

Alia JLILATI¹, Katarzyna JAROMIN¹, Marcin WIDOMSKI¹ i Grzegorz ŁAGÓD¹

CHARAKTERYSTYKA OSADÓW W WYBRANYM SYSTEMIE KANALIZACJI GRAWITACYJNEJ

CHARACTERISTICS OF SEDIMENTS IN CHOSEN SYSTEM OF GRAVITATIONAL SANITATION

Abstrakt: Osady w kanalizacji grawitacyjnej występują w przypadku, gdy prędkość przepływu ścieków spada poniżej prędkości hydraulicznego samooczyszczania przewodów. Osady mają duży wpływ na procesy przebiegające w systemie kanalizacyjnym, powodując między innymi znaczne okresowe wahania ładunku w dopływie do oczyszczalni. Gromadzące się na dnie przewodów osady powodują również zmianę kształtu i pola powierzchni przekroju czynnego przewodu, a tym samym wpływają na zmianę parametrów fizycznych i hydrodynamicznych całego systemu. Osady wpływają też w dużej mierze na rozwój korozji siarczanowej kanałów oraz na intensywność procesów biodegradacji ścieków w przewodach kanalizacyjnych. Badania dotyczące osadów ściekowych oraz związanych z nimi procesów są dość kosztowne, więc prowadzi się je na szerszą skalę jedynie w tych krajach, gdzie regulacje prawne wymagają matematycznego modelowania transportu masy zanieczyszczeń do oczyszczalni ścieków oraz przelewów burzowych. Wyniki takich badań dostarczają danych niezbędnych do kalibracji odpowiednich modeli matematycznych. Ogólna charakterystyka struktury i właściwości osadów powinna być znana na etapie rozważania metody doboru minimalnych spadków dna kanałów grawitacyjnych, ma także duże znaczenie podczas modelowania transportu ładunków zanieczyszczeń w sieci kanalizacyjnej oraz powiązanych z tym zagadnieniem procesów biodegradacji ścieków. W prezentowanej pracy przedstawiono klasyfikację osadów opracowaną na podstawie przeglądu literatury krajowej i zagranicznej oraz zaprezentowano wyniki badań klasyfikacyjnych osadów zlokalizowanych w sieci kanalizacyjnej miasta Chełm.

Słowa kluczowe: kanalizacja grawitacyjna, osady w kanalizacji, klasyfikacja osadów, transport osadów w kanalizacji

Osady w kanalizacji występują w przypadku, gdy prędkość przepływu ścieków spada poniżej prędkości hydraulicznego samooczyszczania przewodów. Osady mają duży wpływ na procesy przebiegające w systemie kanalizacyjnym, powodując między innymi znaczne wahania ładunku w dopływie do oczyszczalni w krótkich okresach czasu. Przy niskich wypełnieniach i niewielkich prędkościach gromadzą się w przewodach złoży osadu, wpływając na obniżenie ładunków, zaś przy wysokich napełnieniach i tym samym dużych prędkościach przepływu następuje wymywanie nagromadzonych na dnie kanału zanieczyszczeń powodujące nagły wzrost stężeń i ładunków w przepływających ściekach. Przekłada się to bezpośrednio na ładunek zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni lub przelewów burzowych, więc i odbiornika.

Gromadząc się na dnie przewodów, osady powodują również zmianę kształtu i pola powierzchni przekroju czynnego przewodu (utrudniają przepływ ścieków), a tym samym wpływają na zmianę parametrów fizycznych i hydrodynamicznych całego systemu [1-8]. Osady wpływają też w dużej mierze na rozwój korozji siarczanowej kanałów oraz na intensywność procesów biodegradacji ścieków w przewodach kanalizacyjnych [5-9].

Badania właściwości osadów kanalizacyjnych najczęściej przeprowadzane są ze względu na ustalenia poziomu uwalniania z nich zanieczyszczeń oraz określenia

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 081 538 43 22, email: G.Lagod@wis.pol.lublin.pl

właściwości reologicznych, w szczególności granicznych naprężeń ścinających, które warunkują rozpoczęcie erozji osadów. Jednakże duże koszty powodują, iż prowadzi się je na szerszą skalę jedynie w tych krajach, gdzie regulacje prawne wymagają matematycznego modelowania transportu masy zanieczyszczeń do oczyszczalni ścieków oraz przelewów burzowych [9]. Wyniki takich badań dostarczają danych niezbędnych do kalibracji odpowiednich modeli matematycznych.

Klasyfikacja osadów w grawitacyjnych systemach kanalizacyjnych

W krajach zachodnioeuropejskich przyjęła się klasyfikacja osadów, w której wyróżniono [9-12]:

- A - osad nieorganiczny i niekohezyjny,
 - B - osad o szkielecie nieorganicznym tak jak A z tym, że zlepiony substancjami ropopochodnymi lub tłuszczami, wskutek czego wykazujący właściwości kohezyjne,
 - C - osad organiczny, przesuwany się po powierzchni osadów A oraz B wolniej niż przepływające ścieki,
 - D - biofilm (błona biologiczna) narastający na ścianach kanałów,
 - E - osady w zbiornikach retencyjnych.
- Czasami wyróżnia się dwie dodatkowe grupy osadów [9]:
- F - osady z wpustów deszczowych,
 - G - osady z przewodów tłocznych (przy podłączeniu fragmentów kanalizacji ciśnieniowej).

Najczęściej w kanalizacji gromadzą się osady z grupy A i B, co powoduje, że to w nich zakumulowany jest największy ładunek ChZT, choć stężenie zawartych w nich zanieczyszczeń jest mniejsze niż w osadach sklasyfikowanych jako C [9]. Największą zawartością zanieczyszczeń organicznych cechują się osady z grupy C, w których wartość ChZT wynosi do kilkuset g O₂ dm⁻³ (nawet 300÷500 g O₂ dm⁻³). Osady takie przesuwały się po powierzchni osadów A i B również w czasie przepływów przy niskim wypełnieniu przewodu kanalizacyjnego. Ze względu na występowanie w kanalizacji osadów C i D mają tam miejsce procesy biodegradacji zanieczyszczeń, gdyż w skład tych osadów wchodzi mikroorganizmy heterotroficzne, będące czynnikiem procesowym wspomnianych przemian. Osad z grupy D tworzą w przeważającej mierze żyjące na ściankach przewodów organizmy heterotroficzne, w związku z czym osady z tej grupy mają dużą zawartość związków organicznych. Chociaż grubość biofilmu (błony biologicznej) sklasyfikowanego jako grupa D jest niewielka, gdyż z reguły nie przekracza 2 mm, to jednak powoduje, że pod taką warstwą osadu mogą występować warunki beztlenowe. To z kolei przyczynia się między innymi do powstawania siarkowodoru, będącego przyczyną korozji siarczanowej powierzchni kanałów, która w pierwszej kolejności atakuje ich sklepienia, a następnie ścianki tuż powyżej zwierciadła ścieków. Osady typu E charakteryzują się znacznym rozdrobnieniem, w związku z czym mają dużą powierzchnię ziaren w jednostce objętości, co z kolei powoduje znaczną adsorpcję trudno rozpuszczalnych zanieczyszczeń organicznych oraz metali ciężkich. Grupa F spotykana w kanalizacji deszczowej oraz ogólnospławnej charakteryzuje się zmiennym składem uzależnionym od pory roku, szczególnie późną jesienią, gdy jest w niej dużo liści opadających z drzew. Osady z przewodów tłocznych - G często gromadzą się nie na dnie, lecz na sklepieniach kanałów,

a w takim przypadku zawierają z reguły dużą ilość związków organicznych, głównie tłuszczów.

Ogólna charakterystyka struktury i właściwości osadów powinna być znana na etapie rozważania metody doboru minimalnych spadków dna kanałów grawitacyjnych, ma także duże znaczenie podczas modelowania transportu ładunków zanieczyszczeń w sieci kanalizacyjnej oraz powiązanych z tym zagadnieniem procesów biodegradacji ścieków [9].

Samooczyszczanie z osadów kanalizacji grawitacyjnej

Wymogiem dla prawidłowej eksploatacji sieci kanalizacyjnej jest zapewnienie występowania w niej warunków samooczyszczania z osadów. Warunki takie występują z odpowiednią częstotliwością przy prawidłowym doborze spadków kanału. Jednakże ze względów ekonomicznych nie jest wskazane projektowanie spadków w sposób, który wyeliminowałby jakiegokolwiek odkładanie się osadów, zapewniając ich transport przez całą dobę. Stąd też przyjmowane zasady projektowania sieci kanalizacyjnych mają zapewnić okresowy transport większości osadów, a jednocześnie odprowadzenie maksymalnych rocznych natężeń przepływu oraz skuteczną wentylację kanałów [9, 13]. Tak więc w rzeczywistych warunkach pracy sieci kanalizacyjnej osady są okresowo akumulowane w kanałach, a następnie wymywane podczas przepływów o większych wartościach natężenia.

Jak wykazują badania terenowe oraz literaturowe, stężenie cząstek stałych jest nierównomierne w całym strumieniu przepływających ścieków i wraz ze zbliżaniem się do dna kanału wzrasta ono gwałtownie [5, 9]. Z uwagi na to, że istnieje jeszcze jeden wzrost stężenia fazy stałej, związany z nieruchomym osadem zalegającym na dnie kanału, transport zawieszony w warstwie położonej pomiędzy tymi dwoma poziomami zagęszczenia fazy stałej określa się jako transport przydenny [9, 14]. Wiąże się on z występowaniem takich zjawisk, jak toczenie, przesuwanie oraz saltacja.

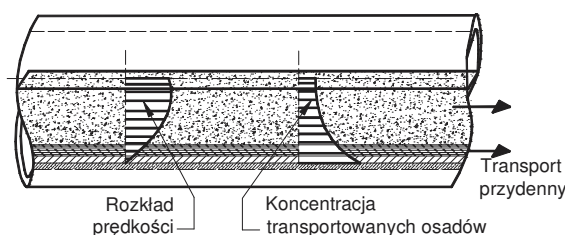
Informacje, które znajdują się chociażby w szeroko wykorzystywanej przez inżynierów literaturze [13, 15], mówią, iż aby system kanalizacyjny mógł pracować w sposób właściwy, należy podczas projektowania spadków uwzględnić warunek uzyskania najmniejszych prędkości zapewniających samooczyszczanie kanałów. Należy przez to rozumieć prędkości, które nie dopuszczają do tworzenia się osadów na dnie kolektorów. Wskazane jest, aby prędkości samooczyszczania występowały nawet przy minimalnych przepływach i minimalnych napełnieniach. Prędkości te są rozumiane w dwojaki sposób: jako prędkość unoszenia (prędkość niezamulająca) lub też jako prędkość graniczna (prędkość rozmywająca) [16].

Prędkość unoszenia jest prędkością średnią w przekroju czynnym, przy której wszystkie cząstki stałe są transportowane w kanale, częściowo w postaci zawieszonyj, a częściowo w postaci wlezionej po jego dnie. Nie występuje w takim przypadku proces opadania zawiesziny ze ścieków i tworzenie się osadów na dnie kanału. Jest to terminologia, która przyjęła się w literaturze dotyczącej procesów w kanalizacji, a pochodząca z opisów badań transportu rumowisk w ciekach wód powierzchniowych [9, 14, 16].

Przez pojęcie prędkości granicznej (rozmywania) należy rozumieć taką średnią prędkość przepływu w przekroju poprzecznym, przy której inicjowany jest proces erozji osadów zdeponowanych przy niższych napełnieniach kolektorów. Badania laboratoryjne wykazały, iż osad jednorodny całkowicie usuwany jest z kanału już po przekroczeniu

opisywanej prędkości przepływu o kilkanaście procent [17-19]. Źródła literaturowe nie podają uniwersalnej wartości wymaganej prędkości granicznej, gdyż zależy ona zarówno od składu ścieków, rodzaju i kształtu ziaren osadu, jak i od wartości promienia hydraulicznego, a co za tym idzie - od kształtu i wymiaru kanału oraz jego napełnienia [9, 13, 19, 20].

Operując średnimi prędkościami w przekroju, zakłada się, że we wszystkich punktach rozpatrywanego przekroju prędkości są jednakowe, choć w rzeczywistości są one różne - najmniejsze przy dnie kanału, co ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Transport osadów w przewodzie kanalizacji grawitacyjnej przy stałej wysokości wypełnienia [11]

Fig. 1. Sediments transport in gravitational sanitation conduit – constant sewage level [11]

Ścisłe dostosowanie się do najprostszej zasady utrzymania prędkości na poziomie około 1 m s^{-1} przy najmniejszych przepływach prowadziłyby, w niektórych przypadkach do zbyt dużych spadków kanałów, a co za tym idzie - do zbyt dużego i nieekonomicznego zagłębienia sieci. Należy jednak pamiętać, iż prędkość przepływu w kanałach ściekowych i kanałach deszczowych systemu rozdzielczego przy maksymalnie wypełnionym przekroju nie powinna być mniejsza niż $0,8 \text{ m s}^{-1}$. Gdy takiej prędkości nie można zapewnić, powinna być przewidziana możliwość płukania sieci.

Trzecia wartość prędkości przepływu ścieków, ważna z punktu widzenia żywotności systemu kanalizacyjnego, to prędkość, której przekroczenie prowadzi do erozji kolektora. Aby nie dochodziło do mechanicznego uszkodzenia kanałów przez wleczone w strefie przydennej cząstki stałe, prędkości przepływu ścieków nie powinny przekraczać $3,0 \text{ m s}^{-1}$ dla rur betonowych i ceramicznych oraz $5,0 \text{ m s}^{-1}$ dla rur żelbetonowych i żeliwnych. W kanałach deszczowych i ogólnospławnych dopuszczalna maksymalna prędkość wynosi $7,0 \text{ m s}^{-1}$ [13].

Nowsze podejście do problemu hydraulicznego samooczyszczania kolektorów kanalizacyjnych opisane jest za pomocą metody krytycznych naprężeń stycznych [21, 22].

Obie wspomniane metody - bazująca na prędkościach samooczyszczania oraz krytycznych naprężeniach stycznych pozwalają osiągnąć ten sam cel, którym jest ochrona kanałów ściekowych sieci grawitacyjnej przed odkładaniem się na ich dnie warstw transportowanych cząstek stałych. Jest to bardzo ważne ze względu na kohezyjne właściwości powstających w ten sposób osadów [23-25], ponieważ o ile świeże złoża osadowe mogą być usunięte przy naprężeniach ścinających na granicy osad-ścieki już przy wartościach rzędu $1,8 \text{ N m}^{-2}$, to po okresie wieloletniej eksploatacji do usunięcia odłożonych w kanałach osadów potrzebne są naprężenia rzędu 800 do 1000 N m^{-2} . Dla zilustrowania skali problemu należy dodać, iż w czasie pogody deszczowej w kanałach ogólnospławnych prowadzonych ze stosunkowo dużymi spadkami naprężenia ścinające nie

przekraczają 20 N m^{-2} (z wyjątkiem kanalizacji w terenach górskich). Tak więc spadek kanału sanitarnego powinien zapewniać cykliczne w ciągu doby usuwanie nagromadzonych osadów podczas maksymalnych przepływów ścieków lub w kanalizacji ogólnospławnej w czasie pogody deszczowej z dużą częstotliwością opadu o odpowiednim natężeniu. Jeśli warunek ten nie jest spełniony, to po kilku latach eksploatacji kolektorów jedynie specjalistyczne metody renowacyjne są w stanie przywrócić hydrauliczną przepustowość kanału. Działania techniczne usuwające nagromadzone osady są jednak bardzo kosztowne, stąd też prawidłowe dobranie minimalnych spadków zapewniających odpowiednie prędkości przepływu (odpowiednie wartości naprężeń ścinających) nabiera dużego znaczenia na etapie projektowania systemu kanalizacyjnego. Ponadto osady gromadzące się na dnie kanałów sieci ogólnospławnej są poważnym zagrożeniem dla wód odbiornika obciążanego zrzutami zanieczyszczeń z przelewów burzowych, powodują także nierównomierności w obciążeniach oczyszczalni ścieków ładunkiem zanieczyszczeń.

Podsumowanie

Przytoczone dane dotyczące jakości i transportu osadów oraz doboru spadków w kanalizacji grawitacyjnej są bardzo ważne podczas prac projektowych sieci kanalizacyjnej, a także modelowania jej pracy w zmiennych warunkach środowiskowych.

Podczas badań prowadzonych w chełmskiej sieci kanalizacyjnej najczęściej spotykanymi osadami były takie, które można przypisać do grupy B. Błona biologiczna sklasyfikowana jako grupa C występowała tylko poniżej zwierciadła ścieków, nie zaobserwowano natomiast jej rozwoju w obszarach powyżej granicy lustra ścieków. Osady sklasyfikowane w grupie G wystąpiły w przewodach kanalizacji grawitacyjnej w Chełmie w miejscach wprowadzania do niej ścieków z nielicznych odcinków sieci ciśnieniowej.

Literatura

- [1] Wilderer P.A., Cunningham A. i Schnidler U.: *Hydrodynamic and shear stress: report from the discussion session*. Water Sci. Technol., 1995, **32**(8), 271-271.
- [2] Chebbo G., Bachoc A., Laplace D. i Le Guennec B.: *The transfer of solids in combined sewer networks*. Water Sci. Technol., 1995, **31**(7), 95-105.
- [3] Mark O., Appelgren C. i Larsen T.: *Principles and approaches for numerical modeling of sediment transport in sewers*. Water Sci. Technol., 1995, **31**(7), 107-115.
- [4] Ristenpart E., Ashley R.M. i Uhl M.: *Organic near-bed fluid and particulate transport in combined sewers*. Water Sci. Technol., 1995, **31**(7), 61-68.
- [5] Arthur S. i Ashley R.M.: *Near bed solids transport rate prediction in a combined sewer network*. Water Sci. Technol., 1997, **36**(8-9), 129-134.
- [6] Ackers J.C., Butler D. i May R.W.P.: *Design of sewers to control sediment problems*. Construction Industry Research and Information Association. Report 141, London 1996.
- [7] Nalluri C., El-Zaemey A.K. i Chan H.L.: *Sediment transport over fixed deposited bed in sewers - an appraisal of existing models*. Water Sci. Technol., 1997, **36**(8-9), 123-128.
- [8] Ahyerre M., Chebbo G. i Saad M.: *Sources and erosion of organic solids in a combined sewer*. Urban Water, 2000, **2**, 305-315.
- [9] Dąbrowski W.: *Oddziaływanie sieci kanalizacyjnych na środowisko*. Wyd. Polit. Krakowskiej, Kraków 2004.
- [10] Crabtree R.W.: *A classification of combined sewer sediment types and characteristic*. WRc Report No. ER 324 E, 1988.
- [11] McGregor I., Ashley R.M. i Oduyemi K.O.K.: *Pollutant release from sediments in sewer systems and their potential for release into receiving waters*. Water Sci. Technol., 1993, **28**(8-9), 161-169.
- [12] Hvitved-Jacobsen T.: *SEWER PROCESSES Microbial and Chemical Process Engineering of Sewer Networks*. CRC PRESS, Boca Raton, London, New York, Washington 2002.

- [13] Błaszczyk W., Stomatello H. i Błaszczyk P.: *Kanalizacja. Tom 1. Sieci i pompownie*. Arkady, Warszawa 1983.
- [14] Pałarski J.: *Hydrotransport*. WNT, Warszawa 1982.
- [15] Imhoff K. i Imhoff K.R.: *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków*. Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1996.
- [16] Sawicki J.: *Przepływy ze swobodną powierzchnią*. WN PWN, Warszawa 1998.
- [17] May R.W.P., Ackers J.C., Butler D. i John S.: *Development of design methodology for self-cleansing sewers*. *Water Sci. Technol.*, 1996, **33**(9), 195-205.
- [18] Nalluri C. i Alvarez E.M.: *The influence of cohesion on sediment behavior*. *Water Sci. Technol.*, 1992, **25**(8), 151-164.
- [19] Nalluri C. i Ghani A.A.: *Design options for self-cleansing storm sewers*. *Water Sci. Technol.*, 1996, **33**(9), 215-220.
- [20] Gent R., Crabtree B. i Ashley R.: *A review of model development based on sewer sediments research in the UK*. *Water Sci. Technol.*, 1996, **33**(9), 1-7.
- [21] Kwietniewski M. i Nowakowska-Błaszczyk A.: *Obliczenia hydrauliczne kanałów ściekowych na podstawie krytycznych naprężeń*, Nowa technika w inżynierii sanitarnej, Wodociągi i kanalizacja. Arkady, Warszawa 1981.
- [22] Puchalska E. i Sowiński M.: *Wymiarowanie kanałów ściekowych metodą krytycznych naprężeń stycznych*. *Ochr. Środow.*, 1984, **434**(3-4), 20-21.
- [23] Crabtree R.W., Ashley R. i Gent R.: *Mousetrap: Modelling of real sewer sediment characteristics and attached pollutants*. *Water Sci. Technol.*, 1995, **31**(7), 43-50.
- [24] Berlamont J.E. i Torfs H.M.: *Modeling (partly) cohesive sediment transport in sewer systems*. *Water Sci. Technol.*, 1996, **33**(9), 171-178.
- [25] Łągód G., Sobczuk H. i Suchorab Z.: *Kolektory kanalizacyjne jako część kompleksowego układu oczyszczania ścieków*. II Kongres Inżynierii Środowiska. Materiały, tom 1. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 2005, **32**, 835-843.

CHARACTERISTICS OF SEDIMENTS IN CHOSEN SYSTEM OF GRAVITATIONAL SANITATION

Abstract: Sediments in gravitational sanitation systems appear when the velocity of flow decreases below the value of the hydraulic self-purification. The sediments have the significant influence on the processes in the sanitation systems causing the periodical fluctuation of loads entering the wastewater treatment plants. The sediments deposited in the channel are also causing the changes of the shape of pipe cross-section thus influencing the changes of physical and hydrodynamic parameters of the whole system. The sediments are also influencing the development of the sulphuric corrosion of pipes and intensity of biological biodegradation of wastewater in sanitation conduits. The research concerning the wastewater sediments and the connected processes are pretty costly so they are only conducted in countries in which the bidding law requires the mathematical modeling of mass transport to the wastewater plants and storm spillways. The results of this research give the necessary data to calibration of hydraulic models. The general description of structure and properties of sediments should be known at the stage of the consideration of minimal inclinations of conduits. It is also very important during the modeling of pollutants load transport in sanitation system and the process of wastewater biodegradation. The classification of sediments based on literature research and the results of classification research in sanitary systems in Chelm, Poland were presented in this study.

Keywords: gravitational sewer system, sludge in sewer system, sludge classification, sludge transport in sewer system