

Bezwykopowa renowacja kanalizacji ściekowej w Gdyni

Sposób na utrzymanie zbiorczego systemu kanalizacyjnego

Wiesław Kujawski, PEWIK Gdynia Sp. z o.o.

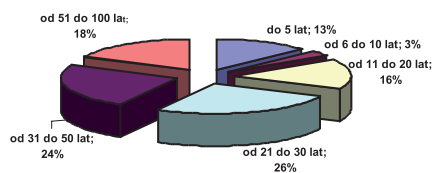
Dostępność i poziom usług wodociągowych i kanalizacyjnych tworzy podstawowe warunki do rozwoju miast. Od prawidłowego działania i rozwoju tej infrastruktury zależy właściwe funkcjonowanie każdej aglomeracji.

Gdyński system kanalizacyjny to system rozdzielczy. Obejmuje swoim zasięgiem tereny miast: Gdyni, Rumi, Redy, Wejherowa oraz część gminy Kosakowo. Obsługuje bardzo zróżnicowaną zlewnię o niezwykle zmiennej topografii. Ukształtowanie terenu powoduje konieczność dwu-, a nawet trzykrotnego pompowania ścieków od dostawcy do miejsca ich unieszkodliwiania, tj. do grupowej oczyszczalni „Dębogórze”. Na system, który realizuje to zadanie, składa się ponad 800 km sieci kanalizacyjnych wraz z przyłączami oraz 46 przepompowni ścieków.

W miastach Rumia, Reda, Wejherowo oraz w gminie Kosakowo przeważa budownictwo mieszkalne z niewielką ilością zakładów przemysłowych, natomiast Gdynia ma wyraźny podział na tereny mieszkalne wraz z towarzyszącymi im funkcjami usługowymi w postaci zakładów wytwórczych i drobnych warsztatów oraz na tereny przemysłowe zlokalizowane w północnej części miasta, okalające baseny portowe i stocznie.

W systemie kanalizacyjnym eksploatowanym przez PEWIK Gdynia, w którym wiek kanałów nie przekracza 100 lat, podstawowymi materiałami używanymi do budowy rurociągów kanalizacyjnych były: kamionka i Vipro (72%) oraz PCV (23%). Niektóre fragmenty systemu wykonano z rur żeliwnych (3%) i rur betonowych (2%).

STRUKTURA WIEKOWA KANALIZACJI ŚCIEKOWEJ



Rosnące oczekiwania wysokiej jakości usług w zakresie zbiorowego odprowadzania ścieków wymuszają konieczność wprowadzania i stosowania nowoczesnych technologii eksploatacji i remontów oraz podejmowania działań w zakresie podnoszenia niezawodności funkcjonowania systemu kanalizacyjnego. Oczekuje się przy tym, że poddawane modernizacji elementy infrastruktury nie będą powodowały przerw w świadczeniu usług, a jednocześnie nie wpłyną negatywnie na funkcjonowanie miasta, jego szeroko rozumianej komunikacji i bezpieczeństwa ruchu.

Konieczne stało się, aby w codziennych działaniach z zakresu strategii rehabilitacji technicznej przewodów odejść od strategii „straży pożarnej” i odciążeniowej, a przejść do strategii okresowej wymiany i odnowy z inspekcją, przy docelowym dążeniu do wdrożenia prognozowanej strategii odnowy z inspekcją.

Stan techniczny kanałów

W ciągu ostatnich lat obserwowany jest przyspieszony proces degradacji kanałów ściekowych, który w ekstremalnych przypadkach przybiera zjawisko katastrofy budowlanej, zagrażającej ludziom i budowlom w zasięgu oddziaływania zdarzenia. Na podstawie zgromadzonych danych można stwierdzić, iż proces ten spowodowany jest:



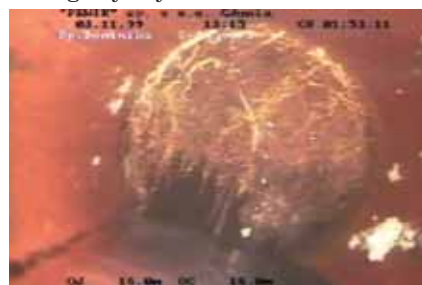
□ oddziaływaniem zwiększonego ruchu kołowego na drogach nie przygotowanych do tego zarówno konstrukcyjnie, jak i technicznie;



□ błędami na etapie wykonawstwa, ujawniającymi się niejednokrotnie po wielu latach eksploatacji;
□ uszkodzeniami spowodowanymi w trakcie realizacji robót drogowych lub układaniem innych elementów infrastruktury;



□ agresywnym charakterem ścieków;



□ wrastaniem korzeni drzew.



Uszkodzenie kanału ściekowego o średnicy DN 400 mm, spowodowane wprowadzaniem do kanalizacji agresywnych ścieków (zawierających kwas siarkowy i solny)

Wymusza to zwiększenie intensywności działań diagnostycznych i prac remontowych.

Zastosowanie do diagnostyki i eksploatacji kanałów nowoczesnego sprzętu, jak zestaw do inspekcji TV czy też wielofunkcyjny wóz ciśnieniowy, zwiększyło dokładność i precyzję określania rzeczywistego stanu technicznego rurociągów. Naprawę jednak nigdy nie ma całkowitej pewności, że wszystkie słabe miejsca zostaną wychwycone i naprawione w taki sposób, aby uniknąć katastrofy budowlanej.

Podstawą wyboru optymalnej metody modernizacji jest zgromadzenie możliwie pełnej informacji na temat rurociągu i wykonanie analiz obejmujących pożądane docelowe parametry pracy odnowionego przewodu.

Ocena stanu technicznego kanałów, prowadzona przez służbę PEWIK w Gdyni, jest wynikiem obserwacji bieżącej eksploatacji, planowanych czyszczeń i inspekcji TV, analizy ilości i przyczyn zatorów, zaobserwowanych zjawisk w studzienkach kanalizacyjnych, wizualnej oceny stanu budowlanego oraz sprawności funkcjonowania urządzeń kanalizacyjnych.

W ocenie stanu technicznego kolektorów uwzględnia się także wszystkie czynniki mające wpływ na eksploatację, a przede wszystkim prędkość przepływu w kolektorach, napęnienia zmierzone przepływomierzem oraz sprawdzone bezpośrednio w studniach podczas przeglądu. Sprawdzana jest wielkość zalegania osadów, stan komór i studni, stan ścian w rurociągach, warunki gruntowe w jakich pracują, lokalizacja, zagłębienie, materiał z jakiego zostały wybudowane kolektory oraz ich wiek i czasokres eksploatacji. Istotnym elementem oceny jest także prowadzony systematycznie monitoring jakości ścieków ze szczególnym uwzględnieniem ścieków przemysłowych.

Szczególną uwagę przy ocenie stanu technicznego zwraca się na nieszczelności, przeszkody w przepływie, zapadnięcia, pęknięcia rur, rysy i ubytki, deformacje profilu, uszkodzenia powłok, korozję oraz mechaniczne zużycie rurociągów. Wody przypadkowe i opadowe są przez każdego eksploatatora sieci postrzegane jako niechciane. Ich nadmiar, pochodzący z infiltracji, jest wyraźnym sygnałem do przeprowadzenia renowacji kanału.

W normalnych warunkach eksploatacyjnych inspekcje kanałów nieprzełazowych przeprowadzane są co 10 lat, a w szczególnych co dwa lata, np. w drogach o dużym natężeniu ruchu, w skrzyżowaniach z torami kolejowymi, ze względu na wiek lub uszkodzenia. Inspekcja studzienek rewizyjnych z obchodem obejmuje otwarcie studzienek, zejście do studni i optyczną inspekcję, łącznie z kontrolą stopni zjazdowych oraz ewentualnym stwierdzeniem szkód. Inspekcja studzienek rewizyjnych bez obchodu obejmuje otwarcie studzienek, optyczną inspekcję z ulicy i ewentualne stwierdzenie szkód. W zależności od rodzaju inspekcji ich realizacji z obchodem odbywa się co 5 do 10 lat, a bez obchodu corocznie albo co dwa lata.

Kryteria wyboru technik renowacyjnych

Realizacja prac remontowych i modernizacyjnych w mocno zurbanizowanych terenach tradycyjną metodą w otwartym wykopie jest bardzo kosztowna, a w wielu wypadkach wręcz niemożliwa.

Dlatego też coraz popularniejsza staje się modernizacja rurociągów metodami bezwykopowymi jako sposób przywrócenia sprawności starym przewodom, zapewniający im drożność, szczelność i odpowiednią wytrzymałość – w zależności od metody zastosowanej dla danego przypadku. Metody te umożliwiają wykonanie niezbędnych napraw przy znacznej redukcji kosztów przedsięwzięcia.

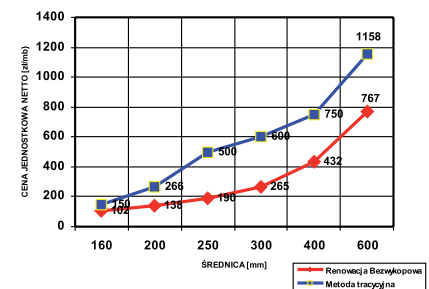
Nie ulega wątpliwości, że w pierwszej kolejności należy jednak ustalić, z jakiego rodzaju uszkodzeniem mamy do czynienia, a co za tym idzie – precyzyjnie określić zakres rzeczuwy prac. Przy wyborze samej technologii nie do pominięcia jest fakt, iż zastosowanie renowacji lub wymiany zapewnia dodatkowe korzyści, polegające na poprawie hydrologiki przewodu, obniżeniu kosztów eksploatacyjnych i skutecznym rozwiązaniu problemu wytrzymałości przewodu na co najmniej 50 lat.

W praktyce PEWIK istotnymi kryteriami decydującymi o sposobie dokonania naprawy, poza aspektem kosztowym, jest także zagadnienie niezawodności pracy system kanalizacyjnego (ciągłość odbioru ścieków) i możliwości technicznej realizacji renowacji, wynikające z lokalizacji uszkodzonego przewodu. Dlatego też konieczne jest zgromadzenie jak największej informacji na temat odnawianego rurociągu. Istotne są tutaj: minimalna średnica rurociągu i jego drożność, a także liczba koniecznych wykopów pośrednich (w miejscach występowania łuków, trójników, przyłączy domowych itp.). Należy też sprawdzić

możliwość organizacji placu budowy stosowanie do wymagań wybranej technologii.

Z dotychczasowych doświadczeń jednoznacznie wynika, iż w przypadku konieczności wykonania prac na obszarze mocno zurbanizowanym, techniki bezwykopowe są niewątpliwie korzystniejsze od tradycyjnych. Wynika to nie tylko z aspektu niezawodności, ale także kosztowego. Na wykresie poniżej zestawiono porównanie jednostkowych kosztów odbudowy kanałów sanitarnych metodą tradycyjną i bezwykopową dla uśrednionej głębokości posadowienia 3,5 m. Uwzględnione przy tym zostały elementy kosztowe, jak: materiał i robocizna, zajęcie i oznakowanie pasa drogowego, organizacja ruchu na czas trwania robót, odtworzenie nawierzchni, odszkodowania dla właścicieli nieruchomości, roboty ziemne wraz z wymianą gruntu i odwodnieniem wykopu, rozwiązanie „kolizji” z istniejącymi uzbiorzeniami.

JEDNOSTKOWE KOSZTY NAPRAWY KANALIZACJI ŚCIEKOWEJ



Podjęcie decyzji o naprawie bezwykopowej to jednak dopiero początek procedury decyzyjnej. Nie można bowiem zapomnieć, iż projekt normy EN 13689:2000 *Guidance on the classification and design of plastics piping systems used for renovation (Przewodnik po klasyfikacji i projektowaniu systemów rurowych z tworzyw sztucznych stosowanych w renowacji)* [3] techniki renowacyjne grupuje w następujące rodziny technik:

- renowacja rurą ciągłą (tzw. sliplining, długi relining), techniki wykorzystywane do renowacji rurociągów ciśnieniowych i becciśnieniowych;
- renowacja rurą ciasno pasowaną (np. Compact Pipe, Omega Liner, Compact SlimLiner, Swagelining itd.), techniki wykorzystywane do renowacji rurociągów ciśnieniowych i/lub becciśnieniowych;
- renowacja rurą utwardzaną na miejscu (tzw. rękawem), techniki wykorzystywane do renowacji rurociągów ciśnieniowych i/lub becciśnieniowych;
- renowacja modułami rurowymi (tzw. shortlining, krótki relining), techniki wykorzystywane tylko do renowacji rurociągów becciśnieniowych;
- renowacja poprzez wprowadzenie węży (np. Thermopipe), techniki wykorzystywane tylko do renowacji rurociągów ciśnieniowych;
- renowacja rurą spiralnie zwijaną (np. Rib-Lock), techniki wykorzy-

stywane tylko do renowacji rurociągów bezcisnieniowych;

- renowacja segmentami rurowymi (np. Channeline), techniki wykorzystywane tylko do renowacji rurociągów bezcisnieniowych – metoda poza zakresem normy z powodu braku informacji technicznej.

A zatem przed ostatecznym wyborem techniki renowacyjnej należy określić funkcje, jakie winna spełniać wykładzina w eksploatowanym rurociągu. Czy ma ona: oddzielać wewnętrzną powierzchnię istniejącego rurociągu od transportowanego medium, zapobiegając ich wzajemnemu, niekorzystnemu oddziaływaniu (np. korozji rurociągu wskutek agresywnych właściwości wody), czy też uszczelniać istniejący rurociąg, zabezpieczając przed infiltracją wód gruntowych lub eksfiltracją transportowanego medium przez nieszczelne połączenia, pęknięcia lub dziury, bądź stabilizować lub wzmacniać strukturę istniejącego rurociągu (np. gdy efektem korozji jest utrata wytrzymałości lub istnieje potrzeba zwiększenia ciśnienia roboczego), albo też zapewnić odpowiednią wydajność hydrauliczną (np. zapewnienie większej gładkości powierzchni wewnętrznej).

Stwierdzamy, iż główne korzyści wynikające ze stosowania technik renowacyjnych w stosunku do wymiany rurociągu w otwartym wykopie, to niewielka ilość niezbędnych prac ziemnych i krótszy czas trwania prac renowacyjnych. W mniejszym stopniu negatywnie wpływają na środowisko, niosą ze sobą mniejsze utrudnienia w funkcjonowaniu miasta i codziennym życiu ludzi, a co najważniejsze umożliwiają szybkie i niezawodne przywrócenie pełnej sprawności systemowi kanalizacyjnemu.

Zagadnienia związane z technologią renowacji

Różne techniki renowacyjne mają różne wymagania w zakresie potrzebnej przestrzeni roboczej i aspektów ekologicznych. W zależności od warunków lokalnych może to mieć wpływ na wybór techniki. Istotnymi elementami warunkującymi wybór techniki renowacji są: możliwość organizacji placu budowy, dostęp do naprawianego rurociągu (możliwość wykorzystania istniejących studni, wykopy punktowe, zastosowanie robotów np. do otwierania przykanalików), dostęp do istniejących przyłączy w celu ich włączenia, powierzchnia niezbędna dla potrzeb pracy sprzętu do czyszczenia, inspekcji i montażu oraz przygotowania i wprowadzenia rury wykładzinowej, możliwość czasowego składowania materiałów technologicznych i odpadów.

Stopień oddziaływania na środowisko zależy głównie od zakresu prac ziemnych, natężenia pracy sprzętu roboczego, sposobu zagospodarowania odpadów powstałych podczas czyszczenia, prac ziemnych i instalacyjnych, wpływu robót na zmiany w organizacji ruchu drogowego, rodzaju zastosowanych materiałów technologicznych (środki smarne, oleje hydrauliczne, żywice, kleje itp.).

W praktyce eksploatacyjnej PEWIK

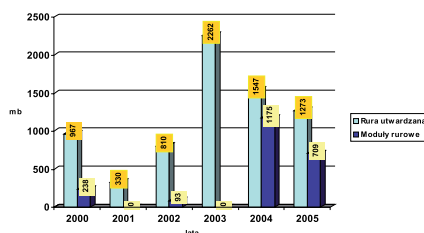
Gdynia do renowacji kanałów ściekowych stosuje następujące technologie:

- renowacja rurą utwardzaną na miejscu (tzw. rękawem),
- renowacja modułami rurowymi (tzw. shortlining, krótki relining),
- naprawy punktowe.



Pierwsze naprawy bezwykopowe w systemie kanalizacyjnym PEWIK zrealizowane zostały w roku 1998 i od tego momentu stały podstawą napraw i modernizacji grawitacyjnych kanałów ściekowych. Uzyskiwane pozytywne efekty, eksploatacyjne i ekonomiczne, spowodowały, że jedna z metod – renowacja modułami rurowymi – system WIR – została zaadaptowana do stosowania przez służby eksploatacyjne PEWIK jako rutynowe działania remontowe i zapobiegawcze.

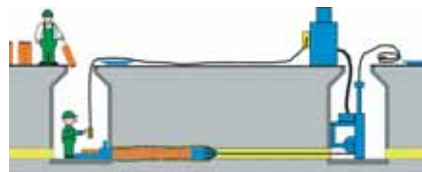
RENOWACJE BEZWYKOPOWE WYKONANE PRZEZ PEWIK GDYŃ W LATACH 2000 - 2005



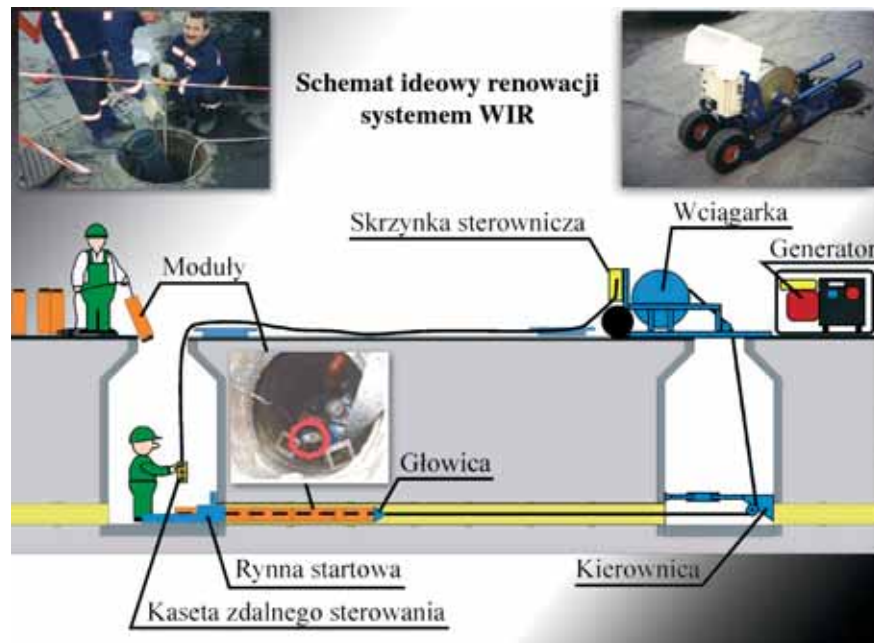
W systemie WIR moduły są wciągane za pomocą liny zaczepianej za pośredni-

ctwem tzw. zabieraka za ostatnio dołożony moduł i przechodzącej przez wnętrza zmontowanych już modułów.

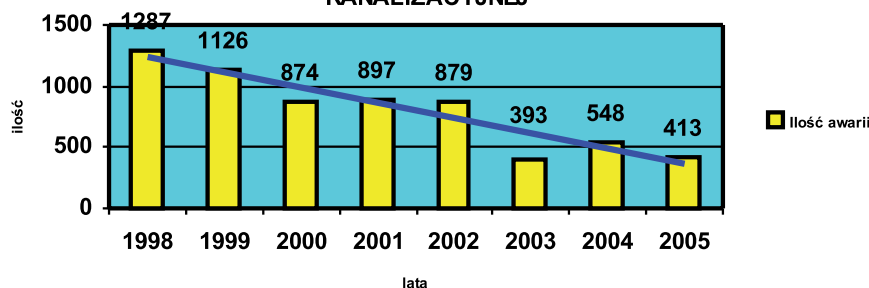
W podobny sposób przebiega renowacja połączona z powiększeniem średnicy kanału lub jej zachowaniem w dotychczasowej wartości.



Wykonywane obecnie przez służby eksploatacyjne PEWIK renowacje bezwykopowe skutecznie przywracają zniszczonym kanałom właściwy stan techniczny, podnosząc jednocześnie niezawodność pracy systemu kanalizacyjnego. Poprawa parametrów hydraulicznych ułatwia dalszą eksploatację układu, a działania prewencyjne zamiast działań o charakterze „straży pożarnej” obniżają koszty funkcjonowania służb. Możliwe staje się wówczas prowadzenie działań o charakterze optymalizacyjnym i rozwojowym. Nie ulega wątpliwości, iż przeprowadzone dotychczas naprawy i renowacje bezwykopowe, oprócz obniżenia kosztów utrzymania niezawodności pracy systemu, w istotny sposób wpłynęły na ograniczenie zdarzeń o charakterze awaryjnym.



ZDARZENIA AWARYJNE NA GRAWITACYJNEJ SIECI KANALIZACYJNEJ



Integralnym elementem procedury wyboru technologii naprawy i jej praktycznego wdrożenia są warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać przewody po renowacji. Obejmuje ona poniższe elementy.

Połączenia rur – przemieszczenia rur na ich połączeniach nie powinny przekraczać 12 mm.

Trasa przewodu – niedopuszczalna jest zmiana trasy ułożenia przewodu.

Szczelność – przewód powinien być szczelny na infiltrację oraz na eksfiltrację zgodnie z normą PN-EN 1610:2002.

Dopuszczalny ubytek/dopływ wody V_w do/z przewodu nie powinien przekroczyć:

$$V_w \leq V_{w3} \cdot F_r \cdot t \text{ [dm}^3\text{]} \\ \text{gdzie:}$$

F_r – powierzchnia wewnętrzna ścian badanego przewodu, $F_r = \pi \cdot d_{\text{we}} \cdot L$
 L – długość odcinka między studzienkami/komorami

t – czas trwania próby,

$$V_{w3} = 0,3 \text{ [dm}^3\text{/(m}^2\text{·h)}\text{]}.$$

W przypadku określania szczelności przewodu wraz ze studzienkami/komorami dopuszczalny ubytek/dopływ wody V_w nie powinien przekroczyć (oznaczenia jak po wyżej):

$$V_w \leq V_{w3} \cdot (F_r + F_s) \cdot t \text{ [dm}^3\text{]}$$

Powierzchnia wewnętrzna przewodu po renowacji nie może posiadać nierówności wynikających z wad technicznych lub wad montażu użytego do renowacji materiału, powinna stanowić jednolitą powłokę, przylegającą do powierzchni wewnętrznej ścian kanału na całym obwodzie i nie powinna mieć pęcherzy powietrznych, rozwarstwień, odprysków, pęknięć oraz załamania, a w przypadku renowacji metodą rękawa dodatkowo niedopuszczalne jest występowanie złączy, spoin na długości pomiędzy kolejnymi dwiema studzienkami/komorami.

Kierunek spadku kanału w wyniku renowacji należy utrzymać lub uzyskać spadek dna kanału w kierunku obecnego przepływu ścieków, dopuszczalne lokalne przemieszczenie (na połączeniu odcinków rur) nie może przekraczać 12 mm.

Średnica kolektora – w przypadku zastosowania technologii wykładzin ciasno pasowanych dopuszczalne jest zmniejszenie średnicy wewnętrznej przewodu o 8% pierwotnej średnicy wewnętrznej istniejącego przewodu, z zastrzeżeniem, że średnice wewnętrzne kolejnych odcinków przewodu, licząc zgodnie z kierunkiem przepływu ścieków, nie powinny się zmniejszać.

Zabezpieczenia przed korozją – materiały użyte do odtworzenia ścianek przewodów powinny być odporne na wpływ agresywnych substancji mogących się znajdować w surowych ściekach komunalnych.

Odporność wykładziny na ścieranie – przewód po przeprowadzeniu badania na ścieranie (zgodnie z PN-EN 295-3:1999 przy minimalnej ilości cykli równej 100 000) nie powinien posiadać zagłębień większych niż 0,2 mm.

Współpraca wykładziny z przewodem kanalizacyjnym – wykładzina powinna współtworzyć z przewodem kanalizacyjnym jeden element dwu- lub trójwarstwowy, w przypadku występowania wolnych przestrzeni między nowo wprowadzoną wykładziną a istniejącym kanałem należy wypełnić je specjalną masą iniekcyjną (zabezpieczającą przed wyporem wykładziny w przypadku przedostania się wody gruntowej do wolnej przestrzeni między wykładziną a przewodem kanalizacyjnym), wypełniającą wolne przestrzenie poza kanałem, odporną na korozję, mającą neutralne właściwości w stosunku do materiału rury i wykładziny, trwałość eksploatacyjną nie mniejszą niż 30 lat. Do produkcji iniektu należy użyć fabrycznie przygotowanych mieszanek mineralnych, niedopuszczalne jest przygotowanie iniektu na placu budowy, opracowanych na bazie cementu i odpowiednich domieszek. Zastosowany do renowacji iniekt powinien posiadać odpowiednie aprobaty techniczne, dopuszczające dany produkt do stosowania w budownictwie.

Przenoszenie obciążeń – kolektor po renowacji powinien uzyskać wytrzymałość odpowiadającą jego obciążeniom w miejscu montażu (z uwzględnieniem współczynnika bezpieczeństwa wynoszącego co najmniej 1,75 wg wytycznych ATV-A127). Materiały użyte do renowacji kolektora powinny zapewnić przeniesienie całość obciążeń konstrukcji poddawanej renowacji z założeniem, że nośność istniejącego przewodu przenosi obciążenia ze współczynnikiem bezpieczeństwa równym 1,0. Ponadto wykładzina zastosowana do renowacji kolektora musi mieć następujące właściwości: moduł Younga nie mniejszy niż 2100 Mpa, sztywność obwodowa nie mniejsza niż 2 kN/m², odporność na działanie ścieków o pH 4,5-9,5 i temperaturze 0-60° C. Powyższe właściwości należy określać zgodnie z normami; PN-EN ISO 9969, WI 082, PN-EN 1228, PN-EN ISO 178.

Trwałość eksploatacyjna wykładziny powinna wynosić nie mniej niż 30 lat i być potwierdzona przez wyniki odpowiednich testów (przyspieszonego niszczenia, równoważnego w skutkach okresowi typowej eksploatacji) wykonanych przez odpowiednie instytuty badawcze.

Podsumowanie

Wybór technologii naprawy lub modernizacji rurociągu powinien być poprzedzony kompleksową analizą stanu aktualnego i oczekiwanych wymagań w założonej perspektywie czasowej. Najważniejszymi elementami tej analizy winny być: hydraulika systemu (nie pojedynczego odcinka), kondycja wytrzymałościowa modernizowanego odcinka i oczekiwania w zakresie trwałości i niezawodności rozwiązania. W analizie należy także uwzględnić kryteria ekonomiczne, tak aby nie doprowadzić do sytuacji, w której każda naprawa bezkrytycznie wykonywana będzie w technologii, która dla danego przypadku jest niezasadna. Nie można bowiem wykluczać sytuacji, gdy równolegle stosowanych będzie kilka metod naprawy. Prawidłowo przeprowadzona analiza umożliwi zawężenie pola optymalnych rozwiązań do kilku technik w zakresie jednej opcji (tj. napraw punktowych, renowacji lub wymiany). Przy wyborze optymalnej techniki oprócz ceny należy wziąć też pod uwagę inne wymagania funkcjonalne. Wśród nich są takie, jak łatwość wykonywania dodatkowych połączeń, usuwania ewentualnych uszkodzeń, odporność na czynności eksploatacyjne.

Nie wolno także zapominać o tym, że materiały stosowane do renowacji powinny być jakościowo zgodne z obowiązującymi normami polskimi lub normami krajów Unii Europejskiej oraz posiadać aprobaty techniczne, wydane przez odpowiednie instytuty badawcze. Przygotowane do renowacji podłoże betonowe powinno charakteryzować się wytrzymałością na odrywanie, której wartość średnia nie powinna być niższa niż 1,0 MPa, przy czym najmniejsza wartość nie może być niższa niż 0,8 MPa. Niezwykle istotne jest, aby po zakończonej renowacji przeprowadzić niezbędne badania techniczne. W przypadku przeprowadzenia renowacji metodą rękawa lub inną, w wyniku której ostateczna geometria wykładziny ustala się dopiero po jej utrwaleniu, należy wyznaczyć dodatkowo grubość ścianki wykładziny w miejscu jej wbudowania.

Bibliografia

1. PN-EN 752-5: *Zewnętrzne systemy kanalizacyjne – modernizacja.*
2. K. Hochstrate, *Sewer Status Assessment by Rehabilitation Priority, Intrinsic Value and Functionality as Basis for Forecast Supported Inspections and Predictive Rehabilitation Planning*, 6th International Pipeline Construction Show 2000.
3. Projekt EN 13689: 2000 EN 13689: *Guidance on the classification and design of plastics piping systems used for renovation.*
4. A. Roszkowski, *Kryteria wyboru metod modernizacji rurociągów.*