

KRZYSZTOF CHMIEŁOWSKI, ANDRZEJ WAŁĘGA

Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej  
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

## WSTĘPNE BADANIE STABILNOŚCI USUWANIA SUBSTANCJI ORGANICZNEJ W KOLUMNACH FILTRACYJNYCH WYPEŁNIONYCH PIASKIEM I ŻWIREM

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań modelowych przeprowadzonych w laboratorium Wydziału Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Model składał się z pięciu jednakowych kolumn z PVC, o średnicy 200 mm i wysokości 1100 mm. Do każdej z kolumn dopływała taka sama ilość ścieków wstępnie oczyszczonych i identycznych pod względem temperatury oraz zanieczyszczeń fizykochemicznych. W każdej z kolumn znajdował się materiał (piasek, drobny żwir) o różnej frakcji uziarnienia, od 0,28 mm do 6,0 mm. Okres badań wyniósł 323 doby. Wykonano analizy podstawowego wskaźnika zanieczyszczenia ścieków (BZT<sub>5</sub>). Analizę przeprowadzono w 72 seriach. Każda seria badań obejmowała ścieki wstępnie oczyszczone i ścieki oczyszczone z poszczególnych kolumn modelu (łącznie 432 analizy BZT<sub>5</sub>). Na tej podstawie określono orientacyjny okres wpracowania się złoża filtracyjnego dla poszczególnych średnic  $d_{10}$ . W celu określenia długości okresu wpracowania wykorzystano bezpośrednią obserwację danych oraz metodę kart kontrolnych. Stwierdzono najkrótszy okres wpracowania złoża dla średnicy  $d_{10} = 0,25$  mm, podczas gdy najdłuższy okres ustalono dla największej badanej średnicy  $d_{10} = 4,28$  mm.

**Słowa kluczowe:** ścieki bytowe, model, filtr piaskowy, oczyszczalnia

### Wstęp

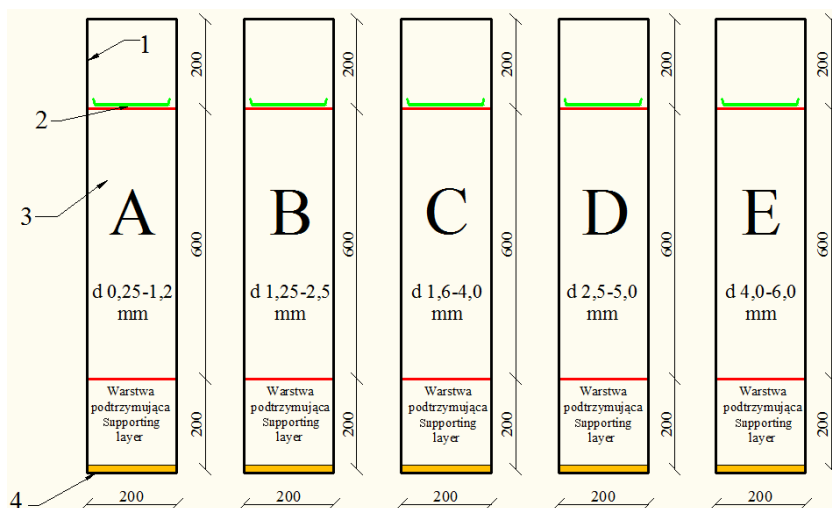
Nieoczyszczone ścieki bytowe odprowadzane do środowiska naturalnego stanowią poważne zagrożenie. Konieczne jest zatem unieszkodliwianie ich do postaci bezpiecznej dla otoczenia. W warunkach polskich ROZPORZĄDZENIE... (2006) określa dopuszczalne wartości wybranych wskaźników zanieczyszczenia ścieków wprowadzanych do wód płynących, stojących oraz do gruntu. Surowe ścieki bytowe, pochodzące z pojedynczego gospodarstwa lub niewielkiej grupy gospodarstw, charakteryzują się znaczną zmiennością jakości pod względem zanieczyszczeń organicznych oraz ilości powstają-

cych ścieków (ŚLIZOWSKI i CHMIELOWSKI 2007, CHMIELOWSKI i ŚLIZOWSKI 2008, CHMIELOWSKI 2009, CHMIELOWSKI i ŚLIZOWSKI 2009).

Niniejszy artykuł dotyczy przydomowych oczyszczalni ścieków pracujących na bazie filtrów piaskowych o przepływie pionowym. Oczyszczalnie tego typu dają zadowalające efekty zmniejszenia zanieczyszczeń, a prosta zasada działania pozwala na bezobsługowe i bezawaryjne funkcjonowanie takich obiektów. Dojrzewanie złoża piaskowego trwa od kilku dni do dwóch tygodni od rozpoczęcia dozowania ścieków, po czym następuje bardzo wyraźne zmniejszenie BZT<sub>5</sub> i stężeń zawiesin w dopływie (OSMULSKA-MRÓZ 1995). Filtry piaskowe zapewniają wysoki stopień oczyszczania ścieków z nityfikacją, ale bez wysokiej defosfatacji i denityfikacji (BŁĄŻEJEWSKI 1997). Dla zapewnienia długoletniej eksploatacji filtrów piaskowych istotne jest systematyczne opróżnianie osadnika gnilnego z osadu, tak aby jego nadmiar nie dostawał się na złożo filtru, gdyż przyspiesza to jego kolmatację (ŚLIZOWSKI i CHMIELOWSKI 2007). Mimo że w złożu filtracyjnym przeważają warunki tlenowe to w lokalnych mikrostrefach może zachodzić proces denityfikacji (HEIDRICH i TICHONCZUK 1995).

## Material i metody

Model składał się z pięciu jednakowych kolumn z PVC, o średnicy wewnętrznej 200 mm i wysokości 1100 mm. Do każdej z kolumn dopływała taka sama ilość ścieków wstępnie oczyszczonych, identycznych pod względem temperatury i zanieczyszczeń fizykochemicznych. Natomiast w każdej z kolumn znajdował się materiał (piasek, drobny żwir) o innej frakcji uziarnienia (rys. 1) od 0,25 mm do 6,0 mm.



Rys. 1. Kolumny z materiałem wypełniającym: 1 – kolumna z PVC, 2 – perforowana podkładka, 3 – właściwa warstwa filtracyjna, 4 – ruszt podtrzymujący  
 Fig. 1. The columns with the filling material: 1 – PVC column, 2 – perforated pad, 3 – proper filter layer, 4 – supporting rack

W pierwszym etapie ścieki były gromadzone w zbiorniku retencyjnym o całkowitej pojemności 60 dm<sup>3</sup>. Ścieki użyte w modelu badawczym były pobierane z osadnika gnilnego zlokalizowanego w dzielnicy Piaski Nowe w Krakowie. Ścieki te były dowożone do modelu badawczego co dwie doby, co pozwoliło na zapewnienie ich świeżości. Analizę przeprowadzono w 72 seriach. Każda seria badań obejmowała ścieki wstępnie oczyszczone i ścieki oczyszczone z poszczególnych kolumn modelu (łącznie 432 analizy BZT<sub>5</sub>). Średnia wartość BZT<sub>5</sub> ścieków wstępnie oczyszczonych wyniosła 204,5 mg O<sub>2</sub> na 1 dm<sup>3</sup>, a odchylenie standardowe od średniej wyniosło 68,9 mg O<sub>2</sub> na 1 dm<sup>3</sup>. Ścieki ze zbiornika pompowane były z użyciem miniaturowej pompki WATERWERKS o wysokości podnoszenia H<sub>max</sub> = 145 cm. W celu umożliwienia płynnej regulacji przepływu ścieków pompkę wyposażono w pokrętko do regulowania jej mocy. Włączał ją i wyłączał elektroniczny sterownik czasowy. Pompa była włączana sześć razy na dobę, co pozwoliło na wprowadzenie jednorazowo około 300 cm<sup>3</sup> ścieków do jednej kolumny. Ze zbiornika ścieki trafiały do urządzenia rozdzielczego. Dalej ścieki przepływały przez kolumny wypełnione piaskiem lub żwirem o różnej średnicy uziarnienia i były odprowadzane do pojemników z tworzywa sztucznego.

W tabeli 1 zestawiono podstawowe parametry właściwej warstwy filtracyjnej w poszczególnych kolumnach modelu K5.

Tabela 1. Zestawienie parametrów złoża filtracyjnego w poszczególnych kolumnach modelu K5  
Table 1. The summary of the filter bed parameters in each column of the K5 model

Oznaczenie kolumny Column sign	Średnica uziarnienia złoża filtracyjnego The grain diameter of the filter bed (mm)	Porowatość Porosity (%)	d <sub>min</sub> (mm)	d <sub>max</sub> (mm)	d <sub>90</sub> (mm)	d <sub>60</sub> (mm)	d <sub>10</sub> (mm)	U <sub>1</sub> = d <sub>60</sub> /d <sub>10</sub>	U <sub>2</sub> = d <sub>90</sub> /d <sub>10</sub>	U <sub>3</sub> = d <sub>90</sub> /d <sub>60</sub>
A	0,25-1,20	35	0,25	1,20	1,21	0,52	0,28	1,86	4,32	2,33
B	1,25-2,5	40	1,25	2,50	2,24	1,61	1,29	1,25	1,74	1,39
C	1,6-4,0	41	1,60	2,50	2,37	2,00	1,65	1,21	1,44	1,19
D	2,5-5,0	42	2,50	5,00	4,85	4,40	2,84	1,55	1,71	1,10
E	4,0-6,0	42	4,00	6,00	5,86	5,45	4,28	1,27	1,37	1,08

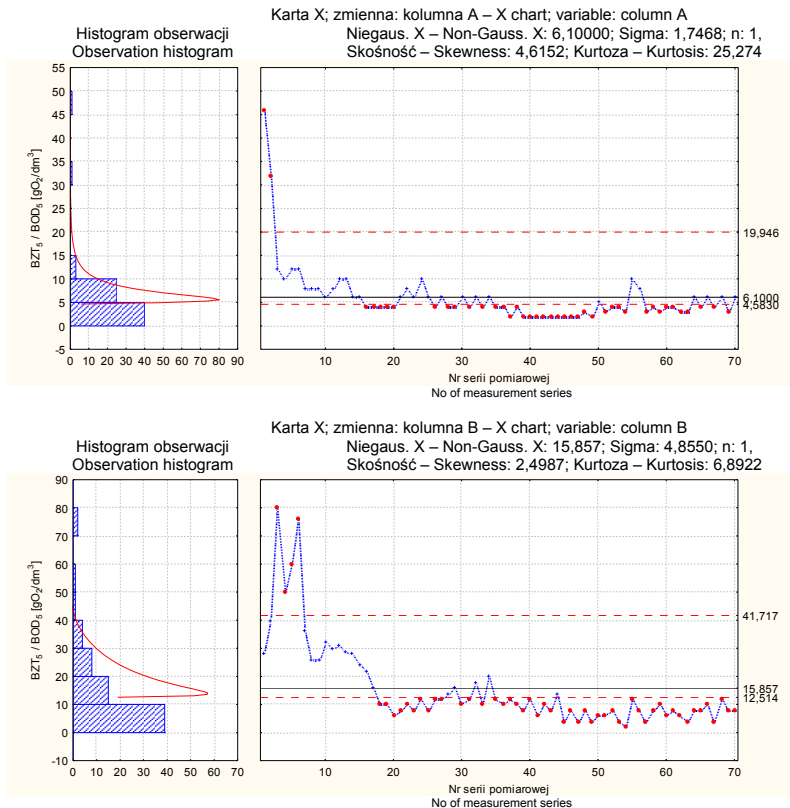
W celu wykrycia długości okresu wypracowywania się złóż zastosowano metodę kart kontrolnych. W praktyce oceny eksploatacyjnej oczyszczalni ścieków są one coraz powszechniej stosowanym narzędziem do oceny stabilności procesu i wykrywania ewentualnych problemów (ANDRAKA 2005, KRZANOWSKI i IN. 2005, KRZANOWSKI i WAŁĘGA 2006, KRZANOWSKI i IN. 2008). Szczegóły dotyczące konstrukcji i rodzajów kart kontrolnych zawarto w wymienionych wyżej publikacjach. Jeżeli proces oczyszczania przebiega w stabilnych warunkach, to zmienność poszczególnych pomiarów w czasie powinna mieścić się w ściśle ustalonych przez użytkownika granicach kontrolnych i oscylować wokół poziomu nominalnego. Każde zakłócenie procesu spowoduje pomiar wykraczający poza granice kontrolne. W analizowanym przypadku zdecydowa-

no się zastosować kartę kontrolną X, przy czym granice kontrolne procesu zostały ustalone na podstawie badanej próby losowej z uwagi na brak normalności rozkładu. Wartość nominalną przyjęto jako średnią wartości w całym okresie badań dla danej kolumny.

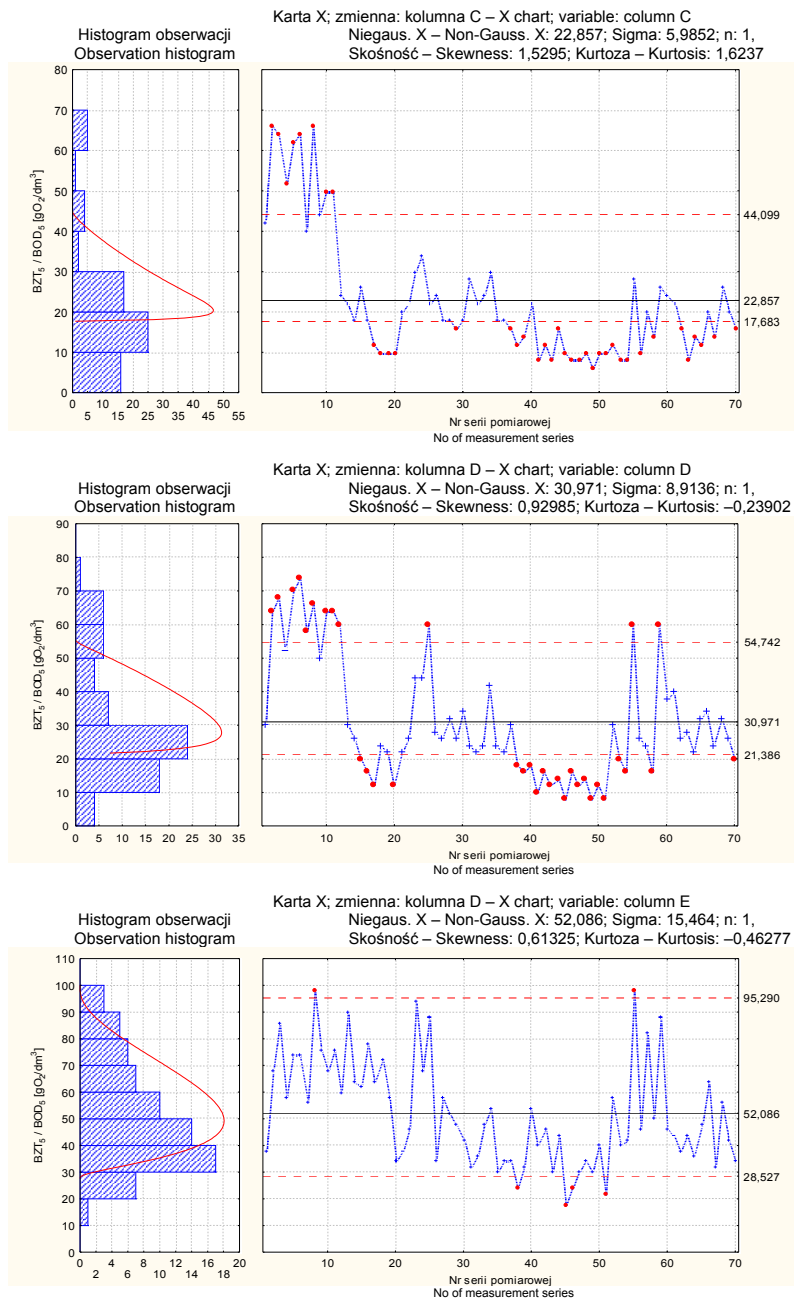
## Wyniki i dyskusja

Na rysunku 2 przedstawiono karty kontrolne dla wartości BZT<sub>5</sub> w odpływie ze złożeń dla poszczególnych kolumn.

Punkty na rysunku zaznaczone kółkiem oznaczają rozregulowanie procesu. Można wywnioskować, że w przypadku kolumny A pierwsze dwie obserwacje wyraźnie przekraczają górną granicę kontrolną – w tym okresie obserwuje się wyraźną niestabilność procesu. Ta sytuacja jest spowodowana wpracowywaniem się kolumny, gdzie z powodu braku rozwiniętej błony biologicznej nie następował jeszcze proces mineralizacji zanieczyszczeń organicznych. W późniejszym okresie też odnotowano wiele wyników poza dolną granicę kontrolną, ale w przypadku analizy oczyszczalni ścieków nie jest to sytuacja niekorzystna – świadczy o poprawnej pracy analizowanego złoża.



Chmielowski K., Wałęga A., 2011. Wstępne badanie stabilności usuwania substancji organicznej w kolumnach filtracyjnych wypełnionych piaskiem i żwirem. Nauka Przyr. Technol. 5, 5, #78.



Rys. 2. Karty kontrolne X dla wartości  $BZT_5$  w odpływie z analizowanych kolumn modelu

Fig. 2. The X control charts for  $BOD_5$  values on the outflow from the analysed model columns

Wartości  $BZT_5$  w odpływie z kolumny A w tym okresie były niskie. W przypadku kolumny B sytuacja jest podobna, ale okres wpracowywania się został nieznacznie wydłużony. Zwiększenie średnicy uziarnienia złoża  $d_{10}$  z 0,28 mm do 1,29 mm nie powoduje jednak gwałtownego pogorszenia stabilności oczyszczania. Wiele wyników poniżej dolnej granicy kontrolnej świadczy o tym, że proces oczyszczania ścieków przebiegał poprawnie. W przypadku kolumny C widoczne jest wydłużenie się okresu wpracowywania się złoża. Ma to związek ze wzrastającą średnicą uziarnienia, a przez to zmniejszającą się powierzchnią właściwą złoża dla rozwoju mikroorganizmów. Po okresie wpracowania się złożo pracuje poprawnie. Wyraźne pogorszenie stabilności procesu widoczne jest w przypadku kolumny D. W początkowym okresie 9 obserwacji występuje poza granicą kontrolną, czyli można wnioskować, że brak stabilności procesu oczyszczania jest spowodowany wypracowywaniem się złoża. Następnie widoczna jest poprawa pracy układu, z tym, że widoczne są okresy braku stabilności. Przypuszczalnie przy większym obciążeniu złoża ładunkiem zanieczyszczeń mogła zostać wypłukana błona biologiczna, co spowodowało wzrost wartości  $BZT_5$  w odpływie. W przypadku kolumny E paradoksalnie obserwuje się stosunkowo stabilną pracę złoża. Wynika to jednak z faktu, że poziom nominalny jest ustalony na wartości średniej procesu równej  $52 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , co automatycznie generuje wyższe wartości dla granic kontrolnych, a zatem i sam proces przebiegał mało efektywnie. W tym przypadku na początku okresu badań nie obserwowano niestabilności procesu, jednak utrzymywanie się przez 18 pomiarów sekwencji podwyższonych wartości  $BZT_5$  świadczy o tym, że następowało wówczas wpracowywanie się złoża. Ten czas w przypadku kolumny E jest najdłuższy, w porównaniu do poprzednich kolumn.

## Podsumowanie

Badania przeprowadzono na modelu kolumnowym, imitującym pracę filtrów piaskowych o przepływie pionowym. Zakres pracy obejmował badanie czasu wpracowania się złoża filtracyjnego w zależności od średnicy  $d_{10}$ .

## Wnioski

1. Metoda kart kontrolnych może być wykorzystana do wykrywania okresów niestabilności pracy systemów oczyszczania ścieków, a także do określania długości czasu wpracowywania się układu.
2. Przeprowadzana analiza wykazała, że zwiększanie średnicy uziarnienia złoża wydłuża okres wpracowywania się układu.
3. Przy większych średnicach uziarnienia obserwowano większe wartości  $BZT_5$  w ściekach oczyszczonych, co skutkowało licznymi przekroczeniami wartości dopuszczalnej.

## Literatura

- ANDRAKA D., 2005. Wykorzystanie statystycznej kontroli jakości do oceny pracy oczyszczalni ścieków. W: *Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczych*. Monogr. Komit. Inż. Środ. PAN 30: 565-580.
- BŁĄZEJEWSKI R., 1997. *Przydomowe oczyszczalnie ścieków*. Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Zarzeczewie, Włocławek.
- CHMIEŁOWSKI K., 2009. Impact of the hydraulic loading of filter bed on the sewage treatment efficiency in vertical flow sand filters. *Pol. J. Environ. Stud.* 4: 17-22.
- CHMIEŁOWSKI K., ŚLIZOWSKI R., 2008. Defining the optimal range of a filter bed's  $d_{10}$  replacement diameter in vertical flow sand filters. *Environ. Prot. Eng.* 3: 35-42.
- CHMIEŁOWSKI K., ŚLIZOWSKI R., 2009. Wpływ średnicy zastępczej  $d_{10}$  złoża w filtrach piaskowych o przepływie pionowym na skuteczność usunięcia związków biogenych. *Gaz Woda Techn. Sanit.* 9: 11-13.
- HEIDRICH Z., TICHONCZUK P., 1995. *Wstępne zasady projektowania przydomowych oczyszczalni ścieków*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych oddz. w Poznaniu, Warszawa.
- KRZANOWSKI S., WAŁĘGA A., 2006. Wykorzystanie teorii niezawodności i statystycznej kontroli jakości do oceny eksploatacyjnej wiejskich oczyszczalni ścieków. *Infrastrukt. Ekol. Teren. Wiej.* 3/2: 17-37.
- KRZANOWSKI S., WAŁĘGA A., PAŚMIONKA A., 2008. Oczyszczanie ścieków z wybranych zakładów przemysłu spożywczego. *Infrastrukt. Ekol. Teren. Wiej.* 1, Ser. Monogr.
- KRZANOWSKI S., JUCHERSKI A., WAŁĘGA A., 2005. Wpływ pory roku na niezawodność technologiczną wielostopniowej, gruntowo-roślinnej przydomowej oczyszczalni ścieków. *Infrastrukt. Ekol. Teren. Wiej.* 1: 37-54.
- OBARSKA-PEMPOWIAK H., 1996. *Analiza efektywności usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalniach wodno-roślinnych i gruntowo-roślinnych w województwie gdańskim*. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- OSMULSKA-MRÓZ B., 1995. *Lokalne systemy unieszkodliwiania ścieków – poradnik*. IOŚ, Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. 2006. *Dz. U.* 137, poz. 984.
- ŚLIZOWSKI R., CHMIEŁOWSKI K., 2007. The efficiency of selected sewage pollutant reduction in a vertical flow sand filter. *Pol. J. Environ. Stud.* 16, 2A, Part II: 221-226.

## PRELIMINARY ANALYSES OF ORGANIC MATTER REMOVAL STABILITY IN THE FILTER COLUMNS FILLED WITH SAND AND GRAVEL

**Summary.** The article presents the results of the model research carried out in the laboratory of Faculty of Environmental Engineering and Land Surveying, University of Agriculture in Kraków. The model consisted of five identical PVC columns with a diameter of 200 mm and a height of 1100 mm. The same amount of primarily treated sewage, identical in terms of temperature and physico-chemical pollutants, flew into each of the columns. Each column was filled with material (sand and small gravel) of different grain size – from 0.28 mm to 6.0 mm. The research period was 323 days. Basic sewage pollution index (BOD<sub>5</sub>) was analysed in 72 series. Each series comprised of primarily treated sewage and sewage treated in each model columns (a total of 432

BOD<sub>5</sub> analyses). The approximate work-in periods for the filter bed of each  $d_{10}$  diameters were evaluated based on the described analyses. Direct data observation and control charts methods were applied in order to define the length of the work-in period. The shortest work-in period was observed for the  $d_{10} = 0.25$  mm diameter, whereas the longest period was observed for the highest analysed diameter –  $d_{10} = 4.28$  mm.

**Key words:** domestic sewage, model, sand filter, sewage treatment plant

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Krzysztof Chmielowski, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, Poland, e-mail: k.chmielowski@ur.krakow.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*

*13.06.2011*

*Do cytowania – For citation:*

*Chmielowski K., Wałęga A., 2011. Wstępne badanie stabilności usuwania substancji organicznej w kolumnach filtracyjnych wypełnionych piaskiem i żwirem. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 5, #78.*