

Ekspertyzy konstrukcyjne przewodów wodociągowych sposobem na **eliminację ich awarii**



■ prof. dr hab. inż. Andrzej Kulickowski, Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych, Politechnika Świętokrzyska

Awarie przewodów wodociągowych są niezwykle uciążliwe zarówno dla odbiorców wody, jak również dla użytkowników terenów, na których mają one miejsce. W trakcie eksploatacji przewodów wodociągowych może wystąpić wiele czynników wpływających na istotną zmianę początkowej wartości współczynnika bezpieczeństwa ich konstrukcji i przyczyniających się do powstania awarii.



Ryc. 1. Rurociąg stalowy \varnothing 200 mm z uszkodzeniami izolacji i powłoki rurowej spowodowanymi zasypką kamienistą wykopu

Ustalenie aktualnej wartości współczynnika bezpieczeństwa konstrukcji przewodów wodociągowych wymaga sporządzenia ekspertyzy konstrukcyjnej, tj. przeprowadzenia stosownych badań poligonowych tych przewodów, a następnie wykonania obliczeń statyczno-wytrzymałościowych.

Ekspertyza konstrukcyjna przewodów wodociągowych umożliwia podjęcie decyzji, czy należy badane przewody:

- wymienić na nowe w wykopie lub bezwykopowo,
- poddać bezwykopowej rekonstrukcji,
- zastosować tańszą od bezwykopowej rekonstrukcji ich bezwykopową renowację,
- w dalszym ciągu bezpiecznie je eksploatować, nie podejmując działań opisanych w punktach a–c.

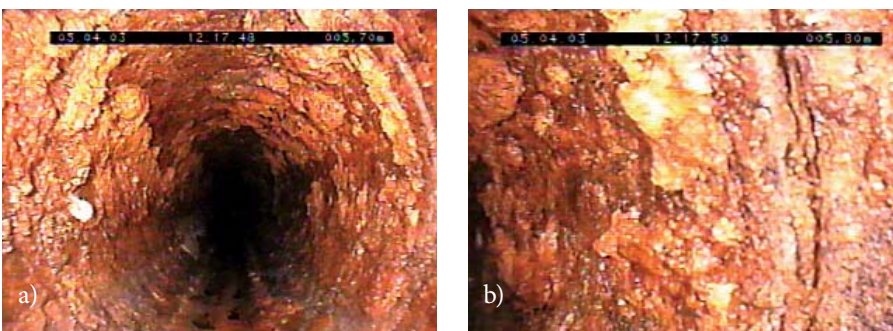
1. Czynniki mające wpływ na zmianę współczynnika bezpieczeństwa konstrukcji przewodów wodociągowych

Do najistotniejszych czynników wpływających na zmianę współczynnika bezpieczeństwa konstrukcji przewodów wodociągowych należy zaliczyć:

Uszkodzenia spowodowane fizykochemicznymi procesami starzenia się rurociągów, w tym głównie korozji zewnętrznej (ryc. 1) lub wewnętrznej



Ryc. 2. Inkrustacja rurociągu żeliwnego (a), widok na ścianę rury z boku (b), fot. A. Kulickowski



Ryc. 3. Inkrustacja rurociągu stalowego (a), widok na ścianę rury z boku (b) [11], fot. A. Kulickowski

powierzchni (ryc. 2, 3), która może występować równomiernie na obwodzie rur lub nierównomiernie, w postaci np. wżerów punktowych. Konsekwencją wżerów punktowych (ryc. 4) mogą być wycieki wody z rurociągu (ryc. 5). W rurach z tworzyw sztucznych obserwuje się z upływem czasu wzrost ich kruchości. Procesom starzeniowym podlegają też dawniej stosowane organiczne materiały powłokowe rur (juta, bitum) i materiały stosowane do uszczelnień złączy rur (sznur konopny lub smołowany).

Uszkodzenia spowodowane użyciem materiałów rurowych o niskiej jakości, np. posiadających wady materiałowe (ryc. 6), niedostateczną ochroną antykorozyjną od wewnątrz, przyspieszającą procesy korozyjne (ryc. 7), niejednakową grubość na obwodzie (ryc. 8) czy wiele innych nieprawidłowości, zestawionych m.in. w [8, 9, 11].

Uszkodzenia spowodowane błędami wykonawczymi, wynikające m.in. z niewłaściwego posadowienia rur (ryc. 9), np. nieprawidłowego rodzaju podłoża lub kąta posadowienia, jak również niewłaściwego wbudowania (wykonania zasypki i zagęszczenia gruntu), niewłaściwego połączenia rur czy nieprawidłowego ich transportu i składowania. Istnieje także cały szereg innych błędów wykonawczych, np. na rycinie 1 pokazano uszkodzenia zewnętrznej powłoki ochronnej rur stalowych spowodowane naciskiem grubych, kamienistych składników gruntu nasypowego, natomiast na rycinie 10 – wgniecenie ścianki rury azbestowo-cementowej przez duży kamień o ostrych krawędziach.

Zmianę obciążeń użytkowych od taboru samochodowego w stosunku do obciążeń, na które rurociąg był projektowany. Dawniej – w zależności od czasu budowy przewodów wodociągowych –



Ryc. 4. Trzy wżery korozyjne „na wylot” w rurze stalowej DN 800 z jednym uszczelnionym od zewnątrz za pomocą drewnianego kołka, fot. A. Kuliczkowski



Ryc. 5. Rurociąg stalowy Ø 500 mm z perforacją dna i widocznymi intensywnymi wytryskami wody [11]



Ryc. 6. Pustki powietrzne w ścianie przeciętej rury z żeliwa szarego, fot. A. Kuliczkowski



Ryc. 7. Nieckowata (w formie „plam”) korozja wewnętrznej powłoki rury stalowej DN 800 z jednym wżerem „na wylot” i niezabezpieczonej od wewnątrz przed korozją, fot. A. Kuliczkowski



Ryc. 8. Rurociąg żeliwny Ø 80 mm o zmiennej grubości ścian od 12,3 do 14,2 mm, fot. A. Kuliczkowski



Ryc. 9. Rurociąg azbestowo-cementowy DN 100 z obwodowym pęknięciem, fot. A. Kuliczkowski



Ryc. 10. Wgniecenie ścianki rury azbestowo-cementowej przez duży kamień o ostrych krawędziach, fot. A. Kuliczkowski

zakładano z reguły znacznie mniejsze obciążenia użytkowe niż obecnie występujące.

Błędne obliczenie współczynnika dynamicznego. Stosowany wcześniej wzór do obliczania współczynnika dynamicznego był błędny i niesłusznie zakładał istnienie oddziaływań dynamicznych tylko do głębokości 1 m p.p.t. Obecnie w zależności od ciężaru pojazdu przyjmuje się współczynnik dynamiczny bez względu na zagłębienie rurociągu, zależnie od ciężaru pojazdu, równy 1,2; 1,4 lub 1,5 [1, 4]. W przypadku nierównych nawierzchni, co często ma miejsce, może on przekraczać nawet wartość 2,0 [1]. W takich sytu-

acjach obciążenia użytkowe rur mogą być znacznie wyższe od wcześniej przyjętych.

Zmianę obciążeń zewnętrznych rurociągu wywołaną np. poszerzeniem nawierzchni ulicznej w obszar nad rurociągiem, który wcześniej znajdował się poza nawierzchnią uliczną.

Zmianę poziomu zwierciadła wody gruntowej powodującą wysuszenie gruntu wokół rurociągu.

Zmianę rodzaju nawierzchni nad rurociągiem, np. z przepuszczalnej na nieprzepuszczalną, powodującą przesuszenie gruntu pod nawierzchnią. W wysuszonym gruncie spoistym zachodzi zjawisko skurczu powodujące wystąpienie dodatkowych naprężeń zginających w rurociągu.

Przebudowę nawierzchni ulicznej na nową będącą przyczyną okresowego przeciążenia rurociągu ciężkimi pojazdami drogowymi (w okresie braku nawierzchni) z uwagi na niewystępowanie w tym czasie odciążającego jej oddziaływania. Jak wynika z [1, 4] odciążenie rurociągu od obciążeń użytkowych przez np. grubą nawierzchnię betonową może wynosić nawet ok. 90%.

Zmianę obciążeń rurociągu wywołaną budową lub przebudową innych przewodów ułożonych w jego sąsiedz-

twie. Wskutek zmian reologicznych zachodzących po upływie kilku, kilkunastu lub kilkudziesięciu lat (zależnie od rodzaju gruntu, wilgotności, wpływów dynamicznych itp.) na rurociąg oddziałują znacznie mniejsze obciążenia od gruntu aniżeli bezpośrednio po jego zasypaniu. Po jego odkopaniu i ponownym zasypaniu obciążenia mogą wzrosnąć nawet kilkakrotnie [1].

Oddziaływanie obciążeń od sąsiednich budowli w przypadku ułożenia rurociągu np. w pobliżu fundamentów tych budowli.

Wzrost naprężeń w rurociągu od przemarzającego otoczenia gruntowo-wodnego w sytuacji, gdy jest on ułożony poniżej zwierciadła wody gruntowej.

Wzrost ciśnienia wody w rurociągach, w których np. wystąpiło zjawisko silnej inkrustacji.

Występowanie uderzeń hydraulicznych w przewodach wodociągowych.

Wystąpienie prądów błędzących wywołujących korozję elektrochemiczną w rurach stalowych i żeliwnych.

Wyżej wymienione elementy mogą w sposób bardzo istotny zmienić wartość współczynnika bezpieczeństwa konstrukcyjnego rurociągu w stosunku do wartości początkowej, na którą został zaprojekt-

utowany. Ustalenie w wyniku ekspertyzy wartości współczynnika bezpieczeństwa konstrukcyjnego rurociągu umożliwiła podjęcie decyzji, czy należy:

- wymienić go na nowy w wykopie lub bezwykopowo. Decyzję taką podejmuje się, gdy współczynnik bezpieczeństwa konstrukcyjnego rurociągu jest niższy od wymaganego, a jego przepustowość hydrauliczna niewystarczająca lub gdy bezwykopowa rekonstrukcja przewodu jest bardziej kosztowna od jego wymiany;

- poddać go bezwykopowej rekonstrukcji. Decyzję taką podejmuje się, gdy współczynnik bezpieczeństwa konstrukcyjnego rurociągu jest niższy od wymaganego, przepustowość hydrauliczna jest wystarczająca, a jego wymiana w wykopie na nowy bardziej kosztowna od bezwykopowej rekonstrukcji;

- poddać go bezwykopowej renowacji. Decyzję taką podejmuje się, gdy współczynnik bezpieczeństwa konstrukcyjnego rurociągu jest wyższy od wymaganego, a w rurociągu zaobserwowano np. korozję, przepustowość hydrauliczna jest wystarczająca, a jego wymiana w wykopie na nowy bardziej kosztowna od bezwykopowej renowacji,

- w dalszym ciągu bezpiecznie go eksploatować, nie podejmując działań opisanych powyżej. Decyzję taką podejmuje się, gdy współczynnik bezpieczeństwa konstrukcyjnego rurociągu jest wyższy od wymaganego, a w rurociągu nie zaobserwowano żadnych jego nieprawidłowości.

Należy dodać, że analizowane kryterium bezpieczeństwa konstrukcji przewodów wodociągowych nie jest jedynym, lecz jednym z kilku kryteriów doboru optymalnej technologii odnowy przewodów wodociągowych.

2. Różnice między renowacją a rekonstrukcją przewodów wodociągowych

Planując bezwykopową odnowę przewodów wodociągowych, należy, analizując dostępne technologie, odróżnić od siebie technologie renowacyjne od rekonstrukcyjnych. W języku angielskim technologie rekonstrukcyjne określa się jako *structural rehabilitation* (rehabilitacja konstrukcyjna), natomiast technologie renowacyjne *non structural rehabilitation* (rehabilitacja niekonstrukcyjna). Różnią się one między sobą rodzajem zastosowanej powłoki odnowieniowej: konstrukcyjnej lub niekonstrukcyjnej.

Do grupy technologii renowacyjnych zalicza się te technologie, po zastosowaniu których utworzona wewnętrzna

powłoka zabezpiecza przewody przed korozją wewnętrzną lub inkrustacją, zabezpiecza dno i ścianki przed ścieraniem się bądź uszczelnia przewody, a jednocześnie poprawie ulegają w nich parametry hydrauliczne, ponieważ mimo pewnej redukcji przekroju wzrasta gładkość ich ścian wewnętrznych. Stosując technologie renowacyjne, w zależności od ich rodzaju nie uzyskuje się lub uzyskuje się tylko niewielki wzrost nośności odnawianych przewodów. Przykładowo, poddając renowacji przewód wodociągowy przez pokrycie go jednomilimetrową warstwą żywicy epoksydowej, nie uzyskuje się jakiegokolwiek wzrostu nośności rur. Z kolei stosując natrysk zaprawą cementową, można uzyskać niewielki wzrost nośności rur, tym większy, im większa jest grubość powłoki cementowej. W przypadku innych technologii, w których wykorzystywane są powłoki z tworzyw sztucznych, również możliwe jest uzyskanie, przy okazji efektu renowacyjnego (np. uszczelnienia rur), niewielkiego wzmocnienia ich konstrukcji. Podstawowym celem renowacji, jak to wcześniej zaznaczono, nie jest jednak wzmacnianie konstrukcji odnawianych przewodów. Temu celowi służą technologie rekonstrukcyjne.

Niektóre technologie renowacyjne nie wymagają żadnych obliczeń statyczno-wytrzymałościowych (np. dotyczy to technologii natryskowych) w innych, w których do renowacji stosowane są np. powłoki z tworzyw sztucznych, konieczne jest wykonanie takich obliczeń (np. w technologiach ciasnopasowanych z zastosowaniem rur PE konieczne jest m.in. sprawdzenie warunku utraty stateczności powłoki tych rur dla parametrów długoterminowych oraz sprawdzenie występujących w nich naprężeń dla okresu montażu i wbudowania powłoki, a w technologiach nieciasnopasowanych z użyciem rur PE dodatkowo warunku krótkoterminowego utraty stateczności powłoki dla okresu iniektowania wolnej przestrzeni międzyrurowej zaprawą cementową).

Do grupy technologii rekonstrukcyjnych zalicza się z kolei te technologie, w wyniku zastosowania których powłoka odnawiająca samodzielnie lub we współpracy z konstrukcją istniejącego przewodu zastępuje go w zakresie wymogów wytrzymałościowych, np. przenoszenia obciążeń zewnętrznych czy w przypadku rur ciśnieniowych, a także ciśnień wewnętrznych. Niektóre technologie, np. ciasnopasowaną z zastosowaniem zdeformowanych fabrycznie rur

PE, można zaliczyć zarówno do technologii renowacyjnych (w przypadku zastosowania cienkościennych rur w opcji Compact SlimLiner), jak i do technologii rekonstrukcyjnych (w przypadku rur PE o grubszych ściankach w opcji Compact Pipe).

Stosując technologie rekonstrukcyjne, należy wykonać obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, przyjmując założenie, że powłoka rekonstrukcyjna samodzielnie zastąpi odnawiany przewód lub w określonym stopniu wzmocni go konstrukcyjnie. Przyjęcie drugiego wariantu, umożliwiającego oszczędniejsze projektowanie powłoki rekonstrukcyjnej, wymaga wcześniejszego wykonania ekspertyzy konstrukcyjnej analizowanych przewodów.

3. Ekspertyzy konstrukcyjne przewodów wodociągowych na wybranym przykładzie

Ocena bezpieczeństwa konstrukcji rurociągu możliwa jest po wykonaniu ekspertyzy konstrukcyjnej połączonej z jego odkopaniem w wybranych miejscach na trasie jego ułożenia. Umożliwia ona określenie aktualnej wartości współczynnika bezpieczeństwa konstrukcji rurociągu oraz określenie prognozy dotyczącej bezpiecznego okresu jego dalszej eksploatacji. Zakres ekspertyzy obejmuje badania nieniszczące parametrów wytrzymałościowych rury, a także ewentualne inne badania wymienione w [5] oraz wykonanie obliczeń statyczno-wytrzymałościowych według metod zamieszczonych np. w [4].

Poniżej opisano wyniki ekspertyzy wykonanej przez autora artykułu we wrześniu 2011 r. na terenie jednego z zakładów przemysłowych. Ekspertyza dotyczy dwóch rurociągów stalowych o średnicy 610 mm i łącznej długości ok. 20 km. Rurociągi transportują wodę surową z ujęcia rzeczne do celów technologicznych. Są eksploatowane od 38 lat.

Badanie nieniszczące rur wykonano na czterech stanowiskach badawczych (dwa wykopy, komora odpowietrzająca i komora odwadniająca), łącznie na 24 stanowiskach pomiarowych, zlokalizowanych w miejscach występowania największych naprężeń rozciągających (ryc. 11).

Wyniki badań wykazały bardzo niewielką korozję wewnętrzną powierzchni rurociągów, w tym korozję wżerową na trzech stanowiskach pomiarowych. Największy wżer osiągał ok. 30% grubości rury i posiadał średnicę ok. 2 cm. Stan powierzchni zewnętrznej rur oraz izolacji oceniono jako bardzo dobry.



Ryc. 11. Autor opracowania (w białej odzieży roboczej) na stanowisku badawczym w wykopie

Na podstawie wyników badań oraz danych dotyczących m.in. sposobu i kąta posadowienia rurociągu w wykopie oraz jego zagłębienia wykonano następnie obliczenia statyczno-wytrzymałościowe dla najbardziej niekorzystnych założeń, uzyskując w każdym z wykonanych obliczeń współczynniki bezpieczeństwa konstrukcyjnego rur znacznie wyższe od wymaganej wartości.

Stąd też stwierdzono, że badane rurociągi są bezpieczne, a tym samym nie jest konieczna ich wymiana na nowe, jak również ich bezwykopowa rekonstrukcja. Jednocześnie zalecono bezwykopową renowację rurociągów z uwagi na stwierdzoną powierzchnię korozję wewnątrznych ich ścian, występowanie lokalnych wżerów korozyjnych oraz wątpliwości dotyczące jakości spawów tych rur, w świetle wcześniejszych awarii występujących w miejscu spawów.

Zaproponowano trzy alternatywne technologie bezwykopowej renowacji, najbardziej odpowiednie dla specyfiki badanych rurociągów. Różnią się one między sobą uzyskiwanymi efektami technicznymi, a także kosztami. Każda z zaproponowanych technologii gwarantuje powstrzymanie dalszej korozji wewnętrznej rurociągów, trwałe ich uszczelnienie, znaczną poprawę parametrów hydraulicznych, a tym samym istotne zmniejszenie kosztów transportu wody, dalszą, bezpieczną eksploatację rurociągów przez minimum 50 lat.

Biorąc pod uwagę zróżnicowane efekty techniczne w wyniku zastosowania zaproponowanych wyżej różnych technologii, a także aspekt niezawodnościowego funkcjonowania obu rurociągów, zasugerowano, aby każdy z nich poddać bezwykopowej renowacji inną technologią.

4. Wnioski

1. Ekspertyzy konstrukcyjne przewodów wodociągowych są niezbędne do tego, aby wyeliminować ich awarie przez dobór optymalnych technologii ich bezwykopowej odnowy (renowacji, rekonstrukcji lub wymiany), wymiany wykopowej, bądź ustalić, że można je nadal bezpiecznie eksploatować, nie podejmując żadnych z wcześniej wymienionych działań.

2. Wykonując ekspertyzę konstrukcyjną przewodów wodociągowych, w tym szczególnie obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, należy wziąć pod uwagę cały szereg czynników, dokonując wielokryterialnej analizy. W przypadku analizy według kryterium bezpieczeństwa konstrukcyjnego należy uwzględnić m.in. czynniki wymienione w pierwszym rozdziale niniejszego artykułu.

3. Dobór optymalnej technologii bezwykopowej odnowy przewodów wodociągowych jest zagadnieniem interdyscyplinarnym, wymagającym wnikliwej wiedzy. Pomocne do bardziej szczegółowego poznania problematyki planowania odnowy przewodów wodociągowych oraz doboru technologii ich odnowy mogą być m.in.: wydana w 2010 r. książka *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska* [11] o objętości 735 stron, dostępna w Wydawnictwie Seidel – Przywecki Sp. z o.o., a także zaplanowana w Kielcach od 17 do 19 kwietnia 2012 r. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Szkoleniowa *Technologie bezwykopowe No-Dig Poland 2012* (www.nodigpoland.tu.kielce.pl) oraz organizowane 22 i 23 lutego 2012 r. w War-

szawie szkolenie *Planowanie bezwykopowych napraw, renowacji, rekonstrukcji i wymian przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych z doбором optymalnej technologii* (www.kulickowski.eu).

Literatura

- [1] Kulickowski A.: *Projektowanie konstrukcji przewodów kanalizacyjnych*. Skrypt nr 356. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2000, s. 290.
- [2] Kulickowski A.: *Rury kanalizacyjne. T. 1. Własności materiałowe*. Monografia nr 28. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2001, s. 261.
- [3] Kulickowski A.: *Problemy bezodkrywkowej odnowy przewodów kanalizacyjnych*. Monografia nr 13. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2004, s. 235.
- [4] Kulickowski A.: *Rury kanalizacyjne. T. 2. Projektowanie konstrukcyjne*. Monografia nr 42. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2004, s. 507.
- [5] Kulickowski A.: *Ekspertyzy konstrukcyjne przewodów wodociągowych podstawą doboru optymalnych technik ich bezwykopowej odnowy*. Materiały konferencyjne Woda 2004. PZITS. Poznań 2004, s. 11.
- [6] Kulickowski A.: *Rury kanalizacyjne. T. 3. Rury o konstrukcji sztywnej i sprężystej*. Monografia nr 44. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2008, s. 396.
- [7] Kulickowski A., Kulickowska E.: *Współczynniki amortyzacji infrastruktury wodociągowo-kanalizacyjnej poddanej bezwykopowej odnowie*. „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2008, nr 7–8, s. 35–38.
- [8] Kulickowski A., Kulickowska E.: *Czynniki mające wpływ na odnowę przewodów wodociągowych (cz. 1)*. „Rynek Instalacyjny” 2010, nr 7–8, s. 70–72.
- [9] Kulickowski A., Kulickowska E.: *Czynniki mające wpływ na odnowę przewodów wodociągowych (cz. 2)*. „Rynek Instalacyjny” 2010, nr 9, s. 62–66.
- [10] Kulickowski A., Kulickowska E.: *Strategie odnowy przewodów wodociągowych*. „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2010, nr 2, s. 26–29.
- [11] Kulickowski A.: *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska*. Wydawnictwo Seidel – Przywecki. Warszawa 2010, s. 735.