

Andrzej Jucherski
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
Górskie Centrum Badan i Wdrożeń w Tyliczu

OCENA JAKOŚCI OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW BYTOWYCH W QUASI TECHNICZNEJ INSTALACJI ZAGRODOWEJ TYPU IBMER NA TERENACH GÓRZYSTYCH

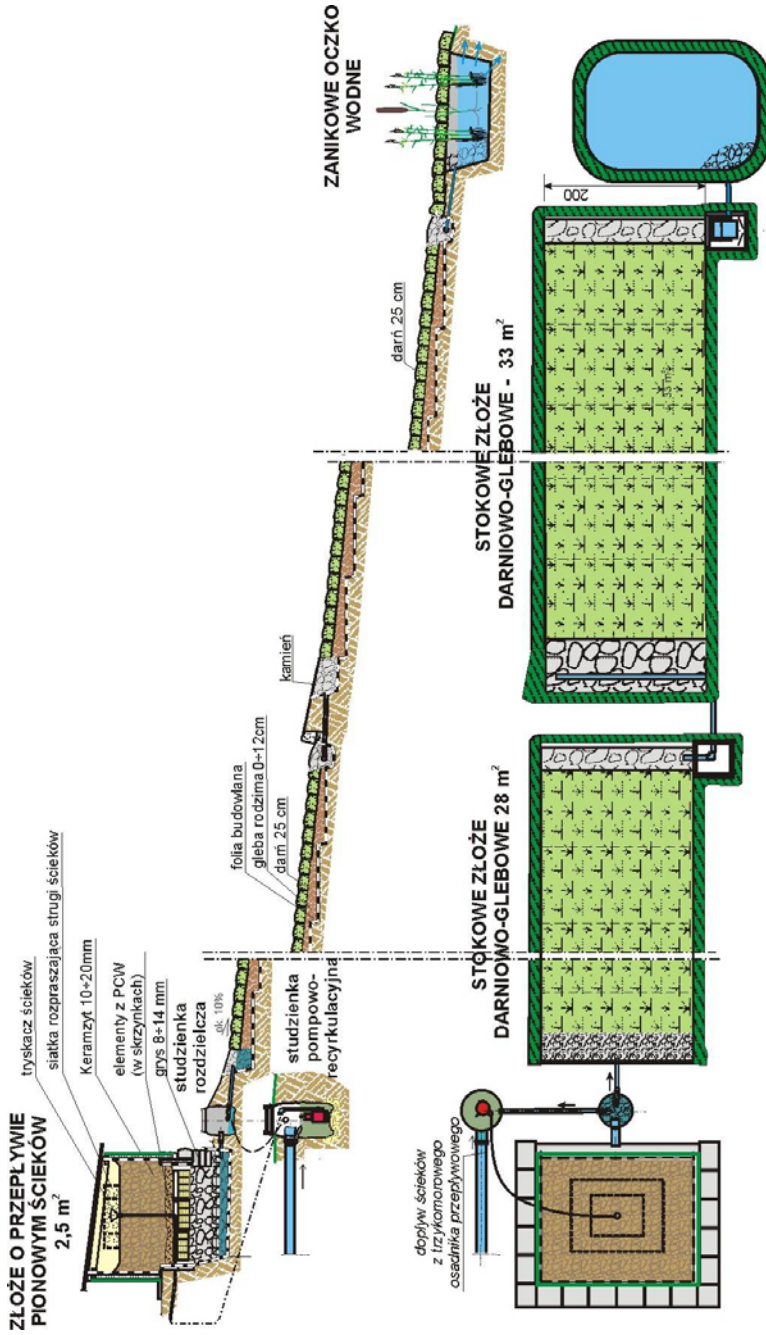
Streszczenie

Przedstawiono wyniki dwuletnich (2005-2006) badań instalacji do oczyszczania ścieków bytowych o wydajności do 1 m³/d, koncepcji IBMER w Tyliczu, składającej się z 3.komorowego osadnika o pojemności czynnej 6 m³, urządzenia ze zraszaniem złożem z granulatu ilasto-gliniastego (keramzyt) o powierzchni 2,5 m² i stokowego złoża glebowo-darniowego o powierzchni 61 m². Wskaźniki całorocznej skuteczności oczyszczania ścieków w tej instalacji – przy średnim dobowym dopływie 655 l – były znacząco wyższe od obowiązujących wymagań, a niekorzystne warunki zimowe wpływały ujemnie jedynie na efektywność usuwania azotu całkowitego. Średnie wartości wskaźników skuteczności zmniejszania wielkości i stężeń badanych składników zanieczyszczeń wynosiły: 97,9/97,9% BZT₅; 94,3/89,2% ChZT; 97,2/99,5% N-NH₄; 60,5/78,5% N-NC; 84,4/84,3% P-PO₄ (zima/lato). Konieczne jest dalsze technologiczne doskonalenie urządzeń instalacji w celu zwiększenia efektywności denitryfikacji ścieków.

Słowa kluczowe: oczyszczanie ścieków w obiektach gruntowo-roślinnych, klimat terenów górzystych, oczyszczalnie zagrodowe, nityfikacja i denitryfikacja w glebowo-roślinnych ośrodkach filtracyjnych

Wprowadzenie

Specyfika warunków fizjograficznych na terenach górzystych kraju, wymusza – przy ich rolniczym zagospodarowaniu – nie tylko konieczność stosowania prośrodowiskowych metod produkcji (zintegrowanych i organicznych), ale także skutecznych działań technicznych w celu ochrony przyrodniczych walorów tych obszarów przed negatywnym oddziaływaniem gospodarczej i bytowej antropopresji. Jednym z podstawowych wyzwań natury bytowej jest rozwój wiejskiej infrastruktury technicznej, związanej z odbiorem i oczyszczaniem ścieków oraz z utylizacją produktów tych procesów. Skuteczne i kompleksowe rozwiązanie narosłych w ciągu lat problemów w tej dziedzinie jest



Rys. 1. Quasi techniczna instalacja do oczyszczania ścieków domowych typu IBMER (1 m^3) składająca się z kompaktowego zraszanego złoża keramzytowego i dwusekcyjnego stokowego złoża darniowo-glebowego
 Fig. 1. Quasi-technical house-hold wastewater treatment plant of the IBMER type (1 m^3) consisting of compact sprinkled keramzit bed and two-section slope soil-turf bed

kosztowne i czasochłonne; wymaga więc racjonalnego wyboru pomiędzy zcentralizowanym, zdecentralizowanym lub mieszanym systemem wiejskiej sanitacji, a także zastosowania takich technologicznych rozwiązań szczegółowych, które będą przystawać do konkretnych potrzeb i wymogów ochrony lokalnego środowiska, a także do charakterystyki przestrzennej zabudowy terenu [Jucherski 2006].

Jedną z technologicznych propozycji energo- i materiałooszczędnych metod oczyszczania ścieków bytowych w indywidualnych lub lokalnych systemach oczyszczania na terenach górzystych jest innowacyjny projekt IBMER – GCB w Tyliczu quasi technicznej instalacji, składającej się z kompaktowego złoża zraszanego z wypełnieniem z keramzytu oraz stokowego złoża filtracyjnego glebowo-darniowego [Jucherski, Walczowski 2006]. Schemat instalacji przedstawiono na rysunku 1.

W pracy przedstawiono wyniki dwuletnich badań oraz ocenę efektywności technologicznej tego obiektu w warunkach zimowych.

Celem badań była ocena technologicznej skuteczności urządzeń zastosowanych w obiekcie, wyrażona wskaźnikiem względnego zmniejszania stężeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń zawartych w ściekach odpływających z 3.komorowego osadnika gnilnego do kolejnych członów instalacji.

Badania charakterystyki fizyko-chemicznej oczyszczanych ścieków wykonywano w charakterystycznych okresach roku: wiosenno-letnich i jesienno-zimowych 2005 r. i 2006 r., stosując m. in.: termometry elektroniczne rejestrujące z dokładnością do 0,01°C, tlenomierz OXI 320/SET, pH-metr 320-1/SET, zestaw aparaturowy do oznaczania BZT₅ metodą respirometryczną OXI TOP firmy WTW oraz fotometr SQ118 i termoreaktor TR-200 firmy MERC do badań stężeń roztworów metodami celkowymi i odczynnikowymi.

Wyniki badań

Podstawą do dyskusji na temat jakości i efektywności procesów oczyszczania ścieków w obiekcie badawczym w Krynicy-Słotwinach są wyniki 2.letnich badań, przedstawione w tabelach 1, 2 i 3.

W tabeli 1 przedstawiono podstawową charakterystykę fizyczną ścieków bytowych odpływających z budynku, zamieszkałego przez 5 osób, do 3.komorowego monolitycznego osadnika gnilnego o objętości czynnej 6 m³ z klasycznym podziałem komór 0,5 : 0,25 : 0,25. Ocenę wieloletniej jakości pracy tego urządzenia, eksploatowanego już 10 lat bez usuwania z niego osadów, można sprowadzić do następujących stwierdzeń. Stężenia zawiesin ogólnych w odpływających z niego ściekach są niższe lub nieznacznie przekraczają dopuszczalne wartości tego wskaźnika wymaganego dla ścieków oczyszczonych wprowadzanych do wód lub ziemi (50 mg/l).

Tabela 1. Średnie wartości niektórych parametrów fizycznych ścieków w instalacji badawczej w Krynicy-Słotwinach w okresie 2005-2006 r.

Table 1. Average values of some wastewater physical parameters in experimental installation at Krynica-Słotwiny in 2005-2006

Okresy	Ścieki odpływające z :		
	osadnika	złoża o przepływie pionowym	złoża glebowo-darniowego
pH			
Okresy jesienno-zimowe 2005-2006 r.	7,6	7,4	7,6
Okresy wiosenno-letnie 2005-2006 r.	7,5	6,9	7,6
Redox (mV)			
Okresy jesienno-zimowe 2005-2006 r.	-140	-16	33
Okresy wiosenno-letnie 2005-2006 r.	-199	-19	30,6
Temperatura (°C)			
Okresy jesienno-zimowe 2005-2006 r.	8,3	6,5	3,9
Okresy wiosenno-letnie 2005-2006 r.	15,7	16,2	13,6
Tlen (mg/l)			
Okresy jesienno-zimowe 2005-2006 r.	1,9	3,5	8,0
Okresy wiosenno-letnie 2005-2006 r.	1,0	2,3	6,1
Ilość ścieków dopływających do instalacji (l/dobę)			
Okresy jesienno-zimowe 2005-2006 r.	640,0		
Okresy wiosenno-letnie 2005-2006 r.	670,0		
Obciążenie hydrauliczne powierzchni złóż (mm/d)			
Okresy jesienno-zimowe 2005-2006 r.	x	262	10,5
Okresy wiosenno-letnie 2005-2006 r.	x	275	11,0
Stężenie zawiesiny (mg/l)			
Okresy jesienno-zimowe 2005-2006 r.	64,1	31,9	14,6
Okresy wiosenno-letnie 2005-2006 r.	54,6	28,3	17,3

Nieznany jest jeszcze mechanizm procesów zachodzących wewnątrz komór osadnika, skutkujących zmniejszaniem się lub utrzymywaniem stałego tempa akumulacji osadów. Potwierdza się natomiast zasadność zaleceń IBMER – GCB w Tyliczu odnośnie stosowania w zagrodowych oczyszczalniach ścieków osadników o objętości czynnej 750–1000 l/osobę, większej niż to zaleca literatura przedmiotu.

Ocena jakości oczyszczania...

Tabela 2. Stężenie wybranych zanieczyszczeń w ściekach i ich zmniejszanie na poszczególnych członach technologicznych obiektu badawczego w Krynicy-Słotwinach w podstawowym opisie statystycznym.

Table 2. Concentration of chosen pollutants in sewage and their reduction in particular technological sections of the object at Krynica-Słotwiny (in basic statistical description)

Wyszczególnienie		Dopływ	Złoże pionowe	Złoże stokowe
Azot amonowy N-NH ₄				
Okresy jesiennie-zimowe 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	79,4	20,8	2,2
	Rozstęp max.- min., mg/l	97,4-66,4	48,1-3,1	9,3-0
	Odchylenie standardowe, mg/l	9,2	15,5	3,5
	Współczynnik zmienności, %	11,5	74,5	157,8
Okresy wiosenne-letnie 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	76,1	6,3	0,4
	Rozstęp max.- min., mg/l	86,9-58	13-0	1,4-0
	Odchylenie standardowe, mg/l	9,5	4,2	0,5
	Współczynnik zmienności, %	12,5	66,1	126,5
Azot azotanowy N-NO ₃				
Okresy jesiennie-zimowe 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	-	44,9	29,4
	Rozstęp max.- min., mg/l	-	71,9-12,8	41,6-18,2
	Odchylenie standardowe, mg/l	-	22,5	9,7
	Współczynnik zmienności, %	-	50,1	33
Okresy wiosenne-letnie 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	-	54,3	15,4
	Rozstęp max.- min., mg/l	-	71,7-25,9	36,2-3,6
	Odchylenie standardowe, mg/l	-	12,7	9,3
	Współczynnik zmienności, %	-	23,5	60,4
Azot całkowity N				
Okresy jesiennie-zimowe 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	105	89	42
	Rozstęp max.- min., mg/l	120-96	110-70	54-25
	Odchylenie standardowe, mg/l	9	14	10
	Współczynnik zmienności, %	8,4	15,2	23,4
Okresy wiosenne-letnie 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	107	84	23
	Rozstęp max.- min., mg/l	194-83	113-43	45-7
	Odchylenie standardowe, mg/l	30	19	11
	Współczynnik zmienności, %	27,5	22,4	47,5
BZT ₅ (O ₂)				
Okresy jesiennie-zimowe 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	213	55	5
	Rozstęp max.- min., mg/l	300-130	150-7	13-0
	Odchylenie standardowe, mg/l	61	46	5
	Współczynnik zmienności, %	28,4	84,3	112,0
Okresy	Średnia, mg/l	175	20	4
	Rozstęp max.- min., mg/l	275-120	40-7	8-1

wiosenno-letnie 2005-2006 r.	Odchylenie standardowe, mg/l	45	11	3
	Współczynnik zmienności, %	25,8	55,9	72,7
ChZT (O ₂)				
Okresy jesiennie-zimowe 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	325	64	19
	Rozstęp max.- min., mg/l	447-258	114-21	25-12
	Odchylenie standardowe, mg/l	59	32	5
	Współczynnik zmienności, %	18,3	50,2	24,8
Okresy wiosenno-letnie 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	289	47	31
	Rozstęp max.- min., mg/l	452-214	72-32	47-15
	Odchylenie standardowe, mg/l	47	27	11
	Współczynnik zmienności, %	16,1	57,2	34,6
Fosfor (mg P-PO ₄ /l)				
Okresy jesiennie-zimowe 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	10	9	2
	Rozstęp max.- min., mg/l	12-8	11-7	2-1
	Odchylenie standardowe, mg/l	1	1	1
	Współczynnik zmienności, %	13,4	13,8	40,7
Okresy wiosenno-letnie 2005-2006 r.	Średnia, mg/l	10	7	2
	Rozstęp max.- min., mg/l	19-8	10-2	3-0
	Odchylenie standardowe, mg/l	3	2	1
	Współczynnik zmienności, %	32,2	29,8	50,9

Tabela 3. Skuteczność zmniejszania stężeń wybranych zanieczyszczeń w ściekach oczyszczanych na poszczególnych członach technologicznych obiektu badawczego w Krynicy-Słotwinach

Table 3. Effectiveness of reducing selected pollutant concentrations in particular technological sections of experimental object at Krynica-Słotwiny

Wyszczególnienie	Okresy jesienno-zimowe 2005-2006		Okresy wiosenno-letnie 2005-2006	
	Złoże pionowe %	Złoże stokowe %	Złoże pionowe %	Złoże stokowe %
Azot amonowy N-NH ₄	73,8	97,2	91,7	99,5
Azot całkowity N	15,2	60,5	21,4	78,5
BZT ₅	74,3	97,9	88,6	97,9
ChZT	80,4	94,3	83,8	89,2
Fosfor P-PO ₄	13,1	84,4	33,0	84,3

Analizując dane zawarte w tabelach 2 i 3, charakteryzujące jakość pracy całej instalacji, należy podkreślić bardzo wysoką skuteczność zmniejszania w niej tlenowych wskaźników zanieczyszczeń BZT₅ i ChZT (pow. 97% i 89%), przy czym nie stwierdzono negatywnego oddziaływania na te procesy niekorzystnych warunków meteorologicznych w sezonach jesienno-zimowych. Szczególną również uwagę należy zwrócić na bardzo wysoką skuteczność zmniejszania stężeń amonowej formy azotu N-NH₄. Sprawność

tych procesów w okresach jesienno-zimowych sięgała aż 97,2% i była tylko nieznacznie niższa od efektywności tego procesu w okresach wiosenno letnich, wynoszącej 99,5%. Dominującym procesem w zmniejszaniu stężeń składnika w ściekach jest nityfikacja na złożu o przepływie pionowym i prawdopodobnie, w mniejszym stopniu sorpcja wymienna na powierzchniach materiałów ziarnistych złoża glebowo-darniowego. Instalacja charakteryzuje się również bardzo dobrą skutecznością usuwania ze ścieków azotu całkowitego, chociaż poziom tych wskaźników, odpowiednio: 60,5% i 78,5%, jest niższy od poziomu osiąganego w innych składnikach zanieczyszczeń.

Widoczny jest tu jednak jesienno-zimowy spadek efektywności tego procesu sięgający 18%. Zwiększenie efektywności usuwania N_C w okresie zimowym to cel dalszych działań badawczo-rozwojowych IBMER – GCB, bardzo trudny do zrealizowania ze względu na specyfikę warunków budowy i eksploatacji quasi technicznych obiektów terenowych, gdzie niekorzystne oddziaływanie czynników meteorologicznych na procesy denityfikacji związków azotanowych jest nieuniknione [Szewczyk 2005].

W warunkach eksploatacji obiektu w Krynicy-Słotwinach podstawowymi czynnikami, które ograniczają wydajność denityfikacji mogą być w kolejności: wysokie stężenie tlenu rozproszonego w ściekach filtrujących w stokowym złożu glebowo-darniowym (8 mg/l), niedostatek węgla organicznego, usuniętego już wcześniej na złożu o przepływie pionowym ($BZT_5 = 20$ mg O_2/l), a przede wszystkim niska temperatura ścieków oczyszczanych zimą w złożu stokowym. Średnia temperatura oczyszczanych ścieków w tym okresie wynosiła $3,9^{\circ}C$ i jest ona niższa od temperatury $5^{\circ}C$, uznanej przez wielu autorów za wartość graniczną. Mimo to, ponad 65% skuteczność usuwania tej formy azotu w okresie zimowym należy uznać za wysoką.

Podstawowym członem technologicznym instalacji oczyszczającej w Słotwinach jest urządzenie wstępne ze zraszanym złożem, którego wypełnienie stanowi granulát ze spieków gliniasto-ilastych (keramzyt). Konstrukcja ta, pomyślana jako reaktor do mineralizacji substancji węglowych i do nityfikacji, łączy w sobie cechy złóż zwirowo-roślinnych, a także tradycyjnych złóż biologicznych. W jego budowie postawiono na wymiarową kompaktyzację, przy zwiększeniu obciążenia hydraulicznego jego powierzchni do średniej wartości 268 mm/m² na dobę, które jest stosowane w złożach hydrobotanicznych o pionowym przepływie ścieków, wykorzystywanych do realizacji III stopnia ich oczyszczania [Błażejewski 1996].

Dwuletni okres badań tego złoża wykazał jego wysoką skuteczność technologiczną w obniżaniu wskaźników i stężeń zanieczyszczeń: BZT_5 (74,3%-88,6%), $ChZT$ (80,4%-83,8%), a także efektywną nityfikację azotu amonowego (73,8%-91,7%). Chociaż spadek tych wydajności w okresach jesienno-zimowych (pierwsza pozycja) jest widoczny, to jednak główne założenia procesowe przyjęte przy budowie tego reaktora zostały spełnione. Niższy zaś

poziom wskaźnika efektywności nityfikacji ścieków w tym złożu wynika z mikrobiologicznej istoty i naturalnej sekwencji procesów biochemicznych zachodzących w poszczególnych jego strefach [Wijffels i in. 1993].

Nie oczekiwano natomiast, że będzie ono równie skuteczne w procesach usuwania ze ścieków azotu całkowitego i fosforanów. Specyfika przyjętych rozwiązań konstrukcyjno-eksploatacyjnych tego reaktora uniemożliwia stworzenie uniwersalnych warunków natury biochemicznej właściwych w kompleksie procesów usuwania obydwu tych składników. W rezultacie, średnia efektywność usuwania azotu całkowitego w tym złożu sięga w okresie letnim 21,4%, obniżając się w okresie jesienno-zimowym nawet do 15,2%.

Równie niska jest efektywność zatrzymywania fosforanów w objętości czynnej wypełnienia złoża. Usuwanie fosforanów ze ścieków w złożach filtracyjnych gruntowo-roślinnych jest praktycznie procesem fizyko-chemicznym. Jego wydajność może być odpowiednio zintensyfikowana przez dodanie do złoża sorbentów jonów fosforanowych, m. in. materiałów ilasto-gliniastych i krzemionkowo-kalcytowych [Johansson 1996; Tong i in. 1996]. Tym pierwszym jest keramzyt, który zastosowano w ocenianym złożu. Jednakże jego skuteczność sorpcyjna w tym złożu jest ograniczona ze względu na gruboziarnistą strukturę i wynikający z tego krótki czas retencji oczyszczanych w nim ścieków.

Keramzyt ma jednak kilka istotnych zalet w stosunku do wypełnień piaszczysto-żwirowych, a podstawowe z nich to: 4-6 razy mniejsza masa właściwa, a także uniwersalne możliwości użytkowe (materiał filtracyjny i izolacyjny) i funkcjonalne (dostępność w postaci luźnej i pakietowanej, łatwiejszy transport i nieuciążliwe zasypywanie objętości złoża).

Dzięki zastosowaniu wypełnienia z keramzytu, w oczyszczanych ściekach dominuje azotanowa forma azotu całkowitego, która jest bardziej korzystna ze względów ekologicznych. Ciężar zaś dalszego usuwania ze ścieków azotu całkowitego (denityfikacji), a także deponowania fosforanów przejmują skutecznie kolejny człon instalacji: stokowe złożo glebowo-darniowe (tab. 3).

Stwierdzenia końcowe i wnioski

Wyniki 2-letniego okresu badań quasi technicznej instalacji do oczyszczania ścieków bytowych, modelu IBMER w Tyliczu, wykazały jej wysoką całosezonową skuteczność, przewyższającą w sposób istotny, we wszystkich składnikach zanieczyszczeń, standardy określone w krajowych rozporządzeniach. Stwierdzono, że wpływ czynników meteorologicznych na skuteczność procesów oczyszczania ścieków w okresach jesienno-zimowych jest nieistotny we wszystkich składnikach zanieczyszczeń (oznaczanych w badaniach), poza azotem całkowitym, którego efektywność usuwania ze ścieków w warunkach zimowych maleje.

W celu intensyfikacji procesów denitryfikacji ścieków w warunkach zimowych należy ukierunkować badania pod kątem doskonalenia niektórych rozwiązań technologicznych stokowego złoża darniowo-glebowo.

Bibliografia

Błażejowski R. 1996. Hydrobotaniczne oczyszczalnie ścieków. Przegląd systemów i zasad ich projektowania. Materiały na konferencję N-T, ss. 25-32, Poznań

Johansson L. 1996. Use of LECA for the removal of phosphorus from wastewater. In: 5th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna

Jucherski A. 2006. Zintegrowany system oczyszczania ścieków bytowych w rejonach górzystych. Technika Rolnicza, Ogrodnicza i Leśna, 9-10: 54-57

Jucherski A., Walczowski A. 2006. Badania dwóch modułowych instalacji technologicznych typu IBMER i Tylicz do oczyszczania ścieków bytowych w systemie indywidualnym. Sprawozdanie z badań IBMER, Warszawa

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 lipca 2004, Dz. U. Nr 168, poz. 1763, załącznik Nr 1

Szewczyk K. 2005. Biologiczne metody usuwania związków azotu ze ścieków, Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej

Tong Z. i in. 1996. Phosphorus sorption and chemical characteristics of lightweight aggregates (LWA) – potential filter media in treatment wetlands. In: 5th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna

Wijffels R.H. i in. 1993. Possibilities of nitrification with immobilized cells in wastewater treatment: model or practical system? Wat. Sci. Tech., Vol. 27, No 5-6: 233-240

Recenzent: Krzysztof Wierzbicki