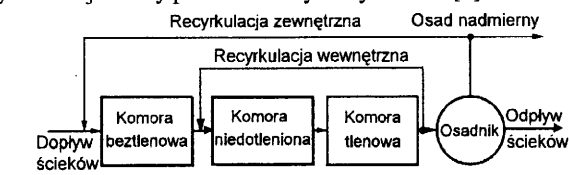


Aniela Rostkowska, Ewa Siedlecka

Ocena skuteczności miejskiej oczyszczalni ścieków w Tczewie

Intensywny rozwój technologii zintegrowanego biologicznego usuwania ze ścieków związków węgla, azotu i fosforu rozpoczął się w Polsce po wejściu w życie nowych uregulowań prawnych. W rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 5 listopada 1991 r. zaostrzono wymagania w odniesieniu do jakości ścieków odprowadzanych do wód i gleby. Sformułowane w tym rozporządzeniu wymagania dotyczą wszystkich oczyszczalni ścieków o przepustowości powyżej 5 m³/d. Obecnie stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych nie może przekraczać wartości 30 gN/m³, stężenie azotu amonowego – 6 gN/m³, a fosforu ogólnego – 5 gP/m³. Od 1 stycznia 2000 r. zaostrzona zostanie dopuszczalna wartość fosforu ogólnego do 1,5 gP/m³ [1]. Stosowane w Polsce technologie, spełniające wymagania zawarte w rozporządzeniu, oparte są na wielofazowym lub wielostopniowym procesie osadu czynnego [2,3]. Zastosowanie przemennych warunków tlenowych i beztlenowych umożliwia symultaniczne usuwanie związków organicznych oraz związków biogenych.

Usuwanie związków azotu jest skutkiem procesów asymilacyjnych, w których azot jest wykorzystywany do tworzenia nowych komórek biomasy. Związki azotu usuwane są także w procesie nitrifikacji, a następnie denitrifikacji. Stosowanie przemennych warunków beztlenowych i tlenowych sprzyja również biologicznej defosfatacji ścieków. Warunki te umożliwiają wzrost grup bakterii mających zdolność do nadmiernego poboru fosforu w ilościach przekraczających potrzeby ich wzrostu i podstawowego metabolizmu [4,5]. Do najczęściej stosowanych w Polsce rozwiązań technologicznych należy system trójfazowy przedstawiony na rysunku 1 [2].



Rys. 1. Trójfazowy system usuwania związków organicznych i biogenych

W systemie tym ścieki wraz z osadem recykulowanym dopływają do komory beztlenowej, a następnie przepływają do dwóch dalszych komór, tj. denitrifikacji i nitrifikacji. W komorze beztlenowej następuje uwalnianie fosforu w postaci fosforanów, a w komorze niedotlenionej zachodzi denitrifikacja i częściowa akumulacja fosforu. W komorze tlenowej przebiega nitrifikacja, utlenianie związków węgla do CO₂ i H₂O oraz intensywna akumulacja fosforu przez bakterie. System trójfazowy ma dwie linie recykulacji:

– recykulacja ścieków wraz z osadem z komory nitrifikacji do komory denitrifikacji (tzw. recykulacja wewnętrzna – β),

– recykulacja osadu z osadnika wtórnego do komory beztlenowej (tzw. recykulacja zewnętrzna – α).

Zintegrowane usuwanie związków organicznych i biogenych realizowane jest w obiektach i urządzeniach o wysokim stopniu monitorowania i automatycznego sterowania. Dzięki ścisłej kontroli i możliwości szybkiego reagowania w wypadku niewłaściwej pracy współczesne oczyszczalnie biologiczne z osadem czynnym pozwalają usuwać zanieczyszczenia ze ścieków w bardzo wysokim stopniu [5]. Ograniczenie lub całkowita eliminacja chemicznego strącania fosforu w tego typu oczyszczalniach zmniejsza ilość zużywanych reagentów i nie powoduje zwiększenia ilości osadu powstającego podczas oczyszczania ścieków. Zagospodarowanie osadów jest problemem, z którym boryka się wiele oczyszczalni ścieków [6].

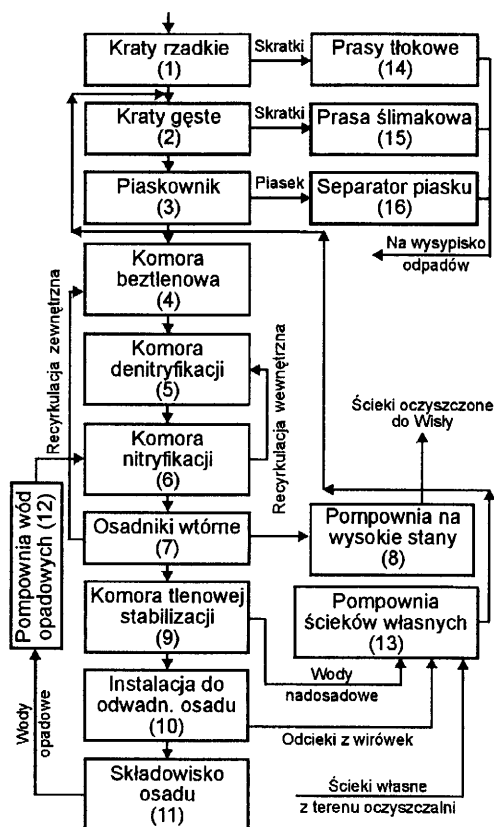
W Tczewie, w marcu 1998 r., oddano po siedmiomiesięcznym rozruchu do eksploatacji oczyszczalnię ścieków ze zintegrowanym biologicznym usuwaniem związków węgla, azotu i fosforu. Przedmiotem badań przeprowadzonych przez zespół Zakładu Wodociągów i Kanalizacji w Tczewie oraz Zakładu Inżynierii Środowiska Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego była kontrola prawidłowości pracy poszczególnych stopni oczyszczania oraz ocena skuteczności usuwania zanieczyszczeń ze ścieków.

Technologia oczyszczania ścieków

Oczyszczalnia ścieków w Tczewie, zlokalizowana w północnej części miasta, jest oczyszczalnią mechaniczno-biologiczną o przepustowości 22 318 m³/d. Oczyszczalnię tę zaprojektowano przyjmując następujące wartości średnie stężeń zanieczyszczeń w ściekach surowych: BZT₅ – 295 gO₂/m³, azot ogólny – 47 gN/m³, fosfor ogólny – 11,8 gP/m³. Ścieki z Tczewa dopływają grawitacyjnie do przepompowni głównej „Czatkowy”, skąd są przepompowywane do oczyszczalni. Z terenów miasta, które nie mają sieci kanalizacyjnej ścieki dowożone są do oczyszczalni beczkowozami.

Schemat technologiczny miejskiej oczyszczalni ścieków w Tczewie zamieszczono na rysunku 2 [7].

Ścieki surowe kierowane są na kraty rzadkie (1), a następnie na kraty gęste (2) o prześwicie 6 mm. Skratki są odwadniane, gromadzone w kontenerach, dezynfekowane wapnem chlorowanym i wywożone na miejskie wysypisko odpadów. Z budynku krat ścieki odpływają do dwóch piaskowników wirowych (3). Piasek wypompowuje się z lejów osadowych piaskowników do śrubowego separatora piasku (16). Odwodniony piasek gromadzony jest w kontenerach i wywożony



Rys. 2. Schemat technologiczny oczyszczania ścieków i przeróbki osadów w oczyszczalni ścieków w Tczewie

następnie na miejskie wysypisko odpadów. Odcieki z separatora piasku kierowane są do zakładowej kanalizacji (13). Ścieki po oczyszczeniu mechanicznym wpływają do bloku komór oczyszczania biologicznego, składającego się z następujących elementów:

- komory beztlenowej (4),
- komory denitryfikacji (niedotlenionej) (5),
- komory nityfikacji (tlenowej) (6),
- trzech osadników wtórnych (7).

Wszystkie elementy stanowią jeden blok oczyszczania biologicznego podzielony na poszczególne komory ścianami żelbetowymi. Ścieki odpływające z piaskowników wprowadzone są do komory beztlenowej (4), a następnie do komory denitryfikacji (5). Stąd przepływają do komory nityfikacji (6), gdzie natleniane są przy pomocy zainstalowanych na dnie drobnopęcherzykowych dyfuzorów rurowych. W komorze nityfikacji przewidziano również, w celu wspomaganie defosfatacji biologicznej, dawkowanie koagulantu (PIX). Część ścieków wraz z osadem z komory nityfikacji zwracana jest

do komory denitryfikacji jako tzw. recyrkulat wewnętrzny. Pozostała część przepływa do koryta przelewowego, skąd dopływa do trzech osadników wtórnych (7). Ścieki oczyszczone odprowadzane są do Wisły. Część osadu, tzw. recyrkulat zewnętrzny, kierowany jest do komory beztlenowej (4), a osad nadmierny odprowadzany jest do dwóch komór tlenowej stabilizacji osadu (9). Ścieki własne z terenu oczyszczalni, tj. wody nadosadowe z komór tlenowej stabilizacji osadu, ścieki z instalacji odwadniania osadu, ścieki sanitarne i porządkowe z hal technologicznych, kierowane są do przepompowni ścieków własnych (13) i przepompowywane następnie do kanału przed kratą gęstą.

Metodyka badań

Prawidłowość pracy miejskiej oczyszczalni ścieków w Tczewie oraz skuteczność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków badano w okresie od listopada 1997 r. do maja 1998 r. Był to okres rozruchu oczyszczalni oraz wstępnej eksploatacji. Próbkę ścieków surowych i oczyszczonych pobierane były automatycznie za pomocą stacji poboru prób ASP-Station 2, co dwie godziny. Poszczególne parametry jakości ścieków oznaczono w próbkach proporcjonalnych średniodobowych, zgodnie z Polskimi Normami lub na spektrofotometrze DR-2000 z wykorzystaniem odczynników firmy HACH. BZT₅ oznaczono w Oxytopach firmy Merck. Ponadto w ściekach oznaczono ChZT (metoda 8000), BZT₅ (PN-84/C-04578), azot amonowy (metoda 8038), azot ogólny Kjeldahla (metoda 8075), azot azotanowy (metoda 8192), fosfor ogólny (metoda 8190), fosforany (metoda 8048), zawiesiny ogólne (PN-72/C-04559) oraz pH (PN-74/C-04540). Tlen rozpuszczony mierzono tlenomierzem Oxi Set firmy WTW.

Wyniki badań

Obciążenie oczyszczalni

W pierwszym etapie badań analizowano obciążenie hydrauliczne i obciążenie oczyszczalni ładunkiem zanieczyszczeń. Wyniki zebrano w tabeli 1. Wartości średnie obliczono korzystając z testu *t*-Studenta [8].

Ścieki dopływające do oczyszczalni w Tczewie stanowią mieszaninę ścieków bytowo-gospodarczych (65%) i przemysłowych (35%), w tym głównie z przemysłu rolno-spożywczego (drożdżownia, mleczarnia, zakłady mięsne) oraz w znacznie mniejszym stopniu z zakładów przemysłu metalowego [9]. Zmiana struktury zużycia wody w mieście, a w związku z tym także parametrów jakościowych ścieków spowodowała, że obecnie oczyszczalnia pracuje przy znacznie mniejszym obciążeniu hydraulicznym, lecz o znacznie większym obciążeniu ładunkiem zanieczyszczeń w stosunku do wartości przyjętych w projekcie (tab.1).

Tabela 1. Stężenia i ładunki wybranych zanieczyszczeń w dopływie ścieków do oczyszczalni

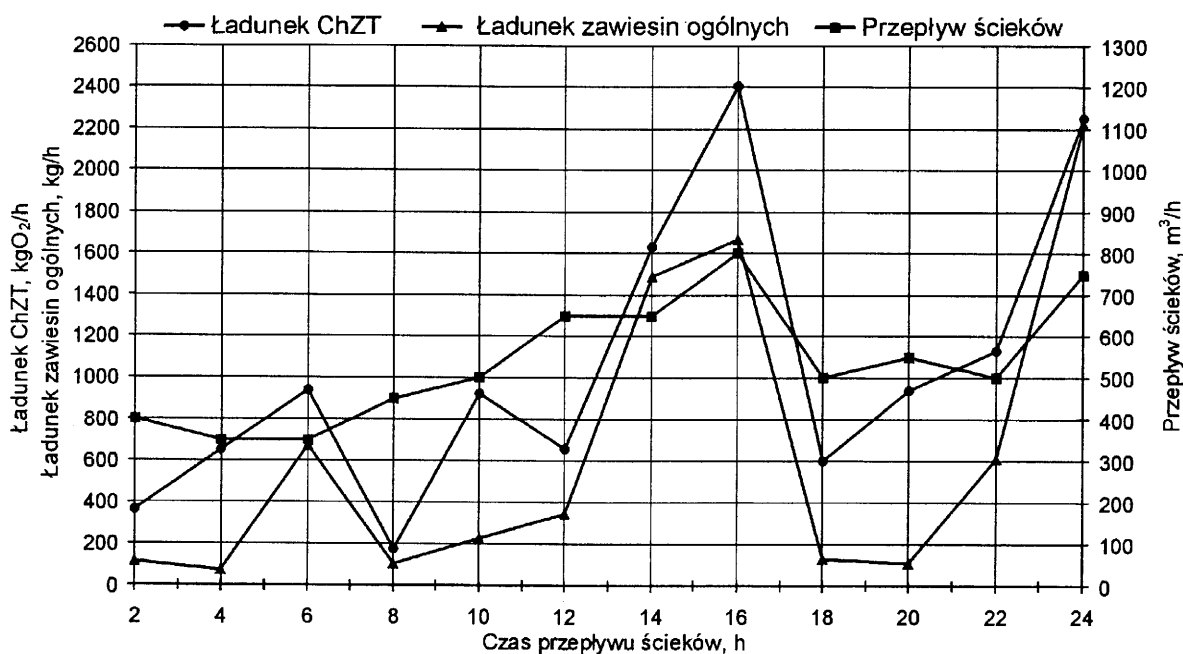
Parametr	Stężenie założone w projekcie	Stężenie rzeczywiste			Ładunek założony w projekcie	Ładunek rzeczywisty śr.
		min.	śr.	maks.		
ChZT, gO ₂ /m ³	600	1065	1299	1620	13500 kgO ₂ /d	16058 kgO ₂ /d
BZT ₅ , gO ₂ /m ³	295	600	937	1250	6638 kgO ₂ /d	11583 kgO ₂ /d
Azot ogólny, gN/m ³	47	52	76,2	103	1058 kgN/d	942 kgN/d
Azot amonowy, gN/m ³	30	38	59	96	675 kgN/d	729 kgN/d
Fosfor ogólny, gP/m ³	11,8	7,8	12,5	18,4	266 kgP/d	155 kgP/d
Zawiesiny ogólne, g/m ³	362	190	423	884	8142 kg/d	5229 kg/d
Natężenie przepływu, m ³ /d	22 500	1020	12 362	14 500	–	–

Średnie obciążenie hydrauliczne oczyszczalni przez siedem miesięcy (XI1997+V1998) wynosiło $12\,362\text{ m}^3/\text{d}$ i było praktycznie dwukrotnie mniejsze od wartości projektowej ($22\,500\text{ m}^3/\text{d}$) [10].

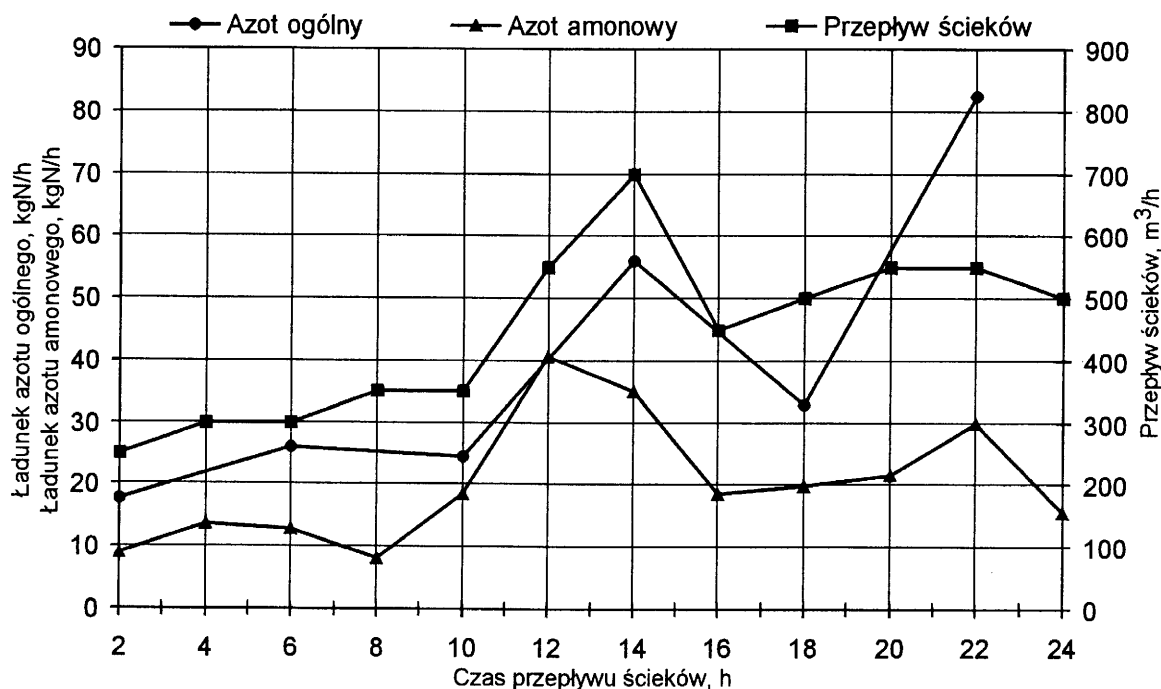
Wartości BZT₅ i ChZT ścieków dopływających do oczyszczalni były wysokie i wahały się w szerokich granicach, tj. $600+1250\text{ gO}_2/\text{m}^3$ dla BZT₅ i $1065+1620\text{ gO}_2/\text{m}^3$ dla ChZT (tab.1). Dobowe obciążenie oczyszczalni ścieków ładunkiem zanieczyszczeń wynosiło $11\,583\text{ kgO}_2/\text{d}$ dla BZT₅ oraz $16\,058\text{ kgO}_2/\text{d}$, dla ChZT, podczas gdy wartości projektowe wynosiły odpowiednio $6638\text{ kgO}_2/\text{d}$ i $13\,500\text{ kgO}_2/\text{d}$. Z kolei ładunek związków azotu był porównywalny z przewidywanym, a fosforu ogólnego i zawiesin – mniejszy. Tym niemniej wartości tych parametrów charakteryzowały się znaczną zmiennością na dopływie do oczyszczalni.

Wzrost ładunków ChZT i BZT₅ związany był z rozwojem miasta, a także ze wzrostem produkcji niektórych zakładów przemysłowych od 1995 r., kiedy to po raz ostatni przeprowadzono bilans ścieków odprowadzanych z miasta. Ponadto znaczna ilość związków organicznych doprowadzana jest do oczyszczalni wraz ze ściekami dowożonymi wozami asenizacyjnymi.

Ścieki surowe poddano analizie całodobowej (przez 3 d), umożliwiającą określenie nierównomierności dopływu ładunku poszczególnych zanieczyszczeń. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Stwierdzono, że największy ładunek zanieczyszczeń wprowadzany był do oczyszczalni między godzinami 11 i 16 oraz 21 i 24. Wpływ na nierównomierność dopływu zanieczyszczeń miały ścieki dowożone wozami asenizacyjnymi. Ich wzmożony ruch obserwowano do



Rys. 3. Dobowy rozkład ładunków ChZT i zawiesin w ściekach surowych



Rys. 4. Dobowy rozkład ładunków azotu ogólnego i amonowego w ściekach surowych

godziny 16. Ścieki te były z reguły zagnię i niosły ze sobą znaczny ładunek związków organicznych. Wzrost ilości zanieczyszczeń w ściekach surowych w godzinach nocnych był wynikiem spustu wód nadosadowych z komory tlenowej stabilizacji osadu, a także odcieków z wirówek. Wody te zawierały szczególnie dużo zawiesin i azotu amonowego. Ustalona podczas eksploatacji oczyszczalni rzeczywista charakterystyka ścieków surowych odpowiadała jakości ścieków przemysłowo-komunalnych. Średnie stężenia zanieczyszczeń zawarte w ściekach surowych, określone dla siedmiu miesięcy pracy oczyszczalni, były wyższe lub zbliżone do wartości projektowych.

Skuteczność oczyszczania ścieków

Wszystkie zabiegi i działania dotyczące wyboru odpowiedniej technologii oczyszczania ścieków, budowy oczyszczalni i jej prawidłowej eksploatacji miały na celu uzyskanie jak najlepszych efektów oczyszczania ścieków. Ponieważ oczyszczalnia ścieków w Tczewie odprowadza ścieki oczyszczone do Wisły, której zanieczyszczenia stanowią poważne zagrożenie dla biocenozy Zatoki Gdańskiej, dlatego też niezbędny jest jak najwyższy stopień usuwania substancji biogennych ze ścieków.

Pomimo zmiany struktury zużycia wody w mieście, a tym samym parametrów jakościowych ścieków, w czasie siedmioletniej eksploatacji oczyszczalni nie zaobserwowano istotnych nieprawidłowości pracy poszczególnych stopni oczyszczania. Procesy biologicznej defosfatacji z jednocześnie wysoko sprawnym usuwaniem związków węgla i azotu przebiegały bez zakłóceń. Zmiany stężeń związków biogennych podczas przepływu ścieków przez kolejne komory bloku biologicznego oczyszczania przedstawiono na rysunku 5.

W tabeli 2 zamieszczono wybrane parametry pracy oczyszczalni ścieków. Problemem, który pojawił się podczas pierwszych miesięcy pracy oczyszczalni, był zbyt duży przyrost osadu czynnego. Jego stężenie w układzie wynosiło średnio $6,7 \text{ kgsm/m}^3$, jednakże okresowo stężenie to przekraczało 9 kgsm/m^3 . Pomiar stężenia tlenu w komorze nityfikacji wykazał, że w zbiorniku tym często panowały warunki niedotlenienia. Stan ten uległ poprawie, gdy zaczęto odprowadzać większą ilość osadu nadmiernego z osadników wtórnych do komór stabilizacji tlenowej.

Tabela 2. Wartości wybranych parametrów pracy oczyszczalni ścieków w Tczewie

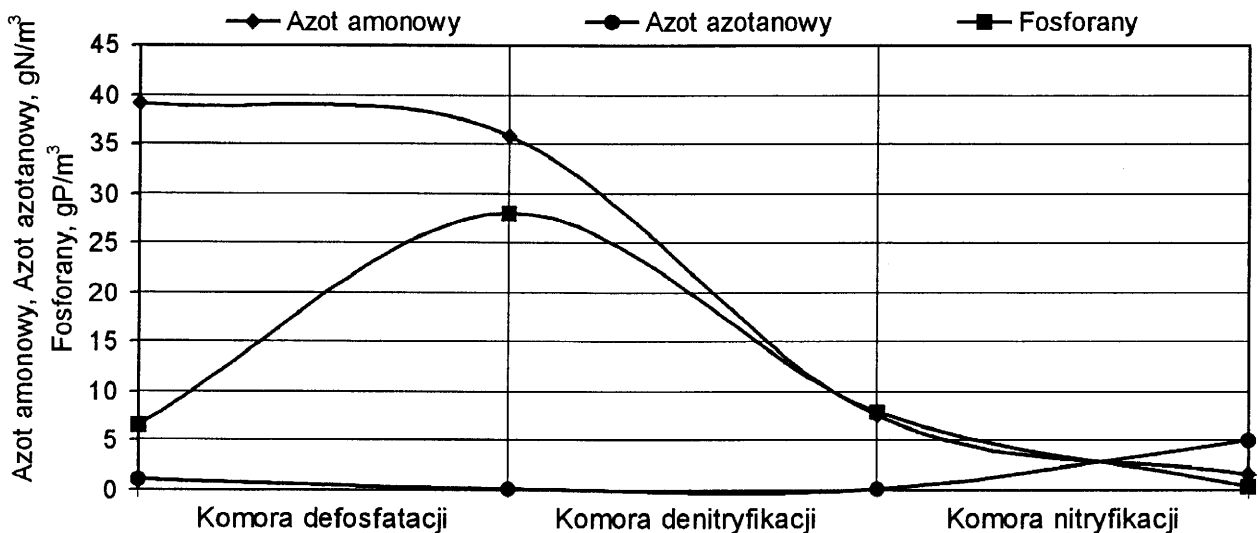
Parametr	Wartość projektowana	Wartość rzeczywista		
		min.	śr.	maks.
Obciążenie osadu ład. BZT ₅ , $\text{kgO}_2/\text{kgsm-d}$	0,05	0,02	0,10	0,21
Obciążenie komory ład. BZT ₅ , $\text{kgO}_2/\text{m}^3\text{d}$	0,2	0,09	0,48	1,02
Stężenie osadu czynnego, kgsm/m^3	4,0-6,0	6,0	6,7	9,3
Indeks osadu czynnego, cm^3/g	50-150	86	124	163
Stężenie tlenu w komorze nityfikacji, gO_2/m^3	1,5-2,0	0,4	1,0	2,4
Wiek osadu, d	16,6	12	16	18

Zastosowana technologia oczyszczania ścieków pozwoliła na skuteczne usuwanie zanieczyszczeń organicznych (tab.3). Średnie wartości BZT₅ i ChZT w odpływie wynosiły odpowiednio $29 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ i $110 \text{ gO}_2/\text{m}^3$. Niestety zawartość zawiesin w ściekach oczyszczonych przekraczała dopuszczalną wartość 50 g/m^3 półtorakrotnie. Wynikało to z wadliwej pracy zgarniaczy w osadnikach wtórnych. Obecnie prowadzone są prace nad rozwiązaniem tego problemu. Uzyskano natomiast zadowalający stopień usunięcia związków biogennych.

W ściekach oczyszczonych stężenie azotu ogólnego wynosiło 6 gN/m^3 , azotu amonowego $2,5 \text{ gN/m}^3$, natomiast stężenie fosforu (bez wspomagania chemicznego) wynosiło średnio $2,3 \text{ gP/m}^3$ (średnia ze stycznia 1998 r. kształtowała się na poziomie $0,72 \text{ gP/m}^3$).

Tabela 3. Efekty oczyszczania ścieków w oczyszczalni w Tczewie

Parametr	Wartość wg pozwolenia wodnoprawnego	Wartość rzeczywista		
		min.	śr.	maks.
ChZT, gO_2/m^3	150	83	133	226
BZT ₅ , gO_2/m^3	30	15	29	58
Fosfor ogólny, gP/m^3	5,0	0,5	2,3	4,5
Azot ogólny, gN/m^3	30	4,5	7,9	14,0
Azot amonowy, gN/m^3	6	1,3	2,5	5,0
Zawiesiny ogólne, g/m^3	50	26	71	155



Rys. 5. Zmiany stężeń związków biogennych w poszczególnych komorach oczyszczania biologicznego

Za kryterium oceny sprawności oczyszczalni ścieków przyjęto stopień obniżenia wartości poszczególnych zanieczyszczeń. Za sprawne uznano te oczyszczalnie, dla których procentowa obniżka zanieczyszczeń osiągnie następujące wartości:

- związki węgla: >95%,
- związki fosforu: >80%,
- związki azotu: >80%.

Uzyskany stopień obniżenia poszczególnych zanieczyszczeń w oczyszczalni w Tczewie był wysoki i wyniósł:

- BZT₅: 96 %,
- ChZT: 92%,
- azot ogólny: 92 %,
- azot amonowy: 96 %,
- fosfor ogólny: 80 %,
- zawiesiny ogólne: 83 %.

Zadawalającą sprawność oczyszczalni w Tczewie uzyskano przy większym obciążeniu osadu czynnego ładunkiem związków organicznych od wartości projektowanej. Problemem, z jakim obecnie boryka się załoga oczyszczalni ścieków w Tczewie, jest niedostateczna skuteczność zagęszczania osadów ściekowych, co wpływa w istotny sposób na dalsze etapy przeróbki i zagospodarowania osadów. Obecnie prowadzone są poszukiwania możliwości kompleksowego rozwiązania tego problemu. Oczyszczalnia ścieków w Tczewie nie jest jedyną oczyszczalnią, która ma problem z racjonalnym i kompleksowym rozwiązaniem gospodarki osadowej. Budowa wielu oczyszczalni i konieczność zwiększenia stopnia oczyszczania ścieków spowodowała znaczny i systematyczny wzrost ilości osadów na terenie całego kraju. W związku z tym coraz większe znaczenie ma wybór właściwego sposobu unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów, tj. najkorzystniejszego w warunkach danej oczyszczalni, najbardziej ekonomicznego i spełniającego równocześnie wymagania ochrony środowiska [6].

Podsumowanie

Analiza zmian jakości ścieków surowych wykazała znaczną nierównomierność ładunku poszczególnych zanieczyszczeń dopływających na oczyszczalnię ścieków miejskich w Tczewie. Podczas siedmiomiesięcznej eksploatacji tej oczyszczalni średnie obciążenie hydrauliczne było prawie dwukrotnie mniejsze od projektowanego, a obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń zbliżone lub większe od

nominalnego. Przeprowadzone badania wykazały prawidłową pracę oczyszczalni oraz zadowalającą skuteczność usuwania poszczególnych zanieczyszczeń, pomimo zmiany jakości ścieków surowych.

Skuteczność usuwania związków organicznych, wyrażonych jako BZT₅ i ChZT, przekraczała 90%, a wartości tych wskaźników w odpływie z oczyszczalni wynosiły odpowiednio 29 gO₂/m³ i 110 gO₂/m³. Efekty usuwania związków biogennych ze ścieków były wysokie, pozwalając na uzyskanie w ściekach oczyszczonych średnio 2,3 gP/m³ fosforu ogólnego, 7,9 gN/m³ azotu ogólnego i 2,5 gN/m³ azotu amonowego. Uzyskany na oczyszczalni ścieków w Tczewie zadowalający stopień usuwania związków fosforu ze ścieków pozwala na rezygnację do 2000 r. ze stosowania chemikaliów do wspomagania tego procesu, dzięki czemu można będzie uniknąć powstania dodatkowej ilości osadów ściekowych.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi z dnia 5 listopada 1991 r. (Dz.U. nr 116, poz. 503).
2. J. KURBIEL, K. ŻEGLIN: Technologie wysokoefektywnego, biologicznego usuwania azotu i fosforu wdrażane w Polsce. Mat. konf. „Usuwanie związków biogennych ze ścieków”, LEM, Kraków 1997, ss. 16-1–16-14.
3. Eksploatacja oczyszczalni ścieków. Mat. sem., Kielce 1995.
4. J. L. BARNARD: Biologiczne usuwanie fosforu. Mat. konf. „Usuwanie związków biogennych ze ścieków”, LEM, Kraków 1997, ss. 4-1–4-18.
5. Praca zbiorowa: Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. PZITS, Poznań 1997.
6. J. A. OLESZKIEWICZ: Zasady gospodarki osadem. Mat. sem. szkol. „Podstawy oraz praktyka przeróbki i zagospodarowania osadów”, LEM, Kraków 1998, ss. 3-1–3-18.
7. Budowa i wyposażenie oczyszczalni ścieków w Tczewie. Urząd Miejski, Tczew 1997 (praca nie publikowana).
8. Praca zbiorowa: Oczyszczanie ścieków miejskich. Arkady, Warszawa 1972.
9. Bilans ścieków miejskich w Tczewie z 1995 r. (praca nie publikowana).
10. Wytyczne rozruchu oczyszczalni ścieków w Tczewie (praca nie publikowana).

Analyzing the Efficiency of the Sewage Treatment Plant for the Municipality of Tczew

The object in question (which serves the needs of a municipality with about 70,000 inhabitants) has been designed to provide mechanical and biological treatment. It makes use of a three-stage system for removing organic substances and nutrients via an anaerobic tank, a denitrification tank and a nitrification tank. The reported study was started seven months after the plant had been set in operation. The measured results showed that the organic matter load received by the plant was higher than the one anticipated by the designer. But this increase was

found to have little effect on the operation of the plant itself. Comparison of the quality of untreated and treated water revealed that the removal efficiency varied from 880 to 90% – both for organic compounds and nutrients. BOD₅, COD, total phosphorus and total nitrogen in treated samples averaged 29 gO₂/m³, 110 gO₂/m³, 2.3 gP/m³ and 7.9 gN/m³, respectively. The investigations showed that, till 2000, there would be no need to aid the treatment process by chemicals.