

Oktawia PLIŻGA<sup>1</sup>, Alia W. JLILATI-ZGARDZIŃSKA<sup>1</sup>, Monika FLOREK<sup>1</sup>  
Jacek HANZEL<sup>1</sup>, Katarzyna M. JAROMIN-GLEŃ<sup>1</sup> i Grzegorz ŁAGÓD<sup>1</sup>

## ANALIZA WPLYWU CZASU I SPOSOBU EKSPLOATACJI KOLEKTORÓW KANALIZACJI GRAWITACYJNEJ NA PRĘDKOŚĆ PRZEPLYWU ŚCIEKÓW

### INFLUENCE OF DURATION AND EXPLOITATION MANNER OF SANITATION CONDUITS ON SEWAGE FLOW VELOCITY

**Abstrakt:** Podczas projektowania sieci kanalizacji grawitacyjnej założenie stałego spadku dna odcinka kanału, podobnie jak niezmiennego pola przekroju oraz chropowatości, jest bliskie rzeczywistości. Spełnienie tych założeń zależy od jakości przewodów kanalizacyjnych oraz precyzji wykonania kanałów. Wszystkie wyżej wymienione elementy mają znaczący wpływ na średnie prędkości przepływu ścieków w kanalizacji grawitacyjnej i dobierane są w taki sposób, aby zapewnić hydrauliczne samooczyszczanie kanału z gromadzących się na dnie osadów. Przeprowadzone badania pokazują rzeczywistą prędkość średnią przepływu ścieków po wieloletniej eksploatacji w wybranych przewodach kanalizacyjnych. Zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych w 2009 r. w kolektorach kanalizacji sanitarnej miasta Chełm oraz porównano je z wartościami pomiarów wykonanych w roku 2008. W celu uwierzytelnienia otrzymanych wyników badania przeprowadzono dwoma niezależnymi metodami - metodą pływakową i dynamometryczną. Wykazano, iż wyznaczone prędkości przepływu ścieków w wybranych przewodach grawitacyjnej kanalizacji sanitarnej w Chełmie nie zapewniają ciągłego samooczyszczania z osadów ściekowych, pomimo że badane kanały zostały ułożone zgodnie z wytycznymi projektowania sieci kanalizacyjnej. W związku z powyższym kanał ulega zamuleniu, a zalegający osad niekorzystnie wpływa na warunki hydrauliczne w przewodzie, na co jednoznacznie wskazują powtarzane w ciągu ostatniego roku badania.

**Słowa kluczowe:** kanalizacja grawitacyjna, osady ściekowe, samooczyszczanie kanałów, pomiar prędkości przepływu

Wymogiem dla prawidłowej eksploatacji sieci kanalizacyjnej jest zapewnienie występowania w niej warunków hydraulicznego samooczyszczania z osadów. Warunki takiego rodzaju występują z odpowiednią częstotliwością przy prawidłowym doborze spadków kanału. Wskazane jest, aby prędkości samooczyszczania występowały nawet przy minimalnych przepływach i minimalnych napełnieniach. Jednakże ściśle dostosowanie się do zasady utrzymania prędkości na poziomie minimum  $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  przy najmniejszych przepływach prowadziłoby w niektórych przypadkach do zbyt dużych spadków kanałów, a co za tym idzie - do zbyt dużego i nieekonomicznego zagłębienia sieci. Stąd też ze względów ekonomicznych niekiedy projektowane są spadki dna kanałów w sposób, który nie eliminuje całkowicie problemu odkładania się osadów i nie zapewnia ich transportu przez całą dobę. W takich sytuacjach przyjmowane zasady projektowania sieci kanalizacyjnych mają zapewnić okresowy transport większości osadów (przynajmniej raz w ciągu doby), a jednocześnie odprowadzenie maksymalnych rocznych natężeń przepływu oraz skuteczną wentylację kanałów [1-3]. Tak więc w rzeczywistych warunkach pracy sieci kanalizacyjnej osady są okresowo akumulowane w kanałach, a następnie wymywane podczas przepływów o większych wartościach natężenia.

<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

Należy jednak pamiętać, iż prędkość przepływu w kanałach ściekowych i kanałach deszczowych systemu rozdzielczego przy całkowicie wypełnionym przekroju nie powinna być mniejsza niż  $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Gdy takiej prędkości nie można zapewnić, powinna być przewidziana możliwość płukania sieci.

Przeprowadzone badania pokazują rzeczywistą prędkość średnią przepływu ścieków po wieloletniej eksploatacji w wybranych przewodach kanalizacyjnych. W pracy zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych w 2009 r. w kolektorach kanalizacji sanitarnej miasta Chełm oraz porównano je z wartościami pomiarów wykonanych w 2008 roku [4].

### **Charakterystyka sieci kanalizacyjnej miasta Chełm**

Sieć kanalizacyjną w mieście Chełm tworzą kanały kołowe o średnicy od 200 do 1400 mm. W przeważającej mierze są to przewody o średnicy 200 mm wykonane z kamionki i PVC. Za ich pomocą ścieki odprowadzane są do oczyszczalni ścieków głównie w sposób grawitacyjny. Dominującymi kanałami w chełmskiej sieci kanalizacyjnej są przewody wykonane z kamionki, stanowiące 40% całkowitej długości sieci. Drugim co do udziału procentowego materiałem, z którego wykonana jest sieć, jest beton stanowiący 30% przewodów. Trzecie miejsce zajmują dopiero od niedawna wykorzystywane przewody z PVC, które coraz częściej znajdują zastosowanie w sieciach kanalizacyjnych. Wśród przewodów kamionkowych największą część stanowią przewody o średnicy do 250 mm (57%), przewody o średnicy 250-600 mm stanowią 43%, nie odnotowano natomiast w tej grupie przewodów powyżej średnicy 600 mm. W grupie przewodów wykonanych z PVC dominują te o średnicy do 250 mm, a tylko jedną czwartą stanowią przewody powyżej tej średnicy. Przewody wykonane z betonu obejmują prawie wszystkie średnice, z czego średnice do 250 mm to 9% długości wszystkich przewodów betonowych, od 250 do 600 mm to 29%, zaś najczęściej występujące w tej grupie to średnice powyżej 600 mm (62%) [4, 5].

Analizując wiek sieci sanitarnej w Chełmie, należy zauważyć, że największą część sieci, bo aż 43%, stanowią przewody w wieku od 11 do 20 lat. Najmniejszy odsetek 14% stanowią przewody oddane do eksploatacji nie później niż 5 lat temu. Rozpatrując okres eksploatacji przewodów powyżej 20 lat, można zauważyć, że najwięcej jest przewodów w wieku od 21 do 30 lat. Stanowią one 66%. Kanały w wieku od 31 do 50 lat stanowią 20%, a 14% to przewody użytkowane więcej niż 50 lat [4, 5].

### **Materiał i metody**

Dzięki uprzejmości Miejskiego Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej wykonano pomiary terenowe na obiektach sieci kanalizacji sanitarnej w Chełmie. Pomiary te prowadzone były w latach 2008-2009 i polegały na wyznaczeniu prędkości ścieków w wybranych kanałach, pomiarze wysokości napełnienia kanału ściekami oraz wysokości złogów osadu zalegających dna przewodu. Jako główne kryterium w wyborze przewodów do prac pomiarowych przyjęto wyznaczenie prędkości przepływu ścieków w przewodach w różnym wieku. Dlatego też wybrano: kanał na ulicy 3 Maja ( $\varnothing$  600;  $i = 2,5\%$ , beton), oddany do eksploatacji w latach 80., gdzie w pierwszej serii (2008 rok) pomiary wykonano na dwu odcinkach, kanał w ulicy Piłarskiego ( $\varnothing$  800;  $i = 2,0\%$ , beton), oddany do

eksploatacji w latach 70. oraz kanał w ulicy Karłowicza ( $\varnothing$  400;  $i = 5,0\%$ , PVC), eksploatowany od 2007 roku.

Za pomocą przymiaru liniowego mierzono napełnienie kanału ściekami oraz wysokość złogów osadu. Do pomiaru prędkości ścieków użyto metody pływakowej [4, 6]. W celu potwierdzenia wiarygodności danych prędkość ścieków dodatkowo pomierzono metodą dynamometryczną za pomocą rurki Pitota-Darcy'ego. Odcinek kanału, na którym przeprowadzany był pomiar pływakowy, dobrano tak, aby prąd cieczy przebiegał równolegle do kierunku przewodu.

Pomiary prowadzone były w tym samym czasie - około godziny 10, o której to porze dnia poziom zwierciadła ścieków w badanych przewodach pozostawał na relatywnie stałym poziomie. W takiej sytuacji założenie stałego strumienia ścieków było bliskie rzeczywistości, co z kolei pozwalało przyjąć stałe pole czynne przepływu oraz równoległe ułożenie lustra ścieków i dna kanału.

Pozostałe dane, czyli: długość i spadek dna kanału, odczytane zostały dzięki uprzejmości pracowników Zakładu z programu GeoMapa.

### Wyniki i ich omówienie

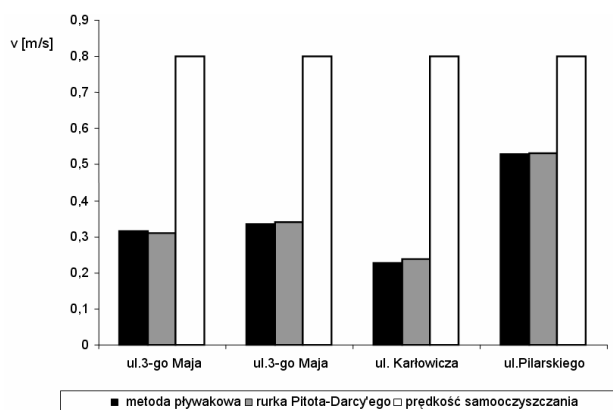
Tabela 1 oraz rysunek 1 przedstawiają wyniki pomiarów prędkości przepływu ścieków metodą pływakową i za pomocą rurki Pitota-Darcy'ego, które wykonano 25 lutego 2008 roku [4]. Średnią wartość prędkości mierzonej metodą pływakową uzyskano, uśredniając każdorazowo wynik pięciu pomiarów dla każdego z odcinków. Analogiczną wartość dla metody dynamometrycznej uzyskano z uśrednienia wyników z trzech pomiarów.

Tabela 1  
Zestawienie wyników pomiarów prędkości metodą pływakową i rurką Pitota-Darcy'ego z dnia 25.02.2008 [4]

Table 1  
Sewage flow velocity measurements by floating object method and Pitot-Darcy probe measured 25.02.2008 [4]

Ulica	Wysokość osadu	Metoda pływakowa	Rurka Pitota-Darcy'ego	Prędkość średnia
	[m]	$v$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	$v$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	$v_{sr}$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
3 Maja (I)	0,09	0,317	0,311	0,314
3 Maja (II)	0,09	0,336	0,341	0,339
Karłowicza	0,015	0,226	0,238	0,332
Pilarskiego	0,08	0,528	0,532	0,530

Wyniki badań przeprowadzonych w 2008 roku wykazały, iż obie stosowane metody dają zbliżone wartości mierzonego parametru [4]. Stąd też w 2009 roku wykonywano pomiary tylko metodą pływakową ze względu na łatwiejsze wykonanie odczytów. Przy metodzie dynamometrycznej istniała bowiem konieczność każdorazowego schodzenia na dno studzienki w celu odczytu wartości z rurki Pitota-Darcy'ego, co z kolei wiązało się z czasochłonnymi procedurami BHP i wykorzystaniem odpowiedniego sprzętu (GasHunter - urządzenie do badania składu powietrza, ubiór ochronny oraz wyciągarka i linki zabezpieczające).



Rys. 1. Wyniki pomiaru prędkości przepływu ścieków w zestawieniu z prędkością samooczyszczania [4]

Fig. 1. Results of sewage flow velocity measurements with self-cleansing velocity [4]

Mierząc prędkość ścieków metodą pływakową na poszczególnych odcinkach kanałów uzyskano wartości zaprezentowane w tabeli 2.

Tabela 2

Wyniki pomiaru prędkości metodą pływakową  
w wybranych przewodach kanalizacyjnych miasta Chełm (31.07.2009)

Table 2

Flow velocity measured by floating object method, at the chosen conduit of Chełm sanitation system (31.07.2009)

Lp.	Czas przepływu			Długość odcinka [m]	Napelnienie [m]	Wysokość osadu [m]	Prędkość [m · s <sup>-1</sup> ]	Średnia prędkość [m · s <sup>-1</sup> ]
	[min]	[s]	[ms]					
ul. 3. Maja (I), Ø 600; <i>i</i> = 2,5‰, beton								
1	6	57	29	142,22	0,1	0,07	0,341	0,344
2	7	13	11				0,328	
3	6	45	53				0,351	
4	7	03	36				0,336	
5	6	30	17				0,365	
ul. Karłowicza, Ø 400; <i>i</i> = 5,0‰, PVC								
1	2	45	16	46,22	0,06	0,04	0,280	0,246
2	3	09	03				0,245	
3	2	59	13				0,258	
4	3	22	30				0,229	
5	3	30	02				0,220	
ul. Pilarskiego, Ø 800; <i>i</i> = 2,0‰, beton								
1		30	03	15,1	0,16	0,08	0,503	0,491
2		29	04				0,521	
3		30	53				0,503	
4		33	00				0,458	
5		32	74				0,472	

W identyczny sposób przeprowadzono również serie badań w maju oraz październiku 2009 roku. Uzyskane w ich trakcie wyniki były zbieżne z prezentowanymi w tabeli 2. Podobnie kształtuje się sytuacja w innych przebadanych odcinkach systemu kanalizacyjnego miasta Chełm, między innymi na ulicy Wołyńskiej i Piłsudskiego.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, iż w kanałach o długim czasie eksploatacji prędkości samooczyszczania  $\geq 0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  nie są aktualnie zapewnione [4]. W badanych kanałach zaobserwowano zaleganie złogów osadów o grubościach od 0,015 m dla kanału użytkowanego od roku 2007 do  $0,08\div 0,09$  m dla kanałów użytkowanych około 20-30 lat.

### Podsumowanie i wnioski

Głównym zadaniem projektanta sieci kanalizacji grawitacyjnej jest takie dobranie średnic i spadków przewodów, aby zapewnione zostały prędkości przepływu umożliwiające samooczyszczanie się kanału [2-4, 7-12]. W przypadku niezapewnienia takich prędkości w przewodzie kanalizacyjnym będzie zachodził proces sedimentacji transportowanych osadów prowadzący do wytworzenia się złoża osadowego, które z kolei powoduje zmniejszenie powierzchni czynnej kanału, wzrost oporów ruchu, a zarazem mniejsza przepustowość danego odcinka sieci [12, 13].

W przypadku jednego z analizowanych kanałów (ulica Karłowicza) odnotowano wyraźny wzrost wysokości warstwy nagromadzonych osadów - z poziomu 0,015 m w roku 2008 do wartości 0,04 m w roku 2009. W pozostałych badanych przewodach wysokość warstwy osadów utrzymywała się na poziomie zbliżonym do odnotowanego w roku ubiegłym. Według informacji uzyskanych od eksploatatora ubytek osadu zanotowany w kanale w ulicy 3 Maja został spowodowany zjawiskami ekstremalnymi nie zaś celowym płukaniem odcinka sieci.

Zaobserwowano nieznaczne wahania pomierzonej średniej prędkości przepływu ścieków w badanych kanałach sanitarnych. Prędkości pomierzone w 2008 roku kształtowały się w zakresie  $0,226\div 0,528 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , zaś uzyskane w roku następnym  $0,246\div 0,491 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Niezależnie od nieznacznych wahań zaobserwowane wartości prędkości przepływu podczas podwyższonych ustabilizowanych napełnień należy uznać za niewystarczające do zapewnienia samooczyszczania się kanałów.

Przeprowadzone w 2008 i 2009 roku pomiary prędkości ścieków oraz wysokości złogów osadowych wykazały, iż w przypadku zbyt niskiej prędkości przepływu ścieków we wszystkich trzech badanych przewodach wystąpiło odkładanie się osadów. W kanałach eksploatowanych od ok. 30 lat grubość warstwy osadów osiągnęła 15% średnicy, dla kanału użytkowanego przez okres ok. 20 lat 10%. Stan ten z pewnością niekorzystnie wpływa na warunki hydrauliczne pracy rozpatrywanych odcinków kanalizacji grawitacyjnej.

### Podziękowania

Dziękujemy panu Grzegorzowi Buczko oraz pracownikom technicznym Miejskiego Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej w Chełmie za pomoc w prowadzeniu badań oraz udostępnienie danych dotyczących sieci kanalizacyjnej miasta Chełm.

## Literatura

- [1] Błaszczyk W, Stomatello H, Błaszczyk P. Kanalizacja. Tom 1, sieci i pompownie. Warszawa: Arkady; 1983.
- [2] Dąbrowski W. Oddziaływanie sieci kanalizacyjnych na środowisko. Kraków: Wyd Politech Krakowskiej; 2004.
- [3] Jilati A, Jaromin K, Widomski M, Łagód G. Charakterystyka osadów w wybranym systemie kanalizacji grawitacyjnej. Proc ECOpole. 2009;3(1):147-152.
- [4] Jaromin K, Borkowski T, Łagód G, Widomski M. Analiza wpływu rodzaju materiału oraz czasu i sposobu eksploatacji kolektorów kanalizacji grawitacyjnej na prędkość przepływu ścieków. Proc ECOpole. 2009;3(1):139-145.
- [5] Jaromin K, Koza S, Jilati A, Łagód G. Analiza pracy wybranych odcinków sieci kanalizacyjnej miasta Chełm w zależności od materiału i czasu eksploatacji. XXIX Międzynarodowe Sympozjum im. B. Krzysztofika, AQUA 2009, Problemy Inżynierii Środowiska. 2009:89-93.
- [6] Dębski K. Hydrologia. Warszawa: Arkady; 1970.
- [7] Heinrich Z. Kanalizacja. Warszawa: WSiP; 1999.
- [8] Błaszczyk W, Roman M, Stamatello H. Kanalizacja, Tom 1. Warszawa: Arkady; 1974.
- [9] ATV - DVWK - A110P: Wytyczne do hydraulicznego wymiarowania i sprawdzania przepustowości kanałów i przewodów ściekowych. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfälle. V., GFA. Warszawa: Wyd Seidel-Przywecki; 1988.
- [10] May RWP, Ackers JC, Butler D, John S. Development of design methodology for self-cleansing sewers. Water Sci Technol. 1996;33(9):195-205. DOI: 10.1016/0273-1223(96)00387-3.
- [11] Nalluri C, Ghani AA. Design options for self-cleansing storm sewers. Water Sci Technol. 1996;33(9):215-220. DOI: 10.1016/0273-1223(96)00389-7.
- [12] Jilati A, Jaromin K, Widomski M, Łagód G. Some models of sediments transport in gravitational sanitation systems. Ecol Chem Eng A. 2011;18(11):1467-1476.
- [13] Jilati A, Widomski M, Łagód G. Influence of conduit geometrical characteristics on sewage flow parameters. Proc ECOpole. 2008;2(2):329-335.

## INFLUENCE OF DURATION AND EXPLOITATION MANNER OF SANITATION CONDUITS ON SEWAGE FLOW VELOCITY

Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology

**Abstract:** The assumptions of channel inclination, as well as constancy of cross section and roughness are close to reality. Accomplishment of these assumptions depends on pipes quality and conduits execution. The all mentioned elements influence the sewage flow mean velocity in gravitational sanitation systems and they are match to ensure hydraulic self purification of the conduits. Our research shows the real mean velocity of sewage flow after long lasting exploitation of the selected conduits. This paper presents also the results of research conducted in 2009 on sanitation system in Chelm city, as well as their comparison with results obtained one year earlier in these same conduits. In order of gained results validation the two methods of flow measurements were used - floating object and dynamometric. It was shown that existed velocities of sewage flow in chosen sanitation channels in Chelm, Poland, do not ensure the purification of the pipe - despite of the fact that examined channels fulfilling the binding guidelines. Consequently channel is silted and sediments are unfavorably influencing the hydraulic conditions of the flow, what is proven by conducted during last year researches.

**Keywords:** gravity sewerage, sewer sediments, sewer self-purification, flow velocity measurement