

# CAŁOROCZNE OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW Z PRZETWÓRSTWA OWOCOWO-WARZYWNEGO W ZŁOŻU HYDROFITOWYM

**Marek SOROKO**

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Dolnośląski Ośrodek Badawczy we Wrocławiu

*Słowa kluczowe: BZT<sub>5</sub>, ChZT, substancja organiczna, ścieki z przetwórnii owocowo-warzywnej, złożo hydrofitowe*

## Streszczenie

Badano całoroczną skuteczność oczyszczania ścieków z małej przetwórnii owocowo-warzywnej w piaskowym złożu hydrofitowym z przepływem pionowym, porośniętym trzcina. W ściekach tych, ubogich w azot i fosfor, głównym zanieczyszczeniem była substancja organiczna. Jej zawartość, wyrażona w BZT<sub>5</sub> i ChZT, wynosiła odpowiednio 1 500–11 800 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup> i 2 000–17 000 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>. Skuteczność jej usuwania zależała w dużym stopniu od temperatury złoża. W temperaturze powyżej 5°C znosiło ono zadawalająco obciążenia wyrażone w BZT<sub>5</sub> do ok. 90 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> i wyrażone w ChZT do ok. 130 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. W temperaturze 3–5°C dopuszczalne okazały się obciążenia złoża wyrażone w BZT<sub>5</sub> i ChZT odpowiednio do ok. 50 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> i do ok. 70 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. W temperaturze złoża 1–2°C dopuszczalne obciążenie wyrażone w ChZT wyniosło ok. 30 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

## WSTĘP

Przetwórstwem owocowo-warzywnym zajmuje się w Polsce ok. 130 dużych i średnich zakładów oraz ok. 1 000 małych przetwórnii o rocznej produkcji do ok. 1 000 t [TALIK 2000]. Według danych GUS [GUS... 2002–2008] wszystkie one wytwarzają rocznie średnio ok. 10 hm<sup>3</sup> ścieków wymagających oczyszczenia, z czego 0,5 hm<sup>3</sup> jest oczyszczane tylko mechanicznie, a 0,25 hm<sup>3</sup> stanowią ścieki nieoczyszczone. Jakość ścieków z przetwórstwa owocowo-warzywnego jest bardzo różna i zależy od rodzaju przerabianych owoców i warzyw, rodzaju produktu oraz

gospodarki wodą w zakładzie. Są to ścieki ubogie w azot i fosfor, a ich głównym zanieczyszczeniem jest substancja organiczna. Jej zawartość, wyrażona w BZT<sub>5</sub>, osiąga na ogół ok. 500–5000 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup> [KOZIOROWSKI 1980; RÜFFNER, ROSENWINKEL 1998]. W małych przetwórnich największe wartości BZT<sub>5</sub> występują w ściekach z przerobu owoców – bogatych w kwasy organiczne. Okresowo przekraczają one znacznie 5000 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup> [SOROKO 2003; TALIK, CHUDZIK 2000]. Z przedstawionych danych wynika, że BZT<sub>5</sub> tego rodzaju ścieków osiąga średnio wartość około 10-krotnie, a maksymalnie ponad 20-krotnie większą niż w typowych ściekach komunalnych.

Ścieki z małych przetwórni owocowo-warzywnych charakteryzują się też bardzo dużą sezonową zmiennością ilości i jakości oraz niskim odczynem, co utrudnia ich oczyszczanie metodami konwencjonalnymi. W latach 90. XX w. zaczęto w Polsce wykorzystywać do ich unieszkodliwiania systemy hydrofitowe, oparte na złożach gruntowo-roślinnych z poziomym przepływem podpowierzchniowym. Badania przeprowadzone przez Autora na przykładowej oczyszczalni hydrofitowej tego typu, a także na oczyszczalni doświadczalnej wykazały, że zastosowanie do oczyszczania tych ścieków podtopionych złóż z poziomym przepływem podpowierzchniowym daje efekty dalece niewystarczające w odniesieniu do zmniejszenia ich BZT<sub>5</sub> i ChZT, nawet w warunkach małego obciążenia złóż ściekami. Przy obciążeniu wyrażonym w BZT<sub>5</sub> na poziomie 20–30 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, BZT<sub>5</sub> odpływu zmniejszyło się zaledwie o 50–60%, a jego stężenie przekraczało wielokrotnie dopuszczalne wartości [SOROKO 2003]. Uzyskane wyniki stały się inspiracją do podjęcia badań nad skutecznością oczyszczania tych ścieków w złożach z przepływem pionowym. Stosowanie na nich przerywanego rozprowadzania ścieków na całej powierzchni bardzo ułatwia przepływ tlenu w głąb złoża. Umożliwia to intensywne procesy mineralizacji substancji organicznej dostarczanej ze ściekami oraz nityfikacji ich azotu amonowego. Celem badań było uzupełnienie wcześniej uzyskanych wyników [SOROKO 2007], ze zwróceniem szczególnej uwagi na wpływ warunków termicznych występujących w złożu na skuteczność jego działania w trakcie całorocznej eksploatacji.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Miejscem badań była Stacja Badawcza ITP we Wrocławiu. Prowadzono je na pilotowym złożu hydrofitowym zbudowanym z piasku, uszczelnionym folią i porośniętym trzciną pospolitą (*Phragmites australis* C. Trin ex Steudel). Powierzchnia złoża wynosiła 5 m<sup>2</sup>, a miąższość 0,9 m. Dolna część była zbudowana z piasku o parametrach  $d_{10} = 0,22$  mm i  $d_{60} = 0,59$  mm, a górna z piasku o parametrach  $d_{10} = 0,30$  mm i  $d_{60} = 0,87$  mm. Złoże zostało zbudowane w 2002 r. i najpierw oczyszczano na nim przez 3 lata ścieki z małej ubojni trzody chlewnej. W tym czasie nastąpiło jego tzw. wpracowanie, polegające m.in. na pełnym rozwoju trzciny.

W złożu zostały skumulowane znaczne ilości azotu i fosforu, co wykazały nadmierne stężenia  $N_{og}$  i  $P_{og}$  w odpływach. Stężenia te zmniejszono wiosną 2005 r., stosując przez kilka miesięcy przepłukiwanie złoża wodą do poziomu znacznie poniżej dopuszczalnego dla tego rodzaju ścieków odprowadzanych do wód lub do ziemi i wynoszącego  $30 \text{ g } N_{og} \cdot \text{m}^{-3}$  oraz  $3 \text{ g } P_{og} \cdot \text{m}^{-3}$  [Rozporządzenie... 2006].

Badania prowadzono od czerwca 2005 r. do marca 2009 r. Surowe ścieki były dostarczane co kilka tygodni z małej przetwórnicy owocowo-warzywniej w Karwińcu k. Bierutowa. Po przywiezieniu magazynowano je w zbiorniku sąsiadującym ze złożem, w którym następowało mechaniczne ich oczyszczanie. Gromadzący się na dnie osad usuwano przed każdym nowym transportem, aby ograniczyć procesy gnilne.

Ścieki były rozdeszczowywane równomiernie na powierzchnię złoża, dwa razy na dobę, a po przesączeniu się przez złożo, odprowadzane na zewnątrz drenażem ułożonym na jego dnie. Obciążenie hydrauliczne złoża było okresowo zmieniane od  $6$  do  $40 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ , co wynikało z szerokiego zakresu założonych obciążeń złoża substancją organiczną i dużych wahań w zanieczyszczeniu nią ścieków. Zakres obciążeń złoża substancją organiczną wyrażoną w  $BZT_5$  wynosił od  $20$  do  $140 \text{ g } O_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , a wyrażoną w  $ChZT$  – od  $20$  do  $180 \text{ g } O_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ .

Badaniami objęto ścieki ze zbiornika magazynowego oraz odpływy ze złoża. Próbkę ścieków i odpływów pobierano co 1–3 tygodnie. Próbkę odpływów pobierano z ich objętości gromadzonych w zbiorniku przez dobę. Oznaczano w nich:

- pH – potencjometrycznie;
- $BZT_5$  – metodą rozcieńczeń;
- $ChZT$  – metodą dwuchromianową;
- azot ogólny Kjeldahla,  $N-NH_4$ ,  $N-NO_3$  i  $P_{og}$  – metodą kolorymetryczną;
- zawiesinę ogólną – wagowo.

Temperaturę złoża mierzono w studziencie o średnicy  $100 \text{ mm}$ , zainstalowanej w pobliżu wypływu ścieków, w dolnej jej części, oddzielonej od górnej przegrodą termiczną. Temperaturę powietrza uzyskano z oddalonej ok.  $2 \text{ km}$  stacji meteorologicznej, należącej do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Ścieki, które przywożono z małej przetwórnicy owocowo-warzywniej, charakteryzowały się dużym zakresem nagromadzenia substancji organicznej, w zależności od rodzaju przerobionego surowca.  $BZT_5$  świeżo przywiezionych ścieków z przerobu warzyw wynosiło średnio  $2000 \text{ g } O_2 \cdot \text{m}^{-3}$ , a maksymalnie – do  $2800 \text{ g } O_2 \cdot \text{m}^{-3}$ . Dla  $ChZT$  odpowiednie wartości wyniosły  $2600$  i  $4000 \text{ g } O_2 \cdot \text{m}^{-3}$ . W ściekach z przerobu owoców wskaźnik ten był znacznie większy i wynosił dla  $BZT_5$  średnio  $6800 \text{ g } O_2 \cdot \text{m}^{-3}$  i maksymalnie  $11\,800 \text{ g } O_2 \cdot \text{m}^{-3}$ . Odpowiednie wartości dla  $ChZT$  wyniosły  $9200$  i  $17\,000 \text{ g } O_2 \cdot \text{m}^{-3}$ . Podczas magazynowania ścieków w okresach

pozazimowych, notowano zmniejszanie się ich wartości o ok. 0,5–1,0% na dobę. Odczyn świeżych ścieków z przerobu warzyw mieścił się w zakresie 5,5–6,2, a ścieków z przerobu owoców w zakresie 3,6–4,7 i nie zmieniał się w trakcie kilkutgodniowego magazynowania ścieków. Stężenie zawiesiny ogólnej wynosiło od 100 do 500 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>. Koncentracja azotu i fosforu ogólnego była mała i wynosiła odpowiednio od 15 do 35 g·m<sup>-3</sup> oraz od 0,9 do 7,0 g·m<sup>-3</sup>. Głównym celem oczyszczania tych, ścieków przed odprowadzeniem ich do wód lub do ziemi, było osiągnięcie dużej skuteczności usuwania z nich substancji organicznej wyrażonej w BZT<sub>5</sub> i ChZT, odpowiednio do poziomu poniżej 25 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup> i do 125 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>, oraz ich neutralizacja [Rozporządzenie... 2006].

Badania wykazały, że skuteczność usuwania substancji organicznej na pracującym złożu piaskowym z przepływem pionowym zależała głównie od obciążenia go tym zanieczyszczeniem oraz od temperatury złoża. Zmniejszały ją większe obciążenie oraz niższa temperatura złoża. W temperaturze powyżej 5°C, zadowalające usuwanie substancji organicznej wyrażonej w BZT<sub>5</sub> osiągnięto stosując obciążenia nią złoża do ok. 90 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (tab. 1). W przypadku substancji organicznej wyrażonej w ChZT, dopuszczalne obciążenie złoża wynosiło w tych warunkach ok. 130 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (tab. 2).

W czasie łagodnych zim z 2006 na 2007 r. i z 2007 na 2008 r., najzimniejszym miesiącem był luty. Średnia jego miesięczna temperatura wynosiła odpowiednio 2,6 i 2,7°C, a minimalna dobową –3,1 i –3,9°C. Efektem tego był spadek średniej temperatury złoża do 4,3 i 3,2°C, a jej wartości ekstremalne w tych okresach utrzymywały się w przedziale 3–5°C. W tych warunkach skuteczność pracy złoża znacznie się zmniejszyła. Dopuszczalne jego obciążenie substancją organiczną wyrażoną w BZT<sub>5</sub> wynosiło w tym czasie już tylko ok. 50 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (tab. 1), a wyrażone w ChZT – ok. 70 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (tab. 2).

Dalsze pogorszenie skuteczności złoża nastąpiło w czasie surowszych zim z 2005 na 2006 r. i z 2008 na 2009 r. W grudniu 2005 r. i w lutym 2009 r. średnia miesięczna temperatura wynosiła odpowiednio 0,9 i –0,1°C, a minimalna dobową –6,4 i –4,8°C, a średnia temperatura złoża –2,0 i 1,2°C. Dopuszczalne obciążenie złoża substancją organiczną wyrażoną w ChZT wyniosło ok. 30 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. W tych warunkach, już najmniejsze z zastosowanych obciążeń złoża substancją organiczną wyrażone w BZT<sub>5</sub> na poziomie ok. 30 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> okazało się za duże (tab. 1). Zdecydowanie najzimniejszym miesiącem w całym okresie badań był styczeń 2006 r. Jego średnia temperatura wyniosła –6°C, a minimalna dobową –19,9°C. Złoże okazało się nieodporne na takie temperatury i nastąpiło jego przymarznięcie.

Złoże zaskakująco skutecznie neutralizowało niski odczyn ścieków. Jego wartość w odpływach wynosiła od 7,2–8,2 i zbędna okazała się planowana alkalizacja dopływów na złoża. Stężenie azotu i fosforu ogólnego w odpływach nie przekraczało 8 g N·m<sup>-3</sup> i 0,9 g P·m<sup>-3</sup> i było znacznie mniejsze od dopuszczalnych wartości (30 g N·m<sup>-3</sup> i 3 g P·m<sup>-3</sup>). Średnia koncentracja zawiesiny ogólnej w oczyszczanych

**Tabela 1.** BZT<sub>5</sub> w ściekach z małej przetwórnii owocowo-warzywniej oczyszczonych na złożu hydrofitowym z przepływem pionowym; wartości średnie z lat 2005–2009

**Table 1.** BOD<sub>5</sub> in wastewater from small fruit and vegetable processing plant treated in reed bed with vertical flow; mean values from the years 2005–2009

Obciążenie złoża substancją organiczną wyrażoną w BZT <sub>5</sub> Load of the organic matter on the bed expressed in BOD <sub>5</sub> g O <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	Temperatura złoża, °C Temperatures of the bed, °C								
	>5			3–5			1–2		
	liczba prób number of the samples	BZT <sub>5</sub> odpływów BOD <sub>5</sub> of the effluent		liczba prób number of the samples	BZT <sub>5</sub> odpływów BOD <sub>5</sub> of the effluent		liczba prób number of the samples	BZT <sub>5</sub> odpływów BOD <sub>5</sub> of the effluent	
		średnie mean	maks. max.		średnie mean	maks. max.		średnie mean	maks. max.
g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup>			g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup>			g O <sub>2</sub> ·m <sup>-3</sup>			
20–40	14	5	9	1	7	7	6	87	110
40–60	9	6	13	5	16	32	3	205	280
60–80	15	11	37	3	69	115	–	–	–
80–100	15	16	53	2	111	190	–	–	–
100–120	4	88	270	2	330	485	–	–	–
120–140	2	103	180	–	–	–	–	–	–

Objaśnienia: dopuszczalne BZT<sub>5</sub> odpływu – 25 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>.

Explanations: admissible BOD<sub>5</sub> of the effluent – 25 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

**Tabela 2.** ChZT w ściekach z małej przetworni owocowo-warzywnej oczyszczonych na złożu hydrofitowym z przepływem pionowym; wartości średnie z lat 2005–2009

**Table 2.** COD in wastewater from small fruit and vegetable processing plant treated in reed bed with vertical flow; mean values from the years 2005–2009

Obciążenie złoża substancją organiczną wyrażoną w ChZT Load of the organic substance on the bed expressed in COD $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	Temperatura złoża, °C    Temperatures of the bed, °C								
	>5			3–5			1–2		
	liczba prób number of the samples	ChZT odpływów COD of the effluent		liczba prób number of the samples	ChZT odpływów COD of the effluent		liczba prób number of the samples	ChZT odpływów COD of the effluent	
		średnie mean	maks. max.		średnie mean	maks. max.		średnie mean	maks. max.
		$\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$			$\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$			$\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$	
20–40	0	–	–	0	–	–	3	115	145
40–60	16	62	107	2	49	54	4	211	270
60–80	9	96	122	3	75	93	2	300	354
80–100	11	91	115	3	139	160	–	–	–
100–120	8	101	147	2	192	295	–	–	–
120–140	16	100	163	3	361	634	–	–	–
140–160	3	271	794	–	–	–	–	–	–
160–180	1	653	653	–	–	–	–	–	–

Objaśnienia: dopuszczalne ChZT odpływu –  $125 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ .

Explanations: admissible COD of the effluent –  $125 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ .

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

ściekach osiągnęła  $44 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , przy dopuszczalnych  $35 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  [Rozporządzenie... 2006].

Wskaźniki obciążeń badanych złóż substancją organiczną wyrażoną w BZT<sub>5</sub> i ChZT, przy których uzyskiwano zadowalające rezultaty, były, poza okresami surowszych zim, znacznie większe niż zalecane na ogół do przyjmowania jako bezpieczne dla tego typu złóż. W przypadku oczyszczania ścieków komunalnych, wynoszą one przeważnie od ok. 20 do  $40 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  [BRIX 2004; COOPER 2004; LANGERGRABER i in. 2006; MÜLLER, LÜTZNER 1999; PLATZER 1998].

Ograniczenia te wynikają w dużej mierze z obaw przed szybką kolmatacją złóż. Jest ona poważnym zagrożeniem przy niewystarczającym dopływie tlenu do złóż, prowadzącym do odkładania się substancji organicznej w ich wnętrzu. W badanych ściekach stężenie tej substancji było 10–20-krotnie większe niż w ściekach komunalnych, z czego wynikały małe obciążenia hydrauliczne złóż i rzadsze dawkowanie ścieków. Powodowało to prawdopodobnie dominację stref nienasyconych w złożu i umożliwiało intensywne jego natlenianie. Z badań wynika, że dopływ tlenu do złoża był w okresach pozazimowych wystarczający, aby nastąpiła pełna mineralizacja substancji organicznej dostarczanej na złożo (wyrażonej w BZT<sub>5</sub>) w ilości do  $90 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . Dodatkowe ilości tlenu były zużywane na mineralizację biomasy powstającej na złożu oraz na procesy nityfikacyjne. W całym okresie badań nie zaobserwowano jakichkolwiek objawów kolmatacji złoża, nawet podczas największych jego obciążeń, co potwierdza bardzo wysokie możliwości jego natleniania się. Czynnikiem korzystnie wpływającym na skuteczność złoża był też długi czas zatrzymania w nim ścieków, wynikający z małych obciążeń hydraulicznych ściekami.

Heterotrofy, odpowiedzialne za usuwanie ze ścieków substancji organicznej, okazały się wrażliwe na zimowe obniżki temperatur w złożu. Już w temperaturze  $3\text{--}5^\circ\text{C}$ , dopuszczalne obciążenia złoża ładunkami BZT<sub>5</sub> i ChZT zmniejszyły się średnio o ok. 45% w porównaniu z okresami cieplejszymi, a kilkakrotnie w temperaturze złoża w przedziale  $1\text{--}2^\circ\text{C}$ . Wpływ temperatury złoża hydrofitowego z przepływem pionowym na jego skuteczność w usuwaniu ChZT ze ścieków bytowych wykazały też badania austriackie. W okresie zimowym, w średniej temperaturze powietrza  $-2^\circ\text{C}$ , temperatura złoża spadała do  $0,5\text{--}1,0^\circ\text{C}$ . W tych warunkach usuwanie ChZT wyniosło 90–95%, przy 98% notowanych latem [REGELSBERGER, REGELSBERGER 2006]. Lepszą skuteczność osiągnęło tego typu złożo zimą w badaniach niemieckich dotyczących ścieków komunalnych. W średniej temperaturze powietrza  $-3,4^\circ\text{C}$  usuwanie ChZT wyniosło aż 98% [MÜLLER, LÜTZNER 1999]. W obu badaniach obciążenie złoża ładunkiem ChZT było małe i wyniosło ok.  $15 \text{ g O}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ .

Mniejsza skuteczność złóż hydrofitowych z przepływem pionowym w usuwaniu substancji organicznej ze ścieków w okresach zimowych oznacza, że metoda ta najlepiej nadaje się do zastosowania w tych małych przetwórnich owocowo-warzywnych, w których ilość ścieków zimą mniejsza się znacznie lub, jak na

przykład w zamrażalniach owoców, nie ma ich wcale. Według pomiarów TALIKA i CHUDZIKA [2000], ilość tych ścieków z dwóch małych przetwórni była o 20–50% większa od wiosny do jesieni niż zimą. KOZIOROWSKI [1980] podaje, że w dużych przetwórniach owocowo-warzywnych ilość ścieków zmniejsza się w okresach pozasezonowych o co najmniej 50%, zawierają też mniej zanieczyszczeń. Przy wyrównanych w ciągu całego roku ładunkach zanieczyszczeń w ściekach powstających w przetwórni, należałoby projektować złoża na parokrotnie mniejsze ich obciążenie substancją organiczną lub zmniejszać odpowiednio ilość ścieków dostarczanych na złoża zimą. Odbiorcą części ścieków mogłaby być np. najbliższej położona oczyszczalnia komunalna lub spełniająca odpowiednie warunki tzw. oczyszczalnia glebowo-roślinna.

Aby uzyskać stabilną i efektywną pracę złóż z przepływem pionowym w okresach zimowych, niezbędna jest ochrona instalacji rozprowadzającej ścieki na złoża i powierzchni złóż przed tworzeniem się na nich lodu. Według badań austriackich [REGELSBERGER, REGELSBERGER 2006], podczas których średnia temperatura powietrza wynosiła  $-2^{\circ}\text{C}$ , zapewni to, w odniesieniu do rurociągów, stały ich spadek, a w odniesieniu do złóż – warstwa żwiru na ich powierzchni, umożliwiającą szybkie wnikanie do niej ścieków. Według BRIXA [2004], wystarczającym zabezpieczeniem rurociągów rozprowadzających jest okrycie ich warstwą zrębków o grubości 0,2 m. Skutecznym, ale utrudniającym kontrolę systemu sposobem, może też być wprowadzenie ich pod powierzchnię złóż [LABER i in. 2003].

## WNIOSKI

1. Złoże piaskowe z przepływem pionowym, porośnięte trzcina, okazało się bardzo skuteczne w oczyszczaniu ścieków z małej przetwórni owocowo-warzywniej i znosiło w okresach pozazimowych w stopniu zadawalającym obciążenia substancją organiczną wyrażoną w  $\text{BZT}_5$  i  $\text{ChZT}$  – odpowiednio do ok.  $90 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  i do ok.  $139 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ .

2. Wraz ze spadkiem temperatury złoża, zmniejszało się jego dopuszczalne obciążenie – średnio o ok. 45%, gdy temperatura złoża wynosiła  $3\text{--}5^{\circ}\text{C}$  i kilkakrotnie w temperaturze  $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$ .

3. Złoża hydrofitowe z przepływem pionowym nadają się najlepiej do zastosowania w tych małych przetwórniach owocowo-warzywnych, w których w okresach zimowych ładunki zanieczyszczeń w ściekach zmniejszają się znacznie w porównaniu z okresami kampanii letnio-jesiennych.



## LITERATURA

- BRIX H. 2004. Danish guidelines for small-scale constructed wetland systems for onsite treatment of domestic sewage. *Wetland Systems for Water Pollution Control*. 9th Intern. Conf. Avignon, France. Inter. Water Assoc. s. 1–9.
- COOPER P. 2004. The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates. *Wetland Syst. for Water Pollution Control*. 9th Intern. Conf. Avignon, France. Inter. Water Assoc. s. 153–161.
- KOZIOROWSKI B. 1980. *Oczyszczanie ścieków przemysłowych*. Warszawa. WNT ss. 622.
- LABER J., HABERL R., PERFLER R. 2003. Enhanced nitrogen elimination in vertical flow constructed wetlands in cold climates. *Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climates*. Southamton, Boston. WIT Press s. 107–122.
- LANGERGRABER G., PRANDTSTETTEN C., PRESSL A., ROHRHOFER R., HABERL R. 2006. Removal efficiency of subsurface vertical flow constructed wetlands for different organic loads. *Wetland Systems for Water Pollution Control*. 10th Intern. Conf. Lisbon, Portugal. Inter. Water Assoc. s. 587–598.
- MÜLLER V., LÜTZNER K. 1999. Kolmatacja oczyszczalni roślinnych. *Gaz Woda i Technika Sanitarna*. Nr 9 s. 1–8.
- GUS. 2002–2008. *Ochrona środowiska. Informacje i opracowania statystyczne*. Warszawa.
- PLATZER C. 1998. Design recommendation for subsurface flow constructed wetland for nitrification and denitrification. *Wetland Systems for Water Pollution Control*. 6th Intern. Conf. Sao Pedro, Brazil. Inter. Water Assoc. s. 90–100.
- REGELSBERGER M., REGELSBERGER B. 2006. Subsurface vertical reed beds in cold climates. *Wetland Systems for Water Pollution Control*. 10th Intern. Conf. Lisbon, Portugal. Inter. Water Assoc. s. 869–876.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi. Dz.U. Nr 137 poz. 984.
- RÜFFER H., ROSENWINKEL K.H. 1998. *Oczyszczanie ścieków przemysłowych*. Poradnik. Bydgoszcz. Ofic. Wydaw. Projprzem-Eko. ss. 560.
- SOROKO M. 2003. *Oczyszczanie ścieków z małych przetwórní owocowo-warzywnych w oczyszczalniach hydrofitowych*. Woda Środowisko Obszary Wiejskie. T. 3 z. 2 s. 119–128.
- SOROKO M. 2007. *Oczyszczanie ścieków z małej przetwórní owocowo-warzywnej w złożach grunto-roślinnych z przepływem pionowym*. Woda Środowisko Obszary Wiejskie. T. 7 z. 2b s. 177–184.
- TALIK B., CHUDZIK B. 2000. *Oczyszczanie ścieków z małych przetwórní zlokalizowanych na wsi*. Wiadomości IMUZ. T. 20 z. 3 s. 199–212.
- TALIK B. 2000. *Charakterystyka zużycia wody i jakości ścieków w dwóch małych przetwórníach owocowo-warzywnych*. Wiadomości IMUZ. T. 20 z. 4 s. 117–128.

Marek SOROKO

**ANNUAL TREATMENT OF WASTEWATER  
FROM SMALL FRUIT AND VEGETABLE PROCESSING PLANT  
IN THE REED BED SYSTEM WITH VERTICAL FLOW**

*Key words: BOD<sub>5</sub>, COD, organic matter, reed bed system, wastewater from fruit and vegetable processing plant*

S u m m a r y

Annual efficiency was examined of the treatment of wastewater from small fruit and vegetable processing plant in a sandy hydrophyte bed with vertical flow overgrown by reed. The main pollutant in this wastewater poor in nitrogen and phosphorus was organic matter. Its concentration expressed in BOD<sub>5</sub> and COD amounted to 1500–11 800 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup> and 2000–17 000 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>, respectively. The efficiency of its elimination depended to a large extent on reed bed temperature. At temperatures exceeding 5°C the reed bed satisfactorily withstood the load 90 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> and about 130 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> measured in BOD<sub>5</sub> and COD, respectively. At temperatures of 3–5°C permissible organic matter loads were about 50 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> and about 70 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, respectively and at outflow temperatures of 1–2°C – 30 g O<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> expressed in COD.

---

Recenzenci:

*prof. dr hab. Franciszek Czyżyk*

*dr hab. Mikołaj Sikorski, prof. PŚk*

Praca wpłynęła do Redakcji 04.11.2009 r.