

Wpływ promieniowania UV na eliminację bakterii wskaźnikowych w odpływach z oczyszczalni ścieków „Gdańsk – Wschód”

Dr inż. Halina Stosik-Fleszar, dr inż. Rafał Pasela

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

Wprowadzone w 2011 roku Rozporządzenie Ministra Zdrowia określa wymagania, jakim powinna odpowiadać woda w kąpielisku i miejscu wykorzystywanym do kąpieli (Dz.U.2011 nr 86 poz.478) [16]. Zgodnie z nim liczba bakterii *E.coli* nie powinna przekraczać 1000 jtk¹/100 ml, a enterokoków 400 jtk¹/100 ml. Przynajmniej kilkakrotnie w ciągu sezonu słyszemy o zamknięciu tej czy innej plaży w rejonie nadmorskim z powodu zanieczyszczeń bakteriologicznych. Kieruje to uwagę na jakość odpływów z oczyszczalni, które są odprowadzane do wód przybrzeżnych. Ryzyko wystąpienia infekcji wirusowej związane z pływaniem w wodzie, do której odprowadzane są odpływy z oczyszczalni ścieków, waha się w granicach od 10⁻³ do 10⁻⁶ [4]. Prawdopodobieństwo wystąpienia infekcji wzrasta nawet stukrotnie, jeśli odpływy nie są dezynfekowane. Oznacza to, że potencjalnie nawet jedna na dziesięć osób korzystających z takich wód może zachorować. Wprawdzie obie trójmiejskie oczyszczalnie ścieków usuwają ponad 99% bakterii wskaźnikowych [13, 14], jednak ze względu na ich początkową znaczną zawartość efekt jest niewystarczający. W celu poprawy jakości mikrobiologicznej należałoby poddać je dezynfekcji, na co zwracają uwagę również polscy naukowcy [10, 11, 12]. Przedstawiono wyniki badań ścieków oczyszczonych pochodzących z oczyszczalni ścieków „Gdańsk – Wschód” poddanych dezynfekcji promieniami UV.

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Dezynfekcję ścieków oczyszczonych promieniami UV prowadzono przy wykorzystaniu niskociśnieniowych promienników typu Spektrotherm. Badano trzy różne dawki promieni

¹ jtk – jednostka tworząca kolonię

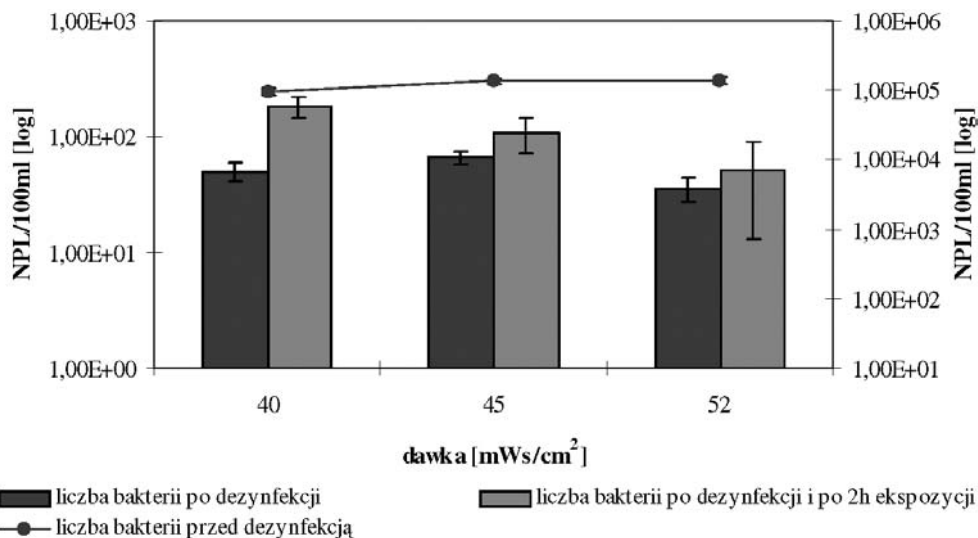
UV wynoszące odpowiednio 52, 45 i 40 mWs/cm². Wykonano po 10-12 cykli badań dla każdej dawki promieni UV. Badano również zjawisko fotoreaktywacji. W tym celu po naświetlaniu promieniami UV próbki ścieków inkubowano przez 2 godziny w temperaturze 24°C po wystawieniu na działanie światła widzialnego o średnim natężeniu 8000 lx. Oznaczenia obejmowały następujące parametry bakteriologiczne: NPL bakterii grupy coli, NPL domniemanych *E.coli*, NPL paciorkowców kałowych i NPL *Clostridium perfringens*.

WYNIKI I DYSKUSJA

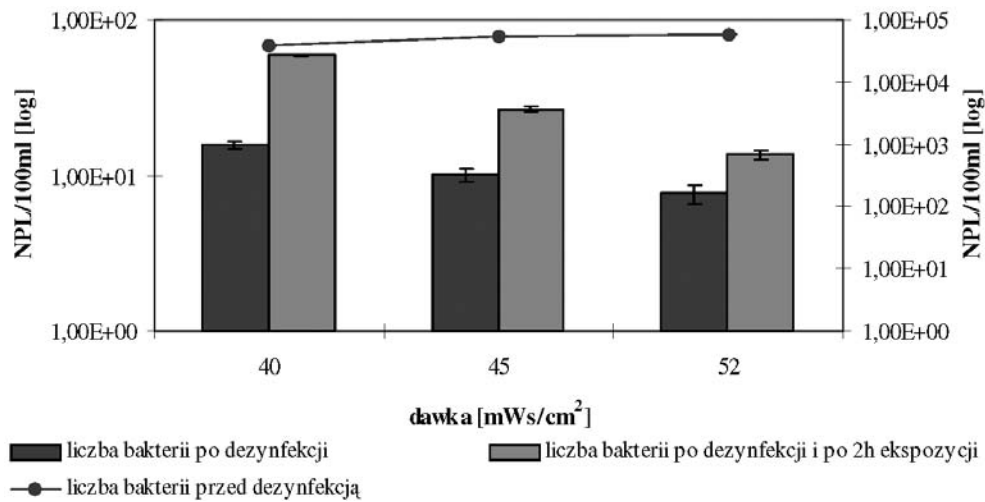
Wyniki badań bakteriologicznych skuteczności dezynfekcji ścieków oczyszczonych przy zastosowaniu promieni UV przedstawiono na rys. 1 ÷ 4.

Bakterie grupy coli i *E.coli*

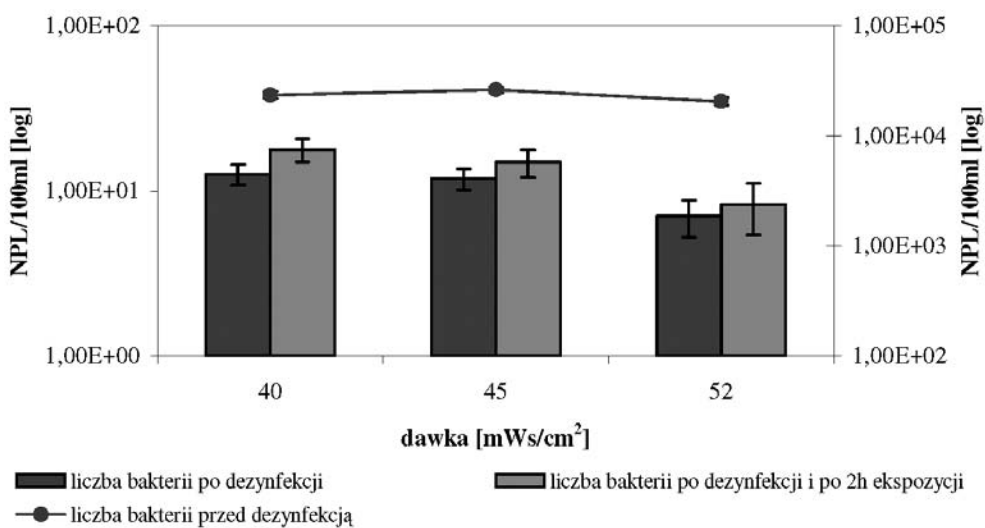
Po dezynfekcji ścieków promieniami UV dawką 40 mWs/cm² średnia geometryczna liczba bakterii grupy coli w odpływie malała z 9,55·10⁴/100 ml do około 50/100 ml, zaś *E.coli* z 3,86·10⁴/100ml do około 16/100 ml (rys.1, 2). Wynika stąd, że średnia redukcja bakterii grupy coli i *E.coli* wynosiła odpowiednio 3,28 log₁₀ i 3,39 log₁₀. Przy zastosowaniu dawki promieniowania UV 45 mWs/cm² liczba bakterii grupy coli wynosiła średnio około 67/100 ml, a średnia redukcja sięgała 3,3 log₁₀. Redukcja *E.coli* była wyższa i wynosiła średnio 3,72 log₁₀. Przy dawce promieniowania UV 52 mWs/cm² liczba bakterii grupy coli w dezynfekowanym odpływie nie przekraczała średnio 36/100 ml, zaś *E.coli* 8/100 ml, a ich średnia redukcja



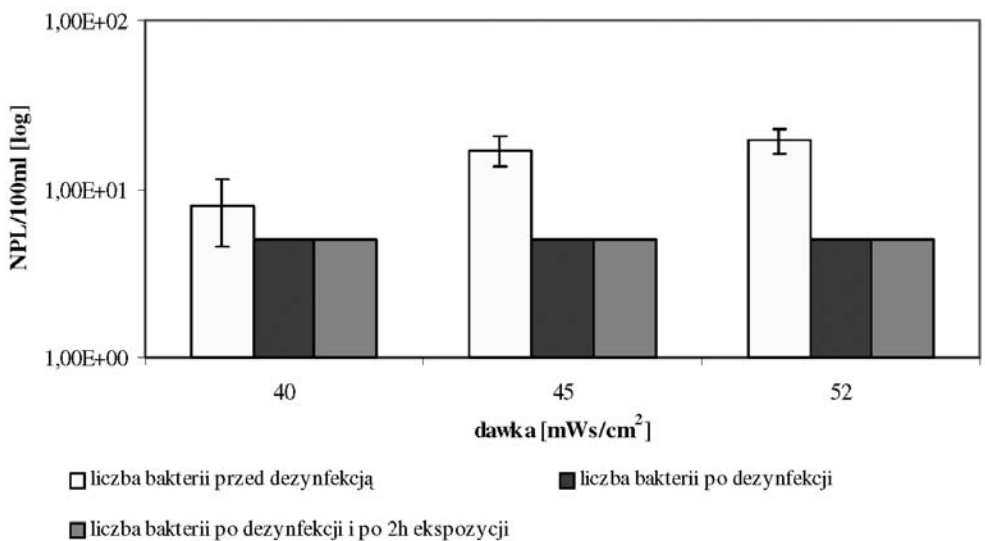
Rys. 1. Liczba bakterii grupy coli w ściekach oczyszczonych w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni „Gdańsk – Wschód” przed i po dezynfekcji



Rys. 2. Liczba bakterii *E.coli* w ściekach oczyszczonych w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni „Gdańsk – Wschód” przed i po dezynfekcji



Rys. 3. Liczba paciorkowców kałowych w ściekach oczyszczonych w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni „Gdańsk – Wschód” przed i po dezynfekcji



Rys. 4. Liczba *Clostridium perfringens* w ściekach oczyszczonych w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni „Gdańsk-Wschód” przed i po dezynfekcji

wzrosła do 3,59 log₁₀ dla bakterii grupy coli i 3,87 log₁₀ dla *E.coli*. Wyniki te są zbieżne z wynikami, jakie uzyskano przy dawce od 10 do 50 mWs/cm² redukcji bakterii coli typu kałowego dochodzącą do 4 log₁₀ dla odpływów pochodzących z tej samej oczyszczalni ścieków [15]. Również inni autorzy przy dawkach od 30 do 60 mWs/cm² uzyskiwali zmniejszenie liczby bakterii grupy coli w odpływach z oczyszczalni ścieków poniżej 50/100 ml [1, 3, 8].

Paciorkowce kałowe

NPL² paciorkowców kałowych w odpływie przed dezynfekcją wahała się w granicach od 2,9·10³/100ml do 7·10⁴/100 ml. Po dezynfekcji promieniami UV przy zastosowaniu dawek 40, 45 i 52 mWs/cm² ich liczba malała, a średnie geometryczne wynosiły odpowiednio około 13/100 ml, 12/100 ml i 7/100 ml (rys. 3). Średnia redukcja paciorkowców kałowych wahała się w granicach od 3,27 log₁₀ przy najniższej zastosowanej dawce 40 mWs/cm² do 3,47 log₁₀ przy dawce 52 mWs/cm². Podobną redukcję paciorkowców kałowych (średnio 3,7 log₁₀) uzyskiwali Bourrouet [5] i Davila [6] przy dawkach 50 mWs/cm² i wyższych.

Clostridium perfringens

Liczba *Clostridium perfringens* w odpływie z oczyszczalni przed dezynfekcją zawierała się w przedziale od 6 ÷ 23/100 ml. Po dezynfekcji promieniami UV przy każdej z zastosowanych dawek ich liczba nie przekraczała 5/100 ml (rys. 4). Wyniki badań wskazują, że dawki promieniowania UV rzędu od 40 do 52 mWs/cm² powodowały redukcję *Clostridium perfringens* od 0,20 do 0,59 log₁₀. Niewielka eliminacja tej grupy bakterii była spowodowana ich małą liczbą w odpływie przed dezynfekcją.

² NPL – najbardziej prawdopodobna liczba

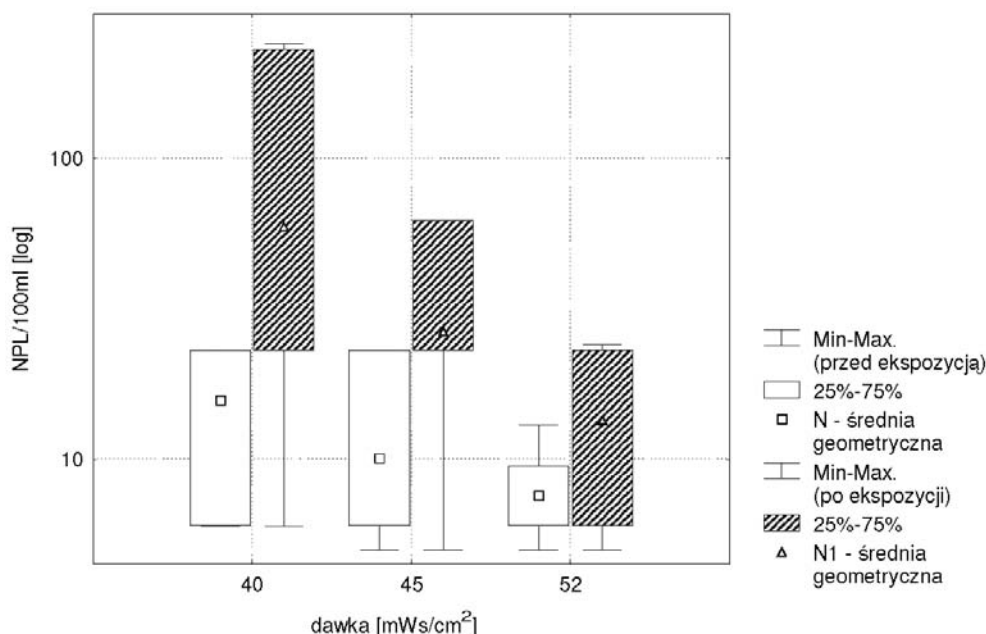
Ekspozycja dezynfekowanych odpływów na światło widzialne

Po dwóch godzinach ekspozycji odpływów dezynfekowanych promieniami UV na światło widzialne o średnim natężeniu 8000 lx notowano wzrost liczby bakterii. W przypadku bakterii grupy coli wzrost ten, w zależności od dawki promieniowania UV, wynosił od 0,15 log₁₀ przy dawce 52 mWs/cm² do 0,56 log₁₀ przy dawce 40 mWs/cm² (tabl. 1). Podobne tendencje wzrostowe stwierdzono w przypadku bakterii *E.coli*, których liczba rosła maksymalnie o około 0,58 log₁₀ do około 60/100 ml przy dawce 40 mWs/cm². Przyrost liczby paciorkowców kałowych był niższy i wynosił od 0,07 log₁₀ przy użyciu najwyższej dawki promieni UV (52 mWs/cm²) do 0,15 log₁₀ przy dawce

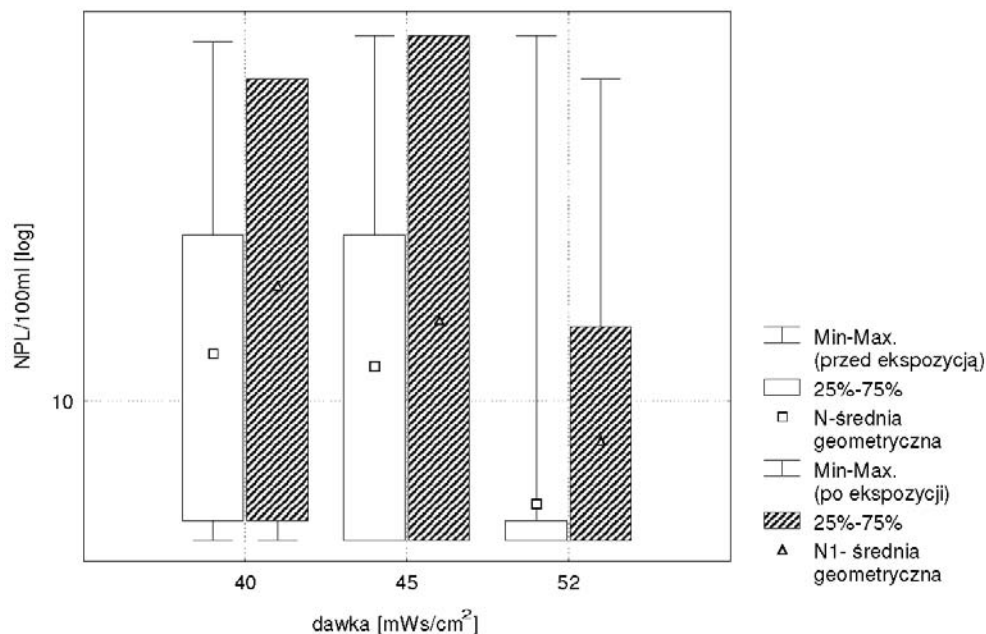
Tabl. 1. Wpływ światła widzialnego na liczbę bakterii wskaźnikowych w ściekach oczyszczonych po naświetlaniu promieniami UV

Grupa bakterii NPL/100ml	Dawka mWs/cm ²	Średnia geometryczna		log N ₁ /N
		N	N ₁	
Bakterie grupy coli	40	50,3	183	0,56
	45	66,7	109	0,21
	52	35,8	51	0,15
<i>E.coli</i>	40	15,7	59,4	0,58
	45	10,1	26,6	0,42
	52	7,6	13,5	0,25
Paciorkowce kałowe	40	12,7	17,8	0,15
	45	11,9	15	0,10
	52	7,0	8,2	0,07
<i>Clostridium perfringens</i>	40	5	5	0
	45	5	5	0
	52	5	5	0

N – liczba bakterii po dezynfekcji, N₁ – liczba bakterii po dwóch godzinach ekspozycji na światło widzialne



Rys. 5. Liczba *E.coli* w dezynfekowanym odpływie z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni „Gdańsk – Wschód” przed i po dwóch godzinach ekspozycji na światło widzialne



Rys. 6. Liczba paciorkowców kałowych w dezynfekowanym odpływie z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni „Gdańsk – Wschód” przed i po dwóch godzinach ekspozycji na światło widzialne

40 mWs/cm². W przypadku bakterii *Clostridium perfringens* nie zaobserwowano wzrostu ich liczby po ekspozycji dezynfekowanych odpływów na światło dzienne.

Po dwóch godzinach ekspozycji na światło widzialne 50% uzyskanych wyników dotyczących bakterii *E.coli* w dezynfekowanym odpływie zawierało się w przedziale od 23 ÷ 230/100 ml przy dawce 40 mWs/cm², od 23 ÷ 62 przy dawce 45 mWs/cm² oraz od 6 ÷ 23/100 ml przy dawce 52 mWs/cm² (rys. 5). Liczba paciorkowców kałowych w 50% wyników zawierała się w granicach od 5 ÷ 50/100 ml przy najniższej z zastosowanych dawek (40 mWs/cm²) i od 6-23/100 ml przy dawce 52 mWs/cm² (rys. 6). Liczba bakterii *Clostridium perfringens* w całym okresie badawczym nie przekraczała 5/100 ml (tabl. 1).

Uzyskane wyniki są zbieżne z badaniami licznych autorów, którzy zalecają stosowanie wyższych dawek promieni UV w celu zapobieżenia ponownemu wzrostowi bakterii [2,7,17]. Maksymalny wzrost o 0,15 log₁₀ (z 12,7 do 17,8/100ml) liczby paciorkowców kałowych zaobserwowano przy zastosowaniu najniższej dawki promieni UV (40 mWs/cm²). Przy zastosowaniu wyższych dawek, wzrost liczby paciorkowców kałowych wynosił 0,1 log₁₀ (do 15/100 ml) przy dawce 45 mWs/cm² i 0,07 log₁₀ (do około 8/100 ml) przy dawce 52 mWs/cm². Uzyskane wyniki badań są zbieżne z wynikami Barona [3], który stwierdził, że fotoreaktywacja paciorkowców kałowych przy dawkach od 40 do 60 mWs/cm² była nieznaczna. Z kolei Locas i in. [9] nie zaobserwowali wzrostu paciorkowców kałowych po 6 godzinach ekspozycji na światło widzialne przy niższych dawkach od 6 do 24 mWs/cm².

WNIOSKI

1. Zastosowanie dezynfekcji promieniami UV pozwoliło na znaczną redukcję bakterii w odpływach z biologicznej oczyszczalni ścieków.

2. W zależności od dawki promieniowania UV (od 40 do 52 mWs/cm²) uzyskano redukcję bakterii *E.coli* do 3,87 log, redukcję paciorkowców kałowych do 3,47 log i redukcję *Clostridium perfringens* do 0,59 log.
3. Po ekspozycji dezynfekowanych promieniami UV odpływów na światło widzialne o średnim natężeniu 8000 lx zanotowano wzrost liczby bakterii. Największy wzrost zanotowano w przypadku najniższych dawek i maksymalnie wynosił on 0,58 log₁₀ dla *E.coli*. Nie zanotowano wzrostu *Clostridium perfringens*.
4. Przy każdej z badanych dawek liczba bakterii wskaźnikowych po ekspozycji dezynfekowanych odpływów na światło widzialne była znacznie poniżej wartości granicznych podanych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 2011 roku (Dz.U.2011 nr 86 poz.478) [16].
5. Każda z zastosowanych dawek była odpowiednia do znaczącej redukcji bakterii wskaźnikowych w odpływach z oczyszczalni ścieków i mogłaby zostać wykorzystana w praktyce, co wpłynęłoby na zmniejszenie potencjalnego zagrożenia mikrobiologicznego, jakie niesie z sobą odprowadzanie niedezynfekowanych odpływów do wód naturalnych.

LITERATURA

1. Andreadakis A., Mamais D., Christoulas D., Kabyłafka S.: Ultraviolet disinfection of secondary and tertiary effluent in the Mediterranean region. Wat. Sci. Tech., Vol. 40, 1999, Nr 4, 253-260.
2. Antonelli M., Mezzanotte V., Nurizzo C.: Wastewater disinfection by UV irradiation: short and long-term efficiency. Environmental Engineering Science, Vol. 25, 2008, Nr 3, 363-373.
3. Baron J.: Repair of wastewater microorganisms after ultraviolet disinfection under seminatural conditions. Water Environ. Res., Vol. 69, 1997, Nr 5, 992-998.

4. Blatchley III E. R., Gong W-L, J. B. Rose, Huffman D. E., Otaki M., Lisle J.T.: Effects of wastewater disinfection on human health. Alexandria, WERF, Londyn, IWA Pub. 2005.
5. Bourrouet A.: Garcia J., Mujeriego R., Penuelas G., Faecal bacteria and bacteriophage inactivation in a full-scale UV disinfection system used for wastewater reclamation. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 43, 2001, Nr 10, 187-194.
6. Davila I. S., Balao J. A. A., Alonso Q. J. M., Sanz E. N.: Pilot plan protocol for optimization of UV dose required to obtain an appropriate municipal wastewater disinfection. *Journal of Water Supply: Research and Technology*, Vol. 57, 2008, Nr 1, 57-63.
7. Harris G. D., Adams V. D., Sorensen D. L., Curtis M. S.: Ultraviolet inactivation of selected bacteria and viruses with photoreactivation of the bacteria. *Water Research*, Vol. 21, 1987, Nr 6, 687-692.
8. Lazarova V., Savoye P., Janex M. L., Blatchley III E. R., Pompepy M.: Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 40, 1999, Nr 4-5, 203-213.
9. Locas A., Demers J., Payment P.: Evaluation of photoreactivation of *Escherichia coli* and enterococci after UV disinfection of municipal wastewater. *Canadian Journal of Microbiology*, Vol. 54, 2008, Nr 11, 971-975.
10. Malej J.: Wysoko sprawne oczyszczalnie ścieków a zagrożenia kąpielisk publicznych. *Wodociągi – Kanalizacja*, Vol. 57, 2008, Nr 11, 48-49.
11. Michałkiewicz M., Jeż-Walkowiak J., Dymaczewski Z., Sozański M. M.: Dezynfekcja ścieków. *Inżynieria Ekologiczna*, 2011, Nr 24, 38-51.
12. Michałkiewicz M., Jeż-Walkowiak J., Sozański M. M.: Dezynfekcja ścieków bytowo-gospodarczych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, Vol. 85, 2011, Nr 3, 103-109.
13. Olańczuk-Neyman K., Stosik-Fleszar H., Mikołajski S.: Jakość mikrobiologiczna odpływów z oczyszczalni ścieków Gdańsk – Wschód. *Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej nt.: Oczyszczalnia ścieków „Wschód” w Gdańsku największą inwestycją ochrony Bałtyku u progu XXI wieku*, Gdańsk 19-20 maja 2000, 101-106.
14. Olańczuk-Neyman K., Stosik-Fleszar H., Mikołajski S.: Elimination of indicator bacteria removal in wastewater treatment processes. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 10, 2001, Nr 6, 457-461.
15. Quant B., Bray R., Olańczuk-Neyman K., Jankowska K., Kulbat E., Luczkiewicz A., Fudala-Książek S., Sokołowska A.: *Badania nad dezynfekcją ścieków oczyszczonych odprowadzanych do wód powierzchniowych*. Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Środowiska, Monografia Nr 61, 2009, Lublin.
16. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 8 kwietnia 2011r. w sprawie prowadzenia nadzoru nad jakością wody w kąpielisku i w miejscu wykorzystywanym do kąpeli. *Dz.U.* 2011 nr 86 poz. 478.
17. Tosa K., Hirata T.: Photoreactivation of enterohemorrhagic *E. coli* following UV disinfection. *Water Research*, Vol. 33, 1999, Nr 2, 361-366.