

Danuta WOCHOWSKA¹, Jerzy JEZNACH¹, Waldemar LIS²

¹Katedra Kształtowania Środowiska SGGW
Department of Environmental Improvement WAU

²Miejska Oczyszczalnia Ścieków w Sierpcu
Town Sewage – Treatment in Sierpc

Analiza skuteczności oczyszczania ścieków obciążonych dużym ładunkiem zanieczyszczeń browarniczych w oczyszczalni w Sierpcu

Analysis of the effectiveness of pollutant removal from sewage with great load of brewery pollutant in the sewage treatment plant in Sierpc

Słowa kluczowe: oczyszczalnia ścieków, ładunek browarniczy, redukcja zanieczyszczeń

Key words: sewage treatment plant, brewery load, pollutant reduction

Wprowadzenie

Ścieki browarnicze należą do ścieków przemysłowych, w znacznym stopniu zanieczyszczonych substancjami organicznymi i zawiesinami. W browarze ścieki powstają zarówno w procesie przygotowywania siodu, jak i podczas wytwarzania piwa. Źródłami ścieków stężonych są: leżakownia, warzelnia, fermentownia i rozlewnia. Na tych wydziałach zużywa się około jednej czwartej ogólnej ilości wody. Pozostałe trzy czwarte zużycia wody to ścieki umownie czyste, ujmowane w obieg.

Ze względu na dość dużą zawartość w ściekach piwowych rozkładalnych substancji organicznych oraz obecnych w nich zaczynów fermentacyjnych nie tylko stężone ścieki produkcyjne, ale również zanieczyszczone wody z mycia i płukania ulegają szybkiemu rozkładowi, co łączy się z zakwaszeniem środowiska i wydzielaniem nieprzyjemnego zapachu gnilnego (Bartkiewicz 2002).

Występujące w ściekach piwowych wahania stężeń oraz ilości przepływu (szczególnie w przypadku ścieków ze siodowni) mogą powodować bardzo silne zakłócenia w pracy oczyszczalni.

Oczyszczalnia Miejska w Sierpcu została wybudowana ponad dwadzieścia lat temu, a głównym jej powodem było powstanie zakładu przemysłu piwowarskiego.

W ciągu wielu lat funkcjonowania oczyszczalnia była kilkakrotnie remontowana i modernizowana. Wraz ze wzrostem produkcji w browarze pojawiało się jednak coraz więcej problemów z efektywnym usunięciem dużych ilości zanieczyszczeń organicznych dopływających do oczyszczalni z browaru.

Stosowana do końca 2004 roku technologia oczyszczania ścieków w oczyszczalni miejskiej oparta była na oczyszczaniu (Dokumentacja...):

- mechanicznym (kraty, piaskowniki, osadniki wstępne Imhoffa),
- chemicznym (siarczan żelazowy, polielektrolit),
- biologicznym (złoża biologiczne, osadniki wtórne pionowe, osadnik wtórny radialny).

Przez wiele lat w okresach szczytu produkcyjnego ścieki z browaru stanowiły około 60% ilości i 70% ładunku wszystkich dopływających do oczyszczalni ścieków. Stosowana przez lata, choć w niewielkim zakresie stopniowo unowocześniana technologia oczyszczania ścieków nie zapewniała aktualnie obowiązujących parametrów oczyszczania (Wochowska i in. 2003). W 2003 roku równoważna liczba mieszkańców Sierpcu liczona z BZT₅ była czterokrotnie wyższa niż liczba mieszkańców i wyniosła 74 150. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (Rozporządzenie... 2002) oczyszczalnia ścieków w Sierpcu mieści się w przedziale od 15 000 do 99 999 RLM.

Materiał i metoda

Od chwili powstania Oczyszczalnia Miejska w Sierpcu prowadzi stałą kontrolę ilości przyjmowanych ścieków dzięki zainstalowaniu w kanale odpły-

wowym urządzeń kontrolno-pomiarowych. W laboratorium oczyszczalni systematycznie wykonywane są analizy fizykochemiczne ścieków surowych i wód oczyszczonych, odprowadzanych do odbiornika (Dokumentacja...). Wszystkie badania są wykonywane zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami i normami.

Przeprowadzono analizę danych zawartych w dokumentacji oczyszczalni, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu ilościowego i jakościowego ścieków browarniczych na efektywność pracy oczyszczalni.

Zebrano i usystematyzowano dane z lat 1999–2003 dotyczące:

- ilości przyjmowanych przez oczyszczalnię ścieków ze wszystkich źródeł w poszczególnych miesiącach analizowanego okresu,
- średnich miesięcznych stężeń głównych wskaźników zanieczyszczeń (BZT₅, ChZT, azotu ogólnego, fosforu ogólnego i zawiesiny ogólnej) oraz pH w ściekach surowych oraz odprowadzanych do odbiornika.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczono:

- średnie roczne stężenia zanieczyszczeń w ściekach dopływających do oczyszczalni i odprowadzanych do odbiornika,
- średnią skuteczność usuwania zanieczyszczeń przez oczyszczalnię w poszczególnych miesiącach oraz w kolejnych analizowanych latach,
- średnie ładunki zanieczyszczeń: dobowe, miesięczne i roczne, w ściekach surowych oraz oczyszczonych.

Zestawiono i porównano uzyskane wyniki z całego okresu badawczego lat

1999–2003 w odniesieniu do stężeń, ładunków i sprawności oczyszczania, a także ilości ścieków.

Szczegółowa analiza danych pozwoliła na określenie, jaki wpływ na efektywność pracy oczyszczalni mają ścieki dopływające do oczyszczalni z browaru, zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym.

Wyniki i dyskusja wyników

W ostatnich latach systematycznie spada całkowita ilość ścieków dopływających do oczyszczalni (rys. 1).

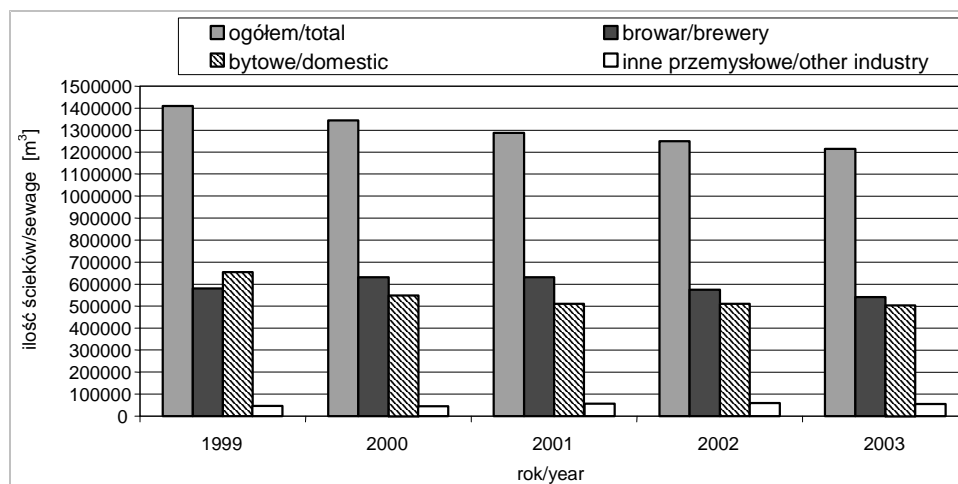
Ilość ścieków z browaru znacznie wzrastała w latach 1999–2002, natomiast w 2003 roku uległa zmniejszeniu. W ubiegłym roku nastąpił wzrost produkcji w browarze, natomiast zużycie wody przez browar i ilość ścieków odprowadzanych do oczyszczalni zmalało. W chwili obecnej browar, tak jak wiele innych zakładów przemysłowych, zmu-

szany jest do racjonalizacji gospodarki wodno-ściekowej, polegającej przede wszystkim na stosowaniu zamkniętych obiegów wody. Zastosowano nową, skuteczną metodę oczyszczania części własnych ścieków tak, by mogły się one stać ponownie źródłem wody wykorzystywanej w cyklu produkcyjnym.

Wzrasta natomiast ilość ścieków pochodzących z zakładów przemysłowych (oprócz browaru), a szczególnie z Zakładów Mięśnych „Olewnik”, które odnotowują stały wzrost produkcji.

Ilość ścieków bytowych zmniejszyła się znacznie w latach 1999–2002, natomiast w 2003 roku uległa tylko niewielkiemu zmniejszeniu, mimo trwającego procesu rozbudowy sieci kanalizacji sanitarnej w mieście.

W 2003 roku do Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Sierpcu dopływało średnio 3329,5 m³ ścieków na dobę, w tym 1481,5 m³ (44,5%) z browaru, 1385,8 m³ (41,6%) ścieków bytowych oraz 152,4 m³ (4,57%) ścieków z in-



RYSUNEK 1. Zmienność ilościowa przepływu ścieków w latach 1999–2003

FIGURE 1. Dynamics of sewage flow in 1999–2003

nych zakładów przemysłowych. Pozostałą ilość stanowiły wody infiltracyjne i opadowe.

Porównano dane dotyczące ilości dopływających ścieków do oczyszczalni (a głównie ścieków z browaru) oraz wartości stężeń wszystkich analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w kolejnych miesiącach na przełomie ostatnich pięciu lat.

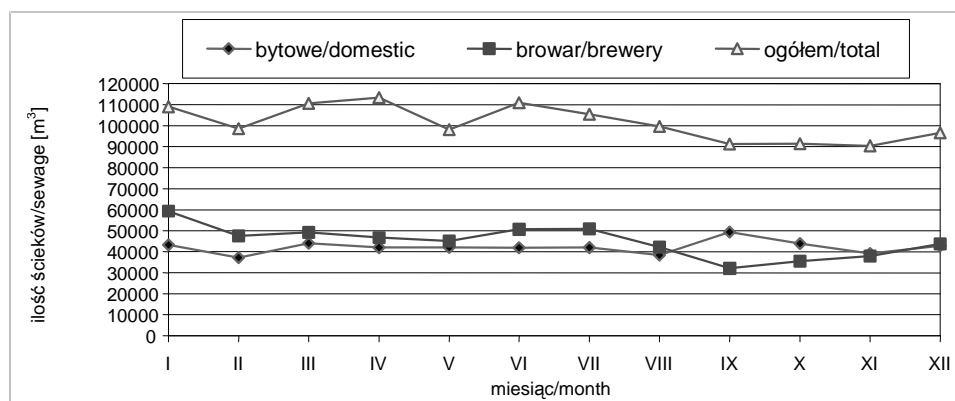
Analiza ilości ścieków dopływających do oczyszczalni w poszczególnych miesiącach lat 1999–2003 wykazała, że w okresach szczytu produkcyjnego browaru, tzn. głównie w czerwcu i lipcu, znacznie zwiększa się ilość tych ścieków. Natomiast okres kilku tygodni na przełomie sierpnia i września był czasem postoju słodowni, więc ilość ścieków surowych wówczas znacznie się zmniejszała.

Rysunek 2 przedstawia ilość dopływających do oczyszczalni ścieków w poszczególnych miesiącach 2003 roku, a rysunek 3 – średnie miesięczne stężenia substancji organicznej wyrażonej w BZT₅.

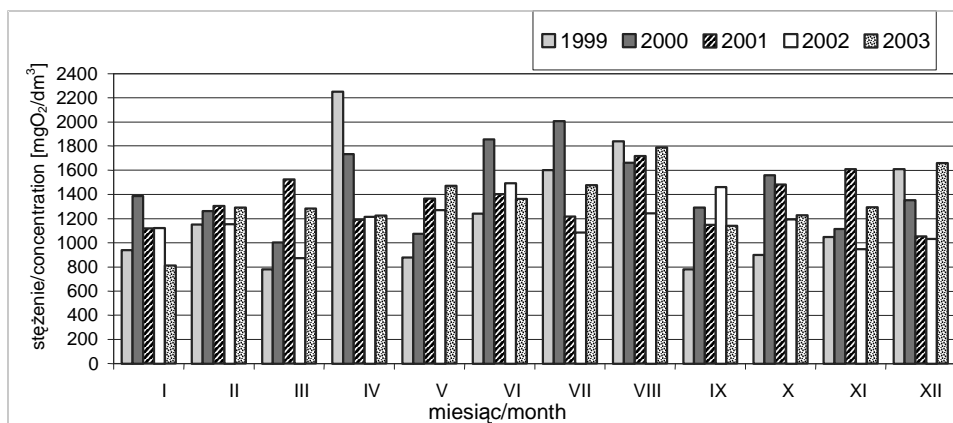
Analiza danych dotyczących ilości ścieków i stężeń wskaźników zanieczyszczeń w poszczególnych miesiącach badanego okresu dowiodła, że istnieje między nimi ścisła zależność. W miesiącach szczytu produkcyjnego browaru, gdy zwiększa się ilość dopływających do oczyszczalni ścieków, wzrastają również stężenia parametrów zanieczyszczeń.

Stężenia wszystkich wskaźników na dopływie do oczyszczalni znacznie wzrosły w 2003 roku w porównaniu z 2002 rokiem, osiągając wysoki poziom w 2000 i 2001 roku. Szczególnie stężenia substancji organicznych oraz pierwiastków biogennych były w ubiegłym roku stosunkowo wysokie w porównaniu ze średnimi stężeniami zanieczyszczeń w ściekach dopływających do innych oczyszczalni o porównywalnej liczbie mieszkańców.

Średnie stężenia wskaźników zanieczyszczeń w ściekach dopływających i odpływających z oczyszczalni w latach 1999–2003 przedstawiono w tabeli 1 i 2.



RYSUNEK 2. Ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w 2003 roku (w m³/miesiąc)
FIGURE 2. Quantity of raw sewage in 2003 (in m³/month)



RYSUNEK 3. Średnie miesięczne stężenia substancji organicznej wyrażonej w BZT₅ w ściekach surowych w latach 1999–2003

FIGURE 3. Average monthly concentrations of organic substance (BOD₅) in raw sewage in 1999–2003

TABELA 1. Średnie stężenia głównych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych w latach 1999–2003

TABLE 1. Average concentrations of main parameters of pollution in raw sewage in 1999–2003

| Parametr/Parameter | Jednostka Unit | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BZT ₅ /BOD ₅ | mgO ₂ /dm ³ | 1251,6 | 1442,1 | 1345,0 | 1174,1 | 1336,3 |
| ChZT/COD | mgO ₂ /dm ³ | 2033,0 | 2042,5 | 1886,8 | 1787,1 | 2025,8 |
| Fosfor ogólny/Total phosphorus | mgP/dm ³ | 26,60 | 23,00 | 17,62 | 17,54 | 22,84 |
| Azot ogólny/Total nitrogen | mgN/dm ³ | 56,7 | 65,8 | 86,3 | 68,1 | 87,5 |
| Zawiesina ogólna Suspended solids | mg/dm ³ | 459,3 | 552,5 | 602,2 | 550,9 | 568,7 |

TABELA 2. Średnie stężenia głównych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych w latach 1999–2003

TABLE 2. Average concentrations of main parameters of pollution in treated sewage in 1999–2003

| Parametr/Parameter | Jednostka Unit | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | Według rozporządzenia |
|------------------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|-----------------------|
| BZT ₅ /BOD ₅ | mgO ₂ /dm ³ | 46,0 | 64,0 | 40,5 | 45,2 | 26,7 | 15 |
| ChZT/COD | mgO ₂ /dm ³ | 91,8 | 92,9 | 78,2 | 91,0 | 83,9 | 125 |
| Fosfor ogólny/Total phosphorus | mgP/dm ³ | 1,54 | 2,36 | 1,52 | 1,23 | 0,96 | 2 |
| Azot ogólny/Total nitrogen | mgN/dm ³ | 21,5 | 22,0 | 20,1 | 24,0 | 17,4 | 15 |
| Zawiesina ogólna/Suspended solids | mg/dm ³ | 25,9 | 25,2 | 28,4 | 28,6 | 26,1 | 35 |

W 2002 roku nastąpił spadek produkcji w browarze i jednocześnie zaobserwowano znaczne obniżenie stężeń wszystkich wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych. Natomiast w 2003 roku, przy wzroście produkcji w browarze, ilość ścieków browarniczych uległa zmniejszeniu, co spowodowało znaczny wzrost stężeń substancji organicznych, azotu i fosforu w ściekach dopływających do oczyszczalni. Równocześnie zwiększyła się ilość ścieków z pozostałych zakładów przemysłowych, obciążonych także dużym ładunkiem zanieczyszczeń, szczególnie azotu.

Stężenia wszystkich wskaźników zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych do odbiornika uległy w 2003 roku spadkowi w stosunku do lat ubiegłych.

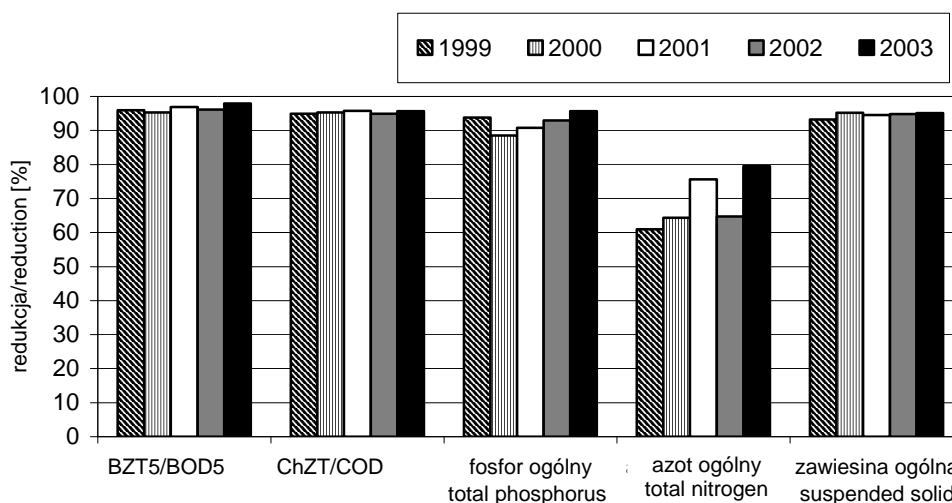
W 2003 roku zwiększono ilość dodawanego w procesie oczyszczania koagulantu i dzięki temu średnie stężenie

nie BZT₅ było niższe w porównaniu z latami poprzednimi i wyniosło 26,7 mgO₂/dm³, choć nadal nie odpowiadało wymaganemu stężeniu na odpływie w wysokości 15 mgO₂/dm³.

Średnie stężenie azotu ogólnego na odpływie wyniosło 17,4 mgN/dm³, a zgodnie z normami powinno wynosić 15 mg/dm³ dla tej wielkości oczyszczalni. W stosunku do pozostałych wskaźników uzyskano w 2003 roku wymagane stężenia (Rozporządzenie... 2002).

Na podstawie procentowego obniżenia średnich stężeń wskaźników zanieczyszczeń obliczono średnią efektywność usuwania zanieczyszczeń przez oczyszczalnię w latach 1999–2003. Wyniki tych analiz zestawiono na rysunku 4.

Należy podkreślić wysoką średnią skuteczność oczyszczania dla całej



RYSUNEK 4. Średnia skuteczność usuwania głównych wskaźników zanieczyszczeń w latach 1999–2003 (w %)

FIGURE 4. Average reduction of basics parameters of pollution in 1999–2003 (%)

oczyszczalni (powyżej 95%), ulegającą stałemu wzrostowi od kilku lat. W 2003 roku szczególnie wyraźny wzrost sprawności należy odnotować w odniesieniu do azotu (79,5%).

Z danych dotyczących ilości dopływających do oczyszczalni ścieków oraz stężeń wskaźników zanieczyszczeń obliczono średnie roczne, miesięczne oraz dobowe ładunki tych wskaźników w ściekach dopływających i odpływających z oczyszczalni w latach 1999–2003. Średnie dobowe ładunki zanieczyszczeń w ściekach surowych zestawiono w tabeli 3, a w ściekach odprowadzanych do odbiornika – w tabeli 4.

W 2002 roku ładunki wszystkich wskaźników zanieczyszczeń w ściekach dopływających do oczyszczalni osiągnęły stosunkowo mniejszą wartość w stosunku do pozostałych lat analizowanego okresu. Powodem był znaczący spadek produkcji w browarze w tym

właśnie roku. Natomiast w 2003 roku odnotowano wzrost produkcji w browarze i wartości ładunków już znacznie zwiększyły się. Tylko ładunek zawiesziny ogólnej w ściekach surowych był porównywalny w 2003 roku w stosunku do 2002 roku. Niewątpliwie główną przyczyną było zainstalowanie w browarze dodatkowych urządzeń filtrujących, które zatrzymują ziarna zbóż ze ścieków.

Wartości ładunków substancji organicznej (wyrażonej w BZT₅ i ChZT) oraz fosforu ogólnego w ściekach surowych w minionych latach wprawdzie ulegały niewielkiemu zmniejszeniu, ale osiągały bardzo duże wartości.

Natomiast ładunek azotu ogólnego w analizowanym okresie w nieznacznym stopniu wzrastał. Wśród głównych przyczyn należy wymienić: systematycznie zwiększającą się ilość ścieków dopływających z Zakładów Mięśnych

TABELA 3. Średnie dobowe ładunki głównych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych w latach 1999–2003

TABLE 3. Average daily load of main parameters of pollution in raw sewage in 1999–2003

| Parametr/Parameter | Jednostka/Unit | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|------------------------------------|------------------|------|------|------|------|------|
| BZT ₅ /BOD ₅ | kgO ₂ | 4831 | 5314 | 4744 | 4021 | 4449 |
| ChZT/COD | kgO ₂ | 7847 | 7526 | 6655 | 6120 | 6745 |
| Fosfor ogólny/Total phosphorus | kgP | 103 | 85 | 62 | 60 | 76 |
| Azot ogólny/Total nitrogen | kgN | 219 | 242 | 304 | 233 | 291 |
| Zawiesina ogólna/Suspended solids | kg | 1773 | 2036 | 2124 | 1887 | 1893 |

TABELA 4. Średnie dobowe ładunki głównych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych w latach 1999–003

TABLE 4. Average daily load of main parameters of pollution in raw sewage in 1999–2003

| Parametr/parameter | Jednostka/Unit | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| BZT ₅ /BOD ₅ | kgO ₂ | 178,0 | 236,0 | 143,0 | 154,8 | 88,9 |
| ChZT/COD | kgO ₂ | 354,0 | 342,0 | 276,0 | 311,6 | 279,3 |
| Fosfor ogólny/Total phosphorus | kgP | 5,94 | 8,70 | 5,36 | 4,20 | 3,20 |
| Azot ogólny/Total nitrogen | kgN | 83,0 | 81,0 | 70,9 | 82,2 | 57,9 |
| Zawiesina ogólna/Suspended solids | kg | 100,0 | 93,0 | 100,1 | 98,0 | 86,9 |

„Olewnik”, wzrost stężenia azotu azotanowego w ściekach z browaru w związku z zastosowaniem kwasu azotowego do mycia opakowań oraz wzrost stężenia azotu w ściekach bytowo-gospodarczych.

Ładunki wszystkich wskaźników zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych do odbiornika w analizowanym okresie systematycznie zmniejszały się, a w 2003 roku, dzięki dużej skuteczności oczyszczania, osiągnęły najmniejsze wartości. W 2002 roku ładunki w ściekach oczyszczonych były stosunkowo duże w porównaniu do ładunków uzyskanych w pozostałych latach, mimo tego, że w tym właśnie roku nastąpił spadek ładunków w ściekach surowych.

Wnioski

1. Wyniki analiz funkcjonowania Miejskiej Oczyszczalni w Sierpcu pozwalają stwierdzić, że dopływające do oczyszczalni ścieki są obciążone znacznym ładunkiem zanieczyszczeń, wielokrotnie większym w porównaniu ze ściekami dopływającymi do oczyszczalni komunalnych w innych miastach o podobnej liczbie mieszkańców.
2. Pod względem ilości ścieki przemysłowe stanowią połowę całkowitej ilości ścieków dopływających do oczyszczalni w Sierpcu, a zanieczyszczenia przemysłowe stanowią ponad połowę wszystkich zanieczyszczeń w ściekach surowych.
3. Chociaż efektywność pracy oczyszczalni jest wysoka, to jednak istnieje konieczność dalszego zwiększenia sprawności oczyszczania (nawet

powyżej 99% dla BZT₅), aby spełnić w przyszłości wymagane przepisami stężenia tych substancji na odpływie do odbiornika. Prowadzona obecnie modernizacja oczyszczalni ścieków ma na celu osiągnięcie obowiązujących stężeń lub efektów oczyszczania.

Literatura

- BARTKIEWICZ B. 2002: Oczyszczanie ścieków przemysłowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Dokumentacja Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Sierpcu z lat 1999–2003.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2002 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. DzU nr 212, poz. 1798 i 1799.
- WOCHOWSKA D., JEZNACH J., LIS W. 2003: Analiza parametrów techniczno-eksploatacyjnych miejskiej oczyszczalni ścieków w Sierpcu. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 1(26): 66–70.

Summary

Analysis of the effectiveness of pollutant removal from sewage with great load of brewery pollutant in the sewage treatment plant in Sierpc. The paper presents the characteristic of the sewage – treatment plant in Sierpc and the study analysis of the effectiveness of pollutant removal from sewage with great load of brewery pollutant. We performed analysis of study: the flow of sewage in 1999–2003, concentrations and load parameters of pollutions (BZT₅, ChZT, nitrogen, phosphorus and suspension) contained in sewage discharge and supply, reduction of concentration and reduction of load of all the parameters in 1999–2003.

Authors' addresses:

Danuta Wochowska, Jerzy Jeznach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Kształtowania Środowiska
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159
Poland
e-mail: jeznach@alpha.sggw.waw.pl

Waldemar Lis
Miejska Oczyszczalnia Ścieków
09-200 Sierpc, ul. Bojanowska 1
Poland