dr inż. Tomasz Abel[1)]
ORCID: 0000-0003-0020-1614
mgr inż. Remigiusz Gut[2)*)]
ORCID: 0000-0002-3327-4142
dr Wiktor Jasiński[2)]
ORCID: 0000-0001-6612-4207

Wpływ wielkości uszkodzeń rurociągów na możliwość zastosowania wewnętrznych wykładzin naprawczych typu CIPP

Significance of damage in pipes affecting for the use of CIPP internal linings

DOI: 10.15199/33.2023.05.12

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizy dotyczące możliwości stosowania technologii CIPP *(Cured in place pipe)* do renowacji rurociągów pozostających w stanie niezakłóconego przekroju kołowego oraz uszkodzonych mających liczne imperfekcje. Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wpływu zmian geometrycznych przekroju poprzecznego i uszkodzeń liniowych kanału poddawanego renowacji na parametry wytrzymałościowe układu rurociąg – wykładzina CIPP. Wyniki potwierdzają konieczność prowadzenia dokładnej, indywidualnej analizy uszkodzeń i geometrii rurociągu przed poddaniem go renowacji.
Słowa kluczowe: renowacja rurociągów; technologie bezwykopowe; CIPP; sztywność obwodowa.

Abstract. The article presents analyzes on the possibility of using the CIPP (cured in place pipe) technology for the renovation of pipelines with an undisturbed circular cross-section, damaged and with imperfections. The results of laboratory tests on the influence of the shape of the cross-section and linear damages of the sewer subjected to renovation on the strength parameters of the pipeline system – CIPP liner are presented. The results confirm the need for individual analysis of damage and pipeline geometry before renovation.

Keywords: pipeline renovation; trenchless technologies; CIPP, ring stiffness.

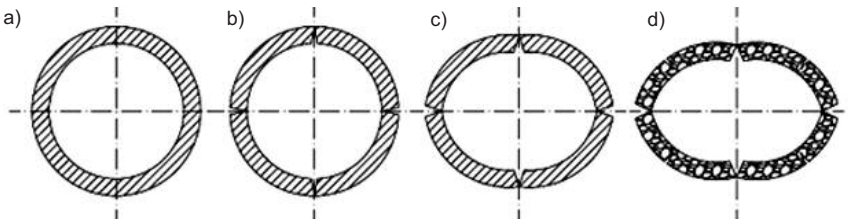
Stan techniczny sieciowej infrastruktury podziemnej zlokalizowanej w przestrzeni gruntowej obszarów drogowych jest niezmiernie istotnym zagadnieniem mającym bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo użytkowania oraz bezpieczeństwo konstrukcji naziemnej infrastruktury drogowej. Rurociągi wykorzystywane do transportu wód opadowych, ścieków sanitarnych, gospodarczych oraz przemysłowych eksploatowane są w bardzo trudnych warunkach środowiskowych. Wszystkie rurociągi tworzące sieci kanalizacyjne narażone są na działanie czynników mechanicznych, tj. obciążeń komunikacyjnych, obciążeń pochodzących od gruntu, parcia wody gruntowej oraz czynników chemicznych, takich jak agresywne związki chemiczne zawarte w ściekach oraz agresywność chemiczna wód gruntowych. Wymienione czynniki, działające na przestrzeni wielu lat użytkowania sieci, powodują powstawanie licznych uszkodzeń rurociągów, takich jak: korozja powierzchniowa (zależna od rodzaju materiałów konstrukcyjnych); pęknięcia wzdłużne rur o charakterze miejscowym oraz liniowym na znacznej długości; pęknięcia poprzeczne o charakterze lokalnym; uszkodzenia na połączeniach poszczególnych rur powodujące nieszczelności; deformacje przekroju poprzecznego będące skutkiem osłabienia konstrukcji rury spowodowanego pęknięciem lub korozją powierzchniową oraz wgłębną; infiltracja wód gruntowych; eksfiltracja ścieków. Uszkodzenia te mogą przyczyniać się do wystąpienia usterek oraz awarii naziemnej infrastruktury drogowej. Sytuacja taka stanowi bezpośrednie zagrożenia dla użytkowników dróg oraz przyczynia się do licznych awarii pojazdów poruszających się po uszkodzonej nawierzchni.

Ocena stanu technicznego sieci podziemnych

Stan techniczny przewodów kanalizacyjnych jest od lat przedmiotem analiz prowadzonych w ramach wielu prac naukowych [1, 2], a przede wszystkim prac badawczych umożliwiających poszerzanie wiedzy niezbędnej do utrzymania sieci kanalizacyjnych we właściwym stanie technicznym. Na podstawie informacji o uszkodzeniach rurociągów, zebranych w ciągu wielu lat, przyjęto podział zależny od zakresu oraz rodzaju uszkodzeń występujących w kanale. Klasyfikacja ta, wskazana w wytycznych DWA-A 143-2 [3], stworzona na potrzeby doboru odpowiedniej techniki naprawy kanału w fazie projektowania, dzieli rurociągi na **cztery stany techniczne** (rysunek 1):

- **I stan techniczny** – istniejący przewód zachowuje swoją nośność; dopuszczalne jest występowanie drobnych uszkodzeń w postaci np. nieszczelnych złączy lub rys włosowatych;
- **II stan techniczny** – układ istniejący przewód-ośrodek gruntowy zachowuje zdolność do przenoszenia obciążeń; dopuszczalnymi uszkodzeniami w przypadku tego stanu są rysy podłużne przy niewielkich deformacjach przekroju $\delta v < 6\%$;
- **III stan techniczny** – układ istniejący przewód-ośrodek gruntowy utracił zdolność do długotrwałego samodziel-

[1)] Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
[2)] Instytut Badawczy Dróg i Mostów – Filia Wrocław
[*)] Adres do korespondencji: rgut@ibdim.edu.pl



Rys. 1. Stan techniczny kanałów wg DWA-A 143-2 [3]: a) I stan; b) II stan; c) III stan; d) stan IIIa
Fig. 1. Technical condition of sewers based on DWA-A 143-2 [3]: a) condition I; b) condition II; c) condition III; d) condition IIIa

nego przenoszenia obciążeń i występują wyraźne deformacje przekroju $\delta v \geq 6\%$;

■ **IIIa stan techniczny** – układ istniejący przewód-ośrodek gruntowy utracił zdolność do długotrwałego samodzielnego przenoszenia obciążeń; wytrzymałość materiału konstrukcyjnego jest bardzo mała, stopień degradacji materiału wysoki, możliwe występowanie wyraźnych deformacji przekroju $\delta v > 6\%$.

W przypadku grawitacyjnych sieci kanalizacyjnych rozważany jest w obliczeniach jedynie przekrój poprzeczny, co wynika ze schematu statycznego przyjmowanego w przypadku profilu podłużnego sieci grawitacyjnych, tj. przegubowego charakteru połączeń poszczególnych elementów rurowych oraz wynikającego z tego przebiegu wartości momentów zginających. Poprawna klasyfikacja stanu technicznego rurociągu jest warunkiem prawidłowo wykonanej naprawy. Na problem ten zwraca się uwagę w wielu pracach naukowych [4, 5].

Sieci podziemne zlokalizowane w obszarze drogowym na terenach zurbanizowanych są najczęściej remontowane z zastosowaniem technologii bezwykopowych, które umożliwiają prowadzenie prac w gęstej zabudowie miejskiej bez konieczności wykonywania, uciążliwych dla mieszkańców, robót ziemnych oraz ograniczają utrudnienia w funkcjonowaniu aglomeracji miejskiej. Ponadto technologie bezwykopowe charakteryzują się krótkim czasem realizacji remontu, co również jest bardzo istotne [6, 7].

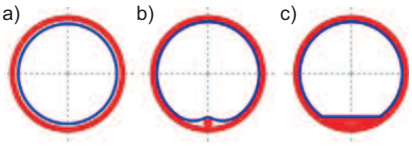
Najczęściej stosowane od wielu lat bezwykopowe technologie naprawy rurociągów polegają na wykonaniu powłoki utwardzanej na miejscu wewnątrz istniejącego kanału. Powłoki te to grupa tzw. **wykładzin CIPP** *(Cured in place pipe)* produkowanych z różnych materiałów, najczęściej z włókniny poliestrowej o strukturze filcu lub z maty z włókien szklanych. Materiały te nasycane są jedną z możliwych do zastosowania żywic syntetycznych [8].

Próbki do badań laboratoryjnych

Przeprowadzono badania próbek wzorcowych oraz próbek z zamodelowanymi uszkodzeniami. Do badań wykorzystano rury PVC o średnicy DN/OD 200 i 315 mm oraz sztywności obwodowej 4 i 8 kN/m^2, które uznano za najbardziej reprezentatywne w przypadku sieci kanalizacyjnych zlokalizowanych na terenach zurbanizowanych.

Modele do badań (rysunek 2):

- brak imperfekcji – rura bez wykładziny, wykładzina, rura z wykładziną + zamodelowanie osłabienia ścianki rury (pęknięcie);
- przewód zamontowany w kanale – efekt fałdy (możliwość badania w trzech różnych położeniach przewodu – dno/strop/pachwiny) + zamodelowanie osłabienia ścianki rury (pęknięcie);
- twarde osady w dnie + zamodelowanie osłabienia ścianki rury (pęknięcie).



Rys. 2. Modele badawcze: a) brak imperfekcji; b) przewód w kanale; c) twarde osady w dnie
Fig. 2. Research models: a) no imperfections; b) pipe in the channel; c) hard sediments in the bottom

Kanały kwalifikowane do naprawy z zastosowaniem metod bezwykopowych (w tym CIPP) znajdują się najczęściej w II lub III stanie technicznym. Często występuje sytuacja, w której kanał, na odcinku przeznaczonym do remontu, jest częściowo kwalifikowany do II stanu technicznego, a częściowo do III stanu technicznego. Dodatkowo występują fragmenty pozostające w stanie pomiędzy II i III stanem technicznym. Uszkodzenia mogą być bardzo różnorodne, a ich skala determinuje dobór parametrów wytrzymałościowych powłoki wzmacniającej CIPP. Problematykę tę opisano w [9, 10]. Z dotychczasowo prowadzonych, na szeroką skalę, badań oraz analiz naukowych wynika konieczność pogłębiania wiedzy dotyczącej prawidłowego i optymalnego projektowania powłok wzmacniających kanały [11].

Duża różnorodność uszkodzeń konstrukcji kanału wymaga poszerzania wiedzy na temat charakteru pracy układu nośnego rura macierzysta-wykładzina i jego rzeczywistych parametrów wytrzymałościowych. W związku z tym jako kontynuację prac badawczych [12, 13], prowadzonych od 2019 r., wykonano badania modeli rur wzmocnionych powłokami wewnętrznymi typu CIPP z tkaniny poliestrowej, pokrytej warstwą PP nasączonej bezrozpuszczalnikową dwuskładnikową żywicą epoksydową. Serie badań potwierdzające deklarowane wartości modułu sprężystości zastosowanego materiału opisano w [12, 13], a deklarowane wartości to odpowiednio: krótkoterminowy moduł sprężystości wynoszący 2400 MPa oraz wartość długoterminowa 1200 MPa. W badaniach laboratoryjnych zastosowano próbki w postaci rur PVC-U o ściankach litych, gładkich z zainstalowaną wykładziną CIPP o nominalnej początkowej właściwej sztywności obwodowej SN 4000. Rury PVC pełniły rolę obudowy rękawa oraz zapewniały efekt wzmocnienia, gwarantując wzajemną współpracę z wykładziną CIPP.

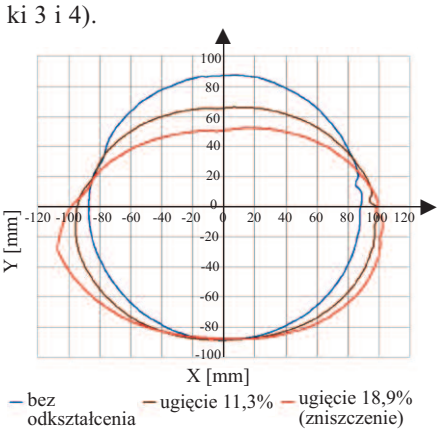
Metoda badań laboratoryjnych próbek rur z wykładziną CIPP

Badania laboratoryjne próbek w postaci odcinków bazowały na metodzie badania początkowej właściwej sztywności obwodowej wg PN-EN 1228:1999 [14] i ISO 7685 [15] oraz odporności na początkowe ugięcia pierścieniowe wg ISO 10466 [16]. Badania te objęły m.in. próbki z zamodelowanymi uszkodzeniami wg stanu III (dwa i cztery wzdłużne liniowe osłabienia rury pierwotnej).

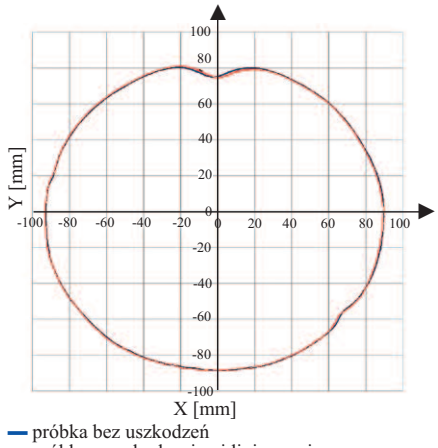
Podczas badań, oprócz parametrów wymaganych przez normy (siła obciążająca i ugięcie średnicy próbki), rejestrowano:

■ odkształcenia poprzeczne materiału wewnętrznej powierzchni wykładziny CIPP w czterech najbardziej wytężonych punktach, tj. w stropie (pkt Tg) i dnie (pkt Td) oraz w pachwinach (pkt Tp i Tl), rejestrowane za pomocą tensometrów elektrooporowych;

■ zmianę kształtu przekroju poprzecznego wykładziny CIPP w płaszczyźnie prostopadłej do osi rury, za pomocą skanera laserowego (rysunki 3 i 4).

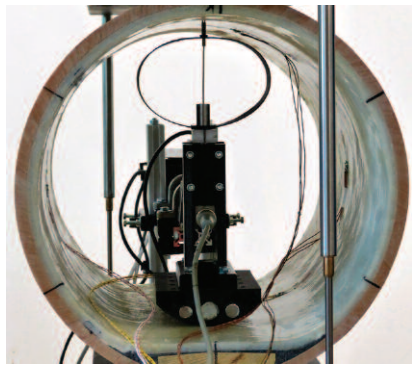


Rys. 3. Zmiana geometrii wewnętrznej powierzchni próbki w czasie badań odporności na ugięcie pierścieniowe – próbka na bazie rury DN/OD 200 z widocznymi sfałdowaniami powierzchni wykładziny CIPP
Fig. 3. Change in the geometry of the inner surface of the sample during ring deflection tests – a sample based on a DN/OD 200 pipe with visible corrugations of the CIPP lining surface



Rys. 4. Porównanie geometrii wewnętrznej powierzchni próbki, przy ugięciu 3% średniej średnicy, przed i po wykonaniu wzdłużnych osłabień rury zewnętrznej – próbka na bazie rury DN/OD 200 z zamodelowanym przewodem zainstalowanym w stropie rury
Fig. 4. Comparison of the geometry of the inner surface of the sample with a deflection 3% of the average diameter, before and after making longitudinal damage of the outer pipe – a sample based on a DN/OD 200 pipe, with a modeled duct installed in the pipe roof

Zainstalowane tensometry (fotografia) posłużyły ponadto do uzyskania wiedzy na temat korelacji pomiędzy modułem sprężystości wykładziny CIPP a naprężeniami, jakie pojawiają się w wyniku działania obciążenia zewnętrznego przykładanego zgodnie z PN-EN 1228:1999 i ISO 7685 [14, 15].



Wnętrze próbki z zainstalowanymi tensometrami i przyrządami pomiarowymi podczas badania początkowej właściwej sztywności obwodowej
Inside of a sample with strain gauges and measuring instruments, during the initial specific ring stiffness

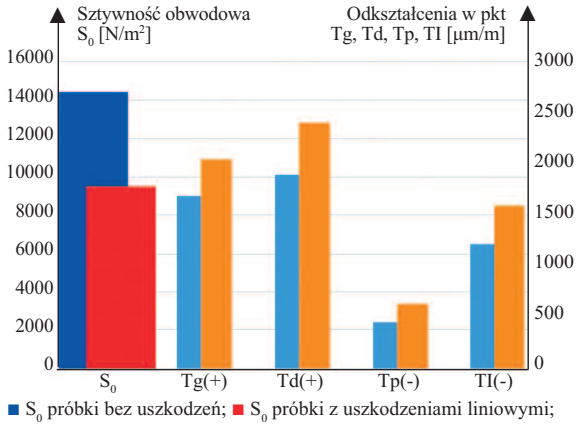
Wyniki badań

Wyniki badań wskazują na znaczne zwiększenie miejscowych odkształceń i naprężeń w materiale wykładziny CIPP w próbkach z zamodelowanymi uszkodzeniami liniowymi w porównaniu z próbkami bez uszkodzeń. Zjawisko występuje pomimo zastosowania identycznych ugięć średnicy i mniejszych obciążeń badawczych koniecznych do uzyskania wymaganego ugięcia (3% d_{em}). Jest to spowodowane lokalną wytężoną pracą wykładziny CIPP w pobliżu uszkodzeń liniowych rurociągu zewnętrznego (rysunki 5 ÷ 7). Najmniejsze zmiany zaobserwowano w próbkach z zamodelowanym twardym osadem (rysunek 4), co wynika z usztywnienia próbki przez osad i zniwelowania wpływu pęknięcia w dnie rury.

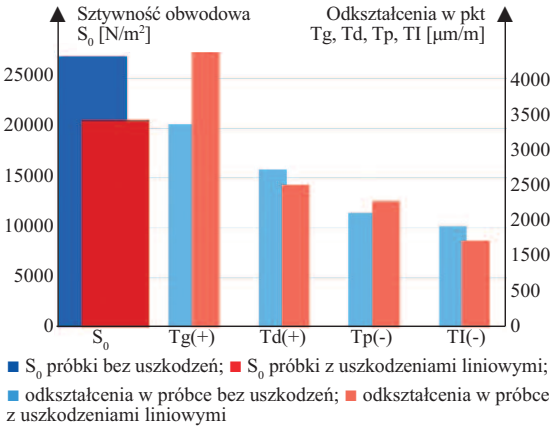
W przypadku niewielkich ugięć średnicy próbek, np. do 3% średniej średnicy, jak w badaniach sztywności obwodowej, porównanie geometrii wewnętrznej powierzchni próbki bez uszkodzeń i próbki z zamodelowanymi pęknięciami wzdłużnymi rurociągu nie daje zauważalnej wizualnie różnicy (rysunek 4). Mimo to przyrost odkształceń, rejestrowany przez tensometry, jest znaczny (rysunki 5 ÷ 7). Podczas badań, w przypadku niewielkich odkształceń, konieczne jest stosowanie zaawansowanych technik pomiarowych, np. cyfrowej korelacji obrazu.

Podsumowanie i wnioski

Bardzo duża zmienność pod względem ilości i jakości uszkodzeń konstrukcji kanału sprawia, że dobór parametrów wykładziny CIPP musi wynikać z indywidualnej analizy każdego przypadku, a wiedza o rzeczywistych parametrach konstrukcji zespolonej stanowi podstawę każdego prawidłowo wykonanego projektu. Przeprowadzone badania pozwoliły zgromadzić dane umożliwiające poprawną parametryzację warunków brzegowych nośności kanału wzmocnionego wykładziną CIPP oraz wpływu nieprawidłowości geometrycznych, takich jak wzdłużne pofałdowania wykładziny CIPP, zmiany geometrii przekroju poprzecznego powodowane pęknięciami rur (w przypadku materiałów kruchych) oraz występowaniem twardych osadów zalegających na dnie kanału.

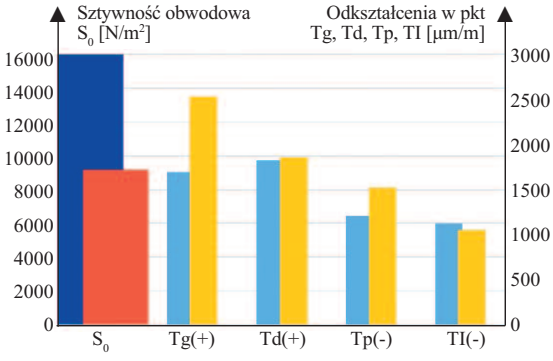


Rys. 5. Porównanie sztywności obwodowej S_0 i odkształceń wewnętrznej powierzchni materiału CIPP w próbkach bez uszkodzeń oraz z zamodelowanymi uszkodzeniami liniowymi – próbki na bazie rur DN/OD 315 bez imperfekcji
Fig. 5. Comparison of ring stiffness S_0 and deformations of the inner surface of the CIPP material in samples without damage and with modeled linear damage – samples based on DN/OD 315 pipes without imperfections



Rys. 6. Porównanie sztywności obwodowej S_0 i odkształceń wewnętrznej powierzchni materiału CIPP w próbkach bez uszkodzeń oraz z zamodelowanymi uszkodzeniami liniowymi – próbki na bazie rur DN/OD 315 z zamodelowanym osadem

Fig. 6. Comparison of ring stiffness S_0 and deformations of the inner surface of the CIPP material in samples without damage and with modeled linear damage – samples based on DN/OD 315 pipes with modeled sludge



Rys. 7. Porównanie sztywności obwodowej S_0 i odkształceń wewnętrznej powierzchni materiału CIPP w próbkach bez uszkodzeń oraz z zamodelowanymi uszkodzeniami liniowymi – próbki na bazie rur DN/OD 315 z zamodelowanym przewodem w stropie rury

Fig. 7. Comparison of ring stiffness S_0 and deformations of the inner surface of the CIPP material in samples without damage and with modeled linear damage – samples based on DN/OD 315 pipes with a modeled duct in the pipe roof

W zakresie objętym badaniami potwierdzono, że:

- wartość uzyskiwanego wzmocnienia konstrukcji kanału jest co najmniej taka, jak deklarowana na podstawie powszechnie stosowanych algorytmów obliczeniowych [9];
- miejscowe deformacje kanału powodują zwiększenie sztywności układu zespolonego z wykładziną CIPP;
- osady występujące na dnie kanału usztywniają konstrukcję, co przekłada się na zmniejszenie ugięcia i poprawę parametrów wytrzymałościowych;
- pofałdowania wzdłużne nie mają istotnego wpływu na parametry wytrzymałościowe.

Uzyskane wyniki wskazują na konieczność prowadzenia kompleksowych badań przed przystąpieniem do renowacji uszkodzonych rurociągów w II i III stanie technicznym, w tym pomiarów geometrii rurociągu oraz wielkości pęknięć, uskoków i ubytków np. za pomocą skanowania wewnętrznej powierzchni rurociągu, co jest zalecane m.in. w [17]. Ma to szczególne znaczenie, gdy uszkodzenia rurociągu mogły spowodować infiltrację wody i eksfiltrację ścieków, a w konsekwencji wymywanie ziaren gruntu obsypki i jej rozluźnienie.

Lokalne skumulowanie naprężeń w materiale CIPP, zainstalowanym w uszkodzonych rurociągach z materiałów sztywnych (kamionka, beton), może uzyskać w warunkach rzeczywistych nieprzewidywany poziom ze względu na wytworzenie swoistego przegubu lub karbu. W takim układzie obciążenia, rozkłady odkształceń i naprężeń w wykładzinie CIPP różnią się zarówno od występujących podczas badania sztywności obwodowej pełnych pierścieni, jak i testów trójpunktowego zginania segmentów wyciętych ze ścianki, przedstawionych w [12]. Planowane jest kontynuowanie prowadzonych badań m.in. jako badań modelowych rur z zamodelowanymi uszkodzeniami w rzeczywistym ośrodku gruntowym w skali naturalnej, z zastosowaniem obciążeń drogowych oraz przeprowadzenie badań zmęczeniowych próbek materiału CIPP na podstawie uzyskanych doświadczeń.

Literatura

[1] Madryas C, Przybyła B, Wysocki L. Research and Evaluate the Technical Condition of Sewer Pipes. DolnoslaskieEducational Publisher. Wroclaw 2010.

[2] Kuliczkowska E, Kuliczkowski A. Możliwości bardziej efektywnego stosowania technik bezwykopowej odnowy przewodów kanalizacyjnych. Instal. 2021; 3: 37 – 40.

[3] DWA-A 143-2: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining – und Montageverfahren, Lipiec 2015.

[4] Matthews JC, Selvakumar A, Condit W. Demonstration and evaluation of an innovative water main rehabilitation technology: Cured-in-Place Pipe (CIPP) lining, Water Practice & Technology Vol 7 No 2, IWA Publishing 2012.

[5] Allouche E, Alam S, Sterling R, Condit W, Selvakumar A. Forensic investigation of a generation old cipp liners, North American Society for Trenchless Technology (NASTT), Paper D-5-04, No-Dig Show 2011, Washington 2011.

[6] Kuliczkowski A. Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o. 2010.

[7] Kolonko A, Kujawski W, Przybyła B, Roszkowski A, Rybarski S. Podstawy bezwykopowej rehabilitacji technicznej przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych na terenach zurbanizowanych, Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie", Bydgoszcz 2011.

[8] Madryas C, Kolonko A. Uwagi o wykładzinach CIPP. Inżynieria Bezwykopowa. 2010; 5 [35], Kraków.

[9] Parka, A. Zmiany w projektowaniu powłok stosowanych w bezwykopowej odnowie przewodów infrastruktury podziemnej z zastosowaniem wytycznych amerykańskich i pokrewnych. Instal. 2022; 11: 55 – 63.

[10] Kuliczkowski A. Optymalna grubość powłok CIPP stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych. Instal. 2020; 5: 41 – 46.

[11] Przybyła B. Wytyczne ATV-M 127-2 i DWA-A 143-2. Podstawowe Zmiany w zasadach wymiarowania linerów na potrzeby renowacji technicznej rurociągów. Inżynieria Bezwykopowa. 2017; 3: 48 – 56.

[12] Abel T. Laboratory tests and analysis of CIPP epoxy-resin internal liners used in pipelines. Part I, comparison of tests and engineering calculations. Studia Geotechnica et Mechanica. 2021; vol. 43, 2: 169 – 180.

[13] Abel T. Laboratory tests and analysis of CIPP epoxy-resin internal liners used in pipelines. Part II, comparative analysis with the use of the FEM and engineering algorithms. Studia Geotechnica et Mechanica. 2021, vol. 43, 3: 307 – 322.

[14] PN-EN 1228:1999 – Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych – Rury z termoutwardzalnych tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym (GRP) – Oznaczanie początkowej właściwej sztywności obwodowej.

[15] ISO 7685:1998 – Plastics piping systems – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Determination of initial specific ring stiffness.

[16] ISO 10466 – Plastics piping systems – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Test method to prove the resistance to initial ring deflection Plastic.

[17] Kośmider P, Kolonko A, Piechurski F., Popielski P., Przybyła B., Wysokowski A, Zwierzchowski D. Badania odbiorowe wykładzin CIPP instalowanych w rurociągach sieci i instalacji zewnętrznych. Wytyczne Polskiego Stowarzyszenia Technologii Bezwykopowych (PSTB).

Przyjęto do druku: 06.04.2023 r.