

Zofia Sadecka

Ocena efektywności pracy wybranych oczyszczalni hydrobotanicznych

Oczyszczanie ścieków w ekosystemach bagiennych stosowano już w starożytnych Chinach i Egipcie, wykorzystując roślinność wodolubną do utylizacji nieczystości. Pierwsze doświadczenia tego typu na terenie Europy Zachodniej pochodzą sprzed około stu lat, przy czym wykorzystywanie roślin wodnych do oczyszczania ścieków pojawiło się ponownie w latach 50. i początkowo polecane było w krajach leżących w gorącej strefie klimatycznej. Pierwsze oczyszczalnie hydrobotaniczne (korzeniowe) zaczęły powstawać w Europie w połowie lat 70., a w Polsce w latach 80. Do najbardziej popularnych roślin wykorzystywanych w polskich oczyszczalniach tego typu należą trzcina pospolita, pałka szerokolistna, manna mielec, kosaciec żółty, rzęsa drobna oraz wierzbawiciowa.

Oczyszczalnie hydrobotaniczne są obiektami, którym nie stawia się bardzo wysokich wymagań w zakresie wykonawstwa i obsługi, jednakże wymagane minimum powinno uwzględniać następujące elementy:

- ścieki wprowadzane do oczyszczalni muszą być podczyszczone mechanicznie np. w osadnikach Imhoffa, osadnikach gnilnych, stawach stabilizacyjnych lub w osadnikach wstępnych,

- zapotrzebowanie na teren dla oczyszczalni korzeniowej o przepływie poziomym – najczęściej stosowanym – zgodnie z europejskimi wytycznymi wynosi nie mniej niż 5 m² na mieszkańca równoważnego (MR) i dotyczy uzyskania wartości BZT₅ na odpływie poniżej 30 gO₂/m³, natomiast wartość 10 m²/MR dotyczy układów z usuwaniem azotu i fosforu [2],

- czas pełnego wykształcenia strefy korzeniowej, czyli okres wpracowania, wynosi 2+3 lata; należy zapewnić staranną regulację poziomu ścieków w oczyszczalni, zwłaszcza w okresie jej wpracowania, przy czym poziomy przepływ ścieków powinien odbywać się 25+30 cm pod powierzchnią,

- oczyszczalnie przeznaczone do pracy całorocznej projektuje się na warunki zimowe.

Dane uzyskane z oczyszczalni hydrobotanicznych, działających wg technologii RZM (*Root Zone Method*), czyli oczyszczania ścieków w strefie korzeniowej, wykazują duże rozbieżności pomiędzy skutecznością maksymalną i średnią. Na podstawie doświadczeń zdobytych na około 500 oczyszczalniach trzcinowych w krajach Europy Zachodniej można stwierdzić, że stopień usuwania zanieczyszczeń ze ścieków jest zadowalający. Dane literaturowe [4] wskazują, że w oczyszczalniach makrofitowych można uzyskać obniżenie BZT₅

ścieków w granicach 60+80%, a także usunięcie związków azotu o 9+10% i fosforu o 6+57%. Inne dane [3] wskazują na możliwość uzyskania bardzo wysokiego stopnia usunięcia biogenów ze ścieków, tj. związków azotu – 93% i fosforu – 96%. Wyniki polskich doświadczeń [5] wskazują, że usuwanie zanieczyszczeń w oczyszczalniach korzeniowych jest bardzo efektywne i wynosi dla BZT₅ – 86,0+92,6%, azotu amonowego – 13,9+51,1%, azotu ogólnego – 29,8+54,9% i fosforu ogólnego – 54,4+66,2%. Należy podkreślić, że w okresie zimowym oraz pozawegetacyjnym skuteczność oczyszczalni hydrobotanicznych maleje w zakresie wszystkich wskaźników [1–3].

Jakkolwiek efektywność pracy oczyszczalni ścieków ocenia się przede wszystkim na podstawie usuwania związków organicznych wyrażonych BZT₅ i ChZT, ale również – zgodnie z obowiązującymi przepisami – należy brać pod uwagę efektywność usuwania związków biogenych, tj. azotu i fosforu.

W niniejszej pracy poddano ocenie efektywność oczyszczalni hydrobotanicznych pracujących na terenie województwa lubuskiego w miejscowościach Wawrów, Gralewo, Małyszyn i Rokitno. Efektywność pracy tych oczyszczalni oceniono na podstawie wyników badań z lat 1994–1995 oraz 1997–2000 [6–9]. Analizowane oczyszczalnie pracowały w systemie z podpowierzchniowym przepływem ścieków (VSB – *Vegetated Submerged Beds*), przy czym rośliną wodolubną była trzcina.

Oczyszczalnia w Wawrowie

Oczyszczalnia została oddana do eksploatacji w 1991 r. i obsługuje 1300 mieszkańców. Ścieki po wstępnym oczyszczeniu na kracie i w osadniku Imhoffa kierowane są na poletko o powierzchni 3500 m². W trzecim roku pracy oczyszczalni efekty usuwania zanieczyszczeń były niskie, tj. BZT₅ – 47+48%, ChZT – 37+45%, azot ogólny – 20+30%. W tym okresie zaobserwowano wzrost stężenia azotu azotanowego oraz fosforu w ściekach odpływających z oczyszczalni. Skuteczność usuwania azotu amonowego jesienią 1994 r. wynosiła 40%, a zimą tylko 6%. Ustabilizowanie i poprawa jakości ścieków oczyszczonych nastąpiły dopiero latem 1995 r. Efektywność oczyszczania ścieków była wówczas następująca:

- ChZT: 65,5 %,
- BZT₅: 79,6%,
- azot amonowy: 50,8%,
- azot ogólny: 45,5%,
- fosforany: 2,5%,
- fosfor ogólny: 1,5%.

Tabela 1. Średnia efektywność usuwania zanieczyszczeń w latach 1994–2000

Parametr	Wartość założona w projekcie	Oczyszczalnia ścieków			
		Wawrów	Gralewo	Małyszyn	Rokitno
ChZT	71%	48,5%	23,3%	51,7%	42,7%
BZT ₅	90%	61,7%	41,1%	58,3%	53,5%
Azot amonowy	45%	30,7%	20,6%	28,6%	24,0%
Azot ogólny	57%	29,0%	35,7%	38,4%	21,6%
Fosfor ogólny	66%	7,6%	27,6%	23,5%	3,9%

Po 1995 r. zaobserwowano bardziej stabilną pracę oczyszczalni. W latach 1997–2000 usuwanie związków organicznych wyrażonych BZT₅ było w zakresie 33+82%, a ChZT – 39+67%. Uległo też stabilizacji usuwanie związków biogenych. Azot amonowy usuwany był w okresie wiosenno-letnim w około 50%, podczas gdy jesienią i zimą efektywność spadła do 10+20%. Azot azotanowy usuwany był w 16+50%, azot ogólny – 10+48%, fosforany – 17+39%. Najlepsze wyniki otrzymano latem 1999 r. Porównując te dane z założeniami projektowymi (tab. 1) należy zaznaczyć, że rzeczywiste efekty oczyszczania ścieków były niższe od założonych.

Oczyszczalnia w Gralewie

Korzeniowa oczyszczalnia ścieków w Gralewie została oddana do eksploatacji w maju 1993 r. Zajmuje powierzchnię 3325 m² i obsługuje 1100 mieszkańców. W skład oczyszczalni wchodzi krata, osadnik Imhoffa oraz staw korzeniowy. W pierwszym roku pracy oczyszczalni (1994/1995) efekty usuwania zanieczyszczeń były zadowalające. BZT₅ obniżane było w granicach 58+77%, ChZT – 50,7+74,2%, a azot ogólny usuwany był o około 18+45%. Usuwanie azotu amonowego jesienią 1994 r. wynosiło 45,5%, a zimą – 31,0%. Wiosną 1995 r. nastąpiło znaczne pogorszenie jakości odprowadzanych ścieków. Zaobserwowano wzrost ChZT o 57,9%, a BZT₅ i azotu amonowego o 50,0% w stosunku do ścieków dopływających do oczyszczalni. W latach 1998–2000 usuwanie związków organicznych, wyrażonych jako BZT₅, utrzymywało się na poziomie 54,6+74,3%, a ChZT – 41,7+56,3%. Stabilizacji uległo też usuwanie związków biogenych. Azot azotanowy usuwany był w 30+65,5%, natomiast fosfor ogólny w 16,2+60,3%. Porównując dane eksploatacyjne z założeniami projektowymi (tab. 1) należy stwierdzić, że efekty oczyszczania były niższe od założonych.

Oczyszczalnia w Małyszynie

Oczyszczalnia została oddana do eksploatacji w 1993 r. Obsługuje 1200 mieszkańców i zajmuje powierzchnię 4800 m². W pierwszym roku efekty oczyszczania przedstawiały się następująco:

- BZT₅: 60,5+83,7%,
- ChZT: 42,5+75,6%,
- azot ogólny usuwany był w około 30,0%,
- azot amonowy: 26,3% latem, 21,0% zimą,
- azot azotanowy: 20,0% wzrost stężenia zimą 1994/1995, w porównaniu ze ściekami surowymi.

Wiosną 1995 r. nastąpiło znaczne pogorszenie jakości odprowadzanych ścieków. W odpływie zaobserwowano wzrost stężenia azotu azotanowego (o 50%) i niewielkie

podwyższenie stężenia fosforanów (o 3,1%) oraz fosforu ogólnego (o 3,9%). Latem 1995 r. nastąpiła poprawa efektów oczyszczania. Podstawowe wskaźniki zanieczyszczeń (ChZT, BZT₅) zostały obniżone o około 50%, azot amonowy o 30%, a fosforany o 40%, natomiast zaobserwowano wzrost stężenia azotu azotanowego w odpływie o 11,1%. W latach 1998–1999 usuwanie związków organicznych wyrażonych jako BZT₅ wynosiło 70,0+76,7%, a ChZT – 59,3+63,1%. Uległo też stabilizacji usuwanie związków biogenych. Zawartość azotu azotanowego została obniżona o 15,6+37,5%, a fosforu ogólnego o 38,7+41,8%. Najlepsze wyniki otrzymano w 1999 r., tzn. w szóstym roku pracy oczyszczalni. Rzeczywiste efekty pracy oczyszczalni nieznacznie odbiegały od założeń projektowych.

Oczyszczalnia w Rokitnie

Oczyszczalnia roślinna została oddana do eksploatacji we wrześniu 1992 r. Obsługiwała ona 185 mieszkańców i zajmowała powierzchnię 1200 m². W 2000 r. dyrekcja Domu Pomocy Społecznej w Rokitnie – właściciel oczyszczalni – podjęła decyzję o zamknięciu oczyszczalni trzcinowej i skierowanie ścieków do nowo wybudowanej oczyszczalni wiejskiej. Pomimo wyłączenia oczyszczalni z eksploatacji, w niniejszej pracy postanowiono przedstawić wyniki badań przeprowadzonych na tym obiekcie do 1999 r. W skład oczyszczalni wchodziły dwa osadniki poziome i dwa stawy hydrobotaniczne. W drugim roku pracy oczyszczalni (1994) efekty oczyszczania były niskie, tj. BZT₅ – 48%, ChZT – 37+45%, azot ogólny – 20+30%. W tym okresie zaobserwowano wzrost zawartości azotu azotanowego oraz fosforu w odpływie z oczyszczalni. Usuwanie azotu amonowego jesienią 1994 r. wynosiło 40%, a zimą tylko 6%. Ustabilizowanie i polepszenie jakości odprowadzanych ścieków nastąpiło dopiero latem 1995 r. Poszczególne wskaźniki zanieczyszczeń obniżane były z efektywnością:

- ChZT: 65,5%,
- BZT₅: 79,6%,
- azot amonowy: 50,8%,
- azot ogólny: 45,5%,
- fosforany: 2,5%,
- fosfor ogólny: 1,5%.

Po 1994 r. stwierdzono bardziej stabilną pracę oczyszczalni. W latach 1997–1998 usuwanie związków organicznych wyrażonych jako BZT₅ wynosiło 33+82%, a ChZT – 39+67%. Uległo też stabilizacji usuwanie związków biogenych. Zawartość azotu amonowego w okresie wiosenno-letnim była obniżana o około 50%, podczas gdy zimą i jesienią efektywność spadła do 10+20%. Azot azotanowy usuwany był w 10+20%, azot ogólny – 10+39%, a fosforany – 17+39%.

Tabela 2. Efektywność usuwania zanieczyszczeń w różnych porach roku

Parametr	Oczyszczalnia ścieków							
	Wawrów		Gralewo		Małyszyn		Rokitno	
	jesień–zima	wiosna–lato	jesień–zima	wiosna–lato	jesień–zima	wiosna–lato	jesień–zima	wiosna–lato
ChZT	41,9%	52,2%	62,5%	7,6%	60,4%	42,9%	42,9%	42,5%
BZT ₅	52,2%	68,1%	67,6%	30,5%	71,4%	45,2%	52,2%	56,1%
Azot amonowy	19,4%	42,0%	38,3%	3,0%	35,8%	21,5%	19,4%	33,2%
Azot ogólny	18,6%	37,4%	31,5%	37,8%	35,2%	41,6%	18,6%	27,6%
Fosfor ogólny	0,2%	13,6%	1,5%	40,6%	20,6%	26,3%	0,2%	11,4%

Najlepsze wyniki otrzymano wiosną 1998 r., ale i one – szczególnie w zakresie usuwania związków biogenych – odbiegały od założeń projektowych (tab. 1).

Ocena pracy oczyszczalni

Analizowane oczyszczalnie ścieków pracują już 7+10 lat, zatem dokonując oceny efektywności ich działania porównano średnie wartości usuwania zanieczyszczeń na poszczególnych obiektach z danymi literaturowymi, według których systemy hydrobotaniczne zapewniają obniżenie BZT₅ na poziomie 50+90% [1,2,5]. Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 1, badane oczyszczalnie pracowały z efektywnością minimalną w zakresie usuwania zanieczyszczeń organicznych. Obniżanie wartości BZT₅ w oczyszczalniach było na poziomie 42+61%, a ChZT – 23+52%. Eliminacja azotu organicznego w oczyszczalniach korzeniowych – zgodnie z danymi literaturowymi – wynosi od 25+83% [2,5,9], natomiast w analizowanych oczyszczalniach wynosiła średnio 21+38%. Uśrednienie wyników oczyszczania ścieków w poszczególnych obiektach wykazała, że efekty nie były zadowalające i często obniżanie wartości danego wskaźnika nie dochodziło nawet do 50% wartości założonej w projekcie.

Przedstawione wyniki badań wykazały znaczne różnice w efektach oczyszczania ścieków uzyskanych w okresach jesienno-zimowym oraz wiosenno-letnim, przy czym dotyczyło to zarówno zanieczyszczeń organicznych, jak i substancji biogenych (tab. 2). Nierównomierność pracy zaobserwowano we wszystkich analizowanych oczyszczalniach ścieków. W okresie niskich temperatur spadała w szczególności efektywność usuwania związków biogenych, natomiast usuwanie zanieczyszczeń organicznych było na zbliżonym poziomie w obu sezonach.

Okresowe usuwanie i uwalnianie związków fosforu

Usuwanie związków fosforu w oczyszczalniach hydrobotanicznych zależy od intensywności przebiegu procesów biotycznych i abiotycznych. Pierwsza grupa procesów zachodzi z udziałem fauny i flory, i polega na usuwaniu związków fosforu przez rośliny, plankton, peryfiton i mikroorganizmy oraz mineralizacji biomasy i fosforu organicznego znajdującego się w złożu makrofitowym, natomiast procesy abiotyczne (mechaniczne, fizyczne i chemiczne) to np. sedimentacja, sorpcja, strącanie i procesy wymiany. Skuteczność tych procesów zależy od czynników środowiskowych i parametrów oczyszczalni, wpływając na końcowy efekt usuwania fosforu.

Analizowane oczyszczalnie charakteryzowały się różną sprawnością w usuwaniu związków fosforu. Z danych zestawionych w tabeli 3 wynika, że w okresie letnim, a więc w okresie wegetacji trzciny, temperatura wpływała dodatnio na usuwanie związków fosforu ze ścieków. Najlepsze efekty eliminacji związków fosforu (43,5+60,3%) uzyskano w oczyszczalni w Gralewie w okresach letnich. W oczyszczalni w Małyszynie związki fosforu usuwane były latem w około 40%, natomiast w dwóch pozostałych oczyszczalniach w okresie letnim skuteczność usuwania fosforu nie przekroczyła 23%. W okresach jesienno-zimowych, a także wiosną, zaobserwowano spadek skuteczności usuwania związków fosforu we wszystkich analizowanych oczyszczalniach. W latach 1994–1995 zaobserwowano wzrost stężenia związków fosforu w ściekach oczyszczonych, w porównaniu do ścieków surowych. Wzrost ten spowodowany był uwalnianiem się związków fosforu wcześniej zdeponowanych w podłożu, a również z obumarłej roślinności makrofitowej.

Według danych literaturowych oczyszczanie hydrobotaniczne powodują usuwanie fosforu ogólnego ze ścieków w granicach 50+70% [2]. Inne dane [5] mówią o niskiej skuteczności usuwania związków fosforu w wielu systemach hydrobotanicznych. Osiągana w rzeczywistości średnia efektywność usuwania związków fosforu w badanych oczyszczalniach wahała się w szerokich granicach 3,9+27,6%.

Podsumowanie

Analizowane hydrobotaniczne oczyszczalnie ścieków w Wawrowie, Małyszynie, Gralewie i Rokitnie, będące samodzielnymi obiektami, w największym stopniu – choć niedostatecznym – usuwały zanieczyszczenia organiczne. Średnie wartości obniżania ChZT ścieków w okresie badań wynosiły 23+52%, natomiast BZT₅ – 42+61%. Oczyszczalnie wykazały niską skuteczność usuwania związków biogenych. Azot organiczny usuwany był średnio o 21+38%, podczas gdy średnie usuwanie związków fosforu wynosiło w granicach 4+28%. Najefektywniejsze usuwanie związków fosforu stwierdzono w oczyszczalni w Gralewie latem 2000 r. (o 60%). W okresie jesienno-zimowym zaobserwowano w oczyszczalniach spadek skuteczności usuwania związków azotu i fosforu. Po 2+3 latach pracy stwierdzono wzrost stężenia związków fosforu w ściekach oczyszczonych, w porównaniu do ścieków surowych. Zjawisko to zaobserwowano w okresach jesienno-zimowych, w których w niesprzyjających warunkach tlenowych i temperaturowych panujących w złożu makrofitowym następowało uwalnianie związków fosforu wcześniej zdeponowanych w roślinności wodolubnej i mikroorganizmach glebowych.

Tabela 3. Efektywność usuwania związków fosforu

Oczyszczalnia ścieków	Jesień 1994	Zima 1994/95	Wiosna 1995	Lato 1995	Jesień 1997	Zima 1997/98	Wiosna 1998	Lato 1999	Lato 2000
Wawrów	-10,3%	-6,4%	16,8%	1,5%	7,3%	10,0%	5,9%	22,8%	21,1%
Gralewo	7,3%	-4,3%	-	43,5%	-	-	16,2%	42,3%	60,3%
Małyszyn	18,2%	4,9%	-3,9%	41,1%	-	-	-	41,8%*	-
Rokitno	-10,3%	-6,4%	16,8%	-	7,3%	10,0%	5,9%	-	-

* lato 1998 r.

Niedostateczny stopień usuwania zanieczyszczeń w badanych oczyszczalniach wynikał z przyjęcia w fazie projektowania zbyt niskich powierzchni jednostkowych (Wawrów 2,5 m²/MR, Gralewo 3,0 m²/MR, Małyszyn 3,8 m²/MR, Rokitno 5,7 m²/MR). Zgodnie z wytycznymi europejskimi, powierzchnia oczyszczalni hydrobotanicznej nie powinna być mniejsza niż 5 m²/MR, co zapewni uzyskanie wartości BZT₅ na odpływie poniżej 30 gO₂/m³, natomiast wartość 10 m²/MR dotyczy układów z usuwaniem związków azotu i fosforu [2].

LITERATURA

1. R. KICKUTH: Degradation in corporation of nutrients from rural waste waters by plants rhizosphere under limnic conditions. In "Utilization of manure land spreading. Coordination of Agricultural Research Commission of the European Communities", London 1977.
2. P. KOWALIK, H. OBARSKA-PEMPKOWIAK: Zasady pracy małych hydrobotanicznych oczyszczalni ścieków. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty 1994.
3. Mat. sem. „Hydrobotaniczne metody oczyszczania ścieków”, Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa 1995.
4. H. H. SCHIERUP, H. BRIX: Danish experiments with emergent hydrophyte treatment systems (EHTS). Water Science and Technology, 1990, No. 24, pp. 259–266.
5. L. KALISZ, J. SAŁBUT: Wykorzystanie makrofitów przy oczyszczaniu ścieków. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1992.
6. Oczyszczalnie korzeniowe. Urząd Wojewódzki, Gorzów Wielkopolski 1998 (praca nie publikowana).
7. Oczyszczalnie hydrobotaniczne w Wawrowie, Gralewie, Małyszynie i Rokitnie. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Zielona Góra 1994–2000 (prace nie publikowane).
8. Z. SADECKA, E. S. KEMPA: Oczyszczanie ścieków w oczyszczalniach roślinno-korzeniowych. Mat. konf. „Oczyszczanie ścieków. Nowe trendy, modernizacja istniejących oczyszczalni i gospodarka osadowa”, Politechnika Białostocka, Rajgród 1997.
9. P. CHRZANOWSKI: Oczyszczanie hydrobotaniczne. Politechnika Zielonogórska, Zielona Góra 2001 (praca nie publikowana).

Sadecka, Z. Hydrophyte Treatment Systems: A Case Study. *Ochrona Środowiska* 2003, Vol. 25, No. 1, pp. 13–16.

Abstract: Four hydrophyte treatment systems of choice (Wawrów, Gralewo, Małyszyn and Rokitno) located in the west of Poland in a lacustrine-agricultural area were investigated for treatment efficiency in the time span of 1994/1995 and 1997 to 2000. The objects under study involve the vegetated submerged bed system (VSB) with reed as a hydrophilic plant. The difference in treatment efficiency between the autumn/winter and spring/summer seasons was found to be a substantial one. The average removal efficiency values measured in the investigated

period differed from relevant data reported in the literature (e.g., BOD₅, 52%; COD, 62%; ammonia nitrogen, 31%; total nitrogen, 39%, and phosphorus, 28%). The efficiency of total nitrogen removal was very poor (Wawrów, 11.9 to 22.8%; Gralewo, 4.3 to 60.3%; Małyszyn, 3.9 to 38.7% and Rokitno, 10.3 to 16.8%). There were also episodes of increased phosphorus concentration in treated water samples, which implies that there are periods when the phosphorus deposited in the macrophytic bed is released.

Keywords: Hydrophyte treatment systems, pollutants removal, biogens removal.