

TERESA SZUMILAS, MAŁGORZATA MICHALSKA, MARIA BARTOSZEWICZ

CHARAKTERYSTYKA BAKTERYJNEGO ZANIECZYSZCZENIA ŚCIEKÓW
KOMUNALNYCH Z DUŻEJ AGLOMERACJI MIEJSKIEJ I OCENA
STOPNIA REDUKCJI TEGO ZANIECZYSZCZENIA W PROCESIE
BIOLOGICZNEGO OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW

CHARACTER OF THE BIG-TOWN MUNICIPAL WASTEWATER BACTERIAL
CONTAMINATION AND ASSESSMENT OF ITS ELIMINATION DEGREE AS A
RESULT OF BIOLOGICAL TREATMENT PROCESS

Zakład Ochrony Środowiska i Higieny Transportu
Instytut Medycyny Morskiej i Tropikalnej
81–519 Gdynia, ul. Powstania Styczniowego 9B
Dyrektor: dr n. med. *W. Renke*

Przeprowadzono bakteriologiczne badania ścieków komunalnych z Gdańska i Gdyni przed i po ich biologicznym oczyszczeniu. Określono poziom zanieczyszczenia bakteryjnego (w odniesieniu do bakterii coli i coli typu kałowego, paciorkowców kałowych, gronkowców i pałeczek Salmonella) ścieków surowych i oczyszczonych oraz stopień redukcji zanieczyszczeń uzyskany w procesie oczyszczania ścieków.

WSTĘP

Utrzymująca się w ostatnich latach praktyka budowy licznych, nowych oczyszczalni ścieków, a także rozbudowy i modernizacji istniejących jest dowodem zrozumienia konieczności ochrony środowiska i przejawem troski o nie. Nie można jednak pominąć faktu, że niekwestionowanym korzyściom jakie dają oczyszczalnie ścieków towarzyszą pewne utrudnienia, wśród których najważniejsze to: problem zagospodarowania osadów ściekowych [2] i problem odprowadzania oczyszczonych ścieków do odbiornika. Ten ostatni problem nabiera szczególnej wagi gdy odbiornikiem są wody powierzchniowe wykorzystywane do rekreacji. W takim wypadku sprawą pierwszoplanową staje się wyprowadzenie kolektora ściekowego [3] na odległość większą niż zasięg oddziaływania odpływających ścieków albo uzyskanie takiego stopnia czystości odpływu z oczyszczalni przy którym już nie będzie on niekorzystnie oddziaływał na odbiornik [4, 9, 10].

Dla określenia sposobu ochrony odbiornika nieodzowna jest znajomość poziomu zanieczyszczenia odpływu z oczyszczalni. W tym miejscu pojawiają się trudności wynikające z braku spójności przepisów. Jeśli bowiem podstawowym kryterium oceny przydatności wody do rekreacji jest stopień zanieczyszczenia bakteryjnego, określony odpowiednimi aktami prawnymi [15–17] to w odniesieniu do ścieków oczyszczonych odprowadzanych do środowiska brak jest uwarunkowań prawnych dotyczących czystości mikrobiologicznej. Podstawowym celem oczyszczania ścieków jest usuwanie z nich

zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych co znajduje odzwierciedlenie w przepisach regulujących wielkość wybranych wskaźników zanieczyszczenia ścieków odprowadzanych do wód lub do ziemi [16]. Wśród podstawowych wskaźników określających jakość oczyszczonych ścieków takich jak BZT₅, ChZT, zawiesina ogólna, ogólny azot i fosfor nie ma ani jednego wskaźnika zanieczyszczenia mikrobiologicznego. Wprawdzie w trakcie procesów oczyszczania znaczna liczba mikroorganizmów, zarówno wskaźnikowych jak i chorobotwórczych, jest eliminowana [11], ale niewiele jest danych o stopniu zanieczyszczenia bakteryjnego ścieków oczyszczonych, a jeszcze mniej o zanieczyszczeniu ścieków surowych. Badacze z reguły ograniczają się do podania stopnia redukcji [1, 13], który zależy od metody oczyszczania i warunków prowadzenia procesu, ale także jest różny dla różnych bakterii. W odniesieniu do wskaźnikowych bakterii *coli* typu kałowego i paciorkowców kałowych przy zastosowaniu metody osadu czynnego stopień redukcji jest bardzo wysoki i najczęściej przekracza 99%. Wobec wysokiej liczby mikroorganizmów skuteczność tego rzędu jest często niewystarczająca, co ma znaczenie szczególnie wtedy, gdy odpływy są odprowadzane do wód wykorzystywanych do rekreacji. Należy także pamiętać, że liczba bakterii wskaźnikowych tylko pośrednio informuje o poziomie zanieczyszczenia ścieków, nie można zatem wykluczyć obecności w nich bakterii chorobotwórczych czy innych bakterii patogennych dla ludzi [13]. Praca stanowi próbę uzupełnienia i uaktualnienia danych o poziomie zanieczyszczenia surowych ścieków komunalnych z dużej aglomeracji miejskiej, a podstawowym jej celem jest określenie możliwości redukcji zanieczyszczeń bakteryjnych w procesie oczyszczania biologicznego w nowoczesnych oczyszczalniach ścieków.

Do badań wybrano dwie największe oczyszczalnie ścieków zlokalizowane nad Zatoką Gdańską, odbierające ścieki z aglomeracji trójmiejskiej i sąsiadujących z nią gmin i odprowadzające je po oczyszczeniu bezpośrednio do wód morskich (oczyszczalnia Dębogórze) lub pośrednio przez Wisłę Przekop i z jej wodami do morza (oczyszczalnia Gdańsk Wschód).

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły próby ścieków z dwóch mechaniczno-biologicznych oczyszczalni ścieków: Oczyszczalni ścieków Gdańsk – Wschód i Grupowej Oczyszczalni Ścieków „Dębogórze”.

Oczyszczalnia Gdańsk – Wschód przyjmuje ścieki komunalne z miasta Gdańsk oraz sąsiadujących gmin: Pruszcz Gdański, Żukowo, Kolbudy i Sopot. Aktualnie dopływa do niej ok. 100 tys. m³/dobę, a przepustowość wynosi 180 tys. m³/dobę. Wybudowana została w 1976 r. i do 1992 r. pracowała jako oczyszczalnia mechaniczna, a w latach 1992–1998 jako mechaniczno-chemiczna. W roku 1996 rozpoczęto modernizację i rozbudowę oczyszczalni, tak, że w czerwcu 1998 uruchomiono 2 segmenty oczyszczania biologicznego. Prace budowlane zakończono w połowie roku 1999 i do października 1999 zakończono przekazywanie oczyszczalni do eksploatacji. Inwestycja spełnia wytyczne programów ochrony środowiska – Konwencji o Ochronie Morza Bałtyckiego HELCOM oraz lokalnego Programu Ochrony Ekologicznej Wyspy Sobieszewskiej. Oczyszczone ścieki są odprowadzane kanałem o długości 17 km do Zatoki Gdańskiej poprzez przyujściowy odcinek Wisły – Przekop w rejonie Świbna [8, 12].

Grupowa Oczyszczalnia Ścieków „Dębogórze” położona jest w miejscowości Dębogórze w odległości 12 km od Gdyni. Przyjmuje ścieki z terenu Gdyni, Redy, Rumii i Wejherowa. Liczba mieszkańców na obszarze zlewni oczyszczalni wynosi 350 tys. osób, a uwzględniając przemysł w przeliczeniu na równoważną liczbę mieszkańców jest to ponad 500 tys. osób. Przepustowość oczyszczalni wynosi 135 tys. m³/dobę. Wybudowana w roku 1965 do roku 1994 pracowała jako

oczyszczalnia mechaniczna. W wyniku rozbudowy i modernizacji prowadzonej w dwóch etapach 1984–1994 i 1995–1997 powstał nowoczesny obiekt o wysokiej efektywności oczyszczania ścieków. Oczyszczone ścieki odprowadzane są kanałem o długości 9,4 km do wód Zatoki Puckiej w miejscowości Mechelinki.

Obie oczyszczalnie zapewniają jakość ścieków oczyszczonych spełniającą aktualne przepisy Unii Europejskiej – Dyrektywa Rady Wspólnoty Europejskiej nr 91/271/EEC, tzn. zapewniają 95% redukcji związków organicznych i 70% do 80% redukcji związków biogenych.

W obu oczyszczalniach pobierano próby na trzech stanowiskach badawczych:

stanowisko 1 – kanał dopływowy do oczyszczalni – ścieki surowe

stanowisko 2 – kanał odpływowy z oczyszczalni – ścieki oczyszczone

stanowisko 3 – wylot ścieków do odbiornika – ścieki oczyszczone odprowadzane do środowiska.

Próby pobierano (z uwzględnieniem czasu przepływu ścieków) w okresie od kwietnia do czerwca 1999 roku i w maju 2000 r. Łącznie wykonano po 10 serii badań w każdej oczyszczalni, pobierając łącznie 60 prób ścieków.

W pobranych próbach oznaczano:

- zawiesinę ogólną metodą filtracji przez sączek o średnicy porów $0,6 \mu\text{m}$ i ważenia wysuszonego osadu,
- Najbardziej Prawdopodobną Liczbę (NPL) bakterii *coli* typu kałowego metodą fermentacyjną probówką z zastosowaniem podłoża *Eijkamana* i podłoża z zielenią brylantową,
- Indeks paciorkowców kałowych metodą filtracji przez filtry o średnicy $0,45 \mu\text{m}$ z zastosowaniem podłoża *Slanetz-Bartley'a*,
- obecność chorobotwórczych bakterii *Salmonella* metodą wstępnego namnażania na podłożu SF a następnie stosując podłoże *Wilson-Blair'a* i podłoże *Salmonella-Shigella* Agar. Identyfikację prowadzono w oparciu o testy biochemiczne i serologiczne,
- obecność gronkowców koagulazododatnich metodą filtracji przez filtry o średnicy $0,45 \mu\text{m}$ z zastosowaniem podłoża *Chapmana*.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Jako podstawowy wskaźnik zanieczyszczenia bakteryjnego powszechnie przyjęty w badaniach sanitarnych dla oceny stopnia skażenia zanieczyszczeniami pochodzenia fekalnego – określano liczbę bakterii *coli* i bakterii *coli* typu kałowego. Oznaczano także Indeks paciorkowców kałowych, który to wskaźnik zalecany jest przez wielu badaczy ze względu na dłuższą przeżywalność tych bakterii w wodzie [7]. Dodatkowym argumentem przemawiającym za uwzględnieniem Indeksu paciorkowców kałowych jest fakt, że oznaczanie tego wskaźnika w wodach powierzchniowych wykorzystywanych do kąpieli jest obowiązkowe w krajach Unii Europejskiej [5]. W przypadku obu oczyszczalni odprowadzających ścieki do wód morskich w pobliżu uczęszczanych kąpielisk znajomość wielkości tego parametru nabiera istotnego znaczenia. Wyniki oznaczania NPL bakterii grupy *coli* (Tabela I) wskazują na:

- szczególnie wysoki poziom zanieczyszczenia ścieków surowych przy równocześnie szerokim zakresie zmian tego zanieczyszczenia odpowiadającym kilkunastu rzędom wielkości. Zakres ten wynosił od $2,1 \times 10^{12}$ do $2,4 \times 10^{26}$ dla oczyszczalni Gdańsk Wschód i od $2,3 \times 10^{15}$ do $2,4 \times 10^{26}$ dla oczyszczalni Dębogórze,
- wyraźnie niższy poziom zanieczyszczenia ścieków oczyszczonych, świadczący o bardzo wysokim stopniu redukcji zanieczyszczeń bakteryjnych w wyniku biologicznego oczyszczania ścieków,

- bardzo zbliżony poziom zanieczyszczenia bakteryjnego ścieków oczyszczonych na odpływie z oczyszczalni i na wypływie z kolektora (w każdym wypadku jest to ten sam rząd wielkości),
- bardzo wyraźny wpływ intensywnych opadów [14] na poziom zanieczyszczenia ścieków surowych spowodowany wpływem silnie zanieczyszczonych wód ściekowych z kanalizacji deszczowej (próby 4 i 9 z oczyszczalni Wschód oraz próby 1, 2, 5 i 10 z oczyszczalni Dębogórze).

W celu określenia przeciętnego poziomu zanieczyszczenia i obliczenia średniego stopnia redukcji zanieczyszczeń zastosowano logarytmowanie uzyskanych wyników, ponieważ jego zasada nawiązuje do założeń metodyki polegającej na stosowaniu kolejnych dziesiętnych rozcieńczeń. W wyniku logarytmowania poszczególnych wartości NPL *coli* i NPL *coli* typu kałowego i obliczenia wartości średniej otrzymano średni logarytm NPL bakterii *coli* i *coli* typu kałowego, którego cecha określa średni rząd wielkości zanieczyszczenia bakteryjnego. Znajdując z kolei odpowiadającą średniemu logarytmowi wartość NPL *coli* w sposób pośredni uzyskano liczbę możliwie dokładnie określającą przeciętny poziom bakteryjnego zanieczyszczenia badanego ścieku. Wyniki przeprowadzonych tym sposobem obliczeń (Tabela I – wartości średnie oraz ryc. 1) wskazują że:

- przeciętny poziom zanieczyszczenia bakteryjnego ścieków surowych wynosi w odniesieniu do bakterii *coli* typu kałowego $9,3 \times 10^{18}$ w 100 cm^3 w oczyszczalni Gdańsk Wschód i $1,8 \times 10^{20}$ w 100 cm^3 w oczyszczalni Gdynia Dębogórze, a w odniesieniu do paciorkowców kałowych odpowiednio $5,6 \times 10^5$ i $1,8 \times 10^6$.
- przeciętny poziom zanieczyszczenia ścieków oczyszczonych wynosi w odniesieniu do bakterii *coli* typu kałowego $3,7 \times 10^7$ w 100 cm^3 (Wschód) i $2,8 \times 10^8$ w 100 cm^3 (Dębogórze), a w odniesieniu do paciorkowców kałowych odpowiednio $2,3 \times 10^4$ i $2,2 \times 10^4$,
- przeciętny poziom zanieczyszczenia bakteryjnego ścieków oczyszczonych na wypływie z kolektora ścieków jest zbliżony do poziomu zanieczyszczenia ścieków do niego wpływających. Różnica w stopniu zanieczyszczenia ścieków wpływających do kolektora i wpływających z niego jest bardzo mała i mieści się w granicach tego samego rzędu wielkości. W tej sytuacji trudno jest mówić o wpływie kolektora na stan bakteriologiczny przepływających przez niego ścieków,
- stopień redukcji zanieczyszczeń bakteryjnych ścieków w procesie ich biologicznego oczyszczania jest bardzo wysoki i w stosunku do bakterii *coli* wynosi średnio 11 do 12 rzędów wielkości co odpowiada ponad 99,999%, w stosunku do paciorkowców kałowych stopień redukcji choć wyraźnie niższy, też jest wysoki i przeciętnie przekracza 95% (szczegółowe dane w Tabeli II).

Dla pełniejszej oceny stopnia bakteryjnego zanieczyszczenia ścieków wykonano badania w kierunku wykrycia pałeczek *Salmonella* i gronkowców koagulazo (+). Bakterie z grupy *Salmonella* wykryto w ściekach surowych pięć razy (cztery razy w ściekach z oczyszczalni Gdańsk Wschód i raz z Dębogórze) nie stwierdzając ich obecności w ściekach oczyszczonych co stanowi potwierdzenie wysokiej skuteczności oczyszczania ścieków. Badania na obecność gronkowców koagulazo(+) dowodzą wysokiej ich koncentracji w ściekach surowych (od ok. $2,5 \times 10^5$ do $6,7 \times 10^5$ w 100 cm^3) i wysokiego, choć wyraźnie niższego niż to miało miejsce w odniesieniu do bakterii *coli*, stopnia

Tabela I.

Ryc. 1. Porównanie poziomu zanieczyszczenia ścieków bakteriami *coli* typu kałowego przed i po procesie oczyszczania
Comparison of sewage contamination level with faecal coliform bacteria before and after the process of sewage treatment

redukcji tych bakterii w procesie oczyszczania ścieków mieszczącego się w granicach od 86% do 92%. Potwierdzeniem wysokiej sprawności obu oczyszczalni są wyniki oznaczania zawiesiny ogólnej.

Wyniki oznaczania zawiesiny ogólnej wskazują na niezbyt wysokie przeciętne obciążenia ścieków surowych (204 mg/dm³ dla oczyszczalni Wschód i 295 mg/dm³ dla oczyszczalni Dębogórze) przy znacznym jego zróżnicowaniu i wysoki przeciętny stopień redukcji wynoszący odpowiednio 93,4% i 95,4%. W wyniku tego średnia zawartość zawiesiny w ściekach oczyszczonych jest niska i wynosi 13,2 mg/dm³ i 11,2 mg/dm³, a jej poziom jest na ogół wyrównany. Wyniki oznaczania zawiesiny w ściekach wypływających z kolektora nie różnią się w sposób istotny od wyników uzyskanych dla ścieków opuszczających oczyszczalnię. Z reguły (7 wypadków na 10 w obu oczyszczal-

Ryc. 2. Porównanie stopnia redukcji zawiesiny ogólnej w ściekach w procesie ich oczyszczenia
Comparison of the suspended solids reduction degree as the result of sewage treatment
process

Tabela II. Porównanie stopnia redukcji zanieczyszczenia ścieków w wyniku ich biologicznego oczyszczania w omawianych oczyszczalniach
Comparison of the reduction degree of sewage contamination as the result of the biological treatment process

Stopień redukcji	Oczyszczalnia Gdańsk	Oczyszczalnia Dębogórze
Wskaźnik	Wschód	
NPL <i>coli</i> w 100 cm ³	> 99,999% stopień redukcji mieści się w zakresie od 6 do 20 rzędów wielkości i odpowiada średnio 12-tu rzędom wielkości	> 99,999% stopień redukcji mieści się w zakresie od 10 do 15 rzędów wielkości i odpowiada średnio 13-tu rzędom wielkości
NPL <i>coli</i> typu kałowego w 100 cm ³	> 99,999% stopień redukcji mieści się w zakresie od 6 do 18 rzędów wielkości i odpowiada średnio 11-tu rzędom wielkości	> 99,999% stopień redukcji mieści się w zakresie od 10 do 15 rzędów wielkości i odpowiada średnio 12-tu rzędom wielkości
Indeks paciorkowców leśnych	Średnio 95,9% stopień redukcji mieści się w zakresie od 92,1% do 99%	średnio 98,75% stopień redukcji mieści się w zakresie od 78% do 99,9%
Zawiesina ogólna w mg/dm ³	Średnio 93,4% stopień redukcji mieści się w zakresie od 88,6% do 96,6%	średnio 95,4% stopień redukcji mieści się w zakresie od 89,0% do 98,5%

niach) są one nieznacznie niższe co może wskazywać na osadzanie się w kolektorze od kilku do kilkunastu procent zawiesiny.

WNIOSKI

1. Wyniki bakteriologicznego badania surowych ścieków komunalnych wskazują na niezwykle wysoki stopień bakteryjnego zanieczyszczenia tych ścieków odpowiadający wartościom NLP bakterii *coli* typu kałowego na poziomie od 10¹⁸ do 10²⁰ w 100 cm³ i wartościom indeksu paciorkowców kałowych na poziomie od 10⁶ do 10⁷ w 100 cm³. Istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia w tych ściekach bakterii chorobotwórczych: w odniesieniu do bakterii z rodzaju *Salmonella* może ono sięgać 25%.

2. Nowoczesne oczyszczalnie ścieków są w stanie zredukować na drodze oczyszczania biologicznego więcej niż 99,999% bakterii z grupy *coli*, od 92% do 99,9% paciorkowców kałowych i od 86% do 92% gronkowców koagulazo (+).

3. W oparciu o wyniki przeprowadzonych badań ustalono, że przeciętny stopień bakteryjnego zanieczyszczenia ścieków oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika w odniesieniu do bakterii *coli* typu kałowego kształtuje się na poziomie 10⁷ do 10⁸ w 100 cm³ a w odniesieniu do paciorkowców kałowych na poziomie 10⁴ w 100 cm³. W ściekach oczyszczonych nie stwierdzono obecności bakterii z grupy *Salmonella* i koagulazo (+) gronkowców.

4. Wnioskuje się aby:

- dane przytoczone w punkcie 1 uwzględniać przy ocenianiu oddziaływania na środowisko surowych ścieków komunalnych odprowadzanych awaryjnie do tego środowiska,
- dane przytoczone w punkcie 3 uwzględniać przy ocenianiu oddziaływania ścieków oczyszczonych na odbiornik do którego są one odprowadzane.

T. Szumilas, M. Michalska, M. Bartoszewicz

CHARACTER OF THE BIG-TOWN MUNICIPAL WASTEWATER BACTERIAL CONTAMINATION AND ASSESSMENT OF ITS ELIMINATION DEGREE AS A RESULT OF BIOLOGICAL TREATMENT PROCESS

Summary

The highest possible effectiveness of sewage treatment is of particular significance when the sewage is discharged into surface waters used for recreational purposes. The Gulf of Gdańsk, with its much frequented beaches along the shore, is the disposal reservoir for the wastewater from two large biological treatment plants collecting the sewage from Gdańsk and Gdynia.

The purpose of this work was to perform bacteriological examination of the communal sewage from these two large agglomerations before and after their biological treatment. On that basis the degree of reduction of bacteriological contamination of sewage as a result of biological treatment was determined. The examination included determining of coliform and faecal coliform bacteria MPN (Most Probably Number), faecal *streptococci* index as well as *Salmonella* sp. and coagulase positive *staphylococci*.

An extremely high level of bacterial contamination of raw sewage was found amounting from $9,3 \times 10^{18}$ (Gdańsk) to $1,8 \times 10^{20}$ (Gdynia) faecal coliform bacteria in 100 cm^3 of sewage and respectively from $5,6 \cdot 10^5$ to $1,8 \cdot 10^6$ faecal streptococci in 100 cm^3 of sewage on average. It was also observed that the effectiveness of the sewage treatment plants is so high that it assures the level of reduction of bacterial contamination within the limits of 92% for *staphylococci* and *streptococci* to 99,999% for coliform bacteria. It was also pointed out that despite a very effective work of sewage treatment stations the level of contamination of treated sewage discharged into the surface waters is often high. Hence the necessity of verification of data concerning level of sewage contamination which are usually assumed in the project documentation.

PIŚMIENNICTWO

1. Berancha J., Banaś J., Pawłowska K.: Ocena wybranych oczyszczalni ścieków badanych w latach 1986–90. IOŚ 1996, Warszawa.
2. Bożek U., Umiński R. i wsp.: Aspekty toksykologiczne rolniczego wykorzystania osadów ściekowych i odpadów. Wydawnictwo PZiTS 1993, Poznań.
3. Dam G.C.: The Hague outfall. Discharge of sewage from sea outfalls. 1975, Suppl. Prog. In Water Technology.
4. Dustet Leskiewicz X.: Zasięg stref zanieczyszczonych w wodach powierzchniowych Zatoki Gdańskiej na przykładzie bakterii Grupy *Coli*. Praca magisterska, Inst. Oceanogr. UG, 1993, (maszynopis).
5. Dyrektywa Rady 76/160 EWG z dnia 8 grudnia 1975 r. dotycząca jakości wody w kąpieliskach (ze zmianami).
6. Konwencja w sprawie ochrony środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego, Helsinki 1974 rok, , Wydaw. Instytutu Morskiego, Gdańsk – Szczecin, 1977.
7. Maleszewska J., Ziemińska S., Haman S., Miłkowska-Jankowska D.: Paciorkowce kałowe jako wskaźnik kałowego zanieczyszczenia wody. Roczn. PZH 1980, 31, 5.

8. *Matciak M., Nowacki J.*: The Vistula river discharge front – surface observations. *Oceanologia*, 1995, 37(1).
9. *Nowacki J., Kruk-Dowgiałło L., Michalska M.*: Ocena oddziaływania oczyszczalni Gdańsk Wschód na ekosystem Zatoki Gdańskiej. Konferencja Naukowo-Techniczne „Oczyszczalnia ścieków „Wschód” w Gdańsku największą inwestycją ochrony Bałtyku u progu XXI wieku”, Politechnika Gdańska, 2000.
10. *Nowacki J., Łysiak Pastuszek E., Michalska M. i wsp.*: Ocena oddziaływania zrzutu oczyszczonych wód ściekowych kolektorem podwodnym z oczyszczalni Gdańsk Wschód na środowisko Zatoki Gdańskiej. IMMiT Gdynia (maszynopis), 1999.
11. *Nieuwstad T.J., Mulder E.P., Havelaar A.H., Olphen M.V.*: Elimination of microorganisms from wastewater by tertiary precipitation and simultaneous precipitation followed by filtration. *Water Res.* 1988, 22, 11.
12. *Obarska-Pempkowiak H.*: Ładunek zanieczyszczeń odprowadzanych za pośrednictwem cieków wodnych oraz ścieków z terenu Gminy Gdańsk w 1998 roku, Wydz. Ochr. Środ. i Rol. Urząd Miejski w Gdańsku (maszynopis), Gdańsk 1999.
13. *Olańczuk-Neyman K., Stosik-Fleszar H., Mikołajski S.*: Jakość mikrobiologiczna odpływów z oczyszczalni ścieków „Gdańsk-Wschód”. Konferencja Naukowo-Techniczna „Oczyszczalnia ścieków „Wschód” w Gdańsku największą inwestycją ochrony Bałtyku u progu XXI wieku”, Politechnika Gdańska, 2000.
14. Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. Wydawnictwo PZiTS, Poznań, 1995.
15. Prawo Wodne z dnia 24 października 1974 (Dz. U. z 1974 r. nr 38, poz. 230) z późniejszymi zmianami.
16. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (Dz. U. z 1991 r. nr 116, poz. 503).
17. Wytyczne kontroli i oceny przydatności wód morskich do kąpiei. Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej, 25 kwiecień 1996.

Otrzymano: 2000.09.11