

Analiza możliwości zastosowania metody rękawa CIPP oraz technologii nawojowej do renowacji fragmentu kanalizacji deszczowej

Possibility of the use of Cured-in-Place-Pipe Lining (CIPP) and Spiral-wound pipe lining technology for the drainage system rehabilitation

Adrianna Gawrylak, Beata Kowalska^{*)}

Słowa kluczowe: bezwykopowa renowacja, wykładzina CIPP, technologie nawojowe

Streszczenie

Powyższe opracowanie obejmuje analizę możliwości wykorzystania dwóch wybranych technologii bezwykopowej renowacji kanałów – metodę z zastosowaniem rękawa CIPP utwardzanego termicznie oraz promieniami UV, a także metodę renowacji za pomocą technologii nawojowej z zastosowaniem uźebrowanych taśm spiralnie zwijanych wraz z możliwością ich zastosowania do modernizacji fragmentu sieci miejskiej kanalizacji deszczowej. W pracy wykonano inwentaryzację fragmentu sieci kanalizacji deszczowej, przeprowadzono ocenę stanu technicznego kanału w oparciu o inspekcję TV i aktualne standardy europejskie DWA-A143-2. Oceniono także warunki gruntowo-wodne i w oparciu o przeprowadzone analizy zaproponowano wybór rozwiązania technicznego modernizacji kanałów wraz z jego szczegółowym opisem. Dla omawianych przypadków wykonano obliczenia statyczno-wytrzymałościowe określające grubości wykładzin oraz oceniono warunki hydrauliczne w przewodach przed oraz po modernizacji dla różnych wartości napełnienia kanałów.

Keywords: trenchless rehabilitation, CIPP technology, Spiral-wound pipe lining technologies

Abstract

This paper presents an analysis of the possibility of using two selected technologies of trenchless rehabilitation of drainage systems - a method using a thermally and UV-cured CIPP sleeve, as well as a method of spiral-wound pipe lining technology. The work includes an inventory of a fragment of the rainwater drainage network, an assessment of the technical condition of the channel based on the TV inspection and the current European guidelines DWA-A143-2. The soil and water conditions were also assessed, and based on the conducted analyzes, it was proposed to select a technical solution for the rehabilitation of the drainage network with its detailed description. For the discussed cases, static and strength calculations were made to determine the thickness of the lining. The hydraulic conditions in the pipes at different fillings were assessed before and after the modernization.

1. Wstęp

Występowanie awarii przewodów kanalizacyjnych powoduje infiltrację wód gruntowych do kanału, eksfiltrację ścieków do gruntu, utrudniony, a nawet zablokowany przepływ ścieków w przewodzie oraz utrudnienia w eksploatacji i związane z nimi zwiększenie kosztów utrzymania sieci kanalizacyjnych [13]. Dlatego przedsiębiorstwa odpowiedzialne za stan techniczny systemów kanalizacyjnych zmuszone są do podejmowania działań naprawczych, poprzedzonych wyborem odpowiednich technologii. Odnowa rurociągów, czyli przywrócenie ich pierwotnego stanu technicznego i użytkowego albo też jego rozbudowa może być prowadzona za pomocą technologii wykopowych i bezwykopowych. Na terenach zurbanizowanych powszechne stały się technologie bezwykopowe, obejmujące naprawy, wymianę oraz renowację poszczególnych odcinków rur. Wśród zalet stosowania

odnowy przewodów infrastruktury podziemnej w technologii bezwykopowej można wymienić między innymi: brak lub minimalizację prac ziemnych; pominięcie prac odwodnieniowych w przypadku wystąpienia wysokiego poziomu wód gruntowych; brak lub ograniczenie do minimum powierzchni koniecznych do rozbiórki, a następnie ich odtworzenia; brak, bądź ograniczenie do minimum objazdów dla pojazdów mechanicznych; ograniczenie hałasu; eliminacja zakłóceń funkcjonowania obiektów usługowych (zamykanych na czas prowadzenia robót ziemnych); możliwość wykonywania prac o każdej porze roku oraz znacznie skrócony czas wykonywania robót [10, 3].

Przed wyborem odpowiedniej technologii odnowy rurociągu należy przeprowadzić badania diagnostyczne, które pozwalają ocenić w jakim stopniu materiał rur oraz ich połączenia uległy zmianom czy zniszczeniu. Metody polegające na wykopaniu przewodu lub jego frag-

^{*)} Adrianna Gawrylak, mgr inż., Walmar Sp. z o.o., ul. Krasińskiego 2, 20-709 Lublin, agawrylak@icloud.com, Beata Kowalska, prof. dr hab. inż., Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, b.kowalska@pollub.pl

mentu i poddaniu go szczegółowej ocenie w laboratorium nazywane są niszczącymi. Wiąże się one zazwyczaj z koniecznością okresowego wyłączenia badanego przewodu z eksploatacji, dlatego znacznie częściej stosuje się badania nieniszczące, które w sposób bezinwazyjny w stosunku do konstrukcji rur oraz otoczenia pozwalają ocenić stan techniczny analizowanego fragmentu sieci [9]. W ostatnich latach powstało wiele technologii diagnostycznych, niekiedy mocno wyspecjalizowanych, pozwalających na uzyskanie bardzo szczegółowych danych o badanym obiekcie. Jedną z prostszych metod jest przenośny system inspekcyjny typu Compact. Składa się on z lekkiego kołowrotu, na który nawinięty jest sztywny kabel zakończony kamerą. Kamera zawiera integralne, zabudowane oświetlenie [24]. Do systemów przenośnych zalicza się również systemy o budowie modułowej, charakteryzujące się niezależnym kołowrotom z nawiniętym kablem (do około 200 m długości), do którego podłącza się zestawy kamerowe z własnym napędem, bądź popychane prętem z włókna szklanego. Zestawy przenośne wykorzystywane są najczęściej w badaniach przykanalików [19]. Budowę modułową mają również systemy zabudowane w pojazdach specjalistycznych. Ten rodzaj inspekcji jest przystosowany do badań długotrwałych, realizowanych niezależnie od warunków pogodowych, ze względu na umieszczenie panelu sterującego wewnątrz klimatyzowanego pojazdu badawczego, którego wyposażenie pozwala na natychmiastowe sporządzenie raportów z badań. Kamera jest umiejscowiona na wózku napędowym i może posiadać obrotową głowicę, funkcję zoom oraz funkcję umożliwiającą pomiar spadków podłużnych kanału. Dzięki dodatkowej kamerze satelickiej istnieje możliwość badań przykanalików z wnętrza kanału głównego. System typu Kombi to również system inspekcyjny, zabudowany na specjalistycznych pojazdach, z tą różnicą że dodatkowo posiada zestaw do ciśnieniowego czyszczenia kanałów lub też zestaw do badania szczelności kanałów. Szybka, ale wstępną i mało dokładną ocenę stanu technicznego, można wykonać za pomocą układu inspekcyjnego typu Quickview, wyposażonego w kamerę cyfrową z funkcją super-zoom oraz oświetleniem halogenowym, zamontowanych na uchwycie teleskopowym. Często urządzenia te są montowane wewnątrz pojazdów, które najeżdżają na studzienki kanalizacyjne i opuszczają do nich kamery [8]. Inna metoda diagnostyczna polega na zastosowaniu specjalnych tłoków inspekcyjnych. Umożliwia ona uzyskanie wielu szczegółowych informacji, dotyczących stanu technicznego danego przewodu, ale wymaga czynności wstępnych takich jak ocena występowania łuków segmentowych, przewężeń oraz zanieczyszczeń występujących w przewodzie. Przed inspekcją kanał należy oczyścić, ponieważ zanieczyszczenia mogą powodować zaburzenia prawidłowości wskazań tłoka, utrudnienia w jego ruchu, a nawet zakleszczenie tłoka wewnątrz rurociągu [7]. Metody wykorzystujące skanowanie laserowe są dobrym narzędziem oceny zmian wymiarów geometrycznych wzdłuż wnętrza ścian rurociągu [14]. Pozyskane dane mogą posłużyć do tworzenia dokumentacji cyfrowej w postaci rysunków dwuwymiarowych lub trójwymiarowych w programach takich jak AutoCad, Inventor, Navisworks [15]. Zaletą skanowania laserowego jest rejestracja bardzo dużej liczby punktów w stosunkowo krótkim czasie i z dużą precyzją, ale należy pamiętać aby kanał został wcześniej dokładnie oczyszczony [2].

Do najczęściej wykorzystywanych bezwykopowych metod renowacji sieci wodociągowych należą metody wykorzystujące różnego rodzaju wykładziny w postaci rur luźno pasowanych (relining), ciasno pasowanych (close fit) lub wykładzin w postaci elastycznych rękawów, specjalnych taśm nawijanych wewnątrz przewodu czy metody wprowadzania nowego rurociągu po zniszczeniu (rozkruszeniu) starego kanału (burstlining). Do renowacji z zastosowaniem krótkich modułów rur (relining krótki) wykorzystuje się krótkie odcinki nowych rur, wykonanych z polichlorku winylu PVC, polipropylenu PP lub polietylenu dużej gęstości PE-HD, wprowadzonych do wnętrza starego przewodu. Standardowa długość wprowadzanego segmentu wynosi 50 cm, a dzięki pomocy urządzenia hydraulicznego możliwy jest montaż nawet kilkuset odcinków w jednym cyklu [22]. Po wprowadzeniu rur do kanału, należy

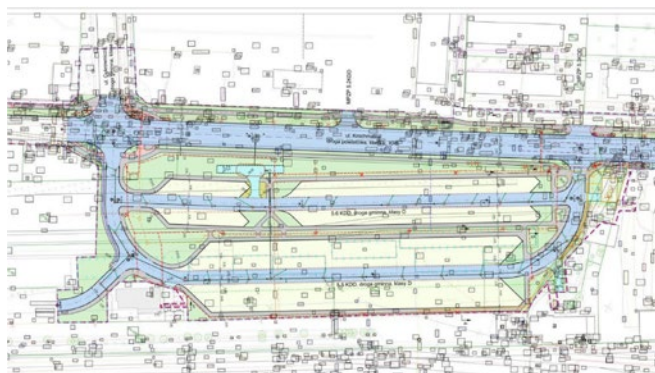
wypełnić wolną przestrzeń specjalną masą iniekcijną, która powinna mieć odpowiednią gęstość (nie ulegać sedimentacji), stałą objętość oraz powinna być odporna na korozję i starzenie, nie wchodzić w reakcję z materiałem rur, a wytrzymałość na ściskanie większą od 1 MPa [16]. Renowacja wykładziną z rur ciągłych (tak zwany relining długi lub sliplining) polega na wciągnięciu do odnawianego odcinka przewodu rury o średnicy zewnętrznej mniejszej niż średnica wewnętrzna macierzystego rurociągu. Materiały stosowane do produkcji rur ciągłych to PE-HD, PP, PVC, poliestry wzmocnione włóknem szklanym [17]. Rurę o odpowiedniej długości przygotowuje się na powierzchni terenu łącząc koleje odcinki za pomocą odpowiedniej metody dopasowanej do rodzaju materiału. Dla dobranej rury należy przeprowadzić obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, w których należy uwzględnić wszystkie stany obciążenia, w tym stan podczas wypełniania przestrzeni pierścieniowej płynnym spoiwem cementowym (konieczność uwzględnienia siły wyporu oraz stateczności na wyboczenie, przy obniżonych parametrach wytrzymałościowych materiału przewodu wskutek podwyższenia temperatury przez egzotermiczny proces utwardzania spoiwa). Jako spoiwo stosuje się zwykle lekką zaprawę na bazie cementu i popiołów w celu stabilizacji położenia nowej rury. Czasami, w celu ochrony przewodu przed zarysowaniem podczas wciągania, zabezpiecza się ją specjalnymi poślizgowymi płozami [5]. Renowacja wykładziną z rur ściśle pasowanych (close fit) polega na wciągnięciu do przewodu rury z materiału polimerowego, o średnicy zewnętrznej równej średnicy wewnętrznej przewodu poddawanego renowacji. Aby można było wprowadzić wykładzinę rurową do przewodu, jej przekrój poprzeczny jest tymczasowo zmniejszony, a po zakończeniu procesu wykładzina zostaje poddana działaniu podwyższonej temperatury, umożliwiając powrót do pierwotnego kształtu, co powoduje jej ściśle przyleganie do wewnętrznej powierzchni odnawianego rurociągu. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe pozwalają dobrać parametry rury ciasno pasowanej dla wszystkich stanów obciążeń. Na rynku dostępnych jest wiele opatentowanych technologii z tej grupy między innymi U-liner, Compact Pipe, Swagelining, Subline, Roll Down czy Compact SlimLiner. W ramach odbioru technicznego należy przeprowadzić inspekcję kamerą TV oraz próbę szczelności [6]. Metoda renowacji wykładziną z rur utwardzanych na placu budowy (CIPP) (cured in place pipe) została opracowana w 1971 r. W tej technologii wykorzystuje się elastyczny rękaw z filcu poliestrowego nasyczonego żywicą (z powłoką zewnętrzną), który zostaje wciągnięty lub wprowadzony za pomocą inwersji do istniejącego przewodu, a następnie poddany obróbce cieplnej (za pomocą pary, gorącej wody) lub promieniami UV, w celu utwardzenia żywicy i uzyskania trwałego kształtu kołowego, przylegającego ściśle do przewodu poddanego renowacji. Wewnątrz kanału przywracany jest dostęp do przyłączy za pomocą robotów zawierających urządzenia tnące, obsługiwane i monitorowane przez CCTV [4]. Renowacja przy pomocy technologii nawojowej z zastosowaniem uźebrowanych taśm spiralnie zwijanych polega na tworzeniu we wnętrzu przewodu nowej powłoki rurowej, poprzez zwijanie profili PVC. Jeżeli urządzenie do nawijania umieszczone jest w studziencie lub w wykopie początkowym, wówczas proces nawijania odbywa się w trybie ciągłym od studzienki do studzienki. Profile PVC są dostarczane na plac budowy w bębnach, a powłoka jest tworzona na miejscu [12]. Metoda ta jest stosowana od 1984 r., ale od tego czasu ulegała licznym modyfikacjom. Powstały jej nowe odmiany takie jak: Ersag, Danby z odmianami Twin Loc oraz Panel Loc, SPR, SWP, Rib Loc (Expand Pipe, Ribline, Ribsteel i Rotaloc). Metody te różnią się konstrukcją uźebrowanej taśmy oraz zakresem średnic wykonywanych powłok [11]. Przykładowo system SPR jest stosowany dla przewodów o średnicach powyżej 900 mm. Profile są wykonane ze sztywnego PVC i wzmocnione za pomocą kształtowników stalowych, umieszczonych pomiędzy żebrami profilu tworzywowego, które stanowią dodatkowe wzmocnienie konstrukcji. Profile PVC mają w sobie elastomerową uszczelkę z wewnętrznym podwójnym zamkiem. Blokowanie zamka głównego i zamka pomocniczego zapobiega ślizganiu się profili na połączeniach. Przestrzeń pomiędzy starym przewo-

dem, a powłoką SPR jest wypełniana spoiwem o niewielkiej lepkości [18]. Natomiast system SWP może być wykorzystany do renowacji przewodów o dowolnej średnicy dzięki kompaktowym urządzeniom, które wprowadza się do przewodu poprzez właz studzienki. Podczas renowacji można pracować przy funkcjonującym przewodzie, jeśli utrzymane jest napełnienie maksymalnie do poziomu około 30% jego średnicy [23]. W systemie Expanda Pipe, który jest odmianą technologii Rib Loc, zwijana ciasno taśma przylega do ściany starego rurociągu. Dzięki temu nie jest konieczne wypełnianie przestrzeni międzyrurowej iniektem cementowym. W ciągu dnia roboczego można poddać renowacji nawet 150 m rurociągu [20]. Najnowszą odmianą technologii Rib Loc jest system Ribsteel. Cechą charakterystyczną tego systemu jest dwuczęściowy profil, składający się z uźbrowanej taśmy wykonanej ze sztywnego PVC oraz kształtowników stalowych. Fabrycznie zamontowana uszczelka elastomerowa zapewnia szczelność powłoki po jej zamontowaniu, a powłoka charakteryzuje się dużą sztywnością. Urządzenie montażowe zwija spiralnie prefabrykowany profil PVC, równocześnie wprowadzając kształtowniki stalowe pomiędzy żebra profilu. Krawędzie profilu są łączone tworząc ciągłą oraz wodoszczelną powłokę [8]. Jedną z bezwykopowych metod renowacji rurociągów jest kruszenie rur (inaczej burstlining, pipe bursting lub pipe cracking), połączone z wprowadzaniem nowej rury w miejsce starego przewodu. Rozróżnia się trzy rodzaje tej technologii, ze względu na rodzaj zastosowanej głowicy kruszącej: kruszenie statyczne, dynamiczne i hydrauliczne. Należy podkreślić, że jest to jedyna bezwykopowa metoda, która umożliwia powiększanie średnicy przewodu poddawanej renowacji. Niekorzystnymi warunkami, utrudniającymi realizację zadania, są grunty ekspansywne, zapadnięcia przewodu, założone opaski naprawcze, wzmocnienia przewodu (np. fundamenty betonowe) lub inne kolidujące rurociągi, fundamenty, większe kamienie. O wyborze technologii kruszenia rurociągów mogą decydować aspekty ekonomiczne (porównanie kosztów wymiany metodą bezwykopową i konwencjonalną), bezpieczeństwa (potencjalne uszkodzenie sąsiednich obiektów) i techniczne (zdolność do zapewnienia energii wystarczającej do zakończenia operacji) [21].

Celem artykułu jest przeanalizowanie dwóch wybranych technologii bezwykopowej renowacji kanałów – metodą z zastosowaniem rękawa CIPP utwardzanego termicznie oraz promieniami UV, a także metodą renowacji za pomocą technologii nawojowej z zastosowaniem uźbrowanych taśm spiralnie zwijanych wraz z możliwością ich zastosowania do modernizacji fragmentu sieci miejskiej kanalizacji deszczowej. Dla omawianych przypadków wykonano obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, określające grubości wykładzin oraz oceniono warunki hydrauliczne w przewodach po modernizacji.

2. Opis obiektu. Metodyka badań

Analizowany fragment sieci kanalizacji deszczowej znajduje się w centrum miasta (rys. 1).

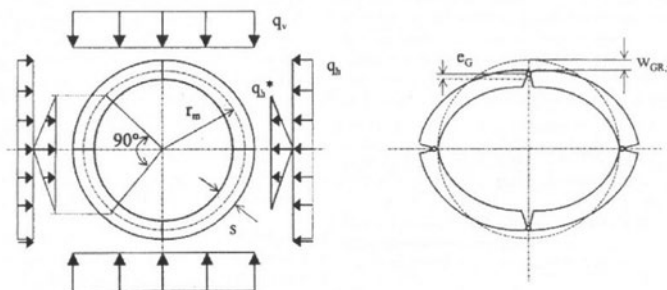


Rys. 1. Plan sytuacyjny
Fig. 1. Site plan

W obszarze, w którym znajduje się sieć kanalizacyjna, warunki gruntowo-wodne są dość jednorodne. Zwierciadło wody gruntowej zalega na głębokości od 3,6 m do 4,8 m p.p.t. Woda gruntowa nie występuje w poziomie posadowienia kanalizacji – wyjątkiem są końcowe odcinki sieci w północnej części obszaru, gdzie około 120 metrów poziom wody kształtuje się na poziomie 0,0 – 0,1 m powyżej dna kanału. Na rys. 1 przedstawiono plan sytuacyjny terenu, na którym znajduje się analizowana sieć. Podstawą oceny stanu technicznego fragmentu sieci kanalizacji deszczowej była inspekcja istniejących kanałów, za pomocą kamery TV oraz zasady podane w DWA-A 143-2 [3]. Na podstawie analizy uzyskanych zdjęć, zidentyfikowano różne rodzaje uszkodzeń oraz nieprawidłowości kanałów i na tej podstawie każdy badany odcinek został zakwalifikowany do określonej grupy opisującej stan techniczny według wytycznych DWA-A 143-2. W wytycznych tych wyróżniono trzy następujące stany techniczne kanałów / rurociągów:

- I stan techniczny – istniejący kanał zachowuje swoją nośność – dopuszczalne jest występowanie drobnych uszkodzeń w postaci np. nieszczelnych złączy lub rys włosowatych,
- II stan techniczny – układ istniejący, przewód sztywny, powłoka – ośrodek gruntowy zachowuje zdolność do przenoszenia obciążeń. Uszkodzeniami dopuszczalnymi dla tego stanu są rysy podłużne przy niewielkich deformacjach przekroju $\delta_v < 6\%$,
- III stan techniczny – układ istniejący, przewód sztywny, powłoka – ośrodek gruntowy utracił zdolność do samodzielnego przenoszenia obciążeń, występują wyraźne deformacje przekroju $\delta_v \geq 6\%$.

Zakwalifikowanie rzeczywistego stanu przewodu do jednej z wymienionych grup determinuje sposób jego modernizacji. W przypadku I oraz II stanu technicznego, istniejący kanał sam lub z udziałem otaczającego gruntu, utrzymuje zdolność do przenoszenia obciążeń, a zaprojektowany rękaw naprawczy będzie miał za zadanie uszczelnić kanał, poprawić jego zdolności hydrauliczne oraz eksploatacyjne, tj. zwiększyć zdolności przepływu i uzyskania prędkości samooczyszczania. Wykładzina jest w tym wypadku wymiarowana na działanie ciśnienia wody gruntowej, która może dostawać się do wnętrza kanału, powodując utratę jego stateczności. W przypadku III stanu technicznego zaprojektowany rękaw musi przejąć obciążenie gruntowe, komunikacyjne jak i oddziaływania (ciśnienie) wody gruntowej. Schemat obciążeń wg wytycznych DWA-A 143-2 widoczny jest na rys. 2.

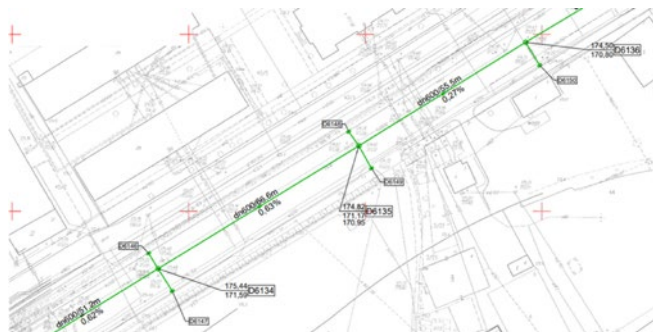


Rys. 2. Schemat obciążeń wywołanych ciężarem gruntu i taboru samochodowego na układ: rurociąg istniejący – ośrodek gruntowy. Po lewej stronie układ bez przemieszczeń; po prawej układ z przemieszczeniem – zmiana schematu statycznego na pierścieni czteroprzegubowy wg DWA-A 143-2

Fig. 1. Scheme of loads caused by the weight of soil and car traffic: existing pipeline – soil body. On the left side, system without displacements; on the right, system with a displacement – change of the static scheme to a four-joint ring according to DWA-A 143-2

Analiza stanu technicznego analizowanego fragmentu sieci kanalizacji deszczowej została przeprowadzona dla każdego odcinka oddzielnie, przykład numeracji poszczególnych węzłów (połączeń) przedstawiono na rys. 3. W tabelach od 1 do 3 przedstawiono przykładowe zdjęcia wnętrza poszczególnych odcinków kanałów, wykonane kamerą TV wraz z oceną stanu technicznego i przyporządkowaniem go do określonej grupy wg DWA-A 143-2. Analiza zdjęć z inspekcji

TV wykazała następujące nieprawidłowości: nieszczelności złączy – przesunięcia, wyszczerbienia i ubytki w okolicach złączy; liczne pęknięcia podłużne, poprzeczne i spękania złożone; miejscowe wykruszenia, ubytki materiału rury; zarysowania wzdłużne w sklepieniu i bokach rury bez znacznej deformacji przekroju; penetracja korzeni i bokach rury z bocznej deformacji przekroju; penetracja korzeni w miejscach złączy i spękań; kolizja z rurą kamionkową.



Rys. 3. Fragment dokumentacji z opisem poszczególnych węzłów sieci
Fig. 3. Fragment of documentation with a description of network nodes

Analizując wyniki inspekcji TV kanałów oraz oceniając poszczególne rodzaje uszkodzeń można przypuszczać, że duży wpływ na ich pojawianie się ma zbyt mała nośność podłoża na obszarze ułożenia sieci kanalizacji deszczowej, na którym występują głównie grunty lessowe, których nośność nie przekracza wartości 5MN/m². Odnosząc się do standardów DWA-A 143-2, do posadowienia kanału wymagana jest minimalna nośność podłoża E2 ≥ 45MN/m². Występowanie rys i pęknięć wzdłużnych rur wynika prawdopodobnie z przekroczenia obciążeń projektowych i uzyskania wartości większych niż naprężenia dopuszczalnego dla materiału rury.

Tabela 1. Ocena stanu technicznego odcinka kanału D6135-D6134 wg DWA-A 143-2

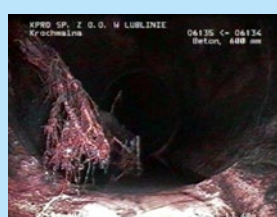
Table 1. Assessment of the technical status of the D6135-D6134 pipe section according to DWA-A 143-2

Odc. Pomiędzy węzłami	Średnica (mm)	Materiał	Długość odcinka (m)
D6135-D6134/ D4766D4767	600	beton	66,6/60,72

Stan techniczny: II stan techniczny – stwierdzono zarysowania wzdłużne w boku rury (Fot.3); wrastające korzenie (Fot.1,2); Rezygnacja z inspekcji z uwagi na dużą ilość grubych korzeni (Fot. 4), włączenia nieistniejących kanałów DN200 - do usunięcia (Fot.8), rozsuniecie prefabrykatu na złączu (Fot.5), pęknięcia wzdłużne konstrukcji (Fot. 6), studzienka bezwiazowa (ślepa) (Fot. 7).



Fot.1



Fot. 2



Fot. 3



Fot. 4



Fot. 5



Fot.6



Fot.7



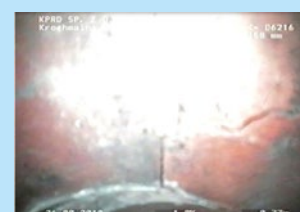
Fot.8

Tabela 2. Ocena stanu technicznego odcinka kanału D6206-D6216 wg DWA-A 143-2

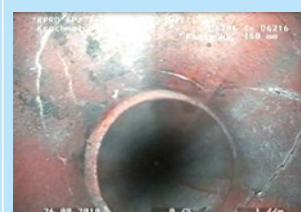
Table 2. Assessment of the technical status of the D6206-D6216 pipe section according to DWA-A 143-2

Odc. pomiędzy węzłami	Średnica (mm)	Materiał	Długość odcinka (m)
D6206-D6216	150	kamionka	11.57

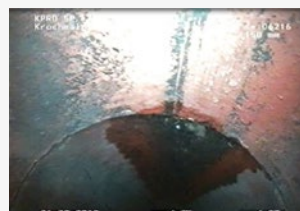
Stan techniczny: II stan techniczny: pęknięcia wzdłużne (Fot.1) oraz poprzeczne (Fot.2,7,8). Widoczne przesiąkania z rozsuniętych złączy (Fot.3,4). Rozsuniecie rury w złączu (Fot.5,6).



Fot. 1



Fot.2



Fot. 3



Fot. 4



Fot. 5



Fot. 6



Fot. 7



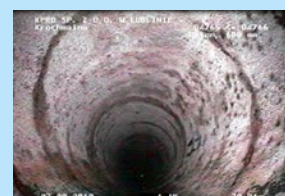
Fot. 8

Tabela 3. Ocena stanu technicznego odcinka kanału D4765-D4766 wg DWA-A 143-2

Table 2. Assessment of the technical status of the D6135-D6134 pipe section according to DWA-A 143-2

Odcinek pomiędzy węzłami	Średnica (mm)	Materiał	Długość odcinka (m)
D4765-D4766	600	beton	59,77

Stan techniczny: II stan techniczny: stwierdzono pęknięcia poprzeczne (Fot.1), pęknięcia wzdłużne (Fot. 3) Widoczność studzienki bezwłazowej (ślepej) (Fot.4) oraz kolizja z rurą kamionkową rozszczelnioną – kanał sanitarny DN160 – do przebudowy (Fot.2).



Fot.1



Fot.2



Fot. 3



Fot. 4

3. Opis przyjętego rozwiązania. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

Biorąc pod uwagę charakter uszkodzeń kanałów oraz występowanie w większości przypadków II stanu technicznego, zastosowanie do renowacji wykładziny elastycznej, ściśle pasowanej, wykonanej z materiału o dobrych parametrach wytrzymałościowych, wydaje się w omawianym przypadku dobrym wyborem. Do modernizacji kanałów zaproponowano dwie metody renowacji bezwykopowej – za pomocą wykładziny rękawem utwardzonym na placu budowy CIPP (utwardzonym termicznie oraz promieniami UV), a także metodę renowacji za pomocą technologii nawojowej, z zastosowaniem umberlandnych taśm spiralnie zwijanych, ściśle pasowanych. Dla wszystkich zaproponowanych przypadków przeprowadzono obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, w celu określenia warunków stateczności dla danej grubości wykładziny. Dobrano także właściwy profil umberlandnych taśm spiralnie zwijanych. Oceniono również warunki hydrauliczne panujące w przewodach przed i po wykonanej modernizacji.

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykonano w oparciu o wytyczne DWA-A 143. Wartość obciążenia / ciśnienia / krytycznego oblicza się ze wzoru:

$$p_{a,d \text{ kryt}} = k_{v,s} \cdot \alpha_D \cdot S_L \quad (1)$$

gdzie:

S_L – sztywność wykładziny [N/mm²]

Współczynnik α_D wynosi:

$$\alpha_D = 2,62 \cdot \left(\frac{r_L}{t_L}\right)^{0,8} \quad (2)$$

gdzie:

r_L – średni promień wykładziny [mm]

t_L – zastępcza grubość ścianki wykładziny [mm]

Współczynnik zmniejszający – uwzględniający wpływ deformacji początkowych oraz szczeliny pierścieniowej (imperfekcje) określany jest w następujący sposób:

$$k_{v,s} = k_v \cdot k_{Gr,v} \cdot k_s \quad (3)$$

gdzie:

k_v – współczynnik uwzględniający deformację początkową [-]

$k_{Gr,v}$ – współczynnik uwzględniający owalizację [-]

k_s – współczynnik uwzględniający szczelinę pierścieniową [-]

$k_v, k_{Gr,v}, k_s$ odczytano z diagramów zamieszczonych w DWA-A-143-2.

Sztywność wykładziny S_{Ld} [N/mm²] dla obciążeń długotrwałych oblicza się ze wzoru:

$$S_{Ld} = \frac{E_L}{\gamma_M} \cdot \left(\frac{t_L}{r_L}\right)^3 \quad (4)$$

gdzie:

E_L – moduł Younga (wartość długotrwała) [N/mm²]

γ_M – częściowy współczynnik zmniejszający [-]

μ – współczynnik Poissona materiału wykładziny [-]

r_L – średni promień wykładziny [mm]

t_L – zastępcza grubość ścianki wykładziny [mm]

Wartość obciążenia – ciśnienia rzeczywistego $p_{a,d}$ [N/mm²] oblicza się ze wzoru:

$$p_{a,d} = p_a \cdot 1,5 \quad (5)$$

gdzie:

p_a – ciśnienie hydrostatyczne [N/mm²]

Wymagany warunek stateczności:

$$\frac{p_{a,d}}{p_{a,d \text{ kryt}}} \leq 1 \quad (6)$$

Zestawienie wyników wykonanych dla rękawa CIPP utwardzonego termicznie za pomocą gorącej pary zamieszczono w tab. 4, dla rękawa CIPP utwardzanego promieniami UV – w tab.5, natomiast dla metody renowacji realizowanej przy pomocy technologii nawojowej z zastosowaniem umberlandnych taśm spiralnie zwijanych – w tab. 6.

Tabela 4. Zestawienie wyników obliczeń dla rękawa CIPP utwardzanego termicznie
Table 4. Summary of calculation results for thermally cured CIPP technology

Obliczenia wykładzin epoksydowych utwardzanych termicznie wg DWA A 143-2						
średnica	mm	200	300	400	500	600
średnica wewnętrzna	mm	190	285	382	480	579
parcie wody na grunt	N/mm ²	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
deformacja lokalna (wv)	%	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
owalizacja	%	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
szczelina pierścieniowa	%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
średni promień wykładziny (r_L)	mm	97,5	146,25	195,5	245	294,75
grubość ścianki wykładziny (t_L)	mm	5,0	7,5	9,0	10,0	10,50
stosunek (r_L/t_L)	-	19,50	19,50	21,72	24,50	28,07
($w_L/r_L \cdot 100\%$)	%	1,026	0,68	0,5115	0,4082	0,3393
wsp. z uwagi na deformację pocz. k_v	-	0,66	0,66	0,65	0,60	0,56
wsp. uwzględniający owalizację $k_{Gr,v}$	-	0,70	0,69	0,68	0,66	0,63
wsp. uwzględniający szczelinę pierśc. (k_s)	-	0,69	0,7	0,68	0,67	0,67
częściowy wsp. zwiększający (γ_i)	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
obciążenie (ciśnienie) rzeczywiste ($P_{a,d}$)	N/mm ²	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
współczynnik przesoku (α_D)	-	28,53	28,53	31,10	34,24	38,18
wartość obciążenia krytycznego ($P_{a,kryt}$)	N/mm ²	0,18	0,18	0,13	0,09	0,06
warunek stateczności powłoki wykl. ≤ 1	-	0,12	0,12	0,17	0,25	0,37

Tabela 5. Zestawienie wyników obliczeń dla rękawa CIPP utwardzonego promieniowaniem UV

Table 5. Summary of calculation results for UV – cured CIPP technology

Obliczenia wykładzin epoksydowych utwardzanych promieniami UV wg DWA A 143-2						
średnica	mm	200	300	400	500	600
średnica wewnętrzna	mm	192	290	388	485	582
parcie wody na grunt	N/mm ²	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
deformacja lokalna (w _w)	%	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
owalizacja	%	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
szczelina pierścieniowa	%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
średni promień wykładziny (r _t)	mm	98	147,5	197	246,25	295,5
grubość ścianki wykładziny (t _t)	mm	4,0	5,0	6,0	7,5	9,0
stosunek (r _t /t _t)	-	24,50	29,50	32,83	32,83	32,83
(w _w /r _t · 100%)	%	1,02040	0,68	0,5076	0,4061	0,3384
wsp. z uwagi na deformację pocz. k _v	-	0,60	0,55	0,52	0,52	0,52
wsp. uwzględniający owalizację k _{GV}	-	0,66	0,64	0,63	0,63	0,63
wsp. uwzgl. szczelinę pierśc. (k _s)	-	0,66	0,61	0,60	0,60	0,60
częściowy wsp. zwiększający (γ _r)	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
obciążenie (ciśnienie) rzeczywiste (P _{ad})	N/mm ²	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
współczynnik przeskoku (α _b)	-	34,24	39,73	43,28	43,28	43,28
wartość obciążenia krytycznego (P _{akryt})	N/mm ²	0,16	0,09	0,06	0,06	0,06
warunek stateczności powłoki wykł. ≤ 1	-	0,14	0,25	0,35	0,35	0,35

Tabela 6. Zestawienie wyników obliczeń dla wykładziny realizowanej w technologii nawojowej z zastosowaniem uźebrowanych taśm PVC SWP / profil R7-085-06

Table 6. Summary of calculation results for spiral-wound pipe lining technology using ribbed PVC tapes SWP / profile R7-085-06

Obliczenia wykładziny z profilu PVC SWP DF/R7-085-06 wg DWA A 143-2						
średnica	mm	200	300	400	500	600
średnica wewnętrzna	mm	183	283	383	483	583
parcie wody na grunt	N/mm ²	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
deformacja lokalna (w _w)	%	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
owalizacja	%	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
szczelina pierścieniowa	%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
jednostkowy moment bezwładności ścianki przewodu (I _w)	mm	107,14	107,14	107,14	107,14	107,14
wysokość profilu wykładziny (h _s)	mm	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50
stosunek (r _t /t _t)	-	8,70	13,29	17,89	22,49	27,09
(w _w /r _t · 100%)	%	1,06	0,69	0,51	0,41	0,34
wsp. z uwagi na deformację pocz. k _v	-	0,86	0,75	0,70	0,63	0,58
wsp. uwzględniający owalizację k _{GV}	-	0,77	0,72	0,70	0,68	0,63
wsp. uwzględniający szczelinę pierśc. (k _s)	-	0,88	0,78	0,76	0,68	0,62
częściowy wsp. zwiększający (γ _r)	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
obciążenie (ciśnienie) rzeczywiste (P _{ad})	N/mm ²	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
współczynnik przeskoku (α _b)	-	14,95	21,00	26,63	31,98	37,11
wartość obciążenia krytycznego (P _{akryt})	N/mm ²	1,30	0,37	0,17	0,08	0,04
warunek stateczności powłoki wykł. ≤ 1	-	0,02	0,06	0,13	0,27	0,53

Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń, uzyskanie odpowiedniej stateczności powłoki wymaga przyjęcia odpowiedniej grubości wykładziny dla różnych średnic kanałów. W przypadku zastosowania rękawa CIPP, utwardzanego promieniami UV, uzyskano nieco mniejsze grubości niż w przypadku rękawa utwardzanego termicznie. Dobre parametry stateczności uzyskano dla przyjętej wysokości profilu wykładziny spiralnie zwijanej, niezależnie od średnicy kanału.

Obliczenia hydrauliczne fragmentu sieci kanalizacji deszczowej

W celu porównania warunków przepływu i przepustowości kanału przed i po modernizacji, wykonano obliczenia hydrauliczne, w oparciu o zależności Darcy-Weisbach'a i Colebrook-White'a. Współczynnik chropowatości bezwzględnej przyjęto dla wykładziny z żywicy epoksydowej (CIPP) równy 0,1 mm, a dla rur betonowych i kamionkowych – 1,5 mm.

Zakładając, że całkowita przepustowość kanału (100%), tj. przy całkowitym wypełnieniu przekroju kołowego (100%), osiągnięta jest już przy względnym napełnieniu h/D = 0,827, przyjęto w obliczeniach h/D = 0,8 oraz 0,5. Przy tych napełnieniach oceniono wpływ wykładziny na zdolność utrzymania warunków do samooczyszczenia się kanałów. Zazwyczaj przyjmuje się, że prędkość samooczyszczania jest równa v_{min} = 0,8 m/s, przy czym w kanałach należy zapewnić zarówno transport ścieków jak i mieszaniny substancji stałych. Transport zanieczyszczeń można zapewnić, jeżeli opór tarcia wyrażony stycznymi naprężeniami ścinającymi (τ) jest większy lub równy τ_{min}: τ_{min} ≥ 2,0 Pa – dla kanałów bytowo-gospodarczych i przemysłowych, τ_{min} ≥ 1,5 Pa – dla kanałów deszczowych. Producenci rur z tworzyw sztucznych zalecają, żeby przy projektowaniu sieci bytowo-gospodarczej przyjmować naprężenia styczne większe od 2,25 N/m², a kanałach deszczowych większe niż 1,35 N/m². Naprężenia styczne (τ), rozumiane jako średnie naprężenie styczne na całej powierzchni zwilżonego kanału, można wyznaczyć ze wzoru [1]:

$$\tau = \frac{A}{U} \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (7)$$

gdzie:

A – pole powierzchni przekroju poprzecznego strumienia cieczy przy napełnieniu h, m²,

U – obwód zwilżony przy napełnieniu h, m,

ρ – gęstość ścieków, N/m³,

g – przyspieszenie ziemskie,

α – kąt nachylenia osi kanału do poziomu, ułamek,

Obliczenie przepustowości oraz ocenę zdolności samooczyszczania kanałów wykonano dla poszczególnych odcinków przed oraz po wykonanej modernizacji. Przykładowy fragment tabeli obliczeń hydraulicznych wykonanych po modernizacji kanału, z wyliczonymi wartościami przyrostu prędkości przepływu oraz przepustowości, przedstawiono w tab. 7.

Tabela 7. Fragment tabeli obliczeń hydraulicznych kanału po modernizacji technologią CIPP

Table 7. Fragment of the hydraulic calculations after rehabilitation with the CIPP technology

Obliczenia hydrauliczne -wysokościowe kanału DN 600 oc							nie- tu	przekrycie przewodu [m]	wzrost przepustowo- ści	wzrost prędkości przepływu
odc.	L [m]	przepływ obliczeniowy Q _{ob} [dm ³ /s]	spadek kanału i [%]	średnica wewnętrzna d [m]	współczynn. k [m]	napr.				
D6130-D6131	65,3	607,50	0,66%	0,5790	0,00010	-	0,91	17,76%	23,44%	
							1,79			
							1,79			
D6131-D6132	80,30	679,00	0,83%	0,5790	0,00010	-	3,18	17,75%	23,44%	
							3,18			
D6132-D6133	65,4	513,00	0,47%	0,5790	0,00010	-	3,29	17,84%	23,45%	
							3,29			
D6133-D6134	51,2	589,00	0,62%	0,5790	0,00010	-	3,28	17,83%	23,45%	
							3,28			
D6134-D6135	66,6	589,00	0,62%	0,5790	0,00010	-	3,07	17,83%	23,45%	
							3,29			
D6135-D6136	55,5	374,00	0,25%	0,5790	0,00010	-	3,11	17,78%	23,44%	
							3,69			
D6136-D6137	48,1	403,00	0,29%	0,5790	0,00010	-	2,92	17,87%	23,45%	
							2,92			
D6137-D6138	51,1	388,50	0,27%	0,5790	0,00010	-	2,65	17,76%	23,44%	
							3,23			
D6138-D6139	29,38	812,00	1,18%	0,5790	0,00010	-	2,64	17,73%	23,44%	

Uzyskane wartości wzrostu prędkości przepływu i przepustowości kanałów były bardzo zbliżone przy założonych napelnieniach kanałów 80% oraz 50%. Uśrednione wyniki dla poszczególnych średnic zostały zestawione w tab. 8, 9, 10.

Tabela 8. Wyniki obliczeń po modernizacji wykładziną CIPP utwardzaną termicznie
Table 8. Results of calculations after rehabilitation with thermally cured CIPP lining

Średnica, mm	wzrost prędkości przepływu, %	wzrost przepustowości, %
300	21	13
400	22	15
500	23	16
600	23	18

Tabela 9. Wyniki obliczeń po modernizacji wykładziną CIPP utwardzaną promieniami UV
Table 9. Results of calculations after rehabilitation with UV – cured CIPP lining

Średnica, mm	wzrost prędkości przepływu, %	wzrost przepustowości, %
300	22	17
400	23	18
500	23	18
600	24	19

Tabela 10. Wyniki obliczeń po modernizacji wykładziną PVC SWP typ DF R7-085-06
Table 10. Results of calculations after rehabilitation with ribbed PVC tapes SWP/ profile R7-085-06

Średnica, mm	wzrost prędkości przepływu, %	wzrost przepustowości, %
300	21	11
400	22	15
500	23	18
600	24	19

4. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Wyniki analiz wykazały zbliżoną przydatność zastosowania omawianych metod modernizacji kanałów w rozpatrywanych warunkach i bezpiecznego odprowadzenia wód deszczowych. W przypadku renowacji rękawem CIPP utwardzonym termicznie, należy przewidywać nieco większą grubość rękawa w porównaniu z CIPP utwardzonym za pomocą promieni UV.
- W przypadku zastosowania technologii CIPP z utwardzaniem termicznym, wzrost przepustowości kanału w stosunku do możliwości hydraulicznych kanału niepoddanego modernizacji wynosił od 13% do 18% zależnie od średnicy kanału. Natomiast w przypadku zastosowania modernizacji przy pomocy rękawów CIPP utwardzanych promieniowaniem UV, wzrost ten wahał się od 17 do 19%.
- W przypadku zastosowania metody renowacji, realizowanej przy pomocy technologii nawojowej z zastosowaniem uźbrojonych taśm spiralnie zwijanych, ściśle pasowanych, uzyskano wzrost przepustowości dla kanału między 11% a 19%, zależnie od średnicy kanału.
- Wzrost prędkości przepływu w kanałach, w stosunku do prędkości przepływu w kanałach niepoddanych modernizacji z zastosowaniem rękawów CIPP, utwardzanych termicznie, wyniósł od 21% do 24%, natomiast w przypadku zastosowania modernizacji

przy pomocy rękawów CIPP utwardzanych promieniowaniem UV ten wzrost zmienił się od 22% do 24%, zależnie od średnicy kanału.

- Przy zastosowaniu metody renowacji, z zastosowaniem uźbrojonych taśm spiralnie zwijanych, ściśle pasowanych, uzyskano wzrost prędkości przepływu między 21% a 24% zależnie od średnicy kanału.

LITERATURA

- [1] Bogdan L., Petriczek G. 2011. „Zagadnienia przepływu zanieczyszczeń w kanalizacji”. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*, vol. (49): 4-20.
- [2] Chen H-M., Uliyanov C., Shaltout r. 2015. „3D laser scanning techniques for the inspection and monitoring of railway tunnels”. *Transport problems*, vol. 10 special edition:73-84.
- [3] DWA-A 143-2. 2015. „Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und –kanälen mit Lining – und Montageverfahren.”
- [4] Jefrin J.J., Subash I., Manoj Kumar V. 2012. „CIPP:A Trenchless Rehabilitation Overview”. *International Journal of Advanced Technology in Civil Engineering*, vol. 1(2):112-117.
- [5] Kolonko A. 2013. „Bezwykopowa renowacja przewodów kanalizacyjnych – renowacja przez wykładanie rurami ciągłymi” *Inżynieria Bezwykopowa*, nr (2):38-45.
- [6] Kolonko A. 2019. „Rozwój bezwykopowych metod renowacji przewodów wodociągowych”. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr (1):9-17. DOI 10.15199/17.2019.1.2.
- [7] Kropiwnicki J., Klimkiewicz T. 2004. „Inspekcja rurociągów tłokami inteligentnymi. Cz. 1, Przygotowanie rurociągu do inspekcji”. *Inżynieria Bezwykopowa*, nr (4):73-75.
- [8] Kuliczowska E. 2008. „Kryteria planowania bezwykopowej odnowy nieprzelazowych przewodów kanalizacyjnych”. Wyd. Politechnika Świętokrzyska, Kielce.
- [9] Kuliczowska E. 2015 (lipiec-sierpień). „Metody oceny stanu rurociągów i kanałów podziemnych”. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, nr (4):82-84.
- [10] Kuliczowski A. (praca zbiorowa). 2010. „Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska”. Wyd. Seidel – Przywecki.
- [11] Kuliczowski A., Białek M. 2007. „Rury z uźbrojonych taśm”. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, nr (3):40-41.
- [12] Kuliczowski A., Książek I. 2008. „Bezwykopowa renowacja przewodów kanalizacyjnych spiralnie zwijanych uźbrojonych taśmami w technologii ROTALOC”. *Inżynieria Bezwykopowa*, nr (3):32-40.
- [13] Kwietniewski M., Rak J. 2010. „Niezwadność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce”. Polska Akademia Nauk – Komitet Inżynierii Łądowej i Wodnej, nr 67.
- [14] Lampola T. 2019. „Condition Assessment and Sewer Inspection (CASI) Methods – Guide Book”. Helsinki.
- [15] Lemmon T. 2011. „Tank inspection and calibration with 3D laser scanning”. Materiały firmowe, www.trimble.com
- [16] Nahrebecki Z. 2004. „Renowacje metodą reliningu”. *Inżynieria Bezwykopowa*, nr (4):46-47.
- [17] Obradović D. 2018. „A short review: Techniques for trenchless sewer rehabilitation”. YOUNG SCIENTIST – 10th International Scientific Conference on Civil and Environmental Engineering, Tatranská Lomnica, Slovačka, April 26-27, 2018. Conference proceedings papers.
- [18] Podhajska A. 2008. „SPR technology”. *Inżynieria Bezwykopowa*, nr spec. (5):10-12.
- [19] Przybyła B. 2019. „Inspekcja CCTV w kanalizacji: założenia, aktualne rozwiązania techniczne i tendencje rozwojowe”. *Inżynieria Bezwykopowa*, nr (2):46-65.
- [20] Quamar Z. Khan. 2006. „New Sewer Technology Saves California City a Bundle”. *Government Engineering*, IX-X:19-21.
- [21] Simicevic J., Sterling r. L. 2001. „Guidelines for Pipe Bursting” TTC Technical Report #2001.02 Prepared for: U.S. Army Corps of Engineers Engineering Research and Development Center (ERDC).
- [22] Sosiński P. 2014. „Bezwykopowa renowacja sieci podziemnych”. Wyd. KaBe, Krosno.
- [23] Świątek A. 2019. „Warto inwestować w dopasowane: rozwiązania bezwykopowe”. *Inżynieria Bezwykopowa*, nr (2):96-97.
- [24] Zwierchowski D. 2004. „Analiza techniczno-ekonomiczna doboru kamer inspekcyjnych do monitoringu sieci podziemnych”. *Inżynieria Bezwykopowa*, nr (2):44-48.