

Renowacja sieci kanalizacyjnej

Dr hab. inż. Andrzej Raganowicz

Zweckverband zur Abwasserbeseitigung im Hachinger Tal, Taufkirchen, Niemcy

Techniczna eksploatacja liniowych obiektów kanalizacyjnych obejmuje trzy zasadnicze obszary działań: konserwację, odnowę (renowację) i wymianę. W dobie dobrze rozbudowanych sieci odnowa odgrywa kluczową rolę eksploatacyjno-inwestycyjną. Procesy starzeniowe prowadzą do systematycznego pogarszania się stanu technicznego przewodów, ograniczając ich pełną dyspozycyjność zdefiniowaną przez szczelność, funkcjonalność i nośność. Stan techniczny europejskich liniowych obiektów kanalizacyjnych wskazuje na to, że wiele z nich nie osiągnie 100 letniej żywotności technicznej. Dlatego też objekty te muszą być poddawane intensywnym zabiegom renowacyjnym. Europejska norma EN DIN 752 [1] przewiduje trzy warianty rehabilitacji technicznej: naprawę, renowację i wymianę. Naprawa jest zabiegiem o lokalnym charakterze i żywotności technicznej wynoszącej 10 ÷ 15 lat. Typowym przykładem naprawy jest krótki rękaw lub iniekcyjne doszczelnienie połączenia rur. Natomiast renowacja obejmuje cały odcinek sieci między dwoma studzienkami rewizyjnymi, a jej żywotność techniczna wynosi 50 lat. Klasycznym przykładem renowacji jest rękaw filcowy nasączony żywicą epoksydową lub poliestrową utwardzony ciepłą wodą, parą wodną lub promieniami UV.

Jeżeli renowacja uszkodzonego przewodu ze względu na uwarunkowania statyczno-techniczne nie jest możliwa, to jedynym realnym rozwiązaniem jest wymiana. Ma ona charakter wykopowy lub bezwykopowy. Zaletą wymiany wykopowej jest możliwość zwiększenia przekroju przewodu, zmiany jego trasy, jak również 100-letnia żywotność techniczna. Wymiana bezwykopowa techniką „berstliningu” polega na zniszczeniu istniejącego przewodu za pomocą dynamicznie lub statycznie pracującego młota i wbudowanie na jego miejscu nowego przewodu z reguły z polietylenu (PE) z połączeniami stykowymi albo zgrzewanymi.

Najbardziej korzystną opcją rehabilitacji technicznej sieci kanalizacyjnej ze względu na koszty, żywotność techniczną i bezwykopowy charakter jest renowacja. Ma ona jednak bardzo konkretne ograniczenia. Otóż, system rura – podłoże gruntowe musi być nośny, a dopuszczalna deformacja przy czterech ryśach podłużnych nie powinna przekraczać 6% w odniesieniu do średnicy [2]. Szczególnie korzystne charakterystyki technik renowacyjnych przyczyniły się do ich dynamicznego rozwoju na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci.

TECHNIKI RENOWACYJNE

Renowacja liniowych obiektów kanalizacyjnych ma już 50-letnią historię. Pionierem tej dziedziny techniki był niezujący inżynier angielski Eric Wood. Opatentowany przez Wooda proces „Insituform[®]” po raz pierwszy wdrożono w Londynie, w dzielnicy Hackney w 1971 roku. Zleceniodawcą był ówczesny Londyński Zakład Wodno-Kanalizacyjny – *Metropolitan Water Board*. Odnowie poddano 70-metrowy odcinek murowanego kanału ogólnospławnego o profilu jajowym DN 1170/600 mm.

Przyczyną poważnych uszkodzeń tego przewodu był biogeny kwas siarkowy. W ramach procesu „Insituform[®]” rękaw filcowy o grubości ścianki 9 mm nasączony nienasyconą żywicą poliestrową (PE) wprowadzono do przewodu za pomocą wciągarki wraz z luźną folią wewnętrzną z poliuretanu (PU). Następnie za pomocą sprężonego powietrza nadano rękawowi formę odnawianego przewodu. Utwardzanie żywicy odbywało się w temperaturze otoczenia. Po 20-letniej eksploatacji, w porozumieniu z ówczesnym Londyńskim Urzędem Wodnym – *Thames Water Authority* i firmą Insituform pobrano próbki z wbudowanego rękawa i poddano je szczegółowym badaniom fizyko-mechanicznym. Londyński relining z 1971 roku stanowił doskonały materiał badawczy umożliwiający ustalenie realnej żywotności technicznej rękawów na bazie żywic poliestrowych. Do tego czasu badano parametry mechaniczne rękawów na podstawie badań trwających 10 000 godzin. Na tej podstawie przyjęto 50-letnią żywotność techniczną dla tego rodzaju konstrukcji budowlanych. Doświadczenia londyńskie potwierdziły 50-letnią żywotność techniczną linerów.

W latach 70-tych ubiegłego stulecia miasto Hamburg, podobnie jak Londyn, dokonywało próbnich instalacji rękawów nasączanych żywicą poliestrową. Pierwszy sukces odniesiono dopiero we wrześniu 1983 roku, wbudowując rękaw filcowy do ogólnospławnego odcinka betonowego DN 600 mm o długości 120 m zlokalizowanego w Holzmühlstrasse. Uszkodzenia przewodu w formie głębokiej korozji betonu zostały wywołane biogenym kwasem siarkowym. Wewnętrzną powłokę rękawa stanowiła folia poliuretanowa (PU). Instalacja tego rękawa nie przewidywała folii zewnętrznej (tak zwany preliner), błędnie przypuszczając, że nastąpi sklejenie laminatu z betonem. Po 25-letniej eksploatacji pobrano próbki rękawa. Wstępne oględziny wykazały, że folia wewnętrzna uległa prawie całkowitemu zniszczeniu, a laminat wykazywał ciemne przebarwienia spowodowane biogenną atmosferą kanału. Podczas pobierania próbek stwierdzono również dobry kontakt rękawa z kanałem betonowym. Wyniki badań parametrów mechanicznych hamburskiego jak i londyńskiego rękawa nie zostały opublikowane.

Od instalacji pierwszych rękawów europejskich minęło prawie 50 lat, w ramach których nastąpił duży rozwój tej dziedziny techniki. Renowacja liniowych obiektów kanalizacyjnych nie ma solidnej bazy naukowej, a jej pionierami byli zdolni inżynierowie – praktycy. Prowadzone od wielu lat badania pobieranych na bieżąco próbek rękawów przez liczne instytuty badawcze i naukowo-badawcze doprowadziły do zdecydowanego zwiększenia jakości zabiegów renowacyjnych. Duży udział w rozwoju technik renowacyjnych mają również badania telewizyjne przewodów kanalizacyjnych. Ich aktualny poziom techniczny umożliwia uzyskanie dużej rozdzielczości obrazu (HD-jakość) i dzięki technologii laserowej kwantyfikację wszystkich uszkodzeń. Równoległe miało miejsce dynamiczny rozwój robotów i minirobotów kanałowych o dużych zdolnościach operacyjnych. W efekcie tego rozwoju można aktualnie odnawiać praktycznie wszystkie przewody kanalizacyjne niezależnie od ich charakterystyk.

Inżynierowie planujący zabiegi renowacyjne liniowych obiektów kanalizacyjnych mają do wyboru kilka żywic różniących się właściwościami fizyko-mechanicznymi i metodami ich utwardzania. Najbardziej popularne są linery filcowe z włókien syntetycznych i szklanych – tak zwane linery GRP. Matrycami linerów są żywice poliestrowe (PE), winylowe (VE) i epoksydowe (EP). Istotną fazą reliningu jest utwardzanie żywicy. Najczęściej stosowaną techniką jest metoda termiczna (ciepła woda, para wodna) i fotochemiczna (promieniowanie UV). Stosunkowo nową techniką utwardzania opracowaną przez firmę Insituform jest technologia „Bluelight” wykorzystująca lampy LED. Metoda ta może być zastosowana tylko do przewodów o zakresie średnic do DN 250 mm. Projektanci i eksploatacyjni sieci mają do dyspozycji szeroką paletę technik renowacyjnych. Wybór odpowiedniej technologii zależy od charakterystyki odnawianych przewodów, uwarunkowań lokalnych i wymogów eksploatacyjnych, które powinny być zdefiniowane przez eksploatatora sieci. Sukces zabiegów renowacyjnych zależy w dużej mierze od dobrej współpracy projektanta z eksploatatorem obiektu, od ich kompetencji i doświadczenia zawodowego.

Prawie wszystkie komponenty renowacji są produktami przemysłu chemicznego. Specjalista projektujący zabiegi renowacyjne nie dysponuje na ogół wiedzą chemiczną z zakresu tworzyw sztucznych. Dlatego też konieczne jest wsparcie chemików znających procedury renowacyjne. Rękawy (linery) są konstrukcjami składającymi się z włókien i wiążącej je żywicy, tworzącymi po utwardzeniu tworzywo sztuczne (duromer). Matryca w postaci żywicy otacza włókna syntetyczne albo szklane i chroni je przed uszkodzeniem. Szczególne znaczenie ma to w przypadku włókien szklanych wzmacniających tak zwane linery GRP, które osiągają bardzo dobre parametry mechaniczne.

Linery filcowe w postaci włókien syntetycznych, zwanych włóknami PES lub PET, produkowane są z tereftalanu polietylenu [4]. Do produkcji filcu wykorzystuje się wiązki włókien syntetycznych o długości 50 ÷ 80 mm. Gęstość włókien typu PET wynosi 1,38 g/cm³. W wyniku procesu tekstylnego powstają filce o gęstości objętościowej 0,10 ÷ 0,25 g/cm³. Ważnym etapem produkcji jest uigłowanie filcu powodujące zwiększenie objętości porów w stanie nieskompresowanym do 80 ÷ 90%. Tą objętość filcu można wypełnić żywicą. Linery z włókien syntetycznych są zespolone jednostronnie z folią z polietylenu (PE) lub poliuretanu (PU) o grubości 200 ÷ 500 μm. Folia jest istotnym komponentem umożliwiającym impregnację linera żywicą i jego inwersyjną instalację. Mechaniczne wzmocnienie rękawów uzyskuje się przez wykorzystanie włókien szklanych. Do dyspozycji są: włókna szklane typu E (standard) i o podwyższonej wytrzymałości typu ECR. Obydwa typy wykazują zbliżone parametry mechaniczne: moduł sprężystości 73 000 ÷ 74 000 N/mm², wytrzymałość na pęknięcie 3100 ÷ 3800 N/mm², wydłużenie przy zrywaniu 4,5% i odkształcenie sprężyste 3%. Włókna typu ECR są szczególnie odporne na korozję chemiczną w wysokich temperaturach. Korzystne charakterystyki mechaniczne linerów GRP są wynikiem odpowiednich proporcji włókien syntetycznych do szklanych, doboru żywicy i jakości impregnacji.

Najbardziej popularną matrycą służącą do impregnacji linerów jest nienasycona żywica poliestrowa (UP). Do innych materiałów impregnacyjnych należą: żywice winylowe (VE) i epoksydowe (EP). Nienasycone żywice poliestrowe stanowią ekonomiczny wariant zabiegów renowacyjnych ze względu na cenę i właściwości fizyko-chemiczne. W Niemczech produkowane są dwa rodzaje żywic (PE) w postaci glikoli neopentylowych kwasu izoftalowego i ortoftalowego (izo-neo- i ort-neo-żywice) odporne na działanie ścieków bytowych zwykle o kwaśnym odczynie. Dlatego też stały się one główną siłą napędową renowacji przewodów kanalizacyjnych. Zabiegiem renowacyjnym na bazie żywic poliestrowych towarzyszy uwalnianie się szkodliwego dla zdrowia styrenu. W celu ograniczenia tego procesu należy wbudować zewnętrzną folię ochronną (tak zwany preliner). Inną niekorzystną cechą żywic poliestrowych jest efekt skurczu występujący po utwardzeniu. Szczelina pierścieniowa w przewodzie o średnicy DN 250 osiąga około 6 mm. Fakt ten ma istotne znaczenie w przypadku renowacji przewodów operujących poniżej zwierciadła wody gruntowej. W celu doszczelnienia kompleksu liner – przewód konieczne jest wykonanie na obydwu końcach zakończeń na bazie zapraw mineralnych wzbogaconych żywicami lub manszety typu Quick-Lock.

Z kolei żywice epoksydowe (EP) są, w odróżnieniu do żywic poliestrowych, praktycznie bezzapachowe. Ich szczególną zaletą jest odporność na korozję chemiczną i możliwość sklejanie się z wieloma materiałami. Inną zaletą stanowi minimalny skurcz po utwardzeniu. Wiele firm renowacyjnych twierdzi, że linery na bazie żywicy epoksydowej nie wykazują skurczu. Wieleletnie doświadczenia autora są zdecydowanie inne. Na rys. 1 przedstawiono wykopany fragment przewodu kamionkowego DN 250 mm z wbudowanym linerem filcowym nasączonym żywicą epoksydową. Szczelina pierścieniowa osiągnęła wartość 1 ÷ 2 mm. Kontakt między obydwoma materiałami może mieć



Rys. 1. Przewód kamionkowy z linerem na bazie żywicy epoksydowej (źródło: Raganowicz)

charakter punktowy lub lokalny. Żywica epoksydowa po zmieszaniu z utwardzaczem pozostaje w stanie płynnym tylko kilka godzin. Dlatego impregnacja rękawa ma miejsce bezpośrednio na placu budowy. Dotychczasowe badania wykazały, że żywica epoksydowa nie może być utwardzana fotochemicznie. Dlatego zwykle stosowane są metody termiczne. Żywice epoksydowe są mieszaniną epoksydów i komponentów aminowych. Ze względu na dużą ilość epoksydów i aminów różnią się one budową, ale wszystkie kompozyty wykazują zbliżone charakterystyki fizyko-chemiczne.

Ostatnią grupę żywic stanowią kompozyty winylowe (VE) będące czymś pośrednim między nienasyconymi poliestrami a epoksydami. Ich odporność chemiczna przekracza żywice (UP), ale zbliżona jest do żywic (EP). Dotyczy to przede wszystkim mediów alkalicznych, ścieków o wysokiej temperaturze, węglowodorów alifatycznych i aromatycznych. Ze względu na rezystencję chemiczną są one stosowane do renowacji sieci przemysłowych, a szczególnie obiektów rafineryjnych. Utwardzają się gruntownie po zastosowaniu metod typowych dla żywic poliestrowych (UP).

Matryce rękawów zawierają, oprócz żywicy, jeszcze inhibitory, termiczne inicjatory procesowe, inicjatory fotochemiczne, wypełniacze obojętne chemicznie, jak również dodatki procesowe. Inhibitory są odpowiedzialne za stabilność matrycy do momentu utwardzania, aby nie doszło do niepożądanych podziałów. Najczęściej są to pochodne hydrochinonu lub para-benzochinonu odgrywające przeciwną rolę niż środki inicjujące proces termicznego lub fotochemicznego utwardzania. Jako inicjatory termiczne stosuje się dwa rodzaje nadtlenu, które zapewniają równomierne utwardzanie w zakresie $55 \div 85^\circ\text{C}$ dla ciepłej wody i w zakresie $55 \div 115^\circ\text{C}$ dla pary wodnej oraz redukują zawartość szkodliwego styrenu. Natomiast fotoinicjatory umożliwiają utwardzanie za pomocą promieni UV. Dla długości fali $370 \div 420 \text{ nm}$ stosowany jest tlenek acylofosfiny. Długość fali z zakresu $330 \div 370 \text{ nm}$ wymaga zastosowania innego fotoinicjatora. Dużą umiejętnością techniczną jest dobór takiego fotoinicjatora zapewniającego skuteczne utwardzanie lineru o grubej ściance.

Linery utwardzane termicznie wymagają stabilnych wypełniaczy obniżających wysoką temperaturę procesu utwardzania (230°C) powodującą powstanie niepożądanych rys w laminacie. Następną, niemniej ważną fazą renowacji jest schładzanie lineru po utwardzeniu. Czynność tę należy przeprowadzić zgodnie z obowiązującymi wymogami technologicznymi. Brak zachowania odpowiednich reżimów skutkuje również powstaniem rys w laminacie. Udział objętościowy wypełniaczy wynosi $8 \div 20\%$ i dlatego niezbyt skutecznie ograniczają one skurcz żywicy po utwardzeniu. Czysta żywica poliestrowa wykazuje skurcz objętościowy $8 \div 10\%$. Wypełniacze są w stanie zredukować ten skurcz tylko w zakresie $6 \div 9\%$. Redukują one również koszty procesowo-technologiczne. W praktyce renowacyjnej stosowane są: krzemian glinowy (Al_2SiO_5 lub $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$), mąka kwarcowa i tlenek glinowy.

Dodatki procesowe należą do związków polimerowych powierzchniowo aktywnych ułatwiających nawilżanie żywicą włókien szklanych i syntetycznych, jak również wypełniaczy. Zapobiegają one także tworzeniu się pustek powietrznych.

Ważnymi komponentami lineru są folie: folia zewnętrzna (preliner) i folia wewnętrzna umożliwiająca inwersyjną instalację lineru. Preliner zapobiega uwalnianiu się szkodliwego dla

zdrowia styrenu z żywicy poliestrowej i wypłukiwaniu żywicy podczas renowacji przewodu operującego poniżej wody gruntowej. Folie linerów na bazie żywic poliestrowych i winylowych wykonywane są z poliamidu polietylowego lub polietylenu poliamidu polietylowego. Alternatywą dla folii poliamidowych są folie poliuretanowe stanowiące skuteczną barierę przed styrenem. Liny GRP wyposażone są często w dwie folie zewnętrzne. Jedna poliamidowa chroni przed emisją styrenu, a druga wzmacnia mechanicznie rękaw podczas utwardzania i reflektuje promienie UV.

Metody utwardzania linerów

Linery filcowe są najczęściej utwardzane termicznie za pomocą ciepłej wody o temperaturze $80 \div 85^\circ$ i systemu inicjatorów termicznych. Ciepła woda spełnia wstępnie rolę medium inicjującego proces utwardzania, a następnie schładza reakcję chemiczną. Rękawy filcowe utwardza się również parą wodną o temperaturze $110 \div 115^\circ$ i odpowiednimi inicjatorami. Zaletą pary wodnej w porównaniu z ciepłą wodą jest zdecydowanie krótszy czas utwardzania.

Promienie UV przedstawiają korzystniejszą metodę ze względu na jeszcze krótszy czas utwardzania, szczególnie w przypadku linerów o małych i średnich grubościach ścianek. Fakt ten ma istotne znaczenie, gdy renowacje przewodów kanalizacyjnych są realizowane w dużych centrach aglomeracyjnych. Innym ważnym aspektem jest występowanie małego stanu naprężenia w kierunku podłużnym i możliwość quasi jednoczesnego utwardzania wielu fragmentów lineru. Efekt utwardzania promieniami UV zależy od dwóch czynników: prędkości przejazdu łańcucha lamp i mocy ich promieniowania. Prędkość jest zdefiniowana w opisie procedury renowacyjnej i musi być automatycznie dokumentowana. Lampy należy atestować po upływie określonego czasu pracy i sporządzać dokumentację przeprowadzonych badań. Na rys. 2 przedstawiono liner typu GRP DN 300 mm utwardzony promieniami UV. Widoczne zagłębienia radialne są złudzeniem optycznym. W miejscach tych znajdują się zintegrowane z rękawem taśmy z włókna szklanego.

Utwardzanie promieniami UV można połączyć z metodą termiczną, co z kolei wymaga zastosowania inicjatorów fotochemicznych i termicznych. Celem powyższego rozwiązania było przyśpieszenie procesu utwardzania, szczególnie w przypadku linerów o grubych ściankach, to znaczy o dużych przekrojach.



Rys. 2. Liner typu GRP DN 300 mm utwardzony promieniami UV (źródło: Raganowicz)

Zabiegi te nie rozwiązały problemu utwardzania zewnętrznej warstwy linera. Dlatego też przestrzeganie reżimów wykonawczych w postaci prędkości przejazdu łańcucha lamp, jak i ich mocy promieniowania decyduje o powodzeniu renowacji. Przestrzeganie procedur renowacyjnych jest obowiązkiem wykonawcy, a ich kontrola spoczywa na nadzorze budowlanym.

Parametry mechaniczne popularnych rękawów renowacyjnych

Linery filcowe z włókien syntetycznych osiągają, zależnie od zawartości wypełniaczy, moduł sprężystości w zakresie 3500 ÷ 4000 N/mm². Biorąc pod uwagę współczynnik bezpieczeństwa realna wartość modułu wynosi 2800 N/mm². Natomiast wytrzymałość na zginanie przyjmuje wartości w zakresie 36 ÷ 38 N/mm², a pełzanie po 24 h 8 ÷ 12%.

Linery typu GRP osiągają przy 35% udziale włókien szklanych i współczynnika bezpieczeństwa 1,8 moduł sprężystości o wartości 7000 N/mm², wytrzymałość na zginanie rzędu 60 N/mm² i pełzanie po 24 h 6 ÷ 7%. Parametry mechaniczne są w przypadku większej zawartości włókien szklanych jeszcze korzystniejsze.

Nowoczesne linery przedstawiają wysoko rozwinięte produkty budowlane, co nie oznacza, że branża renowacyjna nie wymaga dalszego rozwoju i badań. Rękawy filcowe z włókien syntetycznych mogą wykazywać zarysowania podłużne będące efektem utwardzania termicznego i braku wzmocnienia w postaci włókien szklanych. Problem ten występował również podczas utwardzania parą wodną, ale w wyniku optymalizacji receptury i procesu instalacji linera przestał praktycznie istnieć. We wstępnej fazie zastosowania promieniowania UV okazało się, że wewnętrzna i środkowa warstwa rękawa jest dobrze utwardzona. Problematyczna była warstwa zewnętrzna pozostająca w stanie płynnym wskutek niedostatecznego napromieniowania. Nowoczesne lampy emitujące promieniowanie UV są zdecydowanie efektywniejsze, a cykliczne atestowanie ich funkcjonalności zapewnia równomierne i skuteczne utwardzanie linerów, nawet o bardzo grubych ściankach. Innym ważnym aspektem utwardzania promieniami UV jest zachowanie odpowiedniej prędkości przejazdu łańcucha lamp przez odnawiany przewód kanalizacyjny.

Inne popularne systemy renowacyjne

Branża renowacyjna oferuje szeroką paletę systemów umożliwiających skuteczne odnawianie przewodów kanalizacyjnych. Dużą grupę tworzą linery z polietylenu (PE) lub polietylenu o wysokiej gęstości (HDPE). Przedstawicielami tej grupy są:

- lining with discrete pipes – pojedyncze odcinki rur o połączeniach stykowych,
- lining with close-fit pipes – rura ciągła,
- compact-pipe – linery w kształcie litery C lub U.

Pierwsza metoda oparta jest na pojedynczych odcinkach rur wprowadzanych do odnawianego przewodu przez studzienkę rewizyjną łączonych za pomocą muf stykowych i przeciąganych do następnej studzienki rewizyjnej. Innym wariantem tego

systemu jest możliwość doczołowego zgrzewania rur polietylenowych. W przypadku drugiej metody rura ciągła wciągana jest bezpośrednio z bębna przez studzienkę rewizyjną do odnawianego przewodu. Ostatni system wykorzystuje tak zwany *memory effect*. Linery polietylenowe są formowane w zakładzie produkcyjnym do postaci litery U lub C, co ułatwia ich wciąganie do odnawianego przewodu. Następnie liner jest dopasowywany do odnawianego przewodu pod wpływem działania pary wodnej pod wysokim ciśnieniem, to znaczy, że przyjmuje uprzednią formę dzięki *memory effect*. Ostateczne dopasowanie linera do odnawianego przewodu (*close-fit*) wymaga jeszcze wyższego ciśnienia pary wodnej [6].

Ważnymi komponentami linera typu compact-pipe są zakończenia w obydwu studzienkach rewizyjnych niejednokrotnie decydujące o jego szczelności. Standardowo są one wykonywane z zapraw na bazie mineralnej, które nie łączą się z polietylenem i nie zapewniają długoterminowej szczelności. Lepszym rozwiązaniem są manszety typu Quick-Lock gwarantujące szczelne połączenie linera ze starą rurą. Fachowe wykonanie zakończenia wymaga niejednokrotnie renowacji studzienki rewizyjnej. Po otwarciu przykanaliki są doszczelniane profilem kapeluszkowym (rys. 3). Na kołnierzu tego profilu znajduje się uszczelka gumowa i spirala stalowa umożliwiająca jego zgrzanie z linerem w przewodzie głównym. Odnogę profilu stanowi krótki rękaw, który jest zespolony z kołnierzem i nasącza się go żywicą. Cały profil jest instalowany za pomocą specjalnego robota kanałowego. Technologia compact-pipe stosowana jest w zakresie średnic DN 100 ÷ 500 mm.

Jedną z opcji renowacji przewodów przelazowych jest technologia Trolining® (po niemiecku *Noppenbahnschlauchverfahren*) lub technologia montażowa wykorzystująca segmenty GRP. Pierwsza metoda oparta jest na linerze z polietylenu (HDPE) z gęstą siecią stopek (dystansów) powodujących powstanie szczeliny pierścieniowej między linerem i przewodem. Rękaw zostaje wciągnięty przez studzienkę rewizyjną wciągarką linową do przewodu i następnie za pomocą sprężonego powietrza lub wody nadaje mu się wymiary odnawianego przewodu. W przypadku infiltracji wody gruntowej konieczne jest wbudowanie folii zewnętrznej (preliner). Kolejną fazą instalacji jest wypełnienie szczeliny pierścieniowej kompozytem mineralnym, przy czym iniekcję rozpoczyna się od najniższego punktu odnawianego odcinka przewodu kanalizacyjnego. W szczegól-



Rys. 3. U-liner DN 150 mm i profil kapeluszkowy z kołnierzem wyposażonym w uszczelkę i spiralę umożliwiającą zgrzanie z linerem w kanale głównym (źródło: Raganowicz)

nych przypadkach można wbudować podwójną powłokę polietylenową. Do zakończenia przykanalików stosuje się tę samą technikę jak w przypadku linerów compact-pipe. Technika Trolining® można zastosować do przewodów o zakresie średnic DN 250 ÷ 2000 mm.

Metoda montażowa opiera się z reguły na segmentach z GRP, których produkcja jest dostosowana do profilu i wymiarów odnawianego przewodu. Łączenie segmentów odbywa się za pomocą muf stykowych lub ręcznego laminowania. Do innych zalet tej technologii należy zaliczyć możliwość renowacji odcinków wykazujących krzywizny o różnych promieniach. W tym celu produkowane są odpowiednio krótkie segmenty. Do szczeliny pierścieniowej iniektuje się kompozyt na bazie mineralnej w celu ostatecznego doszczelnienia całego systemu. Istotnym, uciążliwym wymogiem montażowym jest wykonanie tak zwanej studni startowej, przez którą wprowadzane są segmenty o długości przekraczającej średnicę studzienki rewizyjnej.

Kolejnym popularnym systemem renowacji przewodów przełączowych jest technologia tak zwanej nawijającej się rury w postaci taśmy z PVC z pojedynczym lub podwójnym zamkiem na krawędzi. Instalacja linera jest realizowana ze studzienki rewizyjnej, w której umieszcza się maszynę nawijającą taśmę PVC. Kolejno nawijane zwoje dopasowują się do przekroju odnawianego przewodu i uszczelniają go w wyniku zamykania się zamka klikowego (rys. 4).

W celu doszczelnienia wbudowanego linera wypełnia się szczelinę pierścieniową lekkim betonem porowatym. Po otwarciu przykanalików jedną z możliwości wykonania zakończenia jest wbudowanie systemu „SWP-hatform-fix (PVC)” niemieckiej firmy Geiger metodą zgrzewania [5]. W ten sposób uzyskuje się homogeniczne połączenie linera z profilem kapeluszowym (rys. 5).

Zaletą technologii nawijającej się rury jest możliwość odnowy wszystkich przewodów niezależnie od ich przekroju w zakresie średnic do DN 2400 mm.

Zaprezentowany przegląd popularnych systemów renowacyjnych wskazuje na ich dużą różnorodność w kontekście techniczno-technologiczno-wykonawczym. Wybór optymalnego rozwiązania nie jest łatwy i zależy od wielu uwarunkowań. Istotną rolę odgrywają aspekty lokalne, takie jak dostępność, natężenie ruchu kołowego, wielkość strumienia wydatku i jakość ścieków. Renowacja przewodów kanalizacyjnych powinna być realizowana bez obecności w nich ścieków. W związku z tym niejednokrotnie zachodzi konieczność zaplanowania odpowiedniego baypasu zwiększającego w istotny sposób koszty całego zadania inwestycyjnego. Zabiegi renowacyjne powinny być tak zaplanowane i realizowane, aby nie ograniczały one codziennej eksploatacji sieci kanalizacyjnej. Dlatego też eksploatatorzy sieci powinni aktywnie brać udział w planowaniu i realizowaniu odnowy. Projektanci nie zawsze w dostatecznym stopniu respektują wymogi eksploatacyjne, ponieważ ich kontakt z obiektem kończy się po przeprowadzeniu odbioru technicznego. Od tego momentu eksploatator jest konfrontowany z wynikami przeprowadzonej odnowy. Realizację każdej inwestycji renowacyjnej powinna zakończyć dyskusja na temat kosztów, terminów, techniki i aspektów wykonawczo-eksploatacyjnych. Efektem takiej dyskusji powinny być praktyczne wnioski i uwagi umożliwiające optymalizację przyszłych zadań renowacyjnych.



Rys. 4. Renowacja przewodu kanalizacyjnego techniką nawijającej się rury [5]



Rys. 5. Zakończenie przykanalika za pomocą systemu „SWP-hatform-fix (PVC)” [5]

KONKLUZJA

Renowacja przewodów kanalizacyjnych stała się w międzyczasie standardem eksploatacyjnym. Prawie 50-letnie doświadczenia stosowania odnowy infrastruktury kanalizacyjnej przyczyniło się do dynamicznego rozwoju tej dziedziny techniki. Zasadniczym zadaniem renowacji jest zahamowanie procesów starzeniowych obiektów liniowych, jednak również zapobieganie niebezpiecznym zawaleniom, które mogą doprowadzić do katastrofy o charakterze budowlanym.

Przewody kanalizacyjne należy poddać odnowie, gdy przewiduje się szybki progres uszkodzeń. Ustalenie tego ważnego momentu eksploatacyjnego jest możliwe dzięki cyklicznemu monitoringowi sieci. Na bazie dokumentacji telewizyjnej i odpowiednich programów klasyfikujących uszkodzenia i stan techniczny każdego pojedynczego przewodu możliwe jest ustalenie koniecznego zakresu zabiegów renowacyjnych. Odnowa sieci przynosi konkretne efekty ekonomiczno-eksploatacyjne. Natomiast brak jej realizacji może doprowadzić do niepożądanych skutków, a w konsekwencji nawet do katastrofy budowlanej.

Jedną z najbardziej spektakularnych katastrof przewodu kanalizacyjnego miała miejsce w Stanach Zjednoczonych, w Seattle w 1957 roku. Kanał murowany DN 2000 mm zbudowany w podłożu spoistym metodą górniczą na głębokości 45 m w latach 1909-1913 uległ zawaleniu w wyniku infiltracji wód gruntowych do jego wnętrza [3]. W wyniku katastrofy powstał krater o powierzchni 30×40 m i głębokości 45 m.

LITERATURA

1. DIN EN 752, Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement, Juli 2017.
2. DWA A-143-2, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining- und Montageverfahren, 2015.
3. Kuliczkowski A.: Katastrofy kanalizacyjne i ich przyczyny, Przegląd Budowlany, 3/2008.
4. Lorenz R.: Materialien und Werkstoffeigenschaften bei modernen Linern, UmweltBau Kongressausgabe 2008.
5. Materiały reklamowe firmy Geiger plus strona internetowa www.geigergruppe.de.
6. Materiały reklamowe firmy WAVIN plus strona internetowa www.wavin.de.