

ROLA OCZYSZCZALNI HYDROBOTANICZNYCH W OCZYSZCZANIU ŚCIEKÓW Z TERENÓW WIEJSKICH

**Elżbieta LALKE-PORCZYK, Maria SWIONTEK BRZEZINSKA,
Wojciech DONDESKI**

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Zakład Mikrobiologii Środowiskowej i Biotechnologii

Słowa kluczowe: bakterie wskaźnikowe, oczyszczalnie hydrobotaniczne, oczyszczanie ścieków, stan sanitarny ścieków

Streszczenie

Celem badań była ocena skuteczności oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w małej przydomowej oczyszczalni wierzbowej oraz doczyszczania ścieków w gminnej, mechaniczno-biologicznej oczyszczalni z filtrem piaskowo-trzcinowym.

Próbki ścieków do badań pobierano w okresie od maja do grudnia 2007 r. Liczebność bakterii heterotroficznych zdolnych do wzrostu w temperaturze 22°C (jtk 22°C) i 37°C (jtk 37°C) oznaczano metodą płytek lanych zgodnie z normą PN-ISO 6222. Liczebność bakterii z grupy coli (TC) oraz bakterii termotolerancyjnych (fekalnych) z grupy coli (FC) oznaczano metodą fermentacyjną probówkową zgodnie z PN-75/C-04615/05 i PN-77/C-04615/07. Liczebność paciorkowców kałowych (FS) badano metodą filtrów membranowych zgodnie z PN-82/C-04615/25 na podłożu Slanetza-Bertleya.

Wykazano znaczne zmniejszenie liczebności większości badanych grup bakterii w trakcie oczyszczania ścieków metodą hydrobotaniczną. W najmniejszym stopniu zmniejszyła się liczebność paciorkowców kałowych.

WSTĘP

Do niekonwencjonalnych sposobów oczyszczania ścieków, których popularność w Polsce w ostatnich latach bardzo się zwiększyła, można zaliczyć m.in.

oczyszczalnie hydrobotaniczne, zwane też oczyszczalniami roślinnymi, filtrami gruntowo-korzeniowymi czy filtrami gruntowymi [OBARSKA-PEMPKOWIAK, 2002]. Mają one wiele zalet i mogą być stosowane do oczyszczania ścieków pochodzących z pojedynczych gospodarstw, małych wsi, osiedli czy ośrodków agroturystycznych. Działanie tych systemów jest wzorowane na naturalnych ekosystemach podmokłych, tzw. wetlandach [BRIX, 1994]. Systemy te, podobnie jak występujące w przyrodzie siedliska roślin bagiennych, mają zdolność do rozkładu i zatrzymywania zanieczyszczeń [OBARSKA-PEMPKOWIAK, 2002]. Rośliną często wykorzystywaną w tego typu obiektach jest, spośród makrofitów, trzcina pospolita (*Phragmites australis* [Cav.] Trin. ex Steudel), która charakteryzuje się znaczną odpornością na zmienne warunki klimatyczne i zanieczyszczenia. Dużą popularnością cieszy się też wierzba wiciowa (*Salix viminalis* L.), zwana „wierzba energetyczną”, która oprócz dużej odporności, zdolności do kumulacji metali ciężkich i różnych związków toksycznych, daje duże przyrosty drewna o znacznej kaloryczności.

Celem badań była ocena skuteczności oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w małej przydomowej oczyszczalni gruntowo-wierzbowej oraz doczyszczania ścieków w gminnej, mechaniczno-biologicznej oczyszczalni z filtrem piaskowo-trzciniowym.

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

OBIEKTY BADAŃ

Filtr gruntowo-wierzbowy służy do oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych, pochodzących z domu jednorodzinnego. Ścieki są poddawane wstępnemu oczyszczaniu w osadniku gnilnym typu Sanitech, a następnie rozprowadzane podpowierzchniowo na poletko obsadzone wierzba wiciową. Obiekt jest zlokalizowany w miejscowości Górsk, w odległości ok. 20 km od Torunia.

Filtr (o wymiarach 15 m długości, 4 m szerokości i 1 m głębokości) jest odizolowany od gruntu folią zabezpieczającą grubości 0,12 cm. Wypełnienie złoża stanowi żwir, na który naniesiono warstwę gleby macierzystej. Wiosną 2003 r. posadzono sadzonki wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.) w zagęszczeniu ok. 10 szt. na m² i rozpoczęto eksploatację obiektu.

Filtr piaskowo-trzciniowy służy do doczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w gminnej, mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Wielkiej Nieszawce. Filtr ten stanowi ostatni etap procesu oczyszczania ścieków, przepływających przez ciąg, pracujący w technologii niskoobciążonego osadu czynnego, z wydzieloną komorą denitryfikacji. Złoże (o wymiarach 25 m długości, 4,2 m szerokości i 1,5 m głębokości) jest wykonane z żelbetowych słupków, wyłożonych nieprzepuszczalną folią grubości 0,5 mm. Warstwę filtracyjną stanowi piasek

o granulacji $d = 0,8-2,0$ mm, usypany do wysokości 0,67 m i obsadzony trzcina pospolitą (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel). Proces doczyszczania ścieków w filtrze piaskowo-trzciniowym odbywa się podczas przepływu pionowego w podłożu, które stanowi piaskowa warstwa filtracyjna oraz kłącza trzciny.

POBIERANIE PRÓBEK I BADANIA MIKROBIOLOGICZNE

Próbki ścieków do badań mikrobiologicznych pobierano co miesiąc od maja do grudnia 2007 r., w dwóch punktach wyznaczonych na obszarze filtrów – w miejscu dopływu ścieków (stanowisko I) i w miejscu odpływu (stanowisko II). Ścieki pobierano do sterylnych słoików szklanych i transportowano do laboratorium w pojemnikach z lodem, wewnątrz których temperatura nie przekraczała $+7^{\circ}\text{C}$. Czas od momentu pobrania próbek do rozpoczęcia analiz nie przekraczał 1 godziny.

Liczebność bakterii heterotroficznych zdolnych do wzrostu w temperaturze 22° i 37°C oznaczano metodą płytek lanych w pięciu równoległych powtórzeniach, zgodnie z Polską Normą [PN-EN ISO 6222]. Liczebność bakterii z grupy coli (TC) oraz bakterii termotolerancyjnych (fekalnych) z grupy coli (FC) oznaczano metodą fermentacyjną probówkową zgodnie z Polską Normą [PN-75/C-04615/05, PN-77/C-04615/07]. Liczebność paciorkowców kałowych (FS) badano metodą filtrów membranowych w pięciu równoległych powtórzeniach, zgodnie z Polską Normą [PN-82/C-04615/25] na podłożu Słanetza-Bertleya. Liczebność bakterii heterotroficznych wyrażano jako jednostki tworzące kolonie na cm^3 ($\text{jtk}\cdot\text{cm}^{-3}$). Liczebność bakterii grupy coli i grupy coli typu fekalnego przedstawiono jako najbardziej prawdopodobną liczbę w 100 cm^3 ($\text{NPL}\cdot(100\text{ cm}^3)^{-1}$). Liczebność paciorkowców kałowych wyrażono jako jednostki tworzące kolonie w 100 cm^3 ($\text{jtk}\cdot(100\text{ cm}^3)^{-1}$).

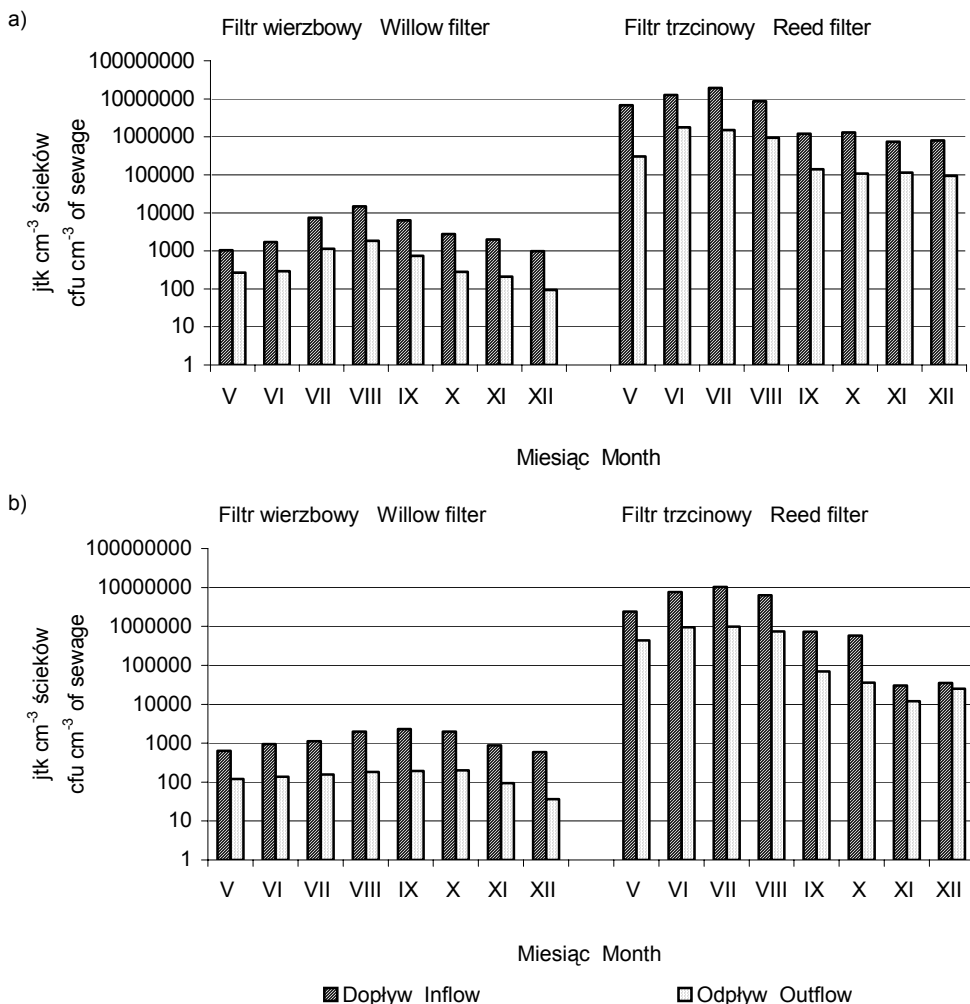
WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

W niniejszej pracy podjęto próbę oceny skuteczności usuwania zanieczyszczeń mikrobiologicznych w hydrobotanicznych systemach, służących do oczyszczania i doczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych. Ocenę tę przeprowadzono na podstawie powszechnie stosowanych wskaźników mikrobiologicznych, które pośrednio mogą wskazywać na możliwość wystąpienia drobnoustrojów patogennych.

Analizowana oczyszczalnia hydrobotaniczna w Górsku służy do oczyszczania ścieków z jednego gospodarstwa. Składa się z osadnika gnilnego oraz filtra gruntowo-wierzbowego. Z kolei filtr piaskowo-trzciniowy jest integralną całością dużej mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Wielkiej Nieszawce, w której ścieki przed opuszczeniem oczyszczalni są poddawane doczyszczaniu.

Uzyskane dane wskazują, że ścieki dopływające do filtra gruntowo-wierzbowego niosą ze sobą znaczne ilości bakterii heterotroficznych. Liczba bakterii wy-

kazujących zdolność do wzrostu w temperaturze 22°C wynosiła w badanym okresie od $9,76 \cdot 10^2$ do $1,49 \cdot 10^4$ jtk·cm⁻³ ścieków (rys. 1a). Jeszcze większą liczebność bakterii zdolnych do wzrostu w temperaturze 22°C odnotowano w ściekach dopływających do filtra piaskowo-trzcinowego (od $7,37 \cdot 10^5$ do $1,94 \cdot 10^7$ jtk·cm⁻³). Liczebność omawianych bakterii w trakcie procesu oczyszczania ścieków metodą hydrobotaniczną malała średnio w badanym okresie o 85,86% w oczyszczalni wierzbowej i o 89,45% w oczyszczalni trzcinowej (tab. 1).



Rys. 1. Liczebność bakterii heterotroficznych zdolnych do wzrostu w temperaturze 22°C (a) i 37°C (b) (skala logarytmiczna)

Fig. 1. The number of heterotrophic bacteria growing at 22°C (a) and 37°C (b) (logarithm scale)

Tabela 1. Zmniejszenie liczebności badanych grup bakterii (%) w trakcie oczyszczania ścieków w filtrze wierzbowym i filtrze trzcinowym**Table 1.** Reduction in number of examined bacteria (%) during the sewage treatment process in the willow filter and in the reed filter

Grupa bakterii Group of bacteria	Data poboru próbek Date of sampling								średnio mean
	15.05.	13.06.	11.07.	12.08.	13.09.	12.10.	13.11.	11.12.	
Filtr wierzbowy Willow filter									
jtk 22°C cfu 22°C	74,25	82,70	84,81	87,57	88,27	89,73	89,35	90,32	85,86
jtk 37°C cfu 37°C	81,12	85,27	86,05	90,76	91,54	89,95	89,19	93,77	88,46
Coli Coliform	99,46	99,14	99,27	91,82	90,00	92,31	91,25	92,86	94,51
Coli typu kałowego Faecal coliform	93,91	92,00	97,81	87,78	85,33	91,55	91,67	96,50	92,07
Paciorkowce kałowe Faecal streptococci	82,20	88,67	79,82	68,16	86,89	90,53	88,38	92,52	84,65
Filtr trzcinowy Reed filter									
jtk 22°C cfu 22°C	95,50	85,99	92,20	89,01	88,29	91,79	84,40	88,45	89,45
jtk 37°C cfu 37°C	81,93	87,58	90,57	88,24	90,66	93,80	96,05	92,92	90,22
Coli Coliform	96,51	97,18	95,71	95,33	92,50	93,64	93,75	93,02	94,71
Coli typu kałowego Faecal coliform	96,07	97,69	95,73	94,29	90,00	92,50	96,67	96,67	94,95
Paciorkowce kałowe Faecal streptococci	92,89	93,59	82,23	89,48	89,27	78,77	88,36	83,51	87,26

Objaśnienia: jtk 22°C – bakterie heterotroficzne zdolne do wzrostu w temperaturze 22°C, jtk 37°C – bakterie heterotroficzne zdolne do wzrostu w temperaturze 37°C.

Explanations: cfu 22°C – heterotrophic bacteria capable of growing at a temperature of 22°C, cfu 37°C – heterotrophic bacteria capable of growing at a temperature of 37°C.

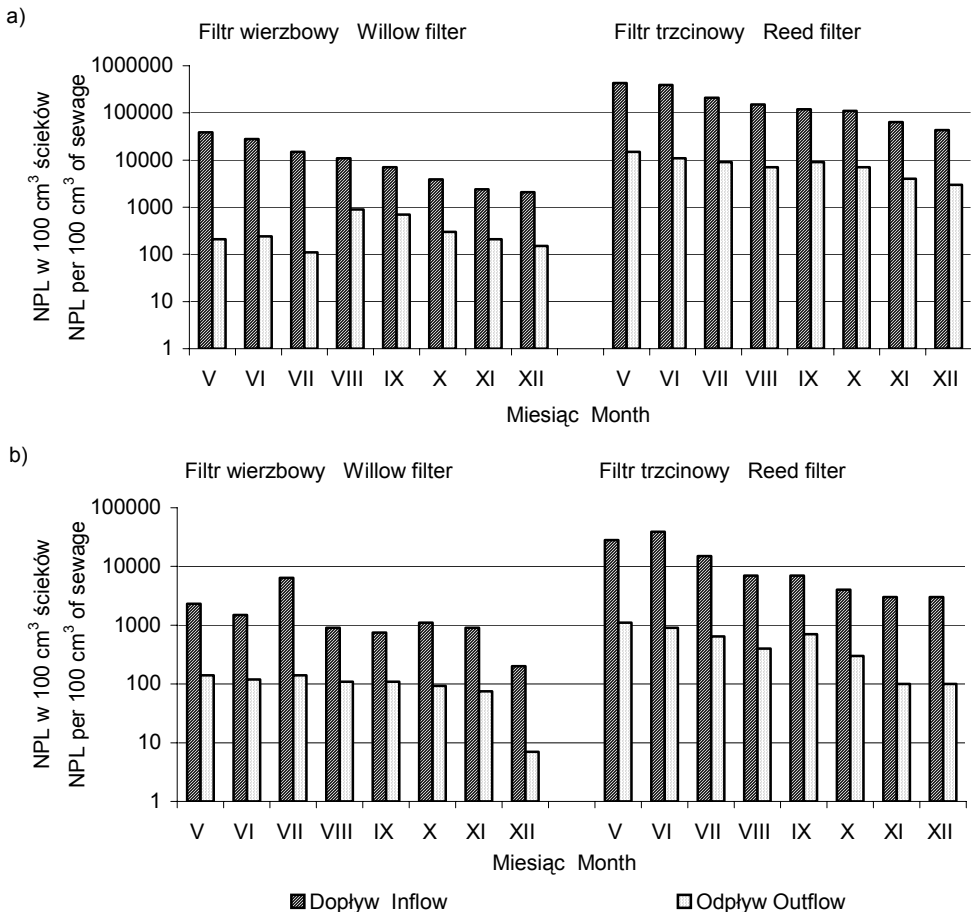
Omawiana powyżej grupa bakterii heterotroficznych zdolnych do wzrostu w temperaturze 22°C jest uznawana za wskaźnik zanieczyszczenia środowiska łatwo rozkładalną materią organiczną. W oczyszczalniach hydrobotanicznych źródłem materii organicznej mogą być dopływające ścieki, jak również roślinność porastająca oczyszczalnię.

Jak wynika z wcześniejszych badań mikroflory glebowej i ryzosferowej oczyszczalni wierzbowej, bakterie heterotroficzne wzrastające w temperaturze 22°C występowały najliczniej w glebie na stanowisku zlokalizowanym w pobliżu miejsca dopływu ścieków do filtra, a w dalszych partiach złożyła ich liczebność stopniowo malała [LALKE-PORCZYK, SWIONTEK BRZEZINSKA, DONDESKI, 2009; w druku].

Z kolei występowanie w wodzie i ściekach bakterii zdolnych do wzrostu w temperaturze 37°C może świadczyć o obecności mikroorganizmów chorobotwórczych [ZMYSŁOWSKA, 2002]. Jak wynika z badań przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy, bakterie te w dość znacznych ilościach trafiały na filtry ro-

ślinne. W oczyszczalni wierzbowej ich liczebność wynosiła od $5,90 \cdot 10^2$ do $2,30 \cdot 10^3$ jtk·cm⁻³ ścieków dopływających do filtra, a w oczyszczalni trzcinowej – od $3,04 \cdot 10^4$ do $1,04 \cdot 10^7$ jtk·cm⁻³ ścieków (rys. 1b). W oczyszczalni wierzbowej ich ilość wraz z przepływem ścieków przez złożę malała średnio w 88,46%, a w oczyszczalni trzcinowej – w 90,22% (tab. 1).

W trakcie oczyszczania ścieków metodą hydrobotaniczną znacznie zmniejszyła się także liczebność bakterii z grupy coli i grupy coli typu kałowego (termotolerancyjnych). W ściekach dopływających do filtra wierzbowego liczebność bakterii grupy coli w badanym okresie wynosiła od $2,10 \cdot 10^3$ do $3,90 \cdot 10^4$ NPL·(100 cm³)⁻¹, a bakterii grupy coli typu kałowego – od $2,00 \cdot 10^2$ do $6,40 \cdot 10^3$ NPL·(100 cm³)⁻¹ (rys. 2a, b). Podczas przepływu ścieków przez złożę bakterie te były eliminowane średnio w 94,51% (filtr trzcinowy) i 92,07% (filtr wierzbowy) (tab. 1).



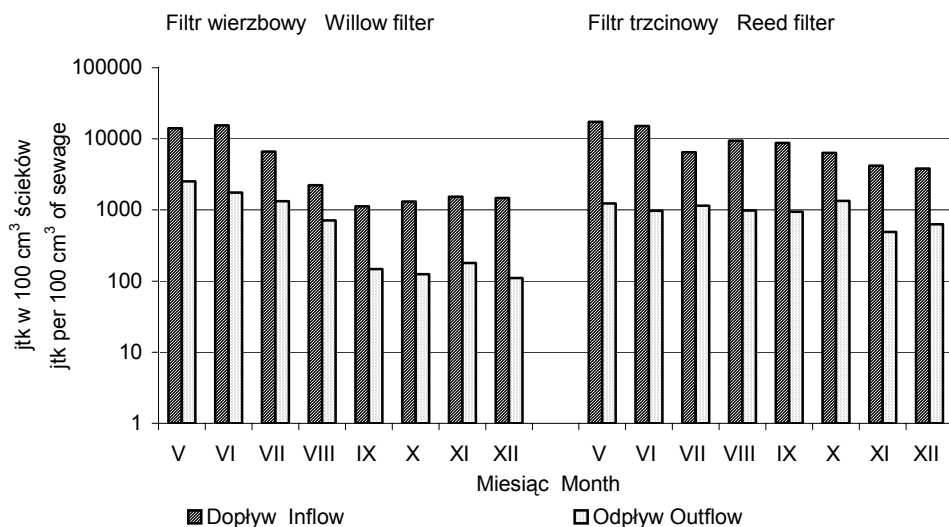
Rys. 2. Liczebność bakterii z grupy coli (a) i coli typu kałowego (b) (skala logarytmiczna)

Fig. 2. The number of coliform bacteria (a) and faecal coliform bacteria (b) (logarithm scale)

W gminnej oczyszczalni mechaniczno-biologicznej ścieki dopływające do filtra trzcinowego zawierały więcej bakterii z grupy coli i grupy coli typu kałowego niż ścieki pochodzące z małej przydomowej oczyszczalni. Liczebność bakterii grupy coli wynosiła od $4,30 \cdot 10^4$ do $4,30 \cdot 10^5$ NPL $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$, a bakterii grupy coli typu kałowego od $3,00 \cdot 10^3$ do $3,90 \cdot 10^4$ NPL $\cdot(100 \text{ cm}^3)^{-1}$ (rys. 2a, b). Liczebność omawianych grup bakterii zmniejszyła się odpowiednio w 94,71% w przypadku bakterii grupy coli i w 94,95% – bakterii grupy coli typu kałowego (tab. 1).

Jak wynika z badań WALCZAKA i DONDESKIĘGO [2007], prowadzonych na terenie Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Toruniu, liczebność bakterii grupy coli i grupy coli typu fekalnego zmniejszała się średnio ponad 97% w trakcie oczyszczania ścieków metodą mechaniczno-biologiczną z użyciem osadu czynnego. Doczyszczanie ścieków oczyszczonych na filtrach roślinnych, jak wykazują wyniki badań własnych, może przyczynić się do dalszej istotnej eliminacji bakterii ze ścieków.

Grupą bakterii, której liczebność w nieco mniejszym stopniu zmniejszała się w trakcie przepływu ścieków przez filtry roślinne, były paciorkowce kałowe. Ich liczba w ściekach dopływających do filtra wierzbowego wynosiła od $1,12 \cdot 10^3$ do $1,54 \cdot 10^4$ jtk w 100 cm^3 , a w ściekach dopływających do złoża trzcinowego – od $3,82 \cdot 10^3$ do $1,74 \cdot 10^4$ jtk w 100 cm^3 (rys. 3). Liczebność tych bakterii w ciągu 8 miesięcy badań w oczyszczalni wierzbowej zmniejszała się średnio w 84,65%, a w oczyszczalni trzcinowej – 87,26%. Paciorkowce kałowe, oprócz bakterii grupy



Rys. 3. Liczebność paciorkowców kałowych (skala logarytmiczna)

Fig. 3. The number of faecal streptococci (logarithm scale)

coli i coli termotolerancyjnych, należą do mikroorganizmów stale obecnych w kale ludzi i zwierząt stałocieplnych, charakteryzują się jednak dłuższą przeżywalnością w wodzie i ściekach [PN-82/C-04615/25; SMYŁŁA, 2006]. Według WALCZAKA i DONDESKIEGO [2007], poddanie ścieków oczyszczaniu mechanicznemu i biologicznemu z osadem czynnym eliminuje paciorkowce kałowe średnio w 86%.

Odnotowane w niniejszych badaniach zmniejszenie liczebności różnych grup bakterii umożliwia stwierdzenie, że jakość ścieków poddawanych oczyszczaniu i doczyszczaniu w złożach roślinnych znacznie się poprawia. Należy jednak pamiętać, że nawet ścieki, w których liczebność bakterii wskaźnikowych została bardzo ograniczona, mogą być nadal źródłem drobnoustrojów patogennych [FILIPKOWSKA, 2003].

WNIOSKI

1. Liczebność bakterii heterotroficznych zdolnych do wzrostu w temperaturze 22°C malała średnio w badanym okresie w 85,86% – w oczyszczalni wierzbowej i w 89,45% – w oczyszczalni trzcinowej. Liczebność bakterii heterotroficznych zdolnych do wzrostu w temperaturze 37°C w badanych oczyszczalniach malała odpowiednio w 88,46 i 90,22%.

2. Spośród bakterii wskaźnikowych stanu sanitarnego w najmniejszym stopniu malała liczebność paciorkowców kałowych. W oczyszczalni wierzbowej liczebność bakterii tej grupy malała średnio w 84,65%, a w oczyszczalni trzcinowej w 87,26%.

3. W ciągu 8 miesięcy trwania badań obydwie oczyszczalnie działały bezawaryjnie, przyczyniając się do znacznej eliminacji mikroorganizmów ze ścieków, również w miesiącach chłodniejszych, tj. listopadzie i grudniu.

LITERATURA

- BRIX H., 1994. Use of constructed wetlands in water pollution control: Historical development, present status, and future perspectives. *Water Sci. Technol.* 30 s. 209–223.
- FILIPKOWSKA Z., 2003. Sanitary and bacteriological aspects of sewage treatment. *Acta Microbiol. Polon.* 52 s. 57–66.
- LALKE-PORCZYK E., SWIONTEK BRZEZINSKA M., DONDESKI W., 2009. Influence of the root system of common osier (*Salix viminalis* L.) on abundance of heterotrophic bacteria in the willow sewage treatment system. *Curr. Microbiol.* 58 s. 571–577.
- LALKE-PORCZYK E., SWIONTEK BRZEZINSKA M., DONDESKI W., WALCZAK M. Aktywność hydroliczna mikroorganizmów w glebie filtra gruntowo-wierzbowego. *Nauka Tech.* w druku.
- OBARSKA-PEMPKOWIAK H., 2002. *Oczyszczalnie hydrofitowe.* Gdańsk: Wydaw. PGdań. ss. 214.
- PN-75/C-04615/05 Oznaczanie bakterii grupy coli metodą fermentacyjną próbówkową.
- PN-77/C-04615/07 Oznaczanie bakterii grupy coli typu kałowego metodą fermentacyjną próbówkową.

- PN-82/C-04615/25 Oznaczanie paciorkowców kałowych metodą filtrów membranowych i metodą próbkową.
- PN-EN ISO 6222 Oznaczanie ilościowe mikroorganizmów zdolnych do wzrostu. Określanie ogólnej liczby kolonii metodą posiewu na agarze odżywcym.
- SMYLLA A., 2006. Zagrożenia bakteryjne wód powierzchniowych. www.ietu.katowice.pl/wpr/Aktualnosci/Czestochowa/Referaty/Smylla.pdf
- WALCZAK M., DONDESKI W., 2007. Elimination of indicators (TC, FC, FS) and Enterobacteriaceae family bacteria during the sewage treatment process. *Pol. J. Natur. Sci.* vol. 22(2) s. 294–304.
- ZMYŚŁOWSKA I., 2002. Mikrobiologia ogólna i środowiskowa. Teoria i ćwiczenia. Olsztyn: UWM ss. 193.

Elżbieta LALKE-PORCZYK, Maria SWIONTEK BRZEZINSKA, Wojciech DONDESKI

THE ROLE OF HYDROPHYTE SYSTEMS IN SEWAGE TREATMENT FROM RURAL AREAS

Key words: hydrophyte sewage treatment plants, indicator bacteria, sanitary state of sewage, sewage treatment

S u m m a r y

One of the ways to solve the sewage treatment problems in Polish rural areas is the use of unconventional sewage treatment systems based on ponds with macrophytes or on ground filters with hydrophytes. Their function follows the model of natural wetlands. They are featured by many merits and can be used to treat sewage from single farms, small villages, land estates or agro-tourist centres.

Beside abiotic processes such as sedimentation and filtration, sorption of chemical pollutants in the medium and photolytic reactions, an important role in sewage treatment play biological factors – vascular flora and microorganisms in a given object. The aim of this study was to assess the effect of sewage treatment in a small home willow treatment plant and treated sewage polishing in the communal mechanical-biological treatment plant with sand-reed filter.

The sewage for analyses was sampled from May to December 2007. The number of heterotrophic bacteria capable of growing at temperatures of 22°C (cfu 22°C) and 37°C (cfu 37°C) was estimated by cast plate method according to Polish standard PN-ISO 6222. The numbers of coliform bacteria (TC) and thermo-tolerant (faecal) coliform bacteria (FC) were estimated by means of fermentation test-tube method according to Polish standards PN-75/C-04615/05 and PN-77/C-04615/07. The number of faecal streptococci (FS) was determined by the membrane filter method according to Polish standard PN-82/C-04615/25 with the use of Slanetz-Bertley medium.

Considerable reduction of the majority of investigated bacteria groups was found during hydrophyte sewage treatment. The lowest reduction was observed in the number of faecal streptococci.

Recenzenci:

prof. dr hab. Zbigniew Paluszak

prof. dr hab. Aleksandra Sawicka

Praca wpłynęła do Redakcji 14.09.2009 r.