

OCENA NARAŻENIA ZDROWIA LUDZKIEGO ZWIĄZANEGO ZE SPOŻYCIEM WODY O PODWYŻSZONYM POZIOMIE STĘŻENIA SREBRA WYMYWANEGO Z SYSTEMÓW FILTRÓW DZBANKOWYCH

ASSESSMENT OF HUMAN HEALTH EXPOSURE CONNECTED WITH CONSUMPTION OF WATER CHARACTERIZED WITH ELEVATED CONCENTRATION LEVEL OF SILVER RELEASED FROM JUG WATER FILTER SYSTEMS

Dorota Świącicka, Sławomir Garboś

Zakład Higieny Komunalnej
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny, Warszawa

Słowa kluczowe: srebro, oznaczanie techniką ICP-OES, woda przeznaczona do spożycia przez ludzi, systemy filtrów dzbankowych, zagrożenie zdrowia ludzkiego

Key words: silver, determination by ICP-OES, water intended for human consumption, jug water filter systems, human health risk

STRESZCZENIE

Srebro zwykle występuje w wodzie wodociągowej, w stężeniach nie stanowiących zagrożenia dla zdrowia ludzi i dlatego w Dyrektywie 98/83/WE dotyczącej jakości wody przeznaczonej do spożycia nie określono najwyższego dopuszczalnego stężenia tego pierwiastka. Dezynfekcja wody oparta na procesie elektrochemicznego generowania srebra lub jego związków może prowadzić do wzrostu stężenia tego metalu w dezynfekowanej wodzie do poziomu 0,050 mg/l i wyższego, chociaż trzeba podkreślić, że w Polsce tego typu technologia nie jest stosowana. Jednak w przypadku użycia środków bakteriostatycznych opartych na solach srebra np. w filtrach dzbankowych zawierających wkłady z węglem aktywnym modyfikowanym związkami srebra, pierwiastek ten przedostaje się do doczyszczanej i spożywanej wody (służącej również do sporządzania kawy, herbaty, zup i rozcieńczenia zagęszczonych soków) w ilościach, które stanowią istotną część dziennej dawki srebra przyjmowanej doustnie przez człowieka. W pracy przedstawiono wyniki obrazujące poziomy stężenie wymywanego srebra do doczyszczanej wody w przypadku stosowania systemów filtrów dzbankowych z wkładami zawierającymi węgiel aktywny modyfikowany związkami srebra i wymienniczy jonowy. Badania przeprowadzono zgodnie z Brytyjską Normą BS 8427:2004 określającą wymagania w odniesieniu do charakterystyki działania stosowanych filtrów do uzdatniania wody przeznaczonej do spożycia w warunkach domowych. Zawartości srebra w wodzie testowej doczyszczanej za pomocą filtrów dzbankowych były oznaczane za pomocą zwalidowanej metody oznaczenia srebra techniką optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-OES). W zależności od typu zastosowanego systemu filtra dzbankowego średnie ogólne stężenia srebra w całkowitych okresach eksploatacji urządzeń (obejmujących możliwość filtracji 100 l wody) mieściły się w zakresie od 0,0022 mg/l do 0,0175 mg/l, nie stanowiąc istotnego zagrożenia dla zdrowia ludzi.

ABSTRACT

Silver usually exists in tap water at concentrations which are not connected with human health risk and therefore maximum admissible concentration level of this element was not established in Directive 98/83/EC concerning quality of water intended for human consumption. Disinfection of water based on generation of silver or silver compounds by electrochemical process could lead to the increase of concentration of this metal in disinfected water up to level of 0.050 mg/l or higher; although it should be underlined that this type of technology is not used in Poland. However, in the case of application of bacteriostatic agents based on silver salts e.g. in jug water filter systems consist of cartridges with activated carbon modified by silver compounds, this element may migrate into purified and further consumed water (applied also for preparation of coffee, tea, soup and dilution of concentrated juices) in amounts which provide essential part of daily dose of silver taken orally by human. In this work the results showing the concentration levels of silver released into purified water in the case of application of jug water filter systems with cartridges consist of activated carbon modified with silver

Adres do korespondencji: Dorota Świącicka, Zakład Higieny Komunalnej, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny, 00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24, tel. 022 54 21 391, 022 54 21 287, e-mail: dswiecicka@pzh.gov.pl

compounds and ion exchanger were presented. Study was performed according to British Standard BS 8427:2004 which describes requirements in respect to the performance of jug water filter systems used for the domestic treatment of drinking water. The concentrations of silver in challenge water purified by jug water filter systems were determined using validated method of determination of silver by inductively coupled plasma optical emission spectrometry technique (ICP-OES). In accordance to type of jug water filter systems applied grand mean of silver concentrations achieved during whole cycle of exploitations of product (including possibility of filtrations of 100 l of water) were in the range 0.0022 mg/l – 0.0175 mg/l, which is not provided essential human health risk.

WSTĘP

Zastosowanie rozpuszczalnych związków srebra obejmuje: zewnętrzne środki antyseptyczne (0,015 – 0,050 mg/l), bakteriostatyczne (do 0,100 mg/l) i dezynfekcyjne (> 0,150 mg/l) [10]. Dezynfekcja wody oparta na procesie elektrochemicznego generowania srebra lub jego związków może prowadzić do wzrostu stężenia tego pierwiastka w dezynfekowanej wodzie do poziomu 0,050 mg/l i wyższego [3]. Średnia dzienna dawka srebra związana ze spożyciem produktów spożywczych i wody została określona na poziomie około 7 µg [7, 8]. Większość produktów spożywczych zawiera srebro w ilościach 10 - 100 µg/kg i w związku z tym udział wody przeznaczonej do spożycia w dostarczaniu tego pierwiastka do organizmu człowieka jest relatywnie niski. Najwyższe dopuszczalne stężenia (NDS) srebra w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi określono w aktualnym Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku [11] na poziomie 0,01 mg/l, chociaż w wytycznych Światowej Organizacji Zdrowia WHO [8] nie zaproponowano wartości stężenia tego metalu opartej na kryteriach zdrowotnych i dodatkowo żaden z wodociągów publicznych w Polsce nie stosuje dezynfekcji wody opartej na procesie elektrochemicznego generowania srebra. Pierwiastek ten zwykle występuje w wodzie wodociągowej w ilościach nie stanowiących zagrożenia zdrowotnego i dlatego w Dyrektywie 98/83/WE również nie określono NDS dla srebra [2]. Należy jednak podkreślić, że w przypadku stosowania środków bakteriostatycznych opartych na solach srebra np. w filtrach zawierających wkłady z węglem aktywnym modyfikowanym związkami srebra, pierwiastek ten może być wprowadzany do filtrowanej wody wykorzystywanej także do przygotowywania m.in. kawy, herbaty, zup i rozcieńczania zagęszczonych soków - w ilościach, które stanowią istotną część dziennej dawki srebra przyjmowanej doustnie przez człowieka.

Niekorzystnym efektem spożywania preparatów i wody o wysokiej zawartości srebra jest srebrzyca, której objawem jest występowanie szaroniebieskich zabarwień powłok ciała, wskutek odkładania się w skórze cząsteczek metalicznego srebra. Nie stwierdzono rakotwórczego [4] i mutagennego działania tego pierwiastka i jego związków [9], za wyjątkiem przypadku stosowania metalicznego srebra w postaci implantów. Pierwotnie w celu uchronienia ludzi od możliwego

długookresowego negatywnego wpływu zdrowotnego NDS srebra został określony na poziomie 0,05 mg/l (U.S. EPA). Przy tym stężeniu przyjęcie toksycznej dawki srebra w ilości 1 g zajęłoby 27 lat, przyjmując, że dzienne spożycie wody wynosi 2 litry. Obecnie przyjmuje się wyższe wartości NDS (nawet 0,1 mg/l) ze względu na fakt, że w rzeczywistości ponad 90% przyjętej dawki srebra jest wydalane z organizmu człowieka [14] (głównie z kałem). W oparciu o współczesną wiedzę epidemiologiczną i farmakologiczną dawka odniesienia RfD (*Reference Dose*) przy ciągłej ekspozycji została określona na poziomie 0,005 mg/kg/dzień [12, 13]. Wyznaczono ją po wzięciu pod uwagę najniższej dawki srebra LOAEL - 0,014 mg/kg/dzień (*Lowest-Observed-Adverse-Effect Level*), w przypadku której zaobserwowano szkodliwy efekt w postaci srebrzyicy u pacjentów przyjmujących arsfenaminian srebra (współczynnik niepewności 3) [12, 13]. Biorąc pod uwagę najwyższą dopuszczalną dawkę doustną przyjmowaną w ciągu całego życia przez człowieka nie powodującą wystąpienia szkodliwego efektu zdrowotnego - NOAEL (*No-Observed-Adverse-Effect Level*) wynoszącą dla srebra 10 g, stężenie 0,1 mg/l w wodzie przeznaczonej do spożycia implikuje przyjęcie całkowitej dawki w ciągu 70 lat, równej połowie wartości NOAEL.

Jednym ze sposobów doczyszczania wody przeznaczonej do spożycia jest stosowanie systemów filtrów dzbankowych z wkładami zawierającymi żywice jonowymiennie i modyfikowany związkami srebra węgiel aktywny. Zastosowanie węgla aktywnego modyfikowanego związkami srebra w tego typu wkładach może być potencjalnym źródłem zanieczyszczenia srebrem wody przeznaczonej do spożycia. Tego typu filtry są stosunkowo często stosowane w gospodarstwach domowych, zwłaszcza w Polsce, ze względu na fakt, że jakość dostarczanej wody wodociągowej jest często krytycznie oceniana przez konsumentów. Celem pracy było zbadanie poziomów stężeń wymywanego srebra do doczyszczanej wody w wyniku stosowania systemów filtrów dzbankowych z wkładami zawierającymi węgiel aktywny modyfikowany związkami srebra - zgodnie z Brytyjską Normą BS 8427:2004 [1]. Zawartości srebra w wodzie testowej doczyszczanej za pomocą systemów filtrów dzbankowych były oznaczane za pomocą zwalidowanej metody oznaczenia srebra techniką optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-OES). Wyznaczone całko-

wite średnie stężenia srebra obserwowane w doczyszczanej wodzie testowej podczas pełnego cyklu eksploatacji różnych typów wkładów filtracyjnych pozwolą na określenie przyjmowanej przez człowieka całkowitej dawki tego pierwiastka w ciągu 70 lat i odniesienia jej do wartości NOAEL.

MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem badań były cztery najbardziej popularne systemy filtrów dzbankowych dostępne na rynku krajowym (po dwie sztuki - A, B, C, D) zawierające odpowiednie wkłady z węglem aktywnym modyfikowanym związkami srebra oraz dodatkiem wymienniczą jonowego (A1 i A2, B1 i B2, C1 i C2, D1 i D2). Podczas etapu kondycjonowania wkłady filtrujące danego typu rozpakowywano (wybierano po dwa wkłady z trzech dostępnych) i umieszczano w wodzie testowej o określonej twardości (150 mg/l) na 20 minut. Następnie wkłady po zamontowaniu w górnej części oryginalnych dzbanków danego producenta służyły do doczyszczania wody testowej, przy czym spływ wody następował pod wpływem sił grawitacji. Po montażu wkładów w dzbankach filtrowano dwie pierwsze partie wody testowej o różnych objętościach (w zależności od typu filtra: 1,25 - 2,0 l), które były odrzucane. Następne porcje filtrowanej wody testowej o objętości 1 l były traktowane jako przeznaczone do spożycia i podlegały badaniu.

Badania przeprowadzono zgodnie z Brytyjską Normą BS 8427:2004 "Jug water filter systems – Specification" [1] określającą wymagania w odniesieniu do charakterystyki działania stosowanych filtrów do uzdatniania wody przeznaczonej do spożycia w warunkach domowych. Woda testowa używana do badań o twardości węglanowej na poziomie 150 mg/l (z dokładnością: -10%, +20%) była przygotowywana poprzez dodanie do wody dejonizowanej uzyskanej w systemie Simplicity 185 (Millipore, USA) odpowiednich ilości soli - $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (GR, Merck, Niemcy), $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ (GR, Merck, Niemcy) i NaHCO_3 (GR, Merck, Niemcy). W tym celu odważono za pomocą elektronicznej wagi analitycznej RPT 98 204 (Radwag, Polska): 65,6 g $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$, 38,0 g $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ i 67,2 g NaHCO_3 . Podstawowe roztwory wzorcowe wapnia, magnezu i wodorowęglanu uzyskano poprzez rozpuszczenie ww. soli w wodzie dejonizowanej w kolbach o pojemności 1 l i dopełnienie do kreski. Następnie do pojemnika o pojemności 20 l dodano po 50 ml każdego z ww. przygotowanych podstawowych roztworów wzorcowych i uzupełniono do 20 l wodą dejonizowaną. pH wody testowej ustalano na poziomie $7,0 \pm 0,5$ za pomocą roztworu 0,1 mol/l wodorotlenku sodu (Merck, Niemcy) albo stężonego dymiącego kwasu solnego 37% (GR, Merck, Niemcy).

Harmonogram pobierania próbek przefiltrowanej wody testowej do badań w przypadku wkładów filtrujących o deklarowanej całkowitej pojemności filtracyjnej 100 l przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Harmonogram pobierania próbek do badań w przypadku wkładów filtrujących o deklarowanej całkowitej pojemności filtracyjnej 100 l
Sampling schedule for cartridges of claimed total capacity of 100 l

Aktualny dzień kalendarzowy	Kolejny dzień badań	Kolejne numery porcji przefiltrowanej wody testowej o objętościach 1 l				
1	1	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
2	2	6	7	8	9	10
3	3	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>15</u>
4	4	16	17	18	19	20
5	5	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>23</u>	<u>25</u>
6		Dwa dni przerwy w filtracji				
7		Dwa dni przerwy w filtracji				
8	6	26	27	28	29	30
9	7	31	32	33	34	35
10	8	36	37	38	39	40
11	9	41	42	43	44	45
12	10	<u>46</u>	<u>47</u>	<u>48</u>	<u>49</u>	<u>50</u>
13		Dwa dni przerwy w filtracji				
14		Dwa dni przerwy w filtracji				
15	11	51	52	53	54	55
16	12	56	57	58	59	60
17	13	61	62	63	64	65
18	14	66	67	68	69	70
19	15	<u>71</u>	<u>72</u>	<u>73</u>	<u>74</u>	<u>75</u>
20		Dwa dni przerwy w filtracji				
21		Dwa dni przerwy w filtracji				
22	16	76	77	78	79	80
23	17	81	82	83	84	85
24	18	86	87	88	89	90
25	19	91	92	93	94	95
26	20	<u>96</u>	<u>97</u>	<u>98</u>	<u>99</u>	<u>100</u>

Podczas pięciu kolejnych dni roboczych filtrowano 25 litrów wody testowej (5 l/dzień), przy czym po przefiltrowaniu każdej porcji wody testowej następowała 30-minutowa przerwa. Potem badania przerywano na dwa dni. Powtarzano wyżej opisany schemat czynności obejmujący pięć dni filtracji z następującą dwudniową przerwą w użytkowaniu, aż do uzyskania 100% zadeklarowanej przez producenta pojemności filtracyjnej systemów filtrów dzbankowych. Przy założonej całkowitej pojemności filtracyjnej badanych wkładów filtracyjnych wynoszącej 100 l, pełny cykl badania trwał 26 dni (20 dni roboczych).

Próbki przygotowanej wody testowej oraz próbki przefiltrowanej wody testowej pobierano do badań w dniach cyklu filtracji, podczas których osiągnięto 5%, 15%, 25%, 50%, 75% i 100% zadeklarowanych całkowitych pojemności filtracyjnych systemów filtrów dzbankowych – 100 l. W przypadku dni, podczas któ-

rych były pobierane próbki do badań (1, 3, 5, 10, 15 i 20 dzień badań), pobierano do analizy próbkę złożoną, powstałą poprzez zmieszanie pięciu przefiltrowanych litrów wody testowej wyróżnionych w tabeli 1 poprzez podkreślenie. Dla każdego typu systemu filtrów dzbankowych A, B, C, D badano równolegle dwa niezależne wkłady filtracyjne (A1 i A2, B1 i B2, C1 i C2, D1 i D2).

Oznaczenia srebra wykonano za pomocą równoczesnego spektrometru emisyjnego ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej ICP-OES z półprzewodnikowym detektorem ze wstrzykiwaniem ładunku (CID, *Charge Injection Device*) - IRIS Advantage Duo ER/S (Thermo Elemental, USA). Charakterystykę układu wprowadzania próbki spektrometru ICP-OES i niektóre parametry aparaturowe stosowane do badań przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyka układu wprowadzania próbki i parametry aparaturowe stosowane do oznaczeń srebra metodą ICP-OES

The characteristics of sample introduction system and apparatus parameters applied for the determination of silver by ICP-OES method

Parametr/Układ wprowadzania próbki	Wartość/Typ
Częstotliwość wzbudzenia	27,12 MHz
Moc	1150 W
Rodzaj palnika	Kwarcowy palnik Duo o geometrii poziomej
Rodzaj komory mgielnej	Cyklonowa
Rodzaj nebulizera	Szklany, koncentryczny
Szybkości przepływu argonu:	
▪ plazmowego	15 l/min
▪ pomocniczego	1 l/min
▪ interfejsu optyki	4 l/min
▪ przemywającego optykę	4 l/min
▪ omywającego detektor	80 jedn.
Ciśnienie nebulizera	26 psi
Szybkość pompowania:	
▪ próbki	110 obr./min
▪ ścieków	110 obr./min
Czas integracji linii emisyjnej srebra Ag 328,068 nm [rząd 102]	30 s
System obserwacji plazmy ICP	Osiowa
Czas płukania	60 s
Liczba powtórzeń/próbkę	3

Do sporządzenia roztworów kalibracyjnych srebra stosowano podstawowy roztwór wzorcowy srebra o stężeniu 1 g/l - CertiPUR Ag (Merck, Niemcy), ultraczysty 60% kwas azotowy ULTRAPUR (Merck, Niemcy) i wodę dejonizowaną uzyskaną w systemie Simplicity 185 (Millipore, USA).

Przed rozpoczęciem badań metoda oznaczania srebra techniką ICP-OES została zwalidowana. Precyzja w warunkach powtarzalności oznaczenia srebra, wyznaczona dla poziomów stężeń Ag – 0,01 mg/l i 0,1 mg/l, wynosiła odpowiednio 4,2% i 2,7%. Uzyskano

granice wykrywalności srebra 0,0005 mg/l. Poprawność oznaczenia kontrolowano przy użyciu certyfikowanego materiału odniesienia – CRM TMDA-51.3 „A high level fortified standard for trace elements” (Environment Canada) o zawartości srebra 0,0133 mg/l. Uzyskana średnia poprawność oznaczania srebra wynosiła 3,8%. Oznaczony odzysk metody oznaczania srebra wynosi 97,8% ± 0,15%, natomiast względna niepewność rozszerzona dla k=2 wynosi 14%. Zwalidowana metoda oznaczania srebra spełnia wymagania Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku w zakresie wymaganej charakterystyki metody badań stosowanej do oznaczenia tego metalu – Załącznik nr 9 (granica wykrywalności ≤ 0,001 mg/l, precyzja ≤ 10% i poprawność ≤ 10%), jak również wymagania normy BS 8427:2004 dotyczące maksymalnej dopuszczalnej granicy oznaczalności srebra wynoszącej 0,005 mg/l (określonej jako 4,65-krotność odchylenia standardowego ślepej próby uzyskanego w obrębie serii pomiarowej).

WYNIKI I DISKUSJA

Przeprowadzono kompleksowe badania poziomów stężeń srebra w przefiltrowanej wodzie testowej za pomocą systemów filtrów dzbankowych z wkładami zawierającymi węgiel aktywny modyfikowany związkami srebra i wymienniczką jonową (po dwa systemy typu A, B, C, D). Zastosowanie Brytyjskiej Normy BS 8427:2004 określającej wymagania w odniesieniu do charakterystyki działania stosowanych filtrów do uzdatniania wody przeznaczonej do spożycia w warunkach domowych, powiązane było z zastosowaniem zunifikowanej wody testowej, co pozwoliło na bezpośrednie porównanie ilości wmywanego srebra dla różnych typów systemów filtrów dzbankowych. Badania wydajności wmywania srebra z wkładów filtrujących systemów filtrów dzbankowych zgodnie z normą BS 8427:2004 polegały na określeniu średnich dziennych stężeń srebra w doczyszczanej wodzie i średniego ogólnego stężenia srebra wyznaczonego podczas pełnego cyklu eksploatacyjnego wkładu filtracyjnego - w oparciu o wszystkie średnie dzienne stężenia srebra oznaczone w doczyszczanej wodzie testowej. Średnie dzienne stężenia srebra dla każdego z systemów filtrów dzbankowych A, B, C, D zostały obliczone jako średnia arytmetyczna stężeń oznaczonych w próbkach złożonych filtrowanej wody testowej za pomocą dwóch niezależnych wkładów filtrujących – odpowiednio typów: A1 i A2, B1 i B2, C1 i C2, D1 i D2.

Wyniki oznaczeń srebra w wodzie testowej doczyszczanej za pomocą systemów filtrów dzbankowych A, B, C i D z odpowiednimi wkładami filtrującymi obejmujące pełny cykl ich eksploatacji (do 100 litrów filtrowanej wody) przedstawiono w tabeli 3. Wszyst-

kie oznaczone zawartości srebra w przygotowywanej wodzie testowej były poniżej granicy oznaczalności metody - 0,001 mg/l.

Tabela 3. Wyniki oznaczeń srebra w wodzie testowej doczyszczanej za pomocą systemów filtrów dzbankowych A, B, C, D

The results of determination of silver in test water purified by jug filter systems A, B, C, D

% cyklu pracy filtra	Kolejne litry filtrowanej wody testowej składające się na próbkę złożoną o objętości 5 l (l)	Średnie dzienne stężenie srebra w próbkach złożonych o sumarycznej objętości 5 l [mg/l]			
		Filtr A*	Filtr B*	Filtr C*	Filtr D*
5	1 - 5	0,0091	0,0034	0,0068	0,0225
15	11 - 15	0,0082	0,0025	0,0030	0,0200
25	21 - 25	0,0051	0,0022	0,0022	0,0183
50	46 - 50	0,0041	0,0019	0,0020	0,0154
75	71 - 75	0,0039	0,0018	0,0021	0,0155
100	96 - 100	0,0025	0,0015	0,0017	0,0132
Średnie ogólne stężenie srebra wyznaczone podczas pełnego cyklu eksploatacyjnego		0,0055	0,0022	0,0030	0,0175

* średnie dzienne stężenia srebra dla każdego z systemów filtrów dzbankowych A, B, C, D zostały obliczone jako średnia arytmetyczna stężeń oznaczonych w próbkach złożonych filtrowanej wody testowej za pomocą dwóch niezależnych wkładów filtrujących – odpowiednio: A1 i A2, B1 i B2, C1 i C2, D1 i D2.

Średnie dzienne stężenia srebra dla systemów filtrów dzbankowych A, B, C i D zawarte były odpowiednio w zakresach: 0,0025 – 0,0091 mg/l, 0,0015 – 0,0034 mg/l, 0,0017 – 0,0068 mg/l i 0,0132 – 0,0225 mg/l. We wszystkich przypadkach systemów filtrów dzbankowych zaobserwowano zmniejszanie się ilości wmywanego srebra do doczyszczanej wody testowej podczas ich eksploatacji. Wyznaczone średnie ogólne stężenia srebra dla badanych partii systemów filtracyjnych: A, B, C i D wynosiły odpowiednio: 0,0055 mg/l, 0,0022 mg/l, 0,0030 mg/l i 0,0175 mg/l. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wszystkie systemy filtrów dzbankowych spełniły wymagania zawarte w normie BS 8427:2004 - wszystkie wyznaczone średnie dzienne stężenia srebra, jak również średnie ogólne stężenie srebra wyznaczonego w całkowitych okresach eksploatacji były poniżej 0,1 mg/l. Generalnie większość producentów tego typu urządzeń dokonało zmian w technologii modyfikacji zewnętrznej powierzchni węgla aktywnego za pomocą związków srebra, co przyczyniło się do znacznej redukcji ilości wmywanego Ag do doczyszczanej wody, w stosunku do wcześniej obserwowanych [5, 6]. Jednocześnie trzeba podkreślić, że woda uzyskiwana w wyniku stosowania systemu filtra dzbankowego D nie spełnia wymagań Rozporządzenia Ministra Zdrowia z 29 marca 2007 roku w sprawie jakości wody prze-

znaczanej do spożycia przez ludzi [11], ze względu na fakt, że wszystkie wyznaczone średnie dzienne stężenia srebra, jak też średnia ogólna stężenia tego metalu wyznaczonego w całkowitym okresie eksploatacji, przekraczały najwyższe dopuszczalne stężenie tego pierwiastka – 0,01 mg/l.

WNIOSKI

1. W oparciu o współczesną wiedzę epidemiologiczną i toksykologiczną określającą najwyższą dopuszczalną dawkę doustną, którą człowiek może przyjąć w ciągu całego życia bez wystąpienia szkodliwego efektu zdrowotnego - NOAEL na poziomie 10 g można stwierdzić, że najwyższe obserwowane podczas badań średnie ogólne stężenie srebra wynoszące 0,0175 mg/l w spożywanej doczyszczanej wodzie implikuje przyjęcie całkowitej dawki srebra w ciągu 70 lat, równej około 9% wartości NOAEL.
2. Ponieważ oznaczone średnie ogólne stężenia srebra w doczyszczanej wodzie filtrowanej za pomocą wszystkich badanych typów systemów filtrów dzbankowych nie są wyższe niż 0,0175 mg/l i ze względu na fakt, że filtrowana woda jest zazwyczaj jednym z dwóch źródeł uzdatnionej wody spożywanej przez konsumenta, należy stwierdzić, że stosowanie tego typu filtrów nie stanowi istotnego zagrożenia dla zdrowia człowieka.
3. Ze względu na fakt, że aktualnie obowiązujące i nowelizowane Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi ustala wartość NDS srebra na poziomie 0,01 mg/l, celem byłoby wprowadzenie odrębnego zapisu, który dopuszczałby stosowanie tylko takich urządzeń filtrujących, nasrebrzających i wykorzystujących w procesie technologicznym srebro (np. do dezynfekcji), które nie powodują wystąpienia wyższych zawartości tego pierwiastka w doczyszczanej wodzie niż 0,1 mg/l.

PIŚMIENNICTWO

1. BS 8427:2004. Jug water filter systems – Specification.
2. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities, No. L 330, 5.12.1998, 32 - 54.
3. Friberg L., Nordberg G.F., Vouk V.B.: Silver. W: Handbook on the toxicology of metals. Ed. Fowler B.A., Nordberg G.F., Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1986, vol. II, 521 - 531.
4. Furst A., Schlauder M.C.: Inactivity of two noble metals as carcinogens. Journal of Environmental Pathology and Toxicology 1977, 1, 51 - 57.

5. *Garboś S., Świącicka D.*: Badanie redukcji zawartości ołowiu i wzrostu stężenia srebra w wodzie doczyszczanej za pomocą filtrów dzbankowych techniką spektrometrii mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną (ICP-MS). Instal 2006, 11, 63 – 66.
6. *Garboś S., Świącicka D.*: Możliwości identyfikacji i oznaczania wtórnych źródeł zanieczyszczenia w wyniku badania wyrobów i materiałów kontaktujących się z wodą przeznaczoną do spożycia przez ludzi. Instal 2005, 12, 9 - 13.
7. *Gibson R.S., Scythcs C.A.*: Chromium, selenium and other trace elements intake of a selected sample of Canadian premenopausal women. Biological Trace Element Research 1984, 6, 105.
8. Guidelines for Drinking-water Quality. Third edition incorporating the first and second addenda, Volume 1, Recommendations, WHO, Geneva, 2008.
9. *Nishioka H.*: Mutagenic activities of metal compounds in bacteria. Mutation Research 1975, 31, 185 - 189.
10. *Petering H.G., McClain C.J.*: Silver. W: Metals and Their Compounds in the Environment. Occurrence, Analysis and Biological Relevance, Ed. *Merian E.*, Cambridge, VCH 1991, II.26, 1191 – 1201.
11. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. nr 61, poz. 417.
12. U.S. EPA. Integrated Risk Information System (IRIS). Environment Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, Cincinnati, OH 1994.
13. U.S. EPA. Health Effects Assessment Summary Tables. Annual FY-94. Prepared by Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office, Office, Cincinnati, OH, for the Office of Emergency and Remedial Response, Washington DC, 1994.
14. U.S. EPA. Ambient water quality criteria for silver. Washington, DC 1980. EPA 440/5-80-071.

Otrzymano: 26.01.2010

Zaakceptowano do druku: 26.04.2010