

Wybrane problemy i ryzyka w projektowaniu „długiego reliningu” z zastosowaniem rur polietylenowych

Selected problems and risks in designing „long relining” using polyethylene pipes

ANDRZEJ KULICZKOWSKI

DOI 10.36119/15.2024.11.6

Podano syntetyczny opis technologii „długiego Reliningu” oraz informację o podstawowym toku obliczeń umożliwiającym dobór rury polietylenowej spełniającej wszystkie wymagania wytrzymałościowe. Zamieszczono informacje o wymaganych pracach przygotowawczych, montażowych i końcowych. Istotnym fragmentem artykułu jest zamieszczenie, czasami pomijanych w projektach, toków obliczeń na konkretnym przykładzie, które są niezbędne na etapie przygotowania i montażu rur. Brak tych obliczeń może skutkować awarią rur lub krótszym niż oczekiwany czasem ich eksploatacji. Zamieszczono także zestawienie ryzyk, które mogą się pojawić w przypadku niewłaściwego przygotowania tej inwestycji.

Słowa kluczowe: projektowanie, rury polietylenowe, Relining, bezwykopowa rehabilitacja, ryzyko

A synthetic description of the „long relining” technology is provided, as well as information on the basic calculation procedure that allows for the selection of a polyethylene pipe that meets all strength requirements. Information is provided on the required preparatory, assembly and final work. An important part of the article is the inclusion of calculation procedures sometimes omitted in projects using a specific example, which are necessary at the stage of pipe preparation and assembly. Failure to make these calculations may result in pipe failure or a shorter than expected period of operation. A list of risks that may occur in the event of improper preparation of this investment is also provided.

Keywords: design, polyethylene pipes, Relining, trenchless rehabilitation, risk

Uwagi wstępne

Technologia „długiego reliningu” polega na wprowadzaniu do uszkodzonego kanału nowej rury najczęściej z polietylenu PE-HD [11, 12]. Rurę taką można przygotować na powierzchni terenu, łącząc ze sobą poprzez czołowe zgrzewanie odcinków rur o długościach najczęściej równych 6 lub 12 m. Wciąganie rury przeprowadza się z początkowego wykopu (rys. 1). Po wciągnięciu rury, wolną przestrzeń (rys. 2) między obiema rurami wypełnia się specjalnym wypełniaczem. Na rys. 1 i 2 pokazano zdjęcia z realizacji wykonanej w oparciu o projekt autora tego artykułu.

Obecnie wśród technologii bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych najbardziej rozpowszechniona jest technologia utwardzanych *in situ* powłok tekstylnych nasączanych żywicą (metoda CIPP) roboczo nazywana także technologią rękawa. Jako dodatkową zaletę technologii „długiego Reliningu” w stosunku do



Rys. 1. Wciąganie rury polietylenowej Weholite-Spiro DN1500 do wnętrza rury żelbetowej o średnicy wewnętrznej 1800 mm (zdjęcie własne)
Fig. 1. Inserting the Weholite-Spiro DN1500 polyethylene pipe into the reinforced concrete pipe with an internal diameter of 1800 mm (own photo)

technologii CIPP podaje się z reguły dwie najistotniejsze następujące jej zalety:

- wbudowywanie rury o fabrycznie zweryfikowanych parametrach,
- możliwość stabilizacji poddanego rehabilitacji kanału w gruncie w przypadku jego nieuszczelnienia poprzez



Rys. 2. Wolna przestrzeń międzyrurowa wypełniana specjalną zaprawą cementową (zdjęcie własne)
Fig. 2. The free space between the pipes which is filled with a special cement mortar (own photo)

przedstawianie się iniektu z obszaru między rurowego przez nieuszczelnienia kanałowe do rozluźnionego gruntu niespoistego lub do pustek powietrznych w gruntach spoistych. Przed wykonaniem obliczeń statyczno-wytrzymałościowych należy podjąć decyzję czy

stosuje się rehabilitację nie konstrukcyjną (ang. non structural rehabilitation) zwaną często także renowacją czy konstrukcyjną rehabilitację (ang. fully structural rehabilitation) zwaną rekonstrukcją [7,8].

Podstawowy tok obliczeń, w oparciu o który dobiera się z katalogu rurę o określonej sztywności obwodowej w przypadku rur polietylenowych obejmuje [4,10]:

- ustalenie naprężeń dla okresu krótko- i długoterminowego dla zadanej temperatury ścieków,
- sprawdzenie warunku dopuszczalnych ugięć rur,
- sprawdzenie warunku utraty stateczności rury.

Bardzo istotne jest także, na co zwrócono szczególną uwagę w tym artykule, uwzględnienie w projektowaniu długiego Reliningu parametrów montażowych. Nie uwzględnienie ich, co miewa miejsce w niektórych projektach ograniczających się tylko do wykonania podstawowego toku obliczeń może stanowić przyczynę awarii rur [9], bądź spowodować krótszy od oczekiwanego okres ich eksploatacji. Obliczenia te uwzględniają m.in. tzw. lepkość [2,5,6] tych rur.

Prace przygotowawcze, montażowe i końcowe oraz towarzyszące im tuki obliczeń

Wymagane tuki obliczeń

W związku z koniecznością zaplanowania na trasie kanału miejsc wykonania wykopów, z których rury będą do niego wciągane oraz odległości między nimi, podano poniżej sposób ustalania dopuszczalnej długości ciągnięcia rur o przyjętej klasie sztywności obwodowej, przykład dotyczący obliczenia długości wykopu początkowego w zależności od temperatury, przy której rury będą wciągane do kanału oraz długości, na której należy „otworzyć” górną część kanałów, aby móc do nich wprowadzić rury. Temperatura, przy której realizowane są te prace, ma bardzo istotny wpływ na długość wykonywanych wykopów. Zalecenia dotyczące wykonywania tych obliczeń zamieszczono m.in. w [1].

Podano także przykłady obliczeniowe dotyczące wyporu rur dla przypadku wypełniania przestrzeni międzyrurowej wodą gruntową oraz wypełniaczem. Ustalono minimalną wysokość wypełnienia rur wodą, niezbędnego dla zrównoważenia ich przed wyporem w trakcie wprowadzania wypełniacza do przestrzeni międzyrurowej.

Podano także przykład obliczeniowy dotyczący analizy wpływów termicznych na zmianę długości rur.

Zakres prac przygotowawczych

Do niezbędnych prac, które konieczne są do wykonania przed zastosowaniem technologii „długiego Reliningu” należy zaliczyć:

- inwentaryzację trasy ułożenia kanałów (w tym jej rzutu na plan sytuacyjny z ustaleniem czy jest ona prostoliniowa) miejsc podłączeń innych kanałów i przykanalików, miejsc umieszczenia tzw. wywietrzników, wymiarów i miejsc lokalizacji studzienek kanalizacyjnych,
- inwentaryzację profilu podłużnego kanału ze sprawdzeniem wymiarów przekrojów poprzecznych kanałów na całej trasie,
- ustalenie miejsc wykonania wykopów, z których rury będą wciągane do kanałów oraz podjęcie decyzji czy rury będą zgrzewane na dnie wykopu czy na powierzchni terenu, a jeśli na powierzchni to ustalenie długości niezbędnych w tym celu wykopów. Ustalenie miejsc wykonania wykopów związane jest bezpośrednio z charakterem przebiegu trasy kanałów (czy prostoliniowa?) oraz wynikami obliczeń dopuszczalnej długości ciągnięcia rur,
- w niektórych przypadkach np. w kanałach przełazowych wykonanie pewnych prac o ile istnieje taka potrzeba np. uszczelnienia szybkowiążącym cementem miejsc nieszczelności, usunięcie narostów poinfiltracyjnych itp.,
- oczyszczenie dna kanałów, aby wciągane rury nie uległy zarysowaniu w dolnej części w trakcie ich wciągania oraz usunięcie nierówności na powierzchni wewnętrznej kanałów w szczególności ostrych krawędzi. Należy także w dowolny sposób zabezpieczyć miejsca wejścia rur do kanału. Można rozważyć ułożenie folii PE na dnie wykopu początkowego oraz w kanale celem zabezpieczenia się przed zarysowaniem rur. Dodatkową zaletą tego rozwiązania byłoby zmniejszenie sił tarcia wciąganej rury w obszarze dna kanału. Innymi sposobami zmniejszającymi tarcie jest zastosowanie na powierzchni terenu rolek, na których rury byłyby umieszczone, a w kanale zastosowanie środków płynnych zmniejszających tarcie lub wykonanie podtopienia kanału celem wywołania wyporu rur niwelującego lub radykalnie zmniejszającego ich ciężar, a tym samym tarcie wywołane ich przemieszczaniem się po dnie kanałów.

Ustalenie dopuszczalnej długości ciągnięcia rur

W przypadku prostego odcinka siłę F potrzebną do wciągnięcia rur do istniejącego kanału wylicza się ze wzoru:

$$F = g_R \cdot l \cdot (\mu \cos \alpha \pm \sin \alpha)$$

gdzie:

- g_R – jednostkowy ciężar rury, [N/m]
- l – długość rury, [m]
- μ – współczynnik tarcia przy wciąganiu rury [-]
- α – kąt określający spadek podłużny ułożenia rury [°]

We wzorze tym przyjmuje się wartość μ nie większą niż 0,8, znak „+” gdy rura wciągana jest „pod spadek” a znak „-” gdy ze spadkiem.

Z powyższego wzoru można określić maksymalną dopuszczalną długość l_{max} rury wciąganej do prostego odcinka kanału:

$$l_{max} = \frac{F_{max}}{g_R \cdot (\mu \cos \alpha \pm \sin \alpha)}$$

gdzie:

- F_{max} – dopuszczalna siła ciągu rur [kN]

Istotny wpływ na wartość długości l_{max} ma współczynnik tarcia μ . Wartość $\mu = 0,8$ zaleca się przyjmować jako górną z możliwych. Każdorazowo jednak należy poszukiwać rozwiązań mających na celu obniżenie tej wartości. Już sam współczynnik tarcia polietylenu o beton jest znacznie niższy od 0,8 a dodatkowo można go obniżyć różnymi sposobami.

Celem oszacowania siły ciągnięcia rur przyjęto w niżej podanym przykładzie obliczeniowym współczynnik tarcia $\mu = 0,3; 0,5$ i $0,7$. Wartość $\mu = 0,3$ przyjmuje się jako górną w przypadku tzw. tarcia płynnego przy zastosowaniu w dolnej części kanału środków zmniejszających tarcie typu bentonit (lub innych środków płynnych).

Wg np. wytycznych niemieckich przy wciąganiu rur polietylenowych nie mogą zostać przekroczone naprężenia graniczne wynoszące $\sigma_R = 21 \text{ N/mm}^2$

Uwzględniając współczynnik bezpieczeństwa 1,4 stosowany dla stanów montażowych można ustalić dopuszczalną wartość naprężeń równą 15 N/mm^2 [1]. W przypadku uzyskiwania takich naprężeń w rurze osiąga się dopuszczalne wydłużenie rury $\epsilon_{dop} = 3 \%$ przy wartości

krótkotrwałego modułu sprężystości równego 500 N/mm^2 [1].

Maksymalne siły ciągnięcia rur zależą od rodzaju zastosowanego polietyleny, wielkości SDR, temperatury i czasu ciągnięcia rury. Przykładowo rurę $\phi 400 \text{ mm}$ o $\text{SDR} = 11$ w temperaturze 20°C można ciągnąć maksymalnie siłą 332 kN , a w temperaturze 40°C już tylko siłą 208 kN [11]. Ta sama rura $\phi 400 \text{ mm}$, ale o $\text{SDR} = 7,4$ może być ciągnięta znacznie wyższymi siłami tj. 478 kN (w temperaturze 20°C) i 299 kN (w temperaturze 40°C). W przypadku, gdy wciąganie rury trwa ponad 10 godzin powyższe siły powinny być zredukowane o 10%, a w przypadku wciągania trwającego ponad 20 godz. o 20%.

Maksymalna wartość siły wciągającej i jednocześnie maksymalne naprężenia występują bezpośrednio za głowicą wciągającą rurę.

Poniżej podano wzory oraz wykonano przykładowe obliczenia dla rur polietylenowych Weholite-Spiro SN4 o średnicy 800 mm i ciężarze $0,36 \text{ kN/m}$ (36 kg/m).

W celu ustalenia dopuszczalnych długości ciągnięcia rur przyjęto zgodnie z zaleceniami producenta tych rur dopuszczalną wartość naprężeń rozciągających równą 10 N/mm^2 oraz moduł sprężystości równy 200 N/mm^2 [1] i współczynnik bezpieczeństwa równy $2,0$. Wszystkie te trzy parametry różnią się od zaleceń podanych w wytycznych [1] i wynikają ze specyfiki zastosowanych rur polietylenowych (o nie pełnych ścianach) oraz innej niż w [1] zweryfikowanej przez producenta metody obliczeń. Pierwsze dwa parametry są mniejsze od zalecanych w [1], a trzeci większy.

Wydłużenia rury w trakcie ciągnięcia są funkcją czasu ciągnięcia rury, temperatury otoczenia oraz wielkości naprężeń w rurze będących w ścisłej relacji z siłą ciągnięcia. Dla czasu wciągania ok. 10 godzin, temperatury ok. 20°C , naprężeń rozciągających równych 15 N/mm^2 wydłużenia rury wyniosą ok. 3%. Poniżej zamieszczono dopuszczalne długości ciągnięcia rury ustalone dla trzech współczynników tarcia $\mu = 0,3$; $0,5$ i $0,7$ przyjmując założenie, iż spadek podłużny kanału wynosi 0%. Obliczenia wykonano dla zalecanej przez producenta maksymalnej siły wciągania rur $F_{\text{max}} \cong 198 \text{ kN}$:

- dla $\mu = 0,3$ $l_{\text{max}} \cong 1840 \text{ m}$
- dla $\mu = 0,5$ $l_{\text{max}} \cong 1104 \text{ m}$
- dla $\mu = 0,7$ $l_{\text{max}} \cong 788 \text{ m}$

W przypadku zastosowania sił ciągnięcia mniejszych od F_{max} , długość ciągnięcia rur ulegnie wprost proporcjonalnemu zmniejszeniu.

Obliczenie długości wykopu początkowo służącego wprowadzaniu rury Weholite-Spiro do wnętrza kanału i powierzchni terenu

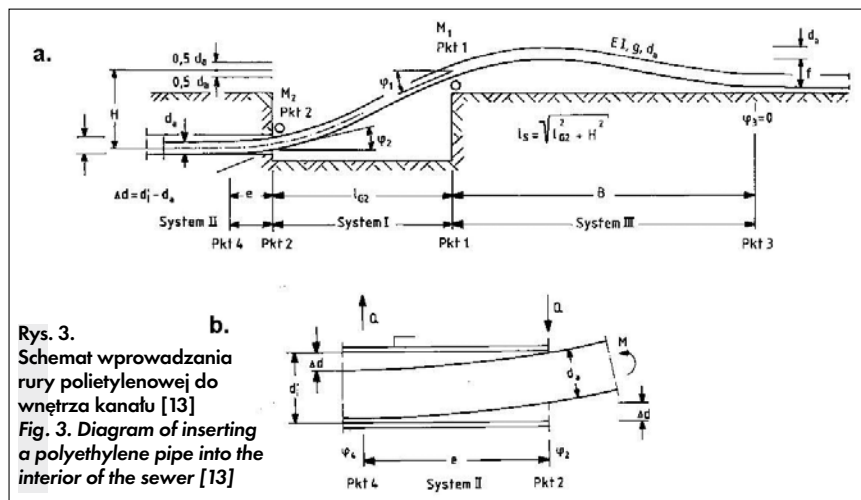
Przyjęto schemat wprowadzania rury Weholite-Spiro z powierzchni terenu jak na rys. 3. Przykład obliczeniowy wykonano dla wartości $H = 3,6 \text{ m}$.

(celem umożliwienia wprowadzenia rur Weholite-Spiro do jego wnętrza) nie na całej długości wykopu, ale jedynie na odcinku l' określonym w oparciu o wzór

$$l' = \sqrt{D_a(2R - D_a)}$$

gdzie:

D_a – średnica zewnętrzna kanału żelbetowego [mm]



Rys. 3. Schemat wprowadzania rury polietylenowej do wnętrza kanału [13]
Fig. 3. Diagram of inserting a polyethylene pipe into the interior of the sewer [13]

Dane do obliczeń:

$$d_a = 891 \text{ mm}$$

$$\Delta d = d'_i - d_a = 1000 - 891 = 109 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{\Delta d}{d_a} = \frac{109}{891} = 0,122$$

$$H = 3,6 \text{ m}$$

$$\frac{H}{d_a} = \frac{3,6}{0,891} = 4,04$$

Z obliczeń wykonanych z zastosowaniem nomogramów firmy Brochier [13] dla modułu sprężystości równego 500 N/mm^2 uzyskano następujące długości wykopów l_{G2} :

$$l_{G2} = 18,14 \text{ m} \quad \text{dla temperatury } t = 20^\circ\text{C}$$

$$l_{G2} = 23,04 \text{ m} \quad \text{dla temperatury } t = 10^\circ\text{C}$$

$$l_{G2} = 27,93 \text{ m} \quad \text{dla temperatury } t = 0^\circ\text{C}$$

W celu ograniczenia długości wykopu można rozważyć możliwość wprowadzania rur do wykopu przy użyciu dźwigu unosząc je do góry przed wprowadzeniem do wykopu w sposób pokazany na rys. 4.

Z rys. 4 wynika że należy usunąć górną połowę konstrukcji istniejącego kanału

R – dopuszczalny promień gięcia rur [mm]

Obliczona wartość R w oparciu o tabelę 3.3 [3] wynosi: $R = 21,83 \text{ m}$.

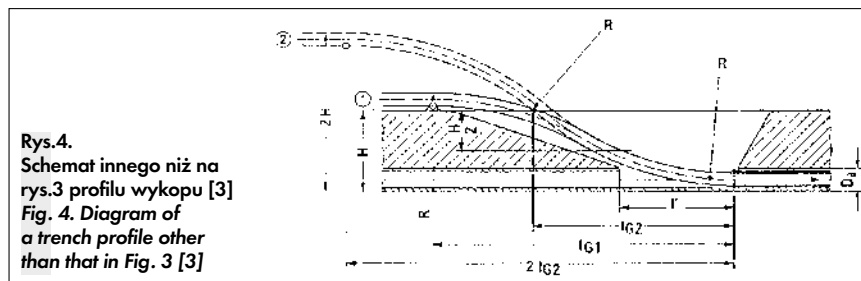
Długość l' kanału, w którym należy usunąć jego górną część, aby wprowadzić rurę polietylenową, wynosi (w temperaturze 20°C): $l' = \sqrt{1,2(2 \cdot 21,83 - 1,2)} = 7,14 \text{ m}$.

Po podjęciu decyzji dotyczących miejsc lokalizacji wykopów, z których rury będą wciągane do kanału, znane będą już ich głębokości i wtedy należy dla każdego zaplanowanego wykopu ustalić parametry l_{G2} . Parametr l' jest stały i nie zależy od zagłębienia wykopu.

Siły wyporu rur Weholite-Spiro

Obliczenie siły wyporu „pustej” rury dla przypadku wypełnienia przestrzeni międzyrurowej wodą

W trakcie wypełnienia wolnej przestrzeni międzyrurowej wodą gruntową (o ile doszłoby do takiej sytuacji) oraz w trakcie wypełniania przestrzeni międzyrurowej wypełniaczem o ciężarze objętościowym



Rys. 4. Schemat innego niż na rys. 3 profilu wykopu [3]
Fig. 4. Diagram of a trench profile other than that in Fig. 3 [3]

równym ciężarowi wody zaistnieje wypór rury Weholite-Spiro.

Siła wyporu F_W w odniesieniu do 1 m długości rury o $d_W = 800$ mm i ciężarze ok. 36 kG/mb wynosi:

$$F_w = W - G_R = \frac{\pi d_z^2 \gamma}{4} - G_R =$$

$$= \frac{\pi \cdot 0,89^2}{4} \cdot 10 - 0,36 =$$

$$= 6,23 - 0,36 = 5,87 \text{ kN} / \text{m}$$

Siła wyporu F_W w odniesieniu do 1 m długości rury o $d_W = 1500$ mm i ciężarze ok. 140 kG/mb wynosi:

$$F_w = \frac{\pi \cdot 1,689^2}{4} \cdot 10 - 1,40 = 20,99 \text{ kN} / \text{m}$$

Obliczenie minimalnej wysokości wypełnienia rury wodą w celu zrównoważenia jej wyporu w trakcie wprowadzania wypełniacza

Uzasadnione jest w analizowanym przypadku dwuetapowe wprowadzanie wypełniacza do przestrzeni międzyrurowej najpierw do $\frac{1}{2}$ wysokości rury, a następnie w drugim etapie wypełnienie pozostałej przestrzeni. Przyjęto ciężar objętościowy wypełniacza równy 12 kN/m³ oraz następujące oznaczenia:

- H – poszukiwana wysokość wypełnienia wodą rury Weholite-Spiro
- w – promień wewnętrzny rury Weholite-Spiro
- h_1 – poszukiwana wysokość wypełnienia wodą liczona wzwyż od osi rury Weholite-Spiro
- X – miara łukowa kąta środkowego α opartego na łuku wewnętrznej powierzchni rury nie stykającej się z wodą
- γ_w – ciężar objętościowy wody

Obliczenie wysokości H wypełnienia wodą rury celem zrównoważenia jej wyporu w trakcie wprowadzania wypełniacza o $\gamma = 12$ kN/m³ w obszarze międzyrurowy do połowy wysokości rury:

$$F_w = \frac{1 \pi \cdot 0,89^2}{2 \cdot 4}$$

$$\cdot 12 - 0,36 = 3,38 \text{ kN} / \text{m}$$

Ciężar wody wypełniającej rurę winien być zatem wyższy od 3,38 kN/m

$$G_w = \left(\pi r_w^2 - \frac{x}{2} \cdot r_w^2 + \frac{1}{2} r_w^2 \sin x \right) \cdot \gamma_w$$

$$\text{dla } x = \frac{\pi \alpha}{180}$$

$$G_w = (0,502 - 0,08x + 0,08 \sin x) \cdot 10 > 3,38 \text{ kN} / \text{m}$$

Warunek ten sprawdzano dla kątów α ze skokiem co 10°. Pierwszym kątem spełniającym ten warunek jest $\alpha = 140^\circ$. Dla $\alpha = 140^\circ$ obliczono G_W :

$$G_W = (0,502 - 0,08 \cdot 2,44 + 0,08 \cdot \sin 140^\circ) \cdot 10 =$$

$$= 3,58 \text{ kN} / \text{m} \cdot 3,38 \text{ kN} / \text{m} = F_W$$

Dla $\alpha = 140^\circ$

Wysokość napełnienia rury Weholite-Spiro winna być nie mniejsza od wartości:

$$H = r_w + h_1 = 0,4 + 0,137 \text{ m} = 0,537 \text{ m}.$$

Po stwardnieniu wypełniacza należy w drugim etapie wprowadzić wypełniacz w pozostały dotychczas niewypełniony obszar międzyrurowy.

Uwaga: W przypadku zastosowania wypełniacza o innym ciężarze objętościowym należy skorygować wykonane obliczenia wprowadzając we wzorze na F_W zamiast liczby 12 zastosowany ciężar objętościowy wypełniacza podany w kN/m³.

Oddziaływanie wpływów termicznych na rurę

Współczynnik rozszerzalności termicznej rur polietylenowych wynosi 0,17 mm w odniesieniu do 1 m długości rury i różnicy temperatur 1K.

W przypadku wzrostu temperatury rura wydłuża się, a jeżeli nie ma możliwości wydłużania się powstają w niej naprężenia ściskające w kierunku osiowym. Z kolei, gdy następuje spadek temperatury rura skraca się, a jeżeli nie ma ona takiej możliwości (jest np. na końcach na stałe zamocowana, lub na długości występuje tarcie o np. stwardniały wypełniacz wyższe od siły skurczu) wtedy powstają w niej naprężenia rozciągające w kierunku osiowym.

W przypadku wypełniania przestrzeni międzyrurowej wypełniaczem cementowym zakłada się, że po tym zabiegu rura nie będzie się skracać ani wydłużać w przypadku zmian temperatury w jej otoczeniu.

Zjawisko skracania się długości rur PE może zaistnieć po włożeniu np. rozgrzanej w słońcu rury PE do chłodnej przestrzeni wewnątrz kanałowej, a zjawisko wydłużania się rur w przypadku włożenia rur wychłodzonych np. na mrozie do cieplejszej przestrzeni wewnątrz kanałowej.

Zakładając realną w warunkach realizacji różnicę temperatur $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ oraz długość jednorazowo wciąganej rury $l = 400$ m zmiana długości rury wyniesie $\Delta l = 0,17 \cdot 20 \cdot 400 = 1360$ mm = 1,36 m. Biorąc pod uwagę różnice temperatur w okresie montażu rur czynnik ten należy

uwzględnić przy realizacji robót renowacyjnych. Przed rozpoczęciem wypełniania wolnej przestrzeni międzyrurowej zaprawą cementową należy w przypadku zaistnienia wspomnianych różnic temperaturowych pozostawić rurę na okres kilkunastu godzin do 1 doby (w zależności od tego jak duże są wspomniane różnice temperatur) celem umożliwienia rurze skrócenia lub wydłużenia się. W przypadku nie pozostawienia tego czasu, w rurze pojawią się dodatkowe naprężenia rozciągające lub ściskające rurę w kierunku osiowym nie nieuwzględniane w podstawowym toku obliczeń, mogące wywołać wyłężenia przekroju rury wyższe od dopuszczalnych.

Zakres prac końcowych

Do prac końcowych, które należy wykonać po wciągnięciu rury Weholite-Spiro i wypełnieniu wolnej przestrzeni międzyrurowej zaprawą cementową należy zaliczyć:

- wykonanie kinet w studzienkach kanalizacyjnych o ile nie pozostawi się tam rur lub fragmentów rur,
- podłączenie przykanalików w przypadku:
 - a) gdyby stwierdzono ich występowanie między studzienkami
 - b) gdy są one podłączone do studzienek kanalizacyjnych a w nich pozostawione zostałyby rury,
- odtworzenie konstrukcji kanału zniszczonego w górnej części w miejscach wykopów, przez które rury zostały wprowadzane do kanałów.

Ryzyka w stosowaniu technologii „długiego Reliningu”

W przypadku każdej technologii bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych istnieją określone specyficzne dla danej technologii ryzyka mogące spowodować uszkodzenia i awarie rur [9]. W poniższej tabeli bazując głównie na [3] zestawiono w lewej kolumnie możliwe zjawiska towarzyszące błędom popełnianym w technologii „długiego Reliningu”. W kolumnie środkowej przyporządkowano im możliwe przyczyny uszkodzeń. Prawa kolumna zawiera z kolei informacje o sposobach unikania błędów.

Uwagi końcowe

Projektując bezwykopowe rehabilitacje przewodów kanalizacyjnych metodą „długiego Reliningu” należy wykonać nie tylko podstawowy tok obliczeń umożliwiający dobór odpowiedniej rury polietylenowej z katalogu. Istotne jest także

Tabela 1. Możliwe ryzyka występujące przy stosowaniu technologii „długiego Reliningu”
Table 1 Possible risks occurring when is using the “long relining” technology

Długi Relining		
Zauważone nieprawidłowości	Możliwe przyczyny popełnionych błędów	Zalecenia
1. Wydłużenie rury	– za duże obciążenie rozciągające	– poprawny dobór średnicy zewnętrznej rury uwzględniający ewentualne pogrubienie rury w miejscu zgrzewów
		– nie przekraczanie maksymalnej siły ciągnięcia rury
		– zastosowanie wciągarek, które przy stałej prędkości wciągania rury gwarantują nie przekroczenie ustalonych naprężeń rozciągających
		– poprawne zwymiarowanie wykopów początkowych
2. Ponadnormatywne odkształcenia rur większe od 6%, a pod torami kolejowymi większe od 2%	– nieprawidłowe magazynowanie (przebiegnięcie rur), przegrzanie rur np. wskutek poddania ich promieniowaniu słonecznemu	– osłonięcie składowanych rur, prawidłowe składowanie
3. Ponadnormatywne zarysowania zewnętrznej powierzchni rur po jej wciągnięciu	– uszkodzenia rur przy wciąganiu przez nie usunięte przeszkody wewnątrz kanałowe lub fragmenty splekanych bądź przemieszczonych poprzecznie na złączach rur kanałowych	– dokładne skalibrowanie przekroju poprzecznego kanału (usunięcie przeszkód)
4. Pionowe zmiany położenia rur	– wypór w trakcie wypełniania szczeliny pierścieniowej wodą lub iniektem	– cięszy od zaprojektowanego iniektu, nie uwzględnienie w obliczeniach wypełnienia przestrzeni międzyrurowej wodą przed wprowadzeniem iniektu, inne błędy obliczeniowe
5. Zmiana długości rury	– zmiana długości rury spowodowana siłą kontrakcji wywołaną skurczem rur wcześniej wydłużonych na skutek ponadwymiarowej siły ich wciągania	– nie przekraczanie maksymalnej siły ciągnięcia rur, zastosowanie wciągarek, które przy stałej prędkości wciągania rury gwarantują nie przekroczenie ustalonych naprężeń rozciągających
	– zmiana długości wskutek schładzania się we wnętrzu kanału rozgrzanej w słońcu rury	– wprowadzanie do wnętrza kanału rur o odpowiedniej temperaturze
6. Utrata stateczności rury (wyboczenie)	– zbyt duże ciśnienie zewnętrzne przy wypełnianiu szczeliny pierścieniowej iniektem lub błędne zwymiarowanie rury	– kontrola ciśnienia wprowadzanego iniektu, poprawny dobór grubości rury
	– wyższe od przyjętego w obliczeniach ciśnienie zewnętrzne wody	– poprawne wykonanie obliczeń wyboczenia rur
7. Trudności dotyczące wciągania rur	– zbyt duże siły tarcia	– poprawna kalibracja rury, zachowanie właściwej siły wciągania
	– za mały kąt gięcia rur	– utrzymanie uwarunkowanego pomiarami kąta gięcia rur w wykopie początkowym
8. Deformacje miejscowe	– wyboczenie przy błędnym wypełnianiu iniektem szczeliny pierścieniowej	– lokalne przeciążenie rury ciśnieniem zewnętrznym
9. Nieszczelności w miejscu włączenia przykanalika	– wadliwe zgrzanie rur	– poprawne zgrzewanie rur z kontrolą jakości zgrzewów

wykonanie dodatkowych obliczeń zamieszczonych wyżej, które uwzględniają etap montażu tych rur. W odróżnieniu od rur o konstrukcji sztywnej czy sprężystej rury polietylenowe cechuje lepkosprężystość. Stąd też w obliczeniach powinno się uwzględniać także ich temperaturę oraz

czas oddziaływania na nie określonych obciążeń, co wykazano w powyższych tokach obliczeń. Istotna jest także wiedza o ewentualnych ryzykach i ten temat zgodnie z wymogami unijnymi i krajowymi powinien też być uwzględniony w projekcie.

LITERATURA

- [1] ATV-DVWK-M127P – część 2: Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe dla rehabilitacji technicznej przewodów kanalizacyjnych przez wprowadzanie linerów lub metodą montażową, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa, 2000.
- [2] Janson L-E: Rury z tworzyw sztucznych do zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków, PRiK, Toruń, 2010.
- [3] John H.-J.: Fehler in der Kanalsanierung, Vulkan-Verlag, Essen, 1998.
- [4] Kuliczkowski A.: Rury kanalizacyjne, t II, Projektowanie konstrukcji, monografia 42, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2004.
- [5] Kuliczkowski A.: Wybrane problemy dotyczące projektowania rurociągów polietylenowych – cz. I, INSTAL, 3,28-32,2011. http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-B S W 3 -0087-0006?q=bwmeta1.element.baztech-volume-1640-8160-install-2011-nr_3;5&q=CHILDREN-STATELESS
- [6] Kuliczkowski A.: Wybrane problemy dotyczące projektowania rurociągów polietylenowych – cz. II, INSTAL, 5,29-33,2011. [https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-B S W 3 -0087-0024?q=d860d98b-6b6b-4062-82ba-caf62df9ed9f\\$18&q=IN_PAGE](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-B S W 3 -0087-0024?q=d860d98b-6b6b-4062-82ba-caf62df9ed9f$18&q=IN_PAGE)
- [7] Kuliczkowski A.: Renowacja czy rekonstrukcja na przykładzie przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych, INSTAL, 2012, 1,46-49.
- [8] Kuliczkowski A., Parka A.: Kryterium statyczno-wytrzymałościowe w doborze rehabilitacyjnych powłok stosowanych w przewodach wodociągowych, INSTAL, 5,56-63,2014. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-5fe6875b-6c1c-4b3a-8070-7da3b64b526e?q=bwmeta1.element.baztech-639cb4be-e3b7-47a9-b3fa-3294e3942d8b;9&q=CHILDREN-STATELESS>
- [9] Kuliczkowski A., Kuliczowska E.: Uszkodzenia i awarie rur i powłok z tworzyw sztucznych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 2023, nr.10, s.21-26. DOI 10.36119/15.2023.10.4
- [10] Madryas C., Kolonko A., Wysocki L.: Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2002.
- [11] Praca zbiorowa pod redakcją Andrzeja Kuliczowskiego: Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa, 2010.
- [12] Stein D.: Instandhaltung von Kanalisationen, Ernst & Sohn, A Wiley Verlag, Berlin 2001.
- [13] Zimmermann H.: Unterirdische Leistungserneuerung, Beanspruchung eines Relining-Rohrstranges beim Einziehvorgang, Hans Brochier GmbH&Co, Schwaig.