

Magdalena FRAK, Anna NESTOROWICZ

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW w Warszawie
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WULS – SGGW

Ocena stanu sanitarnego wybranych zbiorników wodnych parków miejskich Warszawy

Sanitary assesment of selected water reservoir's in Warsaw parks

Słowa kluczowe: jakość sanitarna, stan sanitarny, zbiorniki wodne

Key words: sanitary quality, sanitary status, water's reservoirs

Wprowadzenie

Naturalne i sztuczne zbiorniki wodne stanowią stały element środowiska miejskiego, wzbogacają krajobraz i uprzyjemniają wypoczynek. Wykorzystywane są do wędkowania, ale także jako kąpieliska – stale bądź okazjonalnie, często pomimo wyraźnych zakazów kąpieli. W związku z możliwością bezpośredniego kontaktu człowieka z wodą ze zbiorników ważne jest nie tylko ich zagospodarowanie, ale przede wszystkim czystość samej wody. Odpowiednia jakość sanitarna stanowi o jej bezpieczeństwie dla zdrowia ludzi i umożliwia rekreacyjne wykorzystanie zbiorników wodnych. Ponadto woda o wysokiej jakości daje warunki dla rozwoju żywych organizmów, występowania różnorodnych sie-

dlisk roślinnych i zwierzęcych, a tym samym podnosi atrakcyjność biologiczną.

Celem podjętych badań jest określenie stopnia zanieczyszczenia sanitarnego zbiorników zlokalizowanych na miejskich terenach parkowych poprzez parametry bakteriologiczne i wybrane wskaźniki chemiczne. Uzyskane wyniki będą pomocne przy określeniu możliwości wykorzystania analizowanych obiektów oraz przyczyn niezadowalającej jakości wody.

Material i metodyka badań

Do badań wybrano 3 zbiorniki zlokalizowane na terenach parkowych Warszawy, tj.: Glinianki Szczęśliwickie (obiekt nr 1), Glinianki Moczydłowskie (obiekt nr 2) i Jezioro Kamionkowskie (obiekt nr 3) – rysunek 1. Na obszarze każdego z nich wybrano po 2 punkty pomiarowe (obiekt nr 1 – 3 punkty w okresie letnim). Próby powierzchniowe wody pobierano w dwóch terminach,



RYSUNEK 1. Lokalizacja punktów pomiarowych / zbiorników: a – Glinianki Szczęśliwickie, b – Glinianki Moczydłowskie, c – Jezioro Kamionkowskie
 FIGURE 1. Location of measurement points / reservoirs: a – Glinianki Szczęśliwickie, b – Glinianki Moczydłowskie, c – Jezioro Kamionkowskie

tj. w maju i lipcu 2007 roku do jałowych butelek, zgodnie z PN-74/C0462/01. Wykonano analizy wybranych parametrów bakteriologicznych i chemicznych (w tym fizykochemicznych).

Oznaczono ogólną liczbę bakterii psychrofilnych i mezofilnych (wynik podano w jtk/ml) metodą płytek lanych na agarze odżywczym w temperaturze odpowiednio 22 i 28°C według PN-74/C-04615/03. Zbadano także poziom 4 wskaźników fekalnych. Najbardziej prawdopodobną liczbę NPL (wynik podano w NPL·m⁻¹) dla *Escherichia coli* określono metodą fermentacyjno-probówkową na podłożu, według Eijkmana, w temperaturze 37°C, z uwiarygodnieniem uzyskanych wyników na podłożu Endo w 44°C (zgodnie z PN-77/C-04615/07), a dla *Streptococcus faecalis* (wynik podano w NPL·ml⁻¹) określono metodą probówkową na podłożu z azydkiem sodowym (zgodnie z PN-82 C-04615/25). Hodowle *Clostridium perfringens* prowadzono metodą płytkową na podłożu, według Wilson-

-Blaira (wynik podano w jtk·m⁻¹) w temperaturze 37°C (24 h) – przed posiewem próby wody ogrzewano przez 10 min w temperaturze 80°C celem usunięcia mikroorganizmów nieprzetrawialnych (zgodnie z PN-74/C-14615/12).

Ponadto zbadano w pobranych próbach wody wartość wybranych wskaźników jakości chemicznej. BZT₅ (pięciodobowe zapotrzebowanie na tlen w mgO₂·l⁻¹) oznaczono metodą manometryczną z zatrzymaniem nityfikacji (OxiTop Control). Stężenie OWO (ogólny węgiel organiczny w mgC·l⁻¹) i Nc (azot całkowity w mg·l⁻¹) określono z wykorzystaniem metody wysokiej temperatury (automatyczny analizator przepływowy SKALAR Formacs HT/TN), zgodnie z wytycznymi ISO 8245 EPA 415.1. Oznaczono także stężenie azotynów, azotanów, amoniaku i chlorków metodą chromatografii cieczowej, z wykorzystaniem aparatu Dionex ICS-1000 (próby przed pomiarem fitrowano celem usunięcia zawiesin). Pomiar ilości tlenu rozpuszczonego (wynik w mgO₂·l⁻¹)

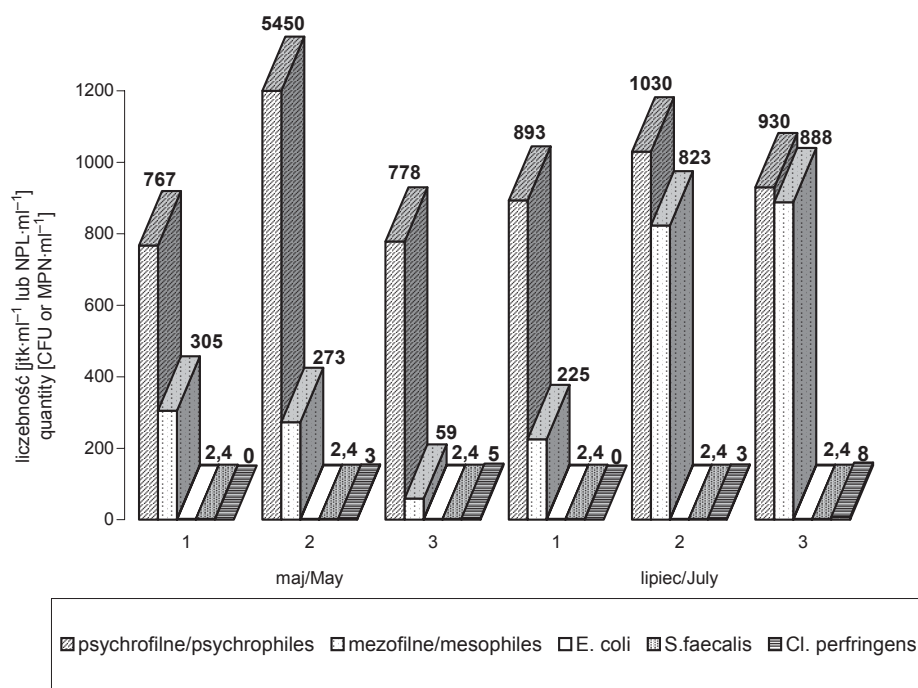
wykonano metodą Winklera. Zmierzono także EC (przewodność elektrolityczna w $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) oraz pH wody, metodą elektrochemiczną.

Wyniki

We wszystkich pobranych próbach oznaczono dużą liczebność bakterii psychrofilnych (rys. 2) w obu terminach badawczych, co świadczy o znaczącym zanieczyszczeniu organicznym zbiorników (Dart 1997). Średnio odnotowano: w maju od $767 \text{ jtk}\cdot\text{ml}^{-1}$ dla obiektu nr 1 do $5450 \text{ jtk}\cdot\text{ml}^{-1}$ dla obiektu nr 2 oraz w lipcu od $893 \text{ jtk}\cdot\text{ml}^{-1}$ dla obiektu nr 1 do $1030 \text{ jtk}\cdot\text{ml}^{-1}$ dla obiektu nr 2. Liczebność bakterii mezofilnych jest wskaźnikiem stopnia zanieczyszczenia sanitarnego – podwyższona świadczy o dopływie ścieków zawierających drobnoustroje bytujące w organizmach zwierząt stałocieplnych i człowieka (Niewolak 1982, Aquatic microbiology 1983, Zabłocka-Godlewska i in. 1999). Na podstawie

zanieczyszczenie zbiorników bakteriami psychrofilnymi, przy czym najsilniej w obu terminach zanieczyszczony był obiekt nr 2.

Także większą liczbę bakterii mezofilnych we wszystkich zbiornikach stwierdzono w lipcu. Określono ją: w maju od $59 \text{ jtk}\cdot\text{ml}^{-1}$ dla obiektu nr 3 do $305 \text{ jtk}\cdot\text{ml}^{-1}$ dla obiektu nr 1 oraz w lipcu od $225 \text{ jtk}\cdot\text{ml}^{-1}$ dla obiektu nr 1 do $888 \text{ jtk}\cdot\text{ml}^{-1}$ dla obiektu nr 3. Liczebność bakterii mezofilnych jest wskaźnikiem stopnia zanieczyszczenia sanitarnego – podwyższona świadczy o dopływie ścieków zawierających drobnoustroje bytujące w organizmach zwierząt stałocieplnych i człowieka (Niewolak 1982, Aquatic microbiology 1983, Zabłocka-Godlewska i in. 1999). Na podstawie



RYSUNEK 2. Liczebność analizowanych grup bakterii
FIGURE 2. Quantity of analyzed bacteria

TABELA 1. Stosunek liczbowy ogólnej liczby bakterii psychrofilnych (A_{22}) do ogólnej liczby bakterii mezofilnych (A_{37}) dla badanych zbiorników

TABLE 1. Ratio general amount of psychrophilic bacteria (A_{22}) to general amount of mesophilic bacteria (A_{37}) for analyzed reservoirs

Nr obiektu Number	Zbiornik Reservoirs	Stosunek A_{22}/A_{37} Ratio A_{22}/A_{37}	
		maj / May	lipiec / July
1	Glinianki Szczęśliwickie	2,5	1,9
2	Glinianki Moczydłowskie	20	1,3
3	Jeziorko Kamionkowskie	13,2	1

stosunku ilościowego ogólnej liczby bakterii psychrofilnych do ogólnej liczby bakterii mezofilnych można określić stopień zanieczyszczenia wody. Wartości określające A_{22}/A_{37} zawiera tabela 1. Dla zbiornika nr 1 wynosi on 2,5 w maju i 1,9 w lipcu. W przypadku pozostałych zbiorników stwierdzono znaczące, kilkunastokrotne pogorszenie tego wskaźnika w okresie letnim.

We wszystkich badanych próbach wody w obu terminach pomiarowych stwierdzono obecność także bakterii pochodzenia kałowego. Oznaczono liczebność bakterii coli typu kałowego (*Escherichia coli*) oraz paciorkowców kałowych (*Streptococcus faecalis*), będących stałym składnikiem odchodów człowieka i zwierząt (rys. 2). Dla obu wskaźników NPL w 1 ml określono na poziomie 2,4 (lub więcej). Miano w obu przypadkach wynosi 0,4, co jest wartością typową dla wód silnie zanieczyszczonych sanitarnie (Niewolak 1982, Zmysłowska 2002). Uzyskane wyniki jednoznacznie świadczą o stałym dopływie do zbiorników ścieków bytowych.

Zbadano także występowanie bez-tlenowych bakterii przetrwalnikujących (*Clostridium perfringens*), charakterystycznych dla zbiorowisk mikroflory kałowej. W obu terminach badawczych

stwierdzono je tylko w zbiornikach nr 2 i 3 – na poziomie kilku aktywnych jednostek w mililitrze (3–8 jtk·ml⁻¹). Obecność tych bakterii w badanych próbach wskazuje na długotrwały dopływ ścieków bytowych do analizowanych obiektów (Świątecki i Górniak 1993). Jedynie w próbach ze zbiornika nr 1 nie stwierdzono występowania *Clostridium perfringens*.

Analiza parametrów chemicznej jakości wody potwierdziła zanieczyszczenie organiczne wód wszystkich zbiorników (tab. 2). Stężenie ogólnego węgla organicznego oznaczono na poziomie od 24,355 do 38,993 mgC·l⁻¹, co kwalifikuje wody zbiorników do silnie zanieczyszczonych. Największe wartości BZT₅ oznaczono dla obiektu nr 2 w obu terminach badawczych (17,5–17,2 mgO₂·l⁻¹), co potwierdza silne zanieczyszczenie biodegradowalnymi substancjami organicznymi (Hermanowicz i in. 1999).

W badanym okresie stwierdzono także wysokie stężenia chlorków (tab. 2) – od 45 747 mgCl·l⁻¹ dla obiektu nr 1 w maju do nawet 110,785 mgC·ml⁻¹ dla obiektu nr 2 w lipcu. We wszystkich badanych zbiornikach oznaczono podwyższone zanieczyszczenie chlorkami w okresie letnim, przy czym w przypadku zbiornika nr 2 zarejestrowano naj-

TABELA 2. Poziom parametrów chemicznej jakości wody zbiorników
TABLE 2. Value of chemical parameters of water quality of reservoirs

Okres Period	Zbiornik Reservoir	OWO/TOC [mgC·l ⁻¹]	BZT ₅ [mgO ₂ ·l ⁻¹]	Nc/TN [mgN·l ⁻¹]	NH ₄ [mgNH ₄ ·l ⁻¹]	NO ₃ [mgNO ₃ ·l ⁻¹]	Cl [mgCl·l ⁻¹]	pH	EC [μS·cm ⁻¹]
Maj May 2007	1	30,838	4,3	1,213	0,426	1,301	45,747	8,26	787,25
	2	25,028	17,5	0,86	0,342	0,215	71,848	7,99	930,25
	3	24,355	6,7	1,243	0,946	2,164	73,091	7,82	857,00
Lipiec July 2007	1	54,980	8,6	1,275	0,160	0,011	71,538	8,19	765,75
	2	38,093	17,2	1,278	0,108	0,010	110,785	7,76	740,25
	3	37,680	16,7	1,500	0,574	1,229	73,225	7,318	638,25

większe wartości tego wskaźnika. Ilość chlorków w wodach świadczy o stopniu zanieczyszczenia antropogenicznego (Hermanowicz i in. 1999, Ligęza i Wilk-
-Woźniak 2006). Duże wartości w badanych próbach mogą wskazywać na dopływ do zbiorników także ścieków deszczowych, zbierających zanieczyszczenia z traktów komunikacyjnych. Zmierzone wartości przewodności również sugerują dopływ zanieczyszczeń (638,25 μS·cm⁻¹ i wyżej). Najwyższy poziom EC stwierdzono dla obiektów nr 1 i 2 (odpowiednio: 765,75 μS·cm⁻¹ w maju i 930 μS·cm⁻¹ w lipcu). Najwyższe pH określono dla zbiornika nr 1 (8,19–8,26), co wskazuje na obecność zanieczyszczeń o charakterze alkalicznym.

Podsumowanie i dyskusja

Do badań w niniejszej pracy wybrano trzy zbiorniki wodne: Glinianki Szczęśliwickie (nr 1), Glinianki Moczydłowskie (nr 2) oraz Jeziorko Kamionkowskie (nr 3). Zbiorniki te różnią się parametrami technicznymi i pochodzeniem oraz położone są w trzech różnych dzielnicach Warszawy. Przeprowadzone analizy bakteriologiczne oraz fizykochemiczne umożliwiły określenie jakości wody, w tym stanu sanitarnego, oraz wskazały ograniczenia w wykorzystaniu lub zagospodarowaniu zbiorników wodnych.

Podsumowując wskazania bakteriologiczne, największe zanieczyszczenie sanitarne stwierdzono w zbiorniku nr 1. Ważnym wskaźnikiem w ocenie jakości wody jest stosunek ogólnej liczby oznaczonych bakterii psychrofilnych do mezofilnych (Niewolak 1982, Dart 1997, Zmysłowska 2002). Jeśli stosunek ten

jest mniejszy od 10, to wody uznaje się za silnie zanieczyszczone. Analizując uzyskane wartości, można stwierdzić znaczne pogorszenie się jakości wód w okresie letnim. W maju zbiorniki nr 2 i 3 uznaje się (zgodnie z wyżej wymienionym wskaźnikiem) za niezanieczyszczone, natomiast w lipcu wskaźnik ten spada kilkunastokrotnie. Świadczy to o silnym skażeniu sanitarnym wszystkich badanych zbiorników. Potwierdzają to badania dotyczące występowania mikroflory kałowej. Ich obecność we wszystkich analizowanych próbach wskazuje jednoznacznie na dopływ ścieków bytowych, prawdopodobnie pochodzących ze zrzutów niekontrolowanych (obowiązujący zakaz odprowadzania ścieków do zbiorników). Stwierdzenie obecności *Clostridium perfringens* w wodach zbiorników nr 2 i 3 świadczy o stałym dopływie tych zanieczyszczeń (Świątecki i Górniak 1993). Brak tego wskaźnika w próbach z obiektu nr 1 wraz z licznym występowaniem *E. coli* i *S. faecalis* sugeruje, iż dopływ zanieczyszczeń sanitarnych miał miejsce dopiero w okresie ciepłym. W przypadku pozostałych zbiorników zanieczyszczenia kałowe prawdopodobnie docierały okresowo, od co najmniej kilkunastu miesięcy (Reinheimer 1987, Zabłocka-Godlewska i in. 1999).

Badania chemicznej jakości wody potwierdzają wyniki uzyskane w analizach mikrobiologicznych. Duże ilości OWO i BZT₅ wskazują na silne zanieczyszczenie organiczne, zwłaszcza w okresie ciepłym. Dopływ zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego sugeruje także poziom zmierzonej przewodności i stężenia chlorków. Poziom EC także charakterystyczny jest dla wód

zanieczyszczonych (Hermanowicz i in. 1999).

Wysokie stężenia OWO oraz niskie wykrywane azotanów (także amoniaku – poniżej 0,06 mg·l⁻¹, i azotynów – poniżej 0,94 mg·l⁻¹, we wszystkich próbach) w stosunku do ilości azotu całkowitego świadczą o silnych procesach biodegradacyjnych. Intensywne procesy proteolityczne, amonifikacyjne i nityfikacyjne powodują wytwarzanie amoniaku i azotanów – jednak bez rejestracji ich obecności analizami chemicznymi. Powstający azot mineralny ulega absorpcji przez roślinność wodną intensywnie rozwijającą się w zbiornikach w okresie ciepłym – makrofity, fitoplankton (Burchard 1994, Frąk 2006, Frąk i in. 2009). Ponadto przy wysokim zanieczyszczeniu związkami węgla organicznego azot, powstający w czasie ich mineralizacji, w całości jest pobierany przez mikroorganizmy, bez uwolnienia do środowiska wolnego amoniaku (Reinheimer 1987, Lięza i Wilk-Woźniak 2006, Piechowiak i Kraska 2008). Liczne występowanie bakterii psychrofilnych w wodach badanych zbiorników potwierdza dużą dostępność substancji odżywczych.

Wnioski

Przeprowadzone badania jednoznacznie wskazują na wysokie zanieczyszczenie sanitarne i organiczne badanych zbiorników, co uniemożliwia ich wykorzystanie rekreacyjne. Potwierdza to brak wyznaczonych kąpielisk zorganizowanych na tych obiektach. Jednak z uwagi na okazjonalne wykorzystanie zbiorników (zwłaszcza zbiornika nr 1) należy poddać je stałemu monitoringowi

jakości. Ważne jest także określenie źródła dopływu zanieczyszczeń.

Źródła pochodzenia ścieków bytowych nie są łatwe do zlokalizowania w przypadku obiektu nr 1 (Glinianki Szczęśliwickie) i nr 2 (Glinianki Moczydłowskie), gdyż woda w tych zbiornikach znajduje się w obiegu zamkniętym. Zanieczyszczenie wody w ich przypadku mogło nastąpić na skutek zaśmieciania zbiorników. Z obiektem nr 3 (Jeziorko Kamionkowskie) łączy się Kanał Wystawowy (rys. 1). Prawdopodobnie wody kanału okresowo mogą wnosić zanieczyszczenia pochodzenia ściekowego, zbierane z terenu jego zlewni (w tym zrzuty niekontrolowane). Prawdopodobnie także ścieki odpływające z terenu Stadionu Dziesięciolecia wprowadzają do Jeziora poprzez kanalizację burzową zanieczyszczenia z punktów garmazeryjnych oraz być może także zanieczyszczenia fizjologiczne (ogromna liczba ludzi oraz niewystarczająca liczba toalet). Dodatkowym problemem jest także duże zamulenie dna, przede wszystkim w zbiorniku nr 3, co przekłada się na znaczne zanieczyszczenie organiczne oraz daje możliwość rozwoju i dłuższego przeżycia dla różnego rodzaju bakterii.

Do pogorszenia stanu sanitarnego wody przyczyniają się także spływy wody deszczowej, które niosą ze sobą bakterie wymywane z atmosfery lub z tras komunikacyjnych. Ponadto zaobserwowano także bezpośrednie wykorzystywanie wody przez zwierzęta i ludzi, co pośrednio także przyczynia się do pogorszenia jakości wody.

Wyniki podjętych badań pozwalają przypuszczać, że jakość wody w innych zbiornikach terenów parkowych może

być na podobnym poziomie zanieczyszczenia. Wiąże się to z kolei z brakiem możliwości wykorzystania zbiorników wodnych w innych celach niż jako element urozmaicający krajobraz parków miejskich. Potwierdzeniem tego są m.in. badania prowadzone przez rejonowe stacje sanepidu kąpielisk otwartych na terenach miejskich, w których rejestruje się przypadki występowania bakterii kałowych, Salmonelli czy prątków cholery.

Literatura

- Aquatic microbiology 1983: W: Microbiology. Red. E.W. Nester. Saunders College Publ., Washington University: 685–719.
- BURCHARD L., 1994: Dzisiejsze możliwości biologicznej oceny hipertrofii i politrofii w akwenu. W: Zintegrowana strategia ochrony i zagospodarowania ekosystemów wodnych. Red. M. Zalewski. Biblioteka Monitoringu Środowiska: 61–66.
- DART R.K. 1997: Microbiological aspect of pollution control. Elsevier Science Publ. Inc., North Holland.
- FRAK M. 2006: Analiza różnorodności fitoplanktonu jako wskaźnika jakości rzek nizinnych. *Zesz. Problem. Postęp. Nauk Roln.* 515: 81–88;
- FRAK M., KARDEL I., CENDROWSKA M. 2009: Occurrence of nitrogen cycle bacteria in the Biebrza River. *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* (w druku).
- HERMANOWICZ W., DOJLIDO J., DOŻAŃSKA W., KOZIOROWSKI B. 1999: Fizykochemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa.
- LIGĘZA S., WILK-WOŹNIAK E., 2006: Jakość wody w zbiornikach o różnym nasileniu antropopresji a strategii życiowe glonów planktonowych. *Zesz. Problem. Postęp. Nauk Roln.* 515: 251–260.
- NIEWOLAK S., 1982: Drobnoustroje wskaźnikowe stanu sanitarnego wód. W: Biologia sanitarna. Red. K. Starmach i in. Wydaw. ART, Olsztyn: 38–110.

- PIECHOWIAK M., KRASKA M. 2008: The effect of humic substances on nitrogen cycle bacteria. *Ocean. Hydrobiol. Stud.* XXXVII, Supl. 1: 99–108.
- PN-74/C-04615/01 Woda i ścieki. Pobieranie próbek. Naczynia, przyrządy, urządzenia.
- PN-74/C-04615/03 Woda i ścieki. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby bakterii metodą płytkową.
- PN-74/C-14615/12 Woda i ścieki. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie beztlenowych bakterii przetrwalnikujących redukujących siarczany (*Clostridium*) metodą hodowli.
- PN-77/C-04615/07 Woda i ścieki. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie bakterii typu coli typu kałowego metodą fermentacyjno-probówkową.
- PN-82/C-04615/25 Woda i ścieki. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie paciorkowców kałowych metodą filtrów membranowych i metodą probówkową.
- REINHHEIMER G. 1987: Mikroorganizmy i zanieczyszczenie wód. W: *Mikrobiologia wód*. PWRiL, Warszawa: 248–270.
- ŚWIĄTECKI A., GÓRNIĄK D. 1993: Bakterie z rodzaju *Clostridium*. W: *Analizy środowiskowe: mikrobiologiczne wskaźniki wód*. Red. E. Dyer. PIOS, Warszawa: 73–75.
- ZABŁOCKA-GODLEWSKA E., MAŁACHOWSKA A., MROZOWSKA J. 1999: Kontrola bakteriologiczna środowiska dla celów sanitarnych. W: *Laboratorium z mikrobiologii ogólnej i środowiskowej*. Red. J. Mrozowska. PŚ, Gliwice: 210–269.
- ZMYSŁOWSKA I. 2002: *Mikrobiologia środowiskowa*. Wydaw. UWM, Olsztyn.

ce of fecal indicators in bacteriological analysis: *Escherichia coli* (MPN, index), *Streptococcus faecalis* (MPN, index), *Clostridium perfringens* (general amount of CFU). There was indicated also amount of mesophiles and psychrophiles bacteria (general amount of CFU). The chemical analysis included basic indicators of water pollution (BOD₅ with the addition of a nitrification inhibitor, TOC, TN). Results shows that sanitary pollution of water is quite high and organic pollution is very high. This pollution probably is as a result of human activity (sewage). Investigated reservoirs contain water, which is danger for human health. Those reservoirs cannot be used as a swimming pool and are only element of the landscape which can increase it's complexity.

Authors' address:

Magdalena Frań, Anna Nestorowicz
 Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
 Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
 ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa
 Poland
 e-mail: magdalena_frank@sggw.pl
 anna_nestorowicz@sggw.pl

Summary

Sanitary assesment of selected water reservoir's in Warsaw parks. The research of the sanitary state in three waters' reservoirs situated within the area of three municipal park of Warsaw: Glinianki Szczęśliwickie, Glinianki Moczydłowskie and Jeziorko Kamionkowskie. The selected sanitary parameters of water quality in Reservoirs (bacteriological and chemical) were analyzed in May and July 2007. There was described existen-