

Elwira TOMCZAK¹ i Anna DOMINIAK²

ORGANIZMY ŻYWE W SYSTEMIE BIOMONITORINGU JAKOŚCI WODY

LIVING ORGANISMS IN THE SYSTEM OF WATER QUALITY BIOMONITORING

Abstrakt: Przedstawiono typowe organizmy żywe służące do biomonitoringu wód powierzchniowych oraz ich wykorzystanie w prezentowanych w pracy aplikacjach. Główną uwagę poświęcono charakterystyce i wykorzystaniu małży słodkowodnych. Uwzględniono rolę, jaką odgrywa biomonitoring w wodociągowych systemach ujmowania wód powierzchniowych. Za przykład posłużył trójstopniowy system biomonitoringu funkcjonujący od 20 lat w Zakładzie Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Łodzi, wykorzystujący małże, narybek okonia i bakterie luminescencyjne.

Słowa kluczowe: bioindykatory, biomonitoring jakości wody, małże

Wstęp

Bioindykację wykorzystuje się do oceny stanu jakości wody powierzchniowej jezior i rzek, wody podziemnej, jak również coraz częściej uzdatnionej. Stopień zanieczyszczenia wody określa się na bazie hodowli krótkoterminowych, zwanych biotestami, lub prowadzi się obserwacje długoterminowe, rejestrując w sposób ciągły zachowanie organizmów wodnych, tzw. biomonitoring. Zmiany behawioralne bioindykatorów są przejawem stresu, wynikającego z niekorzystnego lub szkodliwego działania czynników zewnętrznych.

Bioindykacja pozwala na wykrycie sumarycznej toksyczności wszystkich szkodliwych substancji, co ma szczególne znaczenie w przypadku substancji, których toksyczność objawia się w działaniu synergistycznym. Jest to zatem metoda oceny ogólnej toksyczności kontrolowanego układu i stanowi doskonale uzupełnienie wykonywanych okresowo analiz laboratoryjnych wody.

Analizuje się przydatność gatunków lub grup gatunków organizmów, których zachowanie może działać jako wskaźnik biologiczny używany do określenia zmian jakości ekosystemów i środowiska [1]. Reakcja organizmów wskaźnikowych może różnić się pod względem wrażliwości, od zmian w zachowaniu i fizjologii do zmian w morfologii aż po śmiertelność. W pracy [2] przedstawiono rolę bioindykacji w analizie stanu wód, wodne organizmy wskaźnikowe przydatne do bioindykacji, systemy wskaźników aktywnej i pasywnej bioindykacji oraz sposoby rewitalizacji zasobów wód. Najczęściej wykorzystywanymi organizmami w metodach bioindykacyjnych są skorupiaki (w tym małże), ryby, pierwotniaki i glony [3-5]. Liczne publikacje [6-12] dostarczają informacji dotyczących właściwości sorpcyjnych glonów morskich i słodkowodnych. Omówiono w nich kinetykę i równowagę sorpcji metali ciężkich w układzie glony - roztwór, wpływ

¹ Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź, tel. 42 631 37 88, email: elwira.tomczak@p.lodz.pl

² Zakład Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Łodzi, ul. Wierzbowa 52, 90-133 Łódź, tel. 42 677 82 54, email: adominiak@zwik.lodz.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'15, Jarnołtówek, 14-16.10.2015

czynników abiotycznych na proces sorpcji i desorpcji analitów z biomasy. Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych prowadzonych z wykorzystaniem różnych gatunków i rodzajów glonów, których celem była ocena ich przydatności jako naturalnych sorbentów. W badaniach przeprowadzonych na algach brano pod uwagę ich skład chemiczny, biologię, taksonomię, fizjografię służące do oceny wody takimi zanieczyszczeniami, jak metale ciężkie, pestycydy i radionuklidy. Z kolei w pracy [13] dokonano oceny jakości wody w pięciu starorzeczach Łyny. Obok wskaźników fizykochemicznych stosowano typowe wskaźniki biologiczne. Dokonano analizy jakości wody, opierając się na założeniu, że w ekosystemie wodnym o dobrej kondycji występuje bogata fauna bezkręgowca. Analizowano kilkanaście grup bezkręgowców. Stwierdzono, że dominującymi grupami były larwy Dietera, Oligochaeta i Gastropoda. Na podstawie występowania zgrupowań bezkręgowców można nie tylko dokonać analizy stanu wód, ale również opracować metody ochrony zasobów wodnych. Szczególnie istotną rolę odgrywa biomonitoring w wodociągowych systemach ujmowania wód powierzchniowych. Wody te charakteryzują się dużą zmiennością stanu i składu chemicznego związaną m.in. ze spływami powierzchniowymi, odprowadzaniem nieoczyszczonych ścieków, dopływem odcieków ze składowisk odpadów, zanieczyszczeń z awarii przemysłowych oraz chemizacją rolnictwa, a także czynnikami wewnętrznymi, np. zakwitami glonów. Ponadto, pomimo ustanowienia stref ochronnych, wody powierzchniowe mogą zostać skażone w wyniku katastrof ekologicznych lub ataków terrorystycznych.

Kryteria doboru organizmów funkcjonujących w systemie biomonitoringu wód wodociągowych, ale nie tylko, są ściśle określone: organizmy te muszą reagować szybko i niezawodnie na zmiany w środowisku, ich reakcje powinny być jednoznaczne i łatwe do zinterpretowania, utrzymanie w warunkach laboratoryjnych powinno być łatwe, warunki i tryb życia wytypowanych bioindykatorów muszą pozwalać na automatyczne i ciągłe monitorowanie ich zachowań. W biomonitoringu można stosować dwojakiego rodzaju podejście: pracować z wyselekcjonowanymi grupami organizmów żywych, które spełniają powyższe kryteria, lub obserwować zachowanie typowych grup organizmów w ich siedliskach w ekosystemie, o czym wspomniano wcześniej. Pierwsze podejście zwykle stosowane jest w warunkach laboratoryjnych, a szczególnie w kontroli jakości wody przeznaczonej do spożycia.

Na podstawie założeń dotyczących specyficznych grup użytecznych w biomonitoringu organizmów w pracy scharakteryzowano małże słodkowodne, wykorzystywane najczęściej jako bioindykatory szkodliwych zmian w środowisku ich życia (zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i naturalnych). Przedstawiono inne organizmy żywe, które również mogą pełnić rolę bioindykatorów. Zaprezentowano trójstopniowy system kontroli jakości wody w Zakładach Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Łodzi jako przykład metody biomonitoringu stosowanego w kontroli jakości wody przeznaczonej do spożycia z wykorzystaniem małży i innych organizmów.

Charakterystyka i wykorzystanie małży w biomonitoringu

Małże (*Bivalvia*) należą do taksonu w randze gromady, która obejmuje 8000 gatunków, spośród których większość prowadzi mało aktywny, wręcz osiadły tryb życia, przemieszczając się w inne miejsca jedynie w chwili zagrożenia [14]. Zgodnie

z obowiązującymi w kraju przepisami, ochronie gatunkowej podlega 38 gatunków ślimaków i 6 gatunków małży [15]. Są to wyłącznie zwierzęta wodne bentosowe (znane już od kambru) o bocznie spłaszczonym ciele pokrytym dwuklapową muszlą. Ciało małża jest dwubocznie symetryczne, zwykle wydłużone, bocznie spłaszczone i zamknięte między dwiema, zwykle symetrycznymi, połówkami muszli. Obie połówki (prawa i lewa) połączone są w okolicach szczytu muszli ligamentum - konchiolinowym więzadłem. U niektórych gatunków małży jest to układ wapiennych listew oraz różnie wykształconych ząbków, zwanych zamkiem muszli. Listwy zamka są bardzo ważnym elementem w budowie, ponieważ zapobiegają przesuwananiu się skorup muszli w trakcie ruchu zwierzęcia. Wielkość muszli oraz masa ciała małży są bardzo różnicowane, od kilku milimetrów u słodkowodnych *Pisidium* do 250 kg u przydaczni olbrzymiej (*Tridacna gigas*). Muszle małży zbudowane są z trzech warstw: konchiolinowej - zewnętrznej, porcelanowej - środkowej i perłowej - wewnętrznej. Warstwa perłowa zbudowana jest z drobnych blaszek wapiennych [16].

W wodach śródlądowych Polski stwierdzono występowanie 34 gatunków małży, a w Morzu Bałtyckim 9 gatunków. Głównym pokarmem małży są detrytus, glony, pierwotniaki i bakterie. Organizmy te są doskonałymi filtratorami. W ciągu godziny jeden osobnik potrafi przefiltrować aż 1,5 litra wody. U form słodkowodnych natomiast zaznacza się silnie zmysł dotyku. Bardzo liczne receptory czucia umieszczone są na płatach gębowych, powierzchni nogi i na krawędziach syfonów. Małże bronią się przed niekorzystnymi zjawiskami w środowisku, w którym egzystują. Zagrożeniem mogą być: zmiany temperatury wody, gwałtowny przepływ wody czy wzrost koncentracji zanieczyszczeń. W momencie napływu substancji niekorzystnych dla ich metabolizmu gwałtownie zamykają skorupy i syfony, obniżając w ten sposób swoją aktywność fizjologiczną. Są również bardzo wrażliwe na wzrost stężenia zawiesiny gruboziarnistej w wodzie. Posiadają doskonały zmysł czucia chemicznego, co dodatkowo uwrażliwia je na obecność występowania substancji chemicznych w wodzie. Cecha ta została wykorzystana do bioindykacji w akwenach.

Skorupiaki z rodziny *Balanus improvisus* i małże *Mytilus trossulus* wykorzystano do biomonitoringu śladowych ilości metali Cu, Zn, Cd, Fe, Pb, Mn i Ni w pięciu wytypowanych miejscach Zatoki Gdańskiej [17]. Wstępny biomonitoring jako część przyszłego programu miał na celu ustalenie lokalnego zanieczyszczenia wód metalami, których ładunki mogą się zmieniać odpowiednio do tego, co zostanie wprowadzone do zatoki z wodami Wisły. Badania wykazały korelację w występowaniu metali w ciałach obu testowanych bioindykatorów.

Podobne badania przeprowadzono w pracy [18]. Naturalne i z hodowli klatkowych małże były używane do monitorowania zanieczyszczeń biologicznych na Wybrzeżu Baskijskim. Po 3 tygodniach ekspozycji małże zostały zebrane z każdego wytypowanego miejsca i analizowane (od poziomu molekularnego do poziomu organizmu) w celu określenia depozytu zanieczyszczeń chemicznych (metale, WWA, PCB, ftalany i nonylofenol). W podsumowaniu stwierdzono, że stosowanie rodzimych, naturalnych małży jest odpowiednim i efektywnym kosztowo podejściem do monitorowania skutków zanieczyszczenia, gdyż uwzględniona jest adaptacja do zmiennych warunków siedliskowych. Z drugiej strony, hodowlane małże są szczególnie przydatne do ustalenia

skutków dużych chwilowych depozycji, na które są bardzo wrażliwe i szybkie w odpowiedzi.

Zakrojony na szeroką skalę, z wykorzystaniem małży (*Elliptio complanata*) 26-letni program Ministerstwa Środowiska Kanady (Ontario), począwszy od 1983 r., prowadzono w celu monitoringu rzeki Niagara [19, 20]. Program miał za zadanie określić obecność i fluktuacje zanieczyszczeń w wytypowanych miejscach: kilku po stronie kanadyjskiej i 5 po stronie USA. Na przestrzeni lat nie stwierdzono znaczących skażeń, a w niektórych przypadkach zauważono spadek stężeń zanieczyszczeń w tkankach analizowanych małży. Optymistycznie stwierdzono spadek koncentracji heksachlorobenzenu, chlorobenzenu, pestycydów i chemikaliów przemysłowych.

System biomonitoringu w Zakładach Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Łodzi

Małże jako bioindykatory

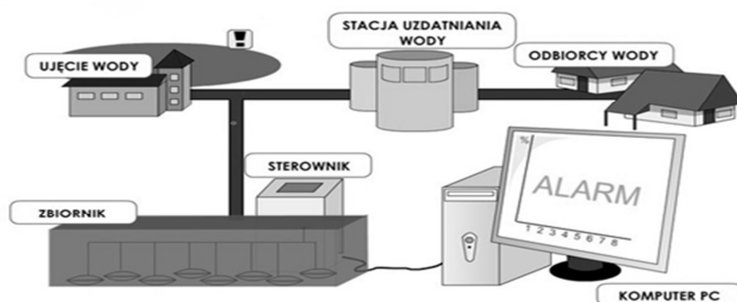
Małże spełniają swoją rolę nie tylko w naturalnym środowisku. Umieszczone w akwariach przepływowych stanowią ważny element określania jakości wody w zakładach wodociągowych. W łódzkich wodociągach pierwszy system bioindykacji wprowadzono w połowie lat 90. XX wieku. Wykorzystano wówczas narybek okonia do oceny jakości wody powierzchniowej ujmowanej z Zalewu Sulejowskiego. Z czasem poszerzono biomonitoring dla tego ujęcia poprzez wykorzystanie innego gatunku organizmów żywych - małży. Taki system bioindykacji wdrożono również dla drugiego ujęcia wody powierzchniowej dla Łodzi, tj. ujęcia na rzece Pilicy w Tomaszowie Mazowieckim. Pomysłodawcą i twórcą całego systemu biomonitoringu w Zakładzie Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Łodzi był główny technolog - Bogumił Rzerzycha.

Aktualnie biomonitoring w ZWiK Sp. z o.o. w Łodzi oparty jest na kompleksowym systemie kontroli jakości wody na wszystkich systemach wodociągowych zaopatrujących w wodę odbiorców w Łodzi, Tomaszowie Mazowieckim, Rokicinach oraz wsiach na trasie Tomaszów Maz. - Łódź. Rolę bioindykatorów pełnią: narybek okonia (*Perca fluviatilis*) oraz małże - skójki zaostrzone (*Unio tumidus*). Takie systemy bioindykacyjne zainstalowano na ujęciach wody powierzchniowej oraz głębinowej, po poszczególnych etapach uzdatniania oraz na odpływach wody uzdatnionej do odbiorców. Ponadto w 2011 r. wprowadzono dodatkowo szybkie testy oceny toksyczności wody z wykorzystaniem bakterii bioluminescencyjnych (*Vibrio fischeri*) [21].

Na system SYMBIO z wykorzystaniem małży składają się trzy elementy (rys. 1):

- Akwarium przepływowe - do którego doprowadzana jest badana woda. Umieszczono tam 8 osobników, przytwierdzonych do postumentów. Pojawienie się w wodzie substancji niekorzystnych wywołuje stres u małży, przejawiający się natychmiastowym zamknięciem muszli.
- Sterownik systemu - do którego doprowadzane są sygnały odbierane przez sondy. Rolą sterownika jest analiza danych i ich przetwarzanie na postać cyfrową oraz generowanie systemu alarmowego w razie wystąpienia skażenia wody. Sterownik jest również odpowiedzialny za udostępnianie przetworzonych informacji do systemu nadrzędnego - komputera.

- Komputer PC - jego zadaniem jest wizualizacja danych, a także ich archiwizacja i tworzenie raportów. Alarm sygnalizowany jest na monitorze oraz w postaci dźwiękowej przez głośniki komputera.

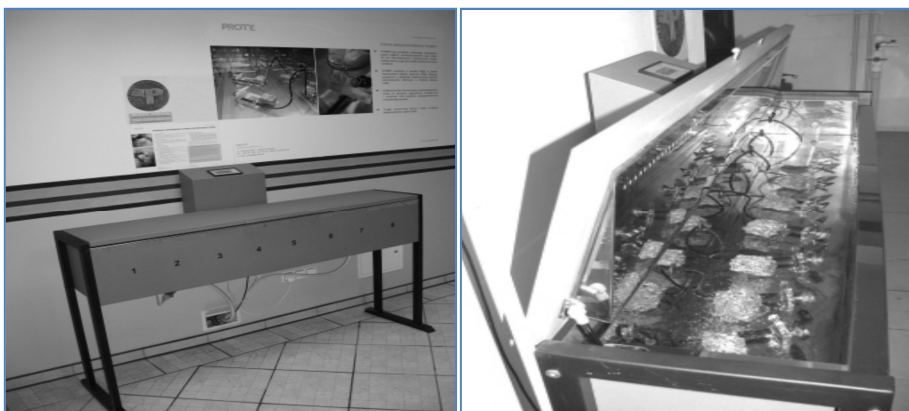


Rys. 1. Monitoring jakości wody z wykorzystaniem małży

Fig. 1. The water quality monitoring with mussels

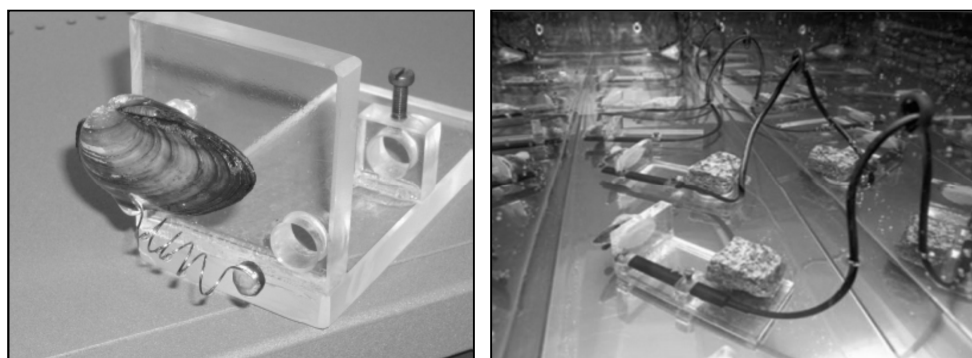
Bioindykatory wykorzystywane w kontroli jakości wody w ZWiK Sp. z o.o. w Łodzi spełniają wymagania stawiane organizmom wskaźnikowym. Małże - skójki zaostrzone pozyskiwane są z jezior w okolicach Poznania, wybranych jako akweny poddane w minimalnym stopniu presji antropogenicznej, czyli pozbawione bezpośrednich, punktowych dopływów zanieczyszczeń oraz spływów ze zlewni użytkowanej rolniczo. W miejscu odłowy przeprowadzana jest selekcja organizmów, biorąc pod uwagę wielkość, wiek i kondycję osobników. Wybierane są małże o podobnej wielkości (preferowane są większe osobniki), nieodbiegające zbyt pod względem morfologicznym od pozostałych osobników populacji. Transport małży odbywa się w wodzie jeziornej, w specjalnie do tego celu przeznaczonym, izolowanym termicznie pojemniku. Celem zminimalizowania stresu małży, wynikającego ze zmiany warunków środowiskowych, przeprowadzana jest aklimatyzacja. Na czas 2 tygodni osobniki umieszczane są w specjalnych akwariach, gdzie stopniowo dostosowuje się temperaturę wody do tej, w jakiej będzie przebywać po zainstalowaniu w zbiorniku. Zbiornik docelowy, w którym jednorazowo umieszczanych jest 8 osobników małży, wykonany jest ze stali nierdzewnej (rys. 2). Małże umieszczane są w zbiorniku na 3 miesiące. Okres ten jest optymalny dla ich funkcjonowania w układzie bez konieczności dokarmiania. Po upływie 3 miesięcy małże zostają wymienione na inne, a pracujące do tej pory w systemie wracają do środowiska naturalnego. Zbiornik jest tak skonstruowany, by wyeliminować lub zminimalizować wpływ czynników zewnętrznych, mogących niekorzystnie wpłynąć na aktywność małży. Zapewnia on również zaciemnienie i izolację od hałasu, a także amortyzuje drgania podłoża. Wewnątrz zbiornika zainstalowany jest filtr napowietrzający, gwarantujący odpowiednie natlenienie wody. Do małży umieszczonych w zbiorniku doprowadzone są sondy pomiarowe, które współpracując z magnesem przytwierdzonym do powierzchni muszli, rejestrują ich aktywność (rys. 3). Osobniki małży dobierane są w ten sposób, aby w danym zbiorniku znajdowały się skójki w różnych stanach aktywności (o różnym stopniu otwarcia/zamknięcia muszli). Ze zbiornikiem zintegrowany jest sterownik, którego rolą jest

przetwarzanie danych i przesyłanie ich do komputera. Rolą programu komputerowego jest wizualizacja oraz archiwizacja danych, a także tworzenie i przechowywanie raportów. Umożliwia on dokonanie aktualnej oceny działania systemu oraz prześledzenia aktywności małży w czasie historycznym.



Rys. 2. Akwarium z małżami

Fig. 2. Mussels' aquarium



Rys. 3. Małże z sondami pomiarowymi

Fig. 3. Mussels with measurement probes

Wizualizacja danych w postaci wykresów słupkowych pokazuje bieżący procentowy stopień otwarcia muszli poszczególnych osobników małży (próbkiwanie odbywa się co 1 sekundę). Wykresy liniowe pozwalają prześledzić aktywność małży w czasie historycznym. W warunkach normalnego funkcjonowania biorytm każdego małża można podzielić na cykliczne okresy podwyższonej i obniżonej aktywności. W czasie obniżonej aktywności muszla może być częściowo lub całkowicie zamknięta przez okres kilku lub kilkunastu godzin. Przymknięcie muszli nawet do kilku procent lub stopniowe jej

zamykanie do zera nie musi być przejawem stresu. Dopiero nagłe zamknięcie, a co ważne, jeśli jest ono obserwowane jako reakcja grupowa, może być uznane za reakcję na stres.

W momencie wystąpienia nagłej zmiany jakości wody małże gwałtownie zamykają swoje muszle, a system generuje alarm. Alarm zostaje zasygnalizowany na monitorze komputera w postaci dźwiękowej przez głośniki komputera oraz poprzez zapalenie lampy sygnalizacyjnej.

Narybek okonia jako bioindykator

Rolę drugiego bioindykatora pełni narybek okonia (*Perca fluviatilis*). Akwaria z rybami zainstalowane są w ciągu równoległym ze zbiornikami małży. Okonie, podobnie jak małże, odławiane są w odpowiednim wieku (1-2 lata), w odpowiedniej kondycji i o pożądanych cechach behawioralnych (brak lub słabo rozwinięte cechy drapieżne). Pozyskiwaniem i wymianą ryb w akwariach zajmuje się ichtiolog. Niezbędny zapas ryb do interwencyjnej wymiany znajduje się w obiektach ZWiK Sp. z o.o. w Łodzi. Terminy wymiany ryb dostosowane są do cyklu biologicznego okonia w naturze (wzrost, kondycja, strefa bytowania, liczebność w akwenach): wiosna (marzec-kwiecień) - termin uzależniony od zaniku pokrywy lodowej; lato (czerwiec-lipiec) - po osiągnięciu przez okonia wielkości minimum 4 cm; jesień (październik-listopad) - przed spadkiem temperatury wody powierzchniowej < 4°C i zjawiskami lodowymi. Ryby z akwariów testowych po wykorzystaniu ich w biomonitoringu zostają wypuszczane do naturalnych siedlisk przez ichtiologa, który dokonuje wymiany ryb w akwariach. Obserwacje narybku okonia prowadzone są na bieżąco przez pracowników ZWiK Sp. z o.o. w Łodzi. Wygenerowanie alarmu przez system monitorujący aktywność małży oraz zaobserwowanie objawów zatrucia ryb skutkuje wdrożeniem działań zgodnie z opracowaną w tym celu instrukcją.

Testy ekotoksykologiczne

Oprócz stosowanych na świecie metod związanych z wykorzystaniem skorupiaków i ryb (ze względu na ważne miejsce tych organizmów w łańcuchu troficznym), coraz częściej stosuje się testy ekotoksykologiczne oparte o organizmy żywe na różnym poziomie organizacji i rozwoju. Taką grupę stanowią m.in. bakterie. W łódzkim ZWiK stosowany jest również trzeci element biomonitoringu, czyli bakterie luminescencyjne (*Vibrio fischeri*). Bakterie te w normalnych warunkach dużą część metabolizmu przeznaczają na świecenie (luminescencję). Bioluminescencja bakterii zachodzi dzięki reakcjom chemicznym, utlenieniu lucyferyny w obecności tlenu i enzymów. Bakterie luminescencyjne wytwarzają światło w zakresie widzialnym jako efekt swoich normalnych procesów metabolicznych. Jakakolwiek zmiana w tych procesach w obecności czynników zakłócających metabolizm powoduje obniżenie emisji światła. Za pomocą analizatorów DeltaTox badana jest ilość światła wydzielanego przez bakterie. Zmiana luminescencji występuje bardzo szybko, odczyt wyników odbywa się zwykle po 5-15 minutach inkubacji próbki z bakteriami. Nie może być jedynym wskaźnikiem oceny jakości wody, chociaż jest to popularne, szybkie rozwiązanie [22]. W pracy [23] przedstawiono grupę specyficznych testów zwanych Toxkits, w których organizmy egzystują w postaci kryptobiotycznej. Cysty, jaja przetrwalnikowe skorupiaków czy komórki glonów, zabezpieczone w odpowiedniej otoczce, znajdują się w stanie uśpienia i mogą być przechowywane nawet

przez kilka miesięcy. Najpopularniejsze toksyty to: Microtox (zawierający bakterie luminescencyjne *Vibrio fischeri*); Spirotox, Protoxkit (wykorzystujący pierwotniaki); Rotoxkit F (z wrotkiem *Brachionus calyciflours*); Daphtoxikit F, Thamnotoxkit (zawierający skorupiaki).

Podsumowanie i wnioski

Bioindykatorami mogą być gatunki zwierząt czy roślin o wąskim zakresie tolerancji w stosunku do określonego czynnika (tzw. gatunki stenotopowe). Na ogół wykorzystuje się je do oceny stopnia degradacji środowiska naturalnego czy określenia zmian zachodzących w biocenozie lub ekosystemie. Organizmy te mogą występować na różnym poziomie organizacji i rozwoju. Najczęściej stosowane są różne gatunki małży, ślimaki i glony. Ze względu na potrzebę stosowania szybkiego określania zmian jakości wody, w tym jej toksyczności, nowym kierunkiem jest wprowadzanie do analityki testów ekotoksykologicznych, praktycznie dających odpowiedź on-line, opartych na reakcjach prostych organizmów, np. bakterii czy pierwotniaków. Reakcje organizmów żywych na niekorzystne warunki w środowisku ich egzystencji wykorzystuje się głównie do kontroli jakości wody w rzekach, wodach słodkich i słonych oraz w sieciach wodociągowych. Trójstopniowy, funkcjonujący w ZWiK Sp. z o.o. w Łodzi system biomonitoringu oparty na akwarium przepływowym z małżami, akwarium z narybkiem okonia i testy ekotoksykologiczne zapewnia ciągłą kontrolę jakości wody na etapach produkcyjnych i dystrybucyjnych, umożliwia zapewnienie bezpieczeństwa odbiorcom wody, a także jest doskonałym uzupełnieniem analiz chemicznych okresowo wykonywanych przez laboratoria badające wodę.

Literatura

- [1] Dziock F, Henle K, Foeckler F, Follner K, Scholz M. Biological indicator systems in floodplains - a review. *Int Rev Hydrobiol.* 2006;4:271-291. DOI: 10.1002/iroh.200510885.
- [2] Pander J, Geist J. Ecological indicators for stream restoration success. *Ecol Indic.* 2013;30:106-118. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.01.039.
- [3] Sasikumar G, Krishnakumar PK. Aquaculture planning for suspended bivalve farming systems: The integration of physiological response of green mussel with environmental variability in site selection. *Ecol Indic.* 2011;11(2):734-740. DOI: 10.1016/j.ecolind.2010.06.008.
- [4] Negishi JN, Nagayama S, Kume M. Unionoid mussels as an indicator of fish communities: A conceptual framework and empirical evidence. *Ecol Indic.* 2013;24:127-137. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.05.029.
- [5] Schneider S, Lindstrøm E-A. Bioindication in Norwegian rivers using non-diatomaceous benthic algae: The acidification index periphyton (AIP). *Ecol Indic.* 2009;9(6):1206-1211. DOI: 10.1016/j.ecolind.2009.02.008.
- [6] Rajfur M. Algae - heavy metals biosorbent. *Ecol Chem Eng S.* 2013;20(1):23-40. DOI: 10.2478/eces-2013-0002.
- [7] Rajfur M, Klos A, Waclawek M. Sorption properties of algae *Spirogyra* sp. and their use for determination of heavy metal ions concentrations in surface water. *Bioelectrochemistry.* 2010;80(1):81-86. DOI: 10.1016/j.bioelechem.2010.03.005.
- [8] Klos A, Rajfur M. Influence of hydrogen cations on kinetics and equilibria of heavy-metal sorption by algae-sorption of copper cations by the alga *Palmaria palmata* (Linnaeus) Weber & Mohr (Rhodophyta). *J Appl Phycol.* 2013;25:1387-1394. DOI: 10.1007/s10811-012-9970-6.
- [9] Rajfur M, Klos A. Sorption of heavy metals in the biomass of alga *Palmaria palmata*. *Water Sci Technol.* 2013;68(7):1543-1549. DOI: 10.2166/wst.2013.400.
- [10] Ajjabi LCh, Chouba L. Biosorption of Cu(2+) and Zn(2+) from aqueous solutions by dried marine green macroalga *Chaetomorpha linum*. *J Environ Manage.* 2009;90(11):3485-3489. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.06.001.

- [11] Maltby L, Clayton SA, Wood RM, McLoughlin N. Evaluation of the *Gammarus pulex* in situ feeding assay as a biomonitor of water quality: Robustness, responsiveness, and relevance. *Environ Toxicol Chem.* 2002;21(2):361-368. DOI: 10.1002/etc.5620210219.
- [12] Kaewarn P. Biosorption of copper(II) from aqueous solutions by pre-treated biomass of marine algae *Padina* sp. *Chemosphere.* 2002;47(10):1081-1085. DOI: 10.1016/S0045-6535(01)00324-1.
- [13] Obolewski K. Wykorzystanie makrozoobentosu do biologicznej oceny jakości wody w starorzeczach o różnym stopniu łączności z rzeką na przykładzie doliny Łyny. *Ochr Środow.* 2013;35(2):19-26. www.os.not.pl.
- [14] Dyduch-Falinowska A, Piechocki A. Fauna słodkowodna Polski, z. 7A, Mięczaki (Molluscs), Małże (Bivalvia). Warszawa: Wyd Nauk PWN; 1993.
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 września 2004 r., w sprawie gatunków dziko występujących zwierząt objętych ochroną. <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20042202237>.
- [16] Piechocki A. Gromada małże - Bivalvia. *Zoologia Bezkręgowców*, Warszawa: Wyd Nauk PWN; 2009.
- [17] Rainbow PS, Fialkowski W, Sokołowski A, Smith BD, Wolowicz M. Geographical and seasonal variation of trace metal bioavailabilities in Gulf of Gdańsk, Baltic Sea Rusing mussels (*Mytilus trossulus*) and barnacles (*Balanus improvisus*) as biomonitors. *Mar Biol.* 2004;144(2):271-286. DOI: 10.1007/s00227-003-1197-2.
- [18] Marigomez I, Zorita I, Izagirre U, Ortiz-Zarragoita M, Navarro P, Extebarria N, et al. Combined use of native and caged mussels to assess biological effects of pollution through the integrative biomarker approach. *Aquatic Toxicol.* 2013;136-137:32-48. DOI: 10.1016/j.aquatox.2013.03.008.
- [19] Richman LA, Hobson G, Williams DJ, Reiner E. The Niagara River mussel biomonitoring program (*Elliptio complanata*): 1983-2009. *J Great Lakes Res.* 2011;37:213-225. DOI: 10.1016/j.jglr.2011.03.012.
- [20] Carter JL, Resh VH, Rosenberg DM, Reynoldson TB. Biomonitoring in North American Rivers: A Comparison of Methods Used for Benthic Macroinvertebrates in Canada and the United States. In: Ziglio G, Siligardi M, Flaim G, editors. *Biological Monitoring of Rivers: Applications and Perspectives*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2006. DOI: 10.1002/0470863781.ch11.
- [21] Archiwum i materiały wewnętrzne Zakładu Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi. www.zwik.lodz.pl.
- [22] Wilk P, Szalińska E. Microtox jako narzędzie do oceny toksyczności osadów dennych. *Środowisko.* 2011;6:247-263. <http://suw.biblos.pk.edu.pl/resourceDetails&rlId=834>.
- [23] Krzemińska A. Testy ekotoksykologiczne, czyli nowe trendy w monitoringu jakości wód powierzchniowych i podziemnych. *Gospod Wod.* 2004;1:19-23. www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BPP1-0046-0038?locale=pl.

LIVING ORGANISMS IN THE SYSTEM OF WATER QUALITY BIOMONITORING

Faculty of Process and Environmental Engineering, Lodz University of Technology

Abstract: The typical living organisms used for biological monitoring of surface waters and methods of their operate in applications were presented in the paper. The main attention was focused on the characteristics and exploitation of freshwater mussels. The work includes the role of biomonitoring in water supply systems. Three stage of biomonitoring system which has been functioning for 20 years in Municipal Water and Wastewater Company in Lodz was presented as an example. The system utilizes living organisms: mussels, perch and luminescent bacteria.

Keywords: bioindicators, biomonitoring of water quality, mussels