

Możliwość wykorzystania ekosystemu bagiennego do usuwania zanieczyszczeń

Abstract

Possibilities of using wetland to remove pollutants. During last the few years in Poland a new technology of water and sewage purification is applied. It is based on natural or artificial wetlands. The technology can be included into biological methods of purification in which main role play plants of wetland ecosystems. The plants are supposed to create a friendly environment for heterotrophic microorganisms.

Constructed wetlands can be built as soil filters and/or ponds, securing removal of pollutants from point sources and as a buffer zones safeguarding waters from inflowing pollution from surface sources. In Poland currently some thirty objects of this type are development.

Key words: wastewater treatment, wetland, willow, free water surface, vegetated submerged bed.

Wstęp

Oczyszczanie ścieków na terenach wiejskich jest utrudnione przede wszystkim z powodu nierównomierności dopływu ścieków i zmiennego w nich stężenia zanieczyszczeń oraz braku sieci kanalizacyjnej. W Polsce jedynie 4% miejscowości wiejskich posiada kanalizację. Pozostałe gospodarstwa korzystają w większości ze zbiorników bezodpływowych,

często nieszczelnych i niewłaściwie zlokalizowanych. Przy prawidłowej eksploatacji mogą one zapewnić eliminację substancji organicznej wyrażoną wskaźnikiem zawiesiny ogólnej do 70% i jedynie 5–15% w przypadku związków azotu i fosforu (Heidrich i in. 1984; Błażejowski 1995). Ocenia się, że z terenów wiejskich odprowadza się do wód powierzchniowych i ziemi około 1,0 mld m³/rok, co stanowi około 25% ścieków odprowadzanych z terenu całego kraju (Koblak-Kalińska 1992). Ograniczenie ilości związków biogenych wprowadzanych do wód powierzchniowych i ziemi, Rozporządzeniem Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 5.11.1991 w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód i ziemi (Dz. U. nr 116 z dn. 16.12.1991, poz. 503) oraz wymienione trudności, powoduje poszukiwanie nowych, prostych technologii oczyszczania ścieków dla terenów wiejskich.

Od kilkunastu lat wzrasta zainteresowanie możliwością wykorzystania ekosystemów bagiennych (ang. wetlands) lub systemów sztucznie konstruowanych (ang. constructed wetlands), symulują-

cych pracę systemów naturalnych w procesie usuwania zanieczyszczeń zarówno ze źródeł punktowych, jak i obszarowych. Znaczną rolę w procesach eliminacji zanieczyszczeń przypisuje się tu roślinności bagiennej, która oddziałuje na procesy biosorpcji i przewodnictwo hydrauliczne systemu, a przede wszystkim powoduje rozwój mikroorganizmów heterotroficznych odpowiedzialnych za przemiany biochemiczne, przede wszystkim rozkład materii organicznej oraz procesy denitryfikacji i nityfikacji (Biernacka i Obarska-Pempkowiak 1994; Kowalik i Obarska-Pempkowiak 1995).

Oczyszczalnie tego typu (wkomponowane w otaczający krajobraz) zapewniają wysoki stopień usuwania substancji organicznej, zanieczyszczeń bakteryjnych, mają duży potencjał usuwania związków azotu i fosforu. Charakteryzują się prostą budową, a możliwość wykorzystania gruntu lokalnego do budowy złoża lub systemu rowów i grobli powoduje, że są tańsze od konwencjonalnych oczyszczalni ścieków.

Możliwości tych systemów spowodowały ich znaczną popularność w krajach Europy Zachodniej, Stanach Zjednoczonych i Skandynawii. Na terenie Danii pracuje około 150 obiektów, w RFN 300, a w Wielkiej Brytanii ponad 100.

Z analizy doświadczeń tych krajów wynika, że efektywność eliminacji zanieczyszczeń, przede wszystkim zaś związków azotu i fosforu, zależy od całościowego zaprojektowania, wykonania i eksploatacji obiektu zgodnie z zasadami ustalonymi dla technologii systemów z podpowierzchniowym przepływem ście-

ków (ang. Vegetated Submerged Bed – VSB system) czy z powierzchniowym przepływem ścieków (ang. Free Water Surface – FWS system). Warto porównać badania: (Brix i Schierup 1989; Bucksteeg 1989; Osmulska-Mróż 1995). Najpoważniejszy problem stanowi tworzenie się uprzywilejowanych dróg przepływu, przeciążenie obiektów, niewłaściwy dobór materiału filtracyjnego oraz układu technologicznego, powodujący spadek efektywności usuwania zanieczyszczeń.

Na początku lat dziewięćdziesiątych w województwie gdańskim oddano do eksploatacji kilka obiektów tego typu. Między innymi w miejscowości Przywidz i Wieżycy wdrożono technologię doczyszczania ścieków komunalnych, a także w Oliwie wybudowano zespół obiektów w postaci filtrów vegetacyjnych i piaskowych oraz buforowych stref roślinnych w celu ograniczenia dopływu zanieczyszczeń z terenu ZOO do wód Potoku Rynaszewskiego. Doświadczenia z eksploatacji tych obiektów po ich uruchomieniu stanowią treść prezentowanej pracy.

Oczyszczalnia trzcinowa z powierzchniowym przepływem ścieków w Wieżycy

W 1991 roku we wrześniu został wybudowany i oddany do eksploatacji staw trzcinowy w Wieżycy. Zgodnie z założeniami projektowymi miał on doczyszczać ścieki komunalne w ilości około 120 m³/d z kilku ośrodków wczasowych w rejonie Pojezierza Kaszubskiego. Według założeń ośrodki te miały oczyszczać ścieki w dwóch mechaniczno-biologicznych

oczyszczalniach kontenerowych typu KOS-2. Następnie ścieki miały być tłoczone do stawu trzciniowego.

Staw zbudowany jest z równoległe ustawionych grobli, co tworzy system rowów i grobli, zapewniający serpentynowy przepływ ścieków oraz długi ich czas zatrzymania (ok. 40 dni). Powierzchnia stawu wynosi 1,8 ha, co stanowi odpowiednio 21,5 m²/MR. Odbiornikiem oczyszczonych ścieków jest system rowów połączonych z wodami powierzchniowymi strefy sanitarnej "B" ujęcia wodociągowego z rzeki Raduni dla miasta Gdańska. Z tego powodu staw trzciniowy miał zapewnić eliminację związków biogenych ze ścieków odprowadzanych z oczyszczalni kontenerowych do poziomu II klasy czystości wód (Kowalik i in. 1995).

W latach 1993–1995 pobierano próby ścieków dopływających i odpływających ze stawu trzciniowego w celu sprawdzenia efektywności usuwania zanieczyszczeń. Do badań pobierano próby uśrednione w okresie pracy oczyszczalni, a więc w miesiącach wakacyjnych: czerwiec – październik i w czasie ferii zimowych (Obarska i in. 1995). Badania obejmowały również pomiar ilości ścieków. Wyniki pomiarów jakości ścieków oczyszczonych w stawie trzciniowym przedstawiono w tabeli 1.

Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że stężenie substancji organicznej wyrażonej w BZT₅, ChZT_{Cr} i zawiesinie ogólnej oraz stężenie związków azotu w miesiącach letnich (lipiec, sierpień) spełnia wymagania II klasy czystości wód. W pozostałym okresie pomiarowym napotkano przekroczenie dopusz-

czalnych stężeń tych wskaźników w odpływie. W całym cyklu pomiarowym napotyka się przekroczenie dopuszczalnego stężenia jonów fosforanowych PO₄³⁻ (również w lipcu i sierpniu). Wyjaśnić to można nieprawidłową eksploatacją obiektu. Polegała ona na okresowym zasilaniu stawu ściekami surowymi (z pominięciem oczyszczalni kontenerowych) wbrew przyjętym założeniom projektowym i instrukcji eksploatacji. Stwierdzono, że zasilanie ściekami surowymi następuje w trakcie ferii zimowych i w miesiącach o małej frekwencji gości w ośrodkach wczasowych (czerwiec, wrzesień, październik). Świadczą o tym wysokie stężenia badanych wskaźników na dopływie do stawu trzciniowego. W roku 1994 jedna oczyszczalnia KOS-2 została wyłączona z eksploatacji z powodu remontu ośrodka wczasowego. Z tego powodu ilość ścieków dopływających do stawu wynosiła od 4 m³/d w miesiącach zimowych do 35 m³/d w miesiącach letnich. Przy takiej ilości ścieków obciążenie hydrauliczne wynosiło około 3,0 mm/d i nie pokrywało strat wody spowodowanych ewapotranspiracją roślin. Występujące okresy posuszne w lipcu i sierpniu 1994 r. spowodowały niski poziom wody w stawie lub wręcz jej brak – co zaznaczono w tabeli (sierpień 1994 – Obarska i in. 1995). W 1995 roku wzrost obciążenia hydraulicznego stawu do 55 m³/d w sezonie letnim oraz podobnie jak w 1994 r. wyłączenie z eksploatacji jednej oczyszczalni KOS-2 spowodował obniżenie eliminacji substancji organicznej i związków fosforu. W okresie o małej frekwencji gości (czerwiec, wrzesień oraz ferie zimowe i wiosenne) dopływ ścieków do oczyszczalni trzciniowej obniżał się do

TABELA 1. Średnie roczne stężenia substancji organicznej i związków biogenych w ściekach doprowadzanych do stawu trzcinowego i odprowadzanych w Wieżycy w latach 1992–1995, w g/m³

Parametr	Dopływ 1993		Dopływ 1994		Dopływ 1995	
	zakres	średnia	zakres	średnia	zakres	średnia
pH	6,70–7,00	6,87	6,66–7,62	7,2	6,39–7,46	6,99
	6,89–7,19	7,08	brak odpł.–7,24	7,2	5,96–7,62	6,75
Zawiesina ogólna	25,6–520,0	197,9	14,0–286,0	85,6	20–372	117
	4,0–22,0	11,0	brak odpł.–32,0	13,2	8–112	50
BZT ₅	35,2–325,7	181,3	35,2–163,2	89,2	5,6–43,3	22,2
	1,5–19,1	8,7	brak odpł.–6,0	3,1	8,0–36,3	21,1
ChZT _{cr}	86,4–604,5	386,3	88,0–408,3	243,8	18,7–108,6	63,7
	30,6–61,9	41,1	brak odpł.–61,8	32,4	21,8–99,6	59,0
N – NH ₄ ⁺	1,4–40,8	17,1	5,0–63,0	30,4	0,3–7,9	2,1
	0,20–4,8	1,5	brak odpł.–1,1	0,6	0,3–1,1	0,65
N – NO ₂ ⁻	0,07–2,4	0,9	n.w.–0,24	0,017	0,02–0,10	0,11
	0,02–0,05	0,03	brak odpł.–0,03	0,01	0,004–0,03	0,02
N – NO ₃ ⁻	0,47–1,3	1,0	0,23–5,6	1,47	0,45–5,76	1,76
	0,55–1,9	0,9	brak odpł.–1,7	0,59	0,08–0,51	0,31
N _{organiczny}	11,0–40,8	23,6	11,1–77,7	42–7	1,92–10,8	5,5
	1,5–2,1	1,8	brak odpł.–5,4	2,3	1,9–3,8	2,9
N _{ogólnie}	21,2–50,7	34,9	22,2–141,3	72,1	4,3–19,6	9,3
	2,5–7,4	4,6	brak odpł.–6,2	3,5	3,1–4,6	3,9
PO ₄ ³⁻	10,3–19,8	15,7	8,5–45,8	19,5	2,54–15,6	6,02
	śr.–2,0	0,62	brak odpł.–4,5	1,7	0,2–12,0	3,5

n.w. – nie wykryto, śl. – jednostki śladowe

wartości 5,0–13 m³/d. Stwierdzono, że w tym czasie oczyszczalnie kontenerowe KOS-2 nie pracowały i ścieki bezpośrednio z ośrodków zasilały staw trzcinowy, powodując obniżenie efektywności usuwania zanieczyszczeń.

Oczyszczalnia trzcinowa w Przywidzu

Przeznaczona do oczyszczalni ścieków komunalnych w ilości 22 m³/d oczy-

szczalnia hydrobotaniczna składa się z dwóch obiektów:

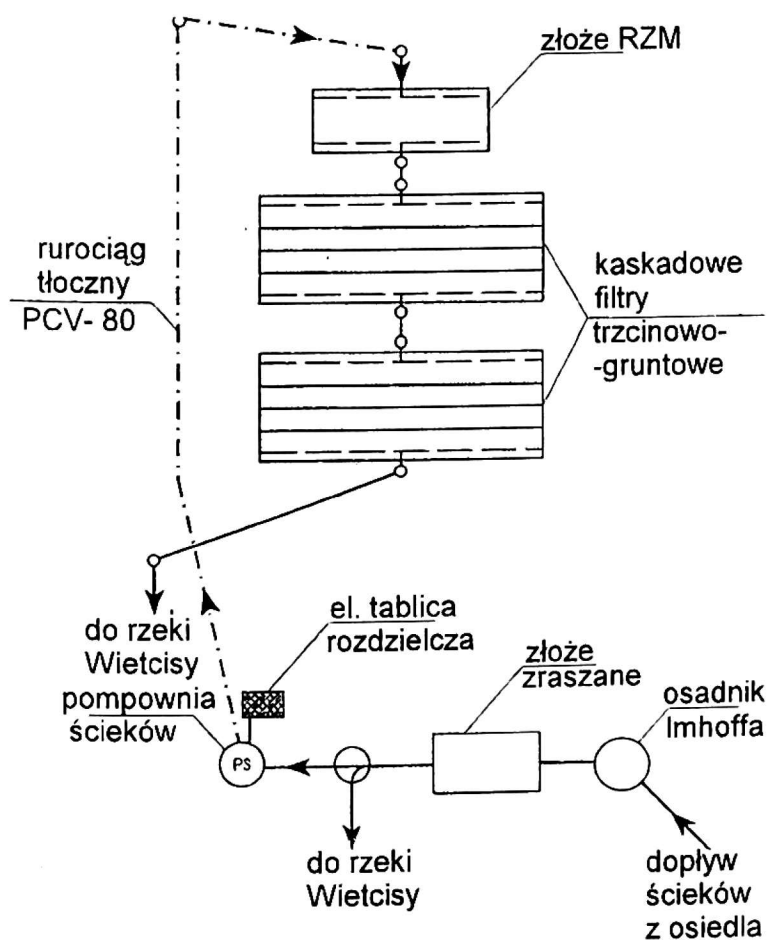
- złoża trzcinowego o przepływie poziomym (system VSB), zasiedlonego trzciną pospolitą (*Phragmites australis*);
- kaskadowego filtru trzcinowo-gruntowego złożonego z dwóch basenów; każdy basen składa się z kaskadowego systemu rowów i grobelek filtracyjnych.

Ukształtowanie terenu, na którym zlokalizowano oczyszczalnię, powoduje, że ścieki należy przepompować do stu-

dzienki rozdzielczej, z której dalszy przepływ jest grawitacyjny. Schemat rozprowadzania ścieków przedstawiono na rysunku 1.

Złoże trzcinowe wypełnione materiałem filtracyjnym posiada odpowiednie rurociągi perforowane: rozprowadzający i zbierający. Rurociąg zbierający wprowadza ścieki do studzienki, w której istnieje możliwość regulacji poziomu ścieków w złożu. Ze złoża ścieki spływają grawitacyjnie do pierwszego basenu kaskadowego filtra trzcinowo-gruntowego. Do pierwszego rowu ścieki zostają wprowadzone perforowanym rurociągiem rozprowadzającym. Następnie ścieki filtrują kolejno przez trzy groble filtracyjne i w ostatnim (czwartym) rowie zostają odprowadzone perforowanym rurociągiem zbierającym do studzienki regulującej poziom ścieków. Przepływ ścieków w

drugim basenie filtra odbywa się w sposób analogiczny. Po przejściu przez filtr kaskadowy ścieki odprowadzane są do rzeki Wietcisy. Powierzchnia złoża i filtru wynosi około 870 m^2 , co stanowi ponad $5 \text{ m}^2/\text{MR}$. Konstrukcja systemu potwierdziła ideę zastosowania filtracji z międzystrefowym napowietrzaniem ścieków (Obarska-Pempkowiak, 1992). W pierwszych dwóch latach eksploatacji oczyszczalnia zapewniła wysoką eliminację substancji organicznej wyrażonej w ChZT_{Cr} i BZT_5 oraz związków azotu i fosforu (70–99%). Jednak z powodu wadliwej eksploatacji zmienił się typ technologii oczyszczania ścieków nie odpowiadający założeniom. W wyniku błędnej eksploatacji nastąpiło zwiększenie obciążenia hydraulicznego elementów obiektu, co w konsekwencji doprowadziło do powstania uprzywilejowa-



RYSUNEK 1. Schemat trzcinowej oczyszczalni ścieków w Przywidzu

nych dróg przepływu, całkowite napełnienie basenów w obu kaskadach i rozmycie grobli w dolnej kaskadzie. Wzrost ilości doprowadzanych ścieków spowodował zmniejszenie procesu sorpcji jonów PO_4^{3-} i NH_4^+ . Usuwanie tych jonów zmniejszyło się w 1995 roku w stosunku do 1994 o 12% w odniesieniu do jonów PO_4^{3-} i 15% w odniesieniu do jonów NH_4^+ (tab. 2).

Zespół filtrów roślinnych i stref buforowych w Oliwie

Przez Ogród Zoologiczny w Oliwie przepływa Potok Rynaszewski, który jest odbiornikiem zanieczyszczeń powstających w wyniku spływu wód powierzchniowych i podpowierzchniowych oraz punktowych źródeł ścieków zwierzęcych. Źródłem zanieczyszczeń obszarowych są na ogół wybiegi dla zwierząt, a źródłem zanieczyszczeń punktowych – odpływy ze stawów zasiedlonych ptactwem lub zwierzętami wodnymi (np. fokami) oraz odpływy powstające podczas okresowego płukania klatek. Najbardziej uciążliwym zanieczyszczeniem są związki azotu organicznego, które trudno ulegają utlenieniu biochemicznemu.

Opracowując koncepcję poprawy czystości wód Potoku Rynaszewskiego uznano, że jej podstawą będzie zatrzymanie zanieczyszczeń (głównie związków azotu) w miejscach powstawania oraz zminimalizowanie dopływu zanieczyszczeń ze spływów powierzchniowych. Działania te miały na celu niedopuszczenie do rozcieńczania zanieczyszczeń, gdyż obciążenie hydrauliczne i czas za-

trzymania w urządzeniach oczyszczających mają wpływ na efektywność oczyszczania (Obarska-Pempkowiak 1994). Podjęte działania doprowadziły do budowy filtrów piaskowych, roślinnych i wylewiska w celu eliminacji zanieczyszczeń punktowych. Wykonano również pięć buforowych stref roślinnych o całkowitej powierzchni 6650 m² w celu ograniczenia zanieczyszczeń spływających powierzchniowo. Strefy buforowe są usytuowane wzdłuż koryta potoku i zasiedlone wikliną (*Salix viminalis*). Są one poprzecinane bruzdami i przeciwstokami w celu zapewnienia większej retencji spływających wód w czasie opadów.

W latach 1993–1994 prowadzono pomiary jakości wód Potoku Rynaszewskiego. Wyniki badań potwierdziły znaczną skuteczność zastosowanych systemów w stosunku do roku 1991 (przed budową obiektów – Obarska-Pempkowiak, Mierzejewski 1995). W tabeli 3 podano średnie roczne stężenie zanieczyszczeń w wodach dopływających i odpływających z terenu ZOO w 1991 i 1993–1994.

Zakładając, że średni przepływ wód potoku w 1991 roku i w latach 1993–1994 wynosił 90 dm³/s, średni ładunek zanieczyszczeń zatrzymywanych w wyniku pracy funkcjonujących stref buforowych i filtrów na terenie ZOO wynosi: 37 kg/d azotu organicznego oraz 2,69 kg/d fosforanów, co stanowi odpowiednio 13,5 t/rok N_{org} i 1,0 t/rok PO_4^{3-} (tab. 3).

Znaczną rolę w usuwaniu zanieczyszczeń przypisuje się strefom buforowym zasiedlonym wikliną. Dla przykładu dwie strefy buforowe usytuowane po obu stronach koryta Potoku Rynaszewskiego

TABELA 2. Średnie roczne stężenia substancji organicznej oraz związków biogennych w ściekach doprowadzanych do oczyszczalni trzcinowej i odprowadzanych w Przywidzu w latach 1993–1995, (w g/m³)

Parametr	Dopływ 1993		Dopływ 1994		Dopływ 1995	
	zakres	średnia	zakres	średnia	zakres	średnia
Zawiesina ogólna	40–242	113,6	85–420	185,0	74–246	167,0
	8–20	14,5	10–86	34,5	34–86	49,0
BZT ₅	118–150,1	134,4	110,2–25,2	169,1	53,2–133,6	71,03
	3,0–5,6	3,8	0,5–25,0	10,0	6,0–50,8	27,8
ChZT _{Cr}	270–320	291,3	223,1–528,4	338,2	113,4–248,9	164,7
	13,0–26,4	17,1	17,1–74,1	37,6	21,8–96,0	58,9
N–NH ₄ ⁺	1,2–16,9	9,1	7,1–28,5	20,3	7,7–15,9	11,7
	0,1–0,3	0,23	0,2–8,8	2,85	0,1–16,4	3,5
N–NO ₂ ⁻	0,00–0,48	0,27	0,04–0,73	0,24	0,11–1,04	0,49
	0,00–0,02	0,01	0,02–0,64	0,10	0,01–0,03	0,02
N–NO ₃ ⁻	0,00–5,75	2,1	0,4–1,13	0,6	0,4–2,3	1,6
	0,2–1,8	0,7	0,0–0,6	0,3	0,3–0,9	0,5
N _{org.}	5,0–30,1	18,0	9,2–58,1	38,3	19,1–51,8	40,3
	1,0–3,3	2,3	3,4–8,2	5,0	1,1–26,7	11,1
N _{og}	28,0–34,0	30,0	26,4–86,3	59,7	19,0–51,8	40,3
	3,1–3,8	3,4	4,8–13,8	8,6	19–42,1	15,0
PO ₄ ³⁻	20,4–28,1	25,3	18,0–42,0	31,9	20,6–32,1	22,7
	0,0–0,6	1,05	0,1–19,7	6,0	2,0–12,1	7,0

przed odpływem do Dużego Stawu spowodowały obniżenie azotu organicznego o 61,00% i fosforanów o 88,89% (rys. 2). Uzyskane rezultaty potwierdzają, że istniejące wybiegi dla zwierząt wytwarzają specyficzne substancje bogate w azot, który jest zatrzymany przez wiklinowe strefy buforowe.

Wnioski

1. Oczyszczalnie trzcinowe umożliwiają łatwiejsze, w porównaniu do małych oczyszczalni konwencjonalnych, usuwanie ze ścieków nie tylko substancji

organicznej, ale również związków biogennych (azotu i fosforu).

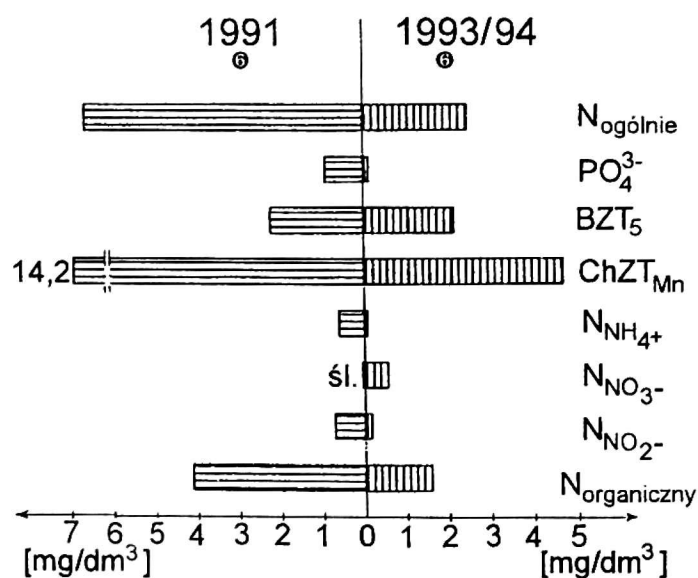
2. Oczyszczalnie trzcinowe i buforowe strefy wiklinowe ze względu na prostą budowę i eksploatację stanowią cenne rozwiązanie dla terenów wiejskich i ośrodków rekreacyjnych.

3. Wysoka efektywność usuwania zanieczyszczeń zależy od wyboru odpowiedniej technologii oczyszczania ścieków oraz wykonawstwa i eksploatacji zgodnej z zasadami obowiązującymi dla tego typu obiektów.

TABELA 3. Średnie roczne stężenia substancji organicznej oraz związków biogennych w wodzie Potoku Rynaszewskiego, dopływającej i odpływającej z terenu ZOO

Parametr	Dopływ odpływ w1991			Dopływ odpływ w1993–1994		
	stężenie w 1991		ładunek	stężenie w 1993–1994		ładunek
	[mg/l]		[kg/d]	[mg/l]		[kg/d]
	zakres	średnia		zakres	średnia	
N _{ogólne}	– 8,5–10,1	3,1 9,6	0,1 58,1	1,4–2,0 1,1–4,0	1,7 2,5	0,07 15,1
PO ₄ ³⁻	– 0,3–0,9	0,4 0,6	0,02 3,6	0,10–0,38 0,05–0,31	0,2 0,15	0,01 0,91
BZT ₅	– 1,6–4,1	– 3,5	– 21,2	0,7–6,5 1–4,5	2,8 2,8	0,12 16,9
ChZT _{Mn}	– 8,4–11,8	2,9 10,0	0,13 60,5	3,1–15,8 3,1–7,2	6,5 4,8	0,28 29,0
N–NH ₄ ⁺	– 0–4,8	0,0 1,6	0,0 9,6	0,05–0,2 0,1–0,2	0,1 0,1	0,004 0,60
N–NO ₃ ⁻	– 0,4–0,5	0,0 0,4	0,0 2,4	0,1–0,7 0,1–1,1	0,35 0,5	0,02 3,02
N–NO ₂ ⁻	– śl.	– śl.	0,0 0,0	0,001–0,03 0,004–0,04	0,01 0,02	śl. 0,12
N _{organiczne}	– 6,8–8,6	3,1 8,0	0,13 48,3	0,7–2,1 0,7–3,0	1,2 1,9	0,05 11,5

śl. – jednostki śladowe



RYSUNEK 2. Zmiana stężenia zanieczyszczeń w buforowej strefie wiklinowej wzdłuż koryta Potoku Rynaszewskiego, powyżej Dużego Stawu

Literatura

- BIERNACKA E., OBARSKA-PRMPKOWIAK H. 1994: *Postawmy na zielone*. Wiedza i Życie 9; 36–38.
- BŁĄŻEJEWSKI R. 1995: *Przydomowe oczyszczalnie ścieków*. Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Zarzeczu, Włocławek.
- BRIX H., SCHIERUP H.H. 1989: *Danish experience with emergent hydrophyte treatment systems (EHTS) and prospect in the light of future requirements to outler water quality*. In: H. Odegaard (Ed.) *International Specialized Conference on Design and Operation of Small Wastewater Treatment Plants*. Trondheim, Norway. 26–28 June; 77–84.
- BUCKSTEEG K. 1990: *Treatment of domestic sewage in emergent helophyte beds*. German experiences and ATV-guidelines H262 In: P. F. Cooper, B.C. Findlater (Eds.) "Constructed

- wetlands in water pollution control" Oxford: Pergamon Press; 505–515.
- HEIDRICH Z., TABERNACKI J., SIKORSKI M. 1984: *Wiejskie oczyszczalnie ścieków*. Arkady, Warszawa.
- KOBLAK-KALIŃSKA E. 1992: *Stan gospodarki wodno-ściekowej na terenach wiejskich, systemy ochrony wód na terenach wiejskich*. Departament Gospodarki Wodnej MOSZ-NiL, Warszawa.
- KOWALIK P., OBARSKA-PEMPKOWIAK H., TOCZYŁOWSKA I. 1991: *Trzeci stopień oczyszczania ścieków w stawie trzcinowym o serpentynowym kształcie*. Seminarium Naukowe PZITS – III Kongres Kanalizatorów Polskich, POLKAN 91. Problemy odprowadzania i unieszkodliwiania ścieków. Łódź 22–23, 11; 253–268.
- KOWALIK P., OBARSKA-PEMPKOWIAK H. 1995: *Ocena naturalnych metod oczyszczania ścieków*. Konf. nauk. Transfer i ocena technologii oczyszczania ścieków, Kielce, marzec 1995; 88–100.
- OBARSKA-PEMPKOWIAK H. 1994: *Application of willow and reed vegetation filter for protection of a stream passing through a zoo*. In: P. Aronsson and K. Perttu (Eds.) Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges. Swedish University of Agricultural Sc. Uppsala, Raport 50; 59–69.
- OBARSKA-PEMPKOWIAK H. 1992: *Oczyszczalnie ścieków metodą hydrobotaniczną z wykorzystaniem filtrów gruntowych i stawów ściekowych*. Zesz. Nauk. Polit. Gdańskiej, Budownictwo Wodne 38.
- OBARSKA-PEMPKOWIAK H., MIERZEJEWSKI M. 1995: *Oczyszczanie wód potoku na terenie ZOO za pomocą filtrów wegetacyjnych i buforowych stref wiklinowych*. Mat. Międzynar. Konf. Naukowo-Techn.; Oczyszczalnie hydrobotaniczne. Gdańsk 1–3 wrzesień 1995; 117–124.
- OBARSKA-PEMPKOWIAK H., MIERZEJEWSKI M., TOCZYŁOWSKA I. 1995: *The use of constructed wetland for tertiary wastewater treatment to recreation sites at Wieżyca*. Proceedings of the Polish-Croatia Symposium: Research Hydraulic Engineering Faculty of Environmental Engineering Tech. Univ. of Gdańsk, September 1995; 219–225.
- OSMULSKA-MRÓZ B. 1995: *Korzeniowe oczyszczalnie ścieków – część II*. Ekopartner 5 (43); 26–28

Adresy autorek

E. Biernacka
 Katedra Rekultywacji Środowiska
 Przyrodniczego
 SGGW
 02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
 H. Obarska-Pempkowiak
 Katedra Inżynierii Środowiska PG
 80-952 Gdańsk-Wrzeszcz, ul. Narutowicza 11/12