

Problematyka optymalnego doboru rurociągów z nowoczesnych kompozytów z tworzyw sztucznych w porównaniu z termoplastycznymi tworzywami sztucznymi

tekst: **dr inż. FLORIAN PIECHURSKI**, starszy wykładowca, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska w Gliwicach

Kompozyty z tworzyw sztucznych jako materiał konstrukcyjny zagościły w inżynierii środowiska ponad 50 lat temu. Zastosowanie tworzyw sztucznych, a zwłaszcza kompozytów, do produkcji rur używanych do budowy sieci kanalizacyjnych daje możliwość obniżenia kosztów.



W przypadku kanałów powinno się odnieść kryteria oceny do czasu, w jakim będą one eksploatowane. Z reguły oczekiwany czas użytkowania kanałów wynosi 50 lat. Należy zwrócić uwagę, że w polskich standardach Urzędu Mieszkalnictwa i Rozwoju Miast z 2000 r. [1] okres ten został przyjęty jako 25 lat. Określając wymagany czas niezawodnej eksploatacji, ocena rozwiązania technicznego kanału może odbywać się na podstawie badań długookresowych nowych produktów lub opierać się na badaniach funkcjonujących już kanałów.

Literatura przedmiotu [2, 3] wskazuje, że czynniki działające na eksploatowany kanał można podzielić na:

- zewnętrzne: obciążenia wytrzymałościowe – mechaniczne, agresywność chemiczna gruntu, wypór wody, przerastanie korzeniami, jak również oddziaływanie przez inne sieci i obiekty;
- wewnętrzne wynikają z warunków przepływu ścieków w trakcie eksploatacji kanałów, jak ścieranie (szczególnie piaskiem), działanie agresywnych substancji zawartych w ściekach i powstających w wyniku procesów biologicznych i biochemicznych.

Przy wyborze odpowiedniego rozwiązania należy uwzględnić brak pełnych możliwości oceny zmian w czasie w zakresie występowania czynników zewnętrznych i roboczych. Dla przykładu, w Polsce zmiany ustrojowe oraz nowe warunki ekonomiczne doprowadziły do spadku zużycia wody, a tym samym do zagęszczenia substancji w ściekach i powstawania osadów, które, zagniwając, prowadzą do zwiększenia agresji chemicznej (głównie siarczanowej). Analiza awaryjności z 2010 r. [3] wskazuje, że zdecydowana większość awarii w Polsce występuje w wodociągach i wynosi ok. 0,62 uszkodzeń na 1 km na rok. Badania sieci kanalizacyjnej wskazują na ich awaryjność w zakresie od 0,017 do 0,06 uszkodzeń na 1 km na rok w zależności od rodzaju kanalizacji. Awarie w kanalizacji stwarzają niebezpieczeństwo skażenia gruntu i wód gruntowych, zapadania się jezdni lub gruntu, jak również są przyczyną podtopień na dużą skalę w przypadku zatkania.

Zebrane dane [3] wskazują, że główne przyczyny awarii kanalizacji to:

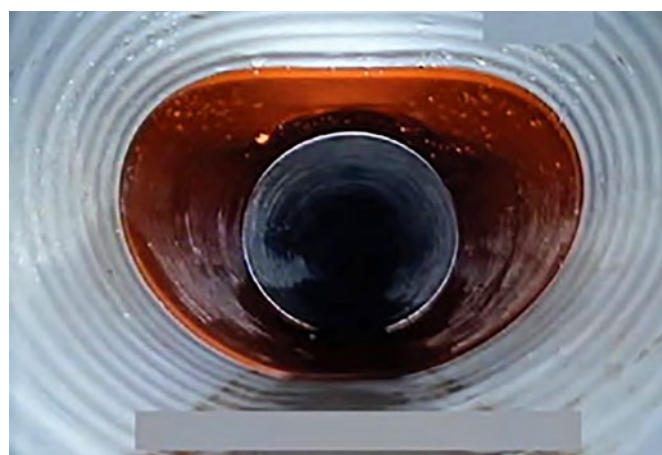
- błędy projektowe,
- wadliwe wykonawstwo,
- niewłaściwa eksploatacja.

Badania na terenie Niemiec [3] dowodzą, że pomimo zastosowania materiałów dobrej jakości nadal istotnym problemem są rysy i spękania w kanałach (22,7%) oraz uszkodzenia połączeń rur (10,1%). Zastosowanie odpornych na korozję materiałów skutkuje bardzo dużym spadkiem awaryjności i praktycznie ją eliminuje. Polskie badania [3] wiążą się z niemieckimi i wskazują na główne przyczyny awarii jako zatkania: gromadzenie się osadów (26,7%), przerastanie korzeniami połączeń (17,4%) i pęknięcia (17,4%; ryc. 1). Ujęte w publikacji [4] problemy wycierania dna kanału (ścieralność) i korozja mają miejsce we wszystkich stosowanych materiałach, a w przypadku rur z tworzyw mogą występować ponadnormatywne ugięcia (ryc. 2), wgniecenia w ścianach, utrata stateczności, które mają wpływ na zagrożenie powstaniem nieszczelności kanału.

Występujące usterki powinny być wskazówką przy doborze materiałów, projektowaniu oraz w trakcie budowy kanałów. W związku z powyższym główne cechy materiałów stosowa-



Ryc. 1. Deformacja spękanej rury o konstrukcji sztywnej [4]



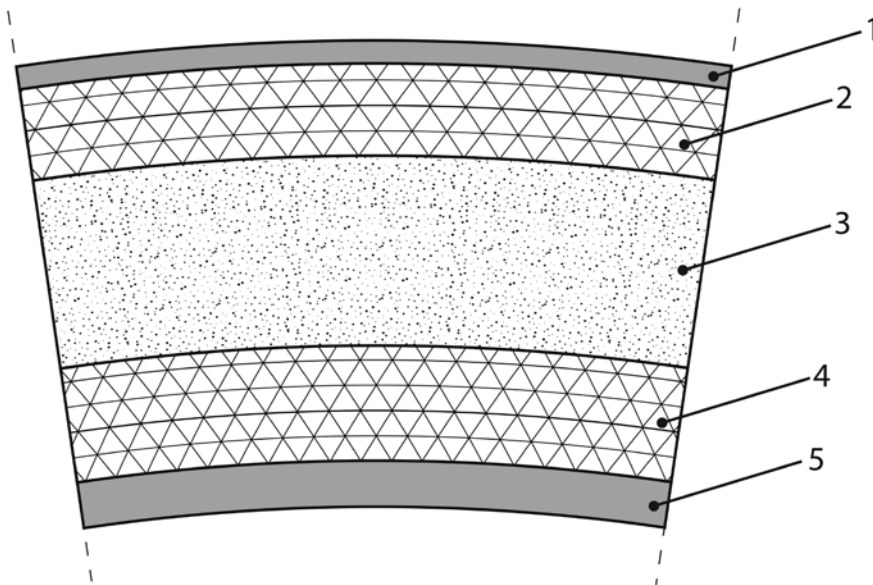
Ryc. 2. Ponadnormatywna deformacja rury z termoplastycznego tworzywa sztucznego [4]

Tab. 1. Obliczeniowe parametry wytrzymałościowe tworzyw sztucznych [12]

Obliczeniowe parametry wytrzymałościowe tworzyw sztucznych	Kompozyt GRP	PP	PE-HD	PVC-U
Krótkookresowa wytrzymałość na rozciąganie obwodowe [MPa]	133–169	39	21	90
Długookresowa (50-letnia) wytrzymałość na rozciąganie obwodowe [MPa]	48–76	17	14	50
Krótkookresowy moduł Younga [MPa]	10000	1250	800	3000
Długookresowy (50-letni) moduł Younga [MPa]	5000	312	160	1500

nych do budowy kanalizacji to: wytrzymałość mechaniczna, odporność na korozję i abrazję, zdolność do samoczynnego usuwania osadów oraz wysoka szczelność połączeń.

Rury kompozytowe od czasu, kiedy pojawiły się na rynku, są konfrontowane z wyżej wymienionymi zagrożeniami. Dla przykładu, rury z TWS (ang. GRP, FRP) posiadają podstawową zaletę w postaci możliwości modyfikowania parametrów wytrzymałościowych i odporności chemicznej przez zmianę ilości i rodzaju



Ryc. 3. Schemat budowy rury kompozytowej:
 1. zewnętrzna warstwa zabezpieczająca
 2. zewnętrzna warstwa konstrukcyjna
 3. centralna warstwa konstrukcyjna
 4. wewnętrzna warstwa konstrukcyjna
 5. wewnętrzna warstwa zabezpieczająca

surowców oraz indywidualną konstrukcją ścianki rury. Do najczęściej stosowanych rur kompozytowych należą rury z żywicy poliestrowej wzmocnionej włóknem szklanym, które są stosowane na terenie Europy według norm EN 14364 oraz EN 1796.

Obliczeniowe parametry techniczne rur z tworzyw sztucznych zostały zestawione w tabeli 1 według wytycznej ATV A 127 oraz norm materiałowych. W przypadku tworzyw sztucznych, w tym kompozytów, należy zwracać uwagę na zmianę ich parametrów w czasie pod wpływem obciążenia i temperatury.

Odpowiedni wybór kompozytowych rur kanalizacyjnych z GRP jest możliwy dzięki produkcji w wielu normatywnych klas sztywności. Sztywność obwodowa jest miarą ugięcia – owalizacji rury pod wpływem obciążenia i wyrażana jest wzorem:

$$S = \frac{E \times I}{d_m^3}$$

gdzie:

E – moduł elastyczności (MPa)

d_m – średnica

I – moment bezwładności

Należy pamiętać, że dobór wymaganej sztywności powinien opierać się na obliczeniach z przyjętymi na podstawie badań warunkami gruntowo-wodnymi oraz obciążeniami komunikacyjnymi.

W tabeli 2 przedstawiono przykładowe wymagania dotyczące sztywności 50-letniej dla rur z tworzyw sztucznych uzależnione od przykrycia i kategorii gruntów.

Tab. 2. Wstępny dobór sztywności rur na podstawie serii obliczeń według ATV A 127

Przykrycie [m]	Kategoria gruntów			
	G1	G2	G3	G4
>= 3	S ₅₀ 2500	S ₅₀ 2500	S ₅₀ 5000	S ₅₀ 5000
3 > h >= 7	S ₅₀ 2500	S ₅₀ 2500	S ₅₀ 5000	–
7 < h <= 14	S ₅₀ 2500	S ₅₀ 5000	–	–
14 > h > 16	S ₅₀ 5000	–	–	–
> 16	S ₅₀ 5000	–	–	–

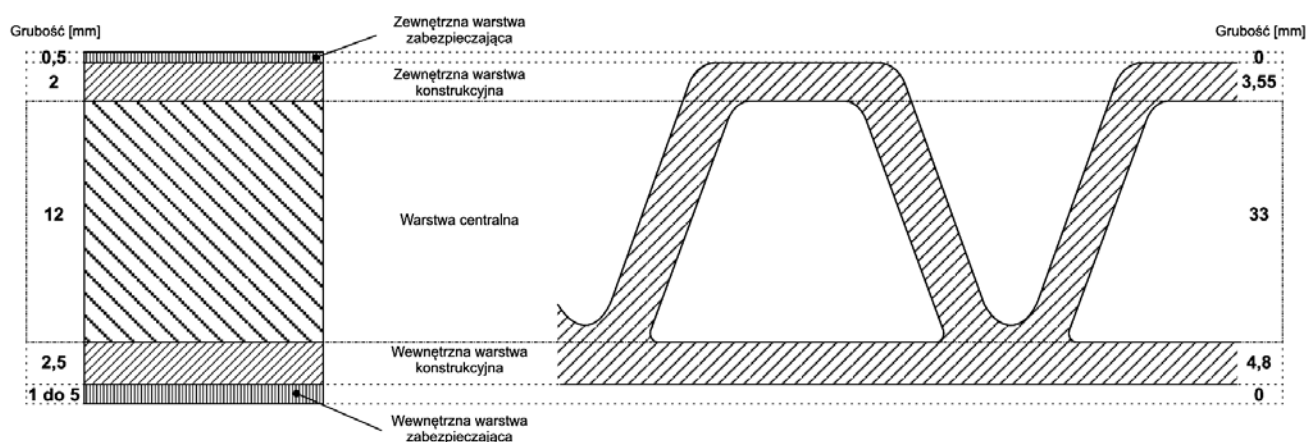
Proces produkcji rur GRP umożliwia osiągnięcie parametrów odpowiadających tradycyjnym wymaganiom normowym lub nawet dostosowanych do poszczególnych wymagań dla każdego indywidualnego projektu. Konstrukcje rur GRP (ryc. 3) można schematycznie podzielić na warstwy konstrukcyjne – od drugiej do czwartej – które decydują o wytrzymałości mechanicznej oraz są zabezpieczone od wewnątrz warstwą nr 5 i nr 1 od zewnątrz.

Warstwa wewnętrzna (warstwa nr 5) odpowiedzialna jest za zabezpieczenie przed ścieraniem i korozją. Nie powinna być uwzględniana w długookresowych obliczeniach wytrzymałościowych. Warstwa ta może mieć grubość od 0,5 do kilku mm i może być wykonana z różnych żywic, np. poliestrowej, winyloestrowej, poliuretanowej.

W przypadku kanalizacji konstrukcja rury z warstwą zabezpieczającą powinna być odporna na występujące agresywne substancje – zarówno chemiczne, biochemiczne, jak i gazowe. Bakterie rozkładające ścieki (m.in. *Thiobacillus concretivorus* czy *Thiobacillus ferrooxidans*) wytwarzają gazowy siarkowodór (H₂S), który w połączeniu z wilgotnym powietrzem tworzy kwas siarkowy (H₂SO₄), działający silnie korozyjnie na takie materiały, jak beton czy żeliwo. Rury kompozytowe z warstwami poliestrowymi posiadają pełną odporność na takie środowisko od pH 1. Zostało to potwierdzone w toku wieloletnich badań. Próbkę rur umieszczane są w kwasie siarkowym (H₂SO₄) z jednoczesnym obciążeniem powodującym odkształcenie rur przewyższające występujące w warunkach zabudowy w gruncie. Prowadzi się symulację warunków panujących w agresywnych chemicznie ściekach, ale w warunkach nadmiernego obciążenia. Dane te są następnie analizowane i ekstrapolowane. Wykorzystana metoda testowa ASTM D3681 została przyjęta jako standard przez Amerykańskie Stowarzyszenie Badań i Materiałów (ASTM) już w 1978 r. Ta sama procedura została także przyjęta w normach EN 1120 i ISO 10952. Dane do analizy pochodziły z 18 tys. próbek na bazie standardowych żywic poliestrowych w czasie 40 lat badań rur GRP produkowanych różnymi metodami. Badania wskazują, że okres eksploatacji tych konkretnych rur może wynosić więcej niż 150 lat (przy

Rura GRP z linerem PU

Rura PVC



Ryc. 4. Przekroje konstrukcji ścianek rur DN 900: kompozytowa rura GRP z wewnętrzną warstwą zabezpieczającą z żywicy poliuretanowej, rura z profilu PVC

założeniu, że działające na rury naprężenia są mniejsze niż określona maksymalna wartość progowa).

Stosowanie wykładzin innych niż poliesterowe jako warstwy wewnętrznej powinno mieć uzasadnienie i najczęściej wiąże się z występowaniem w kanale bardzo dużych prędkości przepływu lub zwiększonej zawartości w ściekach materiałów ściernych. Odporność na ścieranie standardowych wykładzin poliesterowych jest wystarczająca w przypadku typowych warunków pracy kanalizacji. Wykładziny poliuretanowe stosowane są przy wysokich wymaganiach odporności na ścieranie. Odporność na ścieranie wykładzin poliuretanowych jest od dwu- do czterokrotnie wyższa niż rur PVC i przewyższa nawet PE-HD, co zostało potwierdzone w zastosowaniach do hydrotransportu w przemyśle wydobywczym [5], gdzie powszechnie występuje przepływ wody i zmielonych skał. W kanalizacji również występują sytuacje, w których odporność na ścieranie tradycyjnych materiałów może być niewystarczająca. Badania Politechniki w Lipsku [6] oraz analiza [7] wskazują, że największe zagrożenie ścieraniem ścianek rur występuje w kanalizacji sanitarnej, a najmniejsze w ogólnospławnej.

Tabela 3 prezentuje obliczeniowe wyniki ścieralności rur DN 900 (PVC o ścianie profilowej) w czasie 50 lat dla trzech typowych zastosowań, tj. kanalizacji: sanitarnej (średniodobowe napełnienie $d/2$), ogólnospławnej (napełnienie $d/4$ oraz 600 h pracy/r przy pełnym wypełnieniu podczas opadów), deszczowej ($d = 1$ całkowite napełnienie, 600 h/r pracy).

Dla prędkości przepływu 5 m/s w kanalizacji sanitarnej zabezpieczenie konstrukcji rury GRP powinno odbyć się przy użyciu wykładziny poliuretanowej o grubości minimum 0,72 mm. Natomiast przy prędkości 8 m/s wymagana jest już prawie czteromilimetrowa warstwa zabezpieczająca z PU. Wewnątrz warstwa konstrukcyjna rur PVC według ryciny 4 [11] nie posiada żadnej warstwy zabezpieczającej i może ulec całkowitemu wytarciu przy 8 m/s, a w innych przypadkach wytarcie powinno być uwzględniane przy wykonywaniu obliczeń wytrzymałościowych kanału.

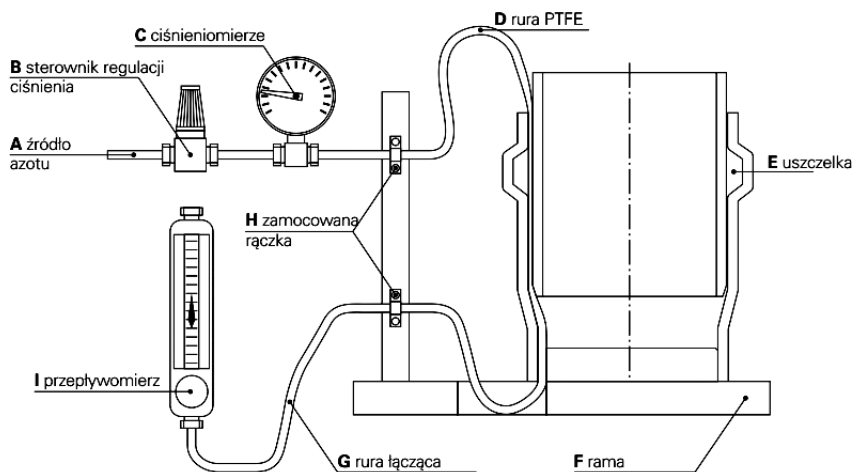
Rury kompozytowe mają zdolność do samooczyszczania nawet przy bardzo małych spadkach dzięki bardzo niskiej chro-

Tab. 3. Obliczeniowe wartości ścierania rur na podstawie obliczeń według [7]

	prędkość V [m/s]	Obliczeniowe wytarcie [mm]	
		GRP-PU	PVC
Kanalizacja sanitarna	2	0,04	0,08
	5	0,72	1,44
	8	3,36	6,72
Kanalizacja ogólnospławna	2	0,00	0,01
	5	0,05	0,10
	8	0,19	0,38
Kanalizacja deszczowa	2	0,04	0,09
	5	0,43	0,86
	8	0,72	1,44

powatości, która według AWWA M45 wynosi $k = 0,00518$ mm. Producenci podają wartości od 0,001 mm dla wykładzin poliuretanowych do 0,03 mm. Badania poligonowe prowadzone w Pradze [9] po 20-letniej eksploatacji wskazały, że współczynnik Manninga wynosił $n = 0,0075$ i praktycznie nie uległ zmianie (uwzględniając dokładność pomiaru), ponieważ nowe rury posiadają laboratoryjny współczynnik 0,008–0,01. Na podstawie obliczeń hydraulicznych można wnioskować, że dopuszczalne minimalne spadki, przy których dochodzi jeszcze do samooczyszczania, wynoszą od 0,01% do 0,04% (tab. 4), co znacząco ogranicza koszty budowy z uwagi na możliwe mniejsze zagłębienie kanalizacji oraz koszty utrzymania sieci kanalizacyjnej przez eliminację potrzeby czyszczenia – płukania kanałów z osadów.

Dopełnieniem systemu rur kompozytowych powinien być system połączeń. Najbardziej przyjazne w montażu są połączenia za pomocą łączników – sprzęgieł. W przypadku każdego systemu łączniki powinny być badane nie tylko krótkookresowo w laboratorium czy na budowie na zwiększone ciśnienia próbne, lecz również w zakresie szczelności długookresowej.



Ryc. 5. Schemat badawczy wykorzystywany w czasie badania według EN 14741

Tab. 4. Określenie minimalnych spadków umożliwiających uzyskanie prędkości samooczyszczania

Spadek kanału i [%]	Średnica nominalna kanału DN [mm]	Napięcie h/D	Prędkość rzeczywista [m/s]
0,040	1000	0,67	0,76
0,020	2000	0,67	0,78
0,012	3000	0,67	0,73
0,010	4 000	0,67	0,76

W tym wypadku zalecane jest badanie według EN 14741 oceniające docisk uszczelki, który nie powinien być mniejszy niż 80% po 50 latach (ryc. 5).

Podsumowanie

Kanalizacyjne systemy rur kompozytowych na bazie żywic zbrojonych włóknem szklanym i piaskiem kwarcowym dają szerokie możliwości zastosowania do budowy kanałów o dużym zakresie średnic. Możliwa stosunkowa łatwa modyfikacja ich konstrukcji pozwala na znalezienie odpowiedniego rozwiązania dostosowanego do wymaganej wytrzymałości mechanicznej czy odporności na ścieranie przez stosowanie odpowiednich układów warstw konstrukcyjnych i zabezpieczających. Rury kompozytowe z uwagi na swoje właściwości posiadają zdolność samooczyszczania oraz wysoką odporność na agresywne środowisko ścieków. Niezbędnym uzupełnieniem rur powinien być system niezawodnych połączeń. Należy pamiętać, że ogromne zróżnicowanie parametrów technicznych rur kompozytowych pociąga za sobą konieczność uwzględnienia tego w procesie projektowania, zwłaszcza podczas obliczeń wytrzymałościowych. Materiały kompozytowe do produkcji systemów kanalizacyjnych wytwarzane są od ponad 60 lat i posiadają znormalizowane wymagania produktowe, co nie zmienia faktu, że potwierdzona jakość wytwarzanych produktów powinna być

jednym z elementów przy wyborze każdego indywidualnego rozwiązania technicznego.

Literatura

- [1] *Standardy regulacji ekonomicznych, dostępności usług oraz metodologii ustalania opłat w sektorze wodociągowo-kanalizacyjnym*. Urząd Mieszkalnictwa i Rozwoju Miast. PZiTS, Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”. Warszawa 2000.
- [2] Madryas C., Przybyła B., Wysocki L.: *Badania i ocena stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych*. DWE. Wrocław 2010.
- [3] Kwietniewski M., Rak J.: *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*. Polska Akademia Nauk. Warszawa 2010.
- [4] Kuliczowska E.: *Przyczyny zapadania się nawierzchni ulicznych wskutek awarii przewodów kanalizacyjnych*. „Instal” 2020, nr 2, s. 44–48.
- [5] *Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control. Proceedings*. Vol. 1. Eds. A.L. Mular, D.N. Halbe, D.J. Barratt. SME, 2002.
- [6] Michael J.: *Theoretische und versuchstechnische Ermittlung des Abriebs in Freispiegelleitung und ihre praktische Anwendung auf Abwasserleitungen*. Dissertation A. Technische Hochschule Leipzig, 1988.
- [7] Kuliczowski A.: *Rury kanalizacyjne*. T. 1. *Własności materiałowe*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2002.
- [8] EN 14741 *Systemy przewodów rurowych i rur osłonowych z termoplastycznych tworzyw sztucznych. Połączenia do bezciśnieniowych zastosowań pod ziemią. Metoda określania długostrzałowej szczelności połączeń z uszczelkami elastomerowymi przez oszacowanie nacisku uszczelki*.
- [9] AWWA M45 *Rury wzmocnione włóknem szklanym – wytyczne projektowania*. Wyd. 2, rozdz. 5. *Hydraulika*, s. 30.
- [10] Pollerty J.: *Opory przepływu w kanalizacyjnych rurach z gładką powierzchnią ścianki*. Raport i badanie wykonane przez Politechnikę w Pradze – Laboratorium Rzyka Ekologicznego.
- [11] Chaallal O., Godat A.: *Laboratory Tests to Evaluate Mechanical Properties and Performance of Various Flexible Pipes*. „Journal of Performance of Constructed Facilities” 2013, Vol. 29, Issue 5, pp. 04014130.
- [12] Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 *Statische Berechnung von Abwasserkanälen und leitungen*.