

Uszkodzenia i awarie rur i powłok z tworzyw sztucznych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych

Damages and failures of plastic pipes and liners in trenchless rehabilitation of sewers

ANDRZEJ KULICZKOWSKI, EMILIA KULICZKOWSKA

DOI 10.36119/15.2023.10.4

Dokonano zestawienia możliwych uszkodzeń rur i powłok stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych metodą CIPP bazując na metodach brytyjskiej, amerykańskiej, nowozelandzkiej i europejskiej. Zamieszczono opisy 7 awarii rur i powłok rehabilitacyjnych, które wystąpiły w okresie do 3 lat po zakończeniu robót. Dokonano analizy przyczyn wystąpienia tych awarii.

Słowa kluczowe: uszkodzenia, awarie, przewody kanalizacyjne, bezwykopowa rehabilitacja

A list of possible damages to pipes and liners used in trenchless rehabilitation of sewers using the CIPP method was made, based on British, American, New Zealand and European methods. There are descriptions of 7 failures of pipes and rehabilitation liners that occurred within 3 years after the completion of works. An analysis of the causes of the occurrence these failures was made.

Keywords: damage, failures, sewer pipelines, trenchless rehabilitation

Wstęp

Istnieją różne metody zestawiania i opisu uszkodzeń występujących w rurach kanalizacyjnych, np. te zamieszczone w polskiej normie [24] czy wytycznych amerykańskich [21]. W [6] zamieszczono także kolejną propozycję zestawiania uszkodzeń, ale w odróżnieniu od poprzednich zawierającą ich podział na 5 grup zróżnicowanych wielkością poszczególnych uszkodzeń. Natomiast nadal brakuje podobnych wytycznych, ale w całości dotyczących wyłącznie uszkodzeń powłok rehabilitacyjnych. Poniżej, bazując na następujących metodach: brytyjskiej [27], amerykańskiej [21], nowo zelandzkiej [22] i europejskiej [24], zestawiono możliwe uszkodzenia powłok rehabilitacyjnych na przykładzie najczęściej stosowanej w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych technologii CIPP (ang. Cured in Place Pipe) [25]. Następnie zamieszczono 7 przykładów awarii powłok rehabilitacyjnych, kierując się kryterium ich doboru polegającym na tym, że okres ich wystąpienia miał miejsce już po zainstalowaniu powłoki lub ułożeniu rury w okresie do 3 lat po zakończeniu robót. Analizowane awarie dotyczyły wyłącznie rur i powłok z tworzyw sztucznych.

Problematyka awarii rur i powłok rehabilitacyjnych z tworzyw sztucznych nie jest zbyt często prezentowana w literaturze technicznej. Pewna liczba referatów konferencyjnych dotyczących tej problematyki dostępna jest na stronie internetowej ISTT (ang. International Society for Trenchless Technology), to jest Międzynarodowego Stowarzyszenia Technik Bezwykopowych. Są to referaty, które były prezentowane na organizowanych przez ISTT międzynarodowych konferencjach NO-DIG. Z tzw. zwartych pozycji literaturowych warto zwrócić uwagę na książkę [5], której tytuł w języku polskim brzmi: „Błędy w renowacji przewodów kanalizacyjnych”. Podane są w niej, dla kilku różnych technologii rehabilitacyjnych, opisy błędów realizacyjnych zauważonych na etapie rehabilitacji, możliwe przyczyny ich wystąpienia oraz uwagi dotyczące sposobów ich unikania.

Uszkodzenia powłok rehabilitacyjnych CIPP według różnych klasyfikacji

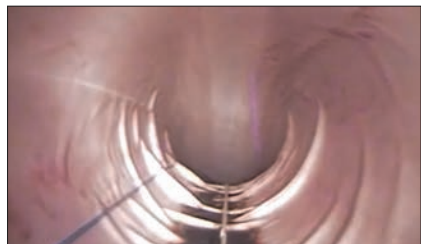
Uszkodzenia rur i powłok z tworzyw sztucznych [6] stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych zestawiane są w różnych meto-

dach. Poniżej podano uszkodzenia powłok żywicznych CIPP stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych zamieszczone w następujących metodach: brytyjskiej [27], amerykańskiej [21], nowo zelandzkiej [22] i europejskiej [24]. Łącznie w tych metodach zestawiono 18 następujących uszkodzeń powłok CIPP [23]:

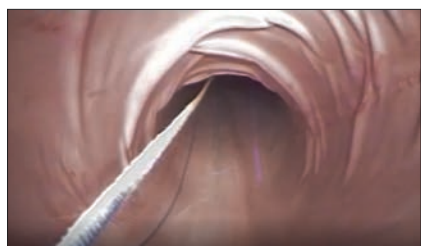
- powłoka pokryta pęcherzami,
- pęknięcie powłoki obwodowe (poprzeczne),
- pęknięcie powłoki podłużne,
- pęknięcie powłoki złożone,
- powłoka „wybrzuszona” do wewnątrz (utrata stateczności),
- oddzielenie się powłoki od ścian rehabilitowanego przewodu,
- początkowe wady powłoki,
- przesiąkanie wody przez powłokę,
- nieprawidłowe zakończenie powłoki,
- wady przykanalika,
- pomarszczenie powłoki (fałdy) obwodowe,
- pomarszczenie powłoki (fałdy) podłużne,
- pomarszczenie powłoki (fałdy) złożone,
- zmiana barwy powłoki,
- niedostateczne nasączenie żywicą,

- utrata szczelności,
- przedostanie się wody gruntowej pomiędzy kanał a powłokę rehabilitacyjną,
- owalizacja/deformacja powłoki.

Na rys. 1 i 2 pokazano przykładowo fałdy poprzeczne kolejno w dnie i w wierzchołku kanału.



Rys. 1.
Fałdy poprzeczne w dnie kanału (zdjęcie własne)
Fig. 1. Circumferential folds in the bottom of the sewer (own photo)



Rys. 2.
Fałdy poprzeczne w wierzchołku kanału (zdjęcie własne)
Fig. 2. Circumferential folds in the top of the sewer (own photo)

W wymienionych wyżej czterech metodach, punktem wyjściowym do wykonania opisu uszkodzeń występujących w przewodach kanalizacyjnych są wyniki inspekcji wykonanej metodą CCTV.

Analiza wyżej wymienionych metod wykazała, że żadna z nich nie opisuje takich uszkodzeń powłok rehabilitacyjnych, jak np. przecięcia powłoki (które mają inny charakter niż pęknięcia czy szczeliny) lub obecność ciał obcych pomiędzy ścianą odnawianego przewodu a zewnętrzną częścią powłoki rehabilitacyjnej sygnalizowanych w niektórych artykułach.

Najczęstszym uszkodzeniem powłok rehabilitacyjnych występującym po dłuższym czasie eksploatacji, na podstawie badań opisanych w [1,26], są puste przestrzenie obwodowe pomiędzy powłoką, a odnawianym przewodem kanalizacyjnym. Tylko metoda amerykańska zawiera to uszkodzenie pomimo, iż sprawdzenie występowania tego typu uszkodzenia nie jest możliwe w trakcie inspekcji CCTV [8]. Można je wykryć jedynie przy zastosowaniu innych metod diagnostycznych np. specjalnego georadaru [7] przemieszczającego się wnętrzem przewodu kanalizacyjnego.

Na 18 uwzględnionych w zestawieniu uszkodzeń, które występują co najmniej w jednej z 4 wymienionych metod, klasyfikacja brytyjska nie opisuje 4 uszkodzeń, amerykańska – 7 uszkodzeń, nowo zelandzka – 15 uszkodzeń, a europejska – 13 uszkodzeń. Tak duże rozbieżności mogą wynikać z faktu, iż metody nowo zelandzka i europejska, które opisują dużo mniej rodzajów uszkodzeń, zostały opracowane 7-10 lat wcześniej niż aktualne wersje metody brytyjskiej i amerykańskiej, choć oczywistym jest, że już wtedy technologie powłok rehabilitacyjnych CIPP były znane od przeszło 30 lat i były powszechnie stosowane. Wszystkie wyżej wymienione klasyfikacje umożliwiają opis niepasujących do żadnej innej kategorii uszkodzeń za pomocą specjalnego kodu, oznaczającego „pozostałe uszkodzenia” lub też w postaci adnotacji w rubryce „uwagi”.

Zamieszczone wyżej informacje wskazują zatem na potrzebę uporządkowania istniejącej wiedzy dotyczącej możliwych uszkodzeń powłok rehabilitacyjnych, w tym m.in. powłok żywicznych CIPP. Uszkodzenia powłok z innych materiałów opisywane są w wymienionych wcześniej wytycznych i normach, a także w różnych publikacjach, w tym m.in. w pozycji książkowej [5].

Awarie rur i powłok z tworzyw sztucznych, które wystąpiły w okresie do trzech lat po zakończeniu rehabilitacji a nie bezpośrednio po zakończeniu robót

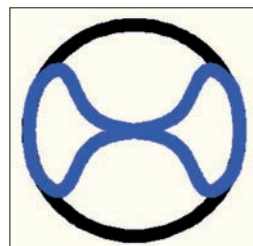
Awarie powłok rehabilitacyjnych z tworzyw sztucznych, podobnie jak rur z tworzyw sztucznych, mogą zdarzać się bezpośrednio po zakończeniu robót, jak również po upływie pewnego czasu, np. roku czy kilku lat. Poniżej zaprezentowano kilka przykładowych awarii rur i powłok rehabilitacyjnych, które wydarzyły się po upływie pewnego czasu, maksymalnie do 3 lat po zakończeniu robót.

Przykład nr 1.

Przykład nr 1 dotyczy utraty stateczności przez rurę PVC o średnicy 315 mm. Po upływie pewnego czasu po wykonaniu robót, gdy poziom wód gruntowych po zaprzestaniu odwodnienia gruntu, które miało miejsce w trakcie wbudowywania rur, uległ znaczącemu podwyższeniu, nastąpiła utrata ich stateczności. Na rys. 3 pokazano kolorem niebieskim zaobserwowany ze studzienki kanalizacyjnej kształt tych rur po utracie przez nie stateczności. Dolna część rury uniosła się do środka

rury, a górna opadła dotykając części dolnej. Z uwagi na przepisy dotyczące ochrony obiektu, wokół którego była wykonywana ekspertyza, autorzy artykułu nie mogli wykonać zdjęcia pokazującego to, co pokazano na rys. 3.

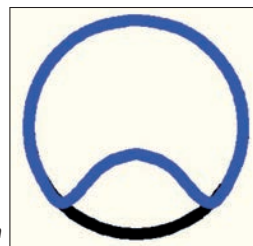
Rys. 3.
Schemat utraty stateczności przez rurę PVC o średnicy 315 mm
Fig. 3. Scheme of loss of stability through a PVC pipe with a diameter of 315 mm



Przykład nr 2.

Przykład nr 2 dotyczy utraty stateczności przez rurę PE-HD o średnicy 1600 mm. W momencie pokazanym na rys. 4 i zarejestrowanym na rys. 5, dolna część rury uniosła się do góry na wysokość ponad 0,5 m. Utrata stateczności przez rurę nastąpiła po trzy letnim okresie jej eksploatacji.

Rys. 4.
Schemat utraty stateczności przez rurę PE-HD o średnicy 1600 mm
Fig. 4. Scheme of loss of stability through a PE-HD pipe with a diameter of 1600 mm

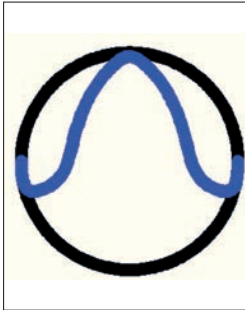


Rys. 5.
Utrata stateczności przez rurę PE-HD o średnicy 1600 mm (zdjęcie własne)
Fig. 5. Loss of stability through a PE-HD pipe with a diameter of 1600 mm (own photo)

Przykład nr 3.

Przykład nr 3 dotyczy utraty stateczności przez rurę PE-HD o średnicy 1000 mm. Rurę tę wprowadzono do wnętrza kanału żelbetowego o średnicy 1200 mm w trakcie zastosowania bezwykopowej jego rehabilitacji metodą „długiego Reliningu” [25]. W momencie pokazanym na rys. 6 i zarejestrowanym na rys. 7 dolna część rury uniosła się na wysokość 1 m do góry, dotykając wnętrza jej wierzchołka. Na rys. 7 widoczne jest usunięcie fragmentu rury żelbetowej w miejscu wykonanego wykopu z odsłonięciem rury PE-HD, której

dno uniesione jest do góry, a ścieki płyną po obu stronach uniesionego do góry wierzchołka rur. Utrata stateczności przez tę powłokę rehabilitacyjną nastąpiła po około rocznym okresie eksploatacji kanału.



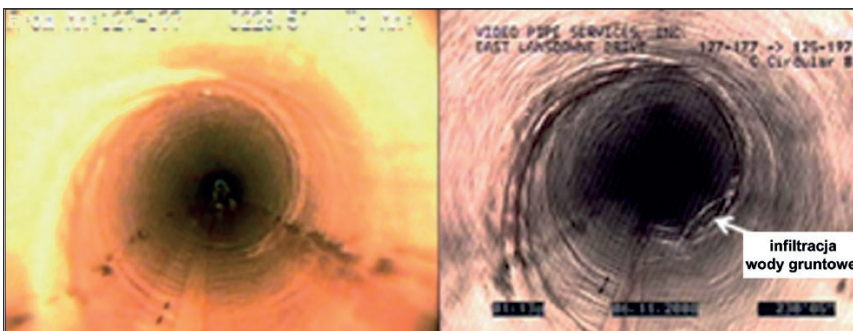
Rys. 6. Schemat utraty stateczności przez powłokę rehabilitacyjną z PE-HD o średnicy 1000 mm
Fig. 6. Scheme of loss of stability by a rehabilitation shell made of PE-HD with a diameter of 1000 mm



Rys. 7. Utrata stateczności przez rurę PE-HD o średnicy 1600 mm (zdjęcie własne)
Fig. 7. Loss of stability through a PE-HD pipe with a diameter of 1600 mm (own photo)

Przykład nr 4.

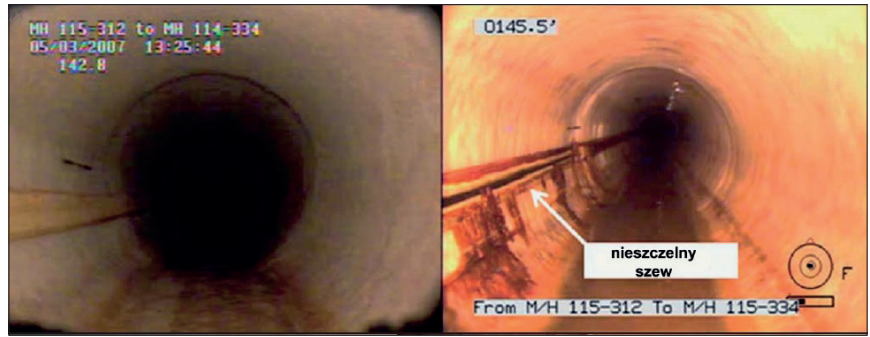
Przykład nr 4 dotyczy pojawienia się nieszczelności w żywicznej powłoce rehabilitacyjnej CIPP (Rys.8) po upływie około 1 roku jej eksploatacji. Nieszczelność ta nie występowała w momencie dokonywania odbioru robót.



Rys. 8. Żywiczna powłoka rehabilitacyjna bezpośrednio po zakończeniu rehabilitacji i około rok później z widoczną infiltracją wody gruntowej [11]
Fig. 8. Resin rehabilitation liner immediately after rehabilitation and about a year later with visible groundwater infiltration [11]

Przykład nr 5.

Przykład nr 5 dotyczy pojawienia się nieszczelności w żywicznej powłoce rehabilitacyjnej CIPP (Rys.9) w miejscu wykonanego szwu, łączącego oba końce maty rehabilitacyjnej. Nieszczelność w tym miejscu powłoki zaobserwowano po upływie około 1 roku jej eksploatacji. Nie występowała ona w momencie dokonywania odbioru robót.

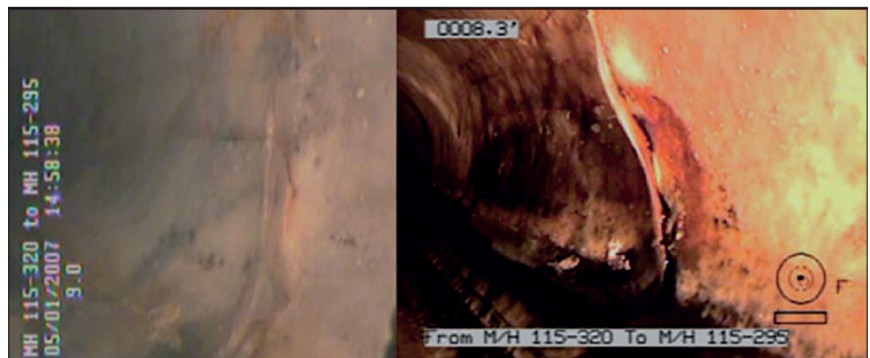


Rys. 9. Żywiczna powłoka rehabilitacyjna bezpośrednio po zakończeniu rehabilitacji i około rok później z widoczną nieszczelnością w miejscu podłużnego szwu [11]
Fig. 9. Resin rehabilitation coating immediately after rehabilitation and about a year later with a visible leak at the longitudinal seam [11]

Przykład nr 6.

Przykład nr 6 dotyczy pęknięcia żywicznej powłoki CIPP (Rys.10) po upływie około 1 roku jej eksploatacji. W momencie doko-

nanej ponownie po 14 miesiącach ich eksploatacji pojawiły się kolejne takie uszkodzenia. Wystąpiły one zatem z opóźnieniem w stosunku do terminu odbioru robót.



Rys. 10. Żywiczna powłoka rehabilitacyjna bezpośrednio po zakończeniu rehabilitacji i około rok później w miejscu wystąpienia pęknięcia powłoki rehabilitacyjnej [11]
Fig. 10. Resin rehabilitation liner immediately after rehabilitation and about a year later in the place of cracking of the rehabilitation coating [11]



Rys. 11. Pęknięcie tzw. złożone wewnętrznej warstwy żywicznej wykryte 14 miesięcy po przekazaniu rur do eksploatacji (zdjęcie własne) [18]
Fig. 11. The crack of the so-called deposits of the inner resin layer detected 14 months after the pipes were commissioned (own photo) [18]

nywania odbioru robót widoczne były jedynie niewielkie deformacje tej powłoki w miejscu późniejszego pęknięcia.

Przykład nr 7.

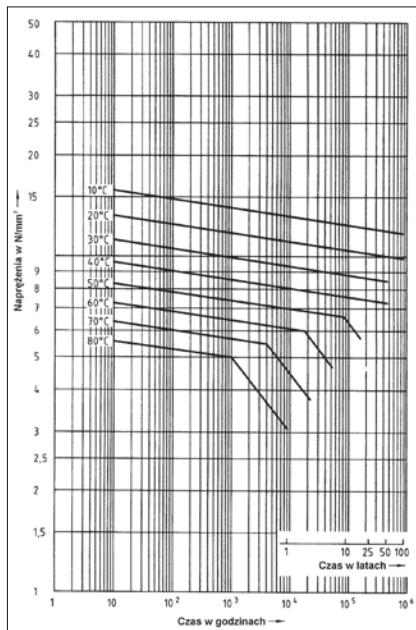
Przykład nr 7 dotyczy rur GRP. W ramach tych zaobserwowano na etapie odbioru robót m.in. tzw. pęknięcia złożone rozchodzące się z jednego miejsca w różnych kierunkach. Po kolejnej inspekcji CCTV wyko-

Przyczyny opóźnień w występowaniu awarii rur i powłok rehabilitacyjnych z tworzyw sztucznych (nie bezpośrednio po zakończeniu robót a rok, 2 czy 3 lata później)

Przyczyną awarii rur PVC (**Przykład nr 1**), która nastąpiła po kilku dniach po dokonaniu ich odbioru i zakończeniu

odwadniania gruntu, było nieuwzględnienie w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych warunku stateczności powłoki rur, tj. nieuwzględnienie wysokiego poziomu zwierciadła wody gruntowej nad wierzchołkiem rury, jaki wystąpił po zasypaniu wykopu gruntem i zaprzestaniu odwadniania gruntu. W związku z powyższym zastosowano rury o zbyt małej grubości ścian, a tym samym o zaniżonej sztywności obwodowej [10]. Opóźnienie w wystąpieniu awarii wynikało ze stopniowego podnoszenia się poziomu wody gruntowej po zaprzestaniu odwadniania gruntu w obszarze ułożonych rur. Jednocześnie opadnięcie wierzchołka rur i uniesienie się dna rur do góry wynikało z dwu przyczyn: stosunkowo niewielkiej średnicy rur i dość wysokiego (ponad 3 m) słupa wody gruntowej. Zatem ciśnienia wody oddziałującej na wierzchołek i dno tych rur w niewielkim stopniu różniły się. W przypadku rur o większych średnicach (Przykłady nr 2 i 3) utrata stateczności rur następuje w postaci odskoku ich dna do góry, z uwagi na znacznie wyższe ciśnienie wody gruntowej w dnie rur aniżeli w ich wierzchołku.

W przypadku rur lub powłok rehabilitacyjnych wykonanych z tworzyw sztucznych, z uwagi na fakt, że moduł Younga E zmniejsza się z upływem czasu, o ile popełni się błędy w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych lub popełni błędy wykonawcze, może dochodzić do awarii nawet po upływie roku lub później. W przykładzie nr 2 utrata stateczności rur nastąpiła po około trzech latach, a w przykładzie nr 3 po upływie jednego roku.



Rys. 12. Zależność naprężenia – czas dla PE 100 [9]
Fig. 12. Stress-time relationship for PE 100 [9]

Przykładowo moduł E krótkoterminowy dla rur wykonanych z polietyleny PE 100 wynosi 1200 MPa, a długoterminowy, na który projektuje się rury z tego materiału czyli na okres 50 lat, wynosi 200 MPa. Ma to miejsce w przypadku eksploatacji tych rur w temperaturze 20°C oraz przy transporcie nimi mediów nie oddziałujących na nie korozyjnie.

W przypadku wyższych temperatur okres eksploatacji skraca się z 50 lat do np. około 10 lat w temperaturze 50°C (Rys.12), a przy 80°C tylko do około 1000 godz. czyli ok. 42 dni.

Przyczyną utraty stateczności w przypadku rury z **przykładu nr 2** było zastosowanie rur o zaniżonej sztywności obwodowej w stosunku do sztywności obwodowej, ustalonej przez projektanta. W początkowym okresie eksploatacji tych rur ich moduł E [16] był na tyle duży (800 MPa dla rur z PE63), że nie doszło do utraty ich stateczności, ale w miarę upływu czasu zmniejszał się, a wraz z nim zmniejszały się dopuszczalne naprężenia obwodowe (Rys.12) tych rur [12,13]. W momencie utraty przez te rury stateczności, moduł E był na tyle niski, że nastąpiła utrata stateczności powłoki rur. Z wykresów zamieszczanych w różnych pozycjach literatury wynika, że moduł rur PE63 po upływie jednego roku może ulec zmniejszeniu z 800 MPa do około 300 MPa [4,19]. Po upływie 50 lat przyjmuje się jego wartość równą 160 MPa.

Przyczyną utraty stateczności przez powłokę rehabilitacyjną w **przykładzie 3** było niezastosowanie przez wykonawcę wypełnienia wolnej przestrzeni międzyrurowej zaprawą cementową zgodnie z ustaleniami zawartymi w projekcie.

Poniżej pokazano, bazując na dwu różnych metodach, jak w funkcji czasu zmienia się wartość zewnętrznego ciśnienia krytycznego (spowodowanego wodą gruntową) wywołującego utratę stateczności powłoki rur. Przykład dotyczy rur wykonanych z polietyleny PE63, które zastosowano do bezwykopowej rehabilitacji żelbetowego kolektora kanalizacyjnego opisanego, w przykładzie nr 3.

Zewnętrzne ciśnienie krytyczne można ustalić np. w oparciu o metodę firmy KWH Pipe. Z nomogramu [20] opracowanego specjalnie dla rur Weholite – Spiro wynika, że zewnętrzne ciśnienie krytyczne wywołujące w temperaturze 20°C utratę stateczności tych rur dla przypadku niezastosowania iniektu w obszarze międzyrurowym wynosi:

- dla czasookresu 3 minut około 0,07MPa, tj. ok. 7,0m sł. wody,
- dla czasookresu 100 godzin około 0,033MPa, tj. ok. 3,3m sł. wody,

- dla czasookresu 1 roku około 0,022MPa, tj. ok. 2,2m sł. wody,
- dla czasookresu 50 lat około 0,017MPa, tj. ok. 1,7m sł. wody.

Zewnętrzne ciśnienie krytyczne można także obliczyć w oparciu o metodę wg normy ASTM [2] bazującej na wzorze Timoshenki. Wartość ciśnienia krytycznego, przy którym dochodzi do utraty stateczności dla przypadku niezastosowania iniektu można obliczyć [2] ze wzoru:

$$P_{kr} = \frac{2E}{(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{(DR-1)^3} \quad (1)$$

gdzie:

- E – moduł sprężystości [N/mm²],
- ν – współczynnik Poissona [-],
- DR – współczynnik kształtu rury PE [-].

$$DR = \frac{D}{s}$$

gdzie:

- D – średnica zewnętrzna rury PE [mm],
- s – grubość ścianki zastępczej rury pełnej z PE [mm].

Dla zastosowanej rury wartość DR jest równa:

$$DR = \frac{1032,8}{32,8} = 31,49$$

Poniżej obliczono wartości ciśnień krytycznych wody gruntowej powodujące utratę stateczności powłok zastosowanych rur dla następujących okresów czasowych: 3 minuty (A), 1 rok (B) i 50 lat (C).

A. Obliczenie p_{kr} dla $t = 3$ minuty ($\nu = 0,40$)

$$P_{kr} = \frac{2 \cdot 800}{(1-0,40^2)} \cdot \frac{1}{(31,49-1)^3} \cdot 10^3 = 67,20 \text{ kN/m}^2 = 6,72 \text{ m sł. wody}$$

B. Obliczenie p_{kr} dla $t = 1$ rok ($\nu = 0,46$)

Z wykresu zamieszczonego w [4] na rys.3.2.48 przyjęto dla 1 roku (8760h) wartość $E = 270 \text{ N/mm}^2$ i ze wzoru (2) uzyskano $p_{kr} = 2,41 \text{ m sł. wody}$.

C. Obliczenie p_{kr} dla $t = 50$ lat ($\nu = 0,48$)
Ze wzoru (1) dla $E_1 = 160 \text{ MPa}$ uzyskano $p_{kr} = 1,47 \text{ m sł. wody}$.

Wyniki uzyskane z obu powyższych metod w niewielkim stopniu różnią się między sobą. Wspólną cechą uzyskanych wyników jest znaczący spadek ciśnień krytycznych powodujących utratę stateczności przez rury PE-HD wraz z upływem czasu.

W przypadku wypełnienia przestrzeni międzyrurowej zaprawą cementową, warunek utraty stateczności powłoki rur z tworzyw sztucznych [3] stosowanych do bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych opisany jest wzorem (2):

$$p_{k,dop} = \frac{f_a \cdot f_s \cdot p_k}{S} > p_h \quad (2)$$

gdzie:

$p_{k,dop}$ – dopuszczalne ciśnienie zewnętrzne wody gruntowej,

p_k – ciśnienie wody gruntowej dla przypadku braku bocznego podparcia rury, odczytywane z odpowiedniego wykresu lub obliczane,

f_a – współczynnik zmniejszający zależny od początkowego ugięcia rury (odczytywany z odpowiedniego wykresu),

f_s – współczynnik podparcia rury stosowany w przypadku wypełnionej zaprawą cementową przestrzeni międzyrurowej, przyjmowany jako równy 4,0,

S – współczynnik bezpieczeństwa,

p_h – projektowane ciśnienie hydrostatyczne odniesione do dna rury.

Wzór (2) wskazuje, jak ważne jest wypełnienie wolnej przestrzeni międzyrurowej zaprawą cementową. W przypadku wypełnienia przestrzeni międzyrurowej zaprawą cementową, dopuszczalne ciśnienie zewnętrzne wody gruntowej ulega 4-ro krotnemu zwiększeniu w stosunku do wyżej ustalonych wartości dla przypadku niewypełnienia zaprawą wolnej przestrzeni międzyrurowej. Zatem w przykładzie nr 3 niewypełnienie zaprawą cementową wolnej przestrzeni międzyrurowej znacząco zmniejszyło podatność zastosowanych rur na utratę przez nie stateczności.

Przyczyną uszkodzeń w **przykładach 4-6** dotyczących żywicznych powłok CIPP były kolejno:

- nieprawidłowe nasączenie powłoki rehabilitacyjnej żywicą,
- nieprawidłowe połączenie ze sobą końców maty poliestrowej,
- wykonanie powłoki w miejscu gdzie występował lokalny nacisk oderwanego od konstrukcji kanału jej fragmentu lub gdzie występował ubytek fragmentu kanału. W każdym z tych przypadków działałoby na powłokę CIPP w tym miejscu ponadnormatywne obciążenie [17].

Najbardziej prawdopodobną przyczyną wystąpienia pęknięć złożonych opisanych w **przykładzie 7** i pokazanych na rys.11 były lokalne punktowe uderzenia zewnętrznej powierzchni tych rur w trakcie ich montażu lub transportu. Wszystkie możliwe przyczyny wystąpienia błędów na etapie budowy rur GRP zamieszczone w [5] podano w tab.1. Podobne tabele dotyczące możliwych przyczyn awarii powłok z tworzyw sztucznych stosowanych w innych technologiach rehabilitacyj-

Tab. 1. Przyczyny i sposoby unikania błędów na etapie budowy rur GRP [5]
Tab. 1. Causes and ways to avoid errors at the stage of construction of GRP pipes [5]

Błędy zauważone na etapie budowy	Możliwe przyczyny	Unikanie błędów
1. „Wybrzuszenie” (utrata stateczności)	a) błędy w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych	a) uwzględnienie wszystkich obciążeń
	b) błędy materiałowo-konstrukcyjne	b) poprawny proces technologiczny
2. Delaminacja	a) niewystarczająca przyczepność warstw	a) poprawny proces technologiczny
	b) wadliwe połączenia	b) wykonanie wystarczająco wyszlifowanych połączeń
3. Korozja	a) czynnik termiczny	a) monitorowanie temperatury
	b) oddziaływania chemiczne	b) monitorowanie składu chemicznego medium
	c) poprawny dobór materiałów współtworzących ścianę rur	c) przestrzeganie obowiązujących wytycznych i norm

nych także zamieszczono w [5]. W przypadku bardzo często stosowanej technologii rehabilitacyjnej CIPP podano aż 18 możliwych uszkodzeń oraz łącznie 38 możliwych przyczyn ich wystąpienia.

Wnioski końcowe

- Powłoki rehabilitacyjne stosowane w bezwykopowej odnowie przewodów kanalizacyjnych ulegają uszkodzeniom i awariom, podobnie jak rury kanalizacyjne. Uszkodzenia powłok rehabilitacyjnych mogą występować jako pierwotne powstałe na etapie ich wbudowywania lub jako wtórne, po upływie pewnego czasu. W zależności od zastosowanych rozwiązań, ich trwałość [14] może znacząco się różnić. W przypadku rur i powłok z tworzyw sztucznych, jak to wykazano na zamieszczonych siedmiu przykładach, uszkodzenia i awarie mogą pojawiać się w okresie krótko po zakończeniu robót, ale także nawet po upływie roku czy trzech lat. Zjawisko to stanowi opisaną wyżej specyfikę rozwiązań materiałowych bazujących na zastosowaniu tworzyw sztucznych.
- Duże rozbieżności dotyczące rodzaju i liczby zestawianych uszkodzeń powłok stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych podawane w różnych normach i wytycznych, a także brak aktualnych zwartych publikacji, dotyczących problematyki uszkodzeń powłok rehabilitacyjnych, wskazują na potrzebę uporządkowania istniejącej wiedzy dotyczącej możliwych uszkodzeń powłok rehabilitacyjnych, w tym m.in. powłok żywicznych CIPP.

- Wskazane byłoby opracowanie także zwartej monografii dotyczącej możliwych awarii powłok rehabilitacyjnych z zamieszczeniem analizy przyczyn awarii udokumentowanych obliczeniami statyczno-wytrzymałościowymi [15], a także sformułowaniem zaleceń dotyczących sposobów zapobiegania wystąpienia tychże awarii.

LITERATURA

- Allouche E., Alam S., Simicevic J., Sterling R., Condit W., Matthews J., Selvakumar A.: A pilot study for retrospective evaluation of curried-in place pipe (CIPP) rehabilitation of municipal gravity sewers, Tunnelling and Underground Space Technology, 39,82-93,2014. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2012.02.002>
- American National Standard ASTM F 1216-07b: Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curving of a Resin-Impregnated Tube.
- Brömstrup H.: Relining mit Rohren aus PE-HD, krv nachrichten, 2,1-6,1988.
- Janson L.: Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disposal, Borealis, Stockholm, Sweden, 1999.
- Jurgen John H., Lenz J.: Fehler in der Kanalsanierung, Erkennen-Vermeiden, Vulkan-Verlag, Essen, 1998.
- Kuliczowska E.: Kryteria planowania bezwykopowej odnowy nie przelazowych przewodów kanalizacyjnych, monografia M3, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2008.
- Kuliczowska E., Nadstawna E.: Diagnostyka przewodów kanalizacyjnych georadarami przemieszczającymi się w ich wnętrzu, INSTAL, 2,64-66,2012. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSW3-0093-0027>
- Kuliczowska E.: Jak planować inspekcje i rehabilitację przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 11,70-74,2017. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-12319f20-6491-4053-af84-2a0d6acc9b66>

- [9] Kuliczkowski A.: Rury kanalizacyjne, t.1, Własności materiałowe, monografia M28, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2001.
- [10] Kuliczkowski A.: Błędy w ustalaniu wymagań dotyczących wartości sztywności obwodowej utwardzanych in situ powłok żywicznych, INSTAL, 4,63-67,2010. http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-B5W3-0066-0020?q=bwmeta1.element.baztech-volume-1640-8160-instal-2010-nr_4;9&qt=CHILDREN-STATELESS
- [11] Kuliczkowski A., Dańczuk P.: Celowość badania szczelności utwardzanych in situ powłok żywicznych stosowanych w bezwykopowej odnowie przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 3,36-39,2011. http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-B5W3-0087-0008?q=bwmeta1.element.baztech-volume-1640-8160-instal-2011-nr_3;7
- [12] 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-B5W3-0087-0006?q=bwmeta1.element.baztech-volume-1640-8160-instal-2011-nr_3;5&qt=CHILDREN-STATELESS
- [13] 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-B5W3-0087-0024?q=d860d98b-6b6b-4062-82bacaf62df9ed9f\\$18&qt=IN_PAGE](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-B5W3-0087-0024?q=d860d98b-6b6b-4062-82bacaf62df9ed9f$18&qt=IN_PAGE)
- [14] Kuliczkowski A.: Trwałość rozwiązań stosowanych w budowie i odnowie przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 3,54-56,2014. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-fbb39c22-3199-4554-92c0-8729e8eb2916?q=bwmeta1.element.baztech-da29fff2-9ab7-4552-971b-ff2b6d1b2194;9&qt=CHILDREN-STATELESS>
- [15] 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/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-5fe6875b-6c1c-4b3a-8070-7da3b64b526e>
- [16] Kuliczkowski A.: Moduł E w doborze powłok stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych, Forum Eksploatatora, 6,42-46,2019. [https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-77a93b85-9465-4c88-8649-d7fd7a9e5480?q=73d1f461-0a66-4522-8733-4e1ec598abc5\\$17&qt=IN_PAGE](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-77a93b85-9465-4c88-8649-d7fd7a9e5480?q=73d1f461-0a66-4522-8733-4e1ec598abc5$17&qt=IN_PAGE)
- [17] Kuliczkowski A.: Optymalna grubość powłok CIPP stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 5,41-46,2020. DOI 36119/15.2020.5.7
- [18] Kuliczkowski A.: Uszkodzenia i awarie rur GRP, INSTAL, 11,64-67,2022. DOI 36119/15.2022.11.5
- [19] Kunststoffrohrverband e.V.: Kunststoffrohr Handbuch, Vulkan-Verlag Essen, 2000.
- [20] KWH – Pipe Poland: Wytyczne projektowe: pkt. 5. Projektowanie i montaż, s.05.13.
- [21] National Association of Sewer Service Companies (NASSCO) Pipeline Assessment Certification Manual, USA, 2015.
- [22] New Zealand Water and Wastes Association (NZWAA), Pipe Inspection Manual 3rd Edition 2006.
- [23] Nogaj S.: Możliwe uszkodzenia rehabilitacyjnych powłok CIPP, prezentacja konferencyjna „NO-DIG POLAND 2022”, Kraków, 27-29.09.2022.
- [24] PN-EN 13508-2: Stan zewnętrznych systemów kanalizacyjnych Część 2: System kodowania inspekcji wizualnej, 2006.
- [25] Praca zbiorowa pod redakcją Andrzeja Kuliczkowskiego: Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa, 2019.
- [26] Shaurav A., Sterling R., Allouche E., Condit W., Matthews J., Selvakumar A., Simicevic J.: A retrospective evaluation of the performance of liner systems used to rehabilitate municipal gravity sewers, Tunnelling and Underground Space Technology, 50,451-464,2015. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.08.011>
- [27] WRc Manual of Sewer Condition Classification, Fifth Edition, UK, 2013.