

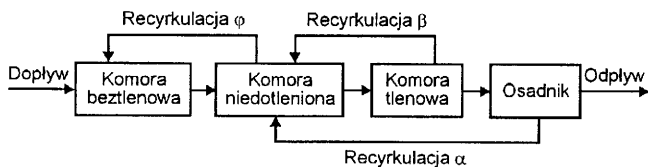
Irena Bojanowska, Danuta Downar, Ewa M. Siedlecka, Elżbieta Ropel

Ocena skuteczności miejskiej oczyszczalni ścieków w Kartuzach

Miejska oczyszczalnia ścieków w Kartuzach odprowadza ścieki oczyszczone (poprzez Klasztorną Strugę) do Raduni, z której zasobów wodnych korzysta Gdańsk. Kiedy zdecydowano o zlokalizowaniu ujęcia wody dla Gdańska w dolnym biegu Raduni, w miejscowości Straszyn, rozpoczęto w 1970 roku budowę oczyszczalni ścieków w Kartuzach. Oczyszczalnia położona jest w północnej części Kartuz, w odległości około 2,5 km od centrum miasta. Początkowo była to oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna, której część biologiczną oparto na klasycznej metodzie osadu czynnego. Technologia ta pozwalała jedynie na obniżenie zawartości związków organicznych w ściekach, natomiast biogeny były odprowadzane do odbiornika w postaci azotanów i ortofosforanów.

Zarówno fakt, że odbiornikiem ścieków oczyszczonych była (pośrednio) Radunia, jak i wydane w 1991 r. rozporządzenie zaostrzające warunki odprowadzania ścieków do wód i ziemi [1], zmusiły gminę do rozbudowy i modernizacji istniejącej oczyszczalni. W 1997 r. oddano do eksploatacji zmodernizowaną oczyszczalnię ścieków, której część biologiczna oparta jest na tzw. procesie UCT (*University of Cape Town*).

Popularnym systemem oczyszczania ścieków w Polsce był do tej pory trzystopniowy system *Bardenpho*, w oparciu o który w 1996 r. pracowało około 10 oczyszczalni [2]. Obecnie zarówno duże oczyszczalnie (np. Gdańsk–Wschód o przepustowości 150 tys. m³/d), jak i małe obiekty (np. oczyszczalnia w Kartuzach o przepustowości 7,6 tys. m³/d), modernizuje się i rozbudowuje z zastosowaniem procesu UCT, który do tej pory był rzadko stosowany w Polsce [3]. Podstawowy ciąg technologiczny UCT składa się z komór beztlenowej, niedotlenionej oraz tlenowej, a wyróżnia go sposób recyrkulacji ścieków i osadu [4,5]. Wprowadzono tu recyrkulację wewnętrzną pomiędzy komorą tlenową i niedotlenioną (recyrkulacja β) oraz pomiędzy komorą niedotlenioną i beztlenową (recyrkulacja ϕ), a także recyrkulację zewnętrzną pomiędzy osadnikiem wtórnym i komorą niedotlenioną (recyrkulacja α). Schemat technologiczny procesu UCT przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat procesu UCT do równoczesnego biologicznego usuwania związków węgla, azotu i fosforu ze ścieków

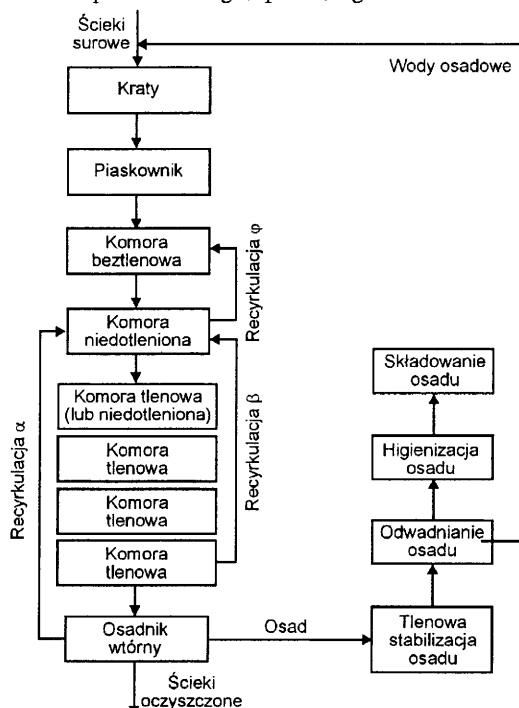
Zastosowanie recyrkulacji β pozwala na uniezależnienie pracy komory beztlenowej od stężenia azotanów, a jednocześnie – dzięki możliwości sterowania recyrkulacją zewnętrzną i wewnętrzną – możliwe jest utrzymanie w komorze beztlenowej optymalnych warunków do usuwania fosforu.

Celem niniejszej pracy była analiza skuteczności oczyszczania ścieków po dwóch latach eksploatacji oczyszczalni w Kartuzach.

Technologia oczyszczania ścieków

Oczyszczalnia w Kartuzach przyjmuje głównie ścieki bytowo-gospodarcze oraz ścieki z przemysłu rolno-spożywcze z terenu miasta (w znacznej części kanalizacja ogólnospławna) i najbliższych okolic. Jej projektowana przepustowość wynosiła 7600 m³/d (bez wód opadowych). Schemat technologiczny miejskiej oczyszczalni ścieków w Kartuzach przedstawiono na rysunku 2.

Ścieki surowe kierowane są na kraty schodkowe o prześwicie 3 mm, skąd skratki transportuje się przenośnikiem spiralnym do prasy hydrauliczno-tłokowej, w której są zagęszczane, odwadniane i dezynfekowane, a następnie wywozi na wysypisko odpadów. Ścieki po kratkach przepływają do piaskownika napowietrzanego, pełniącego równocześnie rolę



Rys. 2. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Kartuzach

Dr I. Bojanowska, mgr D. Downar, dr E. M. Siedlecka: Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Zakład Inżynierii Środowiska, ul. J. Sobieskiego 18/19, 80-952 Gdańsk

Mgr E. Ropel: Kartuskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji sp. z o.o., ul. Mściwoja II 4, 83-300 Kartuzy

odtłuszczacza. Piasek wypompowuje się z leja osadowego do separatora piasku, po czym wywozi na miejskie wysypisko odpadów. Odcieki z separatora kierowane są do piaskownika. Ścieki oczyszczone mechanicznie dopływają do części biologicznej oczyszczalni składającej się z komory beztlenowej, komory niedotlenionej, czterech komór tlenowych (w tym jedna pracująca przemiennie jako komora niedotleniona lub tlenowa) oraz osadników wtórnych (rys.2).

Komory beztlenowa i niedotleniona stanowią jeden blok przedzielony ścianą na dwie części. W komorach tych zastosowano recyrkulację wewnętrzną ścieków (recyrkulacja ϕ) z komory niedotlenionej do beztlenowej. Mieszadła zamocowane centralnie zapewniają mieszanie ścieków i utrzymanie osadu czynnego w zawieszeniu. Cztery komory tlenowe stanowią również jeden blok, z możliwością wyłączenia jednej z komór z eksploatacji bez wpływu na efekty oczyszczania. Ścieki w komorach tlenowych napowietrzane są przy pomocy zainstalowanych na dnie membranowych dyfuzorów drobno-pęcherzykowych. Część ścieków zawracana jest z komory tlenowej do komory niedotlenionej (recyrkulacja β), a część dopływa do osadników wtórnych. Osad powrotny kierowany jest do komory niedotlenionej (recyrkulacja α), a osad nadmierny do stabilizacji tlenowej osadu. Ścieki oczyszczone odprowadzane są do Klasztornej Strugi.

Metodyka badań

Skuteczność pracy oczyszczalni ścieków w Kartuzach oceniono na podstawie wartości parametrów określających zawartość związków organicznych i biogennych (BZT₅, ChZT, azot całkowity, azot amonowy, azot azotanowy, fosfor ogólny, zawiesiny ogólne), które oznaczono w ściekach surowych i oczyszczonych. Badania przeprowadzono w okresie od listopada 1998 r. do września 1999 r. Probki ścieków surowych i oczyszczonych pobierane były automatycznie. Poszczególne parametry jakości ścieków oznaczono w próbkach proporcjonalnych średniodobowych. BZT₅ oznaczono aparatem BODTRAK firmy HACH, tlen rozpuszczony mierzono tlenomierzem OXI SET firmy WTW, zawiesiny ogólne oznaczono zgodnie z PN-72/C-04559, natomiast ChZT, azot amonowy, azot całkowity, azot azotanowy, fosforany rozpuszczone i fosfor ogólny oznaczono kolorymetrycznie z wykorzystaniem odczynników firmy HACH. Charakterystykę ścieków surowych zawiera tabela 1.

Tabela 1. Charakterystyka ścieków surowych (wartości średnie z 17 próbek z danego miesiąca)

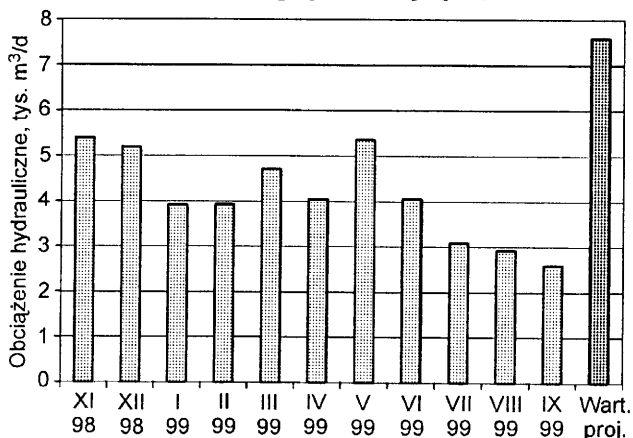
Miesiąc	Temperatura °C	pH	BZT ₅ gO ₂ /m ³	ChZT gO ₂ /m ³	Azot całkowity gN/m ³	Azot amonowy gN/m ³	Azot azotanowy gN/m ³	Fosfor ogólny gP/m ³	Zawiesiny ogólne g/m ³
XI 1998	9,1	7,7	nb.	988	nb.	53,9	0,40	11,2	312
XII 1998	8,2	7,7	291	695	nb.	55,0	0,30	11,2	281
I 1999	7,9	7,9	nb.	527	nb.	35,5	0,40	8,6	289
II 1999	6,6	7,7	nb.	730	nb.	34,8	0,48	10,0	255
III 1999	6,6	7,8	296	810	nb.	35,2	0,20	11,2	248
IV 1999	10,3	7,7	318	672	nb.	34,0	0,12	11,4	224
V 1999	10,8	7,9	442	741	nb.	33,4	0,20	11,4	183
VI 1999	12,8	8,3	228	404	nb.	36,1	0,63	6,4	98
VII 1999	18,7	7,7	395	732	57,3	37,3	0,30	11,4	147
VIII 1999	16,8	7,7	544	703	64,0	45,2	2,61	12,1	248
IX 1999	16,1	7,8	830	962	89,0	80,2	1,70	15,8	438

Omówienie wyników badań

Obciążenie oczyszczalni

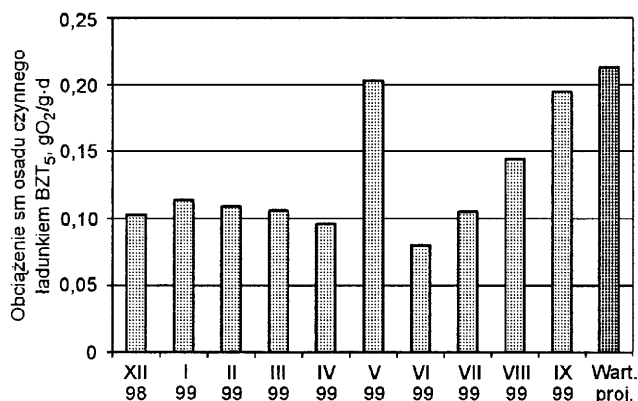
Ścieki dopływające do oczyszczalni są mieszaniną ścieków bytowo-gospodarczych (85%) i przemysłowych (15%), przy czym oczyszczalnia pracuje przy znacznie mniejszym obciążeniu hydraulicznym i obciążeniu ładunkiem zanieczyszczeń, w stosunku do wartości przyjętych w projekcie. Ilości ścieków dopływających do oczyszczalni oraz obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń organicznych (BZT₅) przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

Średnie dobowe obciążenie hydrauliczne wynosiło 4109 m³/d i było praktycznie dwukrotnie mniejsze od wartości założonej w projekcie (7600 m³/d bez wód opadowych). Najmniej ścieków – 2587 m³/d – dopływało do oczyszczalni we wrześniu 1999 r., co stanowiło 34% wartości projektowanej (rys.3).



Rys. 3. Obciążenie hydrauliczne oczyszczalni ścieków w Kartuzach w okresie badań

Wartość projektowana obciążenia suchej masy osadu czynnego ładunkiem BZT₅ wynosiła 0,213 kgO₂/kg-d, podczas gdy średnie obciążenie w badanym okresie stanowiło 59% tej wartości (0,126 kgO₂/kg-d)(rys.4). Mniejsze obciążenie osadu czynnego ładunkiem związków organicznych wiąże się z mniejszym przyrostem osadu czynnego, a co za tym idzie – z wydłużeniem wieku osadu (tab.2). Zaobserwowano również nierównomierność obciążenia osadu czynnego ładunkiem BZT₅, wynikającą prawdopodobnie z dowożenia ścieków wozami asenizacyjnymi. Najwyższą wartość obciążenia suchej masy osadu czynnego ładunkiem BZT₅ odnotowano w maju 1999 r. (0,203 kgO₂/kg-d), podczas gdy w następnym miesiącu – najniższą (0,080 kgO₂/kg-d).



Rys. 4. Obciążenie suchej masy osadu czynnego ładunkiem BZT₅ w reaktorach biologicznych oczyszczalni ścieków w Kartuzach w okresie badań

Tabela 2. Wartości wybranych parametrów pracy oczyszczalni ścieków w Kartuzach

Parametr, jednostka	Wartość projektowana	Wartość rzeczywista		
		min.	śr.	maks.
Obciążenie suchej masy osadu czynnego ładunkiem BZT ₅ , kgO ₂ /kg d	0,213	0,080	0,126	0,203
Obciążenie komory ładunkiem BZT ₅ , kgO ₂ /m ³ ·d	0,622	0,205	0,352	0,526
Stężenie suchej masy osadu czynnego, kg/m ³	4,50	3,77	4,45	5,46
Indeks osadu czynnego, cm ³ /g	–	43,7	48,4	59,3
Wiek osadu, d	10,3*	7,5	12,8	19,7

* dla temperatury 11 °C

Zmienność zawartości substancji organicznych i biogenych dopływających w ciągu roku do oczyszczalni, wyznaczonych jako średnie miesięczne wartości BZT₅, ChZT, zawiesin ogólnych, azotu amonowego i fosforu ogólnego, przedstawiono w tabeli 1.

W czerwcu 1999 r. odnotowano najniższą średnią miesięczną wartość BZT₅ wynoszącą 228 gO₂/m³, natomiast najwyższą wartość BZT₅, wynoszącą 830 gO₂/m³, stwierdzono we wrześniu 1999 r. Podobnie wyglądał rozkład dobowych ładunków zanieczyszczeń BZT₅, który mieścił się w szerokiach granicach od 925,7 kgO₂/d do 2147,2 kgO₂/d. Z kolei najniższe i najwyższe wartości ChZT i zawiesin ogólnych w badanym okresie wynosiły odpowiednio 404 gO₂/m³ i 988 gO₂/m³ oraz 98 g/m³ i 438 g/m³. Rozpiętość dobowych ładunków ChZT i zawiesin ogólnych wynosiła odpowiednio 1640,2 kgO₂/d i 5226,3 kgO₂/d oraz 399 kg/d i 1682 kg/d. Zaobserwowano mniejsze wahania stężeń w wypadku substancji biogenych, tj. azotu amonowego od 33,4 gN/m³ w maju do 80,2 gN/m³ we wrześniu 1999 r. oraz fosforu ogólnego od 6,4 gP/m³ w czerwcu do 15,8 gP/m³ we wrześniu 1999 r. Pomimo zmiennej jakości ścieków na dopływie do oczyszczalni, parametry ścieków oczyszczonych nie odbiegały od wartości założonych w pozwoleniu wodnoprawnym (tab.1 i 3).

Skuteczność oczyszczania ścieków

Pozwolenie wodnoprawne z 28 grudnia 1993 r., wydane przez Wydział Ochrony Środowiska Urzędu Wojewódzkiego w Gdańsku i obowiązujące do 31 grudnia 2000 r., nałożyło na oczyszczalnię w Kartuzach obowiązek odprowadzania ścieków o następującej jakości:

– BZT₅ ≤ 15 gO₂/m³,

– ChZT ≤ 75 gO₂/m³,

– N_{og} ≤ 15 gN/m³ przy temperaturze ścieków > 15 °C,

– P_{og} ≤ 1,0 gP/m³,

– zawiesiny ogólne ≤ 25 g/m³,

przy założeniu:

– Q_{d max} = 9100 m³/d bez opadów i 11400 m³/d przy intensywnych opadach,

– Q_{d śr} = 7600 m³/d bez opadów i 9900 m³/d przy intensywnych opadach,

– Q_{h śr} = 317 m³/h bez opadów i 413 m³/h przy intensywnych opadach,

– Q_{h max} = 1000 m³/h bez względu na ilość opadów.

Z uwagi na odprowadzanie ścieków pośrednio do Raduni, która jest źródłem wody dla Gdańska, normy obowiązujące w tym pozwoleniu są zaostrzone w stosunku do norm zamieszczonych w rozporządzeniu [1].

W tabeli 2 przedstawiono wybrane parametry pracy reaktorów biologicznych oczyszczalni ścieków. Obciążenie suchej masy osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń w reaktorach biologicznych wahało się od 0,080 kgO₂/kg·d do 0,203 kgO₂/kg·d. Zmiany obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń związane były ze zmianą wieku osadu. Im mniejsze było obciążenie osadu ładunkiem związków organicznych, tym mniejszy był przyrost osadu i dłuższy wiek osadu. Indeks osadu wskazywał na dobre właściwości sedymentacyjne osadu czynnego.

W tabeli 3 zamieszczono średnie miesięczne wartości stężeń parametrów charakteryzujących ścieki oczyszczone. Stwierdzono usunięcie łatwo biodegradowalnych związków organicznych (BZT₅) w 97,6+99,9%, a wartości tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych wynosiły 1,1+7,48 gO₂/m³, natomiast skuteczność usuwania związków organicznych oznaczonych przez ChZT wynosiła 88,7+97,4%, a wartość tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych – 25,0+56,3 gO₂/m³. Skuteczność usuwania związków biogenych była również bardzo wysoka, tj. dla fosforu ogólnego wynosiła 93,4+98,8%, przy stężeniu fosforu w ściekach oczyszczonych 0,16+0,74 gP/m³, natomiast dla azotu całkowitego (suma azotu amonowego, azotynowego, azotanowego i organicznego) – około 82%, przy czym stężenia poszczególnych form azotu utrzymywały się poniżej wartości określonych w rozporządzeniu [1]. Stężenie azotu całkowitego w odpływie zazwyczaj spełniało wymogi Dyrektywy Unii Europejskiej [7], jedynie w lutym, marcu i kwietniu 1999 r. stężenia te były nieznacznie wyższe od 15 gN/m³ (tab.3).

Jako kryterium oceny sprawności oczyszczalni ścieków przyjmuje się stopień obniżenia wartości stężeń zanieczyszczeń [5,6]. Za sprawne uznaje się te oczyszczalnie, dla których stopień obniżenia stężeń zanieczyszczeń osiąga następujące wartości [7]:

– związki węgla >95%,

– związki fosforu i azotu >80%.

Stopień usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalni ścieków w Kartuzach był bardzo wysoki i wynosił średnio:

– dla związków organicznych >93,3% (BZT₅ i ChZT),

– dla związków azotu >82%,

– dla związków fosforu >96,5%.

Wysoki stopień usuwania zanieczyszczeń organicznych i biogenych w procesie oczyszczania ścieków w oczyszczalni w Kartuzach pozwala uznać zastosowaną tam technologię UCT, pracującą w obecnych warunkach (niepełne obciążenie), jako wysokoefektywną.

Tabela 3. Charakterystyka ścieków oczyszczonych (wartości średnie z 17 próbek z danego miesiąca)

Miesiąc	Temperatura °C	pH	BZT ₅ gO ₂ /m ³	ChZT gO ₂ /m ³	Azot całkowity gN/m ³	Azot amonowy gN/m ³	Azot azotanowy gN/m ³	Fosfor ogólny gP/m ³	Zawiesiny ogólne g/m ³
XI 1998	8,9	6,9	2,1	56,3	14,3	0,36	8,2	0,53	14
XII 1998	7,9	7,0	1,6	44,4	n.b.	0,32	9,5	0,74	12
I 1999	7,6	7,0	4,2	45,2	14,3	0,29	7,3	0,33	9
II 1999	6,7	7,0	nb.	46,0	18,8	0,29	8,6	0,51	10
III 1999	6,9	7,0	4,8	56,0	15,4	0,35	6,9	0,34	18
IV 1999	10,7	7,1	1,8	41,2	16,0	1,07	6,9	0,25	12
V 1999	12,3	7,0	7,5	49,1	13,5	0,83	8,4	0,21	11
VI 1999	16,5	7,1	5,5	45,7	11,4	0,32	6,4	0,16	6
VII 1999	19,7	7,3	2,9	44,8	10,4	0,38	5,3	0,47	6
VIII 1999	19,1	7,3	5,1	38,2	10,5	0,34	6,9	0,37	9
IX 1999	17,9	7,3	1,1	25,0	11,0	0,36	5,2	0,19	7

Tabela 4. Charakterystyka osadów ustabilizowanych

Parametr, jednostka	Wartość	Wartość dopuszczalna wg [7]
pH (w H ₂ O), –	6,5	–
Sucha masa, %	19,2	–
Substancje organiczne, %	57,9	–
Azot ogólny, %	3,9	–
Fosfor ogólny, %	2,9	–
Potas, %	0,2	–
Wapń, %	1,5	–
Magnez, %	0,6	–
Kadm, mgCd/kg sm	1,4	10
Ołów, mgPb/kg sm	30,5	500
Rtęć, mgHg/kg sm	0,1	5
Cynk, mgZn/kg sm	583,9	2500
Miedź, mgCu/kg sm	87,6	800
Chrom, mgCr/kg sm	7,7	500
Nikiel, mgNi/kg sm	13,1	100
Miano coli typu fekalnego	0,001	–
Salmonella	brak	brak
Jaja Ascaris, Trichocephalus, Toxocara	brak	<10

Przeróbka osadów

Osad z osadników wtórnych poddawany jest stabilizacji tlenowej bez wstępnego zagęszczania. Stabilizacja tlenowa odbywa się w dwóch komorach, w których osad jest mieszany i napowietrzany dyfuzorami membranowymi. Ustabilizowany osad o uwodnieniu 96+98% jest odwadniany na wirówkach NOXON DC-20.

Osady z biologicznego oczyszczania ścieków zawierają glebotwórcze substancje organiczne i składniki pokarmowe dla roślin, takie jak potas, fosfor, magnez i wapń. Czynnikiem, który

ogranicza możliwość przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych jest nadmierna zawartość metali ciężkich, obecność bakterii chorobotwórczych i jaj pasożytów oraz niewłaściwa konsystencja [8]. W świetle rozporządzenia w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe [9], skład (tab.4) oraz konsystencja analizowanych osadów pozwala na ich przyrodnicze zagospodarowanie. Obecnie część osadów z oczyszczalni ścieków w Kartuzach jest wykorzystywana do rekultywacji terenu oczyszczalni, a pozostałe wywozi się na wysypisko odpadów.

Badania omówione w niniejszym artykule zostały częściowo sfinansowane z DS/8270-4-0093-0.

LITERATURA

1. Rozporządzenie MOŚZNiL z 05-11-91. Dz. U. nr. 116, poz. 503.
2. Praca zbiorowa: Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. PZITS, Poznań 1997.
3. Mat. konf. „Eksploracja systemów wodociągowo-kanalizacyjnych – doświadczenia krajowe i zagraniczne”. Gdańsk 1998, ss. 173–183.
4. A. L. KOWAL [Red.]: Odnowa wody. Podstawy teoretyczne procesów. Oficyna Wyd. PWR., Wrocław 1996, ss. 231–238.
5. J. BEVER, A. STEIN, H. TEICHMANN: Zaawansowane metody oczyszczania ścieków. Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1997.
6. A. ROSTKOWSKA, E. SIEDLECKA: Ocena skuteczności miejskiej oczyszczalni ścieków w Tczewie: Ochrona Środowiska, 1999, nr 1(72), ss. 13–17.
7. Dyrektywa 91/271/EEC.
8. J. A. OLESZKIEWICZ: Mat. sem. szkol. „Podstawy oraz praktyka przeróbki i zagospodarowania osadów”. LEM, Kraków 1998, ss. 4-1,4-20.
9. Rozporządzenie MOŚZNiL z 11-08-99. Dz. U. nr 72, poz. 813.

Assessing the Efficiency of the Sewage Treatment Plant for the Municipality of Kartuzy

The object in question has been designed to provide mechanical and biological treatment in the UCT process in Kartuzy. The measured results showed that the hydraulic load received by the plant and the organic load received by the activated sludge in the bioreactors of the plant were lower than those anticipated by the designer. But those decreases were found to have little

effect on the quality of the effluent. Comparison of the quality of untreated and treated water revealed that the removal efficiency varied from 82% to 96.5% – both for organic compounds and nutrients. BOD₅, COD, total phosphorus and total nitrogen in treated samples varied from 1.1 to 7.5 gO₂/m³, 25.0 to 56.3 gO₂/m³, 0.16 to 0.74 gP/m³, and 10.4 to 18.8 gN/m³, respectively.