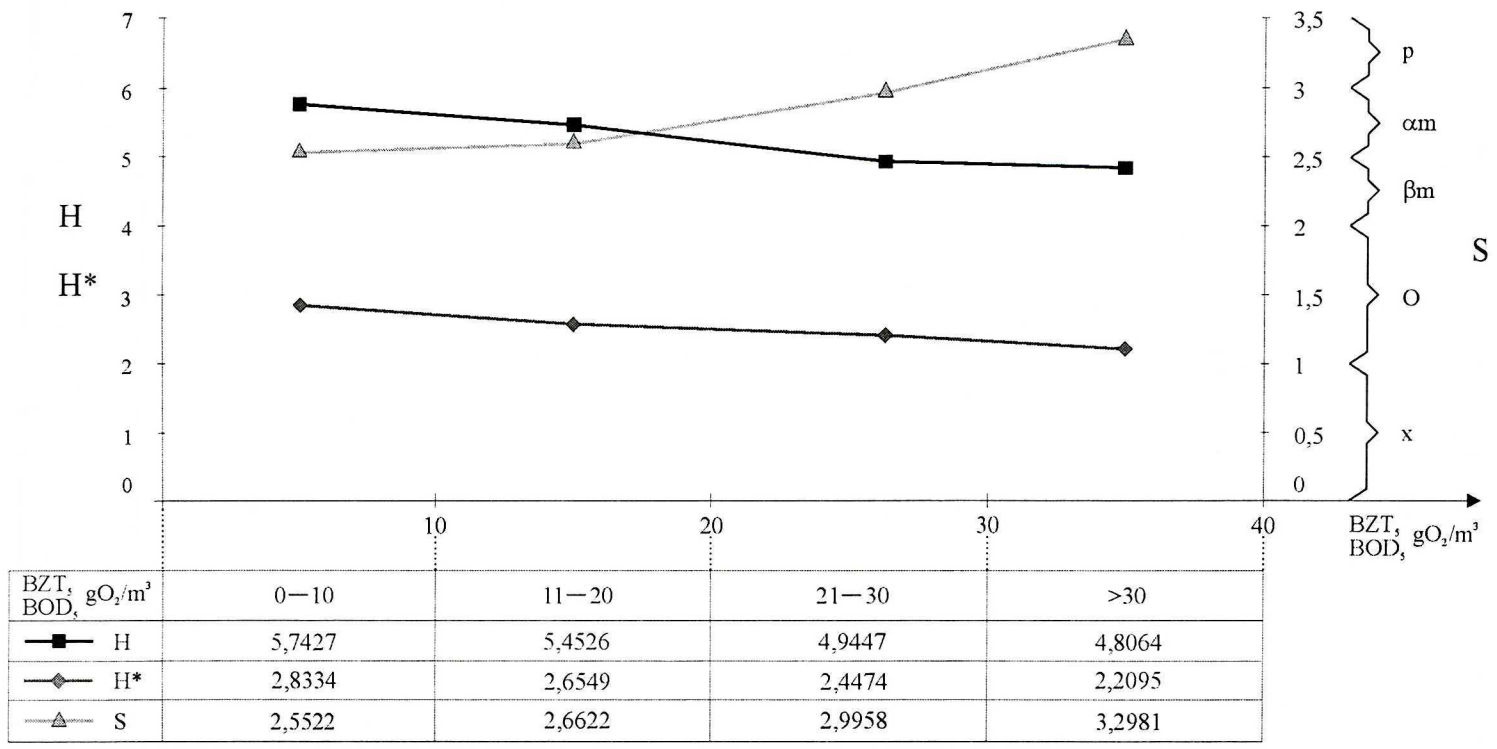
BZT ₅ BOD ₅	0–10 g/m ³	11–20 g/m ³	21–30 g/m ³	>30 g/m ³
Organizmy Organisms				
Orzęski Ciliates	76 (31)	68 (32)	56 (26)	37 (18)
Wrotki Rotifers	45 (16)	40 (16)	35 (16)	24 (11)
Wiciowce Flagellates	13 (5)	15 (9)	19 (12)	26 (14)
Ameby Amoebae	14 (7)	14 (7)	14 (7)	7 (4)
Inne Others	8 (0)	9 (0)	1 (0)	1 (0)
Wszystkie All	152 (59)	146 (64)	125 (61)	95 (47)
Zmiany w % Changes [%]	100 (100)	96 (108)	82 (103)	62 (79)
Sumarycznie Sum	190 (74)	co stanowi 38,95%		

W nawiasach podano liczby gatunków z systemu Kolkwitza-Marssona
Numbers of species from Kolkwitz-Marsson system are presented in brackets

W tabeli 2 przedstawiono wartości wskaźnika saprobowości S, w wyróżnionych stopniach oczyszczania ścieków. Wskaźnik ten policzono osobno dla orzęsków, wrotków, wiciowców i pełzaków oraz dla wszystkich wymienionych przez Klimowicza 74 gatunków wskaźnikowych. Okazało się, że jeśli pod uwagę wzięto jedynie orzęski to wartość wskaźnika sukcesywnie rosła od 2,337 do 2,531. Tak więc stopnie oczyszczania ścieków o przypisanej wartości BZT₅ 0–10 i 11–20 g/m³ mieściły się w strefie β-mezosaprobii, a stopnie oczyszczania o BZT₅ z zakresu 2–30 oraz >30 g/m³ w strefie α-mezosaprobii. Jeżeli wskaźnik saprobowości obliczano dla wrotków, w strefie β-mezosaprobii mieścił się stopień oczyszczania o BZT₅ z zakresu 0–10 g/m³, a pozostałe znajdowały się w przedziale α-mezosaprobii. Obliczenie wskaźnika tylko dla wiciowców, podobnie jak i dla ameb, kwalifikowało wszystkie stopnie do przedziału polisaprobii. Przeprowadzenie obliczeń dla wszystkich zamieszczonych w opracowaniu gatunków z systemu Kolkwitza-Marssona kwalifikowało ścieki oczyszczone o zawartości BZT₅ od 0 do 30 g/m³ do przedziału α-mezosaprobii, a zawierające więcej niż 30 g BZT₅/m³ do przedziału polisaprobii, z tym, że wartość wskaźnika sukcesywnie rosła wraz ze spadkiem stopnia oczyszczania ścieków (co obrazują dwa ostatnie wiersze tabeli 2 oraz rysunek 1).

Tabela 2. Wskaźniki saprobowości S, w wyróżnionych stopniach oczyszczania ścieków
Saprophytic indices S in specified sections of purified sewage

Organizmy Organisms	BZT ₅ BOD ₅	0–10 g/m ³	11–20 g/m ³	21–30 g/m ³	>30 g/m ³
Orzęski Ciliates		2,3375	2,3779	2,5302	2,531
Wrotki Rotifers		2,1919	2,7539	2,635	2,8151
Wiciowce Flagellates		3,6259	3,6779	3,7543	3,714
Ameby Amoebae		3,2362	3,2278	3,3613	3,2909
Wszystkie All		2,5522	2,6622	2,9958	3,2981
Zmiany w % Changes [%]		100	104,3	117,4	129,2



Rys. 1. Zmiany wartości wskaźnika S, indeksu H i H* w wyróżnionych przedziałach BZT₅,
Changes of S, H and H* index values in specified sections of BOD₅ values

W tabeli 3 zawarto wyniki obliczeń wartości indeksu bioróżnorodności H. Indeks wyznaczono dla orzęsków (wolnopływających, osiadłych i pełzających), wrotków, ameb, wiciowców i innych grup organizmów wymienionych w opracowaniu Klimowicza. Jak wskazują dane, wartość tego indeksu była różna dla różnych grup taksonomicznych i ponadto nie zawsze zmieniała się w tym samym kierunku. Wartości policzone przy uwzględnieniu wszystkich gatunków zmniejszały się sukcesywnie od 5,7427 do 4,8064 wraz ze spadkiem stopnia oczyszczania ścieków (co ilustrują dwa ostatnie wiersze tabeli 3 oraz rysunek 1). Podobną tendencję można zauważyć w przypadku sumy orzęsków (4 wiersz) i pełzaków (7 wiersz tabeli 3). Natomiast dla wrotków i dla wiciowców obliczone wartości indeksu zmieniały się różnie wraz ze spadkiem stopnia oczyszczania ścieków (5 i 6 wiersz tabeli 3).

Tabela 3. Wartości indeksu Shannona-Wienera H, w wyróżnionych stopniach oczyszczania ścieków
Values of Shannon-Wiener index H in specified sections of purified sewage

Organizmy Organisms	BZT ₅ BOD ₅	0–10 g/m ³	11–20 g/m ³	21–30 g/m ³	>30 g/m ³
Orzęski w Ciliates f		3,1695	2,543	1,963	1,4755
Orzęski o Ciliates s		3,5538	3,3403	2,9636	2,05
Orzęski p Ciliates c		1,1387	1,3217	0,5689	0,1636
Orzęski suma Ciliatessum		4,425	4,1973	3,7144	2,3512
Wrotki Rotifers		3,6845	3,591	4,4753	2,8697
Wiciowce Flagellates		2,8153	2,8835	2,8331	3,4239
Ameby Amoebae		2,9256	2,8446	2,7243	2,5382
Inne Others		2,9133	1,0972	0	0
Wszystkie All		5,7427	5,4526	4,9447	4,8064
Zmiany w % Changes [%]		100	94,9	86,1	83,7

Orzęski: w – wolnopływające, o – osiadłe, p – pełzające;
Ciliates: f – free-flowing, s – sessile, c – crawling

W tabeli 4 przedstawiono wartości indeksu H* obliczone w oparciu nie o liczebności gatunków, lecz o liczebności grup morfologiczno-funkcjonalnych. Okazało się, że wartości tak wyznaczanego indeksu sukcesywnie malały wraz ze spadkiem stopnia oczyszczania

ścieków i zmieniały się zgodnie z tendencją obserwowaną dla obliczonych wcześniej wskaźników (co przedstawiają tabele od 1 do 3 oraz rysunek 1). Uzyskanie wartości indeksu H^* , obliczonego w oparciu o liczebności grup morfologiczno-funkcjonalnych, jest znacznie łatwiejsze niż dla pozostałych wskaźników przedstawionych w niniejszej pracy. W przypadku indeksu H^* nie ma potrzeby oznaczania osobników do gatunku – co jest konieczne dla obliczenia wartości bogactwa gatunkowego, wskaźnika saprobowości i klasycznego indeksu bioróżnorodności. Wystarczy umiejętność rozróżniania osobników na poziomie rzędu i wyższych jednostek taksonomicznych, podobnie jak w przypadku różnych indeksów stosowanych w państwach Unii Europejskiej.

Tabela 4. Wartości indeksu Shannona-Wienera H^* , w wyróżnionych stopniach oczyszczania ścieków
Values of Shannon-Wiener index H^* in specified sections of purified sewage

Indeks H^* Index H^*	BZT ₅ BOD ₅ 0–10 g/m ³	11–20 g/m ³	21–30 g/m ³	>30 g/m ³
Wartość H^* Value H^*	2,8334	2,6549	2,4474	2,2095
Zmiany w % Changes [%]	100	93	85,7	77,4

PODSUMOWANIE

Bioindykacja może opierać się o: gatunki wskaźnikowe, kombinacje tych gatunków, albo też o charakterystykę struktury zbiorowisk żywych organizmów. Dla jej potrzeb używać można przedstawicieli gatunków stenotopowych (o wąskich przedziałach badanego czynnika środowiskowego). Jeżeli stenotopowy bioindykator miałby być uniwersalnie przydatny, powinien być ubikwistyczny (wszędobylski). Inaczej może mieć znaczenie jedynie lokalne. Niestety większość gatunków jest raczej eurytopowa, a w bioindykacji najlepiej sprawdzają się gatunki endemiczne – lokalne (np. brzoza ojcowska czy urdzik karpacki wskazują, że jest się w dolinie Prądnika lub w Karpatach). Z wymienionych powodów poszukuje się metod bioindykacyjnych, opartych nie o gatunki, a zbiorowiska gatunków. Z takimi metodami spotkać się można w ocenie saprobii zbiorników wodnych. Ocena stopnia samooczyszczania się zbiornika może być mierzona z dowolną dokładnością metodą Pantlego i Bucka, pod warunkiem wszakże, że zidentyfikowane zostaną i policzone wszystkie osobniki z systemu saprobów. Teoretycznie jest to możliwe, w praktyce jeśli ma być zrobione rzetelnie wymaga, albo wielu specjalistów od wielu grup taksonomicznych, albo długiego czasu pomiaru prowadzonego przez jedną doskonale przeszkoloną osobę. Powszechna eurytopowość gatunków powodująca niewielki frakcyjny udział stenotopowych przedstawicieli gatunków z systemu saprobów Kolkwitza-Marssona w pobranych próbach mikroorganizmów wodnych przemawia za stosowaniem innych grupowych wskaźników. Wskaźnikami tymi mogą być indeksy bioróżnorodności, wskaźniki bogactwa lub zróżnicowania gatunkowego. Ich wyznaczenie wymaga (jak i poprzednio) umiejętności identyfikowania do gatunku i liczenia

wszystkich obserwowanych w próbie osobników. Wymaga zatem dość specyficznej i specjalistycznej wiedzy i może być w zasadzie realizowane w odniesieniu do wybranych taksocenoz, a prawie nigdy w odniesieniu do kompletnej biocenozy ze wszystkimi poziomami troficznymi.

Gdyby pomiar bioróżnorodności w klasycznej postaci był łatwy i szybki, być może jego wyniki można by wykorzystywać dla potrzeb analizy bioindykacyjnej. Niestety łatwy nie jest, podobnie jak nie jest łatwy rzetelny pomiar saprobii. Można jednak zastosować dla potrzeb bioindykacji pomiar struktury biocenozy. Posługując się sposobem liczenia, opartym o wzór Shannona-Wienera, zamiast frakcyjnych udziałów gatunków można używać frakcyjnych udziałów grup gatunków, np. grup morfologiczno-funkcjonalnych. Okazuje się, że pomiary przeprowadzone w oparciu o tak definiowane frakcje, dają rezultaty podobne – jeśli nie identyczne – z wynikami klasycznych pomiarów saprobowości, bogactwa gatunkowego i bioróżnorodności. Ze względu na fakt, że pomiary takie są łatwiejsze i szybsze, mogą być używane zamiast klasycznych. Ich przeprowadzenie wydaje się tym bardziej godne polecenia, gdyż praktycznie każdy – po niewielkim przygotowaniu – łatwo określi przynależność poszczególnych organizmów do grup morfologiczno-funkcjonalnych (i w związku z tym odróżni np. amebę od wiciowca), podczas gdy prawidłowa identyfikacja organizmów do gatunku, nawet specjaliście, może sprawiać problemy.

Prostota i adekwatność metody oceny zbiorowiska osadu czynnego, bazującej na wyznaczeniu indeksu H^* , opartego o frakcyjne udziały grup morfologiczno-funkcjonalnych, daje nadzieję na jej efektywne zastosowanie w przypadku zbiorowisk zasiedlających kolektory kanalizacyjne. Dalsze badania prowadzone będą przy wykorzystaniu powyższej metody, uzupełnionej o analizy fizyko-chemiczne, do wnioskowania o stanie ścieków w kolektorach kanalizacyjnych w chwili poprzedzającej moment pobrania prób przynajmniej o czas generacji gatunku o najniższym tempie rozmnażania.

WNIOSKI

1. Wraz ze spadkiem stopnia oczyszczania ścieków zmniejsza się bogactwo gatunkowe mikrofauny osadu czynnego.
2. Nie wszystkie gatunki i rodzaje znajdujące się w systemie saprobów pozwalają uzyskać logiczne wyniki pomiarów saprobowości (przykładem w omawianym przypadku mogą być wrotki, wiciowce i ameby). Być może te właśnie taksony są zbyt eurytopowe, aby mogły być z pożytkiem użyte jako bioindykatory stopnia oczyszczania ścieków.
3. Wyznaczenie wskaźnika saprobowości wymaga umiejętności oznaczania do gatunku i policzenia przedstawicieli kilkuset gatunków z kilkudziesięciu grup taksonomicznych o różnej randze. Jest więc bardzo pracochłonne i może się okazać niedokładne.
4. Wyznaczenie wartości indeksu Shannona-Wienera (indeksu bioróżnorodności) wymaga oznaczenia do gatunku i policzenia wszystkich osobników wszystkich taksonów. Jest to w praktyce niemożliwe, sprowadza się więc zawsze do obliczeń bioróżnorodności określonej taksocenozy, a w optymalnym przypadku – kilku taksocenoz.
5. Wartości indeksu H dla różnych taksocenoz mogą być w danych warunkach różne, a ponadto ze zmianą warunków środowiska mogą się zmieniać w różny sposób.
6. Użycie dla pomiarów indeksów bioróżnorodności nie gatunków, lecz grup morfologiczno-funkcjonalnych pozwala uzyskać wyniki podobne (wręcz identyczne)

do uzyskanych w oparciu o identyfikację każdego osobnika do gatunku, a jest znacznie łatwiejsze i szybsze.

7. Dla potrzeb analizy bioindykacyjnej można używać przedstawicieli mikrofauny osadu czynnego. Przedstawiciele tego typu mikrofauny napływają również do oczyszczalni wraz ze ściekami z kolektorów systemu kanalizacyjnego. Można zatem, w oparciu o zbiorowiska saprobiontów i saprofili zasiedlających systemy kanalizacyjne, określać niektóre właściwości zrzucanych do kanalizacji ścieków i identyfikować ich oddziaływanie na efekty pracy oczyszczalni. W ten sposób można kontrolować stan ścieków w kolektorach i sprawdzać, czy użytkownicy sieci dotrzymują umów dotyczących parametrów odprowadzanych ścieków, zawartych z przedstawicielami właściciela oczyszczalni.

LITERATURA

- [1] Gove I.H., G.P. Patil, B.F. Swindel, C. Taillie: *Ecological Diversity and Forest Management*, [w:] Handbook of Statistic, Elsevier Science, B. V. North-Holland, Amsterdam, London, New York, Tokyo 1994, 409–462.
- [2] Hvitved-Jacobsen T., J. Vollertsen, P.H. Nielsen: *Koncepcja procesu i modelu dla przemian mikrobiologicznych zachodzących w ściekach w kanalizacjach grawitacyjnych*, [w:] Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej pt.: Usuwanie związków biogenych ze ścieków, Wydawnictwo LEM, Kraków 1997, 12-1–12-13.
- [3] Kocwowa E.: *Biologia w ochronie zdrowia i środowiska*, PWN, Warszawa 1975.
- [4] Klimowicz H.: *Znaczenie mikrofauny przy oczyszczaniu ścieków osadem czynnym*, Wydawnictwo Katalogów i Cenników, Warszawa 1977.
- [5] Kołodziejczyk A., P. Koperski, M. Kamiński: *Klucz do oznaczania słodkowodnej makrofauny bezkręgowej*, PIOŚ, Warszawa 1998.
- [6] Lityński A.: *Hydrobiologia ogólna*, PWN, Warszawa 1952.
- [7] Łagód G., Z. Suchorab, D. Bober: *Stabilność współczynników bioróżnorodności w systemach kanalizacyjnych – podstawy teoretyczne*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, I Kongres Inżynierii Środowiska w Lublinie, **11**, 401–405 (2002).
- [8] Magurran A.: *Ecological diversity and its measurements*, Croom Helm, London, Sydney 1988.
- [9] Odum E.P.: *Podstawy ekologii*, PWRiL, Warszawa 1982.
- [10] Stelmach K., J. Malicki, K. Bonetyński: *Kolektory – rozcieńczenie czy redukcja BZT₅ i biogenów*, [w:] Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej pt.: Współczesne problemy gospodarki wodno-ściekowej, Wydawnictwo Uczelniane WSi Koszalin, Koszalin-Kołobrzeg 1995, 429–434.
- [11] Turoboyski L.: *Hydrobiologia techniczna*, PWN, Warszawa 1979.

Wpłynęło: 8 lipca 2003, zaakceptowano do druku: 16 lutego 2004.