

## **ZALETY SIECI KANALIZACJI GRAWITACYJNEJ Z TWORZYW TERMOPLASTYCZNYCH W PORÓWNIANIU Z SIECIĄ Z MATERIAŁÓW TRADYCYJNYCH (ŁĄCZNIE Z ASPEKTEM KOSZTOWYM)**

Celem pracy jest omówienie cech charakterystycznych systemów kanalizacyjnych z tworzyw sztucznych oraz możliwie najszersze porównanie systemów kanalizacyjnych z materiałów elastycznych systemami z materiałów tradycyjnych – sztywnych. Analizowane są właściwości, które systemy tworzywowe zawdzięczają surowcom (PVC-U, PP i PE) jak i te, które wynikają z dostępnych technologii przetwórstwa. Zwrócono uwagę na istotną zaletę systemów z tworzyw sztucznych, jaką jest bogactwo kształtek i kompatybilność z prefabrykowanymi studzienkami. Specyfika systemów z tworzyw procentuje we wszystkich etapach cyklu inwestycyjnego i w eksploatacji. Wśród całego spektrum kryteriów wpływających na decyzję o wyborze konkretnego systemu szczegółowo omówiono rolę elastyczności oraz zjawisko relaksacji naprężeń, które zdecydowanie odróżniają systemy z tworzyw elastycznych od systemów z materiałów sztywnych. Mają one największe znaczenie dla szczelności systemów, dla ich usterkowości oraz trwałości. Analizę systemów uzupełniono o informacje dotyczącą kosztów. Zebranie wielu elementów w jednym opracowaniu może stanowić pomoc dla przyszłych uczestników cyklu inwestycyjnego.

### **1. WSTĘP**

Tworzywa sztuczne PVC-U, PE czy PP są wykorzystywane do budowy systemów kanalizacyjnych już od kilkudziesięciu lat. W najwcześniejszych wdrożeniach docenione zostały wszystkie zalety wynikające z właściwości materiałów takie jak wysoka odporność chemiczna czy mały ciężar elementów w porównaniu do systemów z materiałów tradycyjnych. Za cenne uznane zostały również cechy użytkowe, jakie uzyskały systemy wyprodukowane na bazie tych materiałów – mała chropowatość czy też możliwość stosowania długich odcinków rur pozwalająca na szybki montaż bez użycia sprzętu ciężkiego. Żaden z systemów tradycyjnych nie wykazywał wszystkich tych zalet jednocześnie. Poza tym nowoczesne systemy tworzywowe zaoferowały szereg dodatkowych zalet nieznanych dotąd w systemach z materiałów tradycyjnych. Były to: zakres różnych sztywności obwodowych dostosowanych do różnego rodzaju obciążeń, rozbudowany system kształtek pozwalających na większą swobodę kształtowania systemów, łatwe w wykonaniu szczelne połączenia wpływające na szczelność systemów kanalizacyjnych oraz przystępna cena. Cechy te pozwoliły na szybką rozbudowę systemów kanalizacyjnych począwszy od lat 60-tych XX wieku w krajach Europy Zachodniej oraz 30 lat później w Europie Wschodniej.

Odmienne niż w przypadku systemów tradycyjnych postęp w dziedzinie wdrażania tworzyw sztucznych nie jest głównie ukierunkowany na poprawę istniejących parametrów użytkowych, gdyż jak wykazuje dotychczasowe doświadczenie producentów tworzyw sztucznych istniejące systemy z materiałów termoplastycznych doskonale dostosowane są do pełnionej funkcji pod względem wymaganych walorów użytkowych, w tym trwałości. Najnowsze dostępne technologie przetwórstwa tworzyw oraz najnowsze generacje surowców pozwalają na optymalizację zużycia surowców lub powiększenia obszarów zastosowań. Wszystkie wdrożenia systemów kanalizacyjnych z tworzyw termoplastycznych zachowują dotychczasowe kluczowe dla zastosowań tworzyw cechy charakterystyczne, które decydują o ich funkcjonalności i trwałości. Wśród wdrożeń na uwagę zasługują: stosowanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych (np. wdrażanie rur strukturalnych w miejsce rur jednorodnych), nowe generacje surowców (np. oferujące dodatkowe walory użytkowe), zwiększanie zakresu możliwych zastosowań (np. zakres dostępnych średnic) oraz dostosowanie do zastosowań specjalnych (np. bardzo wysokich temperatur, niewystępujących standardowo przy odprowadzaniu ścieków). O ile wiele z zalet wynikających z właściwości fizyko-

chemicznych surowców nie podlega dyskusji, to nadal część z zalet wykorzystywana jest nieświadomie i są świadomie wykorzystywane. W niniejszym opracowaniu oprócz standardowo wymienianych zalet systemów z tworzyw sztucznych skoncentrowano się na tych, których znajomość jest mniej popularna i które są rzadziej omawiane. Do najistotniejszych zalet krańcowo różniących systemy z tworzyw termoplastycznych od systemów sztywnych w opinii autorki należą współpraca rur z ośrodkiem gruntowym w przenoszeniu obciążeń, elastyczność oraz zdolność do relaksacji naprężeń. Wszystkie te cechy skutkują wielorakimi korzyściami odnoszonymi przez wszystkich uczestników cyklu inwestycyjnego i eksploatacyjnego. Cechy te i wynikające z nich korzyści są niedoceniane, a wręcz często spotykają się z nieuprawnioną krytyką wynikającą głównie z ich niewystarczającego zrozumienia. Poświęcono im szczególną uwagę, gdyż często stanowią podstawę do nieuzasadnionej krytyki przez przedstawicieli systemów z tworzyw sztucznych.

## **2. PVC-U, PE I PP – SUROWCE, KTÓRE W KANALIZACJI OFERUJĄ ODPORNOŚĆ NA MEDIA I CZYNNIKI ZEWNĘTRZNE**

Tworzywa sztuczne posiadają szereg cech i właściwości pozwalających na zapewnienie optymalnej funkcjonalności systemu kanalizacyjnego. Najważniejszymi spośród nich są:

### Wysoka odporność chemiczna surowców do produkcji rur i kształtek oraz uszczelek

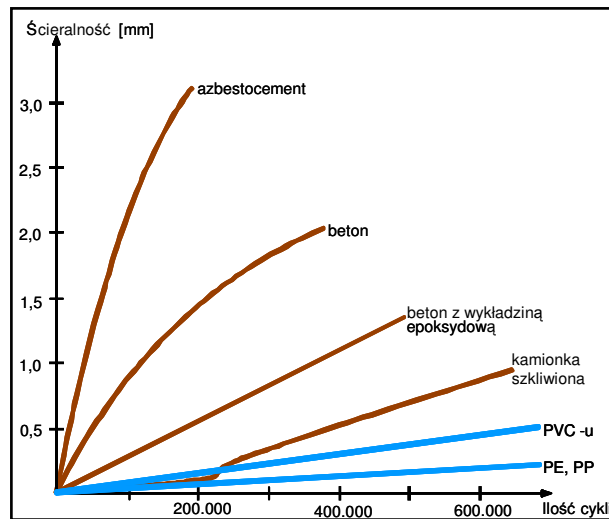
Odporność chemiczną tworzyw PVC-U, PE i PP określa ISO/TR 10358, a uszczelek elastomerowych ISO/TR 7620. W zastosowaniach kanalizacyjnych tworzywa nie korodują i nie wymagają stosowania warstw ochronnych. Korzystnie wpływa to na wyeliminowanie zjawisk inkrustacji i zarostania, które często występowały w systemach tradycyjnych betonowych i żeliwnych. Systemy tworzywowe wyposażone są w uszczelki kanalizacyjne spełniające wymagania normy PN EN 681. Ich odporność nie zmniejsza odporności chemicznej całego systemu. Uszczelki o odporności pH 2-12 stosowane są również w systemach kamionkowych, które wykazują odporność chemiczną w zakresie pH 1-14. Takiej odporności systemów kamionkowych nie można uznać za istotną, ponieważ w systemach kanalizacyjnych skrajne wartości odczynu pH nie występują. Systemy kanalizacji z betonów sprawdzają się tylko w środowisku blisko neutralnego odczynu pH. Zwiększanie koncentracji zanieczyszczeń w ściekach powoduje, że systemy betonowe mają ograniczony zakres zastosowania w kanalizacji sanitarnej i ogólnospławnej;

### Wysoka odporność na ścieranie

Cechę tę obrazują doskonale wyniki badań wg metody darmstadzkiej (patrz rysunek 1), zgodnie, z którymi PVC-U, PE i PP są najbardziej odporne z materiałów stosowanych w systemach kanalizacyjnych. Tworzywa te przewyższają dotychczas uznany za najlepszy, sprawdzony materiał - kamionkę szklawioną.

Odporność na ścieranie jest niezbędna w systemach kanalizacji deszczowej jak i ogólnospławnej, gdzie „wlezione” są znaczne ilości zanieczyszczeń mineralnych stanowiących doskonały materiał ścierny.

Parametr ten omawiany był już wielokrotnie [1,4,6], ciągle jeszcze bywa podważany przez producentów systemów tradycyjnych. Preferują oni sposób prezentacji wyników ścieralności w postaci wykresów obrazujących względny ubytek ścianki rury. W takim ujęciu rury kamionkowe lepiej się prezentują z uwagi na dużą grubość ścianek w stosunku do rur tworzywowych.

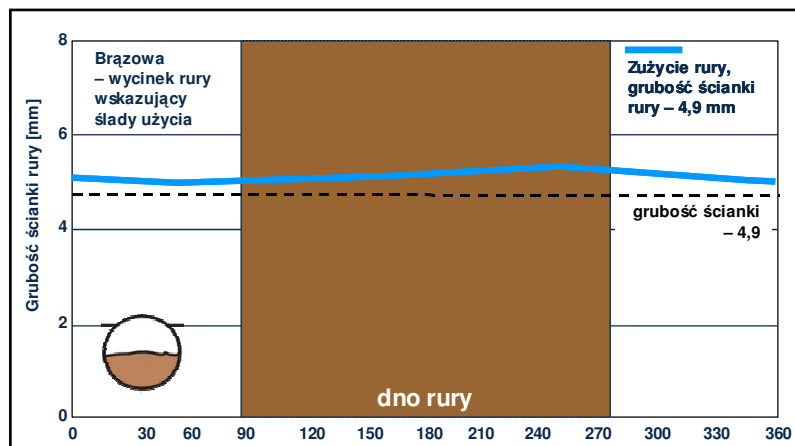


Rysunek 1. Zestawienie ścieralności różnych materiałów używanych do budowy kanalizacji grawitacyjnej.

Polemizowanie o słuszności tego parametru jest bezpodstawne, gdyż normy dla rur kanalizacyjnych z PVC-U, PE, PP oraz strukturalnych (PN-EN 1401, PN-EN 1852 oraz EN 13476) podają, że materiały te są nieścieralne w praktyce, a grubość ścianek rur litych oraz warstw wewnętrznych w rurach strukturalnych jest wystarczająca i uwzględnia długotrwałą eksploatację w systemach kanalizacyjnych. W związku z powyższym całkowicie nieuzasadnione są pojawiające się na rynku propozycje dotyczące konieczności zwiększania grubości ścianek rur litych lub grubości warstw wewnętrznych rur strukturalnych.

Potwierdzeniem doskonałej odporności systemów z materiałów tworzywowych na ścieranie są rekomendacje z zastosowań rur tworzywowych w przetwórstwie rud metali. W zakładach wydobywczych rud metali rury tworzywowe to jedyne, które sprawdzają się w transporcie hydraulicznym urobku na hałdy, a w fabryce materiałów ściernych w transporcie pneumatycznym cząstek korundu.

W zastosowaniach kanalizacyjnych znikomą ścieralność PVC-U potwierdziły badania grubości ścianki rur eksploatowanych dłużej niż 30 lat [1,9] (patrz rysunek 2).



Rysunek 2. Zmiany grubości ścianki rury tworzywowej po wieloletniej eksploatacji.

W tym okresie rury tworzywowe nadal zachowały wytrzymałość i doskonałe warunki hydrauliczne. Wyniki badań [1,9] ekstrapolowane na okres 100 lat wykazały ścieralność rzędu 0,754  $\mu\text{m}$  (0,000754 mm). Okazało się, że szacowane na podstawie badań laboratoryjnych zużycie rur jest większe niż w rzeczywistości.

### Odporność na temperaturę

- PVC-U – 60 °C dla przepływów ciągłych i 75 °C dla przepływów chwilowych
- PP – do 110 °C
- PE – do 90 °C,

co umożliwia dobranie materiałów odpowiednich w zastosowaniach skrajnych (np. w warunkach wysokich temperatur) i bezproblemowe stosowanie w standardowych warunkach panujących w kanalizacji;

### Możliwość montażu przy niskich temperaturach

- PE i PP przy temperaturach nawet do – 10 °C,
- PVC-U do + 5 °C i niższych tylko przy zachowaniu szczególnych zaleceń montażowych.

## **3. PODSTAWOWE ZALETY SYSTEMÓW KANALIZACYJNYCH Z TWORZYW TERMOPLASTYCZNYCH**

Do powszechnie cenionych i niezbędnych w systemach kanalizacyjnych właściwości systemów z tworzyw termoplastycznych należą:

- gładkie powierzchnie i wynikające z nich:
- dobra hydraulika
- możliwość stosowania małych spadków
- łatwość czyszczenia
- niewielki ciężar rur umożliwiający łatwy i szybki montaż z zastosowaniem długich odcinków rur dla większości średnic bez użycia sprzętu ciężkiego,
- odporność na uderzenia i mała kruchość, co sprzyja minimalizowaniu usterkowości podczas operacji transportowych,
- wysoka dokładność wymiarów rur i kształtek wpływająca na szczelność systemu kanalizacyjnego, która odróżnia na korzyść systemy tworzywowe od tradycyjnych,
- połączenia
- kielichowe umożliwiające montaż systemów bez stosowania specjalistycznego sprzętu, z zastosowaniem łatwych w użyciu, powszechnie stosowanych narzędzi,
- zgrzewane pozwalające uzyskać z rur liniową konstrukcję monolityczną bez najmniejszych nieszczelności nawet przy zwiększonych ciśnieniach;
- bogactwo kształtek pozwalające na łatwe, prefabrykowane rozwiązania węzłów kanalizacyjnych.

### **3.1. Szczelność**

Niekiedy jednak dyskutowana jest nadal szczelność połączeń kielichowych w systemach z tworzyw sztucznych w warunkach odkształcenia rur pod wpływem obciążeń oraz szczelność nowych połączeń do starego systemu. Zgodnie z normą PN-EN 476 w systemach kanalizacyjnych wymagana jest szczelność połączeń przy ciśnieniu do 0,5 bara.

Konstrukcje połączeń kielichowych stosowane w rurociągach tworzywowych pozytywnie przechodzą badania szczelności wg normy EN1277 w następujących warunkach:

- szczelność przy nadciśnieniu 0,05 oraz 0,5 bara,
- szczelność przy podciśnieniu -0,3 bara,
- szczelność przy nadciśnieniu i podciśnieniu przy jednoczesnym odkształceniu złącza – tj. 5% odkształcenia kielicha oraz 10% odkształcenia rury w odległości 1m od połączenia,
- szczelność połączeń przy nadciśnieniu i podciśnieniu przy jednoczesnym odkształceniu złącza – tj. 5% odkształcenia kielicha oraz 10% odkształcenia rury w odległości 1m od połączenia oraz odgięciu osiowym wynoszącym 2-1o w zależności od średnicy.

Badania te symulują występujące w rzeczywistości odkształcenia rur, a jednocześnie zjawiska występowania wody gruntowej powyżej lub poniżej rury, czyli możliwość wystąpienia eksfiltracji i infiltracji.

Szczelność połączenia rur „starych” - ugiętych z nowymi - nieugiętymi nie stanowi problemu z uwagi zdolność rur tworzywowych do dopasowania, co jest jednym z przejawów elastyczności łączonych elementów.

### **3.2. Wytrzymałość na obciążenia statyczne i dynamiczne**

Systemy z tworzyw sztucznych oferowane są w kilku odmianach wytrzymałościowych. Parametrem, który charakteryzuje rury jest sztywność obwodowa. Rury grawitacyjne dostosowane są do wszystkich typowych obciążeń występujących w rzeczywistości i występują jako rury o klasach sztywności SN8, SN4 i SN2. Szczegółowo zakresy zastosowania różnych klas w zależności od typu gruntu oraz sposobu wykonania montażu pokazuje norma PN-ENV-1046. W powiązaniu z obowiązującymi w Polsce aprobatami można stwierdzić, że klasa SN8, zwana również S lub T, jest klasą ciężką i stosowana jest na wszystkich typowych głębokościach od 0,8 – 6 m ppt pod nawierzchniami obciążonymi ruchem, w tym ruchem ciężkim. Klasa SN4 – inaczej nazywana normalną i oznaczana symbolem N stosowana jest na głębokościach od 1 – 6 m ppt na obszarach bez obciążenia ruchem samochodowym. Obydwie klasy rur po przejściu testów na cykliczne zmiany temperatury mogą być stosowane pod konstrukcjami budowli – wtedy są oznaczane symbolem obszaru zastosowania UD. Klasa SN2 zwana lekką L stosowana jest poza obszarami inwestycji komunalnych.

Standardowe sztywności obwodowe SN4 i SN8 pozwalają na dopasowanie sieci kanalizacyjnych z tworzyw sztucznych niemal do każdego obszaru zastosowań (różnych głębokości, obciążeń ruchem, rodzajów gruntów oraz agresywności mediów i wód gruntowych), SN2 pozwala obniżyć koszt inwestycji indywidualnych. Trudne i nietypowe obszary zastosowań (np. małe głębokości ułożenia) wymagają każdorazowo analizy potencjalnych zagrożeń, jednak wykorzystywać mogą elementy o standardowych parametrach wytrzymałościowych przy uwzględnieniu specjalnych zaleceń. W takich warunkach rury tworzywowe z obsypką zagęszczoną starannie i ewentualnie z zastosowaniem metod pozwalających rozłożyć obciążenia na większą powierzchnię (rury tworzywowe z obsypką zagęszczoną starannie stanowią lepszą alternatywę dla wysokowytrzymałych rur sztywnych, co oferuje szersze możliwości ich zastosowań (np. geowłókniny) stanowią lepszą, pewniejszą i tańszą alternatywę dla wysokowytrzymałych rur sztywnych.

Występujące na rynku rury kanalizacyjne o wyższej od powszechnie - standardowo używanej sztywności obwodowej SN8 (np. SN10 lub SN12) są przeszacowane dla potrzeb kanalizacji grawitacyjnej i skutkują dla inwestora jedynie zwiększeniem kosztów materiałowych, natomiast dla typowych zastosowań są nieefektywne i nie zwalniają ze stosowania wysokich standardów wykonania i odbioru robót<sup>1</sup>. Sztywności obwodowe SN10 charakterystyczne są dla systemów z duroplastów (np. GRP), które posiadają odmienne parametry użytkowe oraz wykazują inne zachowania reologiczne. W przypadku zastępowania systemu z duroplastu przez odpowiedni pod względem hydrauliki system z tworzyw termoplastycznych niewłaściwe jest domaganie się identycznego parametru sztywności obwodowej. Jednoznacznie problem stosowanych klas sztywności rur z tworzyw termoplastycznych w zastosowaniach bezciśnieniowych przedstawia oświadczenie Polskiego Stowarzyszenia producentów Rur i Kształek z Tworzyw Sztucznych.

### **3.3. Walory użytkowe**

Wartością dodaną wdrożenia systemów tworzywowych w kanalizacji są dodatkowe walory użytkowe. Systemy te przygotowano do szybkiego montażu i łatwiejszego rozwiązywania węzłów oraz dostosowano do możliwości nowoczesnego sprzętu montażowego i eksploatacyjnego. Dlatego też systemy kanalizacyjne z tworzyw sztucznych charakteryzuje dużo większa ilość kształtek niż systemy tradycyjne - z gotowych elementów tych systemów można uzyskać więcej konfiguracji przestrzennych.

---

<sup>1</sup> Patrz rys.3 - zalecane w normach PN EN 13476 i prCEN/TS 15223 warunki montażu.

Więszą swobodę kształtowania systemów umożliwiającą z jednej strony możliwości obecnie dostępnego sprzętu eksploatacyjnego, a z drugiej strony wysoka sprawność hydrauliczna systemów tworzywowych. Przy zastosowaniu dwuzłazek (lub ewentualnie nasuwek) możliwe jest wykorzystywanie dłuższych ścinków rur, co praktycznie eliminuje powstawanie odpadów montażowych.

#### **4. NAJWAŻNIEJSZA ZAŁETA TWORZYWOWYCH SYSTEMÓW KANALIZACYJNYCH - ELASTYCZNOŚĆ**

Kanalizacja grawitacyjna jako konstrukcja o charakterze liniowym narażona jest na zmienne warunki posadowienia. Różnice wynikają zarówno ze zmienności istniejących gruntów, jak i z uwagi na różne głębokości posadowienia i charakter obciążeń w trakcie eksploatacji. Praktycznie niemożliwe jest również uzyskanie na całej długości takich samych parametrów zagęszczenia obsypki i zasypki. Istnieje wiele okoliczności wpływających na statykę przewodów kanalizacyjnych. W przypadku przewodów tradycyjnych - sztywnych każda zmiana wsparcia przewodu stanowi potencjalne ryzyko awarii - utraty szczelności na skutek „klawiszowania” lub pęknięcia. W przypadku przewodów z tworzyw sztucznych, które wykazują elastyczność następuje dostosowanie do zmiany warunków w bardzo szerokim zakresie bez utraty szczelności i statyki. Ponieważ w rzeczywistych warunkach więcej jest okoliczności, które mogą spowodować nieszczelność przewodów sztywnych niż przewodów elastycznych [2,10] coraz powszechniejsze zrozumienie znajduje fakt, że elastyczność systemów tworzywowych jest cenną zaletą i wymaganą cechą rur w kanalizacji grawitacyjnej. Wpływa ona na zminimalizowanie niekorzystnego wpływu systemów kanalizacyjnych na środowisko i ograniczenie infiltracji i exfiltracji<sup>2</sup>. Pozwala to ograniczyć usterkowość systemów kanalizacyjnych z tworzyw w porównaniu z systemami tradycyjnymi. Konieczność uelastycznienia konstrukcji jest już obecnie świetnie rozumiana przez producentów systemów kamionkowych. Dlatego stosują oni elastyczne – tworzywowe dwuzłazki lub grube, podatne na odkształcenia uszczelki gumowe w kielichach. Elastyczność, dzięki której tworzywa wykazują małą wrażliwość na nierównomierność osiadania podłoża, jest wykorzystywana z sukcesem na obszarach tektonicznie niestabilnych (np. tereny szkód górniczych lub występowania trzęsień ziemi).

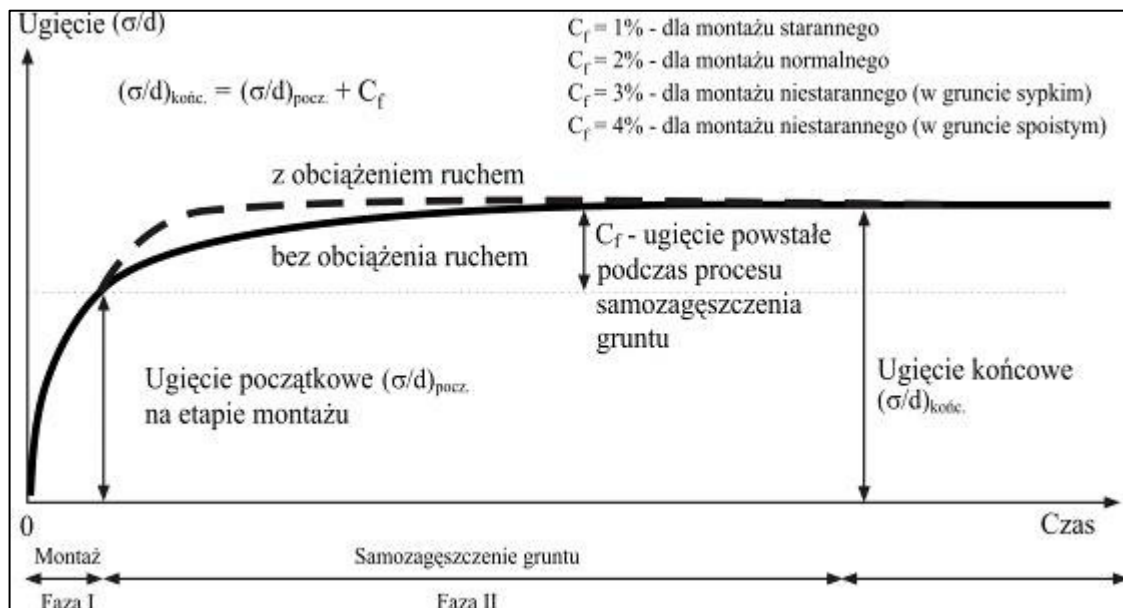
#### **5. NIEZNISZCZALNY UKŁAD: RURA Z TWORZYWA TERMOPLASTYCZNEGO + ZAGĘSZCZONA OBSYPKA**

Wiele korzyści z zastosowania systemów z tworzyw termoplastycznych wynika ze współpracy z otaczającym gruntem. Ośrodek gruntowy w przypadku rur elastycznych stanowi nie tylko obciążenie przewodu, ale także bierze udział w przenoszeniu obciążeń. W wyniku tego zmniejszeniu ulegają ekstremalne wartości momentów zginających decydujących o wielkości naprężeń i ugięć oraz o nośności przekrojów rur. Wynikiem tego jest poprawa rozkładu obciążeń przez zbliżenie go do optymalnego - równomiernie rozłożonego wokół przekroju.

Dla rur sztywnych ułożonych w gruncie rozkład obciążeń charakteryzuje się dużymi koncentracjami w górnej i dolnej strefie rury, szczególnie, gdy grunt został słabo zagęszczony w strefach bocznych rury. Taki rozkład obciążeń jest bardzo niekorzystny, ponieważ momenty zginające w najbardziej wyężonych przekrojach mogą przyjąć wartości ekstremalne, które prowadzą do zniszczenia rur.

---

<sup>2</sup> Warto wspomnieć, że exfiltracja jest niepożądana, ponieważ powoduje wypływ ścieków na zewnątrz i skażenie gruntu i wód gruntowych. Natomiast infiltracja powoduje zmniejszenie zasobów wody gruntowej, rozcieńczenie ścieków dopływających do oczyszczalni, dalej zwiększenie obciążenia hydraulicznego oczyszczalni ścieków i pogorszenia efektu oczyszczalni biologicznej, a więc negatywny wpływ na odbiornik. Infiltracja wpływa także na zwiększenie kosztów pompowania i związane z tym zwiększenie zużycia energii elektrycznej.



Rys. 3. Ugięcie końcowe jako funkcja czasu.

Powstawanie ugięcia rury tworzywowej jest efektem kształtowania równowagi pomiędzy rurą oraz ośrodkiem gruntowym. Ugięcie rury tworzywowej zachodzi w dwóch fazach (patrz rysunek 3) i ostatecznie stabilizuje się w ciągu 1-2 lat od momentu montażu, gdy następuje konsolidacja gruntu i po osiągnięciu równowagi pozostaje już niezmiennie. Najważniejsza w tym procesie jest faza montażu rurociągu, a w szczególności wykonania obsypki, na którą można wpłynąć poprzez wysokie standardy wykonania i odbioru robót. W tym okresie powstaje ugięcie początkowe  $(\sigma/d)_{pocz.}$ . Następna faza ugięcia rurociągu jest już tylko konsekwencją fazy pierwszej. Przy starannym zagęszczeniu ugięcie początkowe kształtuje się na poziomie 2-3% i w okresie docelowym osiąga poziom max 1% wyższy. Przy zagęszczeniu normalnym osiąga wartości początkowe 3-5% i ostatecznie ustabilizuje się na poziomie 4-7%. Przy montażu niestarannym ugięcie początkowe jest wyższe, ma szerszy zakres, a ostatecznie zwiększa się jeszcze o 3-4% (patrz rysunek 4). Dla ostatecznego ugięcia najważniejsza jest faza montażu, a po osiągnięciu ugięcia ostatecznego układ rura – otaczający grunt staje się układem stabilnym, niepodatnym na dalsze ugięcia – praktycznie niezniszczalnym przy zachowaniu stabilności gruntu.

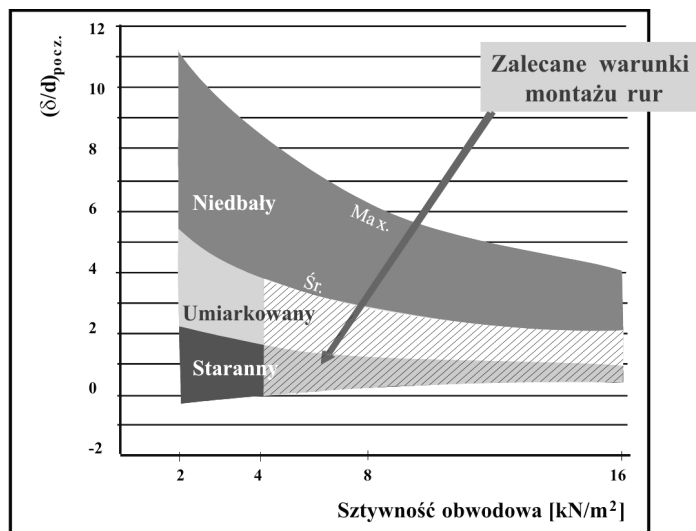
Przy badaniu wpływu głębokości ułożenia na ugięcie rury z tworzywa stwierdzono zaskakującą zależność, że im większe zagłębienie tym mniejsze ugięcie rury. Wynika to z faktu, że im głębsze ułożenie rury, tym większy udział mają składowe poziome odporu gruntu, a obniżenie sił działających na rurę wiąże się z powstawaniem przesklepienia z bryły gruntu w obrębie wykopu. Dla rury elastycznej, odmiennie niż dla rury sztywnej, duże masy naziomu wynikające z głębokości ułożenia nie mają znaczenia (przy dobrym i trwałym zagęszczeniu gruntu).

Podobnie zaskakujące wyniki uzyskano w odniesieniu do obciążeń dynamicznych. Obciążenie ruchem pojazdów nie zwiększa ugięcia rury, a tylko przyspiesza osiągnięcie wartości końcowej zagęszczenia gruntu i ugięcia rury. Ponadto jego wpływ istotny jest tylko przy przykryciu rury mniejszym niż 1 m. Rury z tworzyw termoplastycznych przy obciążeniach dynamicznych (wraz z dobrze zagęszczonym gruntem) wykazują wytrzymałość większą od większości rur sztywnych. Tego typu wiedza jest wykorzystywana w realizacji inwestycji drogowych.

Warto dodać, że ugięcia rur z tworzyw termoplastycznych w zakresie dopuszczalnym nie powodują utraty funkcjonalności rurociągu i nie grożą utratą szczelności ani stateczności. Dla użytkowników rur z tworzyw termoplastycznych przekłada się to na wniosek, że usterki mogą pojawić się w okresie pierwszych 3 lat od zakończenia prac montażowych. Później prawdopodobieństwo pojawienia się awarii staje się znikome.

Zakres osiągniętych odkształceń krótkotrwałych [11, prCEN/TS 15223] dla różnych sztywności obwodowych oraz różnych typów wypełnienia wykopu zdefiniowanych w normie PN ENV 1046 jako montaż staranny, umiarkowany (normalny) oraz niestaranny ujęto na wykresie (patrz rysunek 4).

Obowiązuje on dla głębokości 0,8 – 6 m przykrycia dla rur o średnicach  $d_n \leq 1000$  przy spełnieniu warunku, że zagłębienie  $H$  w stosunku do średnicy  $D$  jest większe od 2.



Rysunek 4. Zakresy ugięć początkowych rur o różnych klasach sztywności oraz zalecane warunki montażu rur z tworzyw termoplastycznych (grawitacyjnych i ciśnieniowych) w gruncie.

Wykres na rysunku 4 wskazuje, że montaż niedbały leży poza obszarem zalecanym. W zastosowaniach komunalnych należałoby go uznać za niedopuszczalny. Warto podkreślać, że montaż niestaranny w przeszłości traktowany był zbyt często jako standard i w warunkach polskich spowodował wiele niepocholebnych opinii o rurach tworzywowych. W związku z tym niesłusznie opinia dotycząca złego wykonawstwa została przypisana systemom z tworzyw sztucznych. Obszar zastosowań grawitacyjnych obejmujący klasy sztywności SN4 i SN8 są wystarczające dla aplikacji bezciśnieniowych. Rury o sztywności SN2 w aplikacjach grawitacyjnych mają ograniczony zakres zastosowania. Aplikacje ciśnieniowe z uwagi na konieczność uwzględnienia ciśnień podczas eksploatacji charakteryzują się grubszymi ściankami i wykazują sztywności w zakresie SN2 do SN16. W zastosowaniach tych rur w gruncie powinny być stosowane rury o sztywności od SN4, ale również one wymagają zachowania staranności montażu.

Materiały sztywne same przenoszą obciążenia i w całym okresie eksploatacji mogą spotkać się z obciążeniami większymi niż krytyczne i ulec zniszczeniu. Różnica pomiędzy zachowaniem rur sztywnych i elastycznych ma w praktyce duże znaczenie dla inwestorów. Znajomość zachowania rur z tworzyw termoplastycznych pozwala od wykonawcy wyegzekwować system trwały na lata. Efektywną metodą egzekwowania odpowiedniego standardu robót jest skuteczny nadzór inwestorski oraz egzekwowanie odbiorów geodezyjnych i wykonanie prób szczelności zgodnych z normą PN EN 1610. Dyscyplinujące jest stosowanie wrywkowej kontroli gruntu obsypki w strefie rury oraz inspekcji telewizyjnej po zakończeniu montażu.

Na dodatkową uwagę zasługuje fakt, że dopuszczalne wartości ugięć rur z tworzyw termoplastycznych są daleko niższe od krytycznych. Współczynnik bezpieczeństwa jest bardzo wysoki i wynosi około 3 – 4. W praktyce oznacza to, że w przypadku nieprzewidzianych zdarzeń (ruchy gruntów niestabilnych, tąpnięcia, utrata zagęszczenia na skutek wymycia podziarna itp.) ugięcia rury mogą osiągnąć wartości większe, a jednak system kanalizacyjny zachowuje funkcjonalność. Tego typu użyteczność sprawdza się od lat na terenach szkód górniczych oraz na gruntach niestabilnych.

Stosowanie rur z tworzyw termoplastycznych stwarza nowe perspektywy dla budowy systemów kanalizacyjnych. Przy wykonywaniu głęboko ułożonych rurociągów oraz w obszarach obciążeń dynamicznych należy korzystać z zalet elastyczności i doskonałej wytrzymałości układu rura – otaczający grunt. Podobnie dopuszczalne jest zastosowanie rur z tworzyw termoplastycznych na gruntach słabonośnych. Zwiększenie nośności podłoża dla lekkich rurociągów można w tym wypadku



uzyskać poprzez zastosowania podłoża z geowłókniny. Nieraz tego typu rozwiązanie wymaga akceptacji dla większych wartości ugięć, które w szerokim zakresie są bezpieczne i nie grożą utratą stateczności rurociągu. Jest to trwała, pewniejsza i tańsza alternatywa niż wymiana gruntu lub fundamentowanie przy zastosowaniu bardzo ciężkich rur sztywnych.

Warto podkreślić, że najwyższy standard montażu - montaż staranny zalecany dla rurociągów z tworzyw termoplastycznych nie jest bardziej wymagający lub trudniejszy w wykonaniu niż montaż wymagany dla materiałów tradycyjnych.

## **6. RELAKSACJA NAPRĘŻEŃ – WŁAŚCIWOŚĆ MATERIAŁÓW ELASTYCZNYCH, KTÓRA PROCENTUJE WYSOKĄ TRWAŁOŚCIĄ**

Jak już wyżej wspomniano, rury z tworzyw termoplastycznych należy zawsze rozpatrywać jako układ wraz z otaczającym gruntem. Niezależnie od technologii wykonania rur i konstrukcji ścianki, charakterystycznym zachowaniem tworzyw jest relaksacja naprężeń, która ma największe znaczenie dla trwałości rur ułożonych w gruncie. Po uzyskaniu samozagęszczenia gruntu tj. około 2-3 lat po zakończeniu prac montażowych uzyskiwany jest stan równowagi pomiędzy rurą a gruntem. Po tym czasie rura „nie odczuwa” obciążeń statycznych i dynamicznych w takim stopniu jak rura sztywna w tych samych warunkach, gdyż ich znaczną część przejmuje grunt. Praktycznie po tym czasie układ rura / grunt jest stabilny i nie zachodzi obawa o powstanie nowych uszkodzeń rurociągu.

Znaczenie relaksacji potwierdzają badania [1,9], na podstawie, których sformułowano następujące wnioski:

- rury tworzywowe po długoletniej eksploatacji zachowują właściwości użytkowe i wykazują poprawne właściwości wytrzymałościowe i hydrauliczne,
- wysokie dopuszczalne naprężenia i zjawisko relaksacji pozwalają ocenić trwałość rur tworzywowych na minimum 100 lat.

Biorąc pod uwagę szacowany czas rozkładu tworzyw oraz korzystne wpływ relaksacji naprężeń na trwałość można stwierdzić, że doświadczenia z kolejnych dziesięcioleci pozwolą na znaczne przedłużenie spodziewanego czasu trwania i użytkowania tych systemów. Czynnikiem limitującym funkcjonalność kanalizacji w przyszłości będzie trwałość uszczelki, a nie rur tworzywowych.

## **7. NIEZAWODNOŚĆ SYSTEMÓW TWORZYWOWYCH W BADANIACH**

Dla systemów kanalizacyjnych duże znaczenie ma ocena ich niezawodności. Coraz częściej prowadzone są badania, które dotyczą zarówno sieci kanalizacyjnych z materiałów tworzywowych jak i z materiałów tradycyjnych. W wielu z nich najwyższą niezawodnością wyróżniły się przewody wykonane z tworzyw [10], w tym głównie PVC-U [5]. Charakteryzowały się one niską intensywnością występowania uszkodzeń (kilkanaście razy mniejszą niż przewody wykonane z betonu i żeliwa) oraz bardzo krótkim czasem usuwania awarii. Intensywność uszkodzeń przewodów kamionkowych była dwukrotnie wyższa od intensywności uszkodzeń przewodów z PVC-U. Ponadto czas usuwania usterek w sieciach budowanych z tworzyw był najkrótszy, przy czym dla PVC-U minimalny czas odnowy uszkodzenia wynosił 2 h (średnio 3 h), a dla kamionki 140 h (średnio 223 h). Krótkim czasem napraw systemów z PVC-U sprzyja standaryzacja, powszechność występowania kształtek naprawczych, a także łatwość wykonania naprawy. Z kolei długie czasy odnowy przewodów kamionkowych wynikają z rozmiarów awarii, braku zamienności pomiędzy systemami oraz braku powszechnej dostępności kształtek naprawczych i małej ilości wyspecjalizowanych firm wykonawczych.

Należy wspomnieć, że funkcjonujące systemy tworzywowe nowszej generacji nie były dotychczas poddawane badaniom niezawodności na tak dużą skalę. Biorąc pod uwagę zachowanie podobne zachowanie tych rur w gruncie kwestią czasu jest potwierdzenie uzyskiwanych dotychczas przez PVC-U wyników.

Opierając się na przytaczanych w niniejszej pracy badaniach [5,10] można sformułować kilka istotnych dla niezawodności systemów tworzywowych stwierdzeń:

- ugięcia klasyfikowane jako wady są zwykle wynikiem złych standardów wykonawczych, a ugięcia w zakresach dopuszczalnych nie powinny być dyskwalifikujące;
- z uwagi na wysokie współczynniki bezpieczeństwa ugięcia wyższe niż dopuszczalne w dużym zakresie nie są krytyczne (nie następują utrata stateczności, ciągłości rurociągów i hydrauliki);
- takie same błędy wykonawcze powodują groźne awarie systemów tradycyjnych (utrata stabilności, szczelności, zagrożenie dla środowiska<sup>3</sup>).

W świetle powyższych faktów dotyczących zachowania rur tworzywowych w gruncie za zdumiewające może uchodzić często przytaczana przez producentów systemów tradycyjnych „zaleta” polegająca na natychmiastowym pękaniu systemów sztywnych w przypadku przekroczenia obciążeń dopuszczalnych.

Niska usterkowość oraz znacząco niższy czas usuwania awarii systemów elastycznych w porównaniu z systemami tradycyjnymi powinny stanowić poważną przesłankę przy wyborze systemu.

## **8. ASPEKTY EKONOMICZNE WYKONANIA SIECI Z TWORZYW SZTUCZNYCH**

Często głównym kryterium decyzji inwestycyjnych jest jej koszt. Kosztorysy inwestorskie sporządzone dla cen inwestycyjnych wykazują, że systemy z tworzyw termoplastycznych prezentują się również najkorzystniej, gdy wybór oprze się o kryterium ekonomiczne.

W tym świetle argumenty przemawiające za systemami tworzywowymi są następujące:

- dla wszystkich średnic każdy rodzaj rur z tworzyw termoplastycznych w cenach inwestycyjnych jest tańszy niż rury kamionkowe,
- niską cenę rur z tworzyw dyktują prawa rynkowe (produkcja w Polsce i duża konkurencja),
- rury tworzywowe można układać w odcinkach 6 m,
- rozładunek i transport na placu budowy nie wymagają sprzętu ciężkiego,
- do cięcia rur wystarczają proste narzędzia, a kształtki pozwalają wyeliminować odpady,
- oferta kształtek dla każdego systemu z tworzyw jest zdecydowanie większa niż w systemach tradycyjnych, a ceny porównywalnych kształtek z tworzyw termoplastycznych są kilkukrotnie niższe od kamionkowych,
- produkcja większości systemów kamionkowych zlokalizowana jest poza granicami kraju,
- drogi transport rur kamionkowych i betonowych stanowi dodatkowy czynnik cenotwórczy dla inwestorów,
- cen systemów kanalizacji z kamionki nie kształtuje konkurencja,
- usunięcie awarii lub rozbudowa systemów z materiałów tradycyjnych, łączenie systemów tradycyjnych różnych producentów oraz łączenie z innymi systemami jest droższe,
- do systemu z rur tworzywowych zalecane są tanie małowabarytowe studzienki inspekcyjne, które są kolejnym elementem sprawiającym, że system jest tańszy<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Niewłaściwy montaż lub eksploatacja pojawić się mogą w przypadku wszystkich stosowanych w sieciach kanalizacyjnych materiałów, zarówno tworzywowych jak i tradycyjnych. Jednak efekty złego wykonawstwa mają zdecydowanie bardziej negatywne skutki dla systemu w przypadku materiałów sztywnych. Przykładowo, wskutek niewłaściwego podparcia rur sztywnych (braku zagłębień pod kielichami, wymycia podłoża itp.) pojawiają się zwykle pęknięcia, klawiszowanie lub załamania, które wpływają na nieszczelność i powodują utratę statyki rurociągu, eksfiltrację i infiltrację. Tego samego typu wada montażowa w przypadku rurociągu z tworzywa powoduje ugięcie obwodowe i/lub podłużne rury z tworzywa - nierównomierności podsypki i obsypki oraz osiadania podłoża są przejmowane przez elastyczny rurociąg z tworzywa.

<sup>4</sup> W opracowaniu studzienki tworzywowe potraktowane są w sposób marginalny. Warto jednak pamiętać, że dzięki nim systemy z tworzyw sztucznych są kompletne, funkcjonalne. Ponadto gwarantują łatwą i taną eksploatację, szczelność, łatwy i tani montaż, dostosowanie do istniejącego postępu technicznego w zakresie sprzętu do eksploatacji oraz bezpieczeństwo i higienę obsługi.

## 9. PODSUMOWANIE

Systemy z tworzyw sztucznych posiadają szereg zalet, które gwarantują właściwe parametry użytkowe systemu kanalizacyjnego. Na największą uwagę zasługują unikalne cechy systemów tworzywowych, które pozwalają na sformułowanie następujących też:

- rury tworzywowe ułożone w starannie zagęszczonej obsypce stanowią lepszą alternatywę dla wytrzymałych rur sztywnych, co stwarza szersze możliwości ich zastosowań,
- zjawisko relaksacji naprężeń występujące w systemach z tworzyw termoplastycznych skutkuje trwałością ocenianą obecnie na minimum 100 lat,
- systemy z tworzyw sztucznych cechuje elastyczność, dzięki której w kanalizacji występuje mniej usterek i awarii oraz mniejszy negatywny wpływ na środowisko.

Powyższe twierdzenia dotyczą systemów z tworzyw termoplastycznych, zarówno tych stosowanych od lat, jak i nowych konstrukcji, takich jak np. rury PVC-U ze ścianką z rdzeniem spienionym czy rury dwuścienne z PP i PE o zwiększonym zakresie średnic. Wszystkie technologie produkcji rur w pełni wykorzystują aktualną wiedzę na temat tworzyw termoplastycznych, a rury spełniają wszystkie wymagania konieczne do zastosowań kanalizacyjnych.

Dziesięciolecia ich wykorzystania wykazują, że pierwsze wdrożenia charakteryzują się trafionym doborem wszystkich parametrów technicznych w stosunku do warunków występujących w praktyce.

Dynamika rozwoju przetwórstwa tworzyw sztucznych dla branży sanitarnej jest tak duża, że odbiorcom często trudno nadążyć za zmianami. Producenci systemów z tworzyw sztucznych oferują powiększenie obszarów zastosowań, optymalizację rozwiązań istniejących lub wdrażają nowe rozwiązania konstrukcyjne o nowych, szerszych możliwościach. Odmiennie sytuacja przedstawia się w przypadku systemów z materiałów tradycyjnych, gdzie zmiany następują zdecydowanie wolniej. Sytuacja taka odpowiada wszystkim inwestorom, którzy preferując nowoczesność i/lub konkurencyjną cenę, potwierdzili słuszność wyboru stosując systemy tworzywowe. Najwięcej korzyści z zastosowania systemów tworzywowych dostrzegają inwestorzy, u których systemy tradycyjne nie spełniają zadania w sposób wystarczająco skuteczny – rury sztywne pękają, powstają zapadliska, zatory w kanalizacji oraz nieszczelności. Celowość wyboru systemów z tworzyw sztucznych pozytywnie weryfikują trudne warunki gruntowo-wodne oraz tereny niestabilne (np. tereny górnicze).

Istotne znaczenie ma również koszt wykonania inwestycji oraz koszty eksploatacji. W odniesieniu do systemów tradycyjnych inwestycje kanalizacyjne z zastosowaniem rur i kształtek z tworzyw sztucznych wymagają znacznie niższych nakładów inwestycyjnych. W porównaniu do mniej odpornych chemicznie oraz bardziej chropowatych systemów cechują je też niższe koszty eksploatacji (np. czyszczenia). W przypadku systemów z tworzyw sztucznych łatwiejsze, tańsze i mniej czasochłonne jest również wykonanie ewentualnych napraw, dodatkowych podłączeń czy rozbudowy.

Polska od kilkunastu lat realizuje ambitne zadanie kanalizowania kraju. Znajomość przedstawionych faktów na temat zastosowań systemów z tworzyw sztucznych zapewni budowę.

## **BIBLIOGRAFIA:**

1. Alferink F., Guldbaek E. - Old gravity sewer pipes. Long term performance, Edynburg, 1995
2. Błajet M. - Aspekty ekologiczne stosowania systemów z tworzyw sztucznych w kanalizacji grawitacyjnej w oparciu o europejskie programy badawcze i rozwiązania firmy Wavin, V Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Szkoleniowa „Nowe urządzenia, materiały i technologie w wodociągach i kanalizacji”, Kielce 04’07
3. Hruszka P. i inni - Tendencje w rozwoju konstrukcji i normalizacji rur z tworzyw sztucznych, stosowanych do budowy sieci kanalizacji grawitacyjnych, Miesięcznik Instal 01’06
4. Hruszka P., Falkowski F. - Odporność przewodów kanalizacyjnych z PVC-U na ścieranie, IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociagowych i kanalizacyjnych”, Ustroń 02’02
5. Jabłonowski P. i inni - Badania niezawodności elementów sieci kanalizacji rozdzielczej w Wołominie, VI Konferencja Naukowo-Techniczna: „Nowe Technologie w Sieciach i Instalacjach Wodociagowych i Kanalizacyjnych”, Wisła, 03’06
6. Jarvenkyla J. i inni Odporność przewodów kanalizacyjnych na ścieranie Seminarium-Warsztaty „Wybrane zagadnienia projektowania, budowy i eksploatacji sieci kanalizacyjnych z tworzyw sztucznych” Kielce, Rydzyna 10’00
7. Roszkowski A. – Lepkosprężyste właściwości tworzyw sztucznych, jak projektowane są rury kanalizacyjne i co z tego wynika?, Seminarium-Warsztaty „Wybrane zagadnienia projektowania, budowy i eksploatacji sieci kanalizacyjnych z tworzyw sztucznych” Kielce, Rydzyna 10’00
8. Roszkowski A. – Lepkosprężyste właściwości tworzyw sztucznych, jak rury kanalizacyjne współpracują z gruntem i co z tego wynika? Seminarium-Warsztaty „Wybrane zagadnienia projektowania, budowy i eksploatacji sieci kanalizacyjnych z tworzyw sztucznych” Kielce, Rydzyna 10’00
9. The result of 30 years research into the life of pipe system – report on long-term experience with uPVC sewer pipes in practice – Wavin Marketing & Technology, 1996
10. Stein D. i inni - European study of the performance of various pipe systems, respectively pipe materials for municipal sewage systems under special consideration of the ecological range of effects during the service life – Final Report Bochum 08’05
11. TEPPFA 03’1999 - Design of Buried Thermoplastics Pipes – Results of a European research project

## NORMY POWOŁANE

PN-EN 476: 2001	Wymagania ogólne dotyczące elementów stosowanych w systemach kanalizacji grawitacyjnej
PN-EN 681: 2000-2003	Uszczelnienia z elastomerów. Wymagania materiałowe dotyczące uszczeltek złączy rur wodociągowych i odwadniających. Część 1-3
PN-ENV1046: 2007	Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych. Systemy poza konstrukcjami budynków do przesyłania wody i ścieków. Praktyka instalowania pod ziemią i nad ziemią
PN-EN 1277: 2005	Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych. Systemy przewodów rurowych z tworzyw termoplastycznych do bezciśnieniowych sieci układanych pod ziemią. Metoda badania szczelności połączeń z elastomerowym pierścieniem uszczelniającym
PN-EN 1401-1:1999	Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych -- Podziemne bezciśnieniowe systemy przewodowe z niezmiękczonego poli(chloru winylu) (PVC-U) do odwadniania i kanalizacji -- Wymagania dotyczące rur, kształtek i systemu
PN-EN 1610: 2002	Budowa i badania przewodów kanalizacyjnych
PN-EN 1852-1:1999/A1:2004	Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych - Podziemne bezciśnieniowe systemy przewodowe z polipropylenu (PP) do odwadniania i kanalizacji - Wymagania dotyczące rur, kształtek i systemu
PN-EN 13476-1:2007 (U)	Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do bezciśnieniowej podziemnej kanalizacji deszczowej i sanitarnej - Systemy przewodów rurowych o ściankach strukturalnych z nieplastifikowanego poli(chloru winylu) (PVC-U), polipropylenu (PP) i polietylenu (PE) -- Część 1: Ogólne wymagania i właściwości użytkowe
PN-EN 13476-2:2007 (U)	Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do bezciśnieniowej podziemnej kanalizacji deszczowej i sanitarnej -- Systemy przewodów rurowych o ściankach strukturalnych z nieplastifikowanego poli(chloru winylu) (PVC-U), polipropylenu (PP) i polietylenu (PE) - Część 2: Specyfikacje dotyczące rur i kształtek z gładką wewnętrzną i zewnętrzną powierzchnią oraz systemu, typu A
PN-EN 13476-3:2007 (U)	Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do bezciśnieniowej podziemnej kanalizacji deszczowej i sanitarnej - Systemy przewodów rurowych o ściankach strukturalnych z nieplastifikowanego poli(chloru winylu) (PVC-U), polipropylenu (PP) i polietylenu (PE) - Część 3: Specyfikacje dotyczące rur i kształtek z gładką wewnętrzną i profilowaną zewnętrzną powierzchnią oraz systemu, typu B
ISO 10358: 1993	Plastics pipes and fittings - Combined chemical-resistance classification table
ISO 7620: 1986	Rubber materials - Chemical resistance
prCEN/TS 15223	Plastics piping systems - Validated design parameters of buried thermoplastics piping systems