

Agnieszka Włodyka-Bergier, Tomasz Bergier, Wioleta Zajac

Ocena możliwości stosowania promieniowania nadfioletowego w uzdatnianiu wody basenowej – studium przypadku

Promieniowanie nadfioletowe (UV) znajduje coraz powszechniejsze zastosowanie do dezynfekcji wody przeznaczonej do spożycia, a także w układach uzdatniania wód basenowych [1, 2]. Technologia UV ma wiele zalet, z których najważniejsze to brak wpływu na smak i zapach wody oraz duża skuteczność niszczenia mikroorganizmów, które są odporne na działanie chloru [3]. Zastosowanie technologii UV w systemach uzdatniania wody basenowej powoduje również usunięcie chloru związanego, a więc związków odpowiedzialnych za podrażnienie oczu, błony śluzowej, skóry i za charakterystyczny (nieprzyjemny) zapach [3, 4]. Lampy UV w technologii uzdatniania wody basenowej mają na celu również poprawę jakości mikrobiologicznej wody [5]. Jeżeli naświetlanie promieniami UV jest jedyną metodą dezynfekcji wody, wówczas nie powstają w niej produkty uboczne procesu dezynfekcji. Jednak z uwagi na fakt, że działanie dezynfekujące występuje tylko w momencie naświetlania wody tymi promieniami, konieczne jest połączenie technologii UV z chemicznymi środkami dezynfekcyjnymi, które dają możliwość zabezpieczenia wody przed wtórnym skażeniem [6].

Niekorzystnym efektem towarzyszącym stosowaniu preparatów chlorowych w procesie dezynfekcji wody jest niebezpieczeństwo powstawania różnych, potencjalnie groźnych, produktów ubocznych [7, 8], do których zalicza się trihalogenometany (THM), kwasy halogenooctowe (HAA – haloacetic acids), halogenoacetonitryle (HAN), halogenoketony (HK), chloropikrynę (CP) i wodzian chloralu (CH – chloral hydrate) [9, 10]. Produkty te powstają w niewielkich ilościach, rzędu mg/m^3 , jednak ze względu na działanie toksyczne i mutagenne muszą być brane pod uwagę przy końcowej ocenie jakości wody [11]. Naświetlanie wody promieniami UV, z późniejszym chlorowaniem, może przyczynić się do zmian w strukturze naturalnych substancji organicznych, powodując wzrost ich biodegradowalności oraz zwiększenie udziału frakcji związków organicznych o małej masie cząsteczkowej [12, 13]. Przemiany w strukturze związków organicznych, spowodowane promieniowaniem UV, mogą mieć wpływ na dynamikę i zróżnicowanie profilu powstających produktów ubocznych procesu dezynfekcji [3, 14].

Można byłoby sądzić, że stosowanie procesu chlorowania w sekwencji z dodatkową metodą dezynfekcji w postaci promieniowania UV powinno prowadzić do zmniejszenia

dawki chloru, jednak z uwagi na rozpad chloru wolnego stwierdza się zwiększenie zapotrzebowania wody na chlor, a w rezultacie większe zużycie chloru i wyższe koszty chemicznych [2, 3]. Biorąc te aspekty pod uwagę, celem niniejszego artykułu była ocena jakości wody basenowej po zastosowaniu dwóch wariantów jej dezynfekcji – kombinacji UV/chlor i samym chlorem. Badania przeprowadzono w rzeczywistym obiekcie, którym był basen sportowy AGH w Krakowie przy ul. Jana Buszka 4. Ocenie poddano wskaźniki fizyczno-chemiczne wody, produkty uboczne dezynfekcji, jakość mikrobiologiczną wody, zawartość chloru wolnego i związanego oraz rachunek kosztów eksploatacyjnych tego obiektu.

Materiały i metody

Badaniom poddano wodę pobieraną z niecki basenu w odstępach tygodniowych, w czasie od kwietnia 2013 r. do marca 2014 r. Dzięki wyłączeniu lampy UV w cyklach dwutygodniowych możliwe było porównanie wpływu kombinacji UV/chlorowanie na jakość wody basenowej oraz odniesienie uzyskanych wyników do wartości otrzymanych w czasie, w którym woda była poddawana wyłącznie chlorowaniu. Pobór próbek wody do badań odbywał się zawsze z tego samego miejsca niecki basenu, w odległości 40 cm od jego krawędzi, 20÷30 cm pod powierzchnią lustra wody. Próbkę były pobierane w godzinach 10:30–12:00.

Uzdatnianie wody do celów kąpielowych w analizowanym obiekcie odbywało się w obiegu zamkniętym z czynnym przelewem (dawkowanie koagulantu → filtracja pospieszna → niskociśnieniowa lampa UV → dezynfekcja podchlorynem wapnia → korekta pH). W systemie uzdatniania zainstalowany był niskociśnieniowy promiennik UV SPECTRON 150 firmy WEDECO, przystosowany do układu o maksymalnej wydajności 178 m^3/h i transmisji UV minimum 95%. Jednostki SPECTRON wyposażone są w najnowsze lampy UV ECORAY. Promiennik złożony jest z czterech niskociśnieniowych lamp, każda o mocy 330 W. Monochromatyczne lampy UV emitują promieniowanie UV o długości fali 254 nm, które bardzo skutecznie unieszkodliwia patogeny.

W pobranych próbkach wody oznaczono zanieczyszczenia mikrobiologiczne (bakterie mezo- i psychrofilne), produkty uboczne dezynfekcji (THM, HAA, HAN, HK, CH i CP), chlor wolny i związany, a także podstawowe wskaźniki fizyczno-chemiczne wody basenowej, takie jak azotany, azotyny, azot amonowy, azot ogólny, bromki, pH, przewodność elektrolityczna właściwa, jak również rozpuszczony węgiel organiczny (RWO) oraz absorbancja

właściwa w nadfiolecie (SUVA₂₅₄). Ogólną liczbę bakterii mezofilnych i psychrofilnych oznaczano metodą posiewu wgłębnego na agarze odżywczym zgodnie z normą PN-N ISO 6222. Analiza produktów ubocznych została wykonana z wykorzystaniem chromatografii gazowej ze spektrometrią mas (GC-MS) z zastosowaniem helu, jako gazu nośnego. Oznaczeniu podlegały lotne produkty uboczne z grupy THM (trichlorometan, bromodichlorometan, dibromochlorometan i tribromometan), HAA (kwas monochlorooctowy, kwas mocobromooctowy, kwas dichlorooctowy, kwas trichlorooctowy, kwas bromochlorooctowy, kwas dibromooctowy), HAN (trichloroacetonitryl, dichloroacetonitryl, bromochloroacetonitryl i dibromoacetonitryl) HK (1,1-dichloropropanon i 1,1,1-trichloropropanon), CH oraz CP. Opis metod oznaczania lotnych produktów ubocznych, kwasów halogenooctowych oraz pozostałych wskaźników fizyczno-chemicznych wody zawarty jest w publikacjach własnych autorów [14–16].

Na podstawie otrzymanych wartości wszystkich wskaźników jakości wody sprawdzono, czy włączenie i wyłączenie lampy UV w technologii uzdatniania wody basenowej powoduje, że uzyskane wyniki wykazują statystycznie istotne różnice. Do analizy posłużyły test t-Studenta (w przypadku stwierdzenia jednorodności wariancji) lub test Cochran-Coxa (w wypadku braku jednorodności wariancji). Równość wariancji badano testem Lavene'a, zaś zgodność z rozkładem normalnym testem Shapiro-Wilka. Wszystkie analizy przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statistica (ver. 10.0) firmy StatSoft.

Dyskusja wyników badań

W tabeli 1 przedstawiono wartości badanych wskaźników fizyczno-chemicznych i mikrobiologicznych jakości wody basenowej w dwóch wariantach dezynfekcji – kombinacji UV/Cl₂ oraz samego chlorowania. Przedstawiono tam również zawartość chloru wolnego i związanego oraz średnie wartości sumy organicznych halogenowych ubocznych produktów dezynfekcji (THM, HAA, HAN, HK i CH i CP). Wyniki te obejmują część badań nad wpływem promieniowania UV₂₅₄ na potencjał tworzenia produktów ubocznych chlorowania w wodzie basenowej [17].

Wartości wskaźników fizyczno-chemicznych (przewodność właściwa, pH, związki azotu, RWO), mierzonych w ciągu całego czasu badań, w przypadku obydwu rozpatrywanych wariantów dezynfekcji (z włączoną i wyłączoną lampą UV) nie wykazały statystycznie istotnych różnic. Widoczne różnice między minimalnymi i maksymalnymi wartościami poszczególnych wskaźników wynikały ze stopniowego pogarszania się jakości wody po corocznej wymianie wody w niecce basenu. Promieniowanie UV może jednak wpływać na zmianę jakości fizyczno-chemicznej wody. Pomimo zastosowania krótkich cykli z jednym wariantem dezynfekcji daje się zauważyć, że włączenie lampy UV może mieć niewielki wpływ na zmniejszenie zawartości węgla organicznego i wartości wskaźnika SUVA₂₅₄, na skutek częściowej mineralizacji związków organicznych oraz ograniczenie zawartości związków aromatycznych [18, 19].

Jakość mikrobiologiczna wody w przypadku obydwu rozpatrywanych wariantów (z włączoną i wyłączoną lampą UV) również nie różniła się statystycznie. Uzyskane średnie wartości liczby kolonii bakterii mezofilnych były bardzo zbliżone w obu wariantach dezynfekcji. Średnia liczba kolonii bakterii psychrofilnych była natomiast większa

Tabela 1. Jakość wody basenowej podczas dezynfekcji Cl₂ oraz w układzie UV/Cl₂

Table 1. Swimming pool water quality during disinfection with Cl₂ and with UV/Cl₂ sequence

Wskaźnik, jednostka	Wartość średnia (zakres)	
	Cl ₂	UV/Cl ₂
wskaźniki fizyczno-chemiczne		
pH	7,28 (7,14÷7,45)	7,28 (7,09÷7,41)
Przewodność właściwa, mS/cm	1,012 (0,781÷1,320)	0,966 (0,324÷1,334)
Bromki, gBr/m ³	0,43 (0,38÷0,46)	0,37 (0,02÷0,47)
Azot amonowy, gN/m ³	0,05 (<0,01÷0,22)	0,07 (<0,01÷0,22)
Azotyny, gN/m ³	<0,002 (<0,002÷0,005)	<0,002 (<0,002÷0,002)
Azotany, gN/m ³	5,44 (3,80÷7,60)	5,58 (3,00÷8,70)
Azot ogólny, gN/m ³	6,30 (3,90÷9,12)	6,43 (3,60÷10,40)
Azot organiczny, gN/m ³	0,80 (0,05÷2,37)	0,78 (0,06÷1,99)
RWO, gC/m ³	3,12 (1,28÷7,04)	3,02 (1,95÷4,90)
SUVA ₂₅₄ , m ³ /gC-m	1,691 (0,617÷4,282)	1,292 (0,621÷1,865)
Chlor wolny, gCl ₂ /m ³	0,52 (0,24÷1,07)	0,49 (0,30÷0,64)
Chlor związany, gCl ₂ /m ³	0,68 (0,44÷0,93)	0,52 (0,32÷0,67)
organiczne uboczne produkty dezynfekcji		
Suma THM, mg/m ³	15,70 (4,42÷28,48)	15,26 (3,79÷23,82)
Suma HAA, mg/m ³	55,44 (15,09÷104,13)	70,69 (39,26÷126,24)
Suma HAN, mg/m ³	10,96 (5,63÷19,16)	10,06 (2,06÷18,00)
Suma HK, mg/m ³	14,48 (6,52÷30,66)	11,84 (2,22÷22,54)
CH, mg/m ³	31,98 (8,45÷55,98)	49,02 (16,80÷88,24)
CP, mg/m ³	0,33 (0,03÷1,00)	0,53 (0,04÷1,28)
wskaźniki mikrobiologiczne		
Bakterie mezofilne, jtk/cm ³	7 (0÷53)	6 (0÷88)
Bakterie psychrofilne, jtk/cm ³	6 (0÷48)	20 (0÷281)

w przypadku zastosowania kombinacji UV/Cl₂. Było to jednak spowodowane incydentalnym przypadkiem uzyskania dużej liczby tych bakterii sięgającej 281 jtk/cm³. Nieznaczne zwiększenie liczby bakterii heterotroficznych po włączeniu do układu oczyszczania wody basenowej niskociśnieniowej lampy UV odnotowany był również przez innych autorów [20].

Zarówno w przypadku zastosowania do dezynfekcji kombinacji UV/Cl₂, jak i samego chlorowania obserwowano bardzo zbliżoną średnią zawartość chloru wolnego w analizowanej wodzie, co wynikało z konieczności utrzymania ilości wolnego chloru w niecce basenowej w zakresie 0,3÷0,6 gCl₂/m³. Statystycznie istotną różnicę odnotowano natomiast w przypadku zawartości chloru związanego. W wariancie, w którym dezynfekcję zapewniał wyłącznie chlor, obserwowano podwyższoną zawartość chloru związanego, w porównaniu do wyników otrzymanych z zastosowaniem kombinacji UV/Cl₂. Średnia ilość chloru związanego podczas samego chlorowania wynosiła 0,68 gCl₂/m³, natomiast przy włączonej lampie

UV – 0,52 gCl₂/m³ (zmniejszenie zawartości chloru związanego o prawie 24%). Taka sytuacja mogła wynikać z faktu, że użycie promieniowania UV oraz chlorowania mogło prowadzić do fotolizy części chloru związanego [20, 13]. Zastosowanie lamp UV do dechloraminacji wody basenowej jest powszechnie stosowane, jednak lampy średnociśnieniowe mają większą skuteczność niż lampy niskociśnieniowe w usuwaniu chloru związanego [2, 4, 20]. Jak pokazały wyniki przeprowadzonych badań, pomimo statystycznie istotnego wpływu lampy niskociśnieniowej na zmniejszenie ilości chloru związanego, dopuszczalna zawartość chloru związanego (0,3 gCl₂/m³) nie została osiągnięta [21].

Badania nad zawartością ubocznych produktów dezynfekcji wykazały, że sekwencyjne połączenie promieniowania UV i chlorowania zwiększyło ich ilości w wodzie basenowej. Średnia suma oznaczonych produktów ubocznych w analizowanym czasie przy włączonej lampie UV wyniosła 157,39 mg/m³, natomiast przy wyłączonej – 128,88 mg/m³. Nie była to jednak różnica statystycznie istotna. Statystycznie istotne różnice uzyskano jedynie w przypadku wodzianu chlorału. Zawartość tego związku była o ponad 53% większa w wodzie naświetlanej promieniami UV. Istotnych statystycznie różnic nie odnotowano także w przypadku rozpatrywania sum oznaczonych związków z grupy THM, HAA, HAN i HK oraz CP, jednak obserwowano zwiększenie zawartości ΣHAA i CP w wodzie dezynfekowanej kombinacją UV/chlorowanie. Zwiększenie ilości powstających ubocznych produktów dezynfekcji na skutek włączenia promieniowania UV w system dezynfekcji wody znajduje odzwierciedlenie również wśród badań innych autorów [2, 13, 22]. Zmiana ilości tworzonych produktów ubocznych jest spowodowana tym, że promieniowanie UV stosowane wraz z późniejszym chlorowaniem wody może inicjować szereg zmian w strukturze naturalnych związków organicznych. Fakt ten z kolei może mieć wpływ na dynamikę i zróżnicowanie profilu powstających ubocznych produktów dezynfekcji [3, 14].

Ocena kosztów

Czasowe wyłączenie lampy UV w układzie uzdatniania wody basenowej dało również możliwość porównania ilości zużywanych środków chemicznych w dwóch wariantach procesu dezynfekcji. W tabeli 2 zestawiono dawki i koszt dobowy brutto poszczególnych środków chemicznych, jakie użyto do uzdatniania wody basenowej przy zastosowaniu wybranego wariantu dezynfekcji. Ze względu na przerwę technologiczną (3,5 h) systemu uzdatniania wody, wszystkie przeliczenia na dobę odnoszą się do czasu 21,5 h.

W przypadku systemu uzdatniania wody opartego wyłącznie na chlorowaniu, do kosztów eksploatacji układu zalicza się zakup środków chemicznych w postaci podchlorynu wapnia, odczynnika do korekty pH oraz koagulantu Flockmix Ultra. Do kosztów eksploatacji dwustopniowego systemu dezynfekcji UV/Cl₂, oprócz zakupu środków chemicznych, należy doliczyć koszty okresowej (średnio co 1,5 roku) wymiany żarników lampy (koszt jednego żarnika do lampy stosowanej w analizowanym obiekcie wynosi brutto 1511,58 zł). Ponieważ promiennik UV SPECTRON składa się z czterech żarników, zatem jednorazowy koszt wymiany żarników do jednostki SPECTRON wynosi brutto 6046,32 zł. Przy założonej żywotności tego typu promienników wynoszącej 12 tys. h, dobowy koszt eksploatacji lampy UV wynosi brutto 10,83 zł. Koszty energii

Tabela 2. Dawki i koszty środków chemicznych zużywanych w procesie uzdatniania wody basenowej

Table 2. Doses and costs of chemicals consumed during the swimming pool water treatment

Rodzaj chemikaliów	Wartość średnia (zakres)	
	zużycie, kg/d	koszt brutto, zł/d
dezynfekcja Cl ₂		
Środek dezynfekcyjny	2,94 (1,93÷3,86)	66,53 (43,68÷87,35)
Korektor pH	9,31 (5,00÷14,00)	13,78 (7,40÷20,72)
Koagulant	18,05 (12,86÷36,00)	26,71 (19,03÷53,28)
dezynfekcja UV/Cl ₂		
Środek dezynfekcyjny	3,38 (2,57÷4,04)	76,49 (58,16÷91,43)
Korektor pH	8,87 (3,89÷12,50)	13,13 (5,76÷18,50)
Koagulant	17,01 (10,00÷23,33)	25,17 (14,80÷34,53)

elektrycznej zużywanej przez promienniki UV pominięto z uwagi na fakt, że lampy UV ECORAY mają minimalny udział w całkowitym bilansie energetycznym analizowanego obiektu. Przy tych założeniach całkowity średni koszt funkcjonowania instalacji uzdatniania wody basenowej, przy zastosowaniu dwustopniowego systemu dezynfekcji UV/Cl₂, wynosi 125,62 zł/d (w tym koszt odczynników 114,79 zł/d), natomiast w wariantcie z samym chlorowaniem średni koszt jest niższy i wynosi 107,03 zł/d. Dołączenie promieniowania UV do systemu dezynfekcji wody basenowej powoduje większe koszty związane z eksploatacją układu uzdatniania – w ujęciu rocznym ta różnica sięga kwoty 7000 zł. Na zwiększenie kosztów wpływa większa dawka podchlorynu wapnia oraz okresowa wymiana żarników promiennika UV.

Wnioski

♦ Włączenie niskociśnieniowych lamp UV do analizowanego układu uzdatniania wody basenowej nie przyniosło oczekiwanej poprawy jakości wody zarówno pod względem mikrobiologicznym, jak i z uwagi na zawartość chloru związanego.

♦ Jakość wody pod względem wskaźników fizyczno-chemicznych i mikrobiologicznych w przypadku obu rozpatrywanych wariantów dezynfekcji (Cl₂ i UV/Cl₂) nie wykazywała różnic istotnych statystycznie. Statystycznie istotną różnicę odnotowano natomiast w przypadku zawartości chloru związanego. Jakkolwiek zastosowanie lampy UV spowodowało zmniejszenie udziału chloru związanego, to jednak stwierdzone ilości tej formy chloru nie spełniały warunków określonych w rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach [21].

♦ Promieniowanie UV spowodowało istotne zwiększenie ilości organicznych ubocznych produktów chlorowania, takich jak wodzian chlorału, kwasy halogenoocetowe i chloropikryna.

♦ Dołączenie promieniowania UV do systemu uzdatniania wody basenowej może przyczynić się do zwiększenia zapotrzebowania na chlor, a w rezultacie wzrostu zużycia chlorowego środka dezynfekcyjnego, co podnosi koszty technologii UV/Cl₂, a konieczność okresowej wymiany żarników w lampach UV dodatkowo zwiększa koszty eksploatacyjne układu uzdatniania wody basenowej.

Badania zrealizowano z funduszu badań statutowych nr 11.11.150.008 Katedry Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie.

Autorzy dziękują dyrekcji basenu AGH w Krakowie za udostępnienie obiektu do badań oraz za informacje dotyczące cen poszczególnych chemikaliów i kosztów zakupu promienników UV.

LITERATURA

1. M. LEHTOLA, I. MIETTINEN, T. VARTIAINEN, P. RANTAKOKKO, A. HIRVONEN, P. MARTIKAINEN: Impact of UV disinfection on microbially available phosphorus, organic carbon and microbial growth in drinking water. *Water Research* 2003, Vol. 37, pp. 1065–1070.
2. N. CIMETIERE, J. de LAAT: Effects of UV-dechloramination of swimming pool water on the formation of disinfection by-products: A lab-scale study. *Microchemical Journal* 2014, Vol. 112, pp. 34–41.
3. B. LYON, A. DOTSON, K. LINDEN, H. WEINBERG: The effect of inorganic precursors on disinfection byproduct formation during UV-chlorine/chloramines drinking water treatment. *Water Research* 2012, Vol. 46, pp. 4653–4664.
4. A. BEYER, H. WORNER, R. van de LIEROP: The use of UV for destruction of combined chlorine (technical note). Wallace & Tiernan, 2004.
5. J. WYCZARSKA-KOKOT: Effect of disinfection methods on microbiological water quality in indoor swimming pools. *Architecture Civil Engineering Environment* 2009, Vol. 4, pp. 145–152.
6. W. LIU, L. CHEUNG, X. YANG, C. SHANG: THM, HAA and CNCl formation from UV irradiation and chlor(am)ination of selected organic waters. *Water Research* 2006, Vol. 40, pp. 2033–2043.
7. C.-H. HSU, W.-L. JENG, R.-M. CHANG, L.-C. CHIEN, B.-C. HAN: Estimation of potential lifetime cancer risk for trihalomethanes from consuming chlorinated drinking water in Taiwan. *Environmental Research* 2001, Vol. 85, pp. 77–82.
8. A. KANAN, T. KARANFIL: Formation of disinfection by-products in indoor swimming pool water: The contribution from filling water natural organic matter and swimmer body fluids. *Water Research* 2011, Vol. 45, pp. 926–932.
9. Y. HOU, W. CHU, M. MA: Carbonaceous and nitrogenous disinfection by-product formation in the surface and ground water treatment plants using Yellow River as water source. *Journal of Environmental Sciences* 2012, Vol. 24, pp. 1204–1209.
10. S. C. LEE, H. GUO, S. M. J. LAM, S. L. A. LAU: Multipathway risk assessment on disinfection by-product of drinking water in Hong Kong. *Environmental Research* 2004, Vol. 94, pp. 47–56.
11. S. CHOWDHURY, M. J. RODRIGUEZ, R. SADIQ: Disinfection byproduct in Canadian provinces: Associated cancer risk and medical expenses. *Journal of Hazardous Materials* 2011, Vol. 187, pp. 574–584.
12. Y. CHOI, Y.-J. CHOI: The effects of UV disinfection on drinking water quality in distribution systems. *Water Research* 2010, Vol. 44, pp. 115–122.
13. W. LIU, Z. ZHANG, X. YANG, Y. XU, Y. LIANG: Effects of UV irradiation and UV/chlorine co-exposure on natural organic matter in water. *Science of the Total Environment* 2012, Vol. 414, pp. 576–584.
14. A. WŁODYKA-BERGIER, T. BERGIER: Wpływ dezynfekcji wody promieniami nadfioletowymi na potencjał tworzenia halogenowych produktów chlorowania w sieci wodociągowej (Influence of UV disinfection on halogen water chlorination by-product formation potential in water distribution system). *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 3, ss. 53–57.
15. A. WŁODYKA-BERGIER, T. BERGIER: Charakterystyka prekursorów lotnych ubocznych produktów chlorowania wody w sieci wodociągowej Krakowa (Characterization of precursors to volatile water chlorination by-products in the Krakow distribution system). *Ochrona Środowiska* 2011, vol. 33, nr 3, ss. 29–33.
16. A. WŁODYKA-BERGIER, T. BERGIER: The influence of organic matter quality on the potential of volatile organic water chlorination products formation. *Archives of Environmental Protection* 2011, Vol. 37, pp. 25–35.
17. A. WŁODYKA-BERGIER: Wpływ promieniowania UV₂₅₄ na powstawanie halogenowych organicznych ubocznych produktów dezynfekcji w wodzie basenowej. Wydawnictwa AGH w Krakowie, Kraków 2016.
18. Q. HAN, Y. WANG, H. YAN, B. GAO, D. MA, S. SUN, J. LING, Y. CHU: Photocatalysis of THM precursors in reclaimed water: the application of TiO₂ in UV irradiation. *Desalination and Water Treatment* 2016, Vol. 57, pp. 9136–9147.
19. X. ZHANG, W. LI, E. BLATCHLEY III, X. WANG, P. REN: UV/chlorine process for ammonia removal and disinfection by-product reduction: Comparison with chlorination. *Water Research* 2015, Vol. 68, pp. 804–811.
20. D. CASSAN, B. MERCIER, F. CASTEX, A. RAMBAUD: Effects of medium-pressure UV lamps radiation on water quality in a chlorinated indoor swimming pool. *Chemosphere* 2006, Vol. 62, pp. 1507–1513.
21. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 9 listopada 2015 r. w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach. *Dziennik Ustaw RP* 2015, poz. 2016.
22. G. H. KRISTENSEN, M. M. KLAUSEN, H. R. ANDERSEN, L. ERDINGER, F. R. LAURITSEN, E. ARVIN, H.-J. ALBRECHTSEN. Full scale test of UV-based water treatment technologies at Gladsaxe Sportcentre – with and without advanced oxidation mechanisms. Proc. of 'The Third International Swimming Pool and Spa Conference', London 2009.

Włodyka-Bergier, A., Bergier, T., Zajac, W. Assessment of Applicability of UV Irradiation in Swimming Pool Water Treatment – a Case Study. *Ochrona Środowiska* 2017, Vol. 39, No. 1, pp. 53–56.

Abstract: Influence of UV-chlorination sequence application on swimming pool water quality was investigated. In addition, an analysis of operating costs of such system was conducted. The study was based on a real facility, i.e. the swimming pool of AGH University of Science and Technology in Krakow. In the facility, water disinfection with calcium hypochlorite was carried out, assisted by UV irradiation. Switching the UV lamps temporarily off allowed for comparative studies on the quality of pool water disinfected by pure chlorination and by the UV and chlorination sequence. For these two variants of the swimming pool water disinfection several

physico-chemical and microbiological parameters were analyzed, including the disinfection by-products. Cost analysis included the consumption of chemical agents and the UV lamp operation. It was established that the UV technology did not contribute to the expected improvement in the pool water quality in terms of the combined chlorine removal, however it did cause an increase in the concentration of selected organic chlorination by-products. Moreover, application of the UV lamp to the pool water treatment system increased the chlorine demand and, consequently, the consumption of calcium hypochlorite. Combined with the need to exchange lamp filaments, it raised the operating costs of the pool water treatment technology.

Keywords: Swimming pool water, water treatment, UV irradiation, disinfection by-products, operating costs.