

Franciszek Czyżyk

Badania efektywności pracy oczyszczalni gruntowo-roślinnych i wodno-roślinnych typu „Lemna”

Oczyszczalnie gruntowo-roślinne i wodno-roślinne wykorzystują naturalne procesy oczyszczania ścieków, w których istotną rolę pełnią rośliny wyższe (makrofity). Oczyszczanie ścieków w tych oczyszczalniach jest procesem bardzo złożonym, bowiem biorą w nim udział zjawiska fizyczne, chemiczne i biochemiczne, w których współdziałają zarówno mikroorganizmy jak i makrofity. Oba rodzaje oczyszczalni należą do tzw. oczyszczalni hydrobotanicznych, charakteryzujących się występowaniem trzech stref (tlenowa, anoksydacyjna i beztlenowa), w których zachodzą procesy biodegradacji substancji organicznych zawartych w ściekach oraz przemiany głównego składnika biogenego, jakim jest azot (nityfikacja i denityfikacja).

W złożach gruntowo-trzcinowych łodygi i korzenie (rurkowane rozłogi) dostarczają powietrze do gruntu, tworząc w nim strefę tlenową (aerobową). W głębszych strefach złoża, słabo ukorzenionych, występuje natomiast strefa anoksydacyjna (nie-dotleniona) oraz beztlenowa (anaerobowa). Ilość tlenu doprowadzana do strefy korzeniowej przez rośliny oraz skutek wymiany gazowej pomiędzy atmosferą i gruntem może dochodzić do $4 \text{ gO}_2/\text{m}^2\text{d}$ [1]. Młoda trzcina może dostarczyć tlen do gruntu w ilości około $2 \text{ gO}_2/\text{m}^2\text{d}$.

W stawach doczyszczających oczyszczalni wodno-roślinnych typu Lemna występują również trzy strefy. Przy powierzchni występuje strefa natleniona, powstała wskutek produkcji tlenu przez rzęś wodną. Głębiej występuje strefa anoksydacyjna oraz beztlenowa – powstała wskutek procesów rozkładu zanieczyszczeń organicznych w warunkach deficytu tlenu. W tych stawach przevažą strefa beztlenowa, która obejmuje około 70% ich objętości, a przy braku rzęsi wodnej w okresie zimowym – znacznie więcej. Zasięg poszczególnych stref, zarówno w gruncie złoża, jak i w stawach doczyszczających jest zależny od wielu czynników, a przede wszystkim od intensywności rozwoju i wieku roślin oraz od pory roku i warunków atmosferycznych. Czynniki te oraz ich zmienność mają zatem wpływ na procesy oczyszczania ścieków w oczyszczalniach hydrobotanicznych.

Oczyszczalnie gruntowo-roślinne stosowane w Polsce od około 20 lat, a oczyszczalnie typu „Lemna” od 1992 r., ciągle mają zarówno zwolenników, jak i przeciwników. Kontrowersyjne są zwłaszcza opinie na temat przydatności oczyszczalni typu „Lemna” w polskich warunkach klimatycznych. Przyczyną tych rozbieżnych opinii jest zbyt mała ilość badań przeprowadzonych na różnych obiektach, z uwzględnieniem warunków eksploatacyjnych.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań efektywności pracy dwóch oczyszczalni gruntowo-trzcinowych i dwóch oczyszczalni wodno-roślinnych typu „Lemna”.

Przedmiot i zakres badań

Efektywność pracy oczyszczalni gruntowo-roślinnych określono na dwóch obiektach systemu Kickutha [2,3], położonych w Morawie koło Strzegomia i Szklarcze koło Bystrzycy Kłodzkiej. Oczyszczalnie systemu Kickutha różnią się od typowych złoża gruntowo-roślinnych tym, że w materiale złoża znajdują się dodatki organiczne, jak np. nawóz koński, stary obornik, dobrze przekompostowana kora drzewna lub trociny. Ponadto odmienna jest konstrukcja części dopływowej złoża (chroniona patentem). Skład złoża dobierany jest tak, aby osiągnąć współczynnik filtracji $5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ [3].

Oczyszczalnia w Morawie uruchomiona została w 1995 r. i odbiera ścieki z zespołu pałacowego, w którym mieszczą się biura, mieszkania, pokoje gościnne i przedszkole. Została zaprojektowana na średnie obciążenie ściekami w ilości $7,7 \text{ m}^3/\text{d}$. W rzeczywistości obciążenie to jest bardzo zmienne. Oczyszczalnia składa się z 3-komorowego osadnika gnilnego o pojemności $15,6 \text{ m}^3$ i dwóch złoża gruntowo-trzcinowych z poziomym podpowierzchniowym przepływem ścieków. Złoża o wymiarach $12,5 \text{ m} \times 10,0 \text{ m}$ i łącznej powierzchni 250 m^2 oraz średniej głębokości 70 cm zostały obsadzone trzcina pospolitą (*Phragmites vulgaris*). Złoża wykonano według systemu Kickutha z gruntu miejscowego (piasek słabo gliniasty) w ilości 60% obj., osadu biologicznego (osad denny ze stawu) – 20% obj. i gliny piaszczystej – 20% obj. Ścieki ze złoża odprowadzane są do małego stawu doczyszczającego, a następnie do rowu melioracyjnego.

Oczyszczalnia w Szklarczu, uruchomiona również w 1995 r., wykonana została podobnie jak oczyszczalnia w Morawie, lecz położona jest w terenie górskim. Odbiera ścieki w ilości $14,5 \text{ m}^3/\text{d}$ z małego osiedla mieszkalnego. Składa się z 3-komorowego osadnika gnilnego o pojemności 24 m^3 i dwóch złoża gruntowo-trzcinowych o wymiarach $11 \text{ m} \times 18 \text{ m}$ i średniej głębokości ok. 70 cm . Złoża wykonano z gruntu rodzimego (głina piaszczysta) w ilości 82% oraz skompostowanej kory drzewnej, trocin, starego obornika i nawozu końskiego w ilości 18% obj. Odbiornikiem oczyszczonych ścieków jest mały strumyk górski.

Efektywność pracy oczyszczalni wodno-roślinnych typu „Lemna” badano na położonych blisko siebie dwóch oczyszczalniach w Kochcicach i Pawonkowie koło Lublińca (woj. śląskie). Oczyszczanie ścieków w tym systemie polega na naturalnych procesach biologicznych przebiegających w środowisku wodnym, przy zastosowaniu napowietrzania ścieków w pierwszym stawie oraz wykorzystania do ich oczyszczania rzęsi wodnej (*Lemna minor*) w drugim stawie. Łączny

czas przepływu ścieków przez cały układ technologiczny oczyszczalni wynosił ponad 30 dób, z czego 1/3 przypadła na staw napowietrzany, a 2/3 na staw z rzęsą wodną [4,5].

Oczyszczalnia w Kochcicach uruchomiona została w 1992 r. jako pierwsza w Polsce oczyszczalnia tego typu. Zaprojektowana została na przepływ ścieków w ilości 650 m³/d doprowadzanych z Kochcic i przyległych wsi. Oczyszczalnia składa się z części mechanicznej, w skład której wchodziła krata gęsta, piaskowniki i przepompownia oraz biologicznej, składającej się ze stawu napowietrzanego o powierzchni 0,31 ha i głębokości 2,4÷3,0 m oraz stawu biologicznego z rzęsą wodną o powierzchni 0,74 ha i głębokości 2,7 m. Na powierzchni stawu biologicznego umieszczony był zestaw pływających barier (patent *Lemna Corporation*), stabilizujących warstwę rzęsy wodnej i eliminujących wpływ wiatru, a także zapewniających równomierne pokrycie stawu rzęsą.

Oczyszczalnia w Pawonkowie, uruchomiona w 1995 r., charakteryzuje się takim samym układem technologicznym jak oczyszczalnia w Kochcicach, przy czym staw napowietrzany ma powierzchnię 0,34 ha i głębokość 3 m, a staw „Lemna” powierzchnię 0,53 ha i głębokość 2,90 m. Oczyszczalnia ta została zaprojektowana na przepływ ścieków w ilości 610 m³/d doprowadzanych z Pawonkowa i sąsiednich wsi.

Zakres badań na wszystkich oczyszczalniach był jednakowy i obejmował analizy ścieków surowych i oczyszczonych (pH, zawiesiny ogólne, BZT₅, ChZT, związki azotu, fosfor ogólny, chlorki, siarczany, sól, potas i substancje rozpuszczone oraz niektóre metale ciężkie najczęściej występujące w ściekach, tj. cynk, chrom, kadm, miedź, nikiel i ołów). Uśrednione próbki ścieków surowych i oczyszczonych pobierano co 2 tygodnie przez 3 lata.

Dyskusja wyników

Średnie wartości badanych wskaźników zanieczyszczenia ścieków doprowadzanych na oczyszczalnię gruntowo-roślinną i odprowadzanych z tych oczyszczalni w porach wiosenno-letniej i jesienno-zimowej podano w tabelach 1 i 2, natomiast wyniki badań z oczyszczalni wodno-roślinnych typu „Lemna” podano w tabelach 3 i 4.

Wyniki badań wskazują, że efektywność pracy oczyszczalni podobnych do siebie, lecz pracujących w odmiennych warunkach, była bardzo zróżnicowana. Efektywność pracy złoża gruntowo-roślinnego w Morawie zasługuje na negatywną ocenę. Prawie wszystkie ważniejsze wskaźniki zanieczyszczenia ścieków odpływających ze złoża gruntowo-trzcinowego przekraczały dopuszczalne wartości [6]. Przyczyną tak nieskutecznej pracy tego złoża była jego błędna lokalizacja, gdyż zostało ono umieszczone w przypałacowym parku, w miejscu bardzo zacienionym wysokimi drzewami. Trzcina jest rośliną wyjątkowo światłolubną i w miejscach zacienionych słabo się rozwija. Omawiane złoże porośnięte było rzadką trzciną oraz w większości chwastami. Stąd też w złożu był słaby system korzeni (rozłogów), a tym samym nie można się spodziewać właściwego przebiegu procesów oczyszczania ścieków. Niewłaściwie oczyszczone ścieki ze złoża wpływały do stawu doczyszczającego, którego efektywność pracy można ocenić pozytywnie. Wskaźniki zanieczyszczenia ścieków odpływających ze stawu, zarówno w okresie letnim jak i jesienno-zimowym, były niższe od wartości dopuszczalnych. Na dobre wyniki oczyszczania ścieków w stawie miały wpływ nie tylko zachodzące w nim procesy, ale prawdopodobnie w pewnym stopniu także rozcieńczanie tych ścieków przez wody opadowe.

Efektywność pracy oczyszczalni gruntowo-trzcinowej w Szklarcie, takiej samej jak w Morawie, lecz prawidłowo zlokalizowanej, była na ogół zadowalająca. W porze wiosenno-letniej wszystkie wskaźniki zanieczyszczenia odpływających ścieków były znacznie niższe od wartości dopuszczalnych. W porze jesienno-zimowej efektywność oczyszczania ścieków w złożu gruntowo-trzcinowym była nieco gorsza, lecz tylko zawartość zawieszin ogólnych nieznacznie przekroczyła wartości dopuszczalne. W okresie tym wyraźnie słabszy był stopień obniżenia wskaźników tlenowych oraz azotu ogólnego i amonowego (62%). W porze zimowej praca oczyszczalni tego typu była jednak zawsze gorsza [7–9]. Ponadto należy wziąć pod uwagę położenie oczyszczalni w terenie górskim, a także przyjęty w projekcie minimalny wskaźnik powierzchni złoża na mieszkańca równoważnego (5 m²/RM). Zwiększenie tej powierzchni pozwoliłoby na osiągnięcie lepszych efektów również w porze zimowej. Wskazują na to niektóre badania i zalecenia [7,10], wg których dla osiągnięcia wysokiego stopnia usuwania azotu powinno się zastosować wskaźnik powierzchni złóż nie mniejszy niż 10 m²/RM i czas poziomego przepływu ścieków przez złoże wynoszący 15÷20 d.

Wyniki badań kontrolnych, wykonanych w 2000 r. na oczyszczalniach w Morawie i Szklarcie, były na ogół bardzo zbliżone do wyników uzyskanych wcześniej (tab. 1 i 2). W odplywach z obydwu oczyszczalni zaznaczył się jednak nieznaczny spadek stężeń azotu ogólnego i amonowego oraz wyraźny wzrost stężeń fosforu. Stwierdzono, że stopień usuwania fosforu zmniejszył się o około 10%, czego przyczyną było wyczerpywanie się sorbentów fosforu w złożu, jakimi są głównie związki żelaza, glinu i wapnia.

Efektywność pracy dwóch oczyszczalni wodno-roślinnych typu „Lemna”, położonych blisko siebie w Kochcicach i Pawonkowie i mających podobne parametry, była wyraźnie zróżnicowana. Usuwanie zanieczyszczeń na oczyszczalni w Kochcicach było znacznie niższe niż w Pawonkowie, przy czym na oczyszczalni w Kochcicach szczególnie niski był stopień usuwania azotu i fosforu. Przyczyną tych różnicowań było przede wszystkim zróżnicowane obciążenie tych oczyszczalni ściekami. Oczyszczalnia w Kochcicach była okresowo przeciążana ściekami, nieraz o ponad 50% w stosunku do obciążenia projektowanego, natomiast oczyszczalnia w Pawonkowie pracowała zwykle przy obciążeniu ściekami blisko o połowę niższym od projektowanego. Ponadto na oczyszczalni w Kochcicach występowało zbyt słabe natlenianie ścieków w stawie napowietrzonym, czego przyczyną była zbyt mała wydajność dmuchaw oraz ich częste przestoje.

Wyniki badań przeprowadzonych w 2000 r. na oczyszczalniach w Kochcicach i Pawonkowie były w większości zbliżone z wynikami otrzymanymi wcześniej (tab. 3 i 4). Wystąpiło jednak pewne pogorszenie pracy oczyszczalni, gdyż w stawie doczyszczającym z rzęsą wodną dało się zauważyć objawy fermentacji osadów dennych i oznaki wtórnego zanieczyszczenia ścieków. W ściekach odpływających z oczyszczalni wzrosła zawartość zawieszin ogólnych przeciętnie o kilkanaście procent oraz azotu amonowego o około 20%, w porównaniu do średnich wartości tych wskaźników w latach 1996–1998. Nieznacznie wzrosła także zawartość fosforu oraz wyczuwalny był nieprzyjemny zapach. Ogólnie jednak oczyszczalnia w Pawonkowie wykazywała nadal wysoką efektywność oczyszczania ścieków, natomiast oczyszczalnia w Kochcicach miała nadal niskie efekty usuwania związków azotu i fosforu.

Tabela 1. Średnie efekty oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalni gruntowo-trzcinowej w Morawie (1996–1998)

Wskaźnik, jednostka	Pora wiosenno-letnia (IV–IX)				Pora jesienno-zimowa (X–III)			
	ścieki surowe	ścieki po złożu	odpływ ze stawu	stopień obniżki, %	ścieki surowe	ścieki po złożu	odpływ ze stawu	stopień obniżki, %
Zawiesiny ogólne, g/m ³	101,7	69,5	58,1	42,9	130,2	58,5	40,0	69,3
BZT ₅ , gO ₂ /m ³	137,8	66,0	8,7	93,7	120,9	47,4	11,4	90,6
ChZT, gO ₂ /m ³	293,0	158,0	80,3	72,6	290,4	134,2	65,3	77,5
Azot ogólny, gN/m ³	59,0	49,0	23,1	60,8	65,3	51,7	27,9	57,3
Azot amonowy, gN/m ³	43,9	38,9	14,9	66,0	48,7	42,9	18,7	61,6
Azot azotanowy, gN/m ³	1,1	0,9	2,2	+100,0	1,8	1,8	4,2	+133,3
Fosfor ogólny, gP/m ³	8,3	7,2	3,4	59,0	6,5	5,0	2,4	63,1
Potas, gK/m ³	63,5	53,2	48,8	23,1	51,9	47,9	51,8	0,0
Sód, gNa/m ³	132,5	107,9	66,5	49,8	120,5	109,6	74,7	38,0
Chlorki, gCl ⁻ /m ³	176,2	148,6	130,5	25,9	178,7	154,5	115,6	35,3
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	172,0	137,7	133,2	22,6	175,0	131,8	98,2	43,9
Subst. rozpuszczone, g/m ³	793,1	776,8	762,2	4,1	809,1	808,2	777,3	3,9
pH,–	7,5	7,4	7,6	–	7,6	7,4	7,6	–

Tabela 2. Średnie efekty oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalni gruntowo-trzcinowej w Szklarcie (1996–1998)

Wskaźnik, jednostka	Pora wiosenno-letnia (IV–IX)			Pora jesienno-zimowa (X–III)		
	ścieki surowe	ścieki po złożu	stopień obniżki %	ścieki surowe	ścieki po złożu	stopień obniżki %
Zawiesiny ogólne, g/m ³	210,2	43,6	79,2	210,9	51,2	75,7
BZT ₅ , gO ₂ /m ³	271,4	13,7	94,9	247,5	32,6	86,8
ChZT, gO ₂ /m ³	535,5	85,4	84,0	483,2	103,3	78,6
Azot ogólny, gN/m ³	82,2	24,4	70,3	88,7	33,7	62,0
Azot amonowy, gN/m ³	62,2	16,0	74,3	63,5	24,0	62,2
Azot azotanowy, gN/m ³	2,1	4,1	+95,2	2,3	3,1	+34,8
Fosfor ogólny, gP/m ³	12,5	3,5	72,0	11,9	3,1	73,9
Potas, gK/m ³	50,8	19,5	61,6	46,6	16,1	65,4
Sód, gNa/m ³	113,0	69,5	38,5	119,8	62,1	48,2
Chlorki, gCl ⁻ /m ³	120,1	72,5	39,6	100,8	60,8	39,7
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	161,8	101,0	37,6	142,9	106,8	25,3
Subst. rozpuszczone, g/m ³	676,6	539,0	20,3	573,1	396,8	30,8
pH,–	7,1	7,3	–	7,0	7,3	–

Tabela 3. Średnie efekty oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalni wodno-roślinnej typu „Lemna” w Kochcicach (1996–1998)

Wskaźnik, jednostka	Pora wiosenno-letnia (IV–IX)			Pora jesienno-zimowa (X–III)		
	ścieki surowe	ścieki oczyszczone	stopień obniżki %	ścieki surowe	ścieki oczyszczone	stopień obniżki %
Zawiesiny ogólne, g/m ³	247,9	44,6	82,0	294,6	41,9	85,8
BZT ₅ , gO ₂ /m ³	302,7	19,7	93,5	291,8	25,4	91,3
ChZT, gO ₂ /m ³	566,4	110,5	80,5	571,7	129,4	77,4
Azot ogólny, gN/m ³	66,8	51,9	22,3	65,7	57,8	12,0
Azot amonowy, gN/m ³	40,5	42,2	+4,2	37,6	43,5	+15,7
Azot azotanowy, gN/m ³	1,6	1,7	+6,2	1,7	1,7	0,0
Fosfor ogólny, gP/m ³	10,8	6,0	44,4	8,1	6,1	24,7
Potas, gK/m ³	39,5	28,1	28,9	44,7	32,1	28,2
Sód, gNa/m ³	97,7	68,4	30,0	96,4	69,2	28,2
Chlorki, gCl ⁻ /m ³	98,7	98,5	0,0	109,4	89,9	17,8
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	134,5	103,3	23,2	146,8	121,3	17,4
Subst. rozpuszczone, g/m ³	703,6	627,8	10,8	702,1	610,0	13,1
pH,–	7,3	7,9	–	7,2	7,5	–

Tabela 4. Średnie efekty oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalni wodno-roślinnej typu „Lemna” w Pawonkowie (1996–1998)

Wskaźnik, jednostka	Pora wiosenno-letnia (IV–IX)			Pora jesienno-zimowa (X–III)		
	ścieki surowe	ścieki oczyszczone	stopień obniżki %	ścieki surowe	ścieki oczyszczone	stopień obniżki %
Zawiesiny ogólne, g/m ³	269,8	56,1	79,2	148,3	45,7	69,2
BZT ₅ , gO ₂ /m ³	322,8	6,3	98,0	173,4	10,6	93,9
ChZT, gO ₂ /m ³	629,4	60,7	90,3	369,7	66,6	82,0
Azot ogólny, gN/m ³	88,9	16,2	81,8	61,0	16,5	72,9
Azot amonowy, gN/m ³	53,9	3,2	94,1	44,8	6,3	85,9
Azot azotanowy, gN/m ³	2,5	7,0	+180,0	2,2	4,3	+95,4
Fosfor ogólny, gP/m ³	12,3	2,8	77,2	7,7	3,2	58,4
Potas, gK/m ³	35,5	21,5	39,4	39,9	25,0	37,3
Sód, gNa/m ³	113,8	53,8	52,7	118,9	51,6	56,6
Chlorki, gCl ⁻ /m ³	107,5	76,2	29,1	84,2	67,3	20,1
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	135,1	117,3	13,2	145,3	99,7	31,4
Subst. rozpuszczone, g/m ³	725,8	569,2	21,6	692,0	527,3	23,8
pH,–	7,6	7,8	–	7,6	7,5	–

Na podstawie informacji zebranych wiosną 2003 r. od użytkowników dwunastu najstarszych w Polsce oczyszczalni tego typu można stwierdzić, że skuteczność tych obiektów, podobnie jak opisana w niniejszej pracy, była zróżnicowana. Przeważały opinie krytykujące ten typ oczyszczalni i sygnalizujące nadmierne gromadzenie się niestabilizowanych osadów, zarówno w stawach napowietrzania, jak i w stawach z rzęsą wodną, co prowadziło do fermentacji osadów oraz wtórnego zanieczyszczenia ścieków i powstawania uciążliwości zapachowych. Niektórzy użytkownicy zrezygnowali już ze stawów z rzęsą wodną (np. w Kochcicach i Wręczyca) i wprowadzili lub wprowadzają w to miejsce inne rozwiązania.

Wszystkie negatywne zjawiska wystąpiły na oczyszczalniach przeciążonych ściekami o wysokim ładunku zanieczyszczeń, często dowożonych beczkowozami z osadników gnilnych, czy też ściekami przemysłowymi, a także tam, gdzie nie dokonano właściwego zbioru rzęsy wodnej w ciągu roku. Dopływ ścieków o bardzo wysokim ładunku zanieczyszczeń organicznych, np. z zakładów przetwórstwa spożywczego, powodował, że w stawach napowietrzania nie dochodziło do skutecznej mineralizacji zanieczyszczeń organicznych i w nich, jak też w stawach z rzęsą wodną, gromadziły się niestabilizowane osady. Sytuację pogarszała nie zbierana i opadająca obumarła rzęsa wodna.

Podsumowanie

Wyniki badań przeprowadzonych na oczyszczalniach gruntowo-trzcinowych, pomimo zróżnicowania, dają podstawę do potwierdzenia ich pełnej przydatności do oczyszczania małej ilości ścieków. Dla zapewnienia wysokiej efektywności oczyszczania ścieków konieczny jest jednak właściwy dobór parametrów projektowych tych oczyszczalni oraz poprawna ich lokalizacja (w miejscach nasłonecznionych) i prawidłowa eksploatacja.

Wyraźnie zróżnicowane wyniki badań na oczyszczalniach wodno-roślinnych typu „Lemna” nie pozwalają na jednoznaczną ocenę efektywności pracy tych oczyszczalni. Wydaje się jednak, że pomimo objawów pogarszania się efektywności oczyszczania ścieków wraz z czasem eksploatacji niektórych oczyszczalni nie ma jeszcze wystarczających podstaw do dyskredytacji przydatności systemu „Lemna” do oczyszczania ścieków. Przedstawione wyniki badań, zwłaszcza na oczyszczalni w Pawonkowie, a także opinie z dobrze pracujących oczyszczalni pozwalają sądzić, że tego typu rozwiązania nadają się do oczyszczania ścieków z małych miejscowości (do 10 000 RM), które mają kanalizację i na oczyszczalni będą dopływać ścieki świeże, a nie dowożone z osadników gnilnych, czy też ścieki przemysłowe.

Dobre efekty dałoby prawdopodobnie uzupełnienie tych oczyszczalni osadnikami wstępnymi przed stawem napowietrzania lub osadnikami pomiędzy stawem napowietrzania i stawem z rzęsą wodną. Konieczne jest też przestrzeganie zasad prawidłowej eksploatacji, a przede wszystkim intensywności napowietrzania oraz zbiorów rzęsy wodnej 2+3-krotnie w roku, aby nie dopuszczać do jej nadmiernego gromadzenia się na dnie stawu po obumarciu, a następnie do procesów wtórnego zanieczyszczenia ścieków odpływających z oczyszczalni. Celowe wydaje się też prowadzenie dalszych badań, zwłaszcza na starszych obiektach tego typu, w celu ustalenia przyczyn negatywnych zjawisk podczas ich pracy.

Badania wykonano w latach 1996–1998 w ramach programu badawczego nr 5P06H03410 sfinansowanego przez KBN i uzupełniono badaniami kontrolnymi w 2000 r.

LITERATURA

1. H. BRIX, K. BIRKEDAL, N. H. JOHANSEN: Wastewater Treatment in Constructed Wetlands – Designers Manual. The Management Institute. Denmark 1993.
2. R. KICKUTH: Das Wurzelraumverfahren in der Praxis. Landschaft und Stadt, 1984, No. 16.
3. R. MALARSKI, P. OLECH: Oczyszczalnie biologiczne systemem Kickutha. Mat. konf. „Problemy oczyszczania ścieków i ochrony wód w dorzeczu Odry”, RZGW we Wrocławiu, Wrocław 1996.
4. A. L. KOWAL: Systemy oczyszczania ścieków „Lemna”. Mat. konf. „Eksploatacja oczyszczalni ścieków”, PZITS, Kielce 1995, ss. 141–148.
5. M. SIKORSKI, E. KOSTYRA, A. WIDUCH: Charakterystyka techniczna i ocena efektywności pracy oczyszczalni ścieków „Lemna”. Zesz. Nauk. AR Wrocław, 1996, Seria Konferencje nr XIII, ss. 217–227.
6. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 29 listopada 2002 r. Dziennik Ustaw nr 212, poz. 1799.
7. F. CZYŻYK, M. SOROKO: Wstępne wyniki badań efektywności gruntowo-roślinnych i wodno-roślinnych oczyszczalni ścieków. Mat. konf. „Problemy oczyszczania ścieków i ochrony wód w dorzeczu Odry”, RZGW we Wrocławiu, Wrocław 1997, ss. 219–225.
8. J. KUTERA, F. CZYŻYK, M. SOROKO: Ocena efektywności technologicznej oczyszczania ścieków w środowisku naturalnym glebowo-roślinnym i wodno-roślinnym. Raport końcowy z proj. bad. nr 5P06H03410, IMUZ, Wrocław 1999 (praca nie publikowana).
9. Z. SADECKA: Ocena efektywności pracy wybranych oczyszczalni hydrobotanicznych. Ochrona Środowiska, 2003, nr 1, ss. 13–16.
10. G. GELLER: Horizontal flow systems for wastewater treatment: Long-term scientific and practical experiments, recommendations. Proc. "5th Conf. On Wetland Systems for Water Pollution Control", Vienna 1996, No. III/2.

Czyżyk, F. Effectiveness of Sewage Treatment Plants Involving Soil-Vegetable and Water-Vegetable (Lemna-Type) Systems. *Ochrona Środowiska* 2003, Vol. 25, No. 2, pp. 57–60.

Abstract: The investigations covered the time span of 1996–1998 and were carried out in two sewage treatment plants working with a soil-reed bed (Morawa and Szklarka) and two sewage treatment plants involving a Lemna-type water-vegetable bed (Kochcice and Pawonków). Treatment efficiency was found to vary from one plant to another, which should be attributed to the differences in the operating conditions. The low treatment efficiency obtained with the soil-reed bed in Morawa should be attributed to the location of the treatment plant in a shaded area, which resulted in a poorly developed root system. The desired treatment effect was achieved only after having passed the

wastewater to the secondary pond. The treatment efficiencies obtained in the two Lemna-type plants also differ from each other. The treatment effects in Kochcice were much poorer than in Pawonków, and this holds particularly for the removal of nitrogen and phosphorus compounds. It was so because the Kochcice plant worked under a high overloading as compared to the design value. A testing study of the two Lemna-type sewage treatment plants carried out in 2000 revealed a continuing decrease in treatment efficiency with time. There were symptoms of self-contamination in the effluent (increased TSS, ammonia nitrogen, intensifying objectionable odour) produced by the accumulation of poorly stabilized organic sludges on the bottom of the secondary pond.

Keywords: Hydrophyte treatment systems, Lemna-type.