

Elwira TOMCZAK<sup>1</sup> i Aleksandra ZIELIŃSKA<sup>1</sup>

## RENOWACJA INFRASTRUKTURY KANALIZACYJNEJ METODĄ BEZWYKOPOWĄ NA WYBRANYM PRZYKŁADZIE

### THE SEWAGE SYSTEM REHABILITATION USING TRENCHLESS TECHNOLOGIES ON THE CHOSEN EXAMPLE

**Abstrakt:** Sieć kanalizacyjna w Polsce budowana na początku XX w. traci swoje pierwotne właściwości, takie jak szczelność czy przepustowość. W celu odtworzenia tych cech wykonuje się renowację infrastruktury kanalizacyjnej. Dzięki stosowaniu do renowacji technologii bezwykopowych można odbudować przepustowość kanałów bez znacznej ingerencji w środowisko miejskie. Odtworzony przewód posiada nową szczelną powłokę wewnętrzną, która stanowi zabezpieczenie przed infiltracją wód gruntowych oraz eksfiltracją ścieków, mogącą wywołać skażenie środowiska. Celem pracy było porównanie technologii renowacji kanałów metodą bezwykopową oraz tradycyjną - wykopu otwartego. Przeprowadzono analizę zmian prędkości oraz natężenia przepływu w kanałach przed i po renowacji wykonanej przy użyciu metod bezwykopowych. Rozpatrzono dwa przypadki rehabilitacji: metodą reliningu modułami GRP oraz technologią rękawa termoutwardzalnego (CIPP). Dodatkowo przeanalizowano aspekty ekonomiczne i środowiskowe.

**Słowa kluczowe:** sieć kanalizacyjna, metody renowacji, technologia bezwykopowa

#### Wprowadzenie

Budowane kilkadziesiąt lat temu sieci kanalizacyjne w Polsce tracą swoje właściwości, a przede wszystkim szczelność. Materiały, z których są zbudowane kanały, starzeją się. Sedymentacja osadów ściekowych powoduje zmniejszenie przekroju kanału oraz ograniczenie wydajności hydraulicznej sieci. Uszkodzenia kanałów wymagają podjęcia działań rehabilitacyjnych. Dotyczy to w szczególności najstarszych, ogólnospławnych kanałów, zlokalizowanych w centrach miast. Podobny problem mają również kraje na całym świecie [1, 2]. Rehabilitacja sieci kanalizacyjnej ogranicza infiltrację, zwiększając wydajność oczyszczalni ścieków [3]. Nowoczesna technologia stwarza możliwość bezwykopowej naprawy kanałów, dzięki czemu zmniejsza się oddziaływanie na środowisko renowacji oraz redukuje się koszty inwestycji. Rehabilitacja kanalizacji w miastach jest bardzo kosztowna. W celu ograniczenia wydatków opracowywane są programy optymalizujące wymianę, renowację oraz eksploatację kanałów. Przykładowe modele opisano w literaturze [4-7].

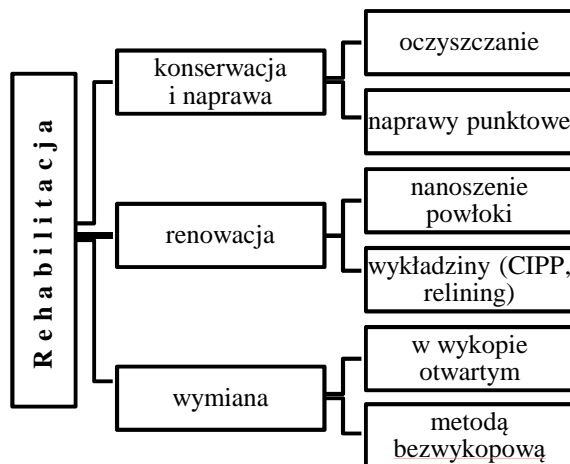
#### Rehabilitacja kanałów

Rehabilitację kanałów prowadzi się w 3 głównych krokach: określenie potrzeb, wybór opcji rehabilitacji, dobór optymalnej technologii [8]. Określenie bieżących potrzeb polega na ponownym wyznaczeniu wydajności hydraulicznej kanału oraz sprawdzeniu, czy istniejąca infrastruktura spełnia aktualne wymagania. Sieć kanalizacyjna powinna być dostosowana do kształtu jednostki osadniczej, liczby mieszkańców, a także ilości

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź, email: aleksandra.zielinska@edu.p.lodz.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 17, Polanica Zdrój, 4-7.10.2017

zużywanej wody na cele bytowo-gospodarcze oraz przemysłowe. Nowe założenia powinny uwzględniać perspektywę eksploatacji kanałów przez minimum 50 lat [8]. Po określeniu powyższych parametrów oraz przeprowadzeniu oceny stanu technicznego można stwierdzić, czy kolektor należy poddać naprawie, renowacji czy wymianie (rys. 1).



Rys. 1. Metody rehabilitacji kanałów [8]

Fig. 1. The methods of sewers rehabilitation [8]

Konserwacja i naprawa najczęściej dotyczą kanałów, które wskutek długotrwałej eksploatacji uległy zniszczeniu lub ich przekrój zmniejszył się poprzez sedimentację osadów ściekowych. Obsługa sieci kanalizacyjnej polega na systematycznym regulowaniu przepływu ścieków, kontrolowaniu drożności oraz usuwaniu zatorów [9-11]. Miejscowe utraty szczelności można zniwelować dzięki zastosowaniu napraw punktowych. Renowacja dotyczy działań prowadzących do likwidacji powtarzających się uszkodzeń i nieszczelności na całym odcinku kanału. Wymianę przewodów zazwyczaj stosuje się przy poważnych uszkodzeniach przewodu, gdy renowacja jest niemożliwa lub jej koszty są bardzo wysokie [12]. Wybór odpowiedniego rozwiązania powinien uwzględniać stan techniczny przewodu, materiał, kształt i przekrój kanału, lokalizację, warunki gruntowo-wodne w otoczeniu przewodu, rodzaj transportowanego medium, dostępność poszczególnych technologii, koszty. Do doboru optymalnego rozwiązania można wykorzystać gotowe diagramy proponowane przez normy lub literaturę [8, 13-15]. Ostatnim krokiem jest wybór optymalnej technologii. Należy uwzględnić dostępność danej techniki na rynku oraz parametry hydrauliczne i otoczenie kanałów.

#### *Technologie bezwykopowe kontra wykop otwarty*

Rozwój techniki umożliwił wykonywanie renowacji przewodów z użyciem technologii bezwykopowych. Pozwoliło to zmniejszyć wpływ inwazyjności remontów na środowisko. Stosowanie metod bezwykopowych jest uzasadnione w następujących przypadkach: gdy planuje się rehabilitację przewodów na dużych głębokościach, w trudnych warunkach

gruntowo-wodnych lub w terenie, gdzie występują kolizje z istniejącymi sieciami. Bezwykopowe techniki zaleca się również do rehabilitacji sieci pod torowiskami, ciekami wodnymi, płytami lotnisk czy obiektami zabytkowymi [1]. Porównując techniki bezwykopowe z tradycyjnymi metodami wykopu otwartego, powinno się wziąć pod uwagę czynniki ekonomiczne, uwarunkowania techniczne, oddziaływanie społeczne, czynnik ekologiczny oraz uwarunkowania prawne [16, 17].

Analiza ekonomiczna powinna objąć koszty wykonania wykopów, ich odwodnienia, zajęcia pasa ruchu drogowego oraz odtwarzania konstrukcji jezdni, które są zmniejszane, gdy stosuje się technologie bezwykopowe. Rehabilitacja wykonana metodą bezwykopową może zmniejszyć koszty inwestycji nawet o połowę [1]. Infrastruktura techniczna w mieście zazwyczaj jest umieszczona pod powierzchnią jezdni lub chodników. W przypadku stosowania metod bezwykopowych nie potrzeba zamykać całego terenu budowy dla ludzi i samochodów. Remont ograniczony jest do wykopów punktowych. Dzięki temu można uniknąć tworzenia się ogromnych zatorów drogowych paraliżujących miasto i wywołujących irytację mieszkańców. Czas trwania robót bezwykopowych jest znacznie krótszy niż prac wykopowych. Zwiększa to gwarancję dotrzymania zaplanowanego terminu robót. Roboty prowadzone w wykopie otwartym przy ciężkich warunkach gruntowo-wodnych mogą przynieść negatywne skutki, takie jak: uszkodzenia istniejących sieci, pogorszenie stateczności pobliskich budynków, uszkodzenia zieleni w okolicy. Dodatkowo wykopy wiążą się z potężną ingerencją w środowisko naturalne. Stosując techniki bezwykopowe, zmniejsza się emisje zanieczyszczeń do środowiska [18-20]. Obniża się także poziom wód gruntowych oraz istnieje możliwość ich zanieczyszczenia. Metody bezwykopowe niwelują konieczność wycinania drzew i korzeni.

## Metodyka

Przeprowadzono analizę prędkości oraz natężenia przepływu dla kanałów po renowacji dokonanej różnymi metodami bezwykopowymi. Obliczenia zostały wykonane na podstawie danych z archiwalnych dokumentacji projektowych, oceny stanu technicznego kanału oraz dokumentacji powykonawczej kanału po modernizacji. Analiza obejmuje obliczenia hydrauliczne dla kanału o dużym stopniu zużycia z osadami oraz kanału po renowacji. Obliczenia wykonano na odcinkach kanału między węzłami. Wyznaczono prędkość  $v$ , wykorzystując wzór Manninga (równanie (1)), oraz natężenie przepływu (równanie (3)). Przyjęto współczynniki szorstkości  $n$  wg Manninga [21]:

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

gdzie:  $v$  - prędkość ścieków w kanale [m/s],  $n$  - współczynnik szorstkości [ $s \cdot m^{-\frac{1}{3}}$ ],  $R_h$  - promień hydrauliczny [m],  $i$  - spadek dna kanału [-].

$$R_h = \frac{A}{U} \quad (2)$$

gdzie:  $A$  - powierzchnia czynna przekroju kanału [ $m^2$ ],  $U$  - obwód zwilżony [m].

$$Q = v \cdot A \quad (3)$$

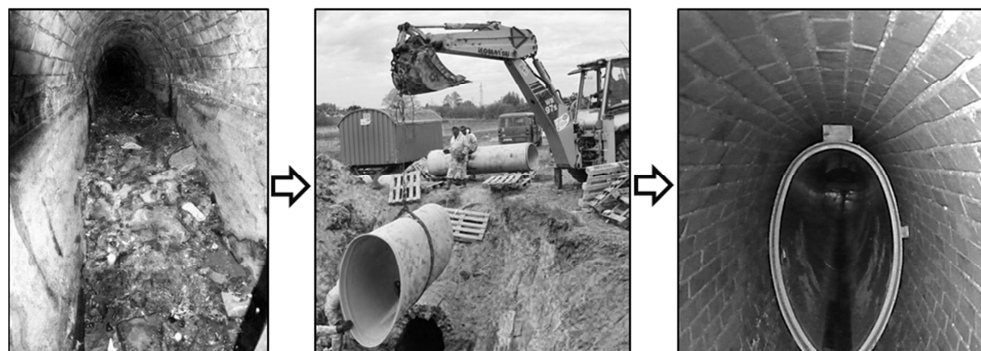
gdzie  $Q$  - natężenie przepływu [ $m^3/s$ ].

Do obliczeń hydraulicznych kanałów i kolektorów ściekowych zaleca się przyjmować prędkość samooczyszczania kanału wynoszącą co najmniej 0,7 m/s, aby nie dopuścić do osadzania się zanieczyszczeń stałych na dnie kanału ściekowego. Maksymalna prędkość przepływu ścieków zależy od rodzaju zastosowanych rur. Przy wykonywaniu obliczeń systemów kanalizacyjnych zakłada się, że sieć jest szczelna [22].

#### *Renowacja kanałów przelazowych z wykorzystaniem paneli GRP*

Panele GRP (ang. Glass Fiber Reinforced Polyester) to wykładziny z żywic poliestrowych wzmocnione włóknem szklanym. Stosowane są do wszystkich przekrojów kanałów: kołowych, jajowych, dzwonowych, parabolicznych [23]. Renowację tą technologią można wykonać bez względu na materiał, z jakiego był zbudowany kanał. Nowoczesne elementy posiadają samonośną statykę. Można je stosować w przypadku kanałów nieposiadających pełnej nośności. Przestrzeń między wewnętrzną ścianką kanału a zewnętrzną powierzchnią wprowadzonych modułów należy wypełnić iniektem. Zapewnia to dodatkową stabilność konstrukcji. Panele wprowadza się przez studnie rewizyjne lub wykopy montażowe. Nowa powłoka posiada dużą odporność chemiczną oraz wysoką odporność na ścieranie.

Analizę przeprowadzono dla kanału wielkogabarytowego o przekroju jajowym J IV 0,90/1,60 m. Badany kolektor wykonano z użyciem konstrukcji murowanej z cegły klinkierowej ze spoinami z zaprawy cementowej. Kanał został wybudowany około 65 lat temu. Celem renowacji było przedłużenie sprawności technicznej na okres co najmniej 50 lat. Rehabilitacja miała poprawić wydajność hydrauliczną, zmniejszyć infiltrację wód podziemnych (uszczelnić kanał) oraz odbudować rezerwę przepustowości. Rehabilitację wykonano metodą paneli GRP Amiren firmy Amiantit Poland Sp. z o.o. o przekroju J 750x1400 [24]. Do renowacji przeznaczono 1930 m kanału. Przebieg remontu przedstawiono na rysunku 2.

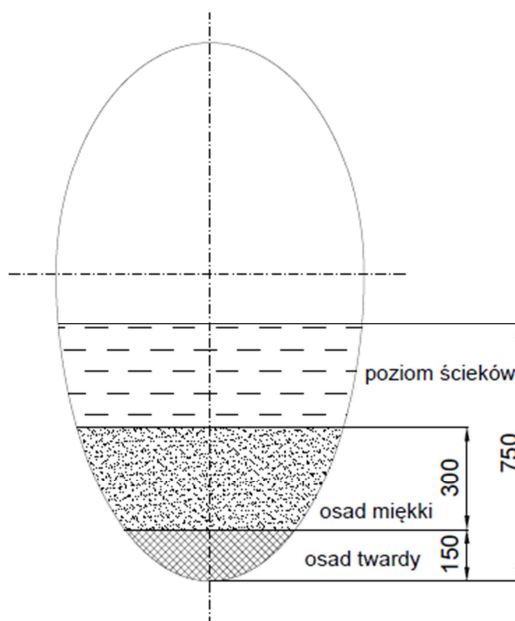


Rys. 2. Przebieg rehabilitacji kanału z użyciem paneli GRP; fot. J. Grzanka

Fig. 2. Process of the sewer rehabilitation using GRP elements; photo: J. Grzanka

W analizie uwzględniono występowanie osadu twardego i miękkiego zaobserwowanego w trakcie badań (rys. 3) oraz znaczne pogorszenie się stanu kanału

odpowiadające współczynnikowi szorstkości wg Manninga  $n = 0,03$ . Do obliczeń przyjęto, że 0,15 m osadu na dnie kanału to osad twardy, natomiast powyżej znajduje się warstwa 0,30 m osadu miękkiego. Przy wyznaczaniu powierzchni czynnego przekroju oraz obwodu zwilżonego wyłączono powierzchnię przewodu zajmowaną przez osad twardy. Współczynnik szorstkości dla kanału po renowacji przyjęto jak dla kanałów o wyjątkowo gładkiej powierzchni,  $n = 0,009$ , wysokość napełnienia przyjęto 0,75 m, podobnie jak dla kanału przed renowacją.



Rys. 3. Przekrój istniejącego kanału o wymiarach 0,9 x 1,6 m wypełnionego ściekami i osadem ściekowym. Wymiary na rysunku podano w milimetrach

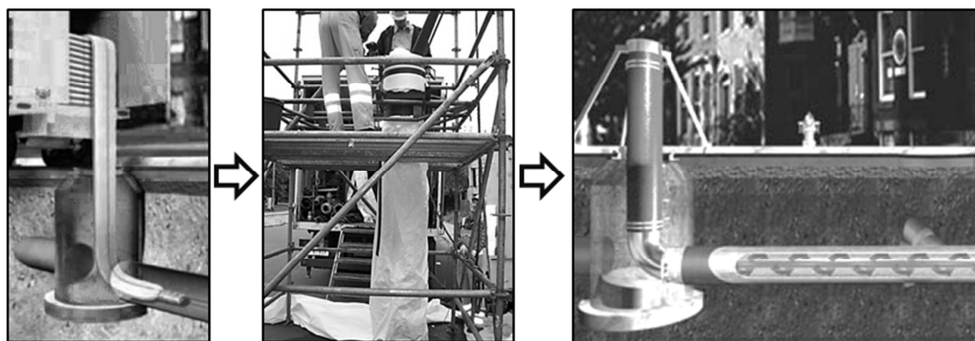
Fig. 3. The cross-section of an existing 0.9 x 1.6 m channel filled with sewage and sludge. Dimensions on the Figure are given in millimeters

### Renowacje wykładzinami utwardzonymi na miejscu - CIPP

Elastyczny rękaw CIPP (ang. Cured In Place Pipe), który stanowi wykładzinę wewnętrzną odnawianego przewodu, wykonany jest z włókniny o strukturze filcowej, nasączonej żywicami najczęściej poliestrowymi [25]. Rękawy dobiera się do obwodu przewodu naprawianego bez względu na jego kształt. Z tego powodu technika CIPP może być stosowana w przypadku takich deformacji kanałów, jak: przemieszczenia poprzeczne przewodu, imperfekcje przekroju poprzecznego, zmienność przekroju pomiędzy kolejnymi studzienkami [26]. Przeciwskazaniem do stosowania rękawów CIPP jest utrata nośności oraz załamanie się konstrukcji eksploatowanego kanału. Trwałość rękawa prawidłowo zamontowanego i eksploatowanego szacuje się na ponad 50 lat. Rękaw naprawczy można stosować niezależnie od położenia kanału (pionowo, poziomo, skośnie). Technologie CIPP

różnią się od siebie m.in. sposobem wprowadzania powłoki, rodzajem czynnika utwardzającego wykładzinę (para wodna pod ciśnieniem, gorąca woda, promienie UV), długością jednorazowo wprowadzanych odcinków [11].

Analizę przeprowadzono dla kanału o przekroju kołowym  $\text{Ø}400 \text{ mm} - \text{Ø}500 \text{ mm}$ , wykonanego z kamionki. Celem renowacji było zmniejszenie infiltracji wód podziemnych do kanału oraz eksfiltracji ścieków. Kanał wskutek eksploatacji uległ uszkodzeniom, przez co utracił swoją założoną szczelność. Rehabilitację wykonano metodą rękawa termoutwardzalnego Insituform® CIPP na odcinku o długości 670 m. Przebieg renowacji przedstawiono na rysunku 4. W obliczeniach przyjęto poziom ścieków wynoszący 70% średnicy wewnętrznej. Założono, że współczynnik szorstkości wg Manninga przed renowacją wynosił  $n = 0,02$  dla kanału w złym stanie technicznym, zaś po renowacji wynosił  $n = 0,01$  dla rur z wykładziną. Średnica kanału po renowacji zmniejszyła się o grubość ścianki rękawa - 12 mm.



Rys. 4. Przebieg rehabilitacji kanału z użyciem rękawa termoutwardzalnego CIPP [27]

Fig. 4. Process of the sewer rehabilitation using CIPP [27]

## Analiza wyników

### Kanał zmodernizowany przy użyciu paneli GRP

Prędkość przepływu w przypadku kanału eksploatowanego przez około 65 lat spadła o około 50% w porównaniu do kanału wybudowanego wg założeń projektowych. W kanale nie była zachowana minimalna prędkość przepływu zapobiegająca sedymentacji osadów ściekowych. Na dnie kolektora osadziła się warstwa osadu twardego oraz osadu miękkiego, zmniejszając powierzchnię czynną przewodu. Zmalała przez to przepustowość kanału. Wykonana renowacja oprócz doszczelnienia kolektora i ograniczenia infiltracji wód gruntowych miała na celu również odnowienie wydajności hydraulicznej kanału. W tabeli 1 dokonano porównania średnich wartości prędkości oraz natężenia przepływu dla kanału przed i po renowacji. Wykazano, iż prędkość oraz natężenie przepływu dla zmodernizowanego przewodu są dwukrotnie wyższe niż dla kanału przed renowacją. Dzięki renowacji w kanale osiągnięto prędkość przepływu ścieków wyższą od 0,7 m/s. Zapobiega to zjawisku zarastania przewodu i pomaga zachować odpowiednią przepustowość.

Tabela 1  
Zestawienie średnich wartości prędkości i natężenia przepływu dla kanału przed i po renowacji metodą paneli GRP

Table 1  
A comparison of average values of velocity and flow rate for a sewer before and after renovation using GRP modules

	Prędkość przepływu $v$ [m/s]	Natężenie przepływu $Q$ [m <sup>3</sup> /s]
Kanał przed renowacją	0,47	0,21
Kanał po modernizacji	1,27	0,56

### Kanał zmodernizowany z użyciem CIPP Insituform<sup>®</sup>

Średnia prędkość w kanale przed renowacją wynosiła około 1 m/s, czyli spełniała wymagania minimalnej prędkości przepływu niezbędnej do samooczyszczania się przewodu. W kanale zaobserwowano nieznaczne ilości osadu na dnie. Renowacja kanału była potrzebna ze względu na infiltrację wód podziemnych oraz nieszczelności wywołane starzeniem się materiałów. Po renowacji nieznacznie zmniejszyła się średnica przewodu. Szorstkość kanału zmalała ze względu na oczyszczenie przewodu oraz zastosowanie nowoczesnych materiałów. W obliczeniach wykazano, iż prędkość oraz natężenie przepływu wzrosło dwukrotnie w kanale po renowacji. Nowe parametry kanału spełniają wymagania prędkości przepływu w kanale. Porównanie wartości parametrów hydraulicznych przed i po modernizacji przedstawiono w tabeli 2. Dzięki renowacji wykonanej rękawem termoutwardzalnym przepustowość kanału została zachowana. Renowacja kanału zrealizowała założone uszczelnienie kanału, ograniczając infiltrację wód gruntowych. Nowa, szczelna powłoka może służyć przez następne kilkanaście lat oraz jest łatwa w eksploatacji.

Tabela 2  
Zestawienie średnich wartości prędkości i natężenia przepływu dla kanału przed i po renowacji metodą CIPP. Ścieki wypełniają 70% średnicy kanału

Table 2  
Comparison of average values of velocity and flow rate for a sewer before and after renovation using CIPP method. The sewage fill height equals 70% of the sewer diameter

	Prędkość przepływu $v$ [m/s]	Natężenie przepływu $Q$ [m <sup>3</sup> /s]
Kanał przed renowacją	1,05	0,13
Kanał po modernizacji	2,03	0,23

### Podsumowanie i wnioski

Sieć kanalizacyjna w Polsce starzeje się i wymaga renowacji. Zgodnie ze zobowiązaniami wobec Unii Europejskiej wynikającymi z dyrektywy 91/271/EWG [28], Polska musi podjąć działania rehabilitujące system kanalizacyjny wraz z rozbudową oczyszczalni ścieków. Celem renowacji jest uszczelnienie sieci, dążące do zminimalizowania infiltracji wód gruntowych do kanału oraz ekfiltracji ścieków mogącej wywołać skażenie środowiska naturalnego i zapewnienie odpowiedniej wydajności hydraulicznej kanałów. Technologie bezwykopowe najczęściej stosuje się w centrach miast, gdzie zamknięcie ruchu drogowego, spowodowane renowacją, wywołuje paraliż

komunikacyjny. Dodatkowo koszty remontu wykonywanego metodą wykopu otwartego są wyższe od kosztów renowacji metodami bezwykopowymi.

Istnieje wiele technik bezwykopowych, których używa się w zależności od usytuowania kanału, warunków glebowych, oczekiwanej przepustowości hydraulicznej oraz materiału, z którego wykonany jest przewód.

Niekołowe, wielkogabarytowe kanały można rehabilitować przy użyciu paneli GRP. Zaletą tej metody jest możliwość kształtowania nośności kanału oraz odtworzenie wytrzymałości mechanicznej. Mimo zmniejszenia przekroju kanału przy renowacji wykazano, że prędkość oraz natężenie przepływu wzrosło dwukrotnie w stosunku do zniszczonego kanału przed rehabilitacją.

Renowację kanałów przy pomocy rękawa utwardzanego (termoutwardzalnego) stosuje się, kiedy nie można znacznie zmniejszyć przekroju przewodu ze względu na jego wydajność hydrauliczną. Rękawy zazwyczaj wykorzystuje się do naprawy kanałów niezależnie od materiału, z jakiego były wykonane. Renowacja metodą CIPP zwiększa zarówno prędkość przepływu w kanale, jak i natężenie przepływu.

## Literatura

- [1] Sen Gupta B, Chandrasekaran S, Ibrahim S. A survey of sewer rehabilitation in Malaysia: application of trenchless technologies. *Urban Water J.* 2001;3:309-315. DOI: 10.1016/S1462-0758(01)00047-4.
- [2] Stanko Š. Reconstruction and Rehabilitation of Sewer Systems in Slovakia. *Dangerous Pollutants (Xenobiotics) in Urban Water Cycle.* Dordrecht: Springer; 2008;61-70. DOI: 10.1007/978-1-4020-6795-2\_7.
- [3] Wirahadikusumah R, Abraham DM, Iseley T, Prasanth RK. Assessment technologies for sewer system rehabilitation. *Automat Constr.* 1998;7:259-270. DOI: 10.1016/S0926-5805(97)00071-X.
- [4] Yang MD, Su TC. An optimization model of sewage rehabilitation. *J Chin Ins Eng.* 2007;30:651-659. DOI: 10.1080/02533839.2007.9671292.
- [5] Burkhard R, González Lakehal S. Sewer rehabilitation planning - priority and cost planning using GIS. *Water Pract Technol.* 2006;1(1). DOI: 10.2166/WPT.2006015.
- [6] Abraham D, Wirahadikusumah R, Short T, Shahbahrami S. Optimization modeling for sewer network management. *J Constr Eng Manage.* 1998;124:402-410. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364.
- [7] Matthews J, Selvakumar A, Sterling R, Condit W. Innovative rehabilitation technology demonstration and evaluation program. *Tunnelling Underground Space Technol.* 2013;39:73-81. DOI: 10.1016/j.tust.2012.02.003.
- [8] Roszkowski A. Rehabilitacja przewodów kanalizacyjnych - jak zrobić coś z niczego. *Inżynieria Bezwykopowa.* 2007;2:80-84. <https://inzynieria.com/uploaded/magazines/pdf/ib018s080.pdf>.
- [9] Kalenik M. *Zaopatrzenie w wodę i odprowadzanie ścieków.* Warszawa: Wyd. SGGW; 2009. ISBN: 9788375831092.
- [10] Koenig C. Accomplishing sewer separation through a landfill and botanical garden with trenchless technology. *Proc Water Environ Res, Collection Systems.* 2017;19:207-225 DOI: 10.2175/193864717821495159.
- [11] Salem D., Elwakil E., Hegab M. Risk level problems affecting microtunneling projects installation. *Can J Civil Eng.* 2017;44(12):1014-1021. DOI: 10.1139/cjce-2017-0176.
- [12] Vladeanu G, Matthews JC. Analysis of risk management methods used in trenchless renewal decision making. *Tunnelling and Underground Space Technol.* 2018;272-280. DOI: 10.1016/j.tust.2017.11.025.
- [13] Najafi M. Pipeline rehabilitation systems for service life extension. Chapter 10. W: Karbhari VM, Lee LS, editors. *Service Life Estimation and Extension of Civil Engineering Structures.* Woodhead Publishing, 2010; 262-289. ISBN: 9781845693985. DOI: 10.1533/9780857090928.2.262.
- [14] Matthew JC, Allouche E, Vladeanu G, Alam S. Multi-segment trenchless technology method selection algorithm for buried pipelines. *Tunnelling Underground Space Technol.* 2018;73:295-301. DOI: 10.1016/j.tust.2018.01.001.
- [15] Marlowa D, Goulda S, Lane B. An expert system for assessing the technical and economic risk of pipe rehabilitation options. *Expert Syst Appl.* 2015;42:8658-8668. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.07.020.



- [16] Kolonko A. Rehabilitacja techniczna przewodów kanalizacyjnych o przekrojach nieprzelazowych - cz. I. Inżynier Budownictwa. 2013. [http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały\\_i\\_tehnologie,artykul,rehabilitacja\\_tehniczna\\_przewodow\\_kanalizacyjnych\\_o\\_przekrojach\\_nieprzelazowych\\_-cz\\_i,6302](http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały_i_tehnologie,artykul,rehabilitacja_tehniczna_przewodow_kanalizacyjnych_o_przekrojach_nieprzelazowych_-cz_i,6302).
- [17] Muraoka M, Wada Y. Life cycle assessment of sewer rehabilitation methods. 11th Int Conf Urban Drainage. Edinburgh: 2008. [https://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/11th\\_International\\_Conference\\_on\\_Urban\\_Drainage\\_CD/ICUD08/pdfs/153.pdf](https://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/11th_International_Conference_on_Urban_Drainage_CD/ICUD08/pdfs/153.pdf).
- [18] Loss A, Toniolo S, Mazzi A, Manzardo A, Scipioni A. LCA comparison of traditional open cut and pipe bursting systems for relining water pipelines. Resour Conserv Recycl. 2018; 128: 458-469. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.001>.
- [19] Shaik S, Sihabuddin, Samuel T, Ariaratnam. Methodology for estimating emissions in underground utility construction operations. J Eng Design Technol. 2009;7:37-64. DOI: 10.1108/17260530910947259.
- [20] Gerasimova V. Underground engineering and trenchless technologies at the defense of environment. Procedia Eng. 2016;165:1395-1401 DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.870.
- [21] Jaromin K, Jilali A, Borkowski T, Widomski M, Łagód G. Rodzaje materiału i sposoby eksploatacji, a współczynniki szorstkości w przewodach kanalizacji grawitacyjnej. Proc ECOpole. 2008;2:439-444.
- [22] Żuchowicki A. Odprowadzanie ścieków. Koszalin: Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. 2002. ISBN: 8388283944.
- [23] Walczak R. Rury GRP produkowane technologią nawojową stosowane do bezwykopowej renowacji rurociągów ciśnieniowych i grawitacyjnych. Inżynieria Bezwykopowa. 2008;2:54-57. <https://inzynieria.com/uploaded/magazines/pdf/ib022s054.pdf>.
- [24] <http://www.amiantit.eu/en/products/amiren>.
- [25] Kolonko A. Badania i odbiory techniczne rękawów CIPP a ich trwałość. Inżynieria Bezwykopowa. 2007;3:36-38. <https://inzynieria.com/uploaded/magazines/pdf/ib019s036.pdf>.
- [26] Kolonko A. 40 lat doświadczeń z zastosowania rękawów CIPP do renowacji przewodów kanalizacyjnych. Inżynieria Bezwykopowa. 2014;2:32-40. [https://inzynieria.com/uploaded/magazines/pdf/ib54\\_40\\_lat\\_dowiadczen\\_z\\_zastosowaniem\\_rekawow\\_cipp\\_do\\_renowacji\\_przewodow\\_kanalizacyjnych.pdf](https://inzynieria.com/uploaded/magazines/pdf/ib54_40_lat_dowiadczen_z_zastosowaniem_rekawow_cipp_do_renowacji_przewodow_kanalizacyjnych.pdf).
- [27] <http://www.insituform.com/Wastewater/InsituformCIPP>.
- [28] Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31991L0271>.

## THE SEWAGE SYSTEM REHABILITATION USING TRENCHLESS TECHNOLOGIES ON THE CHOSEN EXAMPLE

Faculty of Process and Environmental Engineering, Lodz University of Technology, Łódź

**Abstract:** Sewage system in Poland was built at the beginning of the XX century and lost its original properties such as tightness or efficiency. In order to reproduce these features is realized rehabilitation of sewerage infrastructure. Through the use of trenchless renovation sewer efficiency can be rebuilt, without significant interference in the urban environment. Reconstituted sewer has a new tight inner coating, which provides protection against infiltration and exfiltration of groundwater, likely to cause environmental pollution. The paper includes a comparison of trenchless technology of sewer rehabilitation and rehabilitation using traditional methods. The study was carried out to analyze of the velocity and flow rate changes in sewers before and after the rehabilitation, using trenchless technology. Two cases of sewer rehabilitation were examined: relining with GRP modules (Glass Fiber Reinforced Polyester) and cured in place pipe lining (CIPP). Additionally, the economic and environmental aspects were analyzed.

**Keywords:** sewage system, renovation, trenchless technology