

# Ocena toksykologiczna jakości wody krytego obiektu basenowego

Edyta Łaskawiec<sup>1</sup>, Mariusz Dudziak, Joanna Wyczarska-Kokot

<sup>1</sup> Politechnika Śląska; Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, adres: Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel.: 32 237 10 47, e-mail: edyta.laskawiec@polsl.pl

---

## Streszczenie

Celem niniejszej pracy było określenie wielkości efektu toksycznego próbek wód basenowych pobranych z pływalni krytej. Próbkę wody uzyskiwano zarówno z części niecek basenowych, jak i obiegu uzdatniania wody basenowej. Ponadto podjęto próbę oceny testu Microtox<sup>®</sup> pod kątem użyteczności w analizie jakości wód basenowych. Procedura badawcza obejmowała również pomiar absorbancji w nadfiolecie, przewodności elektrycznej właściwej oraz pH wody basenowej, a jako próbę odniesienia w prowadzonych badaniach przyjęto próbkę wody wodociągowej stanowiącej źródło zasilania niecek basenowych. Większość z badanych próbek wykazywała wysoką toksyczność w teście z udziałem bakterii, pomimo braku przekroczenia norm parametrów fizykochemicznych. Najwyższe wartości inhibicji bioluminescencji w teście toksyczności Microtox<sup>®</sup> występowały dla prób pobranych bezpośrednio z niecek basenowych oraz wanien z hydromasażem, co wskazuje na duże prawdopodobieństwo wpływu prekursorów UPD na jakość badanej wody.

**Słowa kluczowe:** woda basenowa, biotesty, bioluminescencja, klasyfikacja toksyczności, uboczne produkty dezynfekcji

---

## 1. Wstęp

Zgodnie z opracowaniem przedstawionym w kwietniu 2015 roku przez Departament Infrastruktury Sportowej Ministerstwa Sportu i Turystyki, w Polsce funkcjonuje 736 krytych pływalni. Szacuje się, że na 380 powiatów ponad 316 posiada przynajmniej jeden obiekt tego typu [1]. Rosnąca dostępność pływalni krytych sprawia, że Polacy coraz chętniej korzystają z nich w sposób systematyczny, zarówno w celach rekreacyjnych, jak i zdrowotnych. Aby czas spędzony na aktywności fizycznej przynosił pełnię korzyści, należy zwracać szczególną uwagę na jakość higieniczną i chemiczną wody w basenach. Odpowiedzialność za minimalizowanie ryzyka dla zdrowia ludzkiego leży nie tylko w kompetencjach projektantów na etapie tworzenia pływalni czy kierownictwa w trakcie jej działalności, ale również samych odwiedzających.

Środowisko wody basenowej stanowi specyficzny układ, w którym szereg czynników wpływa na ostateczny skład chemiczny wody. Obok skuteczności procesu filtracji oraz intensywności czy częstotliwości płukania filtrów celem odnowy wody, niezwykle istotną rolę odgrywa obecność prekursorów ubocznych produktów dezynfekcji (UPD). Wraz z osobami kąpiącymi się do wody wprowadzane są produkty aktywności metabolicznej w postaci wydzielin, płynów ustrojowych, a także brudu, komórek naskórka, włosów oraz pozostałości kosmetyków [2, 3, 4]. Pochodzą z nich związki chemiczne, takie jak amoniak, mocznik, chlorek sodu, kwas glukonowy, kreatynina, kwas cytrynowy, aminokwasy i inne. Reagują one z pozostałościami chloru przyczyniając się do powstawania dużej grupy związków o charakterze drażniącym oraz toksycznym [2, 5].

Obecność ubocznych produktów dezynfekcji w obiektach basenowych stanowi coraz częściej badany problem [2, 3]. Dzięki postępowi analizy instrumentalnej oraz rosnącej trosce o zdrowie publiczne, w ciągu ostatnich dziesięcioleci dokonano identyfikacji licznych związków stanowiących UPD w wodach basenowych, wielu z nich przypisuje się działanie rakotwórcze oraz mutagenne [6]. Wykazanie obecności trihalogenometanów (THM), kwasów halogenooctowych (HAA), halogenoacetonitryli (HAN), chloroamin (CAM) oraz innych grup związków chemicznych uświadamia o zagrożeniu jakie niesie ze sobą długotrwały bądź systematyczny kontakt z ubocznymi produktami dezynfekcji [7, 8, 9]. W świetle tych doniesień niezbędnym wydaje się wyjście poza klasyczny monitoring jakości, obejmujący analizę fizykochemiczną



Uzdatnianie wody następuje w układzie obejmującym filtrację wstępną, koagulację powierzchniową, naświetlanie promieniami UV z lampy niskociśnieniowej, dezynfekcję podchlorynem sodu, a także korektę pH [15]. Standardowa procedura kontrolna mająca na celu zachowanie właściwego dozowania środków chemicznych i utrzymanie podstawowych parametrów jakości wody, prowadzona jest w sposób ciągły przez obsługę techniczną, obejmuje pomiar i regulację temperatury wody, pH, potencjału redox oraz stężenie chloru wolnego w wodzie. Obiekt zaopatrywany jest w wodę z gminnej sieci wodociągowej. Natomiast odprowadzanie ścieków bytowo gospodarczych oraz popłuczyn odbywa się do sieci kanalizacyjnej. Ponadto zarządzający obiektem basenowym, w ramach prowadzonej kontroli wód w nieckach powinny dokonywać oceny ich jakości zlecając badania laboratoriom Inspekcji Sanitarnej lub innym organom do tego upoważnionym [15,16].

## 2.2. Pobór próbek wody basenowej

Pobór próbek przeprowadzono w godzinach porannych, co wiązało się z niskim obciążeniem obiektu. Wodę basenową pobierano zarówno do butelek z ciemnego szkła o pojemności 100 cm<sup>3</sup> z nakrętkami aluminiowymi wyposażonymi w silikonową uszczelkę, jak i fiolek gwintowanych wykonanych z szkła przezroczystego o pojemności 12 cm<sup>3</sup> z nakrętkami z tworzywa sztucznego. Pobrane próbki przechowywano w lodówce laboratoryjnej w temperaturze 4°C do momentu wykonania badań. Próbę odniesienia dla dalszych badań stanowiła próbka wody wodociągowej pobrana z instalacji wodociągowej na obiekcie. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie miejsc poboru badanych próbek wód oraz przedstawiono numerację stosowaną w dalszej części pracy.

Tab. 1 Zestawienie miejsc poboru próbek badanych wód basenowych

Oznaczenie próby	Miejsce poboru próby
1	woda wodociągowa
2	basen sportowy (woda z niecki)
3	zbiornik przelewowy (obieg basenu sportowego)
4	prefiltrat z koagulantem (obieg basenu sportowego)
5	filtrat (obieg basenu sportowego)
6	popłuczyny (ciecz nadosadowa)
7	popłuczyny
8	basen rekreacyjny (woda z niecki)
9	woda z wanny z hydromasażem (słona)
10	woda z wanny z hydromasażem

## 2.3. Procedura analityczna

Przeprowadzone pomiary fizykochemiczne obejmowały pomiar absorbancji w nadfiolecie, przewodności elektrycznej właściwej oraz pH próbek. Do pomiarów przewodności właściwej oraz pH próbek wody stosowano laboratoryjny miernik wieloparametrowy inoLab<sup>®</sup> 740 wyprodukowany przez WTW, Pomiarowy i Analityczny Sprzęt Techniczny (Wrocław, Polska). Natomiast absorbancję mierzono przy długości fali 254 nm z użyciem UV VIS Cecil 1000 firmy Analytik Jena AG (Poznań, Polska), przy długości drogi optycznej kuwety  $d = 1\text{ cm}$ . Wartość absorbancji w nadfiolecie wyznaczono w oparciu o metodę pomiaru absorbancji w nadfiolecie UV<sub>254</sub>, zgodnie ze standardami przyjętymi przez US EPA [17], przy czym jako ostateczny wynik analizy zestawiono jako UV<sup>lm</sup><sub>254</sub> w [m<sup>-1</sup>].

Analizy toksyczności przeprowadzono z użyciem biotestu Microtox<sup>®</sup> zgodnie z procedurą *Screening Test* systemu MicrotoxOmni w analizatorze Microtox Model 500 firmy Tigret Sp. z o.o. (Warszawa, Polska) pełniącym funkcje zarówno inkubatora jak i fotometru. Procent inhibicji bioluminescencji względem próby kontrolnej (bakterie nie poddane działaniu potencjalnego toksykanta) zmierzono po 5 i 15 minutowym czasie ekspozycji.

Do klasyfikacji toksyczności zastosowano powszechny system, stosowany przez wielu badaczy [12, 14], oparty o wielkość obserwowanego efektu wywoływanego u wykorzystanego organizmu wskaźnikowego (tabela 2).

Tab. 2 System klasyfikacji toksyczności [12, 14]

Efekt, %	Klasa toksyczności
<25	nietoksyczna
25-50	niska toksyczność
50,1-75	toksyczna
75,1-100	wysoka toksyczność

### 3. Wyniki badań

Zgodnie z standardami określonymi w niemieckiej normie DIN 19643/97 granicę pH w wodzie basenowej określa się na poziomie 6,5 - 7,6 [18]. Wszystkie badane wody basenowe charakteryzowały się pH w granicach dopuszczalnych przez normę (tabela 3).

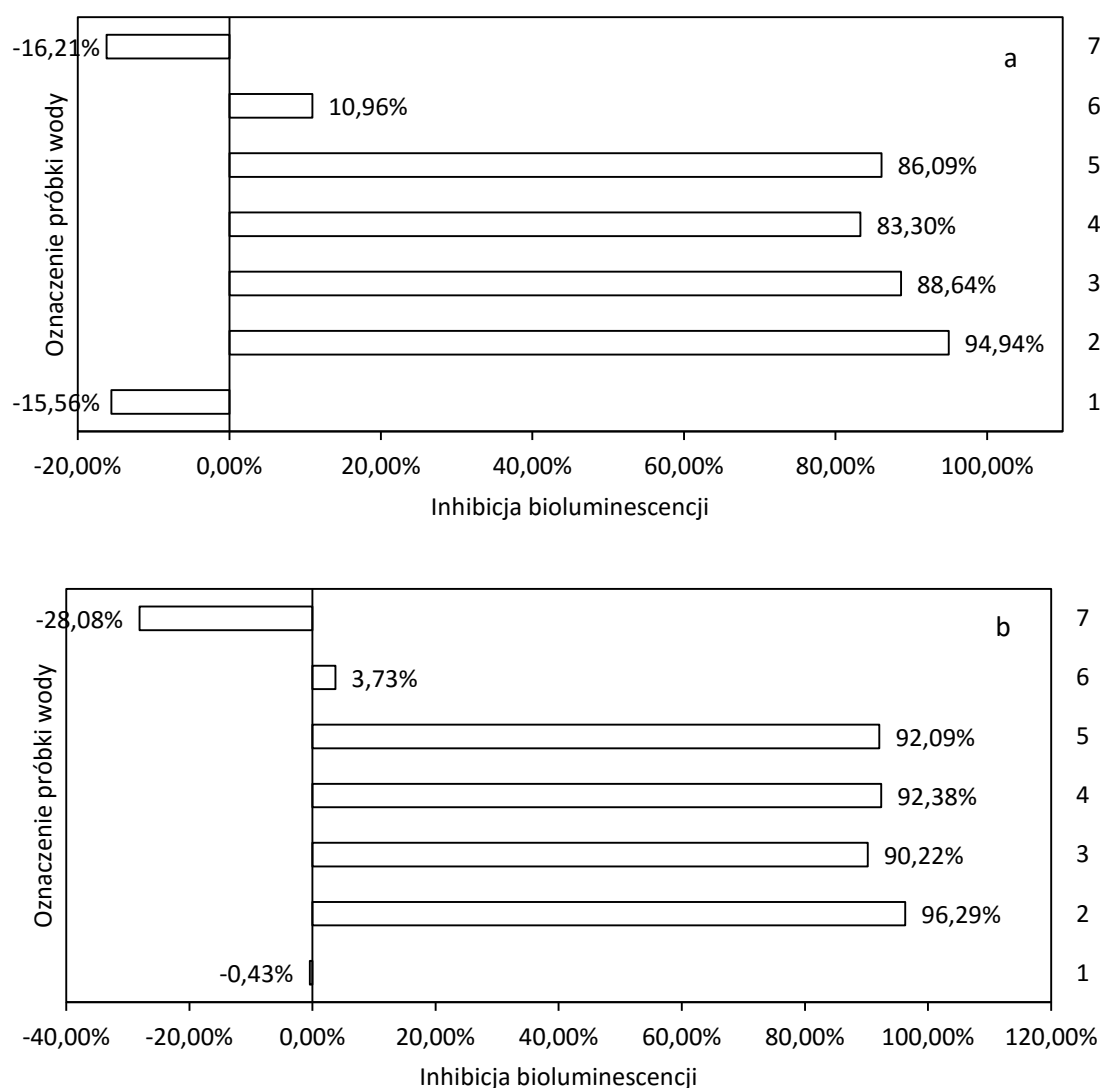
Przeprowadzony pomiar absorbancji pozwolił na określenie udziału związków organicznych absorbujących przy długości fali 254 nm, wśród nich związków posiadających w swoim składzie pierścienie aromatyczne [7]. Przedstawione w tabeli 3 wyniki pokazują, że w przypadku przyjęcia jako próby odniesienia pobranej wody wodociągowej, obecność niepożądanych substancji organicznych można stwierdzić w próbach 4, 5, 6, 7 oraz 8, przy czym najwyższą wartość absorbancji w nadfiolecie wykazywała próbka popłuczyn, dla których wartość tego składnika wynosiła 61,50 m<sup>-1</sup>. Obecność zanieczyszczeń w filtracji może być sygnałem o wyczerpywaniu złoża i konieczności jego płukania. Nie stwierdzono obecności zanieczyszczeń organicznych w wodzie przed filtracją w próbkach 2, 3, 8 oraz 9.

Przewodność elektryczna właściwa mająca na celu określenie udziału zanieczyszczeń o charakterze nieorganicznym w badanych próbkach wody basenowej, w części próbek wykazała wartości podwyższone, względem wartości oznaczonej w wodzie wodociągowej. Probki te były oznaczone numerami 6, 7 oraz 9. W przypadku pierwszych próbek stanowiły one popłuczyny, natomiast próbka 9 pochodziła z wanny z hydromasażem, w której znajdowała się solanka, co przyczyniło się do wzrostu przewodności właściwej.

Tab. 3 Wyniki pomiarów fizykochemicznych dla badanych wód basenowych

Oznaczenie próby	Miejsce poboru próby	pH	UV <sup>1m</sup> <sub>254</sub> [m <sup>-1</sup> ]	Przewodność elektryczna właściwa $\sigma$ [mS·cm <sup>-1</sup> ]
1	woda wodociągowa	7,52	0,00	2,0570
2	basen sportowy (woda z niecki)	7,53	0,00	1,2727
3	zbiornik przelewowy (obieg basenu sportowego)	7,60	0,00	1,2620
4	prefiltrat z koagulantem (obieg basenu sportowego)	7,23	2,80	1,3450
5	filtrat (obieg basenu sportowego)	7,40	0,80	1,2603
6	popłuczyny (ciecz nadosadowa)	7,12	1,70	8,6030
7	popłuczyny	7,07	61,50	8,4330
8	basen rekreacyjny (woda z niecki)	7,27	0,00	2,6370
9	woda z wanny z hydromasażem (słona)	7,19	1,5	11,5790
10	woda z wanny z hydromasażem	7,15	0,00	2,3030

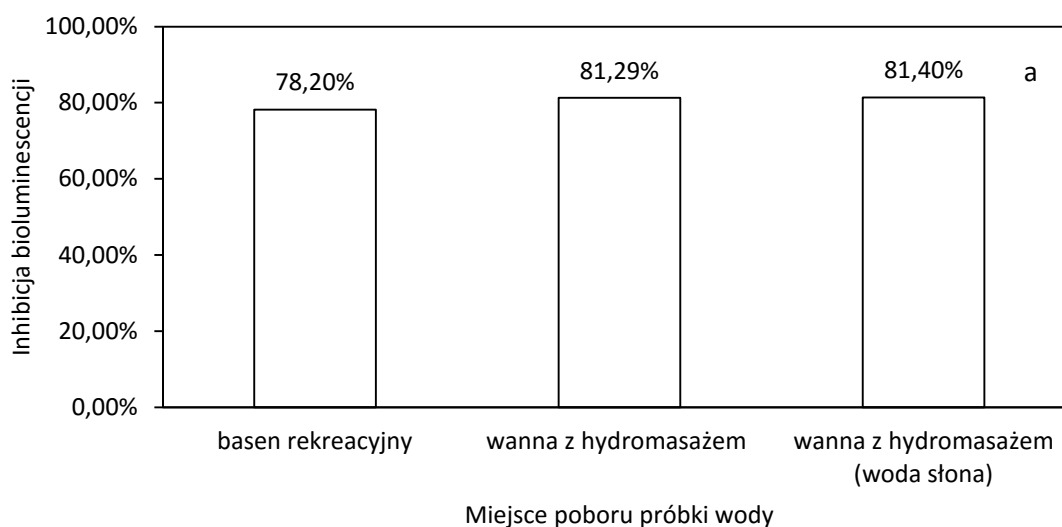
W dalszej części pracy przedstawiono wyniki analizy toksyczności próbek wody basenowej. Na rys. 3.1a i b przedstawiono zmiany inhibicji bioluminescencji dla obiegu basenu sportowego. Uzyskane wyniki testu Microtox<sup>®</sup> wskazują na wysoką toksyczność większości badanych próbek wody. Zgodnie z przyjętą klasyfikacją toksyczności za próbkę nietoksyczną uznano próbę oznaczoną numerem 6, stanowiącą ciecz nadosadową pobraną ze zbiornika popłuczyn. Wartość inhibicji bioluminescencji po czasie 5 minut ekspozycji wyniosła 10,96%, natomiast po czasie 15 minut obniżyła się do 3,73%. Również próbkę numer 7 zakwalifikowano jako nietoksyczną. Dodatkowo zaobserwowano stymulację bioluminescencji bakterii *Aliovibrio fisheri*. Brak efektu toksycznego popłuczyn pozwala na ocenę stosowanego harmonogramu płukania filtrów, jako działającego w sposób poprawny i pozwalający na wprowadzenie popłuczyn bezpośrednio do sieci kanalizacyjnej. Ponownie, jako próbę odniesienia dla testów toksyczności potraktowano próbkę wody wodociągowej, która w teście wykazywała stymulację procesu bioluminescencji bakterii. Po czasie ekspozycji wynoszącym 5 minut wartość ta wynosiła -15,56%, natomiast po 5 minutach obniżyła się do -0,43%. Należy zauważyć, że próbka popłuczyn (oznaczona numerem 7) pomimo braku toksyczności wykazywała wysoką wartość absorbancji w nadfiolecie (tabela 3). W celu ograniczenia wprowadzania do sieci kanalizacyjnej substancji organicznych, należałoby zastosować dodatkowy etap oczyszczania popłuczyn.

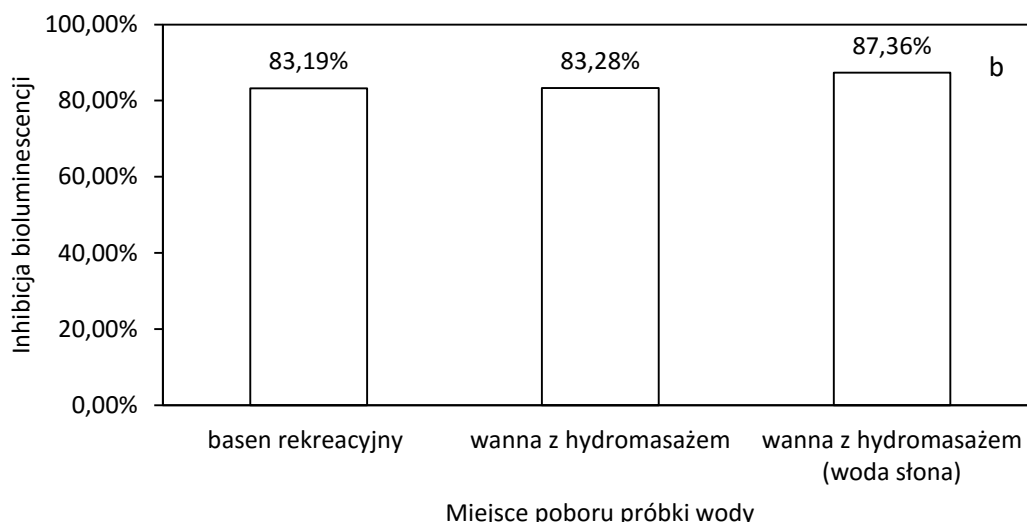


Rys. 3. 1 Zmiany inhibicji bioluminescencji [%] po czasie 5 (a) oraz 15 minut (b) na kolejnych etapach obiegu wody basenu sportowego

Wysoko toksyczny efekt odnotowano dla próbek wody z niecki basenowej, a także dla próbek pobranych na kolejnych etapach cyklu uzdatniania wody. Zjawisko to, może związane być bezpośrednio z obecnością ubocznych produktów dezynfekcji. Próbka nr 2 pobrana bezpośrednio z niecki basenowej wykazywała inhibicję bioluminescencji na poziomie 94,94% po 5 minutach ekspozycji oraz 96,29% po 15 minutach. Zgodnie ze schematem ciągu technologicznego uzdatniania wody (rys. 2. 1), przez przelewy basenowe woda z powierzchni niecki przepływa do zbiornika przelewowego (próbka 3), gdzie inhibicja po czasie 5 minut ekspozycji wyniosła 88,64%, a po 15 minutach 90,22%. Należy mieć na uwadze, że na tym etapie woda w zbiorniku jest rozcieńczana świeżą wodą wodociągową, co może mieć wpływ na obniżenie toksyczności badanej próbki. Następną próbką z obiegu stanowiła prefiltr (po dodaniu koagulantu) (próbka nr 4), po początkowym spadku wartości inhibicji bioluminescencji w stosunku do wody ze zbiornika, nastąpił wzrost inhibicji do 92,30%, po 15 minutach ekspozycji. Wysoki stopień inhibicji bioluminescencji stwierdzono również w próbce filtratu (próbka nr 5), po 5 minutach ekspozycji wartość ta wyniosła 86,09%, a po 15 minutach wzrosła do 92,09%. Tak, jak już wspomniano przy okazji omówienia wyników parametrów fizykochemicznych, toksyczność na tym etapie obiegu budzi zastrzeżenia, co do skuteczności procesu filtracji.

Porównując wartość inhibicji bioluminescencji w teście Microtox<sup>®</sup> uzyskane dla próbek wody z pozostałych niecek basenowych określono, że najniższą wartość wykazywała woda pobrana z basenu rekreacyjnego. Stopień inhibicji po 5 minutach wynosił 78,20%, natomiast po 15 minutach 83,19%. Z kolei najwyższą toksycznością charakteryzowała się próbka wody pobrana z wanny z hydromasażem, wypełniona solanką.





Rys. 3. 2 Porównanie inhibicji bioluminescencji [%] w teście Microtox<sup>®</sup> dla próbek wody pobranych z różnych niecek basenowych przy czasie ekspozycji 5 (a) oraz 15 minut (b)

#### 4. Podsumowanie

Ocena toksyczności z wykorzystaniem testu Microtox<sup>®</sup> pozwoliła na rozszerzenie zakresu badań wód basenowych. Prawidłowe parametry fizykochemiczne oraz bakteriologiczne nie świadczą o braku toksyczności pobranych próbek wody. Dlatego niezbędne jest prowadzenie dalszych analiz w zakresie oceny toksykologicznej wód basenowych, przy wykorzystaniu większej grupy organizmów w celach porównawczych. W dalszych pracach prowadzonych z tego zakresu, należy rozpatrzyć wpływ czasu ekspozycji próbki na wartość inhibicji bioluminescencji. Wykazano, że w wyniku kontaktu z kąpiącymi się ludźmi woda basenowa ulega znacznemu zanieczyszczeniu. Poprawę tego stanu można osiągnąć przez zwiększenie dbałości o higienę kąpiących się. Niepokojące są również wysokie wartości stopnia toksyczności na kolejnych etapach obiegu basenu sportowego, co może wiązać się z niską efektywnością działania złoża filtracyjnego.

#### Literatura

- [1] Opracowanie Departamentu Infrastruktury Sportowej Ministerstwo Sportu i Rekreacji, *Pływalnie kryte w Polsce. Inwentaryzacja bazy sportowej*. Warszawa, kwiecień 2015: [http://plywalnieibaseny.pl/wp-content/uploads/2015/06/2015\\_04\\_22\\_-\\_opracowanie\\_p%C5%82ywalnie\\_final.pdf](http://plywalnieibaseny.pl/wp-content/uploads/2015/06/2015_04_22_-_opracowanie_p%C5%82ywalnie_final.pdf) [dostęp: 9.10.2015].
- [2] Kanan A., Karanfil T., *Formation of disinfection by-products in indoor swimming pool water: The contribution from filling water natural organic matter and swimmer body fluids*, Water Research, vol. 45, no. 12, 2010, p. 926-932.
- [3] Spiliotopoulou A., Hansen K. M. S., Andersen H. R., *Secondary formation of disinfection by-products by UV treatment of swimming pool water*, Science of the Total Environment, vol. 520, no. 1, 2015, p. 96-105.
- [4] Korkosz A., Janczarek M., Aranowski R., Rzechuła J., Hupka J., *Efficiency of deep bed filtration in treatment of swimming pool water*, Physicochemical Problems of Mineral Processing, vol. 44, 2010, p. 103-113.
- [5] Panyakapo M., Soontornchai S., Paopuree P., *Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water*, Journal of Environmental Sciences, vol. 20, 2008, p. 372-378.
- [6] Cyril C., Simard S., Charest-Tardif G., Rodriguez M., Tardif R., *Occurrence and Spatial and Temporal Variations of Disinfection By-Products in the Water and Air of Two Indoor Swimming Pools*, International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 9, no. 8, 2012, p. 2562-2586.

- [7] Boucherit A., Moulay S., Ghernaout D., Al-Ghonamy A. I., Ghernaout B., Naceur M. W., Messaoudene N. A., Aichouni M., Mahjoubi A. A., Elboughdiri N. A., *New Trends in Disinfection By-Products Formation upon Water Treatment*, Journal of Research & Developments in Chemistry, vol. 2015, 2015, p. 1-27.
- [8] Zwiener C., Richradson S. D., De Martin D. M., Grumut T., Glauner T., Frimmel F. H., *Drowning in Disinfection Byproducts? Assessing Swimming Pool Water. Critical Review*, Environmental Science & Technology, vol. 41, no. 2, 2007, p. 363-372.
- [9] Glauner T., Waldmann P., Frimmel F. H., Zwiener C., *Swimming pool water—fractionation and genotoxicological characterization of organic constituents*, Water Research, vol. 39, no. 18, 2005, p. 4494-4502.
- [10] Phyu Y.L., Warne M.St.J., Lim R.P., *Effect of river water, sediment and time on the toxicity and bioavailability of molinate to the marine bacterium Vibrio fischeri (Microtox)*. Water Research, vol. 39, no.12, 2005, p. 2738-2746.
- [11] Boluda R., Quintanilla F., Bobilla A., Saez E., Gamon M., *Application of the Microtox<sup>®</sup> test and pollution indices to the study of water toxicity in the Albufera Natural Park (Valencia, Spain)*. Chemosphere, vol.46, no.2, 2001, p. 355-369.
- [12] Hsieh Ch.Y., Meng-Hsiun T., Ryan K., Pancorbo O., *Toxicity of the 13 priority pollutant metals to Vibrio fischeri in the Microtox<sup>®</sup> chronic toxicity test*, Science of the Total Environment, vol.320, no.1, 2004; p. 37-50.
- [13] Cwalina B., Wiącek-Rosińska A., *Testy toksyczności ostrej wykorzystujące bioluminescencję bakterii w ocenie efektów skażenia i remediacji środowiska [Acute toxicity tests based on bacterial bioluminescence in evaluation of environment contamination and remediation effects]*, Archiwum Ochrony Środowiska, vol. 29, no.4, 2003, p. 107-114 (in Polish).
- [14] Werle S., Dudziak M., *Ocena toksyczności osadów ściekowych oraz produktów ubocznych powstających podczas ich zgazowania [Evaluation of toxicity of sewage sludge and gasification waste-products]*. Przemysł Chemiczny, vol. 92, no.7, 2013, p.1350-1353 (in Polish).
- [15] Wyczarska-Kokot J., *Analiza jakości wody basenowej na podstawie wewnętrznego i zewnętrznego monitoringu*, Technologia Wody, 2012, vol. 2 no. 16, s. 16-22 i 39.
- [16] Wyczarska-Kokot J., *Zapotrzebowanie na wodę uzupełniającą w zależności od funkcji basenu*. Praca zbiorowa pod red. Kuś K., Piechurski F. Instalacje basenowe. Politechnika Śląska, Gliwice 2013, s. 67-81.
- [17] Poter B.B., *Determination of total organic carbon and specific UV absorbance at 254 nm in source water and drinking water*, EPA Document, Method 415.3, 2009.
- [18] Sokołowski C., *Wymagania sanitarno-higieniczne dla krytych pływalni, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych*, Warszawa, 1998.