KOSMOS
PROBLEMY NAUK BIOLOGICZNYCH

Tom 61 2012
Numer 3 (296)
Strony 381–392

Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika

PIOTR ŁASZCZYCA, JACEK FRANCIKOWSKI, JOANNA GUZIK, ALDONA NIKIEL, MARCIN KŁOSOK, KATARZYNA MICHALCZYK, MARIA AUGUSTYNIAK, PAWEŁ MIGULA

Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Biologii i Ochrony Środowiska
Katedra Fizjologii Zwierząt i Ekotoksykologii
Bankowa 9, 40-007 Katowice
E-mail: piotr.laszczyca@us.edu.pl

PRZYDATNOŚĆ BIOTESTÓW EKOTOKSYKOLOGICZNYCH DO OCENY STANU BIOLOGICZNEGO WÓD NA PRZYKŁADZIE ZBIORNIKA ZAPOROWEGO W GOCZAŁKOWICACH

ZASOBY WODNE POLSKI – ZBYT MAŁE I WRAŻLIWE NA STRESORY ŚRODOWISKOWE

Odpływ wód powierzchniowych z terytorium Polski wynosi średnio ok. 62 km^3 rok^{-1}. W zależności od warunków pogodowych wartość ta waha się między 37,6 $km^3 \cdot rok^{-1}$ w latach posusznych (np. rok 1954) a 90 $km^3 \cdot rok^{-1}$w latach z dużą ilością opadów. Średni roczny odpływ Wisłą wynosi ok. 30,7 km^3, Odrą – 16,5 km^3, zaś pozostałość wód odprowadzana jest przez rzeki pomorskie, Niemen i Dniestr. Dodatkowym rezerwuarem wód jest w Polsce 9300 jezior o powierzchni większej niż 1 ha, które mają łączną pojemność szacowaną na 17,4 km^2. Wielkości te, zarówno w przeliczeniu na jednostkę powierzchni kraju, jak i na jednego mieszkańca, plasują Polskę na 26 pozycji wśród państw Europy, która dysponuje łącznymi zasobami wody szacowanymi na średnio 3500 $km^3 \cdot rok^{-1}$ (EWR 2008).

Uwzględniając zachowanie przepływu biologicznego w rzekach, szybkie, niekontrolowane spływy w okresach wezbrań, lokalne potrzeby i inne ograniczenia, z całości odpływających wód powierzchniowych pobiera się w Europie do celów użytkowych ok. 10% (zależnie od źródła danych i badanego okresu – 285–350 $km^3 \cdot rok^{-1}$). Polska eksploatuje niespełna 20% średniego odpływu powierzchniowego, co wraz z pobieranymi podziemnymi wodami głębinowymi (ok. 15% całości poboru) odpowiadało 14 km^3 w 1990 r., 12 km^2 w 1995 r. i 11 km^2 w roku 2004. Ocenia się, że pobór wody można zwiększyć do 22 $km^3 \cdot rok^{-1}$, co odpowiadałoby 1500–1600 $m^3 \cdot$ mieszkańca$^{-1} \cdot rok^{-1}$. Odpowiednie oszacowania dla mieszkańca Europy dają średnio 4560 $m^3 \cdot rok^{-1}$ (KOŁODZIEJ 2008, MIODUSZEWSKI i PIERZGALSKI 2009, DWOE 2011).

Dostępne zasoby wód powierzchniowych powstają jako różnica opadu atmosferycznego i ewapotranspiracji (parowania z powierzchni gleby i parowania z roślinności). Bilans tych wartości jest zróżnicowany na terenie Polski; w pasie równin centralnych odpływ powierzchniowy może być równy zero, a nawet w wybranych okresach roku ujemny, podczas gdy okolice pojezierzy i pogórza oraz gór wykazują nadwyżkę opadów nad parowaniem odpowiadającą od 250 do 1600 mm słupa wody (równoważne dm^3 m^{-2} rok^{-1}; dane IMGW 2008). Największa część odpływu wód powierzchniowych występuje w paśmie Sudetów i Karpat, co oznacza, że rozmieszczenie zasobów wód powierzchniowych w Polsce jest bardzo nierównomierne. Racjonalną gospodarkę tymi zasobami umożliwiają zbiorniki retencyjne, które gromadzą ok. 4 km^3 wody. Istniejące i planowane obiekty małej retencji wód mogą wnieść

dodatkowo ok. 1 km^3 wody, rozproszony na całej powierzchni kraju i nie mający bezpośredniej wartości użytkowej.

Przytoczone oszacowania świadczą o tym, że dbałość o zasoby wodne Polski jest koniecznością. Fakt ten podkreślany jest przez powszechnie znane następstwa wielkich powodzi mających miejsce w ostatnich latach, dramatyczne posuchy, jak ta w 1992 r., i wysoce prawdopodobne zmiany klimatyczne związane z globalnym ociepleniem. Sytuację pogarsza zły stan czystości powierzchniowych wód Polski. Trzeba podkreślić, że utrzymanie dobrej jakości wód powierzchniowych w Polsce, już z samych tylko przyczyn hydrologicznych, jest znacznie trudniejsze niż w wielu bardziej zasobnych w wodę i finanse krajach Europy.

Uchwalona przez Parlament Europejski Ramowa Dyrektywa Wodna (DYREKTYWA 2000) wskazuje cele polityki i gospodarki wodnej w krajach Unii Europejskiej, w pełni zgodne z potrzebami Polski. Nakłada też na państwa członkowskie obowiązek osiągnięcia do 2015 r. poprawy stanu powierzchniowych wód sztucznych i silnie zmienionych pod względem stanu chemicznego, stanu ekologicznego i redukcji zanieczyszczeń niebezpiecznych i priorytetowych.

ZAPOROWY ZBIORNIK GOCZAŁKOWICKI — MODEL ZASOBÓW WODNYCH ORAZ PROBLEMÓW Z NIMI ZWIĄZANYCH

Zaporowy Zbiornik Goczałkowicki jest piątym co do wielkości zbiornikiem zaporowym kraju, wśród ok. 100 zbiorników zaporowych gromadzących więcej niż 1 hm^3 wody i ok. 170 zbiorników zaporowych ogółem (Tabela 1). Jego pojemność całkowita stanowi ok. 0,27% całkowitego odpływu wód powierzchniowych w Polsce. W ciągu roku przepływa przezeń średnio ok. 230 hm^3 wody (w okresie 1964–2010), lecz w ekstremalnym pod tym względem 2010 r. przepływ wynosił 427 hm^3, zaś najniższy — tylko 125,9 hm^3, zanotowany w 1984 r. Charakterystyczne jest to, że najniższe przepływy zdarzały się co 9 i 11 lat (1964, 1973, 1984, 1993, 2003). Pamiętać też należy, że Zbiornik zbudowany jest w górnym biegu Wisły, gdzie ilość wody niesionej przez rzekę jest stosunkowo niewielka, a znaczące dopływy: Soła, Przemsza, Skawa, Raba i Dunajec uchodzą do Wisły znacznie poniżej.

Zbiornik Goczałkowicki odgrywa istotną rolę w zabezpieczeniu wody na potrzeby 69 gmin Górnego Śląska, zamieszkiwanych przez blisko 3 miliony ludzi. Można ocenić, że w warunkach maksymalnego dopuszczonego poboru wody przez zakład uzdatniania, zgromadzony zasób wody byłby wystarczający na ok. 200 dni lub pokrywałby zapotrzebowanie 3 mln osób (ok. 150 l wody dziennie na osobę) przez ponad 300 dni. Obecnie więcej niż połowa z ponad 80 mln m^3 rocznej produkcji wody na potrzeby Śląska jest pobierana ze zbiorników kaskady Soły. Uzdatnianie ma jednak miejsce w dwóch położonych przy Zbiorniku zakładach uzdatniania wody. Stosowane tu nowoczesne technologie pozwalają uzyskać wysokiej jakości wodę pitną praktycznie z każdego surowca. Warto dodać, że jakość wody produkowanej przez Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągowe SA jest bardzo wysoka, o czym może się przekonać każ-

Tabela 1. Zapora i Zbiornik Goczałkowicki — dane charakterystyczne.

powierzchnia	32	km^2
długość	12,5	km
średnia szerokość	2,5	km
długość zapory czołowej	2,98	km
długość zapory bocznej	10,8	km
całkowita pojemność	165 600 000	m^3
pojemność wyrównawcza, jako użytkowa dla zaopatrzenia w wodę	105 600 000	m^3
rezerwa powodziowa stała	45 400 000	m^3
data zakończenia budowy i napełnienia	rok 1956	

Dane: Zarząd Zapory w Goczałkowicach, Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. w Katowicach

Tabela 2. Źródła zasilania Zbiornika Goczałkowickiego.

Wisła Mała	82%	192,2 $hm^3 \cdot rok^{-1}$
potok Bajerka – młynówka – odnoga Wisły i jej zlewnia	4%	9,4 $hm^3 \cdot rok^{-1}$
odwodnienie obszarów depresyjnych na zachód i na południe od Zbiornika	10%	23,4 $hm^3 \cdot rok^{-1}$
inne	4%	9,4 $hm^3 \cdot rok^{-1}$
razem		234,4 $hm^3 \cdot rok^{-1}$

Źródło: Wyznaczenie na obszarze działania Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach wód wrażliwych oraz obszarów szczególnie narażonych na zanieczyszczenia związkami azotu ze źródeł rolniczych wraz z opracowaniem projektów programów działań dla tych obszarów, RS-EKO, Kraków 2007, zmodyfikowane – dzięki uprzejmości dr D. Panasiuka, NILU Polska (2011) – zmodyfikowano.

da osoba przybywająca na Śląsk z innych, dużych miast Polski. Zgodnie z oszacowaniami ekonomicznymi, koszty pochodzące z technicznych czynności uzdatniania nie są przy tym decydującym składnikiem ogólnych kosztów produkcji i dystrybucji wody użytkowej.

Oprócz zaopatrzenia w wodę Zbiornik Goczałkowicki pełni także inne funkcje. Podstawową jest funkcja przeciwpowodziowa i ściśle z nią związana funkcja zapewnienia minimalnego przepływu w Wiśle poniżej zapory. Funkcję przeciwpowodziową Zbiornik wypełnił już wielokrotnie, po raz pierwszy podczas powodzi w 1958 r., gdy zanotowano największy przepływ chwilowy, a ostatnio w maju 2010 r., gdy przechwycił największą jak dotychczas falę powodziową, ocenianą jako „woda dwustuletnia".

Wisła, nazywana w tym fragmencie swojego biegu Wisłą Małą, stanowi główne źródło zasilania Zbiornika Goczałkowickiego. W ogólnym bilansie mniejsze znaczenie mają drobne, lokalne dopływy (Tabela 2).

W górnym biegu Wisły, powyżej Zbiornika, leżą duże miasta i zarazem ośrodki turystyczne: Wisła, Ustroń i Skoczów, a cały obszar zlewni Zbiornika zamieszkiwany jest przez ok. 96 tysięcy mieszkańców. Korzystają oni głównie z wody niesionej przez Wisłę Małą przed jej ujściem do Zbiornika Goczałkowickiego, przy czym tylko 58% odbiorców dysponuje kanalizacją, a 75% odprowadzanych ścieków podlega oczyszczaniu (analizy dr D. Panasiuka, NILU Polska). Nie bez znaczenia dla jakości wód jest fakt, że wskaźnik Schindlera (SI = iloraz powierzchni zlewni i zbiornika do objętości zbiornika) w zależności od poziomu piętrzenia waha się w przypadku Zbiornika Goczałkowickiego w granicach od 3,24 do 5,93. Świadczy to (SI > 2) o umiarkowanej podatności na zanieczyszczenia i eutrofizację wywołaną spływami ze zlewni.

Zbiornik Goczałkowicki w znacznej części znalazł się na Obszarze Specjalnej Ochrony Ptaków Natura 2000 o nazwie „Dolina Górnej Wisły", który został wyznaczony w związku z wypełnieniem zobowiązań Polski wynikających z Dyrektywy Rady w sprawie dziko żyjących ptaków (kod obszaru PLB240001; Rozp. MŚ z dnia 21 lipca 2004r., w sprawie obszarów specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 oraz na podstawie Dz.U. 2004 Nr 92 poz. 880 o ochronie przyrody). Obszar ma powierzchnię 24740,2 ha. W okresie ustanawiania obszaru Natura 2000, w związku z obniżeniem poziomu piętrzenia na czas remontu zapory, odsłonięte płycizny Zbiornika stały się miejscem bytowania i lęgów 160 gatunków ptaków. Po powrocie do normalnego stanu eksploatacji Zbiornika i piętrzenia wód, zasiedlenie Zbiornika przez ptaki zmniejszyło się bardzo wyraźnie i zgodnie z aktualnymi analizami zespołów badawczych Instytutu Ochrony Przyrody w Krakowie wykazano stałą lub okresową (przeloty) obecność 86 gatunków ptaków (materiały wewnętrzne projektu ZiZOZap). Niezależnie od okresowych wahań, Zbiornik Goczałkowicki od momentu powstania był istotnym elementem wzbogacającym bioróżnorodność i stanowiącym ostoję dla licznych gatunków ptaków i innych grup zwierząt.

Wszystkie wymienione aspekty działania Zbiornika wiążą się z utrzymaniem wymaganej przez Ramową Dyrektywę Wodną, wysokiej jakości wód i środowiska pod względem chemicznym, mikrobiologicznym i ekologicznym. Cele te muszą być przy tym uzyskane w warunkach zachowania dwóch dominujących funkcji Zbiornika: przeciwpowodziowej i gromadzenia wody dla Śląska.

Zakres wskaźników, które muszą być analizowane oraz terminarz i metodyka badań jest ściśle określony przez Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 maja 2009 r.

w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych (Dz.U. 2009 nr 81 poz. 685). Zgodnie z jego treścią, systematycznie, z określoną częstością (od 12 razy na rok do raz na kilka lat) badane ma być 21 grup wskaźników biocentycznych (opisujących stan fitoplanktonu, fitobentosu, makrofitów oraz makroglonów, zoobentosu i ichtiofauny), 20 grup wskaźników hydrologicznych oraz 91 głównych wskaźników chemicznych. 55 z obligatoryjnie monitorowanych substancji chemicznych jest silnymi truciznami występującymi w antropogenicznych zanieczyszczeniach środowiska.

Nowoczesne ujęcie zagadnienia jakości wód wymaga uzupełnienia o propozycję Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) dotyczącą włączenia do dyrektywy 98/83WE obowiązku wdrażania tzw. planów bezpieczeństwa wody (ang. water safety plans). Plany te nakładają na instytucjonalnych dostawców wody obowiązek monitorowania bezpieczeństwa toksykologicznego wody od dostawcy do konsumenta.

PROJEKT ZiZOZap — PRÓBA ROZWIĄZANIA PROBLEMÓW

W odpowiedzi na wymagania Ramowej Dyrektywy Wodnej powstał projekt „Zintegrowany System Wspomagający Zarządzaniem i Ochroną Zbiornika Zaporowego" — ZiZOZap. Jest on realizowany w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka w latach 2010–2014. Ogólnym celem projektu ZiZOZap jest rozwiązanie problemu obniżania się potencjału ekologicznego i funkcjonalnego zbiorników retencyjnych w wyniku ich starzenia oraz presji stwarzanych przez gospodarkę w obszarze zlewni. W konsekwencji zaś racjonalizacja zarządzania zbiornikami zaporowymi. Cel ten ma zostać osiągnięty przez stworzenie systemu modeli cyfrowych zbiornika zaporowego, które pozwolą powiązać jego funkcje i przewidywać stan Zbiornika i środowiska, dla których obiektem modelowym jest właśnie Zbiornik Zaporowy w Goczałkowicach. Produktem końcowym projektu będzie system informacyjny (bazujący na monitoringu, zintegrowanych modelach i szczegółowych scenariuszach działań) ułatwiający bieżącą ocenę stanu Zbiornika, prognozowanie krótko- i długoterminowych zmian oraz podejmowanie racjonalnych decyzji w zakresie ochrony, utrzymania i zarządzania zbiornikiem. Efektem projektu będzie poprawa zabezpieczenia zasobów Zbiornika jako źródła wody pitnej dla ludności Śląska oraz dla podmiotów gospodarczych, minimalizacja kosztów uzdatniania wody, ochrona przed skutkami suszy i/lub powodzi, utrzymanie walorów przyrodniczych oraz gospodarki rybackiej Zbiornika, a także określenie możliwości wykorzystania Zbiornika do celów rekreacyjnych.

Ta część projektu odwołuje się do funkcjonujących na świecie cyfrowych modeli zbiorników wodnych, takich jak SWAT (ang. Soil and Water Assessment Tool), WASP (ang. Water Quality Analysis Simulation Program), CAEDYM (ang. Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model), DYRIM (ang. Dynamic River Model), DYRESM (ang. DYnamic REServoir Simulation Model), ELCOM (ang. Estuary and Lake Computer Model). Znalazły one praktyczne zastosowania w zarządzaniu licznymi zbiornikami wodnymi na świecie (HANNOUN i współaut. 2006, SALORANTA 2006, GAL i współaut. 2009).

W ciągu trzech pierwszych lat, działania projektu koncentrują się na monitoringu Zbiornika i jego zlewni. Badania wykonują specjaliści z zakresu inżynierii wodnej, hydrologii, meteorologii, fizyki, biologii, informatyki i ekonomii. Instytucjonalnym koordynatorem Projektu jest Uniwersytet Śląski w Katowicach, który współdziała z Politechniką Krakowską, Instytutem Ekologii Terenów Uprzemysłowionych oraz Instytutem Podstaw Inżynierii Środowiska PAN. Partnerami strategicznymi projektu są Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągowe S.A. oraz Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Gliwicach. Część zadań jest realizowana we współpracy z partnerami naukowymi: Norweskim Instytutem Badań Powietrza (NILU Polska), Instytutem Ochrony Przyrody PAN, Zakładem Doświadczalnym Gospodarki Stawowej PAN oraz Zakładem Ichtiobiologii i Gospodarki Rybackiej PAN w Gołyszu. Partnerem Projektu jest także Ecoclima Serwis S.J. w zakresie monitoringu warunków meteorologicznych.

Badania i ocena stanu ekologicznego zbiorników wodnych opiera się na określeniu składu taksonomicznego, liczebności i bioma-

sy kluczowych grup organizmów wodnych: fitoplanktonu, zooplanktonu, roślinności podwodnej oraz wynurzonej, bezkręgowców dennych i ryb. Na podstawie uzyskanych danych wyznacza się syntetyczne wskaźniki jakości wód i środowiska, do których należą adaptowane w poszczególnych krajach Indeksy Biotyczne (np. Trent Biotic Index, TBI; Chandler Biotic Score, Polski Indeks Biotyczny; Jeziorowy Indeks Rybny, LFI; Europejski Indeks Rybny, EFI, i inne) (GORZEL i KORNIJÓW 2004, BIAŁOKOZ 2005, BOCIAN i współaut. 2005, DĘBOWSKI i BOCIAN 2005).

Cechą charakterystyczną tych metod jest duża czasochłonność i pracochłonność oraz długi czas odpowiedzi badanego systemu na zmiany środowiskowe. Niebagatelnym czynnikiem jest też wymóg wysokich kwalifikacji systematycznych i ekologicznych badacza. Jako postęp w stosunku do tego typu badań w ciągu ostatnich lat rozwijane są metody oparte o komercyjne bioekotesty/mikrobiotesty. Pozwalają one na szybką ocenę potencjalnie niekorzystnych warunków środowiskowych, w szczególności pod względem ekotoksykologicznym, i mogą być używane jako szybkie testy przesiewowe dla oznaczenia toksyczności wód i osadów dennych.

STANDARYZOWANE TESTY EKOTOKSYKOLOGICZNE – NOWE NARZĘDZIE W KONTROLI STANU WÓD

Testy ekotoksykologiczne tego typu oparte są na założeniu, że reakcja na czynniki szkodliwe wybranego organizmu wskaźnikowego odpowiada reakcjom większości organizmów w badanym typie ekosystemów/środowisk. Stwierdzenie, że materiał (np. woda lub osady) pobrany z badanego środowiska upośledza reakcje i funkcje życiowe testowego organizmu wskazuje, że w środowisku tym pojawił się czynnik szkodliwy (lub zespół czynników), który może wywierać swoje działanie na naturalnie występujące tam organizmy, a także na człowieka. W zależności od czasu trwania testu względem długości cyklu życiowego organizmu testowego biotesty dzieli się na ostre, subchroniczne i chroniczne. Oczywiście nie jest możliwa identyfikacja szkodliwego czynnika, ale dobór odpowiedniego zestawu testów ekotoksykologicznych pozwala, dzięki ich technicznej prostocie i stosunkowo niskiej cenie, uniknąć czaso- i kosztochłonnych analiz fizycznych i chemicznych w sytuacji, gdy biotesty wykazują, że „nic się nie dzieje".

Ze względu na zalety biotesty są ciągle rozwijane i certyfikowane zgodnie z normami unijnymi i międzynarodowymi (JENNER i współaut. 1989, KRAMER i współaut. 1989, TRACZEWSKA 2008). Zarówno ze względów etycznych jak i praktycznych jako organizmy wskaźnikowe wykorzystywane są mikroorganizmy, drobne rośliny lub drobne bezkręgowce, cechujące się szybkimi cyklami rozwojowymi i posiadaniem faz przetrwalnych (Tabela 3–4).

Tabela 3. Lista grup typowych organizmów służących jako organizmy bioindykacyjne.

Grupa	Gatunki
Zielenice	*Scenedesmus subspicatus*, *Selenastrum capricornutum*, *Chlorella vulgaris*
Okrzemki	*Skelotonema costatum*, *Phaeodactylum tricornutum*
Wodne rośliny naczyniowe	*Lemna minor*, *Lemna gibba*
Orzęski	*Tetrahymena thermophila*
Wrotki	*Brachionus calyciflorus*
Drobne skorupiaki słodkowodne i morskie	*Acartia tonsa*, *Artemia franciscana*, *Tisbe battagliai*, *Nitocra spinipes*, *Daphnia magna*, *Thamnocephalus platyurus*, *Heterocypris incongruens*
Larwy muchówek	*Chironomus tentans*, *Chironomus riparius*
Dżdżownice	*Eisenia fetida*
Wazonkowce	*Enchytraeus* sp.
Ryby	*Brachydanio rerio*, *Cypriunus Carpio*, *Salmo trutta*, *Oncorhynchus mykiss*

Źródło: NAMIEŚNIK i SZEFER 2010.

Tabela 4. Lista komercyjnych mikrobiotestów dostępnych i stosowanych w Polsce.

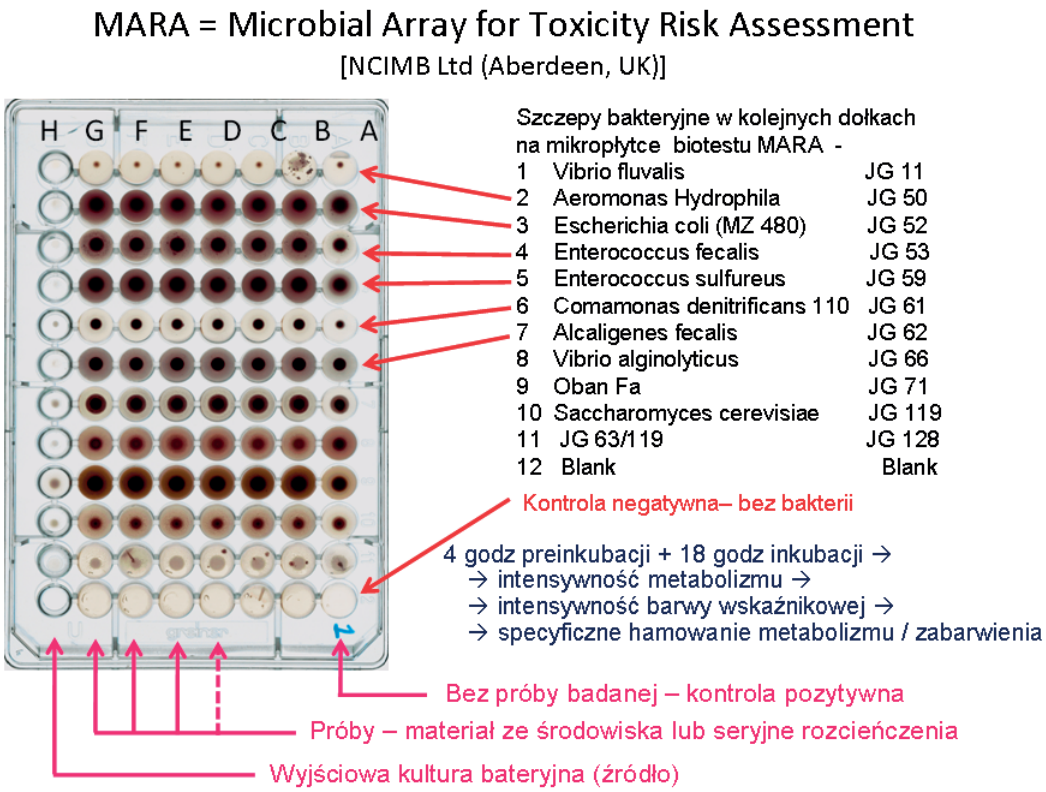
Biotesty ostre, subchroniczne i chroniczne		
AAP (Algal Assay Procedure Bottle test)	standardowy ostry test toksyczności wg EPA (US)	glony *Selenastrum*, *Chlorella*, *Anabaena*, *Microcystis*
MICROTOX*	ostry test toksyczności	bakterie chemoluminescecyjne *Vibrio fischeri*
ALGALTOXKIT F*	mikrobiotest toksyczności chronicznej	zielenice *Selenastrum capricornutum*
DAPHTOXKIT F*	mikrobiotest toksyczności ostrej	skorupiaki: *Daphnia magna* lub *Daphnia pulex*
CERIODAPHTOXKIT F*	mikrobiotest toksyczności ostrej	skorupiaki: *Ceriodaphnia dubia*
THAMNOTOXKIT F* i RAPIDTOXKIT*	mikrobiotest toksyczności ostrej	skorupiaki: *Thamnocephalus platyurus*
ROTOXKIT F i M *Short--chronic** / *Acute**	mikrobiotest toksyczności ostrej dla wód słonych i słodkich	wrotki *Brachionus calyciflorus*
PROTOXKIT F*/ F *Chronic**	mikrobiotest toksyczności chronicznej	rzęski *Tetrahymena thermophila*
OSTRACODTOXKIT F *Chronic**	mikrobiotest toksyczności chronicznej osadów	skorupiak *Heterocypris incongruens*
PHYTOTOXKIT* i PHYTOTESTKIT*	mikrobiotesty fitotoksyczności	siewki sorgo *Sorghum sacharatum*, rukwi *Lepidium sativum*, gorczycy *Sinapis alba*
ARTOXKIT M*	mikrobiotest toksyczności ostrej wód słonych	skorupiak *Artemia franciscana*, dawniej *Artemia salina*
MARINE ALGALTOXKIT*	mikrobiotest toksyczności chronicznej wód słonych	okrzemki *Phaeodactylum tricornutum*
Mikrobiologiczny test ostry		
MARA (Microbial Array for toxic Risc Assesment)**	mikrobiologiczny szybki test ogólnej toksyczności	szczepy mikrorganizmów: *Vibrio fluvalis, Aeromonas hydrophila, Escherichia coli, Enterococcus fecalis, Enterococcus sulfureus, Comamonas denitrificans, Alcaligenes fecalis, Vibrio alginolyticus, Oban Fa, Saccharomyces cerevisiae*
Testy ciągłe oparte na śledzeniu czynności fizjologicznych organizmów bioindykacyjnych		
System biomonitoringu SYMBIO***	system ciągłej obserwacji reakcji otwierania muszli przez małże	małże *Unio tumidus*
Automatyczny Biodetektor Toksyczności Ogólnej Wody (ABTOW) ****	ciągły przepływowy analizator toksyczności	zespoły baterii nitryfikujących osadzone w biofilmie i sprzężone z sensorami elektronicznymi mierzącymi tempo zużycia tlenu

Objaśnienia: *producent: MicroBioTests Inc. Belgium; **producent: NCIMB Ltd, Aberdeen, United Kingdom; ***producent: firma PROTE, Poznań, ****w fazie wdrożeniowej (WOŹNICA i współaut. 2011).

BIOTESTY W MONITORINGU ZBIORNIKA GOCZAŁKOWICKIEGO – WDROŻENIE NOWYCH METOD

W pierwszym roku trwania projektu ZiZOZap, obok analiz biochemicznych i fizjologicznych w materiale ze zwierząt bezkręgowych odławianych w środowisku, wdrożono badania z użyciem mikrobiotestów. Zastosowano testy MARA (ang. Microbial Assay for Risk Assessment) (Ryc. 1); Daphtoxkit F *magna*, Ostracodtoxkit F i Algaltoxkit F.

Test MARA bazuje na kolorymetrycznym pomiarze hamowania metabolizmu dziesię-



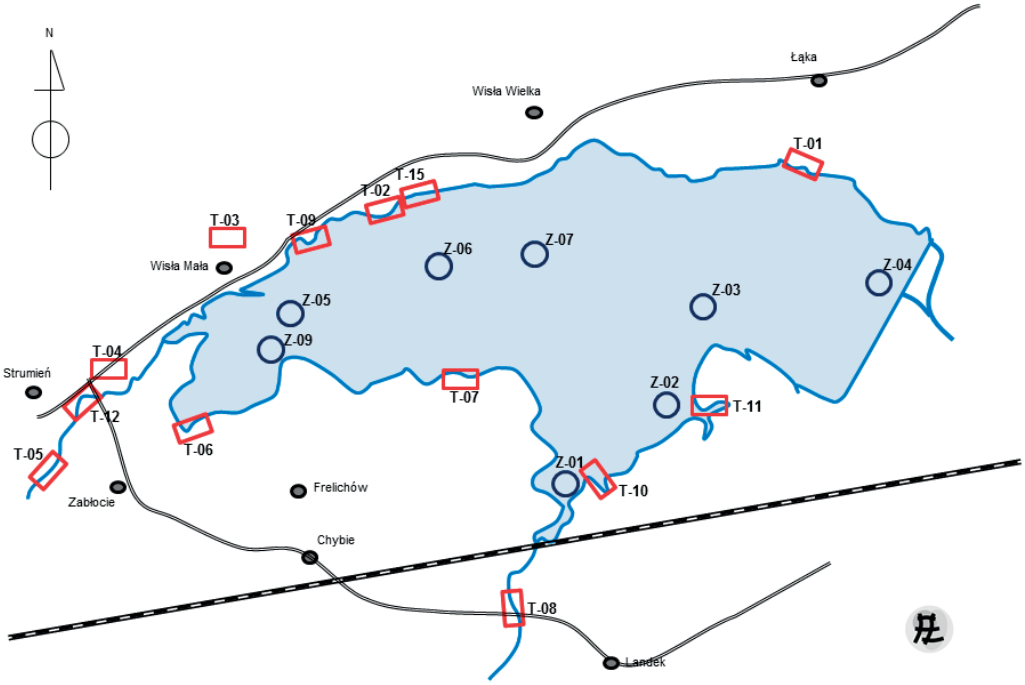
Ryc. 1. Obraz płytki testowej MARA (ang. Microbial Assay for Risk Assessment) z opisem rozmieszczenia szczepów organizmów testowych.

ciu szczepów bakterii oraz jednego szczepu drożdży przez toksyny zawarte w próbie wody lub wodnego wyciągu z materiału środowiskowego. Organizmy testowe hoduje się przez 18 godzin w standardowych warunkach na 96-dołkowej mikropłytce. Umożliwia to równoczesne badanie wielu próbek albo, alternatywnie, ocenę dawek skutecznych lub toksycznych EC50/LC50. Produkty metabolizmu testowych mikroorganizmów wywołują reakcję barwną o nasileniu proporcjonalnym do nasilenia metabolizmu. Wzór hamowania metabolizmu poszczególnych szczepów mikroorganizmów (ang. fingerprint, FIP) przez zawarte w próbach toksyny pozwala na przybliżone ilościowe i jakościowe scharakteryzowanie rodzaju zagrożenia (GABRIELSON i współaut. 2002, NAŁĘCZ-JAWECKI i współaut. 2008). System jest zalecany do stosowania w celu realizacji wskazań Ramowej Dyrektywy Wodnej (WADHIA i współaut. 2007).

Mikrobiotest Daphtoxkit F *magna* wykorzystuje jako organizm testowy standardowy szczep rozwielitki *Daphnia magna*. W teście, w standardowej hodowli, obserwuje się przez 24 (wg OECD) i 48 godzin (wg EPA) unieruchomienie lub śmiertelność rozwielitek pod działaniem badanej próbki wody. Test jest stosowany dla rutynowych badań przesiewowych próbek środowiskowych lub roztworów substancji chemicznych (PALMA i współaut. 2008) i jest zgodny z protokołami opisanymi przez OECD i ISO.

Mikrobiotest Ostracodtoxkit F służy do badania toksyczności osadów na podstawie reakcji drobnych skorupiaków, małżoraczków *Heterocypris incongruens*. Zwierzęta inkubowane są w obecności ekstraktu z materiału środowiskowego (osadów). W ciągu 6 dni obserwacji, w standardowych warunkach oceniana jest śmiertelność i tempo wzrastania (hamowanie wzrastania) organizmów testowych.

Mikrobiotest Algaltoxkit F polega na 72-godzinnej obserwacji tempa rozmnażania jednokomórkowych zielenic *Selenastrum capricornutum* w próbach badanej wody. Stopień hamowania wzrostu jest wskaźnikiem fitotoksyczności. Algaltoxkit F jest traktowany jako rutynowy test przesiewowy toksycz-



Ryc. 2. Zbiornik Goczałkowicki — położenie punktów poboru materiału, wody i osądów dennych, do badań mikrobiotestami. Z-01–Z-07 — punkty w toni Zbiornika, T-01–T-08 — punkty brzegowe i na dopływach (materiały sprawozdawcze projektu ZiZOZap).

ności chemicznej wód zgodny z zaleceniami OECD i ISO.

Możliwym dalszym etapem badań toksyczności chemicznej środowiska jest określenie klasy ostrego zagrożenia wód, sugerowane przez międzynarodowy zespół badaczy współpracujący z Guido Persoone (PERSOONE i współaut. 2003, 2009). Wyniki pakietu testów złożonego z 72 godzinnego testu Algaltoxkit F, 24 godzinnych testów Protoxkit F (na orzęskach *Tetrahymena thermophila*) i Rotoxkit F (na wrotkach *Brachionus calyciflorus*) oraz alternatywnie: 24 godzinnego testu Thamnotoxkit F (na skorupiaku *Thamnocephalus platyurus*) lub 48 godzinnego testu Daphtoxkit F, interpretuje się ilościowo i klasyfikuje, przypisując jedną z 5 klas ostrego zagrożenia wód. Metody te były ostatnio szczególnie propagowane przez badaczy z Europy środkowej i wschodniej.

Procentowy efekt (PE) w każdym mikrobioteście baterii złożonej z 4 mikrobiotestów pozwala wyróżnić następujące klasy ostrego zagrożenia wód (PERSOONE i współaut. 2003):

Klasa I: brak ostrego zagrożenia

— żaden z testów nie wykazał efektu toksycznego (wyższego niż w kontroli)

Klasa II: małe ostre zagrożenie:

— istotny PE50 ($P < 0,05$) w ≥ 1 teście i wartość efektu: 20% < PE < 50%

Klasa III: ostre zagrożenie

— PE > PE50 w ≥ 1 teście i 20% < PE < 100%

Klasa IV: wysokie ostre zagrożenie

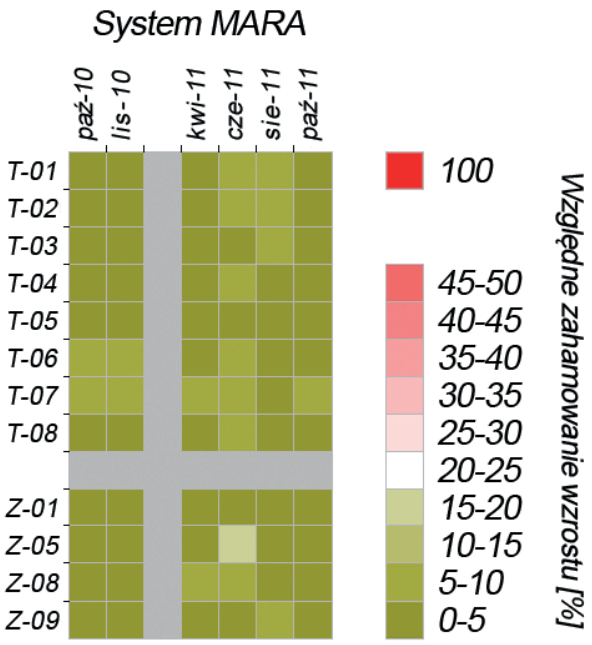
— PE > PE100 w ≥ 1 teście

Klasa V: bardzo wysokie ostre zagrożenie

— PE > PE100 w ≥ 4 testach

W badaniach Zbiornika Goczałkowickiego nie stosowano tej procedury ze względu na użycie innej baterii biotestów.

Woda i osady denne pobierane były od lipca do listopada 2010 r. i od kwietnia do października 2011 r. z siedmiu stanowisk w toni jeziora (Z-01–Z-07) i ośmiu stanowisk w litoralu i dopływach Zbiornika (T-01–T-08). Punkty poboru obrazuje załączona mapa i tabela (Ryc. 2, Tabela 5). Testy Daphtoxkit F *magna* i Ostracodtoxkit F wykonywano przez cały okres. Test MARA stosowany był od października 2010 r. oraz od kwietnia do października 2011 r., test Algaltoxkit F od kwietnia do października 2011 r. W 2011 r., zgodnie z programem badań, zmniejszono liczbę punktów, z których pobierano materiał, pozostawiając jedynie punkty najbardziej reprezentatywne dla wyznaczonych akwenów Zbiornika.



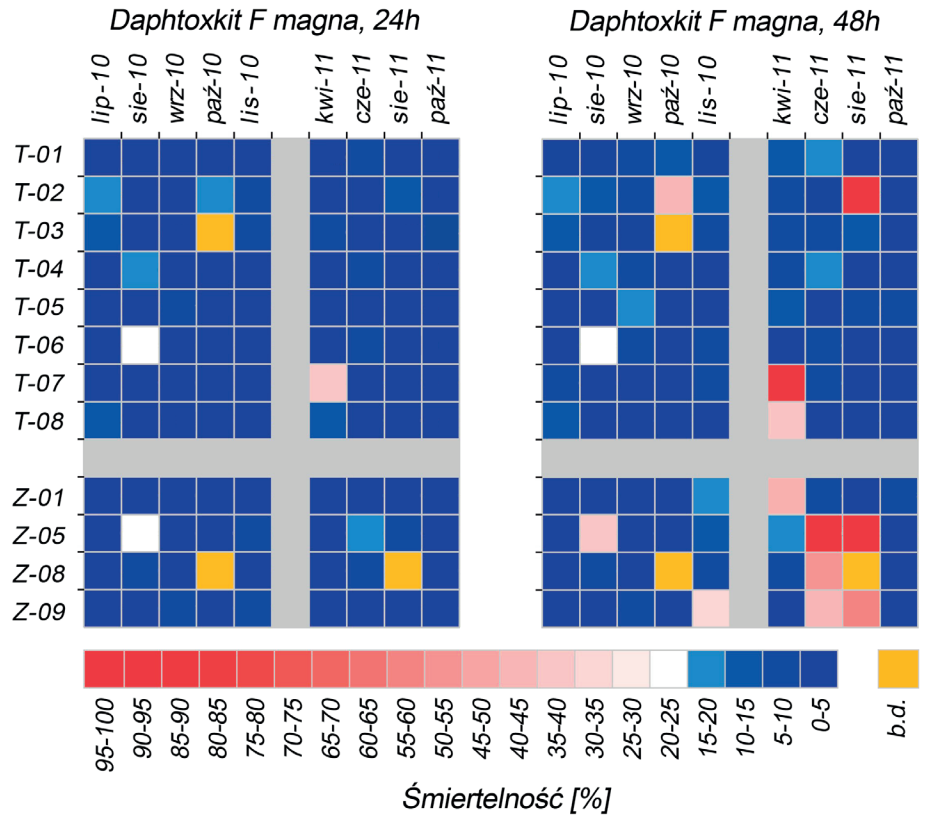
Ryc. 3. Przykładowe wyniki biotestów — Biotest MARA.

Hamowanie metabolizmu/wzrostu 11 organizmów testowych w próbach wody ze Zbiornika Goczałkowickiego z różnych okresów poboru materiału (opis stanowisk podano w Tabeli 5).

Wyniki testu MARA (Ryc. 3): Próby wody pobierane w linii brzegowej Zbiornika w latach 2010 i 2011 nie ujawniły toksyczności na żadnym z wyznaczonych do badań stanowisk. Jedynie w dwóch próbach (T-01, Z-05) pobranych w 2011 r. stwierdzono słabe efekty toksyczne (< 20% hamowania metabolizmu mikroorganizmów).

Wyniki testu Daphtoxkit F *magna* (Ryc. 4): Śmiertelność organizmów testowych w próbach wody pobieranych od lipca 2010 do października 2011 była bardzo niska co wskazuje na ogólnie dobrą jakość toksykologiczną wody. Jedynie w przypadku pojedynczych prób śmiertelność rozwielitek przekroczyła 20%, jak miało to miejsce w przypadku prób wody pobieranej w pelagialu ze stanowiska Z-05 (ujście Wisły) w lecie 2010 i 2011. Incydentalnie odnotowano podwyższoną, 48-godzinną śmiertelność rozwielitek na stanowiskach brzegowych: T-02 (ośrodek harcerski), T-07 i T-08 (wał Zarzecze oraz potok Bajerka). Warto zaznaczyć, że powtórzone oznaczenia dla prób ponownie pobranych z tych stanowisk nie potwierdziły podwyższonej śmiertelności organizmów testowych.

Na podstawie wyników dotychczasowych testów z *Daphnia magna* można wnioskować o dobrej jakości wody Zbiornika, nie



Ryc. 4. Przykładowe wyniki biotestów — Biotest Daphtoxkit F *magna*. Śmiertelność *Daphnia magna* po 24 h i 48 h [%] w próbach wody ze Zbiornika Goczałkowickiego z różnych okresów poboru materiału (opis stanowisk podano w Tabeli 5).

Tabela 5. Stanowiska poboru prób wody oraz osadów dennych Zbiornika Goczałkowickiego.

Stanowiska w linii brzegowej Zbiornika	Stanowiska w toni Zbiornika
T-01 – brzeg Zbiornika w Łące	Z-01 – ujście potoku Bajerka
T-02 – ośrodek harcerski	Z-02 – zatoka Bajerki
T-03 – potok Studzionka	Z-03 – zbieg transektów Wisy i Bajerki
T-04 – Strumień – przepompownia	Z-04=Z-08 – okolice upustu dennego zapory
T-05 – rz. Wisła k. Stacji Uzdatniania Wody Strumień	Z-05 – ujście Wisły do Zbiornika
T-06 – przepompownia Zabłocie	Z-06 – transekt Wisły – trawers ośrodka harcerskiego
T-07 – wał Zarzecze	Z-07 – transekt Wisły – trawers miejscowości Wisła Mała
T-08 – potok Bajerka	Z-09 – południowa cofka Wisły

prowadzącej do toksyczności ostrej badanych skorupiaków. Ponieważ mogą jednak występować okresowe epizody wzrostu toksyczności (jak to miało miejsce latem 2011 r.) niektóre stanowiska, na przykład Z-05 (ujście Wisły) powinny być systematycznie monitorowane.

Wyniki testu Algaltoxkit F: Zahamowanie wzrostu *Selenastrum capricornutum* tylko w jednym przypadku przekroczyło 50% (próba pobrana w kwietniu 2011 r. na stanowisku T-02 – dane nie przedstawione). Można więc sądzić, że w Zbiorniku Goczałkowickim nie ma zagrożeń toksykologicznych dla poziomu producentów.

Wyniki testu Ostracodtoxkit F: Ocena toksyczności osadów dennych z wykorzystaniem małżoraczków *Heterocypris incongruens* wykazywała umiarkowany wzrost śmiertelności tych skorupiaków dla stanowisk brzegowych T-02, T-03, T-05 i T-07, zwłaszcza w kwietniu i październiku 2011 r. (dane nie przedstawione). Obserwowany wzrost śmiertelności nie pokrywał się jednak z hamowaniem tempa wzrostu małżoraczków przeżywających w badanych próbach. Ponadto nie wpisuje się on w tendencje obrazowane przez pozostałe testy i niezależne wyniki badań chemizmu wody. Można więc uznać, że jest związany z błędem metody (śmiertelność małżoraczków może być wynikiem obecności w badanej próbie innych organizmów, np. drobnych drapieżników). Ta obserwacja wydaje się być ciekawą i wymagającą głębszego badania, gdyż wstępnie nie można przewidzieć, że przypadkowa obecność w próbach innych organizmów może mieć wpływ na wynik biotestu.

Można oczekiwać, że w najbliższych latach wzrośnie nacisk na systematyczne badanie jakości wód powierzchniowych w Polsce, co będzie służyło zwiększeniu wysiłków i nakładów na poprawę ich stanu. Istotnym elementem będzie tu racjonalizacja pracy zapór i zbiorników wodnych. Wykorzystanie standaryzowanych narzędzi badawczych, takich jak szybkie biotesty i włączenie ich w cyfrowe modele funkcjonowania zbiorników wodnych staje się koniecznością w gospodarce kraju i wyzwaniem dla zespołów badaczy i administracji państwowej.

PODZIĘKOWANIA

Badania prowadzone są w ramach projektu POIG 01.01.02-24-078/09, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego i dotacji celowej MNiSW.

PRZYDATNOŚĆ BIOTESTÓW EKOTOKSYKOLOGICZNYCH DO OCENY STANU BIOLOGICZNEGO WÓD NA PRZYKŁADZIE ZBIORNIKA ZAPOROWEGO W GOCZAŁKOWICACH

Streszczenie

Wdrożenie biotestów do monitoringu wód zbiorników zaporowych jest jednym z celów szczegółowych projektu „Zintegrowany System Wspomagający Zarządzaniem i Ochroną Zbiornika Zaporowego" (ZiZOZap). Projekt realizowany jest w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka jako element wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej. Modelowym obiektem dla Projektu jest Zbiornik Zaporowy w Goczałkowicach. Nadrzędnym celem projektu ZiZOZap jest rozwiązanie problemu obniżania się potencjału ekologicznego i funkcjonalnego zbiorników zaporowych w wyniku ich starzenia się i presji stwarzanej przez gospodarkę w obszarze zlewni. Produktem końcowym

projektu będzie system informacyjny (bazujący na monitoringu, modelach zintegrowanych i szczegółowych scenariuszach działań) ułatwiający bieżącą ocenę stanu Zbiornika, prognozowanie krótko- i długoterminowych zmian oraz podejmowanie racjonalnych decyzji w zakresie ochrony, utrzymania i zarządzania Zbiornikiem.

Od lipca roku 2010 bateria komercyjnych, standaryzowanych biotestów jest stosowana w monitoringu wód Zbiornika Goczałkowickiego, a jej wyniki są porównywane z wynikami standardowego monitoringu określanego prawem. Zakłada się możliwości wykorzystania wyników biotestów w szczegółowych scenariuszach pracy Zbiornika.

THE VIABILITY OF ECOTOXICOLOGICAL BIOTESTS FOR ASSESSMENT OF BIOLOGICAL STATUS OF SURFACE WATERS — GOCZALKOWICE WATER RESERVOIR EXAMPLE

Summary

Implementation of ecotoxicological biotests for monitoring of water quality in water reservoirs is one of the aims of the project "Integrated system supporting management and protection of water reservoir (ZiZOZap)". The project is executed within The Programme Innovative Economy under National Strategic Reference Framework as a part of introducing Water Framework Directive. The model object of the Project is Goczalkowice Water Reservoir. The main purposes of the Project are maintaining a good condition of the Reservoir for future and prevent processes of its aging and degradation. The final product of the Project will be an informational system based on the results of environmental monitoring, numerical models of reservoir and relative management scenarios. The system will allow permanent assessment of current reservoir condition as well as prediction of its short time and long time alterations. In consequence, these may lead to rationale decisions referring to reservoir management. Since July 2010 a battery of standardized commercial biotests is applied for water quality monitoring in Goczalkowice Reservoir. The obtained results are referred to the standards set by governmental and EC ordinances. We assume the biotests would be useful in constructing detailed scenarios of the reservoir management..

LITERATURA

Białokoz W., 2005. *Ocena stanu ekologicznego jezior Polski. Jeziorowy Indeks Rybny.* [W:] *Wdrażanie Ramowej Dyrektywy Wodnej — Ocena statusu ekologicznego wód w Polsce.* Materiały konferencyjne ECOSTATUS GIOŚ, Łódź, 2.

Bocian J., Łapińska N., Błachuta J., Dębowski P., Kaczkowski Z., Kotusz J., Kukuła K., Przybylski M., Wiśniewolski W., Zalewski M., 2005. *Możliwość wykorzystania Europejskiego Indeksu Rybnego EFI opracowanego w ramach projektu FAME do oceny stanu ekologicznego rzek w Polsce.* [W:] *Wdrażanie Ramowej Dyrektywy Wodnej — Ocena statusu ekologicznego wód w Polsce*. Materiały konferencyjne ECOSTATUS GIOŚ, Łódź, 8.

Dębowski P., Bocian J., 2005. *Projekt testowania metod oceny stanu ekologicznego rzek Polski w oparciu o badania ichtiofauny*. [W:] *Wdrażanie Ramowej Dyrektywy Wodnej — Ocena statusu ekologicznego wód w Polsce*. Materiały konferencyjne ECOSTATUS GIOŚ, Łódź, 12–13.

Dwoe (Drought and water overuse in Europe), 2011. Published: Mar 17, 2009 Last modified: Apr 13, 2011: http://www.eea.europa.eu/pressroom/newsreleases/drought-and-water-overuse-in-europe [14.04.2012].

Dyrektywa, 2000. Dyrektywa 2000/60/We Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. (Dz.U.UE L z dnia 22 grudnia 2000 r.).

Ewr (European Water Resources – Overview), 2008. Last modified: Feb 18, 2008: http://www.eea.europa.eu/themes/water/water-resources [14.04.2012].

Gabrielson J., Hart M., Jarelov A., Kuhn I., McKenzie D., Mollby R., 2002. *Evaluation of redox indicators and the use of digital scanners and spectrophotometer for quantification of microbial growth in microplates.* J. Microbiol. Methods 50, 63–73.

Gal G., Hipsey M. R., Parparov A., Wagner U., Makler V., Zohary T., 2009. *Implementation of ecological modeling as an effective management and investigation tool: Lake Kinneret as a case study*. Ecol. Modelling 220, 1697–1718.

Gorzel M., Kornijów R., 2004. *Biologiczne metody oceny jakości wód rzecznych.* Kosmos 53, 183–191.

Hannoun I., List E. J., Kavanagh K. B., Chiang W.-L., Ding L., Preston A., Karafa D., Rackley I., 2006. *Use of ELCOM and CAEDYM for water quality simulation in Boulder Basin*. Water Environ. Found. 3943–3970.

Jenner H. A., Noppert F., Sikking T., 1989. *A new system for the detection of valve-movement response of bivalves*. Kema Scientific Technical Reports 7, 91–98.

Kołodziej J., 2008. *Kształtowanie się klimatycznego bilansu wodnego na terenie Polski w latach 1981-2000*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich 5, 85–97.

Kramer K. J. M., Jenner H. A., Zwart D., 1989 *The valve movement response of mussels: a tool in biological monitoring.* Hydrobiologia 188-189, 433–443.

Mioduszewski W., Pierzgalski E., 2009. *Zwiększenie możliwości retencyjnych oraz przeciwdziałanie powodzi i suszy w ekosystemach leśnych na terenach nizinnych (projekt programu)*. Centrum Koordynacji Projektów Środowiskowych, Warszawa.

Nałęcz-Jawecki G., Piekarek A., Sawicki J., 2008. *Zastosowanie testu bakteryjnego MARA do oceny ekotoksyczności leków.* [W:] *Ekotoksykologia w ochronie środowiska*. PZITS, Szklarska Poręba, 237–242.

NAMIEŚNIK J., SZEFER P. (red.), 2010. *Analytical Measurements in Aquatic Environment.* Taylor & Francis Group, Boca Raton.

PALMA P., PALMA V. L., FERNANDES R. M., SOARES A. M. V. M., BARBOSA I. R., 2008. *Acute Toxicity of Atrazine, Endosulfan Sulphate and Chlorpyrifos to Vibrio fischeri, Thamnocephalus platyurus and Daphnia magna, Relative to Their Concentrations in Surface Waters from the Alentejo Region of Portugal.* Bull. Environ. Contamin. Toxicol. 81, 485–489.

PERSOONE G., BAUDO R., COTMAN M., BLAISE C., THOMPSON K. C., MOREIRA-SANTOS M., VOLLAT B., TÖRÖKNE A., HAN T., 2009. *Review on the acute Daphnia magna toxicity test — Evaluation of the sensitivity and the precision of assays performed with organisms from laboratory cultures or hatched from dormant eggs.* Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 393, 1–29.

PERSOONE G., MARSALEK B., BLINOVA I., TOROKNE A., ZARINA D., MANUSADZIANAS L., NALECZ-JAWECKI G., TOFAN L., STEPANOVA N., TOTHOVA L., KOLAR B., 2003. *A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters.* Environ. Toxicol. 18, 395–402.

SALORANTA T. M., 2006. *Highlighting the model code selection and application process in policy-relevant water quality modeling.* Ecol. Modelling 194, 316–327.

TRACZEWSKA T. M., 2008. *Metody biologiczne w kontroli jakości wody* [W:] *Ekotoksykologia w ochronie środowiska.* PZITS, Szklarska Poręba, 435–442.

WADHIA K, DANDO T., THOMPSON K. C., 2007. *Intralaboratory evaluation of Microbial Assay for Risk Assessment (MARA) for potential application in the implementation of the Water Framework Directive (WFD).* J. Environ. Monitoring 9, 953–958.

WOŹNICA A., ŁASZCZYCA P., KWAŚNIEWSKI M., AUGUSTYNIAK M., MIGULA P., SIUDY A., SZLEK Z., 2011. *Zastosowanie biotestów i biomarkerów molekularnych w ocenie stanu zbiornika zaporowego i przewidywaniu skutków dla jakości wody.* Instal 9, 74–78.