

# Możliwości poprawy rozkładów obciążeń działających na rurociągi układane w wykopach

The possibilities of improvement of load distribution acting on the pipelines laid in trenches

Andrzej Kolonko<sup>\*)</sup>

**Słowa kluczowe:** rurociągi podziemne, ułożenie w wykopie, optymalizacja obciążeń

## Streszczenie

W pracy opisano potencjalne możliwości optymalizacji rozkładów obciążeń działających na rurociągi podziemne układane w wykopach. Przedstawiono wpływ zastosowania warstwy podatnej z materiału ściśliwego oraz z materiału nieściśliwego. Omówiono także nowe rozwiązanie polegające na zastosowaniu płynnego gruntu.

**Keywords:** underground pipelines, setting in trench, optimization of load distribution, liquid soil

## Abstract

In the study the potential possibilities of optimization of load distribution acting on the pipelines laid in trenches were described. The impact of application of a susceptible layer of compressible material and incompressible material was discussed. The new solution of application of fluid ground was also analysed.

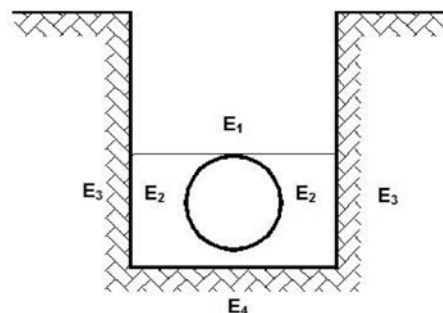
## 1. Wstęp

Analizując stosowane obecnie w różnych krajach metody projektowania konstrukcji przewodów wod-kan można zaobserwować, że przyjmowane są stosunkowo proste schematy obciążeń działających na powierzchnię zewnętrzną konstrukcji. Dużą uwagę poświęca się szczegółowej analizie pracy samej konstrukcji. Jednocześnie, mając świadomość, że stosowane modele współpracy przewodów z ośrodkiem gruntowym, wykazującą zmienność właściwości fizycznych, wynikającą z jego losowości i cech reologicznych, mogą znacznie odbiegać od stanu rzeczywistego. Uwzględniając to autorzy do metod projektowania wprowadzają wysokie współczynniki bezpieczeństwa, osiągające nawet wartość 2,5 [1,7]. Wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych, potwierdzające duże rozbieżności, przedstawiono w pracy [4].

W tej sytuacji można więc mieć wątpliwości co do celowości tak szczegółowej analizy pracy konstrukcji, która charakteryzuje niektóre ze znanych metod projektowania. Przykładem takiego podejścia do projektowania mogą być w tym przypadku wytyczne niemieckie ATV-DVWK – A127 [1], gdzie analizuje się parametry ośrodka gruntowego w czterech strefach wokół rury, co pokazano na rys. 1.

Do zagadnienia projektowania można podejść w zasadniczo inny sposób. W tym przypadku punktem wyjścia byłoby kontrolowanie modyfikowanie rozkładu obciążeń, w celu jego optymalizowania. Dla przewodów o przekroju kołowym, optymalny jest kołowo-symetryczny rozkład obciążeń. W przypadku wystąpienia takiego rozkładu zanikają momenty zginające, a tym samym naprężenia rozciągające. W praktyce zniszczenie konstrukcji przewodu wynika właśnie z przekroczenia wartości dopuszczalnych naprężeń rozciągających. Dotyczy to szczególnie rur sztywnych, wyprodukowanych z takich materiałów konstrukcyjnych jak beton, żelbet, polimerobeton, kamionka czy bazalt.

W wyniku optymalizacji rozkładu obciążeń, można uzyskać znaczny wzrost nośności rury, ponieważ w ścianie występowałyby jedynie naprę-



Rys. 1. Strefy, w których analizowane są parametry gruntu wypełniającego wykop  
Fig. 1. The zones, in which the parameters of a soil filling a trench are analyzed

żenia ściskające a naprężenia rozciągające zostałyby wyeliminowane lub znacznie zredukowane. To pozwoliłoby na zmniejszenie grubości ścianki a tym samym na obniżenie kosztów i ciężaru własnego rury. W pracy [3] przedstawiono wyniki badań wykazujące, że modyfikacja rozkładu obciążeń jest technicznie możliwa i nowe podejście do projektowania jest realne. Przedstawione rozwiązanie może mieć zastosowanie szczególnie w przypadku rurociągów podziemnych układanych w wykopach, gdzie niejednorodność otaczającego go ośrodka gruntowego bywa w praktyce znaczna. W przypadku rurociągów instalowanych metodami bezwykopowymi, problem nierównomiernego rozkładu obciążeń nie odgrywa istotnej roli, ponieważ grubość ścianki rur przeciskowych jest i tak bardzo duża, ze względu na konieczność przeniesienia znacznych sił podłużnych występujących podczas instalacji. Optymalizacja obciążeń ma uzasadnienie w przypadku rurociągów z rur sztywnych, układanych w wykopach otwartych, które to rurociągi przy rosnącej wartości obciążenia są praktycznie nieodkształcalne aż do momentu zniszczenia. Technologia wykopowa wciąż dominuje, mimo rosnącego udziału metod bezwykopowych.

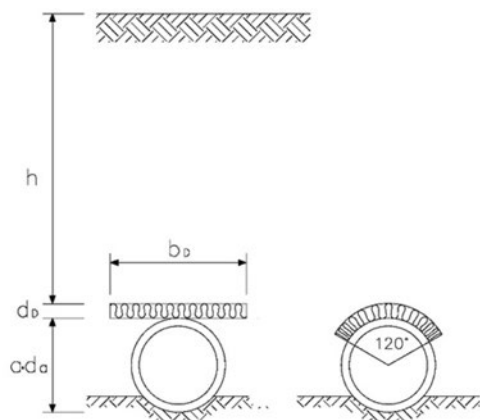
<sup>\*)</sup> Andrzej Kolonko – Politechnika Wroclawska – Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, email: andrzej.kolonko@pwr.edu.pl, tel.: 507 043 537

W przewodach podatnych z rur z tworzyw sztucznych, redystrybucja, czyli wyrównywanie obciążeń wokół przekroju, zachodzi wskutek znacznych deformacji przekroju.

## 2. Dotychczasowe próby modyfikacji rozkładu obciążeń

### 2.1. Zastosowanie ściśliwej warstwy buforowej

Pewną próbą modyfikacji rozkładu obciążeń dla rur sztywnych była podatna warstwa deformacyjna, wykonana z materiału ściśliwego i umieszczona bezpośrednio nad rurą, co miało prowadzić do lokalnego zmniejszenia obciążeń działających na sklepienie rury. Propozycja ta jest uwzględniona w niemieckich wytycznych [1]. Zaproponowane rozwiązanie przedstawiono na rys. 2 [1].



Rys. 2. Modyfikowanie rozkładu obciążeń przez zastosowanie podatnej warstwy deformacyjnej umieszczonej bezpośrednio nad sztywną rurą

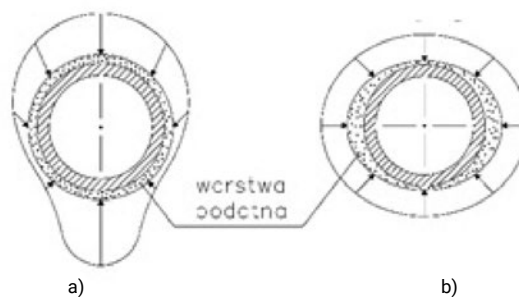
Fig. 2. Modification of the load distribution by application of a susceptible layer of a compressible material directly over a rigid pipe

Pokazana na rys. 2 ściśliwa warstwa deformacyjna ma dość ograniczony wpływ na rozkład obciążeń i w praktyce rozwiązanie to nie jest stosowane. Efekt lokalnego zmniejszenia koncentracji obciążeń w górnej części przekroju uzyskuje się zwykle w praktyce, przez niezagęszczanie gruntu bezpośrednio nad rurą, co często podają zalecenia wykonawcze.

### 2.2. Zastosowanie nieściśliwej warstwy podatnej

Ideą innego rozwiązania jest, poprzez zastosowanie warstwy podatnej z materiału nieściśliwego, zapewnienie optymalnego, zbliżonego do kołowo-symetrycznego rozkładu obciążeń zewnętrznych działających na rurociąg. W takim przypadku w przekroju kołowym wystąpi stan błonowy – zanikną momenty zginające i naprężenia rozciągające, a jedynymi siłami wewnętrznymi są naprężenia ściskające. Jest to stan pożądany, ponieważ stosowane materiały konstrukcyjne charakteryzują się bardzo dużą wytrzymałością na ściskanie i bardzo małą na rozciąganie. Stan taki można uzyskać poprzez wprowadzenie warstwy pośredniej pomiędzy powierzchnię zewnętrzną przewodu a otaczający go ośrodek gruntowy. Warstwa ta powinna być nieściśliwa, utworzona z materiału wykazującego właściwości lepkiej cieczy, który powinien swobodnie przemieszczać się wokół przekroju rury (po jej obwodzie). Ze względów praktycznych warstwa ta musi być oddzielona od gruntu szczelną i elastyczną powłoką. Istnienie takiej warstwy wokół rury sprawia, że rozkład obciążeń działających bezpośrednio na powierzchnię zewnętrzną rury jest niezależny od rozkładu obciążeń działających na samą warstwę pośrednią. Ideę takiego rozwiązania przedstawiono na rys. 3.

Warunki proponowanego rozwiązania idealnie spełniają ciecze, gdyż ich kąt tarcia wewnętrznego  $\varphi = 0^\circ$ . Zastosowanie warstwy pośredniej z cieczy wokół rury, przed jej ułożeniem w wykopie, byłoby praktycznie niemożliwe, z uwagi na konieczność zapewnienia stałej grubości odkształcalnej warstwy otaczającej rurę przed jej zasypaniem. Ze względów technicznych realne było ułożenie w wykopie rury, otoczonej elastyczną powłoką elastomerową i wprowadzenie w utworzoną przestrzeń pierścieniową pod ciśnieniem wody lub powietrza. Zwiększając odpowiednio ciśnienie



Rys. 3. Optymalizacja rozkładu obciążeń przez zastosowanie warstwy podatnej z materiału nieściśliwego

a) rozkład obciążeń bezpośrednio po wystąpieniu obciążeń  
b) rozkład obciążeń po deformacji warstwy podatnej

Fig. 3. Optimization of load distribution by application of a susceptible layer of an incompressible material

a) load distribution directly after loading

b) load distribution after deformation of a susceptible layer

można doprowadzić do odsunięcia gruntu od rury na całym jej obwodzie i zapewnić kołowo-symetryczny rozkład obciążeń, a tym samym pracę konstrukcji rury w stanie błonowym (bezmomentowym). Eksperymenty przeprowadzone na stanowisku badawczym potwierdziły, że takie efekty można się uzyskać w praktyce, co opisano w pracy [3]. Ze względu na uwarunkowania techniczne i stworzenie realnych możliwości zastosowań praktycznych, zaproponowano zastąpienie warstwy pośredniej z cieczy warstwą z masy lepko-plastycznej, osłoniętą cienką folią. Masa ta miała w założeniu przepływać wokół rury z miejsc, gdzie występuje lokalnie większe ciśnienie (miejsca koncentracji parcia gruntu) do miejsc, gdzie panują mniejsze ciśnienia. W ten sposób doszłoby do wyrównania obciążeń działających bezpośrednio na rurę. Opisane rozwiązanie także nie zostało wdrożone do zastosowań praktycznych.

## 3. Optymalizacja obciążeń przez zastosowanie płynnego gruntu (PG)

### 3.1. Czym jest płynny grunt (PG)

Najnowszym rozwiązaniem problemu optymalizacji obciążeń, działających na rurociągi układane w wykopie, jest wykorzystanie opatentowanej technologii PŁYNNEGO GRUNTU (RSS® Flüssigboden), oznaczanego w dalszym tekście jako PG. Technologia ta pozwala na uniknięcie wymiana gruntu i wykorzystanie praktycznie dowolnego gruntu rodzimego do szelznego wypełniania wykopu, w którym ułożono kabel energetyczny. Szczelność wypełnienia zapewniana jest nie poprzez zagęszczanie gruntu lecz poprzez jego czasowe upłynnienie. Podczas procesu upłynnienia, oprócz wody, do rodzimego gruntu dodawany jest specjalny komponent oraz niewielka ilość cementu a czasem dodatkowo wapno.

PŁYNNY GRUNT nie zmienia objętości i jest całkowicie neutralny dla środowiska i wód gruntowych. Po przejściu w stan stały PG jest łatwo urabialny i rurociąg można łatwo wykopać. Recepturę dopasowaną do warunków gruntowych i oczekiwanych parametrów gruntu (lub dopasowaną do konkretnej sytuacji projektowej) ustala laboratorium, po uprzednim dostarczeniu reprezentatywnej próbki gruntu.

Sterowanie urządzeń dozujących przy produkcji PŁYNNEGO GRUNTU (RSS® Flüssigboden) odbywa się zdalnie. Płynny grunt nie łączy się z wodą gruntową lecz skutecznie ją wypiera i może też stanowić dla niej szczelną przegrodę. PŁYNNY GRUNT (RSS® Flüssigboden) umożliwia prowadzenie robót, bez konieczności kosztownego obniżania poziomu wód gruntowych i dlatego jego szczególne właściwości można wykorzystać również w trudnych warunkach gruntowo-wodnych [5, 6].

Stosując tę technologię, zabezpieczamy równomiernie przewód na całym obwodzie oraz na całej długości. Mając możliwość sterowania takimi parametrami jak lepkość, przyczepność czy spójność, receptura jest dostosowywana również do rodzaju materiału, z którego wykonany jest przewód. To powoduje, że po przejściu w fazę stałą wypełnienie wykopu ściśle przylega do przewodu. PŁYNNY GRUNT (RSS® Flüssigboden) jest to materiałem

samozagęszczalnym i nie wymaga zagęszczania mechanicznego. Coraz bardziej ważnym aspektem, związanym z zastosowaniem PG i wykorzystaniem rodzimego gruntu, jest znaczna redukcja emisji CO<sub>2</sub> wynikająca ze znacznego ograniczenia transportu samochodowego koniecznego w przypadku tradycyjnej wymiany gruntu przy zasypywaniu wykopów [5, 6]. Obecnie technologia PG stosowana jest głównie w Niemczech, Szwajcarii oraz Austrii, Austrii, a także w Anglii, Szwecji, Francji oraz Rosji.

### 3.2. Rozwój metody

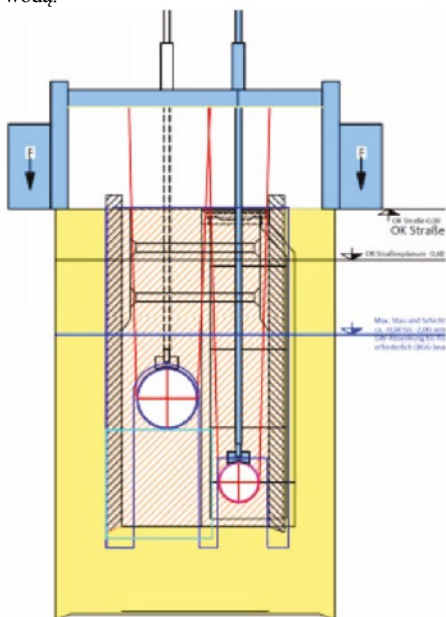
Technologia PG została opracowana w 1998 r. w Instytucie Badawczym Płynnego Gruntu (FiFB – Forschungsinstitut für Flüssigboden GmbH) we współpracy z Biurem Inżynieryjnym LOGIC w Lipsku. Technologia Płynnego Gruntu funkcjonuje pod wspomnianą już nazwą RSS® Flüssigboden. W siedzibie firmy znajduje się laboratorium, biuro projektowe, instytut badawczo-rozwojowy, zakład wykonujący linie do produkcji płynnego gruntu. Obecnie technologia ta znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach budownictwa, geotechniki, energetyki, budownictwa wodnego i drogowego. Została ona ujęta w normy prawne w postaci niemieckich wytycznych RAL GZ 507. Korzyści mogą wynikać także z optymalnego (w mniejszym rozstawie) rozmieszczenia kilku rurociągów w jednym wykopie, co pozwala na zajęcie węższego pasa terenu [5, 6].

## 4. Zastosowanie Płynnego Gruntu w budowie rurociągów układanych w wykopie

Jak wspomniano, dzięki właściwościom PG takich jak zdolność szczelnego wypełniania wykopu oraz brak konieczności jego zagęszczania, wykonywane wykopki mogą być znacznie węższe niż przy tradycyjnej zasypce z piasku. W przypadku PG do jego produkcji wykorzystywany jest grunt rodzimy, po odpowiednich modyfikacjach w wytwórni PG, co pozwala na uniknięcie dużych kosztów transportu.

Rurociągi posadowione w PG są podwieszane i stabilizowane specjalnymi stemplami, koniecznymi w przypadku jednoetapowego wypełnienia wykopu tak, aby działająca siła wyporu nie doprowadziła do wypłynięcia rurociągu i niedopuszczalną zmianę położenia w stosunku do projektowanego. Schemat układania rurociągu w wykopie z wypełnieniem w postaci PG pokazano na rys. 4, a na rys 5 pokazano budowę rurociągu w warunkach rzeczywistych [5, 6].

Alternatywą dla zastosowania stempli, przejmujących siłę wyporu jest stopniowe wypełnianie wykopu PG warstwami o grubości zależnej od ciężaru własnego rurociągu, który czasowo można zwiększyć przez wypełnienie go wodą.



Rys. 4. Schemat układania rurociągów w wykopie z wypełnieniem w postaci PG  
Fig. 4. The schematic of laying pipes in a trench with the filling material PG



Rys. 5. Układanie rurociągów w wykopie z wypełnieniem w postaci PG w warunkach rzeczywistych  
Fig. 5. Laying pipes in a trench with the filling material PG in the real conditions

## 5. Rodzaje PG i ich ocena przez IKT

Najbardziej rozpowszechnione jest wykorzystanie PG w Niemczech, gdzie technologia ta powstała. Tam też znajduje się kilku producentów PG. Niedawno PG dostarczony przez głównych producentów został poddany ocenie w IKT (Institut fuer Kanalisationstechnik) [2]. Badano PG następujących producentów:

FiFB GmbH – RSS® Flüssigboden  
Heidelberger Beton GmbH – TerraFlow®  
WBM-Flüssigboden GmbH – WBM-Flüssigboden®  
Holcim Beton und Betonwaren GmbH – Terrapact®  
Thomas Zement GmbH & Co. KG – carbofill®

Pozytywne oceny otrzymały tylko 3 rodzaje PG, przy czym ocenę dobrą otrzymały tylko dwa z nich: RSS® Flüssigboden oraz carbofill®. Świadczy to o tym, że produkcja PG wymaga dużej wiedzy i doświadczenia.

## 6. Zalety układania rurociągów w wykopach z wykorzystaniem PG

### 6.1. Pozytywny wpływ Płynnego Gruntu (PG) na środowisko oraz na klimat

Impulsem dla wieloletnich prac rozwojowo-badawczych w dziedzinie PŁYNNEGO GRUNTU (RSS® Flüssigboden) były zmiany prawne dążące do zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub>, które były przyczynkiem dla zbadania możliwości ponownego wykorzystania dowolnego gruntu wykopowego jako gruntu zasypowego. Rozwój technologii dokonany przez FiFB pozwolił na opracowanie ponad 170 rodzajów zastosowań dla PG, wytworzonego na bazie dowolnego gruntu wykopowego. Celem dalszych badań jest opracowanie nowych receptur, zapewniających nie tylko obniżenie kosztów ale przede wszystkim na redukcję wykorzystywanej energii a przez to ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> podczas trwania całego procesu budowy. Technologia PŁYNNEGO GRUNTU podejmuje ten temat na trzech poziomach, do których można zaliczyć [5, 6]:

- poziom materiałowy,
- poziom technologiczny,
- poziom eksploatacyjny.

#### 6.1.1. Poziom materiałowy

Urobek gruntowy jest wykorzystany do wypełnienia wykopu, co spełnia ustawowe wymagania aby od 1.01.2020 co najmniej 70% odpadów mineralnych ponownie wykorzystywać. Zgodnie z prawem niezanieczyszczony grunt wywożony z placu budowy jest traktowany jako odpad. W tym przypadku, dzięki zastosowaniu technologii PG,

redukcja emisji CO<sub>2</sub> wynika z eliminacji wywozu mas ziemnych z placu budowy oraz z braku konieczności przywozu nowego gruntu do zasypywania wykopów. Odpada więc najczęściej dotychczas stosowana wymiana gruntu. Dodatkową korzyścią jest zmniejszenie ilości urobku, dzięki możliwości znacznej redukcji szerokości wykopu w stosunku do wytycznych zawartych w normie europejskiej PN-EN 1610. Przy tradycyjnej zasypce piaskowej, duża szerokość wykopu wynikała z warunków koniecznych dla prawidłowego zagęszczenia mechanicznego zasypki. Wymagało to użycia dużej ilości energii, koniecznej dla pracy specjalistycznych maszyn.

### 6.1.2. Poziom technologiczny

Zastosowanie technologii PŁYNNEGO GRUNTU jest związane z wykorzystaniem wielu nowych technologii, co w sumie pozwala na znaczne ograniczenie koniecznej energii a przez to ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>, w stosunku do klasycznych metod układania rurociągów w gruncie. Możliwość zastosowania PG zgodnie z RAL GZ 507 – umożliwia budowę przewodów w wykopie także pod wodą, tzw. holenderska metoda budowania w warunkach bardzo wysokiego poziomu wód gruntowych, w przypadku krzyżowania się przewodów czy wielu rurociągów układanych we wspólnym wykopie.

### 6.1.3. Poziom eksploatacyjny

Zastosowanie PŁYNNEGO GRUNTU (RSS® Flüssigboden) wydłuża czas bezawaryjnego użytkowania przewodów, co zmniejsza koszty ich eksploatacji, wynikające z braku konieczności wykonywania napraw. Duże zalety może mieć zastosowanie PG do wypełniania punktowych wykopów, związanych z awariami rurociągów, prowadzonych pod ulicami miast. Chodzi tu głównie o eliminację osiadań, wynikających z niedostatecznego zagęszczenia klasycznej zasypki piaskowej. Eliminacja osiadań zapewnia brak uszkodzeń nawierzchni drogowej.

### 6.1.4. Koszty i organizacja budowy

Realizacja projektu z zastosowaniem PG wymaga zbudowania zespołu urządzeń do jego produkcji. Koszty te mogą sprawić, że technologia będzie nieopłacalna w przypadku krótkich odcinków rurociągów. Ponadto problemem może być duża zmienność warunków gruntowych na długości obiektu liniowego, jaki stanowi rurociąg. Wiąże się z tym konieczność przeprowadzenia dodatkowych badań geotechnicznych i stosowanie różnych receptur na wyprodukowanie PG.

## 7. Wnioski

Doświadczenia pokazują, że optymalizacja obciążeń działających na rurociągi ułożone w wykopach jest możliwa. Obecnie praktyka pokazuje, że najlepszą metodą jest w tym przypadku zastosowanie PG. Wdrożenie tej metody sprawdziło się w praktyce i jest ona coraz częściej stosowana. Wykorzystanie Płynnego Gruntu zamiast klasycznej zasypki piaskowej poprawia rozkład obciążeń kontaktowych i zwiększa trwałość przewodu ułożonego w wykopie. Dodatkowo zmniejsza się, czasem nawet o ponad 50%, objętość robót ziemnych. Bardzo ważną korzyścią ze stosowania PG jest radykalnie zmniejszona emisja CO<sub>2</sub>, co wynika z zdecydowanego ograniczenia robót ziemnych. Czynnikiem ten powinien ułatwić starania się o środki finansowe z UE. Należy podkreślić, że aby uniknąć błędów wynikających z wdrażania nowej technologii i osiągnąć sukces wynikający ze stosowania PŁYNNEGO GRUNTU, konieczne jest aby licencjodawca Forschungsinstitut für Flüssigboden GmbH (FiFB) był zaangażowany już na etapie prac projektowych. Nowe podejście do projektowania rurociągów, ułożonych w wykopach wypełnianych PG, pozwoli na bardziej dokładne i w znacznym zakresie kontrolowane określanie wielkości i rozkładów obciążeń. Dzięki temu rury będą mogły być cieńsze, a przez to tańsze oraz lżejsze, co ułatwi ich montaż. Ponadto PG można tak zaprojektować, aby był nieprzepuszczalny dla wody i tworzył dodatkową osłonę wodoszczelną przewodu oraz skutecznie obniżał oddziaływania dynamiczne, wynikające z obciążeń komunikacyjnych.

## LITERATURA

- [1] ATV-DVWK – M 127P, obliczenia statyczno-wytrzymałościowe kanałów i przewodów kanalizacyjnych, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2000.
- [2] IKT-Warentest „Flüssigböden (ZFSV) im Kanalbau“, Gelsenkirchen, 2020
- [3] Kolonko A.: Der Membranspannungszustand im Falle von unterirdischen Rohrleitungen. Strassen und Tiefbau. 1985, Jg. 39, nr 5.
- [4] Madryas C., Kolonko A., Wysocki L. 2002.: Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych / Wrocław: Oficyna Wydaw. Politechniki Wrocławskiej.
- [5] Stolzenburg, O. & Grabe, A. B. 1., 2016. *Energiewende und Flüssigboden nach RAL GZ 507, Bundesnetzagentur 12.07.2016*. Bonn: FiFB.
- [6] Stolzenburg O, Fachplanung für den Einsatz von Flüssigboden nach RAL GZ 507 Forschungsinstitut für Flüssigboden (FiFB). Erfahrungen aus der Entwicklung des RSS® Flüssigbodenverfahrens, von über 170 Anwendungen und aus mehr als 22 Jahren Praxis.
- [7] Szot A.: Nośność rurociągów kanalizacyjnych wzmocnianych polimerowymi wykładzinami ciągłymi. Praca doktorska, raporty Instytutu Inżynierii Lądowej Politechnika Wroclawska 2002, Ser. PRE; nr 12