

Uszkodzenia i awarie rur GRP

Damages and failures of GRP pipes

ANDRZEJ KULICZKOWSKI

DOI 10.36119/15.2022.11.5

Zestawiono najczęściej popełniane błędy na etapie instalowania rur GRP podając jednocześnie możliwe ich przyczyny oraz sposoby ich unikania. Zamieszczono przykład dotyczący możliwych uszkodzeń tych rur w oparciu o ich badanie techniką CCTV w jednym z polskich miast. Badania te zostały wykonane w dwu okresach, bezpośrednio po odbiorze i 14 miesięcy później. Inwestycja ta obejmowała odcinki przewodu kanalizacyjnego o średnicach 300 i 400 mm. Zamieszczono 7 zdjęć ilustrujących zaobserwowane uszkodzenia. Podano także inne przykłady awarii rur GRP, które stwierdzono zarówno w kraju, jak i za granicą.

Słowa kluczowe: rury GRP, uszkodzenia, awarie, błędy

The paper presents the most common errors made at the stage of installing pipes, together with possible causes of these errors and the ways of avoiding them. An example of possible damage to GRP pipes, which were examined using the CCTV technique, is provided. Tests were performed in one Polish city and covered two stages, immediately after the pipes were commissioned, and then again 14 months later. The investment covered sections of sewers that had a diameter of 300 mm and 400 mm. The observed damage is shown in 7 photos. Other examples of GRP pipe failures, from both Poland and abroad, are also provided in the paper.

Keywords: GRP pipes, defects, failures, errors in execution

Uwagi wstępne

Dotychczas ukazywały się publikacje opracowane w Politechnice Świętokrzyskiej dotyczące m.in. uszkodzeń i awarii rur betonowych [7], kamionkowych [8], PVC [6] oraz rur wykonanych ze sprężonego betonu [10]. Przedmiotem tej publikacji są z kolei uszkodzenia i awarie rur GRP (ang. Glass Reinforced Plastic).

Rury GRP są stosowane od wielu lat. Posiadają wiele zalet [11], podkreśla się ich wysokie parametry wytrzymałościowe szczególnie w odniesieniu do rur termoplastycznych i związanej z tym niewielką ich grubość, a tym samym lekkość, ułatwiającą ich montaż. Istotną ich zaletą jest wysoka odporność na korozję, a także na prądy błądzące, stąd też ich liczne zastosowania jako przepusty np. pod torami kolejowymi [13]. Jednak w wielu publikacjach, np. w [1] zwraca się uwagę na fakt niedostatecznej wiedzy na temat mechanizmu awarii tych rur i brak satysfakcjonujących metod oceny zjawiska pogarszania się ich stanu technicznego w funkcji czasu. Szczególnie ważnym zagadnieniem jest problem trwałości rur GRP z uwagi na poważne konsekwencje awarii tych rur zwłaszcza tych stosowanych w transporcie ropy lub gazu [17]. Zastosowanie rur GRP stale wzrasta w branży naftowej i gazowniczej. Zastępują one często stoso-

wane wcześniej rury stalowe. Rozwiązanie to jest bardziej atrakcyjne kosztowo z uwagi na odporność tych rur na korozję.

Uszkodzenia występujące w rurach kanalizacyjnych są opisane wraz z propozycją ich kodowania w normie europejskiej [16], a w [9] zamieszczono propozycję klasyfikacji uszkodzeń w zależności od ich wielkości. Uszkodzenia mogą być pierwotne, powstałe wskutek wad materiałowych, niewłaściwego transportu lub niepoprawnego ich wbudowywania oraz pojawiające się w trakcie eksploatacji. Uszkodzenia pierwotne mogą z czasem inicjować uszkodzenia wtórne, np. niewielkie rysy z okresu wbudowywania rur mogą z czasem powiększać się, doprowadzając ostatecznie do awarii rur.

Możliwe błędy przyczyniające się do awarii rur

Bazując na analizie popełnianych błędów w zakresie stosowania rur GRP zaproponowano w [4] następującą tabelę, pokazującą możliwe błędy zauważalne już na etapie wbudowywania rur GRP, podając także możliwe przyczyny ich wystąpienia oraz sposoby unikania błędów.

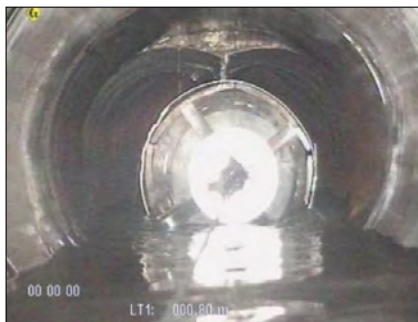
Przyjęcie na etapie projektowania zaniżonego poziomu zwierciadła wody gruntowej oddziałującej na rurę GRP może doprowadzić do jej wybożenia i zniszczenia (rys. 1).

Na rys. 2 pokazano ścianę rury GRP zamieszczoną w katalogu firmy Hobas.

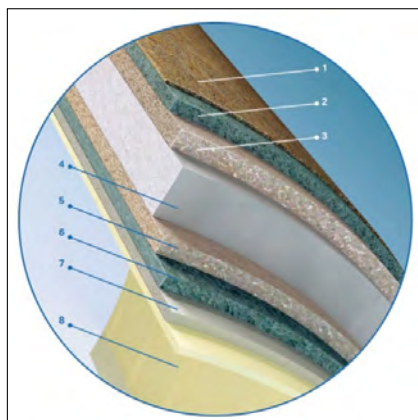
Tab. 1. Błędy w stosowaniu rur GRP, przyczyny i sposoby ich unikania
Tab. 1. Errors in the use of GRP pipes, causes and ways to avoid them

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

prof. dr hab. inż. Andrzej Kuliczkowski, <https://orcid.org/0000-0001-9807-6190> – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych. Adres do korespondencji/Corresponding author: akuli@wp.pl



Rys.1.
Utrata stateczności rury GRP wraz z jej pęknięciem w wierzchołku [19]
Fig. 1. Loss of stability of the GRP pipe along with its crack at the top [19]



Rys.2.
Ściana rury GRP firmy Hobas. Oznaczenia: 1 – zewnętrzna warstwa ochronna, 2 – zewnętrzna warstwa zbrojona (włókna szklane, żywica poliestrowa), 3 – warstwa pośrednia (włókna szklane, żywica poliestrowa, piasek), 4 – warstwa pośrednia (piasek, włókna szklane, żywica poliestrowa), 5 – warstwa pośrednia (włókna szklane, żywica poliestrowa, piasek), 6 – wewnętrzna warstwa zbrojona (włókna szklane, żywica poliestrowa), 7 – warstwa izolacyjna, 8 – bogata w żywicę warstwa wewnętrzna.

Fig.2. Hobas GRP pipe wall. Signs: 1 – outer protective layer, 2 – outer reinforced layer (glass fibers, polyester resin), 3 – intermediate layer (glass fibers, polyester resin, sand), 4 – intermediate layer (sand, glass fibers, polyester resin), 5 – intermediate layer (glass fibers, polyester resin, sand), 6 – inner reinforced layer (glass fibers, polyester resin), 7 – insulation layer, 8 – resin-rich inner layer

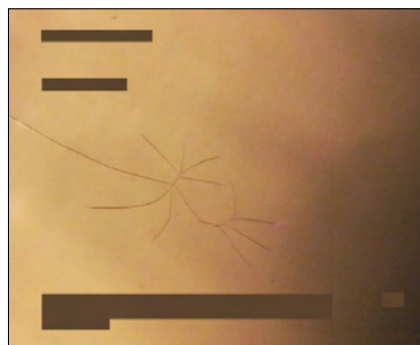
Jako najczęstsze uszkodzenie przyczyniające się do wystąpienia awarii rur GRP podaje się [4] ich delaminację, spowodowaną niedostateczną przyczepnością poszczególnych warstw powłoki rur, składających się z różnych materiałów. Niekiedy przyczyną uszkodzeń tych rur mogą być także niekorzystne oddziaływania termiczne i chemiczne. Dużym zagrożeniem dla rur GRP, podawanym w wielu pozycjach literaturowych, np. w [18] mogą być siły skupione od punktowo oddziałujących obciążeń (niem. punktförmige Lasten). Powodują one powstawanie w wewnętrznej warstwie żywicznej (chroniącej włókna szklane przed korozją) mikrorys inauguracyjnych proces delaminacji, spowodowany

korozją i wyfukiwaniem włókien szklanych z nośnej warstwy rury.

Uszkodzenia rur GRP na wybranym przykładzie

Przykład dotyczy badania techniką CCTV przewodów kanalizacyjnych wykonanych z rur GRP w jednym z polskich miast. Badania te wykonano w dwu okresach, bezpośrednio po odbiorze kanału i 14 miesięcy później. Inwestycja ta obejmowała odcinki kanału o średnicach 300

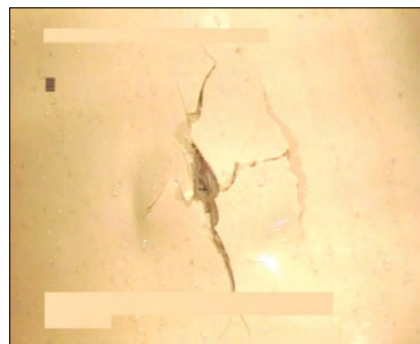
i 400 mm. Na każdym z nich stwierdzono różne uszkodzenia. Głównie dominowały pęknięcia punktowe rozchodzące się w różnych kierunkach, zwane inaczej złożonymi lub potocznie „pajęczkami” (rys.3), pęknięcia ukośne z odrywaniem się wewnętrznej powłoki rur (rys.4), rysy podłużne (rys.5), odpadanie spękanej wewnętrznej warstwy żywicznej (rys.6) lub nieuszczelnienie połączenia rur (rys.7). Inspekcja wykonana po upływie 14 miesięcy od odbioru wykazała



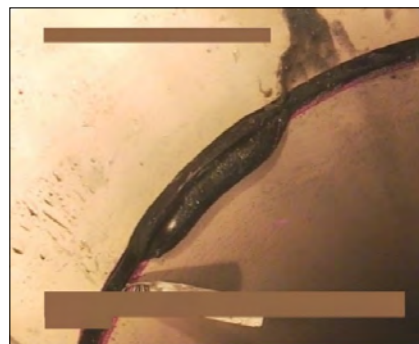
Rys.3.
Rysy ukośne (złożone), (zdjęcie własne wykonane kamerą kanalizacyjną)
Fig. 3. Diagonal (complex) scratches, (own photo taken with a sewer camera)



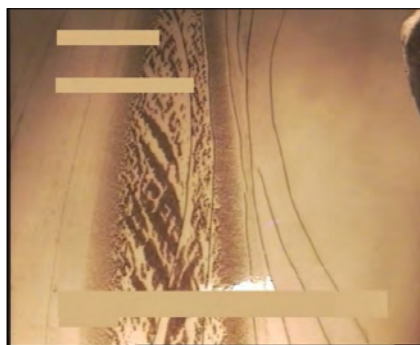
Rys.6.
Odrywanie się wewnętrznej warstwy rury od pozostałych (zdjęcie własne wykonane kamerą kanalizacyjną)
Fig. 6. Detachment of the inner layer of pipe from the others (own photo taken with a sewage camera)



Rys.4.
Pęknięcia z przemieszczaniem się pękniętej warstwy wewnętrznej rur (zdjęcie własne wykonane kamerą kanalizacyjną)
Fig.4. Cracks with displacement of the broken inner layer of pipes (own photo taken with a sewer camera)



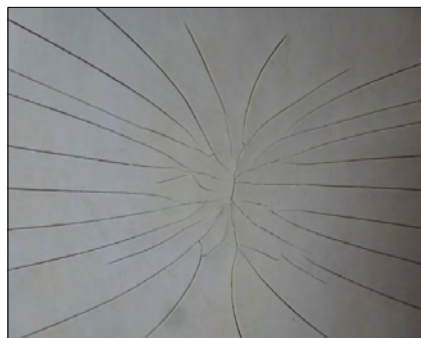
Rys.7.
Niepoprawne zamocowanie uszczelki w złączeniu rur (zdjęcie własne wykonane kamerą kanalizacyjną)
Fig.7. Incorrect mounting of the gasket in the pipe joint (own photo taken with a sewage camera)



Rys.5.
Rysy podłużne w dnie rury (zdjęcie własne wykonane kamerą kanalizacyjną)
Fig.5. Longitudinal scratches in the bottom of the pipe (own photo taken with a sewage camera)



Rys.8.
Rysy ukośne (złożone), (zdjęcie własne wykonane aparatem fotograficznym)
Fig 8. Diagonal (complex) scratches, (own photo taken with a camera)



Rys.9.
Rysy ukośne (złożone), (zdjęcie własne wykonane aparatem fotograficznym)
Fig. 9. Diagonal (complex) scratches, (own photo taken with a camera)

kolejne uszkodzenia tj. dodatkowe pęknięcia podłużne i pęknięcia punktowe.

Autor artykułu jest także w posiadaniu rur GRP z uszkodzeniami w postaci rys ukośnych (rys.8 i 9).

Pokazane na zdjęciach uszkodzenia zaliczają się do grupy uszkodzeń pierwotnych. Przyczyną ich powstania mogły być nieprawidłowości w procesie produkcji rur, uszkodzenia transportowe lub uszkodzenia z okresu w budowywania rur. Rodzaj uszkodzeń wskazuje, że najbardziej prawdopodobną przyczyną zaobserwowanych uszkodzeń były błędy montażowe lub transportowe.

Dominujące na większości zdjęć pęknięcia wewnętrznej warstwy żywicznej rur nie mają wpływu na zmniejszenie się ich nośności. Jednak w pewnych przypadkach, gdy transportowane tymi rurami medium oddziałuje korozyjnie na zastosowane w tych rurach włókna szklane typu E (mające bezpośredni wpływ na parametry wytrzymałościowe rur), mogą pojawić się w nich tzw. uszkodzenia wtórne spowodowane procesem korozji włókien szklanych, co ma już wpływ na zmniejszanie się nośności rur lub na ich nieszczelność. Podstawową funkcją wewnętrznej warstwy żywicznej jest zatem wyłącznie ochrona włókien szklanych typu E przed korozją podobnie jak w rurach żelbetowych ochronę przed korozją prętów stalowych podatnych na korozję zapewnia ich betonowa otulina.

Pokazane uszkodzenia rur GRP wskazują podobnie jak to ma miejsce w przypadku rur wykonanych z innych materiałów [6-8] na konieczność starannego nadzoru w trakcie ich transportu i w budowywania.

Inne przykłady awarii rur GRP w kraju i za granicą

Problematyka trwałości rur GRP stanowiła przedmiot badań i analiz wykonywanych m.in. w Politechnice Poznańskiej [2,3].

W [3] podano informację, że po 2010 roku zwiększyła się intensywność awarii rurociągów ciśnieniowych wykonanych z rur GRP. W artykule tym opisano problematykę trwałości rur GRP po przeanalizowaniu przyczyn następujących czterech ich awarii: awarii rurociągu solankowego DN500, awarii rurociągów wody do picia DN300 DN500 eksploatowanych w Poznaniu od 1995 do 2013 roku, awarię łuku wykonanego z rur GRP i awarię sześciometrowego odcinka rurociągu wykonanego z rur GRP. W [3] zamieszczono zdjęcia uszkodzonych rurociągów.

Z zamieszczonych w [3] informacji wynika, że w badanym rurociągu GRP zaprojektowanym na ciśnienie 40 barów procentowa wartość spadku przejmowania ciśnienia cieczy w trakcie jego starzenia się wynosi około 35% po 20 latach i 40% po 50 latach. Utrata wartości tych parametrów ma charakter wykładniczy co oznacza, że największe spadki występują w początkowym okresie eksploatacji rur, podobnie jak to ma miejsce w przypadku rur termoplastycznych, takich jak np. PVC czy PEHD.

W [3] stwierdzono na bazie wykonanych badań, że rury GRP są bardzo podatne na uszkodzenia mechaniczne. Uszkodzenia te powodują awarię bezpośrednio po uszkodzeniu lub w dłuższym przedziale czasu. Bardzo często awaryjne uszkodzenie pochodzi od uderzenia łyżką koparki przy wykonywaniu wykopu. Następuje wtedy albo przebicie ścianki rury, albo jej rozwarstwienie i przerwanie ciągłości struktury, nie zawsze sygnalizowane natychmiastowym wyciekem transportowanej cieczy. Opisane w [3] awarie zdarzały się najwcześniej po kilku tygodniach, najpóźniej po 20 latach. Po 20 latach eksploatacji badanych rur obserwowano też lokalne delaminacje ścian rur.

W [3] zwrócono uwagę także na fakt, iż działanie zmiennego obciążenia wodą w długim czasie przyczynia się do osłabienia osnowy poliestrowej rur i w konsekwencji prowadzi do lokalnych pęknięć materiału i utraty nośności rury. Autorzy [3] stwierdzają, że bardzo rzadkie są wady powstające na etapie produkcji rur (tylko jeden raz w okresie 20-letnich badań stwierdzono brak włókien szklanych w ścianie rury), awarie są głównie przyczyną wystąpienia uszkodzeń mechanicznych powstających na etapie budowy rurociągów lub ich eksploatacji.

Awaryje rur GRP miały miejsce także w Warszawie w syfonie Czajka pod rzeką Wisłą w latach 2019 i 2020. W tunelu o średnicy wewnętrznej 4,5 m wykonanym z żelbetowych tubingów w technologii bez-

wykopowej TBM umieszczono dwa rurociągi GRP o średnicy 1600 mm [12], które następnie zostały obetonowane do około połowy wysokości tunelu lekkim betonem, a następnie wykonano nad nimi płytę żelbetową. Ekspertyzy dotyczące przyczyn zaistniałych awarii zostały opracowane przez ekspertów z Politechniki Warszawskiej, Świętokrzyskiej i Krakowskiej. Opinie dotyczące przyczyn awarii były wykonywane też przez inne ośrodki naukowe. Ekspertyzy te nie zostały do chwili obecnej publicznie udostępnione. Ukazał się jedynie jeden artykuł konferencyjny [5] opracowany w Politechnice Warszawskiej dotyczący roli oddziaływań hydrodynamicznych w pierwszej awarii rurociągów GRP, w której to doszło do delaminacji rur GRP oraz raport NIK [15].

Należy tu zwrócić uwagę na fakt, że umieszczanie rur GRP w tunelu Czajka (co jest widoczne na filmie zatytułowanym Wyposazanie syfonu pod Wisłą – Infra SA, Inżynieria.com) [20] narażało je na znacznie większe ryzyko wystąpienia różnego rodzaju uszkodzeń, z uwagi na niepoprawne ich w budowywanie (przesuwanie rur GRP deską drewnianą po twardym chropowatym podłożu betonowym) co jest widoczne na tym filmie.

Tematyka uszkodzeń i awarii rur GRP prezentowana jest także w bardzo wielu publikacjach zagranicznych [1,17] dostępnych także w internecie np. pod hasłem GRP lub FRP pipe failures. Przykładowo w [17] opisano awarię rur GRP o średnicy 200 mm wskazując na jej przyczyny.

Badania zagraniczne rur GRP zaprezentowane w [17] zawierają wnikliwą analizę awarii tych rur bazującą na 37 publikacjach. Analiza ta pokazuje awarie i możliwe rozwiązania mające na celu wyeliminowanie problemów powstających na etapie produkcji rur oraz ich instalowania. Opisane awarie dotyczyły zarówno okresów krótko – jak i długoterminowych. Przyczyną niektórych awarii były błędy powstałe na etapie produkcji rur, inne awaryje wystąpiły już w trakcie eksploatacji rur. Zwrócono uwagę na powstawanie pęcherzyków powietrza między warstwą z żywicy poliestrowej a warstwą z nią sąsiadującą, powstającą wilgoć między warstwami rur lub ciepło uwalniane między warstwami rur w wyniku reakcji egzotermicznej, która powoduje powstawanie pęknięć na powierzchni rury. Zwrócono uwagę na fakt, iż temperatura eksploatacji rur jest ważnym czynnikiem mającym wpływ na pogarszanie się parametrów rur. Temperatura ma wpływ na różne czynniki takie jak powstawanie wilgoci, pęcherzy powietrznych lub wytwarzanie ciepła. W okresie

długoterminowym zwraca się uwagę [1] m.in. na wpływ zjawiska pęcznienia i zmęczenia materiału jako przyczyn awarii rur GRP. Zauważono także, iż metody stosowane do produkcji rur mogą niekiedy przyczyniać się do awarii tych rur w dłuższym okresie.

Wnioski

- W rurach GRP podobnie jak w innych rurach mogą występować uszkodzenia pierwotne i wtórne opisane w normie [16]. Podobnie jak inne rury z tworzyw termoutwardzalnych, takich jak np. PVC, PEHD czy PP, podlegają one procesom starzeniowym, polegającym na zmniejszaniu się ich parametrów wytrzymałościowych w funkcji czasu. Z uwagi na warstwową strukturę ścian rur GRP, ich specyfiką jest możliwość występowania delaminacji ścian rur oraz pojawianie się rys ukośnych zwanych też złożonymi.
- W związku z faktem, iż najczęściej występującymi uszkodzeniami w rurach GRP są uszkodzenia pierwotne, pilną koniecznością jest zagwarantowanie prawidłowego nadzoru w trakcie transportu i wbudowywania tych rur.
- Rury GRP podobnie jak rury z tworzyw termoplastycznych projektowane są z uwzględnieniem parametrów wytrzymałościowych, które wystąpią po 50-letnim okresie ich eksploatacji. Stąd też w przypadku zagwarantowania, że w okresie produkcji, transportu i wbudowywania rur nie zostaną one

uszkodzone oraz zostaną poprawnie zaprojektowane, powinny być eksploatowane przez okres dłuższy niż 50 lat. Problematyka trwałości rur wraz z danymi producentów rur oraz danymi z praktyki eksploatacyjnej poszczególnych rur, została szerzej zaprezentowana w [14].

LITERATURA

- [1] Bobba, S., Leman, Z., Zainuddin E.S., Sapuan, S.M.: Failures Analysis of E-Glass Fibre reinforced pipes in Oil and Gas Industrie; A Review, International Conference on Materials Technology and Energy, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 217, 2017.
- [2] Jasiczak, J., Śłosarczyk, A.: Modyfikacje włókien szklanych stosowanych przy produkcji rur typu GRP, Instal, 3, 33-35, 2011.
- [3] Jasiczak, J., Śłosarczyk, A.: Trwałość rur poliestrowych zbrojonych włóknem szklanym w rurociągach ciśnieniowych wody do picia w świetle ekspertyz i badań własnych, Instal, 6, 84-87, 2014.
- [4] John, H.J., Lenz, J.: Fehler in der Kanalsanierung, Vulkan Verlag, Essen, 1998.
- [5] Kledyński, Z., Kodura, A.: Rola oddziaływań hydrodynamicznych w awarii rurociągów syfonowych w Warszawie w roku 2019, XXX International Conference on Structural Failures, 23-27.05.2022, Międzyzdroje, 53-70, 2022.
- [6] Kuliczowska, E.: Wyniki badań nowo wybudowanych przewodów kanalizacyjnych z rur PVC, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 10, 16-20, 2005.
- [7] Kuliczowska, E.: Wyniki badań betonowych przewodów kanalizacyjnych, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 10, 23-30, 2007.
- [8] Kuliczowska, E., 2008, Wyniki badań kamionkowych przewodów kanalizacyjnych, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 12, 10-16, 2008.
- [9] Kuliczowska, E.: Kryteria planowania bezwykopowej odnowy nie przelazowych przewodów kanalizacyjnych, monografia M3, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2008.
- [10] Kuliczowska, E.: Przyczyny i konsekwencje awarii rur z betonu sprężonego, Rynek Instalacyjny, 12, 63-66, 2014.
- [11] Kuliczkowski A.: Rury kanalizacyjne, t1, Właściwości materiałowe, monografia nr. 28, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2001.
- [12] Kuliczkowski A.: Informacja dotycząca opinii Politechniki Świętokrzyskiej w sprawie oceny wstępnej syfonu "Czajka" pod Wisłą opracowanej w roku 2006, Instal, 11, 50-51, 2020.
- [13] Kuliczkowski A., Skomorowski L., Strużyński R.: New possibilities for trenchless application of CC-GRP products beneath railways, 31st International No-Dig 2013, Sydney, Australia, 1-4 September, p. 1-10, 2013.
- [14] Kuliczkowski, A.: Trwałość rozwiązań stosowanych w budowie i odnowie przewodów kanalizacyjnych, 3, 54-56, 2014.
- [15] Najwyższa Izba Kontroli: Projektowanie, budowa i eksploatacja kolektora podziemnego transportującego ścieki z lewobrzeżnej Warszawy do oczyszczalni ścieków komunalnych „Czajka”, Warszawa, 31.03.2022.
- [16] PN-EN 13508-2: Stan kanalizacyjnego systemu zewnętrznego – część 2: System kodowania w ocenie wizualnej.
- [17] Rodrigues, E.S., Alvarez, V.A., Montemartini, P.E.: Failure Analysis of GFRP pipe for oil transport, Engineering Failure Analysis, 28, 16-24, 2013.
- [18] Stein, D., Niederehe, W.: Instandhaltung von Kanalisationen, Kanal Müller Gruppe, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1992.
- [19] Tottrop H.: Quality requirements for pipeline rehabilitation, International No-Dig 2010 28th Internationale Conference, Singapore, Paper 023.
- [20] <https://www.youtube.com/watch?v=SRaBrwUr4Kg>, dostęp 6.09.2019.