

Ewa WOJCIECHOWSKA

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk
e-mail: ewa.wojciechowska@pg.gda.pl

Analiza podatności na rozkład biologiczny odcieków składowiskowych oczyszczanych w wielostopniowym systemie hydrofilowym

Przedstawiono wyniki badań, których celem była analiza biodegradowalności odcieków składowiskowych oczyszczanych w wielostopniowym systemie hydrofitowym. Zastosowano układ technologiczny składający się z dwóch złóż o przepływie podpowierzchniowym pionowym oraz złoża o przepływie podpowierzchniowym poziomym. Podatność odcieków składowiskowych na rozkład biologiczny oceniano przez pomiar ChZT i jego frakcjonowanie, w odciekach po kolejnych etapach oczyszczania. Badania prowadzono w dwóch etapach: w pierwszym złoża zasilano odciekami składowiskowymi, natomiast w etapie drugim mieszaniną odcieków składowiskowych i ścieków bytowych. W obu etapach stwierdzono bardzo wysoki udział frakcji nierozkładalnych (S_i oraz X_i) w odciekach doprowadzanych do pierwszego złoża, wynoszący 72,8% dla odcieków składowiskowych oraz 53,6% dla odcieków zmieszanych ze ściekami. W obu etapach badań bardzo niskie były wartości frakcji rozpuszczonej rozkładalnej na drodze biologicznej (S_s). Wartości frakcji rozkładalnych na drodze biologicznej obniżały się po kolejnych złożach. Odcieki odpływające z oczyszczalni hydrofitowej zawierały niemal wyłącznie substancję organiczną w formie niepodatnej na rozkład biologiczny. Stwierdzono wpływ jakości substancji organicznej (zawartości frakcji inertnych oraz podatnych na rozkład biologiczny oraz ilorazu $BZT_s/ChZT$) na efektywność usuwania ChZT. Usuwanie ChZT przebiegało z wyższą skutecznością w okresie, kiedy odcieki zawierały dodatek ścieków bytowych. Potwierdza to, że dodatek labilnej materii organicznej korzystnie wpływa na efektywność oczyszczania odcieków w procesach biologicznych

Słowa kluczowe: oczyszczalnie hydrofilowe, frakcje ChZT, podatność na biodegradację, materia organiczna, skuteczność usuwania

Wstęp

Odcieki ze składowisk odpadów komunalnych (SOK) charakteryzują się wysokimi stężeniami materii organicznej, azotu organicznego, azotu amonowego, żelaza ogólnego i chlorków [1-3]. Wartości ChZT w odciekach mogą wynosić nawet kilkanaście tysięcy $mg\ O_2/dm^3$, natomiast stężenia azotu amonowego mogą wynosić nawet powyżej $2000\ mg/dm^3$ [2]. Dodatkowo w odciekach obecne są metale ciężkie oraz trwale zanieczyszczenia organiczne (TZO) (pestycydy, WWA itd.) [4-6]. Skład odcieków ze składowisk odpadów komunalnych podlega znacznym wahaniom krótko- i długookresowym w zależności od wieku składowiska, sposobu eksploatacji i ilości wody dostającej się do obiektu [7]. Wpływ na skład odcieków ma rodzaj składowanych odpadów, stopień ich zagęszczenia, wprowadzanie recy-

klingu lub kompostowanie części odpadów, a także recyrkulacja odcieków [8]. W skład materii organicznej odcieków ze składowisk odpadów wchodzi związków organicznych, które charakteryzują się różną podatnością na rozkład biologiczny. Częsteczki o prostej budowie są bezpośrednio dostępne dla mikroorganizmów, podczas gdy te o bardziej złożonej strukturze są rozkładane wolniej. Skutkiem transformacji związków organicznych zdeponowanych na składowisku jest powstawanie związków wielkocząsteczkowych, głównie substancji humusowych. Szacuje się, że ich udział może stanowić nawet ok. 60% rozpuszczonego węgla organicznego [9-11].

Charakterystykę ilościową procesu przemiany materii organicznej umożliwia oznaczenie frakcji substancji organicznej (tzw. frakcji ChZT). Rozróżnia się 4 frakcje: rozpuszczoną rozkładalną na drodze biologicznej (S_s), zawiesinową rozkładalną na drodze biologicznej (X_s), rozpuszczoną nierozkładalną biologicznie (S_i) oraz zawiesinową niepodatną na rozkład biologiczny (X_i). Frakcję materii organicznej rozpuszczoną rozkładalną na drodze biologicznej (S_s) stanowią substancje, które ulegają rozkładowi w procesach mikrobiologicznych, są łatwo przyswajane i metabolizowane przez mikroorganizmy. Materia organiczna obecna we frakcji zawiesinowej X_s również może być rozłożona na drodze biologicznej, jednak zawiera bardziej złożone cząstki organiczne, które muszą uprzednio ulec hydrolizie przez enzymy zewnątrzkomórkowe. Szybkość biochemicznego utleniania rozpuszczonej materii organicznej (frakcja S_s) jest większa niż materii organicznej występującej w postaci koloidów i zawiesin (frakcja X_s) [12]. Frakcja X_i , występująca w postaci zawiesin i koloidów, nie podlega przemianom biochemicznym, jednak może być usuwana w filtrach gruntowych oraz złożach hydrofitowych w procesach sorpcji. Frakcja rozpuszczona nierozkładalna biologicznie S_i nie jest dostępna dla mikroorganizmów ani też nie podlega sorpcji na cząstkach wypełnienia filtrów gruntowych i złożów hydrofitowych. Wartość tej frakcji nie ulega zmianom w procesach oczyszczania ścieków. Znajomość wartości poszczególnych frakcji pozwala na ocenę podatności ścieków (odcieków) na rozkład biologiczny, co umożliwia dobór odpowiedniej metody oczyszczania.

W artykule przedstawiono wartości frakcji ChZT w odciekach składowiskowych oczyszczanych w wielostopniowym systemie hydrofitowym. Omówiono zmiany wartości i udziałów procentowych poszczególnych frakcji ChZT w odciekach po kolejnych złożach. Pomiary wartości frakcji ChZT prowadzono w 2 okresach badawczych: w 1 okresie na złoża podawano nierozcieńczone odcieki składowiskowe, natomiast w 2 okresie odcieki zawierały domieszkę ścieków bytowych.

1. Materiały i metody

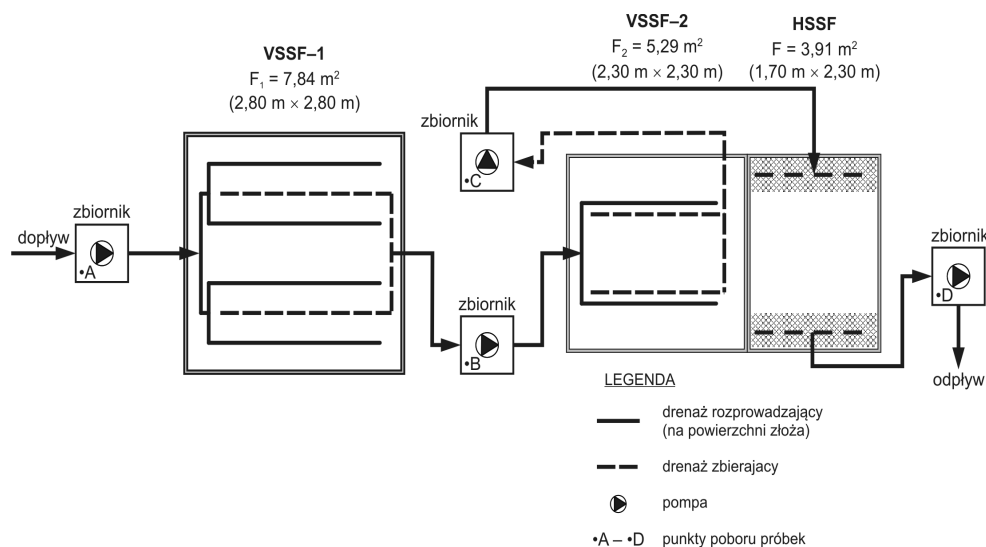
1.1. Obiekt badawczy

System hydrofitowy do oczyszczania odcieków eksploatowany jest na terenie składowiska odpadów komunalnych w Chlewnicy k. Potęgowa (woj. pomorskie)

od lipca 2008 r. Składowisko odpadów w Chlewnicy jest obiektem względnie młodym, eksploatowanym od 2003 roku. Ocieki składowiskowe zbierane są drenażem i spływają do studzienki pośredniej, do której dopływają również ścieki bytowe z budynku socjalnego. Stopień rozcieńczenia odcieków ściekami bytowymi jest zmienny w związku z wahaniami ilości odcieków oraz zużycia wody przez pracowników. Brak jest danych dotyczących ilości odcieków oraz ilości ścieków bytowych.

System hydrofitowy składa się z trzech złóż o przepływie podpowierzchniowym, pracujących w następującej konfiguracji: 2 złoża o przepływie pionowym (VSSF-1 i VSSF-2) + 1 złożo o przepływie podpowierzchniowym poziomym (HSSF) (rys. 1). Powierzchnie złóż wynoszą odpowiednio: VSSF-1 - 7,84 m²; VSSF-2 - 5,29 m² i HSSF - 3,19 m². Złoża wykonano jako stalowe zbiorniki posadowione na powierzchni gruntu, wypełnione żwirem, w którym ułożono warstwę drenażową do zbierania odcieków. Złoża zostały od wewnątrz ocieplone styropianem, jednak z uwagi na ich wyniesienie ponad grunt nie są eksploatowane w okresie zimowym. Złoża obsadzono trzciną pospolitą *P. australis*.

Na początku układu technologicznego znajduje się zbiornik o pojemności 1 m³, którego zadaniem jest uśrednianie składu odcieków kierowanych na złoża hydrofitowe oraz wstępne usuwanie zawieszin. Dodatkowe zbiorniki (każdy o pojemności 1 m³) zastosowano po każdym stopniu oczyszczania, tj. po złożu VSSF-1, po złożu VSSF-2 oraz po złożu HSSF. Ocieki z ostatniego zbiornika odprowadzane są do studzienki zbiorczej, skąd recykulowane są do jednej z kwater składowiska.



Rys. 1. Schemat pilotowego obiektu hydrofitowego do oczyszczania odcieków ze składowiska odpadów komunalnych w Chlewnicy

Fig. 1. Scheme of a pilot constructed wetland for landfill leachate treatment in Chlewnica

1.2. Metodyka badań

Analizę składu odcieków prowadzono w sezonach wegetacyjnych (maj-październik) w latach 2010-2011. Wyróżniono 2 okresy badawcze: w okresie badawczym 1 (2010 r.) system hydrofitowy zasilano wyłącznie odciekami (bezpośrednio ze składowiska), natomiast w okresie 2 (2011 r.) - mieszaniną odcieków oraz ścieków bytowych, pobieranych ze studzienki rewizyjnej w sąsiedztwie złożeń.

Próbki pobierano ze zbiorników: A - zbiornik początkowy (przed złożami hydrofitowymi), B - zbiornik po złożu VSSF-1, C - zbiornik po złożu VSSF-2, D - zbiornik po złożu HSSF (odpływ z oczyszczalni pilotowej) (rys. 1). Próbki o objętości 2 dm³ w szklanych pojemnikach transportowano do laboratorium w warunkach chłodniczych. W pobranych próbkach odcieków oznaczono stężenia zawiesiny ogólnej i organicznej, BZT₅ oraz ChZT z podziałem na frakcje. Oznaczenia ChZT oraz BZT₅ wykonywano zgodnie z Polskimi Normami (odpowiednio 037/2007/PN-74/C-04578/03 i PN-EN 1899-2:2002).

Analizę frakcji ChZT wykonywano zgodnie z metodyką podaną przez [12-14].

Wyznaczenie frakcji ChZT rozpuszczonej biologicznie nierozkładalnej (S_i) polegało na poddaniu próbki odcieków odwirowaniu w wirówce z prędkością 3000 obr/min przez 10 minut. Po zdekantowaniu sklarowane odcieki przesączało przez sączek szklany, a następnie oznaczano ChZT ścieków metodą spektrofotometryczną.

Ogólną ilość zanieczyszczeń organicznych rozpuszczonych S_{ChZT} (S_S + S_i) oznaczano jako ChZT w odciekach przefiltrowanych. Frakcję substancji rozpuszczonych rozkładalnych biologicznie (S_S) wyznaczano jako różnicę ogólnej liczby zanieczyszczeń organicznych rozpuszczonych (S_{ChZT}) i rozpuszczonych zanieczyszczeń organicznych biologicznie nierozkładalnych (S_i):

$$S_S = S_{ChZT} - S_i, \text{ mg O}_2/\text{dm}^3 \quad (1)$$

Określenie frakcji zawiesin organicznych rozkładalnych biologicznie (X_S) polegało na wyznaczeniu BZT₅ odcieków surowych niefiltrowanych, a następnie obliczeniu BZT całkowitego (BZT_C), (przyjmując, że współczynnik biochemicznego rozkładu wynosi k = 0,4):

$$BZT_C = BZT_5/0,6, \text{ mg O}_2/\text{dm}^3 \quad (2)$$

Mając określoną wartość BZT_C ≈ BZT₂₀ oraz wartość rozpuszczonej frakcji substancji rozkładalnej biologicznie (S_S), frakcję zawiesinową ChZT (X_S) obliczano

z zależności:

$$X_S = BZT_C - S_S, \text{ mg O}_2/\text{dm}^3 \quad (3)$$

natomiast frakcję ChZT zawiesinową nierozkładalną na drodze biologicznej, odpowiednio, jako:

$$X_i = ChZT_{og} - (S_S + S_i + X_S), \text{ mg O}_2/\text{dm}^3 \quad (4)$$

2. Wyniki i dyskusja

Średnie wartości BZT₅ i ChZT w odciekach dopływających do oczyszczalni w Chlewnicy oraz po kolejnych złożach hydrofitowych w okresach badawczych 1 i 2 zestawiono w tabeli 1. Średnie wartości BZT₅ w dopływających odciekach były w obu okresach badawczych podobne, natomiast wartości ChZT były zdecydowanie wyższe dla odcieków nierozcieńczonych ściekami bytowymi. Wartości ilorazu BZT₅/ChZT w odciekach doprowadzanych do obiektu były bardzo niskie (odpowiednio 0,08 i 0,15 w okresach badawczych 1 i 2) i obniżały się w odciekach po kolejnych złożach. Wysokie stężenia stabilnej materii organicznej i niski iloraz BZT₅/ChZT są charakterystyczne dla odcieków ze składowisk odpadów [1, 2].

Tabela 1. Średnie wartości BZT₅ i ChZT w odciekach w kolejnych okresach badawczych
Table 1. Average BOD₅ and COD values in leachate in subsequent research stages

Okres badawczy	BZT ₅ , mg O ₂ /dm ³			
	Dopływ do VSSF-1	Odpływ z VSSF-1	Odpływ z VSSF-2	Odpływ z HSSF
1 (odcieki bez domieszki ścieków)	151,0 ±14,3	50,8 ±13,6	31,4 ±6,0	18,6 ±7,7
2 (odcieki z domieszką ścieków)	148,0 ±16,3	34,8 ±12,8	20,8 ±8,6	15,3 ±5,9
	ChZT, mg O ₂ /dm ³			
	Dopływ do VSSF-1	Odpływ z VSSF-1	Odpływ z VSSF-2	Odpływ z HSSF
1 (odcieki bez domieszki ścieków)	1824 ±311,8	1337 ±306,1	1079 ±283,4	953,3 ±296,6
2 (odcieki z domieszką ścieków)	1032 ±249,1	652,1 ±253,7	486,1 ±206,6	419,0 ±213,2
	BZT ₅ /ChZT			
	Dopływ do VSSF-1	Odpływ z VSSF-1	Odpływ z VSSF-2	Odpływ z HSSF
1 (odcieki bez domieszki ścieków)	0,08	0,04	0,03	0,02
2 (odcieki z domieszką ścieków)	0,15	0,06	0,04	0,04

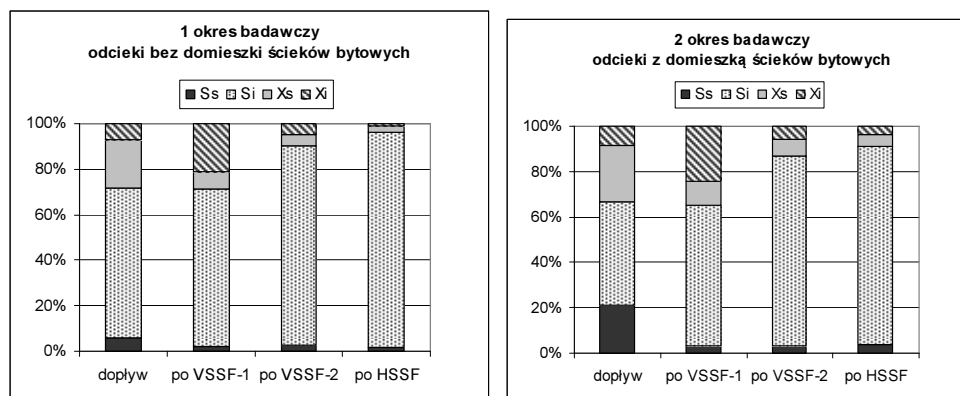
W odciekach po kolejnych złożach hydrofitowych wartości BZT₅ i ChZT się zmniejszały. Wartości BZT₅ w odciekach po ostatnim złożu (HSSF) wynosiły 18,6 mg O₂/dm³ w 1 okresie badawczym i 15,3 mg O₂/dm³ w 2 okresie badawczym. Są to wartości na poziomie nieznacznie wyższym od poziomu „rezydualnego”, który w odpływie z oczyszczalni hydrofitowych wynosi 9,7 mg/dm³ [15].

W tabeli 2 podano wartości poszczególnych frakcji ChZT w odciekach po kolejnych złożach w obu okresach badawczych. Na rysunku 2 przedstawiono zmiany udziału procentowego poszczególnych frakcji ChZT w oczyszczanych odciekach bez dodatku ścieków bytowych i z dodatkiem ścieków.



Tabela 2. Średnie wartości frakcji ChZT w oczyszczanych odciekach, mg/dm³Table 2. Average COD values in treated leachate, mg/dm³

Punkt poboru próbek	Wartości frakcji ChZT w 1 okresie badawczym (2010) ± SD			
	S _s	S _i	X _s	X _i
Dopływ do VSSF-1	85,1±48,1	914,8±164,3	292,4±39,2	97,5±13,1
Odpyw z VSSF-1	26,4±17,1	910,4±186,1	97,3±27,9	276,0±91,5
Odpyw z VSSF-2	24,2±12,7	914,8±196,5	55,7±16,4	59,0±64,7
Odpyw z HSSF	15,5±13,0	914,2±201,0	28,8±7,2	8,6±7,4
	Wartości frakcji ChZT w 2 okresie badawczym (2011) ± SD			
	S _s	S _i	X _s	X _i
Dopływ do VSSF-1	169,2±24,9	392,2±103,6	204,0±28,7	68,0±9,6
Odpyw z VSSF-1	21,1±10,2	387,2±90,9	65,3±19,7	151,7±36,9
Odpyw z VSSF-2	14,5±4,8	380,6±117,4	35,1±16,6	205±19,8
Odpyw z HSSF	16,3±5,9	366,5±134,0	20,9±13,5	11,8±7,0



Rys. 2. Procentowy udział poszczególnych frakcji ChZT w oczyszczanych odciekach

Fig. 2. The percentage share of each COD fraction in treated landfill leachate

W badanych odciekach bardzo wysokie były wartości frakcji nierozkładalnych na drodze biochemicznej (S_i oraz X_i). Wartości frakcji S_i po kolejnych stopniach oczyszczania powinny być stałe, ponieważ frakcja ta nie jest usuwana w procesie oczyszczania. Różnice w wartościach frakcji S_i w odciekach po kolejnych złożach hydrofitowych przedstawione w tabeli 2 wynikają ze zmiennego w czasie składu odcieków doprowadzanych do oczyszczalni. Różnice pomiędzy wartościami śred-

nimi frakcji S_i są statystycznie nieistotne. W obu okresach badawczych wartości frakcji rozkładalnych na drodze biologicznej (S_s oraz X_s) obniżały się po kolejnych złożach z wyjątkiem nieznacznego wzrostu wartości frakcji S_s w odciekach po złożu HSSF. W obu okresach badawczych stwierdzono wzrost wartości frakcji X_i po złożu VSSF-1, który mógł być spowodowany wypłukiwaniem materiału mineralnego stanowiącego wypełnienie złoża. Wartości tej frakcji obniżały się po kolejnych złożach w 1 okresie badawczym, natomiast w 2 okresie obserwowano dalszy wzrost w odpływie ze złoża VSSF-2, zaś usunięcie tej frakcji następowało dopiero w złożu HSSF.

Średni udział procentowy frakcji nierozkładalnych (S_i oraz X_i) w odciekach dopływających do złoża VSSF-1 zmieniał się w zależności od tego, czy odcieki zawierały dodatek ścieków bytowych czy też nie. W 2 okresie badawczym, gdy do obiektu kierowano odcieki zmieszane ze ściekami bytowymi, udział frakcji S_i wynosił średnio 45,2%, zaś łączny udział frakcji nierozkładalnych (S_i oraz X_i) wynosił 53,6%. Natomiast w 1 okresie badawczym, kiedy obiekt zasilany był odciekami bez dodatku ścieków bytowych, średni udział frakcji S_i w odciekach kierowanych na złożo VSSF-1 wynosił aż 65,7%, zaś udział obu frakcji nierozkładalnych (S_i oraz X_i) - 72,8%. (rys. 2). W porównaniu do podawanych w literaturze udziałów frakcji nierozkładalnych biologicznie w ściekach bytowych są to wartości bardzo wysokie. Przykładowo, w badaniach Tuszyńskiej i Obarskiej-Pempkowiak [12] udział frakcji S_i w ściekach bytowych wynosił od 4,4 do 7,9%, natomiast według Myszograj i Sadeckiej [13] - tylko 2%. Łączne udziały frakcji nierozkładalnych na drodze biologicznej (S_i oraz X_i) wynosiły od ok. 19 do ok. 24% w badaniach Tuszyńskiej i Obarskiej-Pempkowiak [12] oraz około 20% w badaniach Myszograj i Sadeckiej [13] oraz Sadeckiej i innych [16]. Fudala-Książek i inni [17] podają, że udział frakcji rozpuszczonej nierozkładalnej biologicznie w ściekach komunalnych wynosił ok. 3%. Dodatek odcieków składowiskowych do oczyszczanych ścieków powodował wzrost udziału tej frakcji. Przy dodatku 3% odcieków udział frakcji S_i wzrastał do 8%, zaś przy dodatku 5% odcieków - do 10%. Łączny udział frakcji nierozkładalnych (S_i oraz X_i) wynosił od 18% dla ścieków bez dodatku odcieków do 22% dla dodatku odcieków wynoszącego 5% [17]. Z kolei Bilgili i inni [18] podają, że w odciekach składowiskowych stabilizowanych tlenowo udział frakcji nierozkładalnych biologicznie (S_i+X_i) wynosił ok. 60%, zaś w odciekach stabilizowanych w reaktorze beztlenowym - ok. 50%.

W odciekach dopływających do złoża VSSF-1 dość niski był udział frakcji zawieszinowych X_s oraz X_i . Było to spowodowane podczyszczaniem odcieków w zbiorniku sedymentacyjnym A przed skierowaniem ich do złożów hydrofitowych. Zadaniem zbiornika było wyrównanie składu odcieków podawanych na złoża oraz sedymentacja zawieszin w celu ochrony złożów przed kolmatacją. Łączny udział frakcji zawieszinowych (X_s+X_i) w odciekach dopływających do złoża VSSF-1 wynosił 28,3% w 1 okresie badawczym oraz 33,6% w 2 okresie badawczym.

Stężenia frakcji rozpuszczonej rozkładalnej na drodze biologicznej (S_s) w odciekach dopływających do złoża VSSF-1 były dość niskie. Udział procentowy tej frakcji w 1 okresie badawczym, gdy do obiektu hydrofitowego dopływały odcieki

bez domieszki ścieków bytowych, wynosił tylko 7,1%. Natomiast w 2 okresie badawczym, gdy do obiektu hydrofitowego dopływały odcieki zmieszane ze ściekami bytowymi, udział tej frakcji wzrósł do 21,2%. Udział tej frakcji w ściekach komunalnych w badaniach [17] wynosił 23%, według Myszograj i Sadeckiej [13] - 27%, zaś w badaniach Tuszyńskiej i Obarskiej-Pempkowiak [12] dla ścieków bytowych z terenów wiejskich - od 29 do 50%.

Efektywności usuwania materii organicznej w oczyszczalni hydrofitowej w Chlewnicy były dość wysokie. Całkowite efektywności usuwania BZT₅ w systemie hydrofitowym w obu okresach badawczych były podobne i wynosiły ok. 88÷90%. Labilna materia organiczna (wyrażona w BZT₅) była w systemie usuwana w do poziomu tła, charakterystycznego dla oczyszczalni hydrofitowych [15]. Natomiast efektywności usuwania ChZT w systemie były zdecydowanie niższe i wynosiły 47,8% w okresie 1 oraz 59,4% w okresie 2. Niższa efektywność usuwania ChZT w 1 okresie spowodowana była wysokim udziałem stabilnej materii organicznej w odciekach. Brak dodatku ścieków bytowych spowodował, że udział frakcji nierozkładalnych biologicznie w tym okresie był bardzo wysoki.

Wnioski

Odcieki dopływające do oczyszczalni w Chlewnicy charakteryzowały się niekorzystnym składem. Zawierały bardzo wysokie stężenia materii organicznej niepodatnej na rozkład biologiczny, o czym świadczyły wysokie stężenia ChZT, niski iloraz BZT₅/ChZT oraz wysoki udział frakcji ChZT niepodatnych na rozkład biologiczny. W drugim okresie badań wskaźniki biodostępności substancji organicznej były nieco wyższe niż w pierwszym, wskutek dodawania do odcieków ścieków bytowych.

W wyniku zastosowanych procesów oczyszczania odcieki odpływające z oczyszczalni hydrofitowej zawierały niemal wyłącznie substancję organiczną w formie niepodatnej na rozkład biologiczny. Wartości ChZT pozostawały na dość wysokim poziomie, a analiza jakościowa materii organicznej wykazała dominujący udział frakcji S₁ (w granicach 82÷90% dla odcieków zawierających dodatek ścieków bytowych oraz 92÷97% dla odcieków bez dodatku ścieków bytowych). Usunięcie refrakcyjnych zanieczyszczeń z odcieków wymagałoby bardziej zaawansowanych procesów oczyszczania, np. zastosowania technik membranowych.

Literatura

- [1] Surmacz-Górska J., Degradacja związków organicznych zawartych w odciekach z wysypisk, Monografie nr 5, Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Środowiska, Lublin 2001.
- [2] Christensen T.H., Kjeldsen P., Bjerg P.L., Jensen D.L., Christensen J.B., Baun A., Albrechtsen H.J., Heron G., Biogeochemistry of landfill leachate plumes, *Applied Geochemistry* 2001, 16, 659-718.
- [3] Słomczyńska B., Słomczyński T., Physico-chemical and toxicological characteristic of leachates from MSW landfills, *Polish Journal of Environmental Studies* 2004, 13, 627-637.



- [4] Paxeus N., Organic compounds in municipal landfill leachates, *Water Science Technology* 2000, 41, 323-331.
- [5] Öman C., Junestedt C., Chemical characterization of landfill leachates - 400 parameters and compounds, *Waste Management* 2008, 28, 1876-1891.
- [6] Schwarzbauer J., Heim S., Brinker S., Littke R., Occurrence and alteration of organic contaminants in seepage and leakage water from a waste deposit landfill, *Water Research* 2001, 36, 2275-2287.
- [7] Klimiuk E., Kulikowska D., Koc-Jurczyk J., Biological removal of organics and nitrogen from landfill leachates - A review, [in:] M. Pawłowska, L. Pawłowski (eds.), *Management of Pollutant Emission from Landfills and Sludge*, Taylor & Francis Group, London 2007, 187-204.
- [8] Reinhart D.R., Al-Yousfi A.B., The impact of leachate recirculation on municipal solid waste operating characteristics, *Waste Management Research* 1996, 14, 337-346.
- [9] Calace N., Liberatori A., Petronio B.M., Pietroletti M., Characteristics of different molecular weight fractions of organic matter in landfill leachate and their role in soil sorption of heavy metals. *Environmental Pollution* 2001, 113, 331-339.
- [10] Kang K-H., Shin H.S., Park H., Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications, *Water Research* 2002, 36, 4023-4032.
- [11] Kulikowska D., Charakterystyka oraz metody usuwania zanieczyszczeń organicznych z odcieków pochodzących z ustabilizowanych składowisk odpadów komunalnych, *Ecological Chemistry and Engineering* 2009, 16, 389-402.
- [12] Tuszyńska A., Obarska-Pempkowiak H., Wpływ substancji organicznej na natlenienie i efektywność usuwania zanieczyszczeń w złożach hydrofitowych, *Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk* 2006.
- [13] Myszograj S., Sadecka Z., Frakcje ChZT w procesach mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni ścieków w Sulechowie, *Rocznik Ochrona Środowiska* 2004, 6, 233-244.
- [14] Zdebek D., Głodniok M., Wyniki badań podatności ścieków na rozkład biologiczny - frakcje ChZT na przykładzie oczyszczalni ścieków w Rybniku, *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko* 2010, 4, 97-114.
- [15] Kadlec R.H., Wallace S.D., *Treatment Wetlands*, Second Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York 2008.
- [16] Sadecka Z., Pluciennik-Koropczuk E., Sieciechowicz A., Charakterystyka ścieków surowych na podstawie frakcji ChZT, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2011, 14(2), 145-156.
- [17] Fudala-Książek S., Łuczkiwicz A., Kulbat E., Jankowska K., Czerwionka K., Quant B., Olańczuk-Neyman K., Combined treatment of landfill leachates with wastewater in a sequencing batch reactor (SBR), *The Second International Conference Hazardous and Industrial Waste Management, Chania (Crete-Greece), Oct. 5th-8th, 2010.*
- [18] Bilgili M.S., Demir A., Akkaya E., Ozkaya B., COD fractions of leachate from aerobic and anaerobic pilot scale landfill reactors, *Journal of Hazardous Materials* 2008, 158, 157-163.

Analysis of Biodegradability of Landfill Leachate Treated in a Multi-Stage Constructed Wetland

In the article the results of analyses of biodegradability of landfill leachate treated in a multi-stage constructed wetland are presented. The treatment system consisted of two subsurface vertical flow beds followed by a subsurface horizontal flow bed. The biodegradability of leachate was evaluated by measurement of COD and COD fractions after subsequent stages of treatment. The research was conducted at two stages: in the first stage the beds were fed with pure leachate, while in the second stage the leachate was mixed with sanitary sewage. At both stages very high share of inert (not biodegradable) fractions (S_i and X_i) was measured in the raw leachate discharged to the first bed (72.8% in the first stage and 53.6%



in the second stage). Also at both stages the share of soluble biodegradable fraction S_s was very low. The shares of S_s fraction decreased after subsequent beds. At the outflow the leachate contained organic matter only in the inert form, resistant to biological treatment. It was found out that organic matter quality (the content of inert fractions and BOD/COD ratio) influenced the COD removal efficiency. The COD was more effectively removed in the second research stage which confirms that addition of sanitary sewage improves treatment efficiency of landfill leachate.

Keywords: constructed wetlands, COD fractions, biodegradability, organic matter, removal efficiency