

mgr inż. Natalia Pelczar<sup>1\*)</sup>  
 ORCID: 0000-0003-1364-289X  
 dr inż. Leszek Wysocki, prof. uczelni<sup>1)</sup>  
 ORCID: 0000-0002-2424-7214

# Deformacja rur z tworzyw termoplastycznych w czasie

## *Deformation of thermoplastic pipes over time*

DOI: 10.15199/33.2023.03.04

**Streszczenie.** Podstawowym kryterium projektowym w przypadku rur z tworzyw termoplastycznych jest wielkość deformacji po upływie założonego okresu eksploatacji. Istniejące wytyczne obliczeniowe są nieprecyzyjne i nie uwzględniają właściwości najnowszych rozwiązań materiału i konstrukcji rur. W artykule dokonano analizy deformacji rur podatnych na podstawie wyników badań poligonowych. Badaniom długoterminowym poddano odcinek rury DN1000 wykonanej z polipropylenu (PP). Rurę ułożono w wykopie, a naziom obciążono.

**Słowa kluczowe:** rura termoplastyczna; deformacja; badania poligonowe.

**Abstract.** The basic design criterion for thermoplastic pipes is deformation after the assumed service life. Existing calculation guidelines are imprecise, do not consider the latest solutions in material properties and pipe structures. The paper presents an analysis of the deformation of thermoplastic pipes based on the results of field tests. A PP pipe with a diameter of DN1000 was subjected to long-term tests. The pipe was placed in a trench and the backfill was loaded.

**Keywords:** thermoplastic pipes; deformation; field tests.

Podstawowym kryterium projektowym w przypadku rur z tworzyw termoplastycznych jest wielkość deformacji po upływie założonego okresu eksploatacji, zwykle przyjmuje się 50 lat [1]. Istniejące wytyczne obliczeniowe są nieprecyzyjne i nie uwzględniają najnowszych rozwiązań. Najwięcej wątpliwości budzi określanie wielkości ich deformacji z uwzględnieniem zmian zachodzących w czasie oraz czasu trwania zmian. Wyniki obliczeń deformacji z wykorzystaniem zalecanych w [2] wielkości długookresowego modułu sprężystości materiału rury mogą być obarczone dużym błędem.

W artykule dokonano analizy zmian wielkości deformacji rury na podstawie wyników długookresowych badań poligonowych oraz czasu trwania tych zmian. Badaniom długoterminowym poddano odcinek rury strukturalnej o średnicy DN 1000 mm, wykonanej z polipropylenu (PP). Rura ułożona została w wykopie, a naziom dodatkowo obciążono. Za pomocą czujników zegarowych mierzono przez 8808 h wielkość deformacji rury. Dokonano analizy wyników badań i sformułowano wnioski końcowe.

<sup>1)</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: natalia.pelczar@pwr.edu.pl

### Badania poligonowe

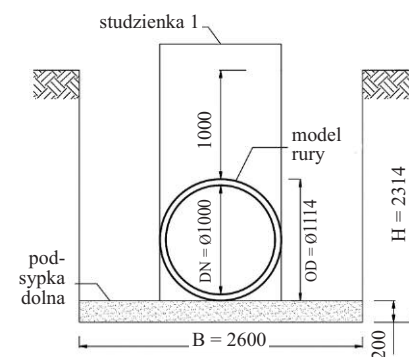
**Parametry rury.** Przedmiotem badań poligonowych była strukturalna rura termoplastyczna o średnicy DN = 1000 mm wykonana z PP, o następujących parametrach katalogowych [3]:

- nominalna sztywność obwodowa rury SN8;
- średnica zewnętrzna OD = 1114 mm;
- długość odcinka rury L = 3 m;
- typ profilu PR.

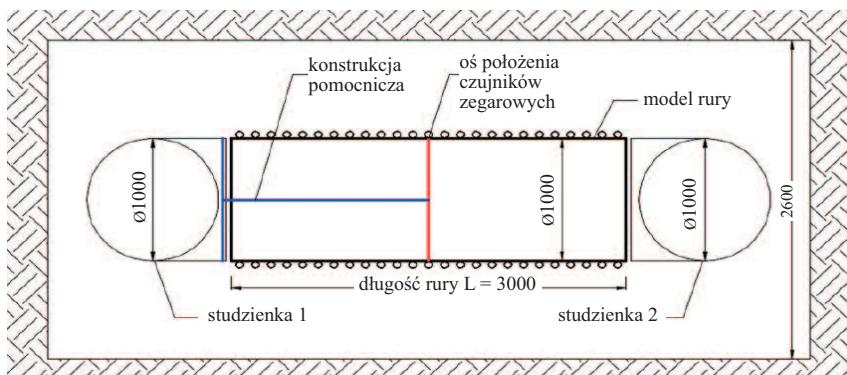
Główną cechą profilu PR jest gładka powierzchnia wewnętrzna i strukturalna powierzchnia zewnętrzna.

**Opis stanowiska badawczego.** Podstawowym elementem stanowiska badawczego był wykop o wymiarach 6,0 x 2,6 x 2,3 m (rysunki 1 i 2). Na dnie wykopu był grunt piaszczysty średnio

zagęszczony o maksymalnej gęstości  $\gamma_B = 20 \text{ kN/m}^3$ . W wykopie o nachylnych skarpach ułożono podsypkę zagęszczoną do wskaźnika  $I_s = 1$  oraz odcinek rury wraz ze studzienkami rewi-



**Rys. 2. Schemat ułożenia rury w wykopie [mm]**  
 Fig. 2. Scheme of installation of the pipe in the trench [mm]

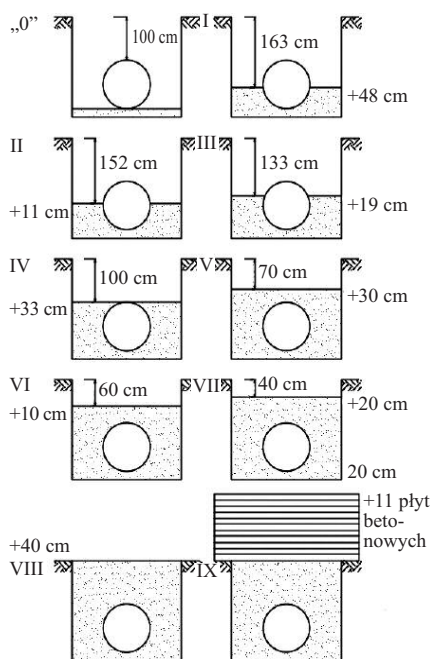


**Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego [mm]**  
 Fig. 1. Test stand scheme [mm]

zynnymi wykonanymi z PP. Obsypkę wykonano z piasku średniego o wilgotności zbliżonej do optymalnej. Obsypkę i zasypkę układano symetrycznie po obu stronach rury warstwami o grubości 11, 19, 33, 30, 10, 20, 40 cm, zwracając szczególną uwagę na jej staranne zagęszczenie w strefie podparcia rury. Wskaźnik zagęszczenia obsypki i zasypki  $I_s$  był nie mniejszy niż 0,98. Następnie obciążono naziom obciążeniem stałym (35 kPa) w postaci jedenaśtu drogowych płyt betonowych o wymiarach 1,5 x 3,0 x 0,14 m ułożonych symetrycznie w jednym rzędzie nad osią czujników zegarowych. Na rysunku 3 zamieszczono schemat etapów realizacji układania rury w wykopie.

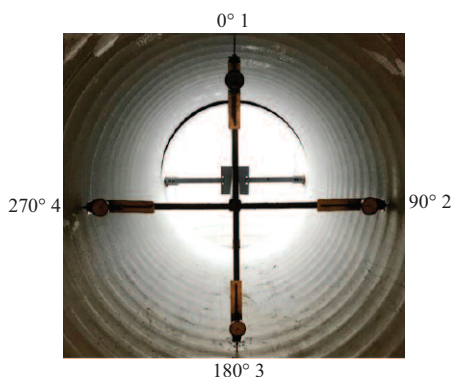
Deformacje rury mierzono czujnikami zegarowymi, które zamontowano w osi rury za pomocą konstrukcji pomocniczej opartej w studziencie rewizyjnej (fotografia). Zastosowane przerwy montażowe między rurą a studziami umożliwiają niezależną pracę tych elementów.

Badanie deformacji rury składało się z dwóch etapów. W pierwszym dokonywano pomiarów deformacji w przypadku poszczególnych etapów wykonywania obsypki i zasypki (rysunek 3) każdorazowo po jej zagęszczeniu (za-



**Rys. 3. Schemat realizacji obsypki i zasypki z podziałem na etapy oraz obciążenia**  
Fig. 3. Scheme of installation of embedment and backfill divided into stages and loads

gęszczenie kontrolowano standardowym badaniem VSS). W drugim etapie realizowano pomiary zmian deformacji rury w czasie. Prowadzono je w czterech punktach przekroju poprzecznego, oznaczonych na fotografii.



**Sposób zamontowania czujników zegarowych przy użyciu konstrukcji pomocniczej**  
Mounting of dial indicators an auxiliary structure

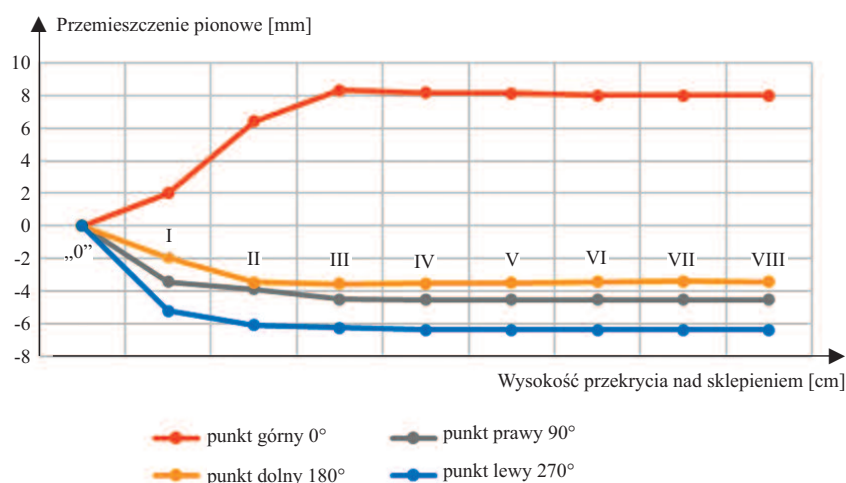
### Wyniki pomiarów

Wyniki badań deformacji rury w trakcie obciążania zestawiono na rysunku 4. Dotyczą one wszystkich etapów zasypywania wykopu i obciążenia naziomu płytami betonowymi. Pomiary prowadzono 8808 h.

Analiza wyników badań wskazuje na zmianę kołowego kształtu przekroju poprzecznego rury. Wartość dodatnia oznacza wzrost wielkości średnicy rury. Funkcja malejąca na wykresach potwierdza działanie poziomych odkształceń

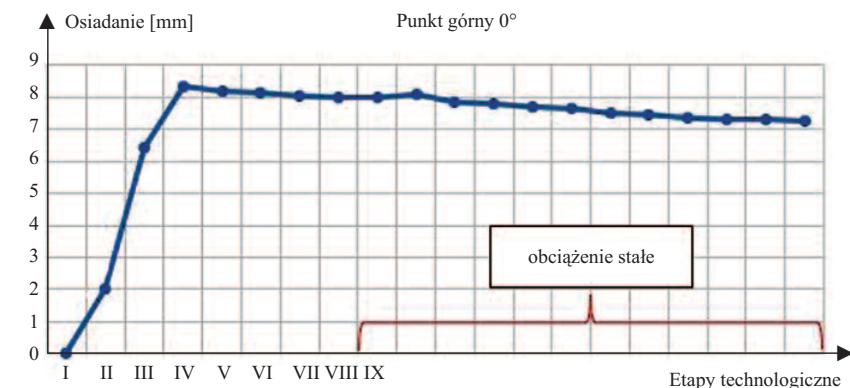
o charakterze ściskającym. Rura, pod wpływem działania poziomego parcia gruntu i reakcji posadowienia, owalizuje się w pionie. W czasie zasypywania zwiększała się pionowa średnica rury. Po jej obsypaniu (po etapie IV), dalsze przemieszczenia punktu 1 są bardzo małe (rysunek 5). Potwierdza to kluczowe znaczenie bardzo dokładnego wykonania podsypki i obsypki w strefie posadowienia rury. Przemieszczenia pozostałych punktów ustabilizowały się po III etapie.

Dokładne zagęszczenie obsypki skutkuje znacznym zwiększeniem obciążeń poziomych wynikających z ułożenia rury. Suma wielkości parcia poziomego gruntu i tych obciążeń jest większa od obciążeń pionowych, co powoduje zwiększenie wielkości średnicy pionowej, a nie poziomej. Największy wzrost średnicy pionowej rury następuje po obsypaniu rury do poziomu jej górnej krawędzi (etap IV). Wraz z upływem czasu, na skutek procesów reologicznych w gruncie i materiale rury, następuje powolne osiadanie punktu 1 (zmniejszanie średnicy pionowej). W końcowym okresie prowadzenia pomiarów odnotowano stabilizację deformacji rury, a zmiany wielkości średnicy są praktycznie niemierzalne. Przebieg procesu zmiany kształtu rury podczas dziewięciu etapów technologicznych przedstawiono za pomocą wykresów przemieszczeń czterech głównych punktów (rysunki 5 ÷ 8).



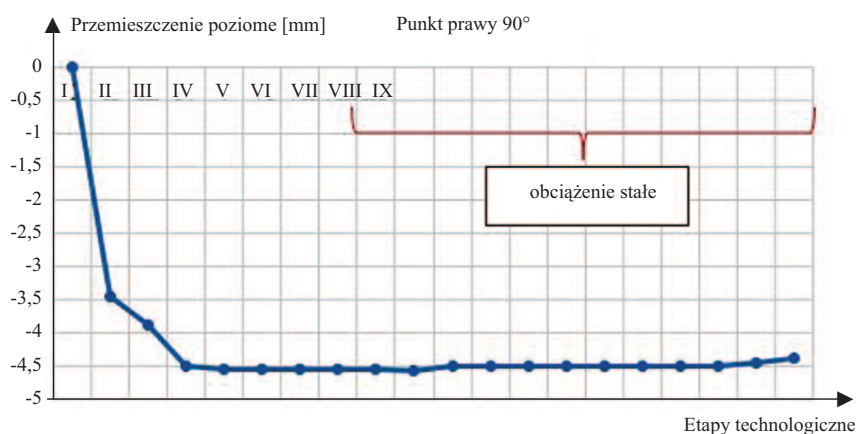
**Rys. 4. Zmiana wielkości przemieszczeń głównych punktów przekroju rury spowodowana obciążeniem gruntem i obciążeniem naziomu w kolejnych etapach instalowania rury w wykopie**

Fig. 4. Change in the displacements of the main points of the pipe section caused by the soil loading and the applied load in the successive stages of installing the pipe in the trench



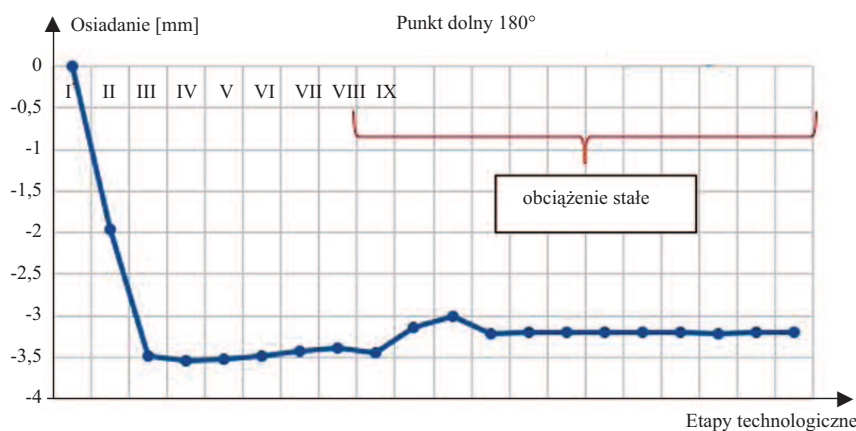
**Rys. 5. Przemieszczenia pionowe punktu 1 w kluczu rury w kolejnych etapach zasypywania wykopu**

*Fig. 5. Vertical displacements of the point 1 in the pipe crown in the subsequent stages of filling of the trench*



**Rys. 6. Przemieszczenia poziome punktu 2 w poszczególnych etapach aż do czasu zakończenia pomiarów**

*Fig. 6. Horizontal displacements of point 2 in technological stages until completion of measurements*



**Rys. 7. Przemieszczenia pionowe punktu 3 w poszczególnych etapach aż do zakończenia pomiarów**

*Fig. 7. Vertical displacements of point 3 in technological stages until completion of measurements*

Dokładność wykonania podsypki, obsypki i zasypki spowodowała, że przemieszczenia punktu dolnego widoczne na rysunku 7 nastąpiły w górę (w kierunku punktu górnego), a nie jak zakładano w kierunku podsypki dolnej i dna wykopu.

W tabeli 1 podano wielkości przemieszczeń poszczególnych punktów rury w trakcie badań poligonowych. Znak „-” przy zmianie średnicy poziomej oznacza zmniejszenie wielkości średnicy.

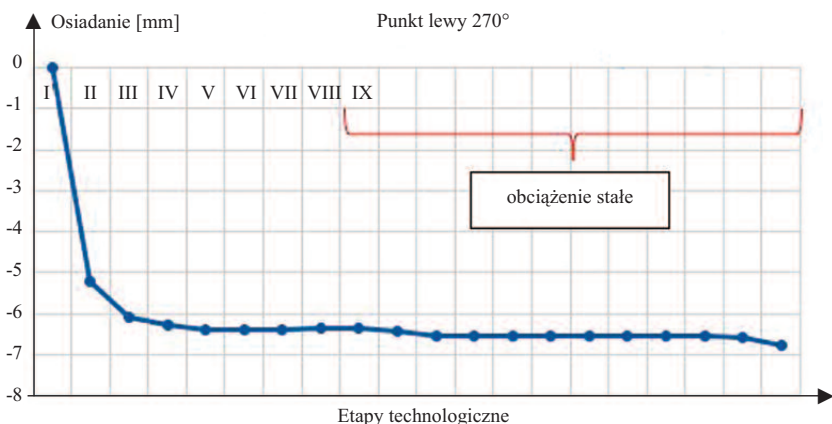
## Analiza wyników badań

Badanie poligonowe odzwierciedla rzeczywiste warunki pracy rury podanej ułożonej w gruncie z dodatkowym obciążeniem naziomu. Podkreślić należy, że warunki wbudowania rury (zgodnie z [4, 5]) były bardzo starannie kontrolowane, szczególnie zagęszczenie obsypki. Wymagane warunki podparcia rury (kąt podparcia) zrealizowano przez ręczne, dokładne dogęszczenie obsypki w strefie podparcia (tak jak jest to najczęściej realizowane w praktyce). Po zakończeniu wykonywania obsypki i zasypki rury, tak jak należało tego oczekiwać, powiększeniu uległa średnica pionowa rury, a nie pozioma. Staranne zagęszczenie obsypki (z odpowiedniego gruntu) skutkuje dużym wzrostem wielkości parcia bocznego gruntu (w wytycznych ATV oznaczonego jako  $q_h^*$ ), co powoduje oczywiście zwiększenie średnicy pionowej rury. Wraz z upływem czasu, na skutek zjawisk reologicznych zachodzących w gruncie i materiale rury oraz różnicy wielkości obciążeń pionowych i poziomych, nastąpiło zmniejszenie deformacji średnicy pionowej z 1,19% do 0,95%. Dane przyjęte do obliczeń statyczno-wytrzymałościowych zestawiono w tabeli 2. Sztywność obwodowa rury została wyznaczona po 24 h wg [6]. W tabeli 3 podano wielkość deformacji pionowych wyznaczonych na podstawie wytycznych ATV [2], monografii [7] oraz [8]; wraz z wielkościami pomierzonymi w trakcie badania poligonowego i wielkościami dopuszczalnej deformacji pionowej. Współczynnik bezpieczeństwa podano w tabeli 4.

Analiza wyników wskazuje, że rzeczywiste, długookresowe deformacje rury wyznaczone w trakcie badań poligonowych są prawie trzykrotnie mniejsze od obliczeniowych wyznaczonych na podstawie wytycznych [2]. Tak niewielkie deformacje rury o ścianie strukturalnej, po 8 latach eksploatacji, potwierdzone zostały również w raporcie technicznym [9].

Uwzględniając wymagany wg [2] współczynnik bezpieczeństwa  $\gamma = 2,5$ , długookresowa deformacja rury wyznaczona zgodnie z wytycznymi [2] jest mniejsza od dopuszczalnej określonej w tych wytycznych. Należy podkreślić,





Rys. 8. Przesunięcia poziome punktu 4 w poszczególnych etapach aż do czasu zakończenia pomiarów

Fig. 8. Horizontal displacements of point 4 in technological stages until completion of measurements

że rzeczywisty współczynnik bezpieczeństwa (tabela 4), wyznaczony na podstawie wyników badań poligonowych, osiąga w przypadku stanu długookresowego wielkość większą od 6 wg [2] oraz 15 wg [10].

### Podsumowanie

Na podstawie wyników badań poligonowych stwierdzono, że:

- 1) największy wpływ na wielkość deformacji rur termoplastycznych, decydującej o bezpieczeństwie zrealizowa-

Tabela 1. Wartości przemieszczeń wyznaczonych w badaniu poligonowym

Table 1. Displacement values determined in the field test

Pomiar	Przemieszczenia			
	pkt 1 [mm]	pkt 3 [mm]	pkt 2 [mm]	pkt 4 [mm]
Początkowy	8,56	7,83	6,35	5,26
Po całkowitym obsypaniu rury	0,21	11,38	10,86	11,53
Końcowy (po 8808 h)	2,26	11,02	11,36	12,02
<b>Zmiana wielkości średnicy [mm]</b>	<b>Pionowej</b>		<b>Poziomej</b>	
– po całkowitym obsypaniu rury i obciążeniu naziomu	11,90		-10,78	
– po 8808 h	9,49		-11,77	

Tabela 2. Dane wejściowe do obliczeń

Table 2. Input data for calculations

Parametry rury	PP DN1000	Parametry gruntu	Grupa gruntu G1	Warunki realizacji	A1/B1
Średnica zewnętrzna [mm]	1114	wskaźnik zagęszczenia gruntu rodzimego [%]/gruntu w strefie przewodu [%] oraz zasypka wykopu	95/100	wysokość przykrycia [m]	1,0
Średnica wewnętrzna [mm]	1000			szerokość wykopu [m]	2,6
Rzeczywista sztywność obwodowa [N/m <sup>2</sup> ]	9294			kąt podparcia [°]	180
Moment bezwładności [7] [mm <sup>4</sup> /mm]	4650,78			przypadek podparcia	I

Tabela 3. Wartości pionowej deformacji rury

Table 3. Vertical displacement values of the pipe deformation

Pionowa deformacja rury	Wg wytycznych [2]	Zmierzona w trakcie badań poligonowych [%]	Dopuszczalna względna deformacja pionowa przekroju rury [%]	
			wg wytycznych [2]	wg normy [10]
Krótkotrwała [%]	0,10	1,19	–	12
Długotrwała (po 8808 h) [%]	2,74	0,95	6	15

Tabela 4. Wielkość rzeczywistego współczynnika bezpieczeństwa w przypadku stanu długookresowego

Table 4. Values of the actual safety factor for the long-term state

Współczynnik bezpieczeństwa	Wymagany wg wytycznych [2]	Rzeczywisty wg	
		wytycznych [2]	normy [10]
$\gamma$	2,5	6,32	15,79

nego przewodu, ma staranne zagęszczenie podsypki i obsypki rury;

- 2) staranne wykonanie podsypki i obsypki przewodu skutkuje tym, że rzeczywisty współczynnik bezpieczeństwa osiąga prawie trzykrotnie większą wielkość od obliczeniowego wyznaczonego wg wytycznych [2], i ponad sześciokrotnie większą od wyznaczonego wg normy [10].

### Literatura

[1] Janson L.-E. Plastic pipes for water supply and sewage disposal, Borealis, Stockholm. 1995.  
 [2] ATV – DVWK – A127P (2000), Recommendations Static/strength Calculations of Sewer Conduits and Pipelines, Issue 3, Printing House Seidel – Przywecki, Warszawa.  
 [3] Materiały firmowe Kaczmarek Malewo SP. J. Katalog System rur kanalizacyjnych K2-Kan XXL strukturalnych z polietylenu (PE) lub polipropylenu (PP).  
 [4] Materiały firmowe Kaczmarek Malewo SP. J. Instrukcja projektowania i budowy zewnętrznych instalacji kanalizacyjnych K2-KAN z polipropylenu (PP).  
 [5] PN-C-89224:2018-03 Systemy przewodów rurowych z tworzyw termoplastycznych. Zewnętrzne ciśnieniowe i bezcisnieniowe systemy z nieplastifikowanego poli(chloru) winyli (PVC-U), polipropylenu (PP) i polietylenu (PE) do przesyłania wody, odwadniania i kanalizacji. Warunki techniczne wykonania i odbioru.  
 [6] PN-EN ISO 9969:2016-02 – Rury z tworzyw termoplastycznych – Oznaczenie sztywności obwodowej.  
 [7] Kuliczkowski A. Rury kanalizacyjne, tom II, Projektowanie konstrukcji, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. 2004. Kielce.  
 [8] Kolonko A, Madryas C, Wysocki L. Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. 2002. Wrocław.  
 [9] TEPFPA 100 Year Service Life of Polypropylene And Polyethylene Gravity Sewer Pipes – Full Technical Report. 2014.  
 [10] PKN-CEN/TS 15223:2011 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych – Potwierdzone parametry projektowe podziemnych systemów przewodów rurowych z tworzyw termoplastycznych.

Przyjęto do druku: 30.01.2023 r.