

# Warianty bezwykopowego pokonywania przeszkód terenowych

tekst: **prof. dr hab. inż. ANDRZEJ KULICZKOWSKI**, Politechnika Świętokrzyska

Temat optymalnych wariantów pokonywania przeszkód terenowych pojawia się w przypadkach, gdy na trasie planowanego przebiegu rurociągu znajdują się np. autostrada, tory kolejowe, rzeka czy jezioro.

Wśród możliwych rozwiązań jest bezpośrednio wbudowanie rurociągu przy zastosowaniu jednej z wielu dostępnych już obecnie metod bezwykopowych, opisanych m.in. w [1, 2], lub umieszczenie tych rur w tunelu wieloprzewodowym [3]. To drugie rozwiązanie jest droższe na etapie inwestycyjnym, ale tańsze na etapie eksploatacyjnym. W przypadku ewentualnej awarii rurociągu możliwe jest wtedy bardzo szybkie jej usunięcie pod warunkiem, że rurociąg nie jest obetonowany, a tym samym dostęp do niego nie jest utrudniony.

Wielofunkcyjne, małogabarytowe tunele stosowano w niektórych miastach Europy Zachodniej już w XIX w. Zaczęto wtedy umieszczać we wnętrzu przełazowych kolektorów kanalizacyjnych inne przewody lub kable elektryczne. Idea ta przetrwała do czasów obecnych i jest realizowana przez budowę tuneli wieloprzewodowych, w których w jednej obudowie konstrukcyjnej umieszczane są różne rurociągi i kable infrastruktury podziemnej miast.

## Bezwykopowa budowa pojedynczych rurociągów

Bezwykopowa budowa rurociągów pod przeszkodami terenowymi może być realizowana przy zastosowaniu następujących technologii [1, 2]:

- przecisk niesterowany przez zagęszczanie gruntu przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem,
- przecisk sterowany przez zagęszczanie gruntu przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem,

- przecisk realizowany przez zagęszczanie gruntu rurą z zakończeniem stożkowym,
- przecisk hydrauliczny wykonywany przez zagęszczanie gruntu,
- wiercenie kierunkowe (przewiert sterowany),
- pneumatyczne wbijanie rur stalowych,
- przecisk hydrauliczny niesterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym,
- przecisk hydrauliczny sterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym,
- przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotażowym oraz z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym,
- przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotażowym i płuczковым transportem urobku,
- mikrotunelowanie z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym,
- mikrotunelowanie z płuczковым transportem urobku,
- mikrotunelowanie z pneumatycznym transportem urobku.

Dobór optymalnej technologii uwarunkowany jest wieloma czynnikami, w tym m.in.:

- kategorią gruntu,
- wielkością średnicy rurociągów,
- długością przeszkody terenowej,
- możliwością budowy rurociągu w gruncie nawodnionym, o ile taki występuje pod przeszkodą terenową,
- rodzajem wbudowywanych rur,
- dokładnością wbudowania rurociągu w stosunku do planu sytuacyjnego i profilu podłużnego,

- wymogami dotyczącymi minimalnej wysokości przykrycia rurociągu gruntem oraz średnicy wykonywanego otworu.

W [1, 2] opisano metodę umożliwiającą wybór możliwej ze względów technicznych jednej, a w niektórych przypadkach kilku alternatywnych technologii.

## Bezwykopowa budowa tuneli wieloprzewodowych z umieszczanymi w nich rurociągami

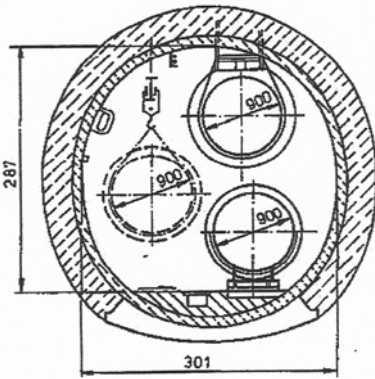
Pierwszy polski tunel wieloprzewodowy, przy projektowaniu którego uczestniczył m.in. autor tego artykułu, został wybudowany tradycyjną metodą wykopową w latach 1976–1977 we Wrocławiu. W [3] pokazano szereg rozwiązań konstrukcyjnych tuneli wieloprzewodowych, różniących się materiałem obudowy konstrukcyjnej, wielkością i rodzajem przekroju poprzecznego oraz rodzajem przewodów i kabli w nich umieszczonych. Z kolei rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne rur zaprezentowano w [4].

Do podstawowych zalet tuneli wieloprzewodowych umieszczanych pod przeszkodami terenowymi należy zaliczyć m.in. stworzenie w nich możliwości stałej kontroli stanu technicznego przewodów i kabli oraz szybkiego wykonywania ich napraw, a w przyszłości szybkiej bezwykopowej odnowy.

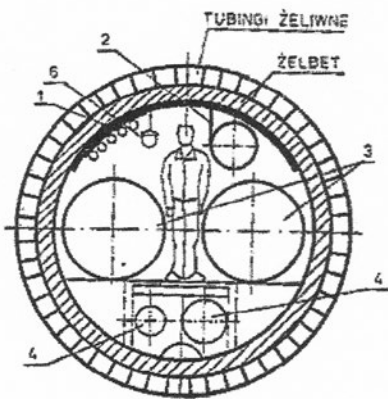
Dawniej tunele wieloprzewodowe budowane były metodami górniczymi, a obecnie są budowane metodami bezwykopowymi, wcześniej wymienionymi.

Na rycinie 1 pokazano tunel z dwiema rurami, wykonany z tubingów żelbeto-

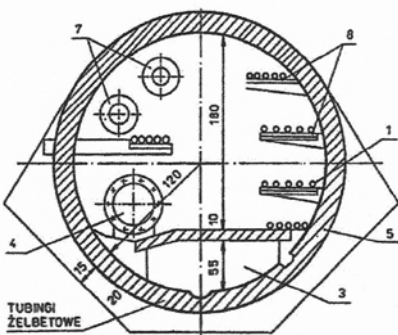
wych w Warszawie pod Wisłą tradycyjną metodą górniczą ponad 50 lat temu. Dostęp do zewnętrznej powierzchni rur umożliwia ich bieżącą konserwację, a w przypadku ewentualnej awarii bardzo szybkie jej usunięcie. Na tej rycinie widać



Ryc. 1. Tunnel dla dwóch rurociągów sieci ciepłej pod Wisłą w Warszawie [5]



Ryc. 2. Tunnel wieloprzewodowy wykonany z tubingów żeliwnych w Rouen (Francja) [5]. Oznaczenia: 1 - kable elektroenergetyczne, 2 - gazociąg, 3 - kanalizacja, 4 - wodociąg, 6 - oświetlenie wnętrza tunelu



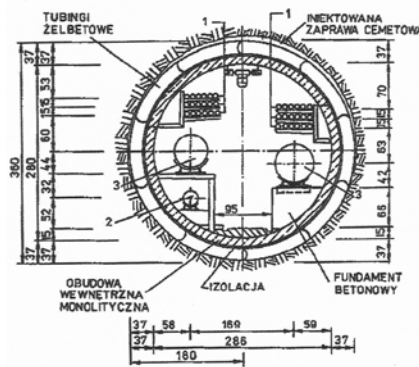
Ryc. 3. Tunnel wieloprzewodowy wykonany z tubingów żelbetowych w Lublanie (Słowenia) [5]. Oznaczenia: 1 - kable elektroenergetyczne, 3 - kanalizacja, 4 - wodociąg, 5 - kable oświetlenia ulicznego, 7 - sieć ciepłownicza, 8 - kable telekomunikacyjne

też sposób przemieszczania uszkodzonej rury lub wielu rur po zaplanowanym ponad 100-letnim okresie ich eksploatacji.

Na rycinach 2 i 3 pokazano z kolei tunele wieloprzewodowe, wykonane z tubingów, kolejno żeliwnych i żelbetonowych, gwarantujące dostęp do rurociągów w nich umieszczonych dla służb konserwacyjnych, a w przypadku ewentualnej awarii także dla ekip naprawczych.

Dostęp do rurociągów i kabli umieszczonych w tunelu wieloprzewodowym zagwarantowano także w rozwiązaniu pokazanym na rycinie 4.

Na rycinie 5 przedstawiono tunnel wieloprzewodowy wybudowany w Zurychu, o łącznej długości 2900 m, którego

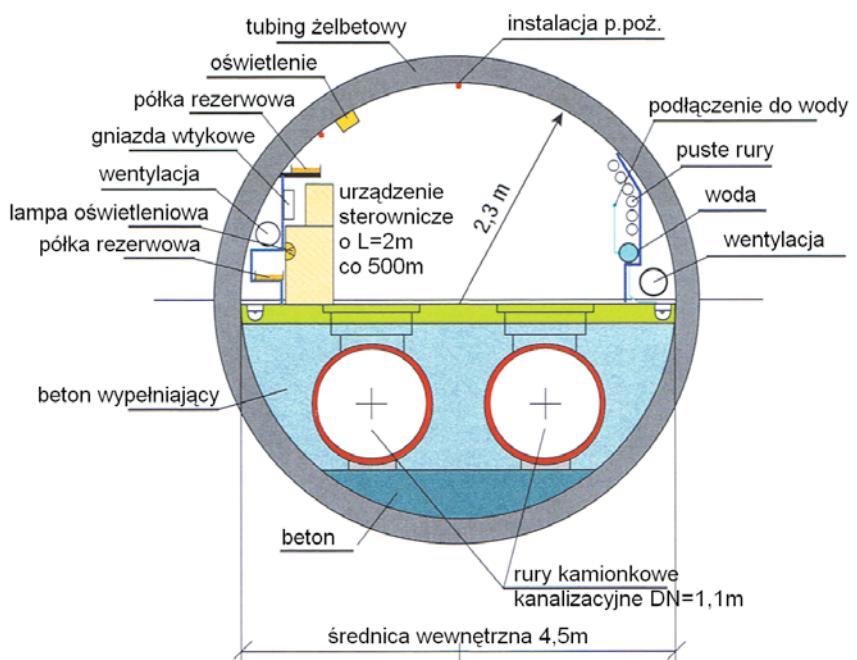


Ryc. 4. Tunnel wieloprzewodowy wykonany z tubingów żelbetonowych [3]. Oznaczenia: 1 - kable telekomunikacyjne, 2 - wodociąg, 3 - przewody ciepłownicze

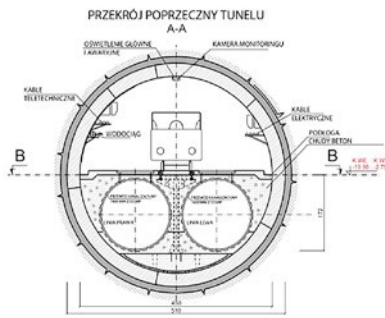
celem był przerzut ścieków (na pewnym odcinku pod rzeką) w kierunku do oczyszczalni ścieków usytuowanej po drugiej stronie rzeki.

Tunnel o średnicy wewnętrznej 4,5 m wybudowano metodą mikrotunelowania w tempie 18 m/d. Składa się z sześciu tubingów żelbetonowych o grubości 27 cm. Wewnątrz tunelu umieszczono dwie rury kanalizacyjne kamionkowe o średnicy wewnętrznej 1100 mm. Wyboru rur dokonano, analizując dziewięć różnych rodzajów przewodów, różniących się materiałem, z którego są wykonane, kierując się przy doborze optymalnego rozwiązania kryterium ponad 100-letniej ich trwałości oraz minimalizacją kosztu rur odniesionego do prognozowanego okresu ich eksploatacji. W tunelu tym umieszczono także inne przewody i kable.

Budując tunele wieloprzewodowe, powinno się umieszczać w nich rury o możliwie jak najwyższej trwałości. Zagadnienie to szerzej opisane jest w [6]. Dostęp do wnętrza rur w celu dokonywania ich inspekcji zagwarantowany jest przez zaprojektowanie włączów, pokazanych na rycinie 5. Rury kamionkowe cechuje trwałość znacznie przekraczająca okres 100-letni. Problemem mogą być uszczelki poliuretanowe umieszczone w ich złączach. Prawdopodobnie ich trwałość będzie zagwarantowana tylko przez okres ok. 100 lat. Istnieje pewne ryzyko, że później złącza te będą się rozszczelniały.



Ryc. 5. Tunnel wieloprzewodowy do przerzutu ścieków w Zurychu [3]



Ryc. 6. Warszawski tunel wieloprzewodowy pod Wisłą z dwiema żywicznymi rurami GRP transportującymi ścieki [3]

Widoczny wokół nich beton wypełniający (o ile został poprawnie zaprojektowany) powinien zagwarantować szczelność tych rur po ewentualnym rozszczelnieniu się ich złączy. Alternatywą po ewentualnym rozszczelnieniu się złączy mogłaby być bezwykopowa renowacja rur, np. cienkościenną, kilkumilimetrową powłoką żywiczną.

Także w Polsce został wybudowany podobny do tego z Zurychu tunel wieloprzewodowy do przesyłu ścieków pod Wisłą (ryc. 6), ale z innymi rurami (rury żywiczne GRP). Wstępna koncepcja tego rozwiązania stanowiła przedmiot opinii [7] opracowanej przez autora tego artykułu. Tę propozycję z 2006 r. autor ocenił krytycznie, szczególnie w zakresie zalecenia dotyczącego rodzaju proponowanych rur, jak i propozycji ich obetonowania. Poniżej zamieszczone są cztery cytaty z tej opinii dotyczące tego problemu.

1. Brak informacji o rodzaju rur uniemożliwia opiniującemu odniesienie się do najbardziej kluczowych problemów, w tym m.in.:

- trwałości zastosowanych rozwiązań (50, 100 czy np. 200 lat),
- odporności rur na ich eksploatację jako konstrukcji syfonu, w tym odporności na ścieranie (np. ile mm grubości rury ubędzie np. po 50 latach eksploatacji), odporności na korozję, czy jeżeli zaproponowano rurę z tworzywa sztucznego, po jakim okresie procesy starzeniowe spowodują konieczność jej wymiany na nową.

2. Do wad zaproponowanego rozwiązania należy zaliczyć:

- e) wysoce prawdopodobne zaplanowane umieszczenie w tunelu (z uwagi na podane wymiary i zastosowane wypełnienie) rur z tworzywa sztucznego. Z uwagi na strategiczny charakter obiektu zaleca się

zastosowanie rur niepodlegających procesom starzeniowym, np. rur stalowych lub żeliwnych, z wewnętrzną powłoką odporną na oddziaływanie ścieków, np. z zaprawy cementowej z dyspersją tworzywową, z użyciem zaprawy z cementu glinowego, powłoką poliuretanową lub epoksydową, gwarantujących:

- bardzo długi okres ich eksploatacji,
- możliwość ich odnowy (z uwagi na stabilność przekroju) po założonym okresie ich eksploatacji.

3. W przypadku tak ważnego, strategicznego i bardzo kosztownego obiektu, jakim jest projektowany syfon, powinno się przyjąć rozwiązanie o prognozowanej trwałości szacowanej na ok. 200 lat. Pomocna w tym celu może być np. metodyka KA-2004 autorstwa opiniującego, umożliwiająca przez odpowiedni dobór rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych i grubość rur zagwarantowanie im określonej trwałości, w miarę dokładnie oszacowanej w prognozowanych latach ich eksploatacji. [Dodam, iż rury z tworzywa sztucznego, w tym także rury żywiczne GRP, projektuje się na 50-letni okres ich eksploatacji].

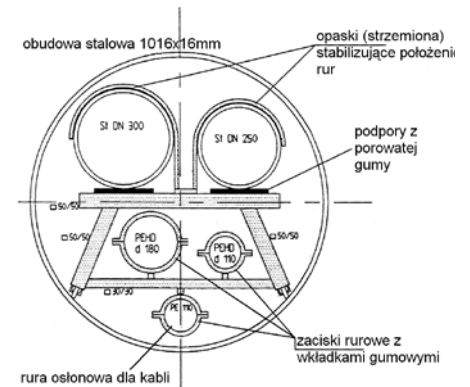
4. Do wad zaproponowanego rozwiązania należy zaliczyć:

- a) zastosowanie wypełnienia wewnętrznego w obszarze dolnym tunelu w ponad połowie jego przekroju. Podraża ono koszty inwestycji, a jednocześnie uniemożliwia monitoring stanu technicznego wewnętrznej powierzchni tunelu (w obszarze wypełnienia) i zewnętrznej powierzchni rur. Wypełnienie to utrudnia dostęp do wymienionych obszarów w przypadkach, gdyby było to konieczne. Autor przypuszcza, że przyczyną zastosowania wypełnienia obszaru tunelu jest zamierzenie umieszczenia w nim rur z tworzywa sztucznego. Zastosowanie wypełnienia bardzo istotnie utrudni w przyszłości ewentualną wymianę tych rur na nowe. Jednocześnie wypełnienie przyczynia się do likwidacji sporej przestrzeni tunelu, która mogłaby być w przyszłości wynajmowana na umieszczanie kabli i rurociągów, przyczyniając się do uzyskiwania istotnych przychodów z tej dzierżawy.

Gdyby uwagi zawarte w tej opinii zostały uwzględnione, nie doszłoby do pierwszej awarii rur w syfonie „Czajki” w 2019 r., powstałej w wyniku rozszczelnienia złącza rur (ponieważ w rurach stalowych nie ma złączy), a gdyby doszło do drugiej awarii w 2020 r. (której przyczyna nie jest obecnie znana),

z uwagi na nieobetonowanie rur stalowych zostałaaby ona usunięta w bardzo krótkim czasie.

Interesujące rozwiązanie zastosowano w tunelu wieloprzewodowym wybudowanym pod licznymi przeszkodami terenowymi na fragmentach 16-kilometrowej trasy, na której układano w wykopie przewody ciśnieniowe transportujące wodę do spożycia (ryc. 7). Z uwagi na bardzo duże różnice w profilu wysokościowym tych przewodów, dochodzące miejscami do ok. 300 m, dobrano rury stalowe klasy PN 40 (DN 250) i PN 25 (DN 300) o długości 16 m, z wewnętrzną powłoką z zaprawy cementowej, a z zewnątrz z powłoką polietylenową oraz powłoką fibrobetonową (cementową zbrojoną włóknami). Obudowę konstrukcyjną tunelu również wykonano z rur stalowych. Rury umieszczono na konstrukcji przejazdnej, co bardzo ułatwiało ich wprowadzenie do wnętrza tunelu, a po ok. 100-letnim planowanym okresie ich eksploatacji rozwiązanie to umożliwi szybkie ich wyciągnięcie i wymianę na nowe lub – bez ich wyciągania – umieszczenie w ich wnętrzu powłoki rehabilitacyjnej.



Ryc. 7. Tunel wieloprzewodowy z głównym przeznaczeniem umieszczenia w nim dwóch rurociągów transportujących wodę do spożycia [3]

### Wybór optymalnego sposobu przesyłu mediów pod przeszkodami terenowymi

Powyżej zaprezentowano dwa sposoby pokonywania przeszkód terenowych. Każdy może być wykonany za pomocą różnych technologii. Zdecydowanie bezpieczniejszy jest wariant przesyłu mediów rurociągami umieszczonymi w tunelach wieloprzewodowych.

Do podstawowych zalet umieszczania rur w tunelach wieloprzewodowych za-





Ryc. 8. Rura stalowa z widocznymi wokół niej dużymi kamieniami [1]



Ryc. 9. Próbkę skorodowanej rury stalowej z wżerami na wylot, pobrana podczas jednej z ekspertyz wykonywanych przez autora artykułu, fot. A. Kulickowski



Ryc. 10. Zarysowana rura polietylenowa po przecięciu jej przez warstwę gruntu, będąca w posiadaniu autora artykułu, fot. A. Kulickowski



Ryc. 11. Utrata stateczności powłoki rury polietylenowej PE-HD (zdjęcie przekazane autorowi)

projektowanych pod przeszkodami terenowymi należy zaliczyć m.in.:

- możliwość kontroli stanu technicznego umieszczonych w nich przewodów, w tym szczególnie ich powierzchni zewnętrznej oraz dokonywania pomiaru grubości rur w celu stwierdzenia, czy

nie ulegają one korozji oraz czy dno nie ulega ścieraniu się,

- w przypadku awarii, np. wykrycia nieszczelności, możliwość dokonania bardzo szybko, zaledwie w ciągu kilku godzin, niezbędnych napraw,
- po upływie prognozowanego okresu trwałości rur umieszczonych w tunelu (z reguły ponad 100-letniego) możliwość łatwej i szybkiej wymiany rur na nowe lub szybkiej odnowy ich wnętrza (renowacja lub rekonstrukcja w zależności od wielkości ich współczynnika bezpieczeństwa konstrukcyjnego). Trwałość umieszczonych w tunelu rur jest zróżnicowana [6] i zależy od rodzaju materiału, z którego wykonano rurę.

W przypadku wbudowywanych rur bezpośrednio w obszar gruntu istnieje więcej wad niż zalet. Do podstawowych wad należy zaliczyć brak możliwości kontrolowania stanu technicznego zewnętrznej powierzchni rur oraz szybkiego dokonywania napraw w przypadku wystąpienia awarii. Obecnie najczęściej stosuje się metodę bezwykopowego wbudowywania rur za pomocą metody przewiertu sterowanego. Przy jej stosowaniu występuje wiele elementów ryzyka, opisanych np. w [8, 9].

Spośród wielu możliwych ryzyk uszkodzenia bezwykopowo wbudowywanych rur poniżej zostanie omówionych kilka przykładów.

W rurach stalowych, o ile po ich wewnętrznej stronie znajdują się kamienie (ryc. 8), wskutek ich nacisku na zewnętrzną izolację tych rur może dochodzić z upływem czasu do zniszczenia warstwy izolacyjnej i bezpośredniego kontaktu stali z gruntem i wodą gruntową. Może to spowodować korozję wżerową rozszczelniającą rury (ryc. 9).

W trakcie bezwykopowego przemieszczania rur w gruncie ma miejsce ścieranie się ich zewnętrznej powierzchni, może również wystąpić jej zarysowanie. W przypadku rur polietylenowych (ryc. 10) pojawienie się rys uruchamia tzw. zjawisko powolnego wzrostu pęknięć [3], doprowadzające ostatecznie do pęknięć powodujących rozerwanie rur. Ważne jest, aby rury te posiadały odpowiednio dobraną zewnętrzną powłokę ochronną. Zdarzało się, że rury polietylenowe wbudowywano bez powłoki lub z powłoką, która w trakcie przemieszczania rur w gruncie odrywała się od macierzystej rury. Wtedy rura uka-

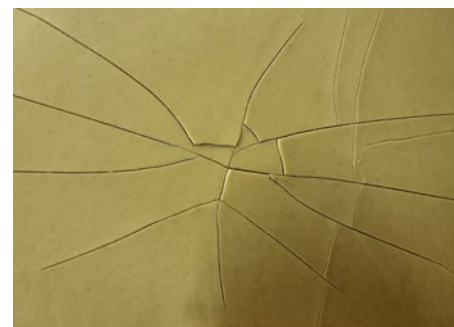
zywała się po pokonaniu przeszkody bez powłoki ochronnej. Podobne przypadki zdarzały się także przy zastosowaniu rur stalowych.

Na rycinie 11 pokazano rurę polietylenową w trakcie występowania w niej zjawiska utraty stateczności. Widoczne jest dno unoszące się do góry. Projektując rury z tworzyw sztucznych, należy zawsze sprawdzać warunek utraty przez nie stateczności.

Na rycinach 12 i 13 pokazano pęknięcia wewnętrznej warstwy ochronnej wielowarstwowych rur żywicznych GRP (*glass reinforced plastic*). Eksploatator tych rur stwierdził, że ich pęknięcia pojawiały się już po ich wbudowaniu. Przyczyną wystąpienia tych pęknięć było według niego prawdopodobnie uderzenie ich twardym przedmiotem w trakcie transportu lub wbudowywania. Powstanie takich pęknięć stwarza możliwość przenikania ścieków lub gazów kanałowych do znajdujących się pod tą warstwą włókien szklanych typu E, nieodpornych na korozję, pełniących funkcję nośną w tych rurach (odpowiednik prętów stalowych w rurach żelbetowych, także nieodpornych na korozję). Po ewentualnym skorodowaniu włókien E rura może w tym obszarze zostać rozerwana.



Ryc. 12. Pęknięcia wewnętrznej warstwy żywicznej w rurze GRP (zdjęcie rury będącej w posiadaniu autora)



Ryc. 13. Pęknięcia wewnętrznej warstwy żywicznej w innej rurze GRP niż pokazana na ryc. 10 (zdjęcie rury będącej w posiadaniu autora)

Bliskość kamieni lub innych ostrych przedmiotów wokół rur z tworzywa sztucznego może spowodować zjawisko ich wbijania się w strukturę ścianki rury. Autor artykułu posiada kilkadziesiąt zdjęć podobnych do pokazanych na rycinach 14 i 15.



Ryc. 14. Wbijanie się kamienia w ściankę rury PVC, fot. A. Kuliczkowski



Ryc. 15. Wbijanie się kilku kamieni w ściankę rury PVC, fot. A. Kuliczkowski

Termoplastyczne rury z tworzyw sztucznych zaliczane są do grupy materiałów lepkosprężystych, o specyficznych cechach, różniących je od rur wykonanych z materiałów sprężystych (np. stal) czy sztywnych (np. kamionka). Specyficzne własności tych rur opisano m.in. w [5].

Jedną z cech odróżniających je od rur z materiałów sztywnych czy sprężystych jest wartość modułu E [10], dla którego w przypadku rur z tworzyw sztucznych podawane są dwie wartości: pierwsza – krótkoterminowa, oraz druga – długoterminowa, ustalona dla okresu 50 lat przy założeniu eksploatacji rur w temperaturze 20 °C.

Moduły E przyjmują różne wartości w zależności od rodzaju materiału i wynoszą przykładowo:

E = 210 000 MPa dla stali (wartość stała w całym okresie eksploatacji),

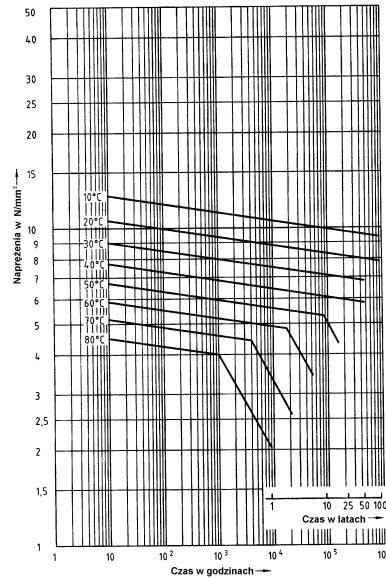
E = 50 000 MPa dla kamionki (wartość stała w całym okresie eksploatacji),

E = 3000 MPa (wartość początkowa) i 1500 MPa dla PVC po 50 latach eksploatacji.

E = 800 MPa (wartość początkowa) i 160 MPa dla PE 80 po 50 latach eksploatacji.

E = 1200 MPa (wartość początkowa) i 200 MPa dla PE 100 po 50 latach eksploatacji.

Zaprojektowany 50-letni czas eksploatacji tych rur ulega skróceniu w przypadku temperatur wyższych niż 20 °C (ryc. 16).



Ryc. 16. Zmiany naprężeń w rurze PE 100 w zależności od temperatury ścieków [12]

Należy zaznaczyć, że termoplastyczne rury z tworzyw sztucznych mają także szereg pozytywnych cech [5], wpływających na ich częste stosowanie. Jednak z uwagi na występujące w nich z upływem czasu procesy starzeniowe nie powinny być zdaniem autora stosowane w przypadku rozwiązań o strategicznym przeznaczeniu, tj. wtedy, gdy zaplanowane są do eksploatacji na dłużej niż 50 lat, czyli okres, na który są one projektowane [11].

**Uwaga końcowa**

Przedstawione różne możliwości bezwykopowego pokonywania przeszkód terenowych, głównie tych realizowanych w opcjach tuneli wieloprzewodowych, umożliwiają osiąganie wielu korzyści technicznych, a jednocześnie określonych efektów finansowych, szczególnie wtedy, jeżeli w analizie ekonomicznej bierze się pod uwagę koszty inwestycyjne, ale również koszty eksploatacyjne dla okresu co najmniej 100 lat.

**Literatura**

[1] *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska*. Red. A. Kuliczkowski. Wydawnictwo Seidel – Przywecki Sp. z o.o. Warszawa 2019.

[2] Zwierzchowska A.: *Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociągowych i kanalizacyjnych*. Skrypt nr 19. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2006.

[3] Kuliczkowski A., Madryas C.: *Tunele wieloprzewodowe dawniej i współcześnie*. Monografia nr M58. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2014.

[4] Kuliczkowski A.: *Rury kanalizacyjne*. T. 3. *Rury o konstrukcji sztywnej i sprężystej*. Monografia nr M4. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2008.

[5] Głowski A.: *Kanały zbiorcze*. Wyd. 1. COBPBP, Bistyp. Warszawa 1973.

[6] Kuliczkowski A.: *Trwałość rozwiązań stosowanych w budowie i odnowie przewodów kanalizacyjnych*. „Instal” 2014, nr 3, s. 54–56.

[7] Kuliczkowski A.: *Wstępne porównanie wariantów przejścia syfonem pod rzeką Wisłą*. Raport KWIK nr 01/07/2006. Politechnika Świętokrzyska, 2006.

[8] Kuliczkowski A., Gierczak M.: *Wybrane czynniki ryzyka w wykopowej i bezwykopowej budowie podziemnych rurociągów i kanałów*. „Instal” 2011, nr 11, s. 44–48.

[9] Kuliczkowski A., Gierczak M.: *Ryzyko techniczne w technologii horyzontalnych przewiertów sterowanych (HDD) na bazie polskich doświadczeń*. „Instal” 2012, nr 12, s. 88–92.

[10] Kuliczkowski A.: *Moduł E w doborze powłok stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych*. „Forum Eksploatatora” 2019, nr 6, s. 42–46.

[11] Kuliczkowski A.: *Rury kanalizacyjne*. T. 2. *Projektowanie konstrukcyjne*. Monografia nr 42. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2004.

[12] Kuliczkowski A.: *Rury kanalizacyjne*. T. 1. *Własności materiałowe*. Monografia nr 28. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2001.

[13] Janson L.E.: *Rury z tworzyw sztucznych do zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków*. Polskie Stowarzyszenie Producentów Rur i Kształtek z Tworzyw Sztucznych. Toruń 2010.

