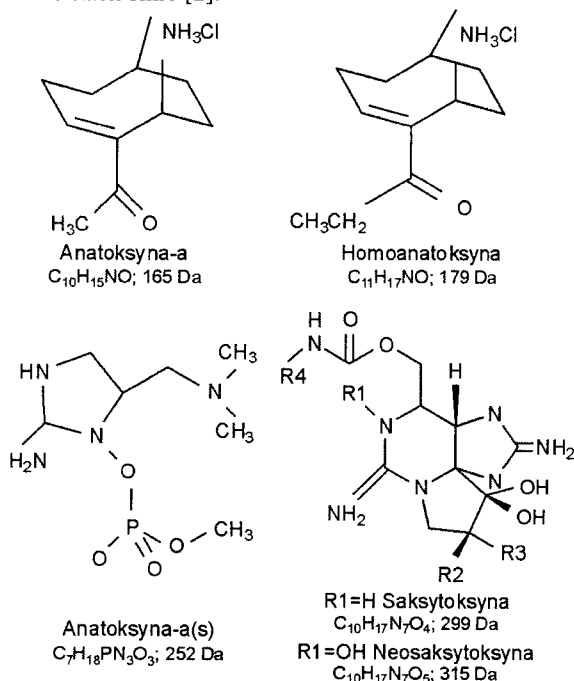


Andrzej K. M. Kabziński, Barbara T. Macioszek, Dominik E. Szczukocki, Renata Juszcak

Badania obecności neurotoksyn w wodzie ze Zbiornika Sulejowskiego

Sinice (*Cyanophyta*) z rodzaju *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* oraz *Phormidium* mogą wytwarzać hepatotoksyny (mikrocystyny), jak również liczną grupę neurotoksyn o bardzo zróżnicowanym mechanizmie działania na ekosystem i organizm ludzki [1]. W wodach występują głównie anatoksyna-a, homoanatoksyna-a, anatoksyna-a(s), saksytoksyna oraz neosaksytoksyna (rys. 1), choć znanych jest jeszcze przynajmniej kilkanaście różnego typu neurotoksyn. W wypadku saksytoksyny i neosaksytoksyny, efekt neurotoksyczny powstaje w wyniku blokady kanałów sodowych, podczas gdy anatoksyna-a blokuje miejsca receptorów acetylocholinowych. Z kolei anatoksyna-a(s) blokuje centra aktywne acetylocholinoesterazy. Skutkiem tego są zaburzenia w przewodzeniu impulsów nerwowych. Neurotoksyny spotykane są w wodach jezior Europy (Dania, Finlandia, Szwecja, Norwegia, Niemcy, Irlandia, Anglia, Włochy, itp.), Ameryki Północnej, Australii i Azji (Korea Płd., Korea Płn., Japonia), przy czym ich wysoki poziom utrzymuje się przez okres 1-2 tygodni od momentu uwolnienia ładunku zawartego w komórkach sinic [2].



Rys. 1. Struktura neurotoksyn wraz ze wzorem sumarycznym i ciężarem cząsteczkowym

Dotychczasowe badania nad toksynami sinicowymi koncentrowały się przede wszystkim wokół kancerogennych hepatotoksyn (mikrocystyn) w wodach zbiorników oraz czynników hydrobiologicznych i hydrochemicznych wpływających na zakwity sinic i wydajność biosyntezy toksyn [3], a także nad efektywnością ich usuwania w procesach oczyszczania wody [4–7]. W niniejszej pracy omówiono wyniki badań zawartości wybranych neurotoksyn w wodzie ujmowanej ze Zbiornika Sulejowskiego oraz scharakteryzowano wpływ wskaźników fizyczno-chemicznych wody i parametrów jej oczyszczania na efektywność usuwania anatoksyny-a (Antx-a), homoanatoksyny-a (HomoAntx-a) oraz anatoksyny-a(s) (Antx-a(s)) w stacji „Kalinko” koło Łodzi.

Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań była woda ze Zbiornika Sulejowskiego, ujmowana w Bronisławowie z głębokości około 5 m poniżej lustra wody, poddawana następnie wstępnemu utlenianiu dwutlenkiem chloru lub awaryjnie chlorem i przesyłana do stacji oczyszczania wody w Kalinko koło Łodzi. Proces oczyszczania wody w stacji „Kalinko” obejmuje usuwanie produktów ubocznych utleniania, wstępną alkalizację wapnem hydratyzowanym, sorpcję na aktywnym węglu pylistym (tylko w wypadku wód silnie zanieczyszczonych), koagulację w klarownikach z warstwą osadu zawieszono (stosowane są siarczan glinu i krzemionka aktywna), alkalizację końcową mlekiem wapiennym i ługiem sodowym, filtrację pospieszną przez złoża antracytowo-piaskowe i piaskowe, utlenianie ozonem oraz końcową dezynfekcję dwutlenkiem chloru i chlorem. Następnie woda jest przesyłana do zbiorników magazynowych „Łódź-Chojny”, skąd wprowadzana jest do sieci miejskiej [6].

Próbki wody do badań zostały pobrane ze Zbiornika Sulejowskiego (0,5 m poniżej lustra wody oraz ok. 5,0 m poniżej lustra wody), ze stacji uzdatniania wody w Kalinko oraz z odpływu wody do Łodzi (pompownia „Chojny”), w czasie od maja do listopada 2003 r. Próbki wody (1000 cm³) zostały przefiltrowane w celu usunięcia zanieczyszczeń mechanicznych (filtr 0,47 μm, Schleider and Schnell, Niemcy), a następnie wstępnie zateżone metodą ekstrakcji do fazy stałej (SPE) na kolumnkach NH₂, CN, SAX, DEA i XAD [6]. Próbki wody po wstępnym zateżeniu i rozdzieleniu od matrycy organicznej oznaczono metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej w odwróconych fazach (RP-HPLC) na kolumnie typu C18 Spherisorb 5S ODS2 (250x4 mm ID) z prekolumną Spherisorb 5S ODS2 (4 x 4 mm ID). Próbki rozdzielono metodą izokratyczną oraz gradientową, stosując do elucji acetonitryl, metanol, etanol, n-propanol oraz wodę o czystości do HPLC, przy wydajności elucji 1,0 cm³/min. Dodatkowo obecność

neurotoksyn Antx-a, HomoAntx-a i Antx-a(s) oznaczono metodą chromatografii gazowej (GC) z kolumną kapilarną z fazą metylosilikonową (15 × 0,2 mm ID), z klasyczną detekcją katarometryczną oraz spektroskopią mas (detektor SIM-MS, m/z=166, 182 i 253).

Oznaczenie całkowitej zawartości biomasy sinic, fitoplanktonu oraz całkowitej masy planktonu (fitoplankton+zooplankton+sinice) wykonano za pomocą mikroskopu odwróconego MOD-2 według PN-87/C-05551. Ponadto w próbkach wody oznaczono azot amonowy, azotany(III), azotany(V), fosforany, fosfor ogólny, ogólny węgiel organiczny, pH i zawartość tlenu rozpuszczonego.

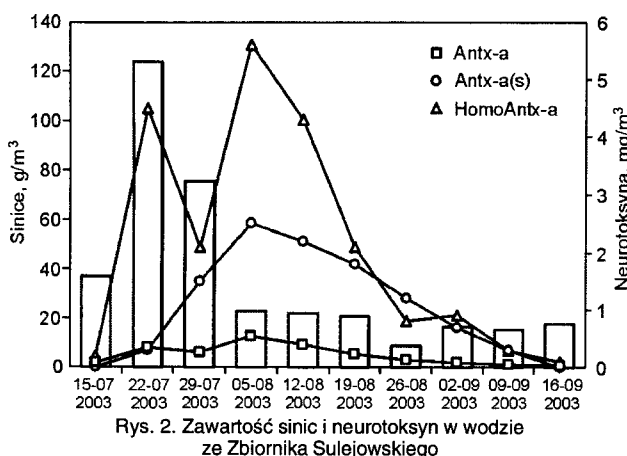
Dyskusja wyników badań

Dane dotyczące zawartości wybranych neurotoksyn w wodzie oraz biomasy ze Zbiornika Sulejowskiego podczas zakwitów w 2003 r. i 2004 r. przedstawiono w tabeli 1 i na rysunku 2. Dane dotyczące efektywności usuwania neurotoksyn Antx-a, HomoAntx-a i Antx-a(s) na poszczególnych etapach oczyszczania wody w 2003 r. zebrano w tabeli 2 oraz przedstawiono graficznie na rysunku 3.

W 2003 r. i 2004 r. zawartość neurotoksyn w materiale biologicznym i w wodzie była o wiele mniejsza niż zawartość mikrocystry LR. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że gatunkiem dominującym był *Microcystis*, a nie *Anabaena* czy

Tabela 1. Zawartość neurotoksyn w wodzie ze Zbiornika Sulejowskiego

Wskaźnik	2003 r.	2004 r.
Gatunek dominujący zawartość, %	<i>Microcystis</i> 90+95	<i>Microcystis</i> 90+100
zawartość w biomacie, µg/kg		
Antx-a	10,2+46,8 21,71 ±11,36	5,1+14,3 7,14 ±4,85
HomoAntx-a	8,1+22,3 11,82 ±5,35	0,2+8,7 3,16 ±2,82
Antx-a(s)	0,1+15,8 5,80 ±3,73	0,3+8,5 5,60 ±3,21
zawartość w wodzie, mg/m ³		
Antx-a	0,8+12,7 5,01 ±4,03	0,3+8,5 3,66 ±2,92
HomoAntx-a	0,1+5,6 2,09 ±2,02	0+4,2 1,53 ±0,94
Antx-a(s)	0+2,5 1,05 ±0,92	<0,01



Oscillatoria, które są ich głównymi producentami. Zawartość neurotoksyn w materiale biologicznym i w wodzie wynosiła odpowiednio 0,1+46,8 mg/g i 0+12,7 mg/m³ w 2003 r. oraz 0,2+14,3 mg/g i 0,0+8,5 mg/m³ w 2004 r. Dla porównania, zawartość mikrocystry LR w wodzie wahała się w 2003 r. w zakresie 0+5,37 mg/m³ (97,6 mg/m³ w wodzie z obszarów płam zakwit), natomiast w materiale biologicznym w przedziale 2,1+362,7 mg/g. Uzyskane wyniki były zbliżone do danych literaturowych. W badaniach nad obecnością Antx-a w wodzie jezior Irlandii stwierdzono zawartość tej neurotoksyny w szerokim przedziale od 6 mg/m³ do 444 mg/m³, przy czym gatunkami dominującymi były *Oscillatoria* i *Anabaena*. Są też doniesienia o neurotoksycznych zakwitach w wodach na terenie Włoch [10].

W 2003 r. skuteczność usuwania Antx-a, HomoAntx-a oraz Antx-a(s) wahała się w przedziale 23,3+100%. Średnia całkowita skuteczność usuwania Antx-a wynosiła 49,1%, HomoAntx-a – 51,5%, a Antx-a(s) – 45,7%. Uzyskana skuteczność była zdecydowanie niższa od uzyskanych dla mikrocystry LR, która wahała się w zakresie 73,6+93,8% (60,5+88,6% dla innych izoform mikrocystry [4–8]). Podobnie jak w wypadku mikrocystry, najskuteczniejszym etapem oczyszczania wody powierzchniowej było ozonowanie, które zapewniło skuteczność usuwania Antx-a na poziomie 23,1%, HomoAntx-a – 13,1% oraz Antx-a(s) – 21,3%. Była ona jednak zdecydowanie mniejsza niż w wypadku usuwania mikrocystry LR (58+80%) [8]. W literaturze nie ma danych porównawczych dla tych trzech toksyn. Skuteczność utleniania różnych form saksytoksyny ozonem w warunkach laboratoryjnych wahała się w zakresie 8,3+49,6%, najczęściej jednak w przedziale 15+35% [11]. W pracach [12,13] podkreśla się względnie niską wydajność utleniania Antx-a ozonem [12] i chlorem [13]. Lepsze wyniki dało utlenianie saksytoksyny, co pokrywa się z wcześniejszymi wynikami badań [11].

Wzrost temperatury wody miał niekorzystny wpływ na przebieg oczyszczania wody (współczynnik korelacji $r=-0,8785$), ze względu na rozwój mikroflory i mikrofauny utrudniającej proces oczyszczania. Wpływ utlenialności ($r=-0,8725$), przy stosunkowo niskich wartościach (r) dla biomasy sinic oraz fito- i zooplanktonu, wyraźnie wskazuje, że niewielki zakwit występujący w wodzie nie był głównym źródłem substancji organicznych. Prawdopodobnie głównym czynnikiem mogły być zanieczyszczenia organiczne o charakterze antropogenicznym (ścieki rolnicze i komunalne bogate w węgiel organiczny). Podobnie jak ma to miejsce w wypadku oczyszczania wód bogatych w mikrocystry [4–8], obecność azotanów(V) oraz azotu ogólnego miała niekorzystny wpływ na skuteczność oczyszczania wody ($r=-0,7378$, $r=-0,8728$). Wysoka dostępność azotu pozwoliła na swobodny rozwój kolonii sinic i produkcję toksyn sinicowych [14]. Podobnie jak w wypadku mikrocystry [4–8], obecność fosforanów(V) i fosforu ogólnego była dodatnio skorelowana ze skutecznością oczyszczania wody ($r=0,7466$, $r=0,6441$), co świadczyło o tym, że fosfor był czynnikiem decydującym o rozwoju kolonii sinic i produkcji toksyn sinicowych [14]. Potwierdza to także ujemna wartość korelacji pomiędzy stosunkiem zawartości azotu i fosforu (N/P) a skutecznością usuwania neurotoksyn ($r=-0,8314$). Podobne zależności uzyskano w wypadku mikrocystry obecnych w wodzie powierzchniowej [4–8]. Odmiennie korelacje otrzymano w wypadku wpływu rozpuszczonego węgla organicznego na usuwanie neurotoksyn. Wartość $r=0,6665$ nie była też zgodna z danymi dla biomasy i temperatury oraz utlenialności. Podobną zależność wykazała obecność ogólnego

Tabela 2. Zawartość neurotoksyn na poszczególnych etapach oczyszczania wody ze Zbiornika Sulejowskiego

Data	Bronistawów				Koagulacja		Ozonowanie		Odpływ do miasta		Stopień usunięcia %
	ujęcie		komora sit		mg/m ³	%	mg/m ³	%	mg/m ³	%	
	mg/m ³	%	mg/m ³	%							
anatoksyna-a (Antx-a)											
12-08-2003	9,3	100,0	9,1	97,8	8,9	95,7	6,8	73,1	6,5	69,9	30,1
19-08-2003	5,2	100,0	4,9	94,2	4,6	88,5	3,9	75,0	3,6	69,2	30,8
26-08-2003	3,0	100,0	2,9	96,7	2,7	90,0	2,0	66,7	1,8	60,0	40,0
02-09-2003	1,8	100,0	1,7	94,4	1,5	83,3	1,1	61,1	1,0	55,5	44,4
16-09-2003	0,8	100,0	0,6	75,0	0,5	62,5	0,2	25,0	0,0	0,0	100,0
Średnia	–	100,0	–	91,6	–	84,0	–	60,2	–	50,9	49,1
homoanatoksyna-a (HomoAntx-a)											
12-08-2003	4,3	100,0	4,2	97,7	4,0	93,0	3,9	81,4	3,3	76,7	23,2
19-08-2003	2,1	100,0	1,9	90,5	1,7	80,9	1,6	76,2	1,5	71,4	28,6
26-08-2003	0,8	100,0	0,7	87,5	0,6	75,0	0,5	62,5	0,4	50,0	50,0
02-09-2003	0,9	100,0	0,7	77,8	0,5	55,6	0,4	44,4	0,4	4,4	55,6
16-09-2003	0,1	100,0	0,1	100,0	0,1	100,0	0,0	0,00	0,0	0,0	100,0
Średnia	–	100,0	–	90,7	–	90,9	–	52,9	–	48,5	51,5
anatoksyna-a(s) (Antx-a(s))											
12-08-2003	2,2	100,0	2,1	95,5	2,0	90,9	1,7	77,3	1,6	72,3	27,3
19-08-2003	1,8	100,0	1,6	88,9	1,5	83,3	1,3	72,2	1,2	66,7	33,3
26-08-2003	1,2	100,0	1,1	91,7	1,0	83,3	0,7	58,3	0,6	50,0	50,0
02-09-2003	0,7	100,0	0,7	100,0	0,6	85,7	0,3	42,8	0,2	28,3	71,4
Średnia	–	100,0	–	94,0	–	85,8	–	62,6	–	54,3	45,7

węgla organicznego ($r=0,3669$). Wpływ węgla organicznego zazwyczaj koreluje ujemnie z efektywnością usuwania toksyn, gdyż obecność substancji organicznych wpływa na dodatkowe zużycie utleniaczy i koagulantów, obniżając tym samym skuteczność usuwania toksyn. Badania te odnosiły się jednak do mikrocystyny będącej cyklicznym heptapeptydem. Badane neurotoksyny są alkaloidami, mającymi zupełnie odmienną strukturę chemiczną. Być może czynnikiem decydującym o tej różnicy są właściwości sorpcyjne obydwu grup związków. Alkaloidy są mniej hydrofilowe i być może następuje dodatkowa sorpcja toksyn na związkach węgla (zawiesiny, itp.) ułatwiająca ich usuwanie z roztworu. Wymaga to jednak dalszych badań dotyczących usuwania neurotoksyn z wód powierzchniowych. Podobnie jak w pracach [4–8], korelacje pomiędzy dawką stosowanych wstępnie dwutlenku

chlorku i ozonu były ujemne ($r=-0,9351$, $r=-0,8510$), co świadczyło o tym, że stosowane dawki utleniaczy były bardzo wysokie w stosunku do potrzeb, tym bardziej, że uzyskano w tym samym czasie wysoką skuteczność usuwania mikrocystyn. Potwierdzają to także dane literaturowe mówiące, że wartością graniczną skutecznej dawki ozonu jest $1,3+1,5 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ [12,15–19]. Stosunkowo niska skuteczność utleniania neurotoksyn alkaloidowych wynika prawdopodobnie z odmiennego mechanizmu tego procesu, co wymaga dalszych badań.

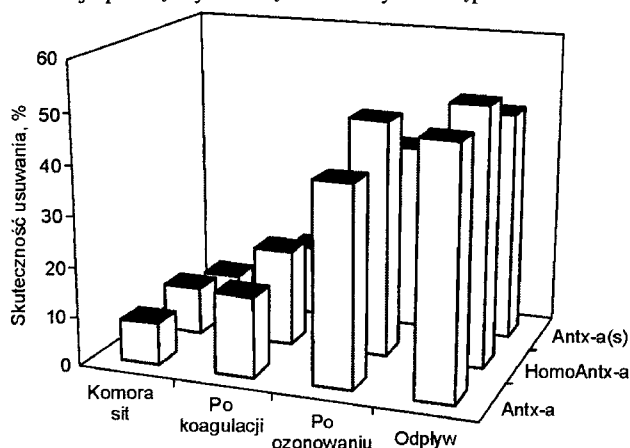
Wnioski

◆ Zawartość neurotoksyn w materiale biologicznym była o wiele niższa niż w wypadku mikrocystyny LR i wahała się w zakresie $0,1+46,8 \text{ mg/g}$, co wynikało prawdopodobnie z faktu, że gatunkiem dominującym był *Microcystis*. Zawartość neurotoksyn w wodzie Zbiornika Sulejowskiego mieściła się w przedziale $0+12,7 \text{ mg/m}^3$ (śr. $1+5 \text{ mg/m}^3$).

◆ Średnia skuteczność usuwania neurotoksyn z wody w procesie oczyszczania wahała się w przedziale $45,7+51,5\%$ i była niższa niż w wypadku mikrocystyny-LR ($73,6+93,8\%$) czy też innych izoform mikrocystyn ($60,5+88,6\%$).

◆ Podobnie jak w wypadku mikrocystyny LR, najskuteczniejszym etapem usuwania neurotoksyn (Antx-a, HomoAntx-a oraz Antx-a(s)) było ozonowanie ($13,1+23,1\%$), lecz było ono jednak mniej skuteczne niż w wypadku mikrocystyny-LR ($58+80\%$).

◆ Do czynników fizyczno-chemicznych, mających wpływ na skuteczność usuwania neurotoksyn, podobnie jak w przypadku hepatotoksyn, należały temperatura i utlenialność wody oraz zawartości azotanów(V), azotu ogólnego, fosforanów(V),



Rys. 3. Skuteczność usuwania neurotoksyn na poszczególnych etapach oczyszczania wody w stacji „Kalinko”

fosforu ogólnego, a także stosunek zawartości N/P i zawartość rozpuszczalnego węgla organicznego.

♦ Dawki dwutlenku chloru, a przede wszystkim ozonu, nie miały dodatnich korelacji ze skutecznością usuwania neurotoksyn, prawdopodobnie (jak w wypadku mikrocystyny LR) ze względu na znaczne przekroczenie niezbędnej w tym procesie efektywnej dawki reagenta.

Autorzy składają podziękowania dyrekcji Zakładu Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi za umożliwienie przeprowadzenia badań na terenie ujęcia wody w Bronisławowie nad Zalewem Sulejowskim oraz w stacji uzdatnia wody w Kalinku.

Autorzy dziękują również głównemu technologowi ZWiK w Łodzi, Panu mgr. inż. Jerzemu Cyranowi, a także kierownikowi Wydziału Produkcji Wody Sulejów w Kalinku, w osobach Pani mgr. inż. Heleny Grabowskiej i Pana mgr. Bogumiła Rzerzychy, za współudział w badaniach.

LITERATURA

1. W. W. CARMICHAEL: The toxins of cyanobacteria. *Sci. Amer.*, 1994, No. 270, pp. 78–86.
2. J. RAPALA, K. LAHTI, K. SIVONEN, S. I. NIEMELA: Biodegradability and adsorption on lake sediments of cyanobacterial hepatotoxins and anatoxin-a. *Lett. Appl. Microbiol.*, 1994, No. 19, pp. 423–428.
3. A. K. M. KABZIŃSKI, R. JUSZCZAK, E. MIĘKOŚ, H. SCHOLL, M. TARCZYŃSKA, K. SIVONEN, J. RAPALA: The first report about the presence of cyanobacterial toxins in Polish lakes. *Polish J. Environ. Stud.*, 2000, No. 9(3), pp. 171–178.
4. A. K. M. KABZIŃSKI, H. GRABOWSKA: Badanie efektywności usuwania toksyn sinicowych w procesie uzdatniania wody w ciągu produkcyjno-przesyłowym Sulejów-Łódź. *Gosp. Wodna*, 2003, nr 3, ss. 109–118.
5. A. K. M. KABZIŃSKI, H. GRABOWSKA: Determination of microcystin after removing from drinking water by ozonation process in Sulejów Artificial Lake. *Proc. Symp. "Physicochemical Methods of the Mixture Separation"*, Częstochowa, 2003, pp. 38–42.
6. A. K. M. KABZIŃSKI, H. GRABOWSKA, J. CYRAN, R. JUSZCZAK, J. DZIEGIEĆ, A. ZAWADZKA, D. E. SZCZUKOCKI, K. SZCZYTOWSKI: Badania dotyczące użycia ditlenku chloru i ozonu do usuwania toksyn sinicowych w systemie wodociągowym Sulejów-Łódź. *Arch. Environ. Protect.*, 2004, No. 30, pp. 17–38.
7. A. K. M. KABZIŃSKI, H. GRABOWSKA, J. CYRAN, R. JUSZCZAK, A. ZAWADZKA, M. MACIOSZEK: Wpływ jakości wody i parametrów jej uzdatniania na usuwanie toksyn sinicowych na przykładzie wodociągu „Sulejów-Łódź”. *Ochrona Środowiska*, 2004, nr 3, ss. 13–20.
8. A. K. M. KABZIŃSKI: Badanie efektywności usuwania hepatotoksyn sinicowych z wody w procesie jej uzdatniania – podsumowanie sześciu lat badań na przykładzie ciągu produkcyjno-przesyłowego Sulejów-Łódź. *Gospodarka Wodna*, 2005, nr 4, ss. 150–155.
9. K. J. JAMES, J. R. SHERLOCK, M. A. STACK: Anatoxin-a in Irish fresh water and cyanobacteria, determined using a new fluorometric liquid chromatographic method. *Toxicon*, 1997, No. 35, pp. 963–971.
10. M. BRUNO, D. A. BARBINI, E. PIETRODOMINICI, A. PERSERSE, A. IOPPOLO: Anatoxin-a and previously unknown toxin in *Anabaena Planctonica* from bloom found in lake Mulargia (Italy). *Toxicon*, 1994, No. 32, pp. 369–373.
11. J. ROSITANO, G. NEWCOMBE, B. NICHOLSON, P. SZTAJNBOK: Ozonation of NOM algal toxins in four treated waters. *Water Research*, 2001, No. 35, pp. 23–32.
12. J. ROSITANO, B. C. NICHOLSON, P. PIERONNE: Destruction of cyanobacterial toxins by ozone. *Ozone Sci. Eng.*, 1998, No. 20, pp. 223–238.
13. J. ROSITANO, B. C. NICHOLSON: Methods for water treatment for removing of cyanobacterial toxins. *Urban Water Research Association of Australia, Research Report*, 1994, No. 2.
14. A. K. M. KABZIŃSKI: Toksyczne zakwity sinicowe: (II) Podstawa ekologii sinic. *BIOSKOP*, 2005, nr 1, ss. 6–12.
15. J. HART, P. SCOTT: Microcystin removal from water. *Water Research Report No. FR0367*, 1993, Murlow, Bucking-Hampshire, England.
16. K. HIMBERGER, A. M. KEIJOLA, L. HIISVIRTA, H. PYYSALO, K. SIVONEN: The effect of water treatment processes on the removal of hepatotoxins from *Microcystis* and *Oscillatoria cyanobacteria*: A laboratory study. *Water Research*, 1989, No. 23, pp. 979–984.
17. L. LEPISTO, K. LAKTI, J. NIEMI: Removal of cyanobacteria and other phytoplankton in four Finnish waterworks. *Algol. Stud.*, 1994, No. 75, pp. 167–181.
18. B. NICHOLSON, J. ROSITANO, J. HUMPAGE, M. BURCH: Removal of algal toxins in water by treatment processes. 15th AWWA Federal Convention, Sydney 1993, pp. 327–331.
19. K. TSUJI, T. WATANUKI, F. KONDO, M. F. WATANABE, H. NAKAZAWA, M. SUZUKI, H. UCHIDA, K. I. HARADA: Stability of microcystins from cyanobacteria – IV. Effect of chlorination on decomposition. *Toxicon*, 1997, No. 35, pp. 1033–1041.

Kabziński, A.K.M., Macioszek, B.T., Szczukocki, D.E., Juszcak, R. Neurotoxins in the Sulejów Impoundment Lake Water. *Ochrona Środowiska* 2006, Vol. 28, No. 1, pp. 55–58.

Abstract: Cyanobacteria (*Cyanophyta*) of the genus *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Alphanizomenon* or *Phormidium* have the ability to produce hepatotoxins (microcystins) and a large group of neurotoxins (anatoxin-a, -a(s), -b, -c, -d, saxitoxin, neosaxitoxin, etc.) highly diverse in the mechanism of toxicity towards the ecosystem and humans (with an LD₅₀ ranging from 10 to 200 mg/kg of human body). Samples of the Sulejów lake water were analyzed for the presence of neurotoxins (Antx-a, Antx-a(s) and HomoAntx-a). The efficiency of neurotoxins

removal was assessed after particular unit process by taking into account the values of the water quality parameters measured prior to and after the treatment process. The content of neurotoxins in the biomass samples collected from the Sulejów Impoundment Lake varied from 0.1 mg/g to 139.1 mg/g, while in the lake water samples their content averaged between 1 and 5 mg/m³. Ozonation was found to be the most efficient unit process with an extent of neurotoxin (Antx-a, Antx-a(s) and HomoAntx-a) removal of 13.1 to 23.1%, which was, however, lower than that of microcystin LR removal amounting to 58–80%.

Keywords: Algae, cyanobacteria, neurotoxins, ozonation.