

## BIOMONITORING WÓD ŚRÓDLĄDOWYCH I PRZYBRZEŻNYCH ZA POMOCĄ MAŁŻY Z GATUNKU *DREISSENA POLYMORPHA*

Piotr Matuszak<sup>1)</sup>, Grzegorz Grodzicki<sup>1)</sup>, Tomasz Jankowski<sup>2)</sup>, Paweł Matlakiewicz<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Bionitec Sp. z o.o., 87-100 Toruń

<sup>2)</sup> Wydział Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu

<sup>3)</sup> Centrum Transferu Technologii UMK sp. z o.o., Toruń

### STRESZCZENIE

Zanieczyszczenie wód stosowanych w celach spożywczych oraz w gospodarstwach rolnych jest podstawowym przyczynkiem do podwyższonej śmiertelności, zahamowania i zaburzeń wzrostu oraz czynności fizjologicznych, zmian w DNA (genotoksyczność), zmian w obrębie tkanek (cytotoksyczność) i organów osobników narażonych na działanie związków chemicznych. Jedną z groźniejszych klas toksyn oddziałujących na zwierzęta i ludzi mających kontakt ze skażoną wodą są cyjanotoksyny uwalniane przez obumierające sinice. Przyczyniają się one do poważnych stanów chorobowych, a także zdarzeń śmiertelnych. Toksyny tego typu są relatywnie trudno wykrywalne z powodu sezonowej zmienności zakwitów. Jedną ze skutecznych i automatycznych metod wykrywania skażeń wody w trybie ciągłym jest biomonitoring wykorzystujący małże z gatunku *Dreissena polymorpha*.

**Słowa kluczowe:** biomonitoring, małże, *Dreissena polymorpha*, cyjanotoksyny, biogeny, eutrofizacja.

### ARTICLE INFO

PolHypRes 2015 Vol. 52 Issue 3 pp. 49-58

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.1515/phr-2015-0016

Strony: 10, rysunki: 0, tabele: 0

page **www** of the periodical: [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

#### Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: przeglądowy

Termin nadesłania: 05.07.2015r.

Termin zatwierdzenia do druku: 15.07.2015r.

## WSTĘP

Badania prowadzone przez wiele grup badawczych na przestrzeni ostatnich trzydziestu lat coraz wyraźniej pokazują, jak ważnym czynnikiem jest jakość wody, nie tylko tej stosowanej w celach spożywczych, ale także użytkowanej w gospodarstwach rolnych (np. do pojenia zwierząt) czy naturalnie krążącej w środowisku. Jak wykazano, oddziaływanie zanieczyszczeń na organizmy żywe, w tym człowieka, wynika z interakcji między skażeniem a organizmem, populacją lub biocenozą.

Przejawia się to m.in. w podwyższonej śmiertelności, zahamowaniu i zaburzeniach wzrostu i czynności fizjologicznych, zmianach w DNA (genotoksyczność), zmianach w obrębie tkanek (cytotoksyczność) i organów osobników narażonych na działanie związków chemicznych [1]. Ponieważ w Polsce (podobnie jak w coraz większej ilości pozostałych krajów) zasada zrównoważonego rozwoju zyskała rangę konstytucyjną (zgodnie z art. 5 Konstytucji RP), sposób rozwoju społeczno-gospodarczego, integrującego działania polityczne, społeczne i gospodarcze powinien być prowadzony z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych. Wg raportu Fundacji Energia dla Europy Polska jest zaliczana do państw o relatywnie małych zasobach wodnych [2].

W międzynarodowym programie „Populacja i Środowisko” przeprowadzonym w roku 1993 polskie zasoby wodne zostały sklasyfikowane na 72 miejscu spośród 100 przeanalizowanych krajów świata. Wśród krajów Europy Polska jest państwem najbardziej zagrożonym deficytem wodnym. W przeliczeniu na jednego mieszkańca polskie zasoby wodne wynoszą ok. 1580 m<sup>3</sup>/rok, przy czym obecnie na świecie za próg odnawialnych zasobów wodnych uznaje się wskaźnik równy 1700 m<sup>3</sup>/rok na osobę. Średni poziom w Europie wynosi 4500 m<sup>3</sup>/rok na osobę. W okresie największych susz zasoby wodne w Polsce potrafią spaść poniżej 1000 m<sup>3</sup>/rok na osobę.

O poziomie wzrostu zainteresowania stanem środowiska, a szczególnie jego potencjalnymi zagrożeniami mogą świadczyć systematycznie rosnące nakłady finansowe przeznaczane m.in. na działania identyfikujące wspomniane zagrożenia oraz przeciwdziałania tym zagrożeniom.

Wg raportu przygotowanego przez badaczy z Wydziału Chemii i Biochemii Biura Komercjalizacji Technologii Uniwersytetu Teksasańskiego w Austin, USA, rynek wykrywania i ochrony środowiska przed substancjami biologicznymi oraz chemikaliami w 2002r. osiągnął wartość 2,3 mld USD, zaś w 2007 został oszacowany na poziomie 4 mld USD. Z kolei rynek wykrywania zagrożeń środowiska w 2003r. uzyskał wartość na poziomie 3,4 mld USD i stale wzrasta. Powyższe dane wskazują, jak bardzo kluczowym zadaniem jest poszukiwanie efektywnych metod wykrywania i zapobiegania zagrożeniom środowiskowym.

Z drugiej strony, jak już wspomniano, wielu z nich nie stosuje się na zbyt szeroką skalę, gdyż brak dla nich stosownego uzasadnienia ekonomicznego. Trudno np. wyobrazić sobie badania wody we wszystkich ujęciach kraju wykonywanych minimum jeden raz w ciągu każdej godziny (samych „dużych” ujęć o poborze rocznym ponad 800 tys m. sześć. jest w Polsce 258, zaś ujęć zinwentaryzowanych około 5,5 tysiąca – dane na podstawie Informatora Państwowej Służby Hydrogeologicznej [3]). Dość dramatyczna sytuacja występuje w przypadku polskich jezior. Wg opracowania prof. Adama Choińskiego w Polsce znajduje się 7.081 jezior o powierzchni powyżej 1 ha, dlatego Polskę zalicza się do strefy o niewielkiej jeziorności [4].

Stąd utrata każdego z nich (zeutrofizowanie, przeżyźnienie, zarośnięcie i transformacja w tereny bagienne) jest niepowetowaną i nieodwracalną stratą majątku narodowego i mienia społecznego, szczególnie w obliczu przyszłych pokoleń obywateli. Ma wpływ na klimat kraju, gospodarkę wodną, równowagę gatunkową, turystykę krajową oraz ogólną kondycję zdrowotną społeczeństwa. Skalę zjawiska oddaje fakt, że na przestrzeni zaledwie niespełna 40 lat (1954-1992) zanikło aż 2215 jezior, co stanowi 11,22% ówczesnej powierzchni jezior (dane z katalogów jezior Polski w latach 1954 i 1992 prof. A. Choińskiego).

Szczególnie dynamiczny jest proces zaniku jezior małych, o powierzchni do 5 ha, które stanowią w Polsce ok. 44% całkowitej ilości jezior. Należy przy tym podkreślić, że jeziora są znaczącym ogniwem krążenia i retencji wód w zlewniach bilansowych, zaś w systemie zmian zachodzących w obecnym czasie, najbardziej odczuwalne są zanieczyszczenia wód przejawiające się ich eutrofizacją. Mamy tu do czynienia z dopływami substancji użyźniających wody, jak i czynników toksycznych. Kumulacja zanieczyszczeń jest procesem złożonym i długotrwałym, które przez lata może pozostawać niezauważone.

Wiąże się głównie z koncentracją zanieczyszczeń w osadach dennych i głębszych partiach mis jeziornych, zaś o ich intensywności i znaczeniu (w wyniku postępującej eutrofizacji) najczęściej świadczy zanik wielu gatunków ryb. Przywracanie stanu równowagi jest procesem czasochłonnym i kosztownym, niemniej jednak koniecznym jeśli przyszłe pokolenia mają odziedziczyć środowisko naturalne w dobrej kondycji i jak najmniej poddane presji antropogenicznej. Należy przy tym zauważyć, że, jak powszechnie wiadomo, koszty związane z zapobieganiem są wielokrotnie niższe, niż te związane z odwracaniem zjawisk niepożądanych.

Dlatego też tak istotna rola spoczywa na efektywnych i powszechnych metodach monitorowania stanu środowiska, w tym również wód płynących i stojących. Do metod tych można bez wątpliwości zaliczyć systemy oparte na biosensorach, które są efektywne kosztowo, charakteryzują się szerokim spektrum zastosowań oraz mogą być stosowane bez przerw w czasie rzeczywistym.

## WYSTĘPOWANIE I OZNACZANIE ZANIECZYSZCZEŃ

Wpływ zanieczyszczeń można podzielić na dwie kategorie w zależności od zasięgu ich oddziaływania. Zanieczyszczenia punktowe relatywnie łatwo jest zidentyfikować i zbadać ich charakter (rodzaj emitowanego zanieczyszczenia, jego stężenie, całkowita ilość wprowadzona do środowiska w określonym czasie itp.).

Pochodzą one z reguły ze zrzutów ścieków przemysłowych i komunalnych, odpływów ze składowisk odpadów przemysłowych, komunalnych i niebezpiecznych, czasem pojawiają się jedynie tymczasowo (np. w wyniku wypadku, awarii

ciągów transportowych, umyślnego zrzutu środków szkodliwych do środowiska). Z kolei zanieczyszczenia obszarowe, czyli obejmujące rozległe areale lub akweny, są bardzo trudne do identyfikacji, scharakteryzowania, a następnie przeciwdziałania im (m.in. neutralizacji, zabezpieczenia). Mają swoje źródło najczęściej w spływach z upraw rolnych, zanieczyszczonych gleb oraz terenów miejskich, a także osadach dennych, suchej i mokrej depozycji z atmosfery itp.

Charakteryzują się tym, że w wielu przypadkach zanieczyszczenia obszarowe stanowią nieznaną mieszaninę substancji o trudnej do określenia toksyczności (ze względu na różnice w proporcjach ilościowych składników oraz trudnej do określenia wielkości emisji). Ponadto wiele zanieczyszczeń obszarowych (w odróżnieniu od najczęściej intensywniejszych zanieczyszczeń punktowych) powoduje transfer do środowiska substancji o stężeniach, które niebezpieczne stają się dopiero po dłuższym czasie oddziaływania na organizmy żywe, zaś chwilowo nie zaznaczają wyraźnie swojej obecności.

Ponadto ich rozłożenie na większym obszarze powoduje spadek punktowej wykrywalności przy jednoczesnej możliwej długiej akumulacji w ciałach organizmów. Stąd też zanieczyszczenia obszarowe są główną przyczyną schorzeń poszczególnych organów, szczególnie wśród osobników dojrzałych. Prowadzą również do genotoksyczności, która przejawia się w mutacjach nierzadko przenoszonych na kolejne pokolenia, prowadząc do istotnych zmian fenotypowych w dostatecznie długim czasie. Mutacje odnoszą się do zmian genetycznych w komórkach somatycznych lub płciowych. Mutacje w komórkach somatycznych mogą się przyczynić do różnych defektów aż do powstania nowotworu, natomiast mutacje w komórkach płciowych mogą powodować choroby genetyczne u następnych pokoleń. O ile związek między ekspozycją na poszczególne substancje chemiczne i kancerogenezą u ludzi jest dobrze zbadany, o tyle podobne zależności dla defektów dziedzicznych są trudne do dowiedzenia [1].

Niemniej jednak narażenie organizmów żywych na długotrwałe oddziaływanie różnych substancji ma charakter nie tylko toksyczny, ale nierzadko teratogeny i genotoksyczny, bowiem zakres skażeń oraz ich trwałość mogą być na tyle duże, że ich działanie jest typu chronicznego i jego efekty pojawiają się po dostatecznie długim czasie [5]. Jednym z największych zagrożeń są zakwitły sinicowe oraz uwalniane przez nie toksyny sinicowe w eutrofizujących zbiornikach wodnych (jeziorach, stawach, zbiornikach zaporowych) oraz wodach przybrzeżnych, które są groźne dla zdrowia i życia ludzkiego.

Wśród toksyn sinicowych można wyróżnić m.in. neurotoksyny (np. anatoksyna-a, anatoksyna-a(s), saksitoksyna i neosaksitoksyna), wywołujące nowotwory (np. mikrocytyny, lipopolisacharydy), dermatotoksyny (np. lyngbyatoksyna-a), aplysiatoksyna i lipopolisa-charydy), hepatotoksyny (mikrocytyny, nodularyny i cylindrospormopsyna) [6]. Najczęściej występującą toksyną jest hepatotoksyna zwana mikrocytyną. Obecnie znanych jest ponad 70 różnych struktur tych związków. Hepatotoksyny, do których zaliczamy mikrocytyny i nodularyny, są odpowiedzialne za zatrucie zwierząt i ludzi, mających kontakt z toksycznymi zakwitami. Charakteryzują się one wysoką trwałością w otoczeniu wodnym ze względu na swoją strukturę chemiczną.

Co więcej, neurotoksyny (anatoksyny i saksitoksyny), ze względu na niską wartość dawki letalnej należą do najsilniejszych toksyn naturalnych. Obecność neurotoksycznego aminokwasu BMAA ( $\beta$ -N-metylbamino-L-alanina) może być ściśle związana z przypadkami choroby Alzheimera zarejestrowanymi w Kanadzie [7].

Oznaczanie składników wody metodami chemicznymi lub fizycznymi posiada, prócz istotnej kosztowności, jeszcze kilka innych cech, które znacząco ograniczają ich zastosowanie jako elementów stałego nadzoru środowiskowego. Jedną z nich jest konieczność prowadzenia większości badań w laboratorium wyposażonym w odpowiednie odczynniki oraz aparaturę badawczą.

Kolejną wiąże się z czasem, który upływa między momentem pobrania próbki, a chwilą uzyskania wyników (wliczono w to również czas potrzebny na pobranie próbek oraz ich transport). Niemniej jednak jedną z najważniejszych cech jest konieczność wcześniejszego określenia, jakiego zagrożenia ma dotyczyć określone badanie. Czy jest to np. oznakowanie występowania konkretnego gatunku bakterii, pierwiastka, czy też toksyny. Istnieje bardzo duże prawdopodobieństwo, że w przypadku określonej serii badań czynniki, o których wcześniej nie pomyślano, a następnie pominięto podczas wyboru metody badawczej, pozostaną niezauważone.

Własność ta praktycznie nie występuje w przypadku zastosowania żywych bioindykatorów, które charakteryzują się odpowiednim spektrum wrażliwości. Jeśli jakakolwiek substancja bądź czynnik biotyczny wpływają niekorzystnie na wybrany organizm testujący, wystąpi odpowiednia reakcja na czynniki niepożądane (włącznie ze stanem śmierci), niezależnie, czy badacz przewidział występowanie określonych bodźców (np. trucizn), czy też nie. Stąd też metody biomonitoringowe cechuje znacznie wyższa uniwersalność, niż laboratoryjne podejścia fizyko-chemiczne (choć te drugie są dużo bardziej precyzyjne i są niezbędne w procesach dokładnej identyfikacji zagrożeń).

Na szczególną uwagę zasługuje również fakt, że duża sezonowa zmienność fitoplanktonu, który jest dobrym wskaźnikiem wczesnej eutrofizacji, sprawia, że ocena przeżytności zbiornika jest trudna [8]. Fitoplankton, podobnie jak fitobentos, pobiera pierwiastki biogenne bezpośrednio z toni wodnej. Następnie jego część jest filtrowana przez filtratory, do których należą również małże. Stąd metody indykacyjne opierające się na tychże mięczakach mogą w spolegliwy sposób informować o zagrożeniu wczesną eutrofizacją.

## BIOMONITORING

Firma Bionitec została powołana niespełna rok temu z inicjatywy Centrum Transferu Technologii oraz zespołu pomysłodawców, co zostało już wspomniane w artykule „Proces komercjalizacji wyników badań naukowych w świetle doświadczeń Centrum Transferu Technologii UMK sp. z o.o.” zamieszczonym w niniejszym wydaniu czasopisma. Główna idea zastosowania małży z gatunku *Dreissena polymorpha* (Racicznica zmienna) wraz z klasyfikacją wzorców obserwowanych w zachowaniu mięczaków pochodzi od prof. Ryszarda Wiśniewskiego, znanego w Polsce i poza jej granicami hydrobiologa, wieloletniego pracownika Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

Sam fakt zastosowania organizmów żywych, w tym również małży do monitorowania otaczającego środowiska nie jest pomysłem nowym. Wiele rozwiązań powstało dziesiątki lat temu. Większość z nich jednakże zatrzymała się na ówczesnym poziomie zaawansowania technicznego i oferuje do dzisiaj jedynie podstawową funkcjonalność. Polega ona na mierzeniu kąta

rozwarcia muszli i wnioskowaniu o stanie otoczenia na podstawie wyników tego pomiaru.

W najprostszej wersji układ pomiarowy złożony jest z zespołu małży, które są na stałe przytwierdzone do przygotowanego podłoża. Racicznica zmienna należy do gatunków osiadłych, którym nie przeszkadza zjawisko permanentnego unieruchomienia. Często mięczaki te osadzają się na swoich pobratymcach tworząc rozbudowane kolonie. Organizmy tworzą tak gęsty układ, że większość z nich jest praktycznie zmuszona do pozostawania w jednym miejscu. Małż odżywia się pobierając wodę syfonem wpustowym, wychwytyjąc cząstki pożywienia, a następnie usuwając wodę przez syfon wypustowy.

Materia, którą mięczak uzna za wartościową jest trawiona i wchłaniana, zaś cząstki nienadające się do spożycia są zlepiane w większe grudki (pseudofekalia) i usuwane z organizmu wraz z wyrzucaną wodą. Efektem ubocznym tego procesu jest filtracja wody z zawieszin, których cząstki są na tyle małe, by przez długi czas unosić się w toni wodnej. Zjawisko unoszenia się materii jest szczególnie widoczne w tzw. warstwie resuspencyjnej, czyli obszarze mocno uwodnionych osadów bezpośrednio przylegającym do dna eutrofizującego zbiornika. Poprzez działalność filtratorów (organizmów filtrujących) cząstki zawiesziny są spajane w większe grudki, które łatwiej opadają na dno i zbijają się w grunt o większej gęstości niż warstwa resuspencyjna.

W przypadku małży procesowi filtracji towarzyszą skurcze zwieraczy muszli, które objawiają się w ruchach obu kłap. W biomonitoringu umieszcza się na kłapie lub kłapach muszli układ mierzący kąt rozwarcia, dzięki czemu można rejestrować zmiany i dynamikę rozwarcia w czasie. W starszych konstrukcjach stosowano układ metalowych pręcików zmieniających oporność elementu czynnego.

Współcześnie stosuje się układ magnes – hallotron, który może mierzyć zmiany natężenia pola z dużą dokładnością i rozdzielczością w szerokim zakresie. Co więcej konstrukcja tego typu jest odporna na czynniki panujące w zbiornikach wodnych i ma stosunkowo niską zależność temperaturową (większość układów samodzielnie dokonuje kompensacji temperaturowej). Małż pobierając materię unoszącą się w wodzie reaguje na jej skład chemiczny. Ponieważ Dreissena jest gatunkiem eurytopowym, potrafi przetrwać bardzo niekorzystne dla siebie warunki, w tym również znaczne skażenie środowiska wodnego. Z drugiej strony jest czuła na skład wchłanianego pokarmu, co pozwala wykorzystać jej reakcje w biomonitoringu.

Oba wspomniane fakty czynią z Dreisseny bardzo przydatny i dość uniwersalny bioindykator. Eurytopowość zapewnia szeroki zakres stężeń i substancji szkodliwych wykrywanych przez mięczaki. Wrażliwość pokarmowa z kolei umożliwia reakcję nawet na niskie stężenia substancji szkodliwych. Ma ona jeszcze jedno istotne znaczenie.

Dzięki charakterystycznym reakcjom małża można wykryć do jakiej klasy substancji należy zanieczyszczenie oraz w jakiej klasie stężeń wystąpiło. Rzecz jasna, małż nie jest czujnikiem fizyko-chemicznym i jako taki nie daje odpowiedzi porównywalnej nawet w małym stopniu z badaniem laboratoryjnym, czy nawet terenowym. Niemniej jednak biomonitoring posiada dwie podstawowe przewagi. Po pierwsze jest uniwersalny. Jeśli sensor fizyko-chemiczny nie został zaprojektowany do wykrywania określonej substancji, nie będzie na nią reagował podczas funkcjonowania. Organizm żywy został zaprojektowany przez naturę i tym samym reaguje na wszystko, co jest dlań szkodliwe. Z reguły to co szkodzi mięczakom jest również niebezpieczne dla ludzi, przy czym stężenia wykrywane przez małże są na tyle niskie, że reakcje mięczaków można interpretować jako potencjalne zagrożenie, a nie już skażenie.

Po drugie małże mogą funkcjonować w trybie ciągłym i są tanie w pozyskaniu. Zestaw czujników fizyko-chemicznych, który cechowałby się podobną uniwersalnością i czułością oraz mógł pracować w trybie ciągłym jest nieporównywalnie droższy, nie wspominając o konieczności serwisowania i ryzyku kradzieży (małże, w przeciwieństwie do sprzętu pomiarowego, raczej nie są obiektem pożądania nawet zbieraczy złomu, a stacja może zostać uszkodzona jedynie przez niewiedzę rabusia). Co istotne małże są na tyle złożonym organizmem (np. w porównaniu z bakteriami), że posiadają cały wachlarz reakcji specyficznych, co pozwala na oznakowanie klas substancji i ich stężeń, a z drugiej strony na tyle prostym (np. w porównaniu z rybami), że mogą funkcjonować praktycznie bez opieki człowieka.

## KOMERCJALIZACJA WYNIKÓW BADAŃ NAUKOWYCH

Jak już wspomniano, wykorzystanie reakcji małży do wnioskowania o czystości wody nie jest pomysłem nowym. Stosuje się je w wybranych stacjach ujęcia wody, oczyszczalniach, rzekach i jeziorach. Mimo to zdecydowana większość tych rozwiązań działa w zasadzie dwustanowo, czyli albo wskazuje na brak zagrożenia, albo na jego występowanie. W pierwszym przypadku poszczególne osobniki mają rozchylone muszle w różnym stopniu i poruszają nimi, co jest charakterystyczne dla ich aktywności życiowej.

Gdy natomiast wszystkie lub prawie wszystkie muszle zostaną zamknięte, sytuacja ta jest interpretowana jako zagrożenie (występuje u małży stres). Najgorszym stanem jest całkowite rozwarcie muszli i brak jakiegokolwiek ruchu u większości lub wszystkich osobników. Taka sytuacja oznacza śmierć mięczaków spowodowaną prawdopodobnie wysokim i śmiertelnie groźnym dla człowieka skażeniem wody.

Twórcy rozwiązań biomonitoringowych czasem dodają stany mieszane, czyli informują o potencjalnym, bliżej nieokreślonym zagrożeniu, jeśli większość małży zamknie muszle. Problem w tym, że małże mogą ulec wielu różnym czynnikom stresującym, niekoniecznie o charakterze chemicznym. Jednym z przykładów może być hałas wywołany przez pojazd motorowy, aktywność ludzi albo wiosła uderzające o powierzchnię wody. Małże reagują również na gwałtowne zmiany oświetlenia, temperatury, wahań pH, a także wiele innych bodźców. Stąd funkcjonowanie biomonitoringu w sposób dwustanowy jest dość niejednoznaczne i często omyłkowe (fałszywe alarmy).

Idea założycieli firmy Bionitec odróżnia się od wyżej opisanego podejścia. Pierwszym z wyróżników jest zastosowanie odpowiednio licznej kolonii małży, aby ich reakcje miały znaczenie statystyczne. Poza tym zawsze pewna część osobników może obumrzeć, co nie powinno mieć większego znaczenia, o ile ta część jest odpowiednio mała w porównaniu z całą grupą.

W wielu dotychczasowych rozwiązaniach zastosowano 8-10 osobników. Dla porównania w urządzeniach Bionitecu znajduje się ich co najmniej 50. Drugim wyróżnikiem jest podejście do zarejestrowanych danych. Najpierw w odpowiednio wyposażonym laboratorium przeprowadza się badania na dużej grupie osobniczej (ok. 1000 sztuk), jak reagują mięczaki na

poszczególne bodźce chemiczne, inne bodźce fizyczne oraz jak zachowują się przy braku tychże bodźców. Zarejestrowane szeregi czasowe poddaje się następnie filtrowaniu i zaawansowanej analizie danych. Stosuje się między innymi metody oparte na DWT (Discrete Wavelet Transform) oraz klasyfikatory k-NN (k-Nearest Neighbours), SRDA (Spectral Regression Discriminant Analysis) i FDA (Fisher Discriminant Analysis). Podejście to zostało z sukcesem zastosowane po raz pierwszy przez zespół R. Wiśniewskiego, P. Przymusa i K. Rykaczewskiego [9] [10].

Ze względu na bardzo dużą ilość rejestrowanych danych, w rozwiązaniu zastosowano techniki z zakresu przetwarzania dużych zbiorów danych (big data) w czasie rzeczywistym, wykorzystujące możliwości specjalizowanych procesorów obliczeniowych GPGPU (architektura stosowana m.in. w najsilniejszych na świecie superkomputerach). Wykryte wzorce są wskaźnikami określającymi najbardziej prawdopodobny rodzaj skażenia oraz klasę jego intensywności (szczegóły ustala się później w wyniku toksykologicznego badania laboratoryjnego).

W przypadku wykrycia zagrożenia do uprawnionych osób lub organów kierowany jest odpowiedni komunikat lub informacja alarmowa. Rozwiązanie może również podejmować autonomiczne decyzje, np. o tymczasowym odcięciu ujęcia wody pitnej (funkcjonalność ta jest ustalana w trakcie realizacji zlecenia). Interesującym rozszerzeniem jest możliwość publicznego śledzenia aktywności biosensorów na stronie internetowej zarządcy zbiornika lub instytucji terenowej (np. urzędu gminy, starostwa powiatowego, urzędu wojewódzkiego lub marszałkowskiego). Informacje są wyświetlane za pomocą wtyczki graficznej prezentującej wyniki aktualnie prowadzonych analiz sygnałów (wyniki pobierane są bezpośrednio z centrum analiz).

Wyniki prac badawczych zostały następnie skomercjalizowane przez firmę Bionitec Sp. z o.o. do której również należy zgłoszenie patentowe nr 409697. Pierwsze produkty z nowej linii trafiają na rynek w połowie roku 2016.

## BIBLIOGRAFIA

1. Traczewska TM. Biologiczne metody oceny skażenia środowiska. Wyd. 1 Wrocław: OWPW; 2011: 19-21, 15-17) ISBN 978-83-7493-597-5.
2. Giedrys K, Kądziałowski G, Krasnowska K, Krawczyk J, Purski P, Szymczakowska E, et al. Woda – palący problem. Warszawa. Fundacja Energia dla Europy, <http://fedo.org.pl/wp-content/uploads/2013/01/raport-07.pdf> [cytowano 2013-01]
3. Frankowski Z, Gałkowski P, Mitrega J. Struktura poboru wód podziemnych w Polsce. Wyd. 1 Warszawa: PIG; 2009: ss.162; ISBN 978-83-7538-450-5
4. Choiński A. Katalog jezior Polski. Wyd. 1 Poznań: WN UAM; 2006; ISBN 83-232-1732-7.
5. Miller WE, Peterson SA, Greene JC, Callahan CA. Comparative toxicology laboratory organism for assessing hazardous waste sites. Environ Quality 1985; 14(4):569-574.
6. Ilnicki P. Przyczyny, źródła i przebieg eutrofizacji wód powierzchniowych. Przegląd Komunalny 2002; 2:35-49.
7. Błaszczak A, Mazur-Marzec H. BMAA i inne neurotoksyny cyjanobakterii. Polish Hyperbaric Research. 2006; 4(17):7-14.
8. Soszka H. Problemy metodyczne związane z oceną stopnia eutrofizacji jezior na potrzeby wyznaczania stref wrażliwych na azotany. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie 2009; t. 9 z. 1 (25):151-159.
9. Przymus P, Rykaczewski K., Wiśniewski R. Zebra mussels' behaviour detection, extraction and classification using wavelets and kernel methods. Future Generation Computer Systems 2014; 33:81-89.
10. Przymus P, Rykaczewski K, Wiśniewski R. Application of Wavelets and Kernel Methods to Detection and Extraction of Behaviours of Freshwater Mussels. Future Generation Information Technology. Third International Conference, FGIT 2011 in Conjunction with GDC 2011 Jeju Island, Korea, December 8-10, 2011 Proceedings. 1th edition Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2011: 43-54 ISBN: 978-3-642-27141-0.

**mgr Piotr Matuszak**

Bionitec Sp. z o.o.,

ul. Gagarina 5

87-100 Toruń,

e-mail: [piotr.matuszak@bionitec.pl](mailto:piotr.matuszak@bionitec.pl)