

Grzegorz ŁAGÓD<sup>1</sup>, Ireneusz KRUKOWSKI<sup>1</sup>, Marcin WIDOMSKI<sup>1</sup>  
i Zbigniew SUCHORAB<sup>1</sup>

## MODEL BIODEGRADACJI ZANIECZYSZCZEŃ W KANALIZACJI GRAWITACYJNEJ UWZGLĘDNIĄJĄCY WYMIANĘ BIOMASY POMIĘDZY BŁONĄ BIOLOGICZNĄ A ŚCIEKAMI

### MODEL OF WASTEWATER BIODEGRADATION IN GRAVITATIONAL SEWER CONCERNING BIOMASS EXCHANGE BETWEEN BIOFILM AND SEWAGE

**Abstrakt:** Cytowane w literaturze przedmiotu modele biodegradacji ścieków w kanalizacji w warunkach tlenowych najczęściej uwzględniają tylko biomasę zawieszoną w ściekach. Sytuacja tego typu ma miejsce w nowych kolektorach, świeżo oddanych do użytku oraz w przypadkach katastrofalnych dla błony biologicznej - na przykład po całkowitym wymyciu biofilmu lub po jego kontakcie ze ściekami zawierającymi substancje trujące dla biomasy. Jak wynika z badań obiektów rzeczywistych, ważnym czynnikiem w rozważanym procesie jest błona biologiczna. W niektórych przypadkach jej udział w biodegradacji ścieków może być większy niż biomasy zawieszanej. Dzieje się tak podczas przepływów z niewielkimi naprężeniami ścinającymi i przy małej wysokości napełnienia przewodu kanalizacyjnego. Rozbudowa modelu lokalnego o procesy zachodzące w błonie biologicznej pozwala uzyskać porównywalną jakość wyników jak w modelu bez jej uwzględnienia przy możliwym jednoczesnym zmniejszeniu ilości rozważanych frakcji hydrolizujących - z trzech do dwóch. Dodatkowym elementem uwzględnionym w modelu jest również temperatura, ważna ze względu na fakt, iż wpływa na aktywność enzymatyczną mikroorganizmów.

**Słowa kluczowe:** kanalizacja grawitacyjna, modelowanie biodegradacji ścieków, jakość ścieków, osad czynny, błona biologiczna

Zarówno badania literaturowe, jak również badania terenowe, prowadzone przez autorów na obiektach rzeczywistych sugerują, iż ważnym czynnikiem w procesie biodegradacji ścieków w systemach kanalizacyjnych jest błona biologiczna [1-6]. W niektórych przypadkach jej udział w biodegradacji zanieczyszczeń może być większy niż biomasy zawieszanej. Dzieje się tak podczas przepływów z niewielkimi naprężeniami ścinającymi i przy małej wysokości napełnienia przewodu kanalizacyjnego. Rozbudowa podstawowego modelu lokalnego biodegradacji ścieków [7, 8] o procesy zachodzące w błonie biologicznej pozwala uzyskać porównywalną jakość wyników przy możliwym jednoczesnym zmniejszeniu ilości rozważanych frakcji hydrolizujących - z trzech do dwóch. Dodatkowym elementem uwzględnionym w modelu jest również temperatura ścieków, ważna ze względu na to, iż wpływa na aktywność enzymatyczną mikroorganizmów.

#### Opis modelu bazowego

##### *Hydroliza zanieczyszczeń w kanalizacji grawitacyjnej*

Rozważając hydrolizę n frakcji zawiesiny (każda z nich hydrolizuje z inną szybkością) w ściekach pod wpływem enzymów zarówno biomasy zawieszanej, jak i błony biologicznej dla danej temperatury, można napisać następujące wyrażenie na szybkość  $\rho$  tego procesu [4]:

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 81 538 43 22, email: G.Lagod@wis.pol.lublin.pl

$$\rho_{h,n} = k_{hn} \frac{X_{Sn}/X_{Bz}}{K_{Xn} + X_{Sn}/X_{Bz}} \frac{S_O}{K_O + S_O} \left( X_{Bz} + \varepsilon X_{Bf} \frac{A_{Bf}}{V} \right) \alpha^{(T-20)} \quad (1)$$

gdzie:  $k_{hn}$  - stała szybkości hydrolizy dla n-tej frakcji zawiesiny [ $d^{-1}$ ],  $K_{Xn}$  - stała nasycenia dla hydrolizy n-tej frakcji [ $g \text{ ChZT} \cdot g \text{ ChZT}^{-1}$ ],  $X_{Sn}$  - stężenie n-tej frakcji hydrolizującej [ $g \text{ ChZT} \cdot m^{-3}$ ],  $X_{Bz}$  - stężenie biomasy zawieszonyj [ $g \text{ ChZT} \cdot m^{-3}$ ],  $X_{Bf}$  - stężenie biomasy w błonie biologicznej [ $g \text{ ChZT} \cdot m^{-2}$ ],  $S_O$  - stężenie tlenu rozpuszczonego w ściekach [ $g \text{ O}_2 \cdot m^{-3}$ ],  $K_O$  - stała nasycenia dla tlenu rozpuszczonego w ściekach [ $g \text{ O}_2 \cdot m^{-3}$ ],  $A_{Bf}/V$  - powierzchnia zwilżona błony biologicznej/objętość ścieków =  $R_h^{-1}$  [ $m^{-1}$ ],  $\varepsilon$  - stała wydajności dla biomasy błony biologicznej [-],  $\alpha$  - współczynnik temperaturowy dla procesów w ściekach [-],  $T$  - temperatura [ $^{\circ}C$ ].

#### *Przyrost biomasy heterotroficznej w błonie biologicznej*

W celu opisanja szybkości wzrostu biomasy heterotroficznej błony biologicznej w warunkach tlenowych można użyć modelu deterministycznego, korzystającego z informacji zawartych w [4, 9]:

$$\rho_f = k_{1/2} S_O^{1/2} \frac{Y_{Hf}}{1 - Y_{Hf}} \frac{S_s}{K_{sf} + S_s} \frac{A_{Bf}}{V} \alpha_f^{(T-20)} \quad (2)$$

gdzie:  $k_{1/2}$  - stała szybkości rzędu  $1/2$  dla powierzchniowego zużycia tlenu rozpuszczonego przez błonę biologiczną [ $g \text{ O}_2^{1/2} \cdot m^{-1/2} \cdot d^{-1}$ ],  $Y_{Hf}$  - stała wydajności dla  $X_{Bf}$  (współczynnik ekonomiczny) [ $g \text{ ChZT} \cdot g \text{ ChZT}^{-1}$ ],  $K_{sf}$  - stała nasycenia dla rozpuszczonej frakcji biodegradowalnej w błonie biologicznej [ $g \text{ ChZT} \cdot m^{-3}$ ].

Tego typu opis wymaga określenia minimalnej liczby kinetycznych i stechiometrycznych współczynników, nie jest również powiązany bezpośrednio z hydrodynamiką przewodu, gdyż zakłada stan ustalony grubości błony biologicznej.

#### *Przyrost biomasy heterotroficznej zawieszonyj w ściekach*

Wzrost biomasy heterotroficznej zawieszonyj w ściekach limitowany jest ilością dostępną rozpuszczonej frakcji biodegradowalnej oraz tlenu rozpuszczonego w ściekach. Korzystając z modelu ASM No. 1 [10], szybkość wzrostu  $\rho_z$  można zapisać następująco:

$$\rho_z = \mu_H \frac{S_s}{K_s + S_s} \frac{S_O}{K_O + S_O} X_{Bz} \alpha^{(T-20)} \quad (3)$$

gdzie:  $K_s$  - stała nasycenia dla rozpuszczonej frakcji biodegradowalnej [ $g \text{ ChZT} \cdot m^{-3}$ ],  $\mu_H$  - maksymalna specyficzna szybkość wzrostu biomasy heterotroficznej [ $d^{-1}$ ].

#### *Energia utrzymania biomasy heterotroficznej w warunkach tlenowych*

Rozważania w tym zakresie obejmują energię potrzebną do przeprowadzania procesów życiowych biomasy w ściekach. Wynika z tego, iż pobieranie składników pokarmowych oraz tlenu nie powoduje przyrostu masy mikroorganizmów. Wspomniana energia jest pobierana z rozpuszczonej biodegradowalnej frakcji ChZT, zaś w przypadku jej braku - na drodze respiracji endogennej. Można to zapisać w następujący sposób [4]:

$$\rho_{ut} = q_m \frac{S_o}{K_o + S_o} X_{Bz} \alpha^{(T-20)} \quad (4)$$

gdzie  $q_m$  - wymagana energia utrzymania [ $d^{-1}$ ].

*Reaeracja ścieków w kanalizacji grawitacyjnej*

Stopień natlenienia ścieków ma kluczowe znaczenie dla tlenowych procesów biodegradacji zanieczyszczeń, przeprowadzanych przez biomasę heterotroficzną bytującą w systemie kanalizacyjnym. Stopień ten zależy głównie od stężenia tlenu w powietrzu ponad swobodnym zwierciadłem ścieków, pola powierzchni kontaktu ścieków i powietrza oraz właściwości hydrodynamiczne przepływu. Równanie opisujące reaerację ścieków w przewodach kanalizacji grawitacyjne, uwzględniające dodatkowo temperaturę oraz właściwości ścieków, bywa zapisywane jako [4, 5, 8, 11, 12]:

$$\rho_{rea} = \alpha K_L a(20) (\beta S_{OS} - S_o) \alpha_r^{(T-20)} \quad (5)$$

gdzie:  $\rho_{rea}$  - prędkość transferu tlenu [ $g \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ ],  $K_L a$  - ogólny współczynnik transferu tlenu [ $d^{-1}$ ],  $S_{OS}$  - stężenie saturacji tlenu rozpuszczonego w ściekach [ $g \cdot m^{-3}$ ],  $\alpha$  - współczynnik uwzględniający wpływ detergentów, zwykle około 0,95 [-],  $\alpha_r$  - współczynnik wpływu temperatury na reaerację, zwykle przyjmowany około 1,024 [-],  $\beta$  - współczynnik uwzględniający różnicę rozpuszczalności tlenu w ściekach i czystej wodzie, zwykle w zakresie 0,8÷0,95 [-].

Tabela 1  
Zintegrowana macierz procesowa - model koncepcyjny wraz z kinetyką i stechiometrią biodegradacji ścieków dla biomasy heterotroficznej zawieszonyj w ściekach oraz w postaci błony biologicznej, uwzględniający reaerację, na podstawie [2, 4]

Table 1  
Integrated process matrix - model concept, process kinetics and stoichiometry for sewage biodegradation caused by biofilm and suspended biomass, considering also reaeratrion [2, 4]

j	Proces	Komponent i					Szybkość procesu $\rho_j$
		1( $S_s$ )	2( $X_{S1}$ )	3( $X_{S2}$ )	4( $X_{Bz}$ )	5( $-S_o$ )	
1	reaeracja					-1	$\rho_{rea}$
2	wzrost tlenowy Bz	-1/ $Y_{Hz}$			1	(1- $Y_{Hz}$ )/ $Y_{Hz}$	$\rho_z$
3	energia utrzymania	-1			-1*	1	$\rho_{ut}$
4	wzrost tlenowy Bf	-1/ $Y_{Hf}$			1	(1- $Y_{Hf}$ )/ $Y_{Hf}$	$\rho_f$
5	hydroliza, frakcja 1	1	-1				$\rho_h \ n = 1$
6	hydroliza, frakcja 2	1		-1			$\rho_h \ n = 2$

\* - jeżeli  $S_s$  jest niewystarczające, to niezbędna ilości ChZT potrzebna na pokrycie energii utrzymania pobierana jest z biomasy (respiracja endogenna).

Stężenie saturacji tlenu rozpuszczonego w ściekach w równowadze z atmosferą można obliczyć według wzoru (6) [4], zaś wzór empiryczny na ogólny współczynnik transferu tlenu można zapisać jak we wzorze (7) [3, 7]:

$$S_{OS} = \frac{P - p_s}{760 - p_s} (14,652 - 0,41022 T + 0,00799 T^2 - 0,0000773 T^3) \quad (6)$$

$$K_L a = 0,86(1 + 0,2 Fr^2) (sU)^{3/8} H^{-1} \quad (7)$$

gdzie:  $P$  - ciśnienie [mmHg],  $p_s$  - ciśnienie pary nasyconej w temperaturze  $T$  [mmHg],  $T$  - temperatura [°C],  $Fr$  - liczba Frouda [-],  $U$  - prędkość średnia [ $m \cdot s^{-1}$ ],  $s$  - spadek dna kanału [ $m \cdot m^{-1}$ ],  $H$  - średnia głębokość hydrauliczna, czyli  $A/B$  [m].

Opisane procesy tlenowej biodegradacji ścieków dla biomasy w fazie zawieszonyj oraz błonie biologicznej można zapisać w postaci zintegrowanej macierzy procesowej (tab. 1).

### Wymiana biomasy pomiędzy błoną biologiczną a zawiesiną w ściekach

Wymywanie biomasy z błony biologicznej pokrywającej zwilżoną powierzchnię przewodów kanalizacyjnych jest ważnym czynnikiem wpływającym zarówno na parametry błony biologicznej (grubość, ukształtowanie powierzchni, gęstość właściwa, skład gatunkowy biomasy), jak i na procesy w niej zachodzące. Podczas oddziaływania w miarę stałych naprężeń ścinających - przy wyrównanym w czasie napełnianiu przewodu kanalizacyjnego ustala się stan, w którym ciągle wymywanie biomasy z błony biologicznej równoważone jest przez jej przyrost. Jednak, co jakiś czas, zależnie od warunków lokalnych - kilka razy w roku, miesiącu, tygodniu lub dobie, błona biologiczna narażona jest na działania większych niż standardowe naprężeń ścinających.

Błona biologiczna adaptuje swoje właściwości do naprężeń występujących uprzednio przez dłuższy czas w danym przekroju, jest więc wskazane, aby podczas modelowania jej wzrostu i erozji uwzględnić warunki, w jakich się rozwijała, co można zapisać w następujący sposób [3]:

$$\rho_{wy} = k_{wy} \mu_H L_f^2 \left( \frac{\tau - \tau_{min}}{\tau_{min}} \right)^{2.5} \quad (8)$$

gdzie:  $\rho_{wy}$  - szybkość wymywania biomasy z błony biologicznej [ $g \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ ],  $k_{wy}$  - współczynnik szybkości wymywania [ $g \cdot m^{-3}$ ],  $\mu_H$  - maksymalna specyficzna szybkość wzrostu heterotrofów [ $d^{-1}$ ],  $L_f$  - grubość błony biologicznej wyrażana jako iloraz biomasy na powierzchni błony biologicznej i jej gęstości,  $X_{Bf} / \rho_{V,Bf}$  [m],  $\tau$  - aktualne naprężenia ścinające [ $N \cdot m^{-2}$ ],  $\tau_{min}$  - minimalne naprężenia ścinające [ $N \cdot m^{-2}$ ].

We wzorze (8) uwzględniona jest szybkość wzrostu mikroorganizmów heterotroficznych, gdyż to głównie one warunkują przyrost błony biologicznej, będąc jednocześnie bardziej wrażliwymi na wymywanie niż martwe lub nieożywione części błony biologicznej. Wyrażenie w nawiasie z równania (8) jest uproszczonym odzwierciedleniem warunków, w jakich narastała błona biologiczna [3, 13]. Parametr  $L_f$  występujący we wzorze w zależności wykładniczej powoduje, iż w modelu błona biologiczna nie przyrasta bez ograniczeń oraz nie ulega całkowitemu wymyciu.

W warunkach rzeczywistych istnieje możliwość zaszczepiania nowego przewodu kanalizacyjnego biomasą, która wytworzy błonę biologiczną. Zjawisko to daje się wyjaśnić poprzez osadzanie na powierzchni zwilżonej przewodu kanalizacyjnego biomasy mikroorganizmów zawieszonyj w toni ścieków, co można zapisać w następujący sposób [3]:

$$\rho_{os} = k_{os} X_{Bz} \quad (9)$$

gdzie:  $\rho_{os}$  - szybkość osadzania biomasy heterotroficznej [ $g \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ ],  $k_{os}$  - specyficzna szybkość osadzania [ $d^{-1}$ ],  $X_{Bz}$  - stężenie biomasy w przepływających ściekach [ $g \cdot m^{-3}$ ].

Na podstawie danych dostępnych w literaturze [3, 14, 15] można zbudować macierz procesu wymiany biomasy pomiędzy błoną biologiczną a biomasą zawieszoną w ściekach (tab. 2). Prezentowana macierz opisuje sytuację, w której rozważane jest tylko wymywanie biomasy heterotroficznej z błony biologicznej - pozostałe składniki błony nie są wymywane bądź błona traktowana jest jak układ jednorodny, składający się tylko i wyłącznie z biomasy heterotroficznej.

Tabela 2  
Model koncepcyjny procesu wymiany masy pomiędzy błoną biologiczną a biomasą zawieszoną w ściekach [3, 5]

Table 2  
Model concept for biomass exchange between biofilm and heterotrophic biomass suspended in sewage [3, 5]

j	Proces	Komponent i		Szybkość procesu $\rho_j$
		$X_{Bz}$ [ $g \cdot m^{-3}$ ]	$X_{Bf}$ [ $g \cdot m^{-2}$ ]	[ $g \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ ]
1	wymywanie	1	$-O_z/A$	$\rho_{wy} \cdot \tanh Lf \cdot 10^3$
2	osadzanie	-1	$O_z/A$	$\rho_{os}$

Wyrażenie „tanh” powoduje powolne przybliżanie się występującego z nim współczynnika do zera, gdy spadnie on poniżej jedności. Zostało ono umieszczone w macierzy procesu, aby uwzględnić fakt, iż zawsze w nierównościach i szczelinach przewodu kanalizacyjnego pozostaje pewna ilość biomasy. Biomasa ta pozwala nawet po wydarzeniach katastrofalnych dla błony biologicznej na jej odbudowę po pewnym czasie, zaś model staje się bardziej stabilny.

### Macierz procesowa z wymianą biomasy pomiędzy błoną biologiczną a ściekami

Równania wymiany biomasy pomiędzy błoną biologiczną a przepływającymi ściekami można zaprezentować w formie zintegrowanej macierzy procesowej (tab. 1) i zapisać ją w zmodyfikowanej postaci (tab. 3).

Tabela 3  
Model koncepcyjny wraz z kinetyką i stechiometrią biodegradacji ścieków, uwzględniający reaerację oraz wymianę biomasy pomiędzy błoną biologiczną a biomasą heterotroficzną zawieszoną w ściekach [5]

Table 3  
Model concept, process kinetics and stoichiometry for sewage biodegradation caused by biofilm and suspended biomass, considering biomass exchange between biofilm and heterotrophic biomass suspended in sewage [5]

j	Proces	Komponent i						Szybkość procesu $\rho_j$
		1( $S_s$ )	2( $X_{S1}$ )	3( $X_{S2}$ )	4( $X_{Bz}$ )	5( $X_{Bf}$ )	6( $-S_o$ )	
1	reaeracja						-1	$\rho_{rea}$
2	wzrost tlenowy Bz	$-1/Y_{Hz}$			1		$(1-Y_{Hz})/Y_{Hz}$	$\rho_z$
3	energia utrzymania $X_{Bz}$	-1			$-1^*$		1	$\rho_{ut}$
4	wzrost tlenowy Bf	$-1/Y_{Hf}$				$R_h$	$(1-Y_{Hf})/Y_{Hf}$	$\rho_f$
5	energia utrzymania $X_{Bf}$	-1				$-R_h^*$	1	$\rho_{ut, f}$
6	wymywanie $X_{Bf}$				1	$-O_z/A$		$\rho_{wy}$ (tab. 2)
7	osadzanie $X_{Bz}$				-1	$O_z/A$		$\rho_{os}$ (tab. 2)
8	hydroliza, frakcja 1	1	-1					$\rho_h$ n = 1
9	hydroliza, frakcja 2	1		-1				$\rho_h$ n = 2

\* - jeżeli  $S_s$  jest niewystarczające, to niezbędna ilość ChZT potrzebna w zakresie energii utrzymania pobierana jest z biomasy (respiracja endogenna) dla obu frakcji - zawieszonej oraz osiadłej wyrażana w [ $g \cdot m^{-3}$ ].

## Podsumowanie

Chociaż w opisanej na wstępie pracy zintegrowanej macierzy procesowej (tab. 1) znajdowały się procesy przyrostu zarówno biomasy zawieszonyj, jak i błony biologicznej, to jednak ich skutki były wyrażane sumarycznie jako zmiana stężenia biomasy heterotroficznej w jednostkowej objętości ścieków. Aby możliwe było śledzenie zmiany w czasie, osobno dla biomasy zawieszonyj w ściekach i osobno dla biofilmu, należy zintegrowaną macierz procesową wzbogacić o dodatkowy komponent, czyli biomasę heterotroficzną w błonie biologicznej  $X_{Bf}$ . W związku z tym istnieje konieczność opisu wymiany masy pomiędzy tym komponentem a biomasą zawieszonyj w ściekach  $X_{Bz}$ . Można to osiągnąć poprzez wprowadzenie do modelu biodegradacji ścieków dwóch nowych procesów - wymywania błony biologicznej oraz osadzania biomasy na powierzchni zwilżonyj ścianek kanału, które zostały opisane w tabeli 2. Modyfikacji wymaga także opis procesu pozyskiwania substratów do zaspokajania wymaganej energii utrzymania - należy w tym przypadku osobno rozważać biomasę zawieszonyj w ściekach i błonę biologiczną. Wspomniane zmiany powodują konieczność modyfikacji współczynnika stechiometrycznego dla wzrostu biomasy heterotroficznej w błonie biologicznej oraz dla pobieranej z niej energii utrzymania przy niedoborze substancji rozpuszczonej, gdyż w obecnej postaci modelu komponent  $X_{Bf}$  wyrażony jest za pomocą jednostki  $[g \cdot m^{-2}]$ .

## Literatura

- [1] Hvitved-Jacobsen T., Vollertsen J. i Nielsen P.H.: *Koncepcja procesu i modelu dla przemian mikrobiologicznych zachodzących w ściekach w kanalizacjach grawitacyjnych*. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej. Usuwanie związków biogenych ze ścieków. Kraków 1997, 227-239.
- [2] Hvitved-Jacobsen T., Vollertsen J. i Nielsen P.H.: *A process and model concept for microbial wastewater transformations in gravity sewers*. Water Sci. Technol., 1998, **37**(1), 233-241.
- [3] Huisman J.L.: *Transport and transformation process in combined sewers*. IHW Schriftenreihe, 2001, **10**, 1-180.
- [4] Hvitved-Jacobsen T.: *Sewer Processes Microbial and Chemical Process Engineering of Sewer Networks*. CRC PRESS, Boca Raton, London, New York, Washington 2002.
- [5] Łągód G.: *Modelowanie procesów biodegradacji ścieków w kolektorach kanalizacji grawitacyjnej*. Praca doktorska, Lublin 2007.
- [6] Łągód G., Hanzel J., Kopertowska A., Jilati A., Pliźga O. i Jaromin K.: *Kanalizacja grawitacyjna jako bioreaktor i układ dynamiczny*. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. III Kongres Inżynierii Środowiska, Lublin 2009, tom 2, **59**, 91-97.
- [7] Łągód G. i Sobczuk H.: *Modelowanie wpływu napełnienia kolektora kanalizacji grawitacyjnej na przebieg tlenowych procesów biodegradacji ścieków*. Proc. of ECOpole, 2007, **1**(1/2), 181-186.
- [8] Łągód G., Sobczuk H. i Suchorab Z.: *Błona biologiczna w kanalizacji grawitacyjnej i jej wpływ na biodegradację ścieków*. Proc. of ECOpole, 2009, **3**(1), 179-184.
- [9] Almeida M.C., Butler D. i Davies J.W.: *Modelling in-sewer changes in wastewater quality under aerobic conditions*. Water Sci. Technol., 1999, **39**(9), 63-71.
- [10] Henze M., Grady C.P.L. Jr., Gujer W., Marais G.v.R. i Tatsuo T.: *Activated sludge model no. 1*, Scientific and Technical Report no.1. International Association on Water Pollution Research and Control, 1987.
- [11] Nielsen P.H., Raunkjær K., Norsker N.H., Jensen N.A. i Hvitved-Jacobsen T.: *Transformation of wastewater in sewer systems*. Water Sci. Technol., 1992, **25**(6), 17-31.
- [12] Raunkjær K., Hvitved-Jacobsen T. i Nielsen P.H.: *Transformation of organic matter in a gravity sewer*. Water Environ. Res., 1995, **67**(2), 181-188.
- [13] van Loosdrecht M.C.M., Tjihuis L. i Wijdieks A.M.S.: *Population distribution in aerobic biofilms on small suspended particles*. Water Sci. Technol., 1995, **32**(8), 35-34.
- [14] DeBeer D., Stoodley P. i Lewandowski Z.: *Liquid flow and mass transport in heterogeneous biofilms*. Water Res., 1996, **30**(11), 2761-2765.

- [15] Tijhuis L., Hijman B., van Loosdrecht M.C.M. i Heijnen J.J.: *Influence of detachment, substrate loading and reactor scale on the formation of biofilms in airlift reactors*. Appl. Microbiol. Biotechnol., 1996, 45(1-2), 7-17.

### **MODEL OF WASTEWATER BIODEGRADATION IN GRAVITATIONAL SEWER CONCERNING BIOMASS EXCHANGE BETWEEN BIOFILM AND SEWAGE**

Environmental Engineering Faculty, Lublin University of Technology

**Abstract:** The models of aerobic sewage biodegradation inside the sanitation system, cited in the literature reports, usually concern only the suspended biomass. This situation occurs in newly built conduits, just put into service and after dangerous events for biofilm - eg biofilm removal by flushing wastewater or its contact with sewage containing poisonous substances. The studies conducted at real objects show that biofilm is an important factor in the considered process. In some cases, its participation in sewage biodegradation may be higher than the contribution of a suspended biomass. This situation may be observed during the sewage flow at low shear stress and low height of sanitation pipe filling. The extension of local model covering the biofilm processes enables to obtain the comparable quality of results as in the case of the model not covering these processes but allowing to reduce the number of hydrolyzing fractions, from three to two. The sewage temperature, important because it influences the enzymatic activity of microorganisms is the additional element considered in this model.

**Keywords:** gravity sewerage, modeling of sewage biodegradation, wastewater quality, activated sewage sludge, biofilm