

Ocena wpływu systemu cyrkulacji na poziom stężeń mikrozanieczyszczeń w układzie oczyszczania wody basenowej

Anna Lempart^{1*}, Edyta Kudlek¹, Mariusz Dudziak¹, Artur Szyguła¹

¹ Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-101 Gliwice

* Autor do korespondencji: e-mail: anna.lempart@polsl.pl

STRESZCZENIE

Każda instalacja basenowa powinna zapewniać prawidłową i stałą cyrkulację wody w systemie obiegu zamkniętego, która umożliwi przedłużenie czasu całkowitej wymiany wody nawet do 1 roku. Praca takiego systemu może jednak potencjalnie powodować podwyższenie stężenia małowcząsteczkowych mikrozanieczyszczeń w układzie oczyszczania wody basenowej. Celem niniejszej pracy jest potwierdzenie lub odrzucenie niniejszej tezy. W ramach badań wstępnych przeprowadzono analizę zawartości substancji organicznych i nieorganicznych w wodzie basenowej na podstawie wskaźników ogólnych takich jak OWO, absorbancja UV_{254} i przewodność właściwa. W zasadniczym etapie badań, próbki wody basenowej pobierane z czterech różnych punktów instalacji zostały poddane analizie chromatograficznej w celu oznaczenia małowcząsteczkowych mikrozanieczyszczeń organicznych. Badaniu poddano także wodę wodociągową stosowaną do napełnienia niecki i regularnego uzupełniania strat objętości. Badanie to miało na celu wykluczenie wody wodociągowej jako potencjalnie możliwego źródła pochodzenia zanieczyszczeń w wodzie basenowej. Przeprowadzone badania wstępne wykazały niemal dwukrotny wzrost zawartości ogólnego węgla organicznego oraz absorbancji UV_{254} po sześciu miesiącach, co niewątpliwie świadczy o możliwości gromadzenia się zanieczyszczeń organicznych w systemach cyrkulacji wody basenowej. Tego zjawiska nie zaobserwowano w przypadku związków nieorganicznych. W wyniku analiz chromatograficznych w wodzie basenowej oznaczono farmaceutyki i pozostałości kosmetyków. Stwierdzono, że w układzie oczyszczania wody basenowej miejscem największego gromadzenia się farmaceutyków jest zbiornik przelewowy, a pozostałości kosmetyków niecka basenowa. Na omawiane zjawisko ma wpływ czas trwania filtrycyklu.

Słowa kluczowe: systemy oczyszczania wody basenowej, cyrkulacja wody, PPCPs, mikrozanieczyszczenia

The impact of the circulation system on the concentration levels of micropollutants in the swimming pool water treatment system

ABSTRACT

Each pool installation should ensure proper and constant circulation of water in a closed circuit system. However, the operation of such a system can potentially cause the accumulation of small-molecule micropollutants in the pool water treatment system. The aim of this work is to confirm or reject this argument. As part of preliminary tests, the content of organic and inorganic substances in swimming pool water was analyzed based on general indicators such as TOC, UV_{254} absorbance and conductivity. In the main stage of the research, pool water samples collected from four different points of the swimming pool installation were subjected to chromatographic analysis to determine the small-molecule micropollutants. The tap water used to fill the basin and regular replenishment of volume losses was also tested. This study was intended to exclude the tap water as a potential source of contamination in the pool water. Preliminary studies have shown almost a two-fold increase in the total organic carbon content and absorbance UV_{254} at the turn of six months, which undoubtedly indicates the accumulation of organic pollutants in pool water circulation systems. It was not observed in the case of inorganic compounds. As a result of the chromatographic analyzes of the pool water, the content of pharmaceuticals and personal care product was determined. It was found that the compensation tank is the place of the highest accumulation of the tested pharmaceuticals in the pool water treatment system, while the cosmetics component accumulated in the pool basin to the greatest degree. It was affected by the duration of the filter cycle.

Keywords: pool water treatment systems, water circulation, micropollutants, PPCPs

WPROWADZENIE

Podstawą funkcjonowania każdej instalacji basenowej jest zapewnienie prawidłowej i stałej cyrkulacji wody w systemie obiegu zamkniętego, który umożliwia przedłużenie czasu całkowitej wymiany wody w niecce basenu pływackiego nawet do 1 roku. Stale dopływająca do niecki za pomocą otworów dennych lub ściennych objętość wody oczyszczonej wypiera zużytą wodę. Zbierana jest ona przez rynny przelewowe, z których za pośrednictwem kanałów odpływowych odprowadzana jest do zbiornika wyrównawczego. Jego zadaniem jest ciągle uzupełnianie strat wody spowodowanych parowaniem, wypieraniem i wynoszeniem z basenu przez użytkowników. Odbywa się ono automatycznie poprzez zawór z napędem elektrycznym, którego uruchamianie następuje z uwzględnieniem pomiaru poziomu wody w zbiorniku. Stamtąd, pompy cyrkulacyjne wyposażone w prefiltr wychwytyjący zanieczyszczenia takie jak włosy, guziki czy części garderoby, tłoczą wodę do instalacji oczyszczania na którą składają się trzy etapy: koagulacja, filtracja i dezynfekcja [Piechurski 2006]. Ponowne doprowadzenie oczyszczonej i zdezynfekowanej wody do niecki basenowej odbywać się może w układzie poziomym lub pionowym. Dopływ wody do basenu w układzie pionowym następuje poprzez system rozdzielaczy z otworami dopływowymi zabudowanymi w dnie basenu w postaci dysz lub kanałów, natomiast w systemie poziomym wodę wprowadza się do niecki przez dysze zlokalizowane w przeciwległych ścianach basenu [Piechurski 2001]. Rodzaj zastosowanego rozwiązania zależy od konstrukcji niecki basenowej oraz jej funkcji. Praca takiego systemu, opierająca się na pełnej wymianie wody tylko raz w roku, może potencjalnie powodować podwyższanie stężeń małowcząsteczkowych mikrozanieczyszczeń, co zasugerowało już kilku autorów [Weng i in. 2014, Teo i in. 2016, Ekwati i in. 2016].

Mikrozanieczyszczenia są definiowane jako związki chemiczne charakteryzujące się toksycznością, odpornością na rozkład oraz zdolnością do bioakumulacji, czyli gromadzenia w tkankach organizmów żywych, występujące w środowisku w śladowych stężeniach, rzędu mikro- lub nanogramów na litr [Włodarczyk-Makuła 2013]. Głównym źródłem tych związków w wodzie basenowej są sami ich użytkownicy, którzy powodują przedostawanie się do niecek basenów pro-

duktów metabolicznych (pot, mocz, ślina, płyny ustrojowe), a na swojej skórze lub włosach wnoszą resztki kosmetyków. Mikrozanieczyszczenia wprowadzane mogą być również do basenów podczas uzupełniania jej objętości wodą wodociągową, w której coraz częściej identyfikuje się np. farmaceutyki [Togola i in. 2008, Boleda i in. 2011, Valcarcel i in. 2011, Vulliet i in. 2011, Zgoła-Grzeškowiak 2010].

W Polsce, spośród małowcząsteczkowych mikrozanieczyszczeń organicznych, w wodzie basenowej oceniana jest zawartość ubocznych produktów dezynfekcji w postaci chloru związanego oraz raz na kwartał zawartość trihalometanów (THM) i chloroformu [Dz. U. z 2015 r. poz. 2016].

Prowadzone w ostatnich latach badania potwierdzają występowanie wielu różnych substancji farmaceutycznych oraz środków higieny osobistej w basenach. Jednymi z najczęściej oznaczanych związków w środowisku wody basenowej są: ibuprofen (IBU), kofeina (CAF) oraz benzofenon-3 (BP-3) [Lambropoulou i in. 2002, Giokas i in. 2004, Cuderman i Heath 2007, Zwiener i in. 2007, Weng i in. 2014, Teo i in. 2015, Ekwati i in. 2016, Lempart i in. 2017, Suppes i in. 2017] W tabeli 1 zestawiono wyniki badań dokumentujące obecność tych związków w wodach basenowych oraz rejestrowany zakres ich stężeń.

CHARAKTERYSTYKA BADANYCH ZWIĄZKÓW

Farmaceutyki i środki higieny osobistej (PPSPs) są zanieczyszczeniami pochodzenia antropogenicznego i składają się z szerokiej gamy związków chemicznych, a niektóre z nich są uważane za niebezpieczne dla środowiska, jak i zdrowia ludzkiego. Mikrozanieczyszczenia organiczne z grupy PPCPs są biologicznie aktywne nawet przy niskich stężeniach, a długotrwałe narażenie na działanie mieszaniny PPCPs może potencjalnie powodować negatywne skutki zdrowotne. Mikrozanieczyszczenia wybrane do badań w ramach niniejszej pracy są jednymi z najbardziej popularnych związków z tej grupy. W basenach pływacy mają bezpośredni kontakt z przedmiotowymi związkami i ich produktami ubocznymi, które mogą występować w stężeniach wyższych niż w środowisku z powodu recyrkulacji wody basenowej i jej nieskutecznego oczyszczania w tym zakresie.

Tabela 1. Poziomy stężenia wybranych mikrozanieczyszczeń w wodzie basenowej
Table 1. Concentration levels of selected micro-pollutants in swimming pool water

Nazwa związku	Klasyfikacja związku	Zakres stężeń w wodzie basenowej	Literatura
Ibuprofen	Niesteroidowy lek przeciwzapalny	16-83 ng/L 171,3-360 ng/L	[Teo i in. 2015] [Ekowati in. 2016]
Kofeina	Stymulant	30-500 ng/L 20-1540 ng/L 171.3 ng/L 2.10-16.40 ng/L nie badano*	[Weng i in. 2014] [Teo i in. 2015] Ekowati i in. 2016] [Lempart i in. 2017] [Suppes i in. 2017]
Benzofenon-3	Filtr przeciwsłoneczny	2400-3300 ng/L 4,2-5,7 ng/L 103-400 ng/L 1200 <110 ng/L 0,1-15,5 nie badano*	[Lambropoulou i in. 2002] [Giokas i in. 2004] [Cuderman i Heath 2007] [Zwiener i in. 2007] [Vidal i in. 2010] [Ekowati i in. 2015] [Suppes i in. 2017]

Ibuprofen to jeden z najczęściej wykorzystywanych niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ) dostępnych bez recepty. Jego rosnące zużycie i konsumpcja przyczynia się do jego kumulacji w środowisku człowieka. Wykazywano obecność Ibuprofenu zarówno w ściekach, wodach powierzchniowych, a nawet w wodzie przeznaczonej do spożycia [Boron i Pawlas 2015]. Niekontrolowane przyjmowanie tego leku może powodować wiele działań niepożądanych, m.in. nudności, wzdęcia, biegunkę, zaparcia, brak łaknienia, a rzadziej krwawienie z przewodu pokarmowego oraz wrzody żołądka lub dwunastnicy. Lek ten może również wchodzić w interakcje z innymi substancjami, powodując negatywne skutki zdrowotne np. w połączeniu z lekami przeciwwkrzepowymi z grupy kumaryn, może powodować krwawienia. Związek ten zwiększa też toksyczność stosowanego w terapii nowotworowej metotreksatu oraz powoduje ryzyko wystąpienia działań niepożądanych w przypadku połączenia z kortykosteroidami. Zmniejsza działanie leków moczopędnych. Może też wywołać alergię krzyżową w połączeniu z innymi lekami z grupy NLPZ.

Kofeina występuje w różnych częściach wielu gatunków roślin. Ze względu na swoje właściwości stymulujące działanie ośrodkowego układu nerwowego i zwiększanie metabolizmu, stała się najpowszechniej używaną substancją o działaniu psychoaktywnym stosowaną zarówno w celach leczniczych, jak i konsumpcyjnych. Najbardziej

popularnymi źródłami kofeiny są kawa, herbata oraz kakao. Jest też szeroko stosowana jako dodatek do niektórych produktów spożywczych, m.in. napojów energetyzujących oraz jako składnik kosmetyków i środków czystości. Wpływ kofeiny na organizm ludzki jest wielokierunkowy i jeszcze nie do końca poznany. Zmniejsza poczucie zmęczenia, polepsza nastrój i koncentrację, zwiększa wydolność fizyczną organizmu, wyostroży uwagę [Glade 2010]. Jednak może również zwiększać uczucie niepokoju i lęku [Bhattacharya i in. 1997]. Kofeina nie jest trawiona w organizmie człowieka całkowicie, co powoduje jej wydalanie przez ludzi wraz z moczem. Z tego powodu jest obecna w ściekach, z których nie jest skutecznie usuwana konwencjonalnymi metodami stosowanymi w oczyszczalniach [Boron i Pawlas 2015]. Skutkuje to jej obecnością w odpływach z oczyszczalni trafiających do rzek i jezior [Boron i Pawlas 2015, Próba 2013]. Badania wykazały także jej występowanie w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi [Boron i Pawlas 2015].

Substancje promieniochronne, zwane popularnie filtrami UV, do których należy benzofenon-3 (BP-3) są szeroko stosowane m.in. w kremach do opalania oraz w wielu produktach do codziennej pielęgnacji ciała tj. kremy do twarzy, balsamy do ciała, lakiery do włosów, farby do włosów oraz szampony. Popularność tych produktów sprawia, że dostają się w dużych ilościach do środowiska. W badania prowadzonych na

bezkregowcach [Schmitt i in. 2008] stwierdzono poważne skutki endokrynologiczne oraz tzw. efekt estrogenny wpływający na reprodukcję organizmów żywych. Filtry UV oddziałują na mięczaki nawet w niskich stężeniach zakłócając pracę układu hormonalnego. Badania prowadzone na rybach wykazały, że stałe dawki substancji promieniotwórczych podawane w stężeniach rzędu $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, mogą powodować u organizmów żywych znaczne zmiany na poziomie genetycznym. Zaobserwowano ich wpływ na transkrypcję genów biorących udział w przemianach hormonalnych w organizmie. Związki z tej grupy wpływają też negatywnie m.in. na sprawność układu immunologicznego, procesy budowy i przebudowy tkanek oraz powodują uszkodzenia DNA [Zucchi i in. 2010].

Przedmiotem niniejszej pracy jest oznaczenie zawartości substancji organicznych i nieorganicznych w wodzie basenowej poprzez pomiar wskaźników ogólnych, takich jak OWO, absorbanca UV_{254} i przewodność właściwa oraz dokonanie analizy poziomów stężeń trzech wybranych małych cząsteczkowych mikrozanieczyszczeń organicznych (kofeiny, Ibuprofenu oraz benzofenonu-3) w różnych punktach systemu cyrkulacji wody basenowej. Badania zmierzały do potwierdzenia lub odrzucenia hipotezy o podnoszeniu stężeń związków w wodzie basenowej w efekcie pracy basenowego systemu cyrkulacji w układzie obiegu zamkniętego.

Charakterystyczne właściwości fizykochemiczne związków wybranych do badań w ramach niniejszej pracy zestawiono w tabeli 2.

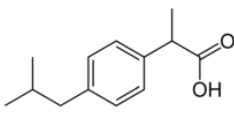
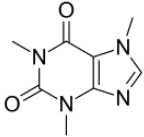
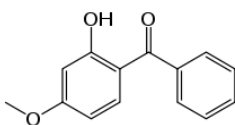
METODYKA BADAŃ

Przeprowadzono analizę zawartości związków organicznych i nieorganicznych w wodzie basenowej na podstawie wskaźników ogólnych takich jak OWO, absorbanca UV_{254} i przewodność właściwa. Próbkę została również poddana analizie chromatograficznej w celu oceny poziomów stężeń trzech wybranych małych cząsteczkowych mikrozanieczyszczeń organicznych (kofeiny, ibuprofenu oraz benzofenonu-3).

Pierwsza seria pomiarowa trwała 8 dni (co odpowiada okresowi trwania filtrycyklu) i wykonana została w maju 2017 r., druga po 6 miesiącach, w listopadzie 2017 r., również trwała 8 dni. [Szyguła 2017]. Badania zostały wykonane pomiędzy przerwami technologicznymi, w trakcie których następuje pełna wymiana wody w obiegu zamkniętym instalacji basenowej. Badania te były długoterminowe właśnie z uwagi na fakt, że woda basenowa kompletnie wymieniana jest raz na dwanaście miesięcy. Porównanie parametrów jakościowych wody basenowej w odstępie 6 miesięcy pozwala ocenić wpływ systemu cyrkulacji na poziom stężeń mikrozanieczyszczeń.

W trakcie każdej z serii pomiarowych analiz poddane zostały 32 próbki pobierane z czterech różnych punktów instalacji wody basenowej (rys. 1) przez 8 kolejnych dni. Wytypowano cztery charakterystyczne dla pracy systemu basenowego punkty poboru wody do analizy tj.: nieckę basenową (N), zbiornik wody przelewowej (Z), punkt instalacji za filtrem basenowym (F) oraz miejsce po zadawkowaniu dezynfekanta i korek-

Tabela 2. Charakterystyka wybranych mikrozanieczyszczeń
Table 2. Characteristics of selected micropollutants

Związek farmaceutyczny	Ibuprofen (IBU)	Kofeina (CAF)	Benzofenon-3(BP-3)
Wzór strukturalny			
Wzór sumaryczny	$\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_2$	$\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_4\text{O}_2$	$\text{C}_{14}\text{H}_{12}\text{O}_3$
Masa molowa [g/mol]	206,28	194,2	228,24
Numer CAS	15687-27-1	58-08-2	131-57-7
Rozpuszczalność w wodzie w 25°C [mg/L]	21	21600	69
logP	3,97	-0,07	3,79
pK_a	4,91	14,0	7,6
Dawka śmiertelna L_{50} [mg/kg]	320	368	12800

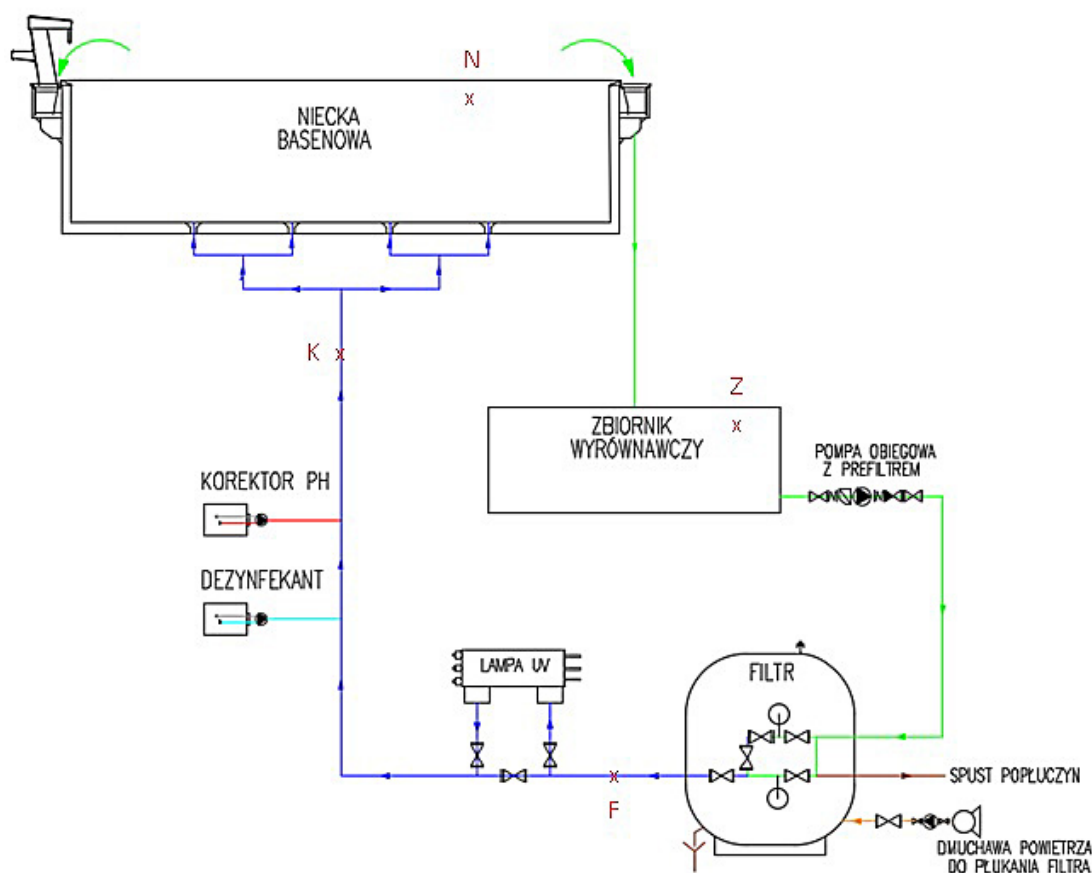
cie pH (K) (rys. 1). Analizie poddano również wodę wodociągową (oznaczoną jako W) stanowiącą źródło wody uzupełniającej. Badanie to miało na celu wykluczenie wody wodociągowej jako potencjalnie możliwego źródła pochodzenia małych cząstek mikrozanieczyszczeń organicznych w wodzie basenowej. Ten cykl badawczy trwał 8 dni i odpowiadał okresowi trwania filtracyjnego.

Pobrane próbki wody poddano analizie chromatograficznej w celu oznaczenia stężeń wybranych mikrozanieczyszczeń w poszczególnych punktach układu cyrkulacji wody basenowej. Analiza chromatograficzna oraz poprzedzające ją przygotowanie próbki prowadzone były zgodnie z opracowaną procedurą analityczną przedstawioną w pracy [Lempart i in. 2017], która umożliwia ocenę jakościowo-ilościową mikrozanieczyszczeń z grupy PPCPs z zadowalającą powtarzalnością i dokładnością. Uzyskiwane wartości odzysku związków zapewniają możliwość pełnej kontroli ilościowej badanych mikrozanieczyszczeń w próbkach pobranych z systemów oczyszczania basenu [Lempart i in. 2017]. Do analizy

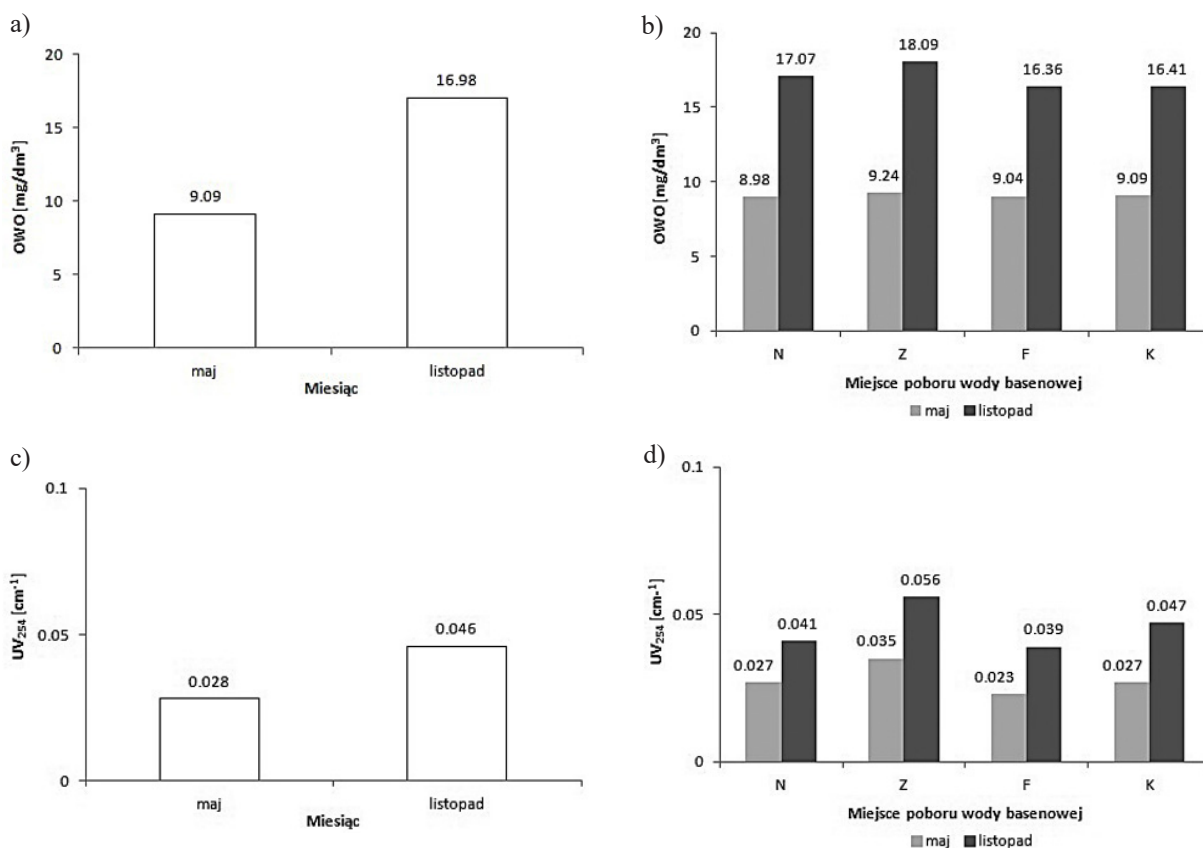
wykorzystano chromatograf gazowy sprzężony z detektorem masowym (GC-MS) z jonizacją elektronową (EI) firmy PERLAN Technologies, model 7890B. Przygotowanie próbki do analizy chromatograficznej obejmowało ekstrakcję do fazy stałej metodą SPE (z ang. Solid Phase Extraction). Złoże C-18 wypełniające kolumnę ekstrakcyjną kondycjonowano za pomocą metanolu i acetonitrylu oraz przemywano wodą zdejonizowaną. Na kolumnę ekstrakcyjną podawano 1 L próbki badanej wody. Następnie, po osuszeniu złoża pod próżnią, ekstrakt eluowano stosując kolejno acetonitryl i metanol.

WYNIKI I DISKUSJA BADAŃ

Na rysunku 2 zaprezentowano wyniki analizy zawartości substancji organicznych w wodzie basenowej. Zarówno zawartość ogólnego węgla organicznego jak i absorbancja wzrosły niemal dwukrotnie w okresie 6 miesięcy eksploatacji układu (rys. 2a i c). Największe średnie wartości obydwu tych parametrów odnotowano w zbiorniku wyrównawczym (rys. 2b i d).



Rys. 1. Ogólny schemat układu cyrkulacji wody w instalacji basenowej z zaznaczonymi punktami poboru próbek do badań



Rys. 2. Wyniki analizy zawartości substancji organicznych: a) zmiana średniej zawartości ogólnego węgla organicznego pomiędzy 6 miesiącami b) średnia zawartość ogólnego węgla organicznego w poszczególnych punktach poboru wody basenowej c) zmiana średniej wartości absorbancji UV₂₅₄ pomiędzy 6 miesiącami d) średnia wartość absorbancji w poszczególnych punktach poboru wody basenowej

Wyniki analizy zawartości substancji nieorganicznych w wodzie basenowej zaprezentowano na rysunku 3. Przewodność właściwa wody pomiędzy 6 miesiącami wzrosła nieznacznie (rys 3 a). Największe średnie wartości tego wskaźnika odnotowano w niecce basenowej N (rys. 3b).

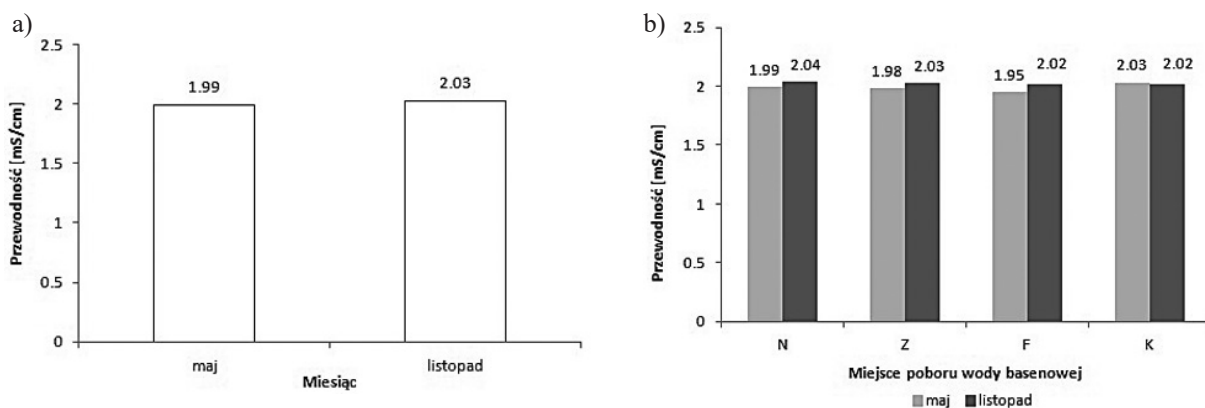
Rysunek 4 przedstawia zmianę wartości stężeń badanych małącząstekowych mikrozanieczyszczeń organicznych w trakcie 8 dni trwania filtrycyklu w poszczególnych punktach układu cyrkulacji wody basenowej. Największe stężenia kofeiny i Ibuprofenu odnotowano w zbiorniku wyrównawczym (rys 4a i b) w ósmym dniu badań (ostatni dzień przed płukaniem filtra). Natomiast w niecce basenowej zaobserwowano największą średnią wartość stężenia benzofenonu-3 (rys. 4c) i miało to miejsce również w ósmym dniu badań, co odpowiada ostatniemu dniu filtrycyklu. Spośród badanych związków największym wzrostem stężenia w trakcie 8 dni pracy filtra charakteryzował się benzofenon-3. Jego stężenie wzrosło dziesięciokrotnie. W próbkach wody wodociągowej

zawartość wszystkich badanych związków była poniżej wartości LOQ zastosowanej procedury analitycznej.

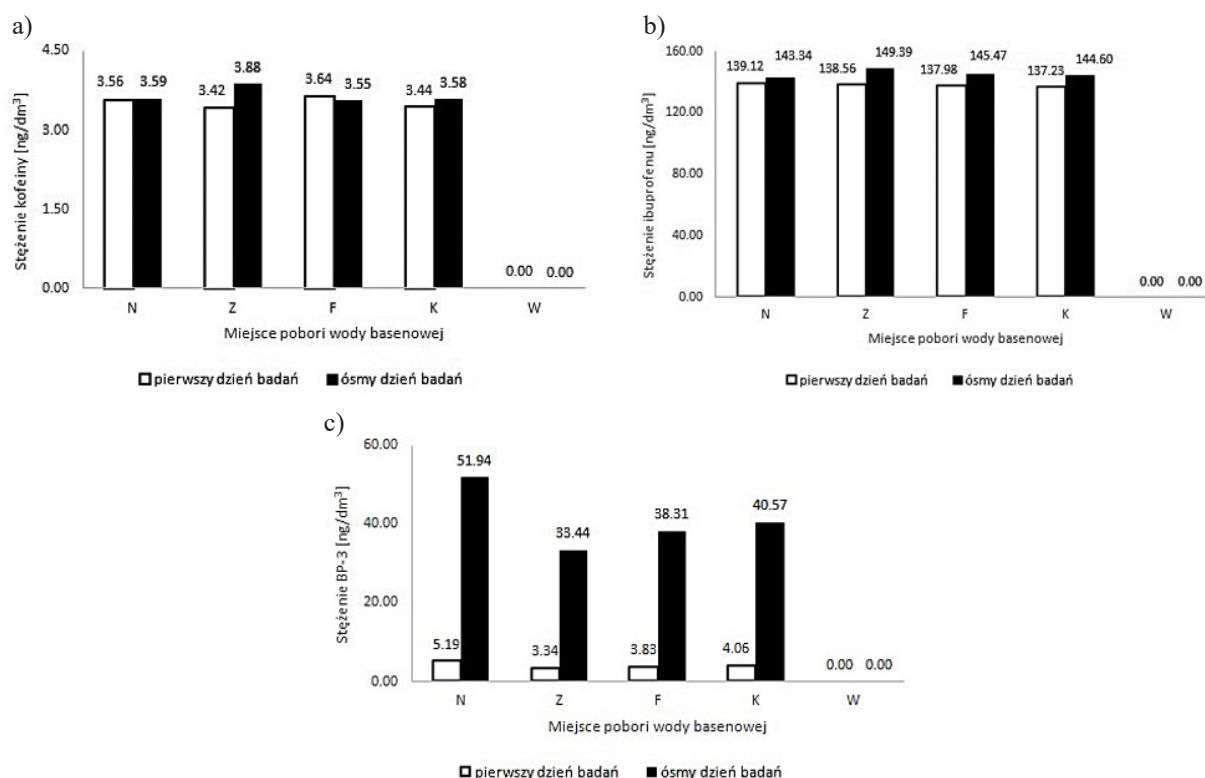
WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonej analizy zawartości substancji organicznych w wodzie basenowej dowodzą o podwyższaniu stężeń zanieczyszczeń w systemie cyrkulacji wody basenowej. Absorbancja UV₂₅₄ i zawartość węgla organicznego OWO wzrosła pomiędzy sześcioma miesiącami niemal dwukrotnie. Największe wartości tych wskaźników odnotowano w zbiorniku wyrównawczym. Zjawiska zwiększania stężeń nie zaobserwowano w przypadku substancji nieorganicznych.

W wyniku analiz chromatograficznych wykazano wzrost stężenia we wszystkich punktach instalacji wody basenowej trzech badanych małącząstekowych mikrozanieczyszczeń organicznych (kofeiny, Ibuprofenu oraz benzofe-



Rys. 3. Wyniki analizy zawartości substancji nieorganicznych: a) zmiana średniej wartości przewodności pomiędzy 6 miesiącami, b) średnia wartość przewodności w poszczególnych punktach poboru wody basenowej



Rys. 4. Zmiana stężenia wybranych mikrozanieczyszczeń w trakcie 8 dni trwania filtrocyklu w poszczególnych punktach układu cyrkulacji [Szyguła 2017]: a) kofeiny, b) ibuprofenu, c) benzofenonu-3

nonu-3) w trakcie 8 dni trwania filtrocyklu. Dokumentuje to znaczny wpływ przyjętego czasu filtrocyklu na stężenie małocząsteczkowych mikrozanieczyszczeń organicznych. W okresie tym najbardziej wzrosło stężenie benzofenonu-3. Stwierdzono również, że miejscem największego gromadzenia się badanych farmaceutyków (kofeina, Ibuprofen) w układzie oczyszczania wody basenowej jest zbiornik przelewowy, natomiast filtr UV benzofenon-3, gromadził się głównie w niecce basenowej.

Podziękowania

Pracę sfinansowano ze środków przyznanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr BK/231/RIE-4/2017, ze środków na badania kierunkowe młodych naukowców przyznane dla Instytutu Inżynierii Wody i Ścieków Politechniki Śląskiej w 2017 roku nr BKM/554 /RIE-4/2017 oraz ze środków przyznanych przez Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki na działalność Studenckiego Koła Naukowego „Techniki Membranowe” w roku akademickim 2017/2018.

LITERATURA

1. Bhattacharya S.K., Satyan K.S., Chakrabarti A. 1997. Anxiogenic action of caffeine: an experimental study in rats. *Journal of Psychopharmacology*, 3, 219-224.
2. Boleda M.R., Galceran M.T., Ventura F. 2011. Behavior of pharmaceuticals and drugs of abuse in a drinking water treatment plant (DWTP) using combined conventional and ultrafiltration and reverse osmosis (UF/RO) treatments. *Environ Pollut.*, 159, 1584-1591.
3. Boron M. and Pawlas K. 2015. Farmaceutyki w środowisku wodnym – przegląd literatury. *Probl. Hig. Epidemiol.*, 96, 357-363.
4. Cuderman P. and Heath E. 2007. Determination of UV filters and antimicrobial agents in environmental water samples, *Anal. Bioanal. Chem.*, 387, 1343-1350.
5. Ekowati Y., Buttiglieri G., Ferrero G., Valle-Sistac J., Diaz-Cruz M.S., Barceló D., Petrovic M., Villagrasa M., Kennedy M.D., Rodríguez-Roda I. 2016. Occurrence of pharmaceuticals and UV filters in swimming pools and spas. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 23, 14431-14441.
6. Giokas D.L., Sakkas V.A., Albanis T.A. 2004. Determination of residues of UV filters in natural waters by solid-phase extraction coupled to liquid chromatography–photodiode array detection and gas chromatography– mass spectrometry. *J Chromatogr A*, 1026, 289-293.
7. Glade M. 2010. Caffeine–Not just a stimulant., *Nutrition.*, 26(10), 932-938.
8. Lambropoulou D.A., Giokas D.L., Sakkas V.A., Albanis T.A., Karayannis M.I. 2002. Gas chromatographic determination of 2-hydroxy-4-methoxybenzophenone and octyldimethyl-p-aminobenzoic acid sunscreen agents in swimming pool and bathing waters by solidphase microextraction, *J Chromatogr A*, 967, 243-253.
9. Lempart A., Kudlek E., Dudziak M. 2017. Poziomy stężenie wybranych farmaceutyków w wodzie basenowej, *Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
10. Lempart, A., Kudlek E., Dudziak M. 2017. Determination of micropollutants in solid and liquid samples from swimming pool systems. *Proc. of the 2nd Int. Elect. Conf. Water Sci.*, 16–30 Nov. 2017; Sciforum Electronic Conference Series, Vol. 2.
11. Piechurski F.G. 2006. Metody oczyszczania wody w krytych basenach publicznych (cz. 1). *Rynek Instalacyjny*, 1-2, 70-76.
12. Piechurski F.G. 2008. Technologie i urządzenia do oczyszczania wody basenowej. *Pływalnie i baseny*, 1, 90-100.
13. Piechurski F.G. 2011. Jaki system się opłaca cz. 1. Warunki projektowania instalacji cyrkulacji wody basenowej. *Pływalnie i baseny*, 7, 88-95.
14. Próba M. 2013. Wybrane antropogeniczne czynniki zanieczyszczenia wód powierzchniowych. *Analiza zjawiska. Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 16(1), 113-124.
15. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 9 list. 2015 r. w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach (Dz.U. z 2015 r. poz. 2016).
16. Schmitt C., Oetken M., Dittberner O., Wagner M., Oehlmann J., 2008. Endocrine modulation and toxic effects of two commonly used UV screens on the aquatic invertebrates *Potamopyrgus antipodarum* and *Lumbriculus variegatus*. *Environ. Pol.*, 152, 322-329.
17. Suppes L.M., Huang C.H., Lee W.N., Brockman K.J. 2017. Sources of pharmaceuticals and personal care products in swimming pools. *J. Water and Health*, 15, 829-833.
18. Szyguła A. 2017. Ocena wpływu systemu cyrkulacji na poziom stężeń mikrozanieczyszczeń w układzie oczyszczania wody basenowej. Praca inżynierska, promotor: dr hab. inż. Mariusz Dudziak, prof. w Pol. Śl., Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Gliwice
19. Teo T.L.L., Coleman H.M., Khan S.J., 2015. Occurrence and daily variability of pharmaceuticals and personal care products in swimming pools *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 23, 6972-6981.
20. Togola A., Budzinski H. 2008. Multi-residue analysis of pharmaceutical compounds in aqueous samples. *J. Chromatogr A*, 1177, 150-158.
21. Valcárcel Y., González Alonso S., Rodríguez-Gil J.L. i in. 2011. Analysis of the presence of cardiovascular and analgesic/anti-inflammatory/antipyretic pharmaceutical in river- and drinking-water of the Madrid Region in Spain. *Chemosphere*, 82, 1062-1071.
22. Vidal L., Chisvert A., Canals A., Salvador A. 2010. Ionic liquid-based single-drop microextraction followed by liquid chromatographyultraviolet spectrophotometry detection to determine typical UV filters in surface water samples. *Talanta*, 81, 549-555.
23. Vulliet E., Cren-Olive C., Grenier-Loustalot M. F. 2011. Occurrence of pharmaceuticals and hormones in drinking water treated from surface waters. *Environ. Chem. Lett.*, 9, 103-114.
24. Weng S.C., Sun P., Ben W., Huang C.H., Lee L.T., Blatchely E.R. 2014. The Presence of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Swimming Pools. *Environ. Sci. Technol. Lett.*, 12, 495-498.
25. Włodarczyk-Makuła M. 2013. Wybrane mikrozanieczyszczenia organiczne w wodach i glebach, *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk* vol. 104.
26. Zgoła-Grześkowiak A. 2010. Application of

- DLLME to isolation and concentration of non-steroidal anti-inflammatory drugs in environmental water samples. *Chromatogr.*, 72, 671-678.
27. Zucchi S., Oggier D.M., Fent K. 2011. Global gene expression profile induced by the UV-filter 2-ethyl-hexyl-4-trimethoxycinnamate (EHMC) in zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Pollution*, 159, 3086-3096.
28. Zwiener C., Richardson S.D., De Marini D.M., Grummt T., Glauner T., Frimmel F.H. 2007. Drowning in disinfection byproducts? Assessing swimming pool water. *Environ Sci. Technol.*, 41, 363-372.