

RÓŻNICE W PROJEKTOWANIU SIECI Z TWORZYW SZTUCZNYCH W PORÓWNANIU Z SIECIAMI Z MATERIAŁÓW TRADYCYJNYCH

W artykule przedstawiono charakterystyczne różnice w projektowaniu sieci z tworzyw sztucznych¹ (PVC-U, PP, PE) w porównaniu z sieciami z materiałów tradycyjnych (beton, żeliwo, kamionka, stal). Ze względu na duże różnice konstrukcyjne wyrobów zostały omówione podstawowe właściwości materiałowe rur stosowanych do budowy sieci kanalizacyjnych bezciśnieniowych oraz ciśnieniowych oraz wymagania norm krajowych i zagranicznych.

1. WPROWADZENIE

Systemy kanalizacji zewnętrznej oraz wodociągowej są jednymi z najważniejszych systemów infrastruktury komunalnej na bardzo dynamicznie rozwijającym się rynku. Sieci te powinny być projektowane na długi okres użytkowania, przynajmniej na 50 lat. Tak długi okres eksploatacji powinien zwiększać wymogi w zakresie stosowania takich materiałów, technologii produkcji, jakości wyrobów, aby zapewnić trwałość wyrobów w zmiennych warunkach gruntowo-wodnych.

Początki rozwoju kanalizacji sięgają aż do lat ok. 3500 p.n.e., kiedy po raz pierwszy zastosowano przewody kanalizacyjne z kamionki. Później w wieku XV rozpoczęto produkcję przewodów z żeliwa, a w XVIII ze stali. W latach 50-tych XX wieku dalszy rozwój umożliwił produkcję rur z żeliwa sferoidalnego, a w latach 90-tych XX wieku z polimerobetonu.

W Polsce zastosowano rury z tworzyw stosunkowo późno, bo na początku lat 70-tych, niemniej jednak już w 1935r. rozpoczęto w Niemczech produkcję rur z PVC-U. W 1945r. po raz pierwszy zastosowano PE-LD, następnie w latach 50-tych nastąpił dalszy rozwój technologii i rozpoczęto stosowanie rur z polietylenu o wysokiej gęstości PE-HD, polipropylenu PP, polietylenu sieciowanego PE-X, a w końcu lat 80-tych XX wieku nowej generacji PE-HD oznakowanego jako PE100. Należy tutaj odnotować duży wzrost zastosowania systemów kanalizacyjnych z tworzyw należących do grupy poliolefin (C_nH_{2n}), zwłaszcza polipropylenu PP-B (kopolimer blokowy) i PP-H (homopolimer) oraz polietylenu PE (PE-HD).

Należy zwrócić uwagę, że w ostatnich latach prowadzone były europejskie projekty badawcze wykonane w warunkach rzeczywistych, które były pomocne w opracowaniu norm europejskich w zakresie projektowania i układania rurociągów z tworzyw sztucznych. Wyniki europejskiego projektu badawczego „Projektowanie podziemnych rurociągów z tworzyw termoplastycznych” zrealizowanego przez TEPPFA² i APME³ pozwoliły na między innymi porównanie wyników obliczeniowych z ugięciami rzeczywistymi, określenie względnej wagi parametrów projektowo-wykonawczych oraz zachowania rurociągów w ośrodku gruntowym.

Zrewidowanie poglądów określających wagę parametrów projektowo-wykonawczych może przysłużyć się do lepszego zrozumienia zachowania się rurociągów z tworzyw w gruncie oraz zwiększenia bezpieczeństwa konstrukcji. W przypadku rur z tworzyw sztywność obwodowa wpływa na wielkość ugięcia zaledwie w ok. 3,5%, głębokość ułożenia w 15%, natomiast warunki montażu aż w 80%. Jeżeli zatem aż w 80% warunki montażu wpływają na ugięcie przewodu, to zrozumiałe powinno być osiągnięcie zakładanych w projekcie parametrów, poprzez dostosowanie technologii montażu do zmiennych warunków gruntowo-wodnych. Więcej informacji w odniesieniu do

¹ W niniejszym artykule pojęcie „tworzywa sztuczne” odnosi się do tworzyw termoplastycznych PVC-U, PP i PE. Tworzywa sztuczne są dużą grupą obejmującą elastomery oraz plastomery (termoplastyczne i duroplasty).

² TEPPFA (Europejskie Stowarzyszenie Producentów Rur i Kształtek z Tworzyw Sztucznych)

³ APME (Europejskie Stowarzyszenie Producentów Tworzyw Sztucznych), obecnie Plastics Europe

sztwności obwodowej rur kanalizacyjnych z tworzyw termoplastycznych wykorzystywanych do budowy kanalizacyjnych sieci zewnętrznych znajduje się w oświadczeniu Polskiego Stowarzyszenia Producentów Rur i Kształtek z Tworzyw Sztucznych.

Wyniki wieloletnich badań zachowania rur tradycyjnych i z tworzyw termoplastycznych pozwoliły na opracowanie norm oraz projektów norm europejskich. Należy odnotować opracowanie przez Komitet Techniczny ISO/TC 165 „Inżynieria Ścieków” oraz ISO/TC 164 „Zaopatrzenie w Wodę” projektu CEN/TR 1295-3:2007 „Structural design of buried pipelines under various conditions of loading - Part 3: Common method” („Obliczenia statyczne rurociągów ułożonych w ziemi w różnych warunkach obciążenia - Część 3: Główne metody”). Komitet Techniczny ISO/TC 165 opracował również projekt CEN/TR 1295-2:2005 „Structural design of buried pipelines under various conditions of loading - Part 2: Summary of national established methods of design” („Obliczenia statyczne rurociągów ułożonych w ziemi w różnych warunkach obciążenia - Część 2: Podsumowanie przyjętych krajowych metod projektowych”). Projekty te są kolejnymi częściami normy EN 1295 opisującymi główne metody obliczeniowe podczas projektowania statycznych rurociągów w ziemi w różnych warunkach obciążenia.

Kolejnym istotnym dokumentem jest projekt normy prCEN/TS 15223 „Plastics piping systems - Validated design parameters of buried thermoplastics piping systems” („Systemy przewodów rurowych - Zatwierdzone parametry projektowe podziemnych systemów rurowych z tworzyw termoplastycznych”), który został opracowany przez Komitet Techniczny ISO/TC 155 „Plastics piping systems and ducting systems” („Systemy rurowe i kanałowe z tworzyw sztucznych”). Dokument ten zawiera parametry projektowe dla sieci ciśnieniowych oraz bezciśnieniowych z tworzyw sztucznych.

2. RÓŻNICE W KLASYFIKACJI RUR

Podstawowym kryterium określającym zachowanie przewodów ułożonych w gruncie jest dopuszczalne odkształcenie względne ścianki przewodu (ϵ) wyrażone w procentach. Odkształcenia względne nie należy mylić z dopuszczalnym ugięciem przekroju poprzecznego przewodu.

Przewody ułożone w gruncie możemy podzielić ze względu na dopuszczalne odkształcenie względne ścianek na:

1. sztywne
2. półsztywne
3. elastyczne (podatne)

Również normy [1], [20] wprowadzają klasyfikację przewodów na sztywne, półsztywne i elastyczne.

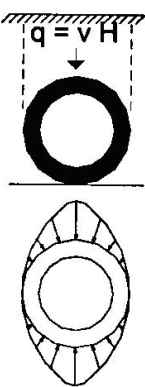
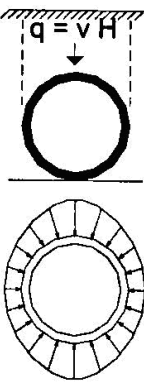
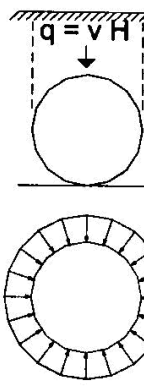
Pierwszą grupę stanowią **przewody sztywne**, dla których odkształcenie względne ścianki wynosi ($\sim 0\%$). Zalicza się tutaj rury wykonane z materiałów tradycyjnych np. beton, kamionka, żeliwo. Przewody te są samodzielnym układem statycznym i nie współpracują z ośrodkiem gruntowym. Decydującym kryterium projektowym są naprężenia. Przy przekroczeniu dopuszczalnych naprężeń przewód ulegnie uszkodzeniu. Zgodnie z normą [1] do rur sztywnych zalicza się przewody, których *„zdolność do przenoszenia obciążenia jest ograniczona przez złamanie bez istotnego odkształcenia przekroju poprzecznego (zachowanie sztywne)”*.

Drugą grupę stanowią **przewody półsztywne**, dla których dopuszcza się niewielkie odkształcenia względne ścianki ($\sim 0,5\%$). Do rur półsztywnych zalicza się przewody, których *„zdolność do przenoszenia obciążenia jest ograniczona albo przez odkształcenia/przeciążenia (zachowanie elastyczne) albo załamania (zachowania sztywne), w zależności od sztywności obwodowej i/lub warunków układania”*. Przewody te są pośrednią grupą i wykazują zarówno cechy przewodów sztywnych, jaki i podatnych. Oprócz samej wytrzymałości materiału na naprężenia istotne

są parametry zagęszczenia gruntu. Do tej grupy mogą być zaliczone rury z żywic epoksydowych wzmocnianych włóknem szklanym (duroplasty⁴) GRP-EP, GRP-UP.

Trzecią grupę stanowią **przewody elastyczne (podatne)**, dla których dopuszcza się odkształcenia względne ścianek (< 5%). Do rur elastycznych zalicza się przewody, których „*zdolność do przenoszenia obciążenia jest ograniczona przez deformację (odkształcenie przekroju), pod obciążeniem równym granicznej wartości projektowej, bez złamania lub rozerwania (zachowanie elastyczne)*”. Przewody te współpracują z ośrodkiem gruntowym i wspólnie stanowią układ statyczny. Należą do nich rury wykonane między innymi z PVC-U, PE i PP.

Rury z tworzyw sztucznych posiadają istotne cechy odróżniające je od innych materiałów tradycyjnych. Ich podstawową cechą jest lepkosprężystość. Kryterium projektowym jest odkształcenie oraz stateczność. Założenia do projektowania konstrukcji przewodów sztywnych, półsztywnych i podatnych są przedstawione na rysunku 1 [2].

	Sztywne	Półsztywne	Elastyczne (podatne)
			
Czynniki określające nośność układu	Wytrzymałość materiału rury	Wytrzymałość materiału rury + sztywność gruntu	Sztywność obwodowa rury + sztywność gruntu
Charakterystyka statyczna układu	Rura stanowi samodzielny układ statyczny	→ ←	Rura i grunt stanowią współpracujący układ statyczny
Dopuszczalne odkształcenie względne [%]	~ 0	~ 0,5	< 5
Kryteria projektowe	Naprężenie	Naprężenie / odkształcenie względne	Odkształcenie + stateczność

Rysunek 1. Założenia do projektowania przewodów ułożonych w gruncie [2]

Rury są również klasyfikowane pod kątem odkształcenia przekroju oraz ośrodka gruntowego. Współczynnik odkształcenia χ opisuje zależność pomiędzy odkształceniem pionowym przewodu δ_p oraz gruntu δ_s podczas takiego samego obciążenia bez uwzględnienia reakcji poziomego nacisku.

Współczynnik deformacji χ będzie wynosił 0 dla rur ułożonych na podłożu betonowym oraz rur betonowych o przekroju eliptycznym.

⁴ Duroplasty należą do plastomerów termoutwardzalnych, najczęściej są to kompozyty zawierające żywice poliestrowe (GRP-UP) oraz epoksydowe (GRP-EP).

Tabela 1. Kryterium deformacji zgodnie z teorią Leonhardta [5]

Współczynnik odkształcenia χ	Kryterium odkształcenia
$\chi \leq 0,05$	rury sztywne
$0,05 < \chi < 1,0$	rury półelastyczne
$\chi \geq 1,0$	rury elastyczne

3. RÓŻNICE W ODKSZTAŁCENIACH WZGLĘDNYCH MATERIAŁÓW

Zachowanie przewodów sztywnych opisuje klasyczne prawo Hooke'a ($\sigma/\varepsilon = E$), w którym moduł sprężystości E posiada stałą wartość. Sformułowana przez Roberta Hooke'a zależność odkształcenia od naprężenia w formie "ut tensio sic vis" jest prawdziwa tylko dla niezbyt dużych odkształceń oraz dla niektórych materiałów.

Tworzywa sztuczne posiadają właściwości sprężyste oraz lepkie. Moduł sprężystości E zmienia się w czasie, jest też nazywany modułem pełzania. Moduł pełzania jest odwrotnością modułu relaksacji (równanie 1). Do obliczeń wykorzystuje się moduł sprężystości początkowy. Spadek modułu w czasie nie oznacza jednak, że następuje osłabienie materiału, spadek opisuje jedynie procesy pełzania lub relaksacji występujące w tworzywach pod wpływem obciążenia. Dlatego też, w obliczeniach wytrzymałościowych stosuje się wartość krótkotrwałą modułu elastyczności E_p . Końcowe ugięcie przewodu jest uzależnione nie od długotrwałej wartości modułu E , a od krótkotrwałych impulsów obciążenia, na które mają wpływ krótkotrwałe wartości modułu. W przypadku gruntów słabonośnych do obliczeń przyjmowana jest wartość długotrwała (50-cio letnia).

Charakterystyka odkształcenia względnego w funkcji naprężenia jest przedstawiana krzywą. Pochylenie krzywej jest uzależnione od czasu działania obciążenia. W początkowym zakresie przebieg odkształcenia względnego ma przebieg zbliżony do prostej. Ten zakres naprężeń jest wykorzystywany w praktyce projektowej. W normalnych warunkach eksploatacyjnych dla rurociągów z tworzyw termoplastycznych posiadających lepkosprężyste właściwości zachodzą takie zjawiska jak pełzanie materiału oraz relaksacja naprężeń. Pełzanie jest definiowane jako zachodząca wraz z upływem czasu zmiana odkształcenia materiału (ε) przy stałym poziomie naprężenia ($\sigma = \text{const.}$). Natomiast relaksacja naprężeń to zachodząca wraz z upływem czasu spadek naprężeń (σ) w materiale, którego odkształcenie pozostaje na stałym poziomie ($\varepsilon = \text{const.}$). W przypadku rur ułożonych w gruncie zjawisko pełzania jest ograniczone, przez boczny odpór gruntu, który zapewnia uzyskanie stanu równowagi. Pełzanie ustaje, gdy dochodzi do uzyskania równowagi pomiędzy rurą a otaczającym gruntem. Jeżeli odkształcenia będą pozostawać na stałym poziomie (stan równowagi), to w wyniku relaksacji będą zmniejszały się naprężenia w ściance przewodu. Przy projektowaniu rur z tworzyw termoplastycznych przyjmowane są maksymalne dopuszczalne wartości naprężeń długotrwałych. Przy projektowaniu rur ciśnieniowych zakładana jest swoboda ich pełzania. Maksymalne dopuszczalne obciążenie działające w sposób ciągły przez 50 lat (uwzględniając współczynnik bezpieczeństwa) powoduje powstanie maksymalnego dopuszczalnego odkształcenia (ε). Dlatego też zaprojektowana rura powinna mieć taką grubość ścianki, aby poziom naprężeń (w okresie projektowym) powodował powstanie takiego odkształcenia, przy którym nie nastąpi pęknięcie.

W przypadku wystąpienia naprężeń większych od przewidywanych zachowanie przewodów z tworzyw będzie uzależnione od poziomu odkształcenia względnego ścianki (ε), czasu oddziaływania. Przy znacznie większym obciążeniu, działającym w krótkim czasie rury z tworzyw sztucznych mogą ulec pęknięciu o charakterze plastycznym. Przewody mogą ulec również pęknięciu o charakterze kruchym i w tym przypadku może być to uzależnione od wielu czynników np. punktowego nacisku dużego kamienia, porysowanej powierzchni, środków chemicznych.

Tworzywa amorficzne, jak np. PVC-U poddane nadmiernemu naprężeniu (σ) pękają po osiągnięciu maksymalnych wartości odkształcenia (ϵ) niezależnie od czasu działania obciążenia. Tworzywa poliolefinowe PE i PP o budowie semi-kryształicznej poddane nadmiernemu naprężeniu (σ) w krótkim czasie pękają plastycznie przy dużych wartościach odkształcenia (ϵ) [10].

W przypadku materiałów klasy PE100 spełniających podwyższone wymagania (PE100+) krzywa wytrzymałości na długotrwałe ciśnienie hydrostatyczne (rysunek 15) nie posiada punktu przegięcia jak ma to miejsce w przypadku PE80 czy PE63. Pozwala to sądzić, że w całym okresie eksploatacji będziemy mieć do czynienia z pęknięciami plastycznymi a nie kruchymi.

Stosowane metodyki analiz wytrzymałościowych pozwalają na obliczenie odporności konstrukcji na wyobczenie. Odkształcenie względne (ϵ) ścianek przewodów z tworzyw będzie po pewnym czasie stałe. Wzajemną zależność pomiędzy naprężeniem, odkształceniem względnym i modułem relaksacji opisuje równanie 1.

$$\sigma \cdot \left(\frac{1}{E} \right) = \epsilon = const. \quad (1)$$

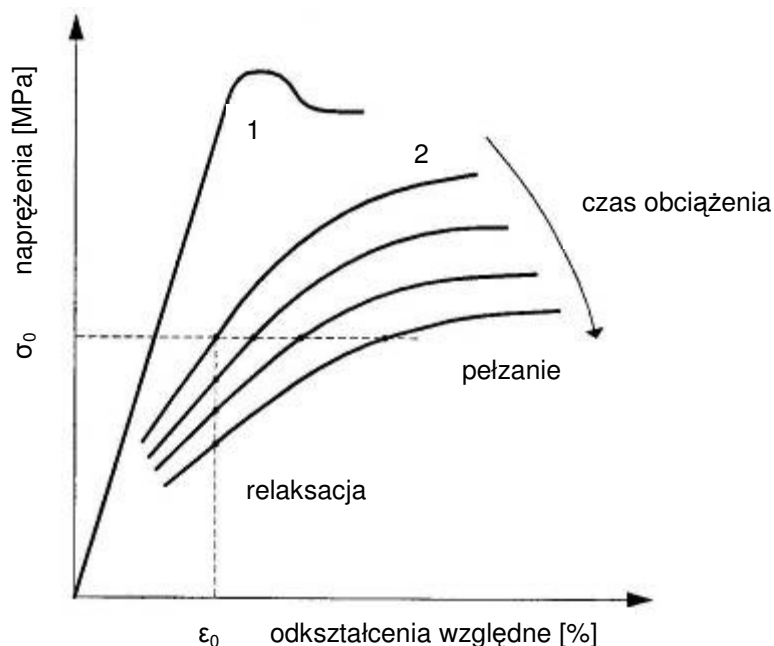
gdzie

σ - naprężenia [MPa]

ϵ - odkształcenia [%]

E - moduł Younga [MPa]

Rysunek 2 opisuje zależność pomiędzy naprężeniami i odkształceniami względnymi dla ścianki materiału sprężystego i lepkosprężystego.

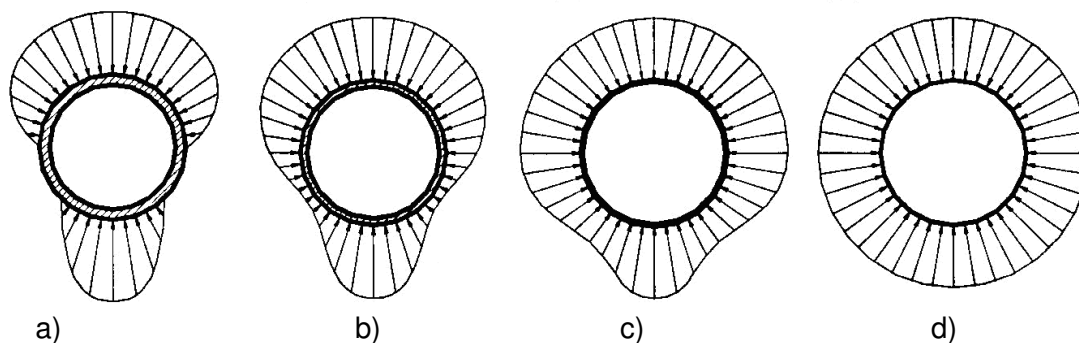


Rysunek 2. Wykres zależności naprężenia na rozciąganie i odkształcenia względnego dla materiałów sprężystych i lepkosprężystych: 1 – materiał sprężysty, 2 – materiał lepkosprężysty [2]

4. RÓŻNICE W ROZKŁADZIE NAPRĘŻEŃ W ŚCIANKACH PRZEWODÓW

Analizując rozkład obciążeń działających na rury z tworzyw sztucznych oraz tradycyjne należy zwrócić uwagę, że nie jest on jednakowy. Przewody tradycyjne (sztywne) są praktycznie nieodkształcalne, w związku z tym powstające od obciążenia naprężenia koncentrują się w górnej i dolnej części przewodu (rysunek 3 a). Następuje niekorzystne dla trwałości przewodu zwiększanie naprężeń zginających w ściankach. Rozkład naprężeń dla przewodów z tworzyw (podatnych) jest równomiernie rozłożony (rysunek 3 c, d).

Na poniższym rysunku przedstawione są schematy rozkładów obciążeń dla różnych konstrukcji przewodów w jednakowych warunkach ułożenia i obciążenia według Dreschera [3].



Rysunek 3. Rozkłady obciążeń dla rury a) sztywnej, b) sprężystej, c) podatnej, d) idealnie podatnej w jednakowych warunkach ułożenia i obciążenia

Dla przewodów sztywnych wzrost obciążeń zewnętrznych zwiększa obciążenia konstrukcji przewodu. Natomiast dla przewodów termoplastycznych wzrost obciążeń zewnętrznych jest przenoszony na grunt po obu stronach przewodu, powodując zmniejszenie obciążenia nad przewodem.

Przy obciążeniu rury z tworzyw, zmniejszają się naprężenia w górnej i dolnej części przewodu, jednocześnie rosną naprężenia boczne. Odształcająca się rura wywierając nacisk na grunt, wywołuje na zasadzie reakcji odpór gruntu, co z kolei powoduje zmniejszenie naprężeń zginających w ściance rury. Siła, z jaką grunt wokół rury jest w stanie przeciwstawić się naciskowi rury, zależy od wielkości obciążenia pionowego oraz od rodzaju gruntu i jego zagęszczenia (sztywności).

Możliwość odształcenia przewodów ma bardzo pozytywny wpływ na pracę rur w ośrodku gruntowym. Zachodzi zjawisko relaksacji naprężeń w ściankach przewodów, czyli zmniejszania się naprężeń powstałych na skutek odształcenia rury. Następuje korzystne dla trwałości przewodu z tworzyw wyrównywanie naprężeń i zmniejszenie naprężeń zginających w ściankach. Takie zachowanie przewodów termoplastycznych w gruncie zasadniczo różni się od przewodów wykonanych z materiałów tradycyjnych. Różny rozkład naprężeń w ściankach przewodów wykonanych z materiałów sztywnych i termoplastycznych jest istotnym kryterium w obliczeniach wytrzymałościowych i doborze konstrukcji.

5. ODKSZTAŁCENIE WZGLĘDNE ŚCIANKI RUR

Zasadniczą różnicą stanowiącą podstawę klasyfikacji przewodów jest dopuszczalne odształcenie względne ścianki pod wpływem obciążenia (nie należy go mylić z odształceniem przekroju poprzecznego przewodu - ugięciem).

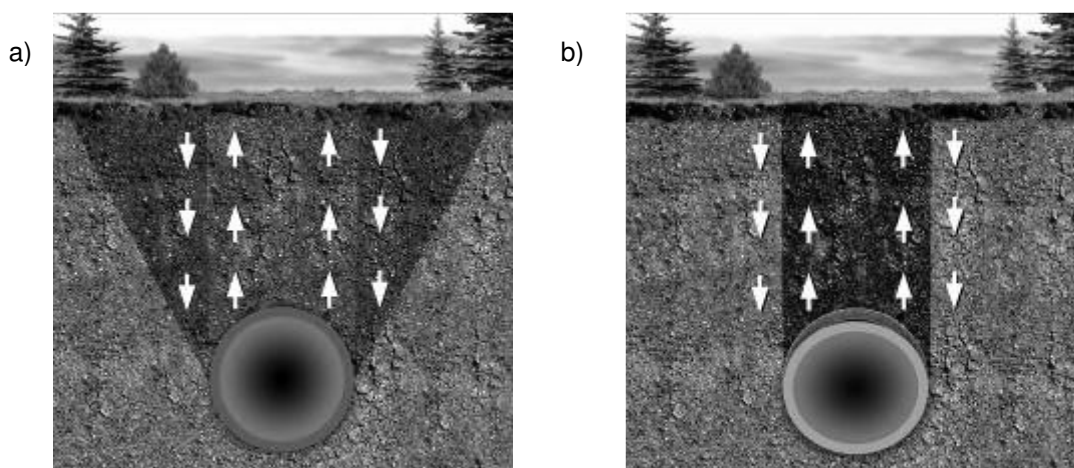
Dla rur do kanalizacji beczciśnieniowej nie jest wymagana analiza naprężeń ze względu na lepkosprężyste właściwości materiału oraz relaksację naprężeń. Moser [4] proponuje przyjęcie bezpiecznych odształceń względnych ścianek przewodów z tworzyw od 2,5% do 5,0%.

Tabela 2. Odształcenie względne ścianek rur

Typ przewodu	Materiał	Dopuszczalne odkształcenie względne ε [%]
Sztywne	Kamionka Beton Polimerobeton Żeliwo Stal	~ 0
Półsztywne	GRP-EP GRP-UP	~ 0,5
Podatne	PVC-U PE PP	2,5 5,0 5,0

6. RÓŻNICE W PRZEKAZYWANIU OBCIĄŻENIA

Obciążenie pionowe przekazywane na przewody jest uzależnione od wielu czynników, takich jak: rodzaj gruntu, wymiary geometryczne wykopu lub nasypu, sposób ułożenia przewodu, poziom wody gruntowej, odkształcenia przekroju poprzecznego przewodu.



Rysunek 4. Napór gruntu na rurę a) sztywną b) elastyczną

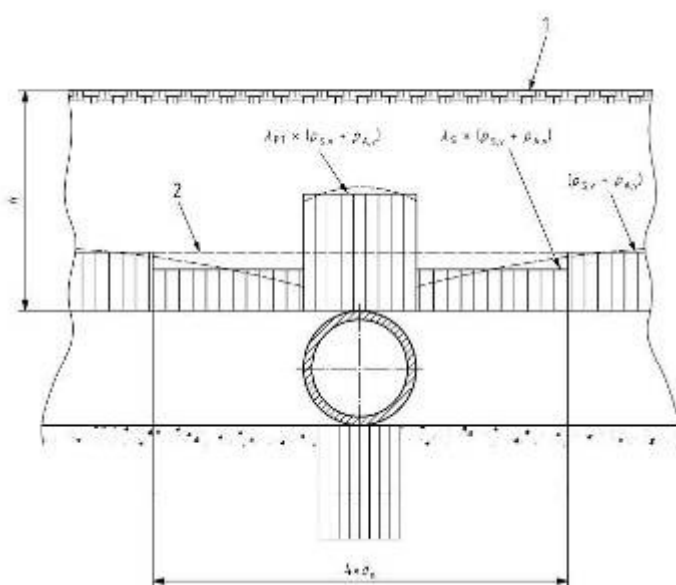
Zachowanie się rur w gruncie jest uzależnione od tego czy jest to rura sztywna, czy elastyczna. Dla rur sztywnych przyjmujących obciążenia zewnętrzne bez możliwości odkształcenia, siły tarcia przenoszą na przewód obciążenie z szerszej strefy niż wynosi rzut nad przewodem (rysunek 4). Większe obciążenia występują nad przewodem niż po obu stronach (rysunek 5). Dla rur elastycznych z tworzyw współpracujących z ośrodkiem gruntowym większe obciążenie jest przenoszone na grunt po obu stronach przewodu, powodując zmniejszenie obciążenia nad przewodem (rysunek 6). Dlatego też przyjmuje się dla rur elastycznych z tworzyw, że zewnętrzne obciążenie jest przekazywane od gruntu znajdującego się bezpośrednio nad przewodem.

Rury sztywne ułożone w gruncie przenoszą wszystkie obciążenia samodzielnie. Jeżeli obciążenie przekroczy wartość graniczną uzależnioną od wytrzymałości właściwej materiału, to rura sztywna ulegnie zniszczeniu. Dlatego też dla rur sztywnych normy zawierają zazwyczaj wymóg badania wytrzymałości na zgniatanie. Ma to na celu określenie wartości granicznej (niszczącej) i oszacowania w ten sposób obciążeń, które mogą być dopuszczone nad instalowaną rurą.

W przeciwieństwie do rur sztywnych rury elastyczne uginają się pod wpływem obciążenia bez pęknięcia, przy czym ugięcia mogą osiągać duże wartości.

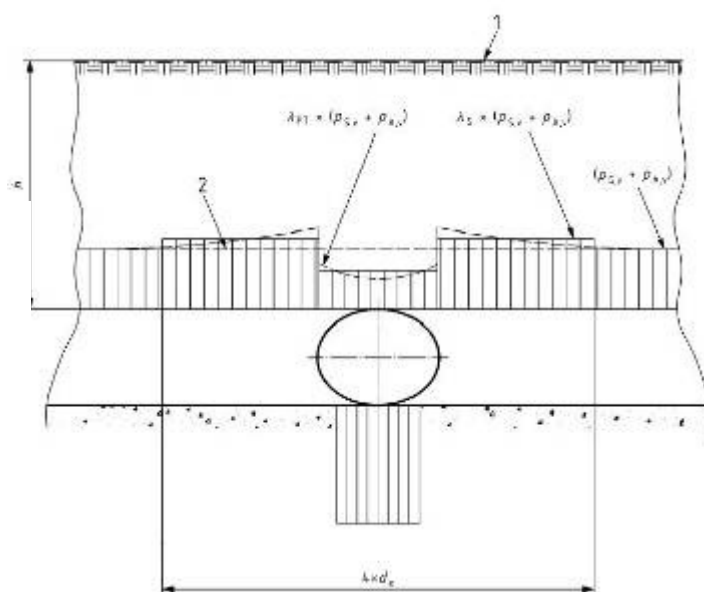
Wielkość ugięcia rur elastycznych ułożonych w gruncie zależy od właściwości otaczającego materiału i w dużo mniejszym stopniu od sztywności rur, a nie od ich właściwości wytrzymałościowych. Należy podkreślić, że dla rur elastycznych badanie wytrzymałości na zgniatanie i procedury projektowania stosowane dla rur sztywnych są nieodpowiednie.

W przypadku, gdy wykop posiada ściany pochyłe, to obciążenie przekazywane w płaszczyźnie wierzchołka przewodu jest większe, niż dla przewodu ułożonego w wykopie o ścianach pionowych, przy założeniu tych samych wartości szerokości wykopu nad rurą oraz zagłębienia. Dla rur sztywnych, maksymalna wartość naprężeń w ścianie rury występuje bezpośrednio po zasypaniu wykopu. W przypadku słabego zagęszczenia gruntu w strefach bocznych wykopu następuje dodatkowy wzrost koncentracji naprężeń w górnej i dolnej części przewodu.



Rysunek 5. Rozkład obciążeń działających na przewód sztywny oraz grunt [5]

Oznaczenia
 1 poziom gruntu
 2 początkowe pionowe obciążenie gruntu

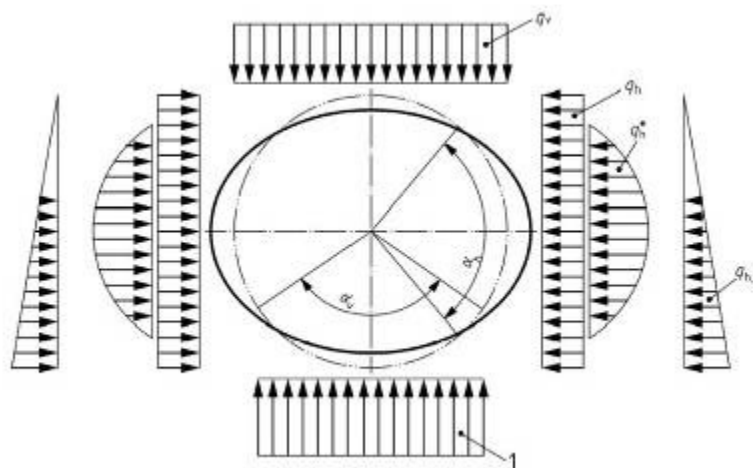


Rysunek 6. Rozkład obciążeń działających na przewód elastyczny oraz grunt [5]

Podczas projektowania systemów rur z materiałów sztywnych, półelastycznych oraz elastycznych można ocenić wytrzymałość konstrukcji w oparciu o stosowane metodyki obliczeniowe stanów granicznych oraz naprężeń krytycznych.

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe rur wykonuje się głównie w oparciu o dwie metodyki:

1. Metodyka Molina tzw. skandynawska [6].
2. Metodyka niemiecka w oparciu o normę ATV-DVWK-A 127 [7] oraz austriacką ÖNORM B 5012 [8].



Rysunek 7. Rozkład obciążenia od gruntu

1 – naprężenia od pionowego podparcia na gruncie

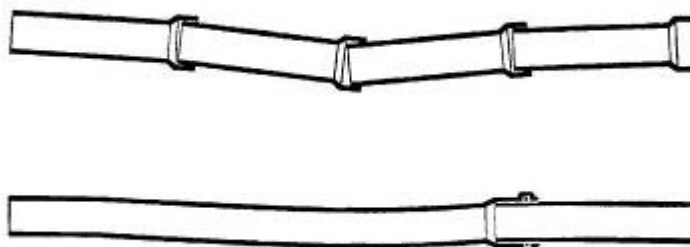
Dla rur wykonanych z materiałów tradycyjnych (sztywnych) nie występuje składowa obciążenia q_h^* .

Polskie Stowarzyszenie Producentów Rur i Kształtek z Tworzyw Sztucznych (PRiK) zaleca stosowanie metody Molina. Istotną jej zaletą jest to, że jest to metoda empiryczna (a nie teoretyczna) oparta o rzeczywiste wyniki badań przewodów montowanych i eksploatowanych w różnych warunkach. Metoda ta nie wymaga szeregu założeń projektowych, bardzo dokładnych danych a przez to jest mniej wrażliwa na rzeczywiste odstępstwa podczas prac wykonawczych.

RÓŻNICE W PRACY PRZEWODÓW W KIERUNKU PODŁUŻNYM

Należy zwrócić uwagę, że przewody znajdujące się w gruncie pracują w dwóch stanach statycznych. W pierwszym stanie, nazywanym pierścieniowym, rozpatruje się odcinek przewodu między dwoma przekrojami prostopadłymi do osi przewodu. Zakłada się jednakowe warunki podłoża wzdłuż osi podłużnej oraz jednakowe obciążenie. W większości analiz rozpatruje się przewody w stanie pierścieniowym.

W drugim stanie, nazywanym belkowym, rozpatruje się przewody w kierunku podłużnym, jeżeli występuje np. niejednorodne podłoże, różne warunki hydrogeologiczne, zmienne obciążenie zarówno naziemem, jak i obciążeniem z powierzchni wzdłuż osi podłużnej oraz gdy są to tereny szkód górniczych.



Rysunek 8 Przemieszczenia rur sztywnych i podatnych [9]

Bardzo istotne jest zachowanie się przewodów pracujących w kierunku podłużnym. W praktyce bardzo rzadko występują jednakowe warunki na długości przewodu. Jeżeli wystąpi jakiś niekorzystny czynnik np. różny stopień osiadania gruntu wywołany nierównomiernym obciążeniem od nawierzchni lub gruntu, różny stopień zagęszczenia gruntu na długości oraz przemieszczenia obsypki wywołany wodą gruntową, to może dojść do miejscowych przemieszczeń (rysunek 8).

Należy pamiętać, że okres konsolidacji gruntu jest uzależniony od między innymi warunków gruntowych, montażu, obciążenia ruchem drogowym i trwa 1-2 lata od zakończenia montażu [10].

Ponieważ dla rur sztywnych pod wpływem obciążenia pionowego odpór gruntu ogranicza się do niewielkiej dolnej części przewodu oraz występuje niekorzystny rozkład obciążeń większy na przewód niż na grunt wokół niego (rysunek 5 i 6), to jest to przyczyną większego osiadania konstrukcji sztywnych niż z tworzyw.

7. RÓŻNICE W KRYTERIACH WYMIAROWANIA

Podstawowym kryterium projektowym dla przewodów wykonanych z tradycyjnych materiałów np. beton, kamionka, żeliwo jest poziom naprężeń w ścianie rury pochodzący od maksymalnych obciążeń zewnętrznych i wewnętrznych. Naprężenia te muszą być mniejsze od wartości dopuszczalnych. Często dla tych materiałów podawane są również wielkości maksymalnych sił niszczących.

W przypadku rur z tworzyw podstawowym kryterium projektowym jest pionowe ugięcie przewodu oraz odporność na wyboczenie.

7.1. Ugięcie rur z tworzyw

Dla rur z tworzyw ugięcie przewodu wywołane obciążeniem od gruntu oraz od ruchu może być obliczone ze wzoru Spangler'a zgodnie z metodyką tzw. skandynawską opisaną przez Molina [6].

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_q = \frac{0,083 \cdot q}{16 \cdot S_R + 0,122 \cdot E_S} \quad (2)$$

gdzie:

δ_v - strzałka ugięcia rury w przekroju poprzecznym [m]

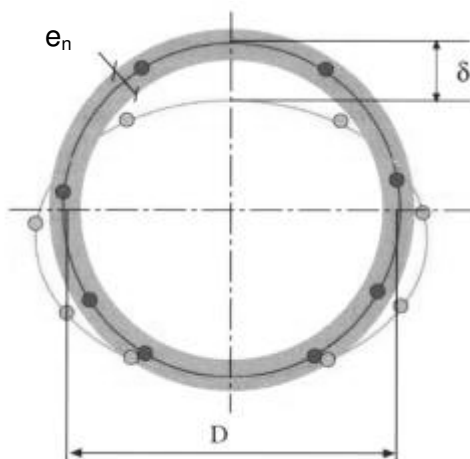
D - średnica rury mierzona w obojętnej osi zginania [m]

$\frac{\delta_v}{D}$ - ugięcie względne rury [%]

q - obciążenie pionowe [kN/m^2]

S_R - sztywność obwodowa rury ($E \cdot I / D^3$) [kN/m^2]; $I = e_n^3 / 12$, gdzie e_n - grubość ścianki

S_S - moduł sieczny gruntu [kN/m^2]



Rysunek 9. Ugięcie rur z tworzyw od obciążenia pionowego [10]

Różne właściwości surowców stosowanych do produkcji rur z tworzyw termoplastycznych oraz tradycyjnych powodują zupełnie inne zachowanie w gruncie. Rury termoplastyczne dzięki lepkosprężystym właściwościom są elastyczne i mogą ulegać ugięciom. Jest to niewątpliwie ważna ich zaleta, ponieważ, gdy dochodzi do przeciążeń, cecha ta zapewnia przewodom niezawodność.

Dla rur z tworzyw są określone zarówno początkowe jak i maksymalne ugięcia. Dla rur PVC-U, PP i PE dopuszcza się występowanie wysokich ugięć ze względu na wysoką odporność materiałów na naprężenia. Maksymalne ugięcia przewodów kanalizacyjnych są determinowane zachowaniem szczelności na nadciśnienie i podciśnienie.

Tabela 3. Ugięcia rur do kanalizacji becjiśnieniowej [11]

Rodzaj ugięcia	Ugięcie [%]	Materiał	
Początkowe			
	• średnie	≤ 8	PVC-U
		≤ 9	PP i PE
	• maksymalne	≤ 10	PVC-U
	≤ 12	PP i PE	
Długotrwałe			
	• końcowe średnie	≤ 10	PVC-U
		≤ 12	PP i PE
	• końcowe maksymalne	≤ 15	PVC-U
	≤ 15	PP i PE	

Maksymalne długotrwałe dopuszczalne ugięcia dla rur termoplastycznych PVC-U, PP i PE wynoszą $\leq 15\%$. Należy zauważyć, że zgodnie z wymogami norm [23], [55] oraz współczynnikiem bezpieczeństwa wytrzymałość mechaniczna rur kanalizacyjnych strukturalnych jest badana w teście elastyczności obwodowej wynoszącej 20% lub 30% średnicy rur.

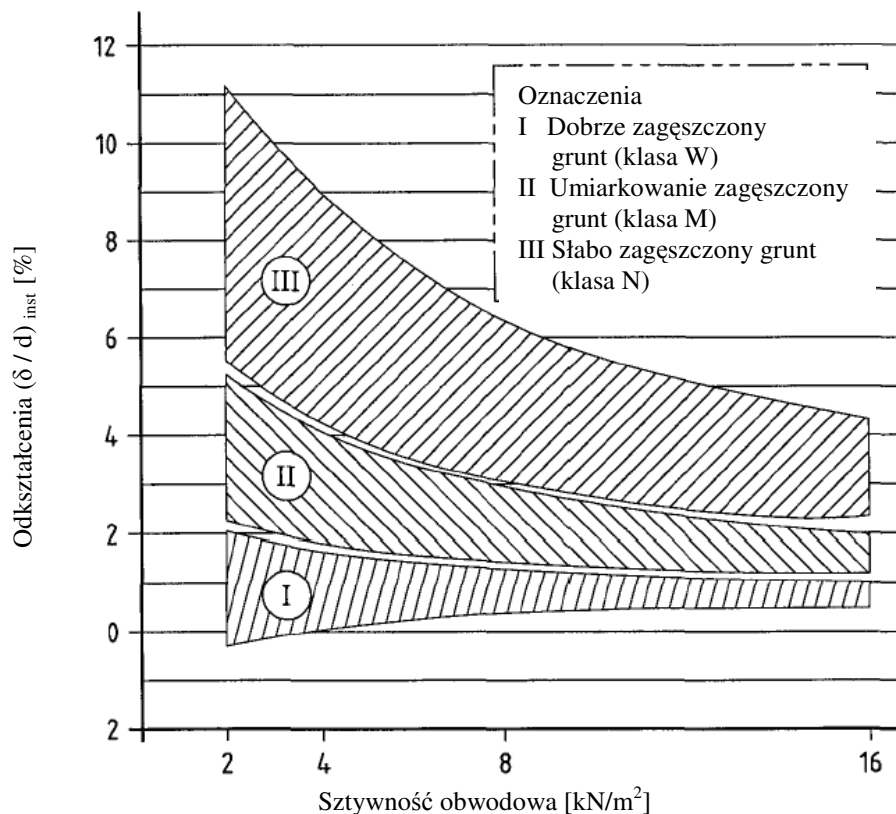
Na sieci wykonane z duroplastów (żywice wzmocnione włóknem szklanym) nakłada się znacznie ostrzejsze wymagania niż dla termoplastów (PVC-U, PP, PE-HD). Wartość dopuszczalnego ugięcia przekroju jest dla rur z duroplastów uwarunkowana możliwością rozwarstwienia się materiału rury, a także klasą jej sztywności. Maksymalne dopuszczalne ugięcie takich rur bezpośrednio po montażu zazwyczaj mieści się w przedziale 2-4%.

Należy podkreślić, że przy projektowaniu sieci kanalizacyjnych mogą być określone przez projektanta niższe wartości dopuszczalnego maksymalnego ugięcia. Przyjmuje się, że dla rur ułożonych pod torami kolejowymi, maksymalne ugięcie przewodu nie może być większe niż 2%. Wytyczne ATV-DVWK-A 127 podają, że maksymalne długotrwałe ugięcie przewodu może wynosić 6%. Dopuszcza się zwiększenie maksymalnego ugięcia przewodu do 9% pod warunkiem wykonania dodatkowych obliczeń odkształceń nieliniowych.

Dla rur ciśnieniowych, maksymalne ugięcie występuje w przypadku braku (zaniku) ciśnienia wewnętrznego. Generalnie obowiązują dla nich te same kryteria odkształcenia początkowego, jak dla przewodów becjiśnieniowych, jednak zgodnie z normą [1] w przypadku braku ciśnienia maksymalne długotrwałe ugięcie nie powinno przekroczyć 8%.

7.2. Wpływ stopnia zagęszczenia gruntu oraz klasy sztywności obwodowej rur na ugięcie

Wieloletnie badania wpływu stopnia zagęszczenia gruntu na odkształcenia przewodów z tworzyw pozwoliły na opracowanie wykresu do doboru klasy sztywności rur. Dla przewodów z tworzyw sztucznych do kanalizacji becjiśnieniowej o sztywności obwodowej od 2 kN/m² do 16 kN/m² został opracowany wykres przedstawiający wpływ sztywności rury, stopnia zagęszczenia gruntu na poziom ugięcia przewodu (rysunek 10). Wykres powstał na podstawie wyników projektu badawczego TEPPFA i APME.



Rysunek 10. Wykres przedstawiający długotrwałe ugięcie przewodów w zależności od sztywności przewodu oraz jakości zagęszczenia gruntu [11], [12]

Powyższy wykres przedstawia wartości ugięć, jakich można oczekiwać po zakończeniu prac montażowych przewodów do kanalizacji bezciśnieniowej, produkowanych zgodnie z normami [25], [23], [24], [41] o średnicy ≤ 1100 mm dla przykrycia nad przewodami od 0,8 m do 6,0 m [11]. Szczegółowy zakres stosowania wykresu (rysunek 10) jest zawarty w tabeli 4.

Tabela 4. Zakres stosowania wykresu

Parametr	Wartość (zasięg)
Wysokość przykrycia nad rurą	0,8 do 6,0 m
Rodzaj gruntu	Sypkie i spoiste
Typ montażu	Staranny (W), umiarkowany (M), niedbały (N) przy uwzględnieniu kombinacji rodzaju gruntów, zagęszczania i stopnia dokładności
Krótkotrwała sztywność obwodowa rury	$\geq 2 \text{ kN/m}^2$
Typ rury	Rury o ściankach litych i strukturalnych spełniających normy: PN-EN 13476-1, PN-EN 12666-1, PN-EN 1852-1, PN-EN 1401-1. Wykres ma również zastosowanie dla rur ciśnieniowych.
Obciążenie ruchem kołowym	Wszystkie przypadki obciążeń od ruchu kołowego (TRL) - nawet najcięższych
Średnica	≤ 1100 mm
Współczynnik H/D (wysokość przykrycia / średnica rury)	≥ 2
Poziom wody gruntowej	Bez żadnych ograniczeń

Należy zaznaczyć, że zgodność ułożenia rur z założeniami projektowymi powinna być zgodna z punktem 4.2 normy PN-EN 1610 [14].

W początkowym okresie po zakończeniu prac montażowych, trwającym od 10 do 40 dni, następuje konsolidacja gruntu. Końcowe ugięcie będzie osiągnięte wcześniej, jeżeli rura jest poddana działaniu obciążeń od ruchu kołowego. W przypadku stosowania w wykopach gruntów gliniastych konsolidacja gruntu może potrwać nawet do kilku lat. Aby określić wartość końcową ugięcia należy do wartości początkowej odczytanej z wykresu przedstawionego na rysunku 10 dodać wartość określoną współczynnikiem C_f :

$C_f = 1\%$ - przy dobrym zagęszczeniu gruntu (klasa W)

$C_f = 2\%$ - przy umiarkowanym zagęszczeniu gruntu (klasa M)

$C_f = 3\%$ - przy słabo zagęszczonym gruncie sypkim (klasa N)

$C_f = 4\%$ - przy słabo zagęszczonym gruncie spoistym (klasa N)

Na podstawie powyższych danych (rysunek 10) można stwierdzić, że:

1. Rury o sztywności 4 – 8 kN/m² zapewniają w większości bardzo dobre warunki pracy, przy założeniu klasy zagęszczenia na poziomie średnim (M) lub dobrym (W).
2. Nie zaleca się układania przewodów < 4 kN/m² przy niskiej klasie zagęszczenia (N).
3. Zastosowanie rur o wyższej sztywności obwodowej 16 kN/m² zamiast 8 kN/m² przy założeniu zagęszczenia na poziomie dobrym (W) lub średnim (M) nie powoduje znaczących różnic w stopniu ugięcia przewodów.

Organizacja TEPPFA zaleca stosowanie klasy zagęszczenia średniej (M) i dobrej (W) oraz rur o sztywności od 4 do 16 kN/m².

Prace montażowe oraz stopień zagęszczenia gruntu (tabela 5) należy wykonać zgodnie z wymogami norm [13] oraz [14].

Tabela 5. Klasy i stopnie zagęszczenia gruntu wg Standardowej Metody Proctora [13]

Klasa zagęszczenia	Opis		Kategoria gruntu			
	Angielski	Polski	4 SPD [%]	3 SPD [%]	2 SPD [%]	1 SPD [%]
N	Not	Niska	75 - 80	79 - 85	84 - 89	90 - 94
M	Moderate	umiarkowana	81 - 89	86 - 92	90 - 95	95 - 97
W	Well	Wysoka	90 - 95	93 - 96	96 - 100	98 - 100

Informacji na temat klasyfikacji gruntów oraz sposobów ich zagęszczenia należy szukać w normie PN-ENV 1046 [13].

7.3. Sztywność obwodowa rur

Sztywność obwodowa jest parametrem projektowym dla sieci wykonanych z tworzyw sztucznych. Zgodnie z wynikami europejskiego projektu badawczego „Projektowanie podziemnych rurociągów z tworzyw termoplastycznych” sztywność obwodowa wpływa tylko w ok. 3,5% na wielkość ugięcia rur z tworzyw.

Polskie Stowarzyszenie Producentów Rur i Kształtek z Tworzyw Sztucznych zaleca stosowanie rur z tworzyw termoplastycznych (PVC, PE, PP) o krótkotrwałej sztywności obwodowej 4 kN/m² (SN4) lub 8 kN/m² (SN8).

Wytrzymałość rur z tworzyw jest charakteryzowana poprzez sztywność obwodową SN wyrażaną w kPa lub kN/m² (1 kPa = 1 kN/m²). Rzeczywista sztywność obwodowa rur SN jest oznaczana zgodnie z normą [17].

Teoretyczna sztywność obwodowa rur z tworzyw jest obliczana z następującego wzoru:

$$S_R = \frac{E \cdot I}{D_m^3 (1 - \nu^2)} \quad (4)$$

gdzie

S_R - sztywność obwodowa rury [kN/m²] lub [kPa]

E - moduł sprężystości Younga [kN/m²]

I - moment bezwładności przekroju rury w kierunku wzdłużnym [m⁴/m]; dla rur o jednorodnej (litej) ściance $I = e_n^3/12$

D_m^3 - średnica osi obojętnej zginania ścianki rury [m]

ν - współczynnik Poissona

Należy stosować rury o odpowiedniej sztywności obwodowej zgodnie z wymogami jakości zagęszczenia gruntu. Dla rur do kanalizacji podciśnieniowej wymaga się, aby sztywność obwodowa wynosiła min. SN 4 kN/m².

Tabela 6. Właściwości materiałów: typowe wartości do obliczeń [11]

Materiał	Współczynnik Poissona ν [-]	Współczynnik liniowej rozszerzalności [1/°C]	Moduł Younga [MPa]	Współczynnik relaksacji [-]	Wytrzymałość na naprężenia σ [MPa]
PVC-HI	0,4	$6 \cdot 10^{-5}$	2500	0,06	40
PVC 250	0,4	$8 \cdot 10^{-5}$	3300	0,05	50
PVC 315	0,4	$8 \cdot 10^{-5}$	3500	0,05	60
PVC 355	0,4	$8 \cdot 10^{-5}$	4000	0,05	60
PVC 400	0,4	$8 \cdot 10^{-5}$	4000	0,05	60
PVC 450	0,4	$8 \cdot 10^{-5}$	4000	0,05	60
PVC 500	0,4	$8 \cdot 10^{-5}$	4000	0,05	60
PE 63	0,45	$13 \cdot 10^{-5}$	800	0,06	17
PE 80	0,45	$13 \cdot 10^{-5}$	580	0,07	19
PE 100	0,45	$13 \cdot 10^{-5}$	1100	0,08	21
PP-B	0,42	$14 \cdot 10^{-5}$	1250	0,07	27
PP-HM	0,42	$14 \cdot 10^{-5}$	1700	0,07	31
PP-H	0,42	$14 \cdot 10^{-5}$	1250		30
PP-R	0,42	$14 \cdot 10^{-5}$	950		23

7.4. Różnice w wytrzymałości konstrukcji kanałowych

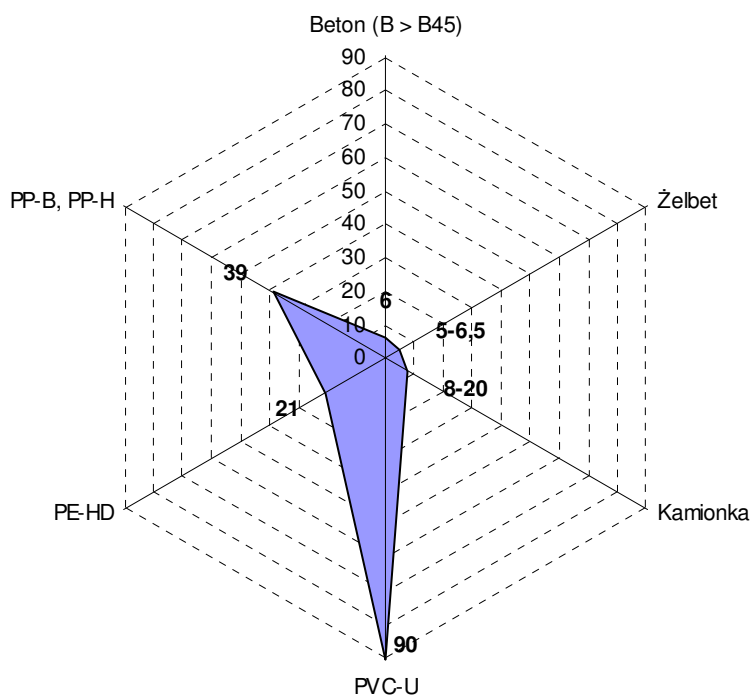
Podczas projektowania przewodów do kanalizacji bezciśnieniowej istotnym kryterium jest występowanie naprężeń zginających. Przewody z tworzyw PVC-U, PP oraz PE posiadają wyższą wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (rysunek 11) zwłaszcza w odniesieniu do rur z betonu, żelbetu oraz kamionki.

Bardzo mała odporność betonu, żelbetu na rozciąganie ($\sigma_R = 6 \text{ N/mm}^2$) powoduje, że przewody muszą posiadać grube ścianki, co powoduje ograniczenia w kształtowaniu przekroju poprzecznego oraz zwiększa wagę wyrobów.

Tabela 7. Właściwości materiałowe i wytrzymałościowe konstrukcji kanałowych [32]

Materiał	Moduł sprężystości E_p [N/mm ²]	Ciężar objętościowy γ_R [kN/m ³]	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu σ_R [N/mm ²]
Beton	30 000	24	6 (dla B > B 45)
Żelbet	30 000	25	5 - 6,5
Kamionka	50 000	22	8 - 20
Żeliwo szare	100 000	71,5	300
Żeliwo sferoidalne (z powłoką cementową)	170 000	70,5	550
Stal (z powłoką cementową)	210 000	77	336
PVC-U	≥ 3200	$\approx 1,4$	90
PE-HD	≥ 800	$\approx 0,94$	21
PP-B, PP-H	$\geq 1\ 250$	$\approx 0,90$	39
GRP-UP	Sztywność pierścieniowa S_0 [kN/m ²] 1,25 2,50 5,0 10,0	17,5	Względne odkształcenie przy pęknięciu [%] 30 25 20 15

N/mm² = MPa



Rysunek 11. Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu σ_R [N/mm²]

7.5. Naprężenia i wydłużenia niszczące dla różnych materiałów

Podczas projektowania sieci bezciśnieniowych oraz ciśnieniowych zwłaszcza z materiałów tradycyjnych istotnym kryterium są naprężenia niszczące oraz wydłużenia.

Liczne analizy [15] stanu technicznego eksploatowanych kanałów wskazują, że najczęściej spotyka się następujące uszkodzenia w kanałach betonowych i żelbetowych: rysy, pęknięcia, wypadnięcia spękanych fragmentów konstrukcji, ubytki korozyjne ścian i ubytki dna kanałów [16]. Uszkodzenia wynikały zarówno z korozji i zużycia ściernego abrazyj dna przewodów oraz z nadmiernych przeciążeń konstrukcji. W kanałach kamionkowych najczęściej obserwowane były uszkodzenia mechaniczne (pęknięcia podłużne, obwodowe). We wszystkich badanych kanałach występowały nieszczelne złącza.

Wiele jest też innych badań potwierdzających dobrą pracę kanałów wykonanych z materiałów tradycyjnych, w miejscach gdzie nie dochodziło do przeciążeń oraz błędów podczas montażu i eksploatacji. Wieloletnie analizy wskazują też na poprawę jakości wyrobów na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat.

Ze względu na bezpieczeństwo konstrukcji sieciowych, w zapewnieniu szczelności bardzo istotna jest zarówno analiza wytrzymałościowa oraz zgodność założeń i obliczeń na etapie projektowania z rzeczywistymi warunkami podczas montażu i eksploatacji.

Typowe wartości naprężeń i wydłużeń niszczących dla różnych materiałów stosowanych do budowy sieci są podane w tabeli 8.

Tabela 8. Naprężenia niszczące przy rozciąganiu i wydłużenia niszczące dla różnych materiałów [32]

Materiał	Naprężenia niszczące [N/mm ²]	Wydłużenia niszczące [%]
Beton	30	0,2
Azbesto-cement	60	0,3
Kamionka	10-20	-
Żeliwo szare	200	0,4
Żeliwo sferoidalne	420	2,0
Stal	440	25
GRP-UP	100-320	2-4
PVC-U	55	20
PE-HD	23	800
PP	30	700

Podane wartości są orientacyjne i mogą się różnić w zależności od właściwości stosowanego materiału. Należy zauważyć, że dla sieci wykonanych z materiałów betonowych, azbesto-cementu, żeliwa szarego dopuszcza się bardzo małe wydłużenia, poniżej 0,2-0,4%.

Sieci z tworzyw PVC-U, PP i PE-HD dzięki lepkosoprzężystym właściwościom mają bardzo dużą wydłużalność (tabela 8). Dodatkowo dla rur z tworzyw w wyniku relaksacji, naprężenie wraz z upływem czasu ulega zmniejszeniu (przy stałym poziomie odkształcenia).

Sieci wykonane z duroplastów - żywic wzmocnianych włóknem szklanym (GRP) nie dopuszczają do większych wydłużeń jak 2-4%.

7.6. Wyboczenie rur

Wyboczenie jest kryterium projektowym dla sieci wykonanych z tworzyw sztucznych i nie dotyczy materiałów tradycyjnych, za wyjątkiem cienkościennych rur stalowych. Dla rur z tworzyw do kanalizacji bezciśnieniowej wykonuje się obliczenia granicznej nośności na wyboczenie zgodnie z przyjętą metodyką tzw. skandynawską, opisaną przez Molina [5]. W ten sposób sprawdza się czy przyjęta sztywność obwodowa rury oraz moduł sieczny gruntu zapewnia wymaganą wytrzymałość na zewnętrzne obciążenia.

W praktyce przyjmuje się zgodnie z [11], że jeżeli rury kanalizacyjne posiadają wymaganą elastyczność pierścieniową do 30% badaną zgodnie z normą [55], to rury takie są odporne na wyboczenie. Dla rur ciśnieniowych, posiadających dużą sztywność obwodową, wyboczenia rzadko będą decydującym kryterium projektowym. Zgodnie z normą [1] rurociągi ciśnieniowe wodociągowe należy projektować na wytrzymałość w warunkach nieustalonych przy podciśnieniu 80 kPa (w przybliżeniu 20 kPa ciśnienia absolutnego).

W gruntach plastycznych jak muły, gliny wyboczenie można obliczyć z następującego wzoru:

$$q_{crit} = 24 \cdot [SN] + \frac{2}{3} E_t \quad (3)$$

gdzie:

q_{crit} - krytyczne ciśnienie wyboczenia [kPa]

$[SN]$ - nominalna sztywność obwodowa rury [kN/m^2]

E_t - moduł styczny gruntu [kN/m^2]

Warunek: $[SN] > 0,0275 E_t$

Inne grunty:

$$q_{crit} = 5,63 \sqrt{E_t \cdot [SN]} \quad (4)$$

gdzie:

q_{crit} - krytyczne ciśnienie wyboczenia [kPa]

$[SN]$ - nominalna sztywność obwodowa rury [kN/m^2]

E_t - moduł styczny gruntu [kN/m^2]

W praktyce, dla rur z tworzyw układanych w gruncie, wyboczenie rzadko jest czynnikiem krytycznym. Wyboczenie zgodnie ze wzorem (3) należy sprawdzać, jeżeli przewód ma być układany w miękkich, plastycznych gruntach jak w mułach oraz glinie.

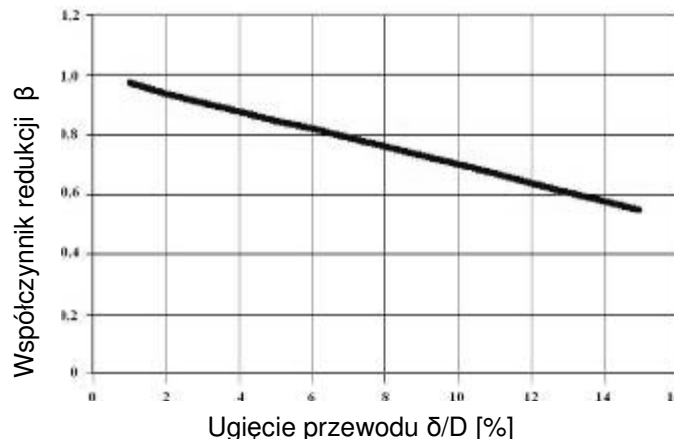
Ugięta rura posiada mniejszą odporność na wyboczenie. Fakt ten uwzględnia się poprzez zastosowanie współczynnika redukcyjnego β , którego wartość można wyliczyć się ze wzoru:

$$\beta = 1 - 3 \cdot \left(\frac{\delta}{D} \right) \quad (5)$$

gdzie:

β - współczynnik redukcji wyboczenia

$\left(\frac{\delta}{D} \right)$ - ugięcie przewodu [%]



Rysunek 12. Współczynnik redukcji wyboczenia w zależności od stopnia odkształcenia przewodu [11]

7.7. Zakres ciśnienia nominalnego

Ciśnienie nominalne jest istotnym kryterium projektowym dla sieci wodociągowych, kanalizacji ciśnieniowej oraz podciśnieniowej. Rury z tworzyw produkowane są na bardzo szeroki zakres ciśnień roboczych umożliwiając najbardziej optymalny dobór w zależności od wymagań. Zalety lepkosprężystych właściwości tworzyw są przydatne szczególnie w sieciach ciśnieniowych, zapewniając bardzo wysokie bezpieczeństwo pracy w różnorodnych warunkach eksploatacji.

W przypadku przewodów z tworzyw, ciśnienie nominalne (PN) zależy od szeregu wymiarowego rur (SDR), wymaganej minimalnej wytrzymałości rury (MRS) oraz od przyjętego projektowego współczynnika bezpieczeństwa C w zależności od warunków pracy instalacji.

Dla rur wodociągowych i kanalizacyjnych z PE projektowy współczynnik eksploatacji C wynosi 1,25 dla temperatury roboczej do 20°C.

Tabela 9. Wartości maksymalnego długotrwałego naprężenia projektowego PE-HD

Materiał	Minimalna wymagana wytrzymałość MRS [MPa]	Naprężenia σ_s [MPa]
PE 100	10,0	8,0
PE 80	8,0	6,4

Obliczenie maksymalnego naprężenia projektowego σ_s :

$$\sigma_s = \frac{MRS}{C} \text{ [MPa]} \quad (6)$$

gdzie

σ_s - maksymalne naprężenie projektowe [MPa]

MRS - minimalna wytrzymałość MRS po 50 latach w temp. 20°C [MPa]

C - współczynnik eksploatacji (projektowy) dla danego materiału (tabela 10)

Obliczenie ciśnienia nominalnego PN:

$$PN = \frac{20\sigma_s}{SDR - 1} \text{ [bar]} \quad (7)$$

gdzie

PN - ciśnienie nominalne [bar]

σ_s - maksymalne naprężenie projektowe [MPa]

SDR - stosunek wymiarów normatywnych (ang. **S**tandard **D**imension **R**atio) - stosunek średnicy zewnętrznej rury do grubości jej ścianki

Dla rur ciśnieniowych z tworzyw istotne jest też sprawdzenie odporności na wyboczenie przy podciśnieniu -0,08 MPa oraz odporności na uderzenie hydrauliczne ($0,9 \cdot \sigma_s$).

W teście ciśnieniowym wykonanym zgodnie z normą EN ISO 9080 wartość dolnej granicy przedziału ufności LCL (ang. *Lower Confidence Limit*) określa wytrzymałość materiału rury. Jest ona podstawą do klasyfikacji wartości MRS. MRS jest klasyfikowane wg PN-EN ISO 12162. Wartość LCL podawana jest w MPa i oznacza przewidywaną długotrwałą wytrzymałość na ciśnienie hydrostatyczne dla wody o temperaturze 20°C w okresie 50 lat. W praktyce trwałość przewodów z tworzyw sztucznych będzie dłuższa i dlatego też projekt normy prCEN/TS 15223 podaje wartości współczynników projektowych dla 100 lat (C_{100}).

Tabela 10. Właściwości materiałów dla rur ciśnieniowych w temp. 20°C [11]

Materiał	MRS klasyfikacja σ [MPa]	Współczynnik projektowy ^a C_{50} [-]	Współczynnik projektowy C_{100} [-]	Dopuszczalne krótkookresowe naprężenia [MPa]
PVC-HI	18,0	1,4		26
PVC 250	25,0	2,0	1,94	25
PVC 315	31,5	1,6		45
PVC 355	35,5	1,6		51
PVC 400	40,0	1,6		57
PVC 450	45,0	1,4		64
PVC 500	50,0	1,4		71
PE 63	6,3	1,25	1,23	10
PE 80	8,0	1,25	1,23	12,6
PE 100	10,0	1,25	1,23	16

^a współczynnik projektowy C_{50} jest ustalony w PN-EN ISO 12162 [57] i podane powyższe wartości są minimalne.

Dla sieci wykonanych z innych materiałów wartości podane przez producentów powinny być wyznaczone zgodnie z normami ISO i CEN.

Należy też zwrócić uwagę, że wartości podane w tablicy 9 mogą być wyższe, jeżeli temperatura będzie niższa niż 20°C.

7.8. Różnice w doborze hydraulicznym

Obliczenia hydrauliczne są bardzo ważną częścią projektowania systemów bezciśnieniowych oraz ciśnieniowych. Konieczne jest wyznaczenie średnicy rur, prędkości przepływu, napełnienia przekroju, spadku hydraulicznego. Obliczenia wykonuje się dla poszczególnych odcinków sieci między węzłami, przy założeniu warunków ruchu ustalonego i jednostajnego, czyli przy założeniu, że natężenie przepływu, spadek hydrauliczny, średnica i chropowatość ścian przewodu nie zmienia się na danym odcinku przewodu.

Przepustowość jest zależna zarówno od rodzaju materiału, jak i strat miejscowych całego systemu. Podczas projektowania i doboru średnicy stosuje się zazwyczaj wartości współczynników chropowatości bezwzględnej (k) dla nowych materiałów.

Tabela 11. Wartości współczynników chropowatości bezwzględnej k do obliczeń przepływu [11]

Rodzaj przewodu	Wartość chropowatości bezwzględnej k [mm]
Cu, CuZn, rury tworzywa $d < 100$ mm	0,01
Wykładzina z tworzywa, rury azbesto-cementowe, rury stalowe z wykładziną bitumiczną	0,02
Rury PVC-U $d > 100$ mm, nowe rury stalowe, rury żeliwne z wykładziną bitumiczną	0,05
Rury azbesto-cementowe, rury żeliwne z wykładziną bitumiczną, gładkie rury betonowe	0,1
Lekko skorodowane rury stalowe, rury kamionkowe, nowe rury żeliwne, rury betonowe	0,2
Średnio skorodowane rury stalowe, nowe rury żeliwne z wykładziną betonową	0,5
Rury betonowe, lekko skorodowane rury żeliwne	1,0
Szorstkie rury betonowe, skorodowane rury żeliwne	2,0
Mocno skorodowane rury żeliwne	5,0

Powyższe wartości chropowatości bezwzględnej (k) są podane dla prostych odcinków przewodów bez bocznych odgałęzień.

Dla sieci wodociągowych z tworzyw zalecany przez Jansona współczynnik k wynosi 0,1 mm, natomiast dla sieci kanalizacyjnych z tworzyw 0,4 mm.

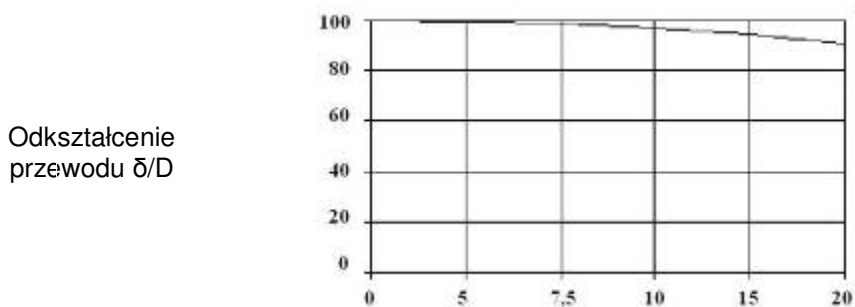
Zgodnie z normą [1] wartość chropowatości hydraulicznej k powinna być uwzględniana jako:

- projektowa wartość chropowatości k_1 , obejmująca wpływ rur i połączeń (należy uwzględnić miejscowe straty ciśnienia) lub
- projektowa wartość chropowatości k_2 , obejmująca wpływ rur, połączeń, kształtek i armatury

Podczas ustalania chropowatości projektowej należy uwzględnić wzrost chropowatości w dłuższym czasie.

Projektowana wartość chropowatości k_2 zwykle powinna zawierać się pomiędzy wartością 0,1 mm i 0,4 mm dla magistrali przesyłowych i głównych oraz 0,4 mm i 1 mm dla sieci rozdzielczej.

Procesy związane z hydraulicznym starzeniem się przewodów były przedmiotem licznych badań, a pomiary wzrostu oporności hydraulicznej eksploatowanych rurociągów sięgają początków XX wieku. Należy zwrócić szczególnie uwagę na zmianę wartości współczynników chropowatości bezwzględnej (k) wraz z wiekiem oraz korozją eksploatowanych sieci. Dotyczy to głównie sieci wykonanych z materiałów tradycyjnych (tabela 11). Sieci z tworzyw są odporne na korozję, wobec powyższego nie następuje w przewodach znaczna zmiana chropowatości bezwzględnej przewodu i zmniejszenie przepustowości. Dla rur z tworzyw określono wpływ ugięcia na przepustowość (rysunek 13).



Rysunek 13. Zmiana przepustowości w zależności od ugięcia [11]

Przy odkształceniu przekroju poprzecznego przewodu o 10 % spadek przepustowości wynosi 2 %.

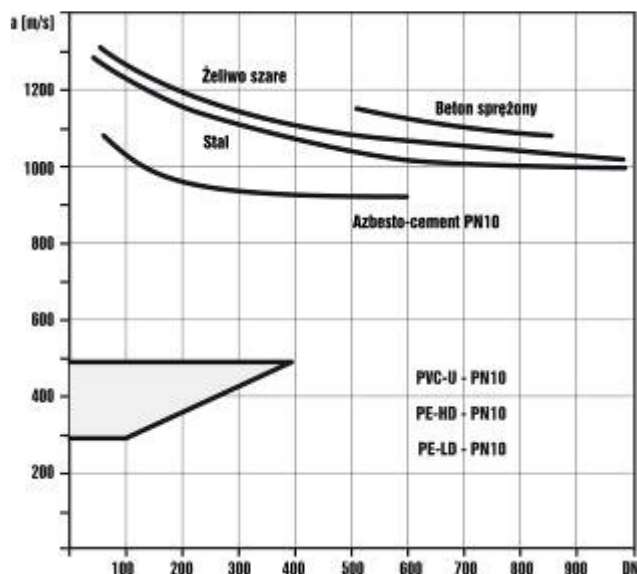
W związku z różnicami w stosowaniu oraz wymiarowaniu przewodów w oparciu o wzory Manninga i Colebrooka dokonano ich zbieżności pod wpływem doświadczeń praktycznych.

Tabela 12. Relacja między współczynnikami Colebrooka i Manninga

Colebrook k	Manning n
0,2	100
1,0	80
5,0	60

7.9. Różnice w rozprzestrzenianiu się uderzenia hydraulicznego

Dla systemów ciśnieniowych wykonanych z różnych materiałów istotna jest prędkość rozprzestrzeniania się fali uderzeniowej. W przypadku sieci wykonanych z tworzyw prędkość rozprzestrzeniania się fali uderzeniowej wynosi zaledwie 25-50% wartości właściwych dla rur z materiałów tradycyjnych.



Rysunek 14. Prędkość rozprzestrzeniania się fali uderzeniowej w przewodach wykonanych z różnych materiałów

Prędkość rozprzestrzeniania się uderzenia hydraulicznego w rurach z termoplastów PE, PP i PVC wynosi zazwyczaj 250 – 450 m/s i jest znacznie niższa niż dla stali, żeliwa, oraz betonu sprężonego (rysunek 14).

Krótkotrwałe dopuszczalne naprężenia dla PE, PVC-U są wyższe niż podane w klasyfikacji (tablica 9), dlatego też sieci z termoplastów mogą wytrzymać dużo wyższe chwilowe przeciążenia, bez ryzyka powstania uszkodzeń. Dla sieci z PE, PVC-U zazwyczaj przyjmuje się, że nie wymagają sprawdzenia pod kątem odporności na uderzenie hydrauliczne, jeżeli maksymalne ciśnienie w przewodzie nie przekracza przy uderzeniu hydraulicznym 1,5-krotnie ciśnienia nominalnego [10].

8.10. Zmiana kierunku trasy rurociągu

Istotną różnicą w projektowaniu systemów kanalizacyjnych rur gładkościennych termoplastycznych (PE, PP) oraz ciśnieniowych wodociągowych z (PE) w porównaniu do materiałów tradycyjnych jest możliwość swobodnej zmiany trasy przewodu poprzez ręczne wygięcie rury. Zmianę kierunku na trasie rurociągu polietylenowego można wykonać przez zastosowanie łuków, kolan. Promień gięcia rury polietylenowej zależy od wielu czynników, między innymi od średnicy, SDR, MRS, warunków w jakich jest rura układana itp.

Sieci z tworzyw termoplastycznych PE-HD, PVC-U mogą być projektowane z zachowaniem minimalnego promienia gięcia (R). Wykorzystuje się do tego naturalne elastyczne właściwości z tworzyw. Szttywne sieci wykonane z materiałów tradycyjnych oraz duroplastów (GRP) są wrażliwe na naprężenia przy zginaniu i nie mogą być wyginane.

Minimalny promień gięcia przewodów ze względu na powstanie wybočenja można obliczyć z następującego wzoru:

$$R = \frac{D^2}{1,12 \cdot e} \quad (8)$$

gdzie

- R - promień gięcia [mm]
- D² - średnica zewnętrzna przewodu [mm]
- e - grubość ścianki przewodu [mm]

Tabela 13. Zalecane ograniczenia w gięciu rur PE-HD i PVC-U

Średnica DN [mm]	Rodzaj przewodu	
	PVC-U	PE
≤ 200	$R > 300 \cdot [DN]$	$R > 25 \cdot [DN]$
> 200	$R > 500 \cdot [DN]$	$R > 40 \cdot [DN]$

W praktyce przewody z PE-HD najczęściej wygina się ręcznie, przy czym stosuje się większe minimalne promienie gięcia przewodów ($R_{min.} = 25 \cdot DN$), które są uzależnione od szeregu SDR oraz temperatury.

Przy założeniu promienia gięcia $R_{min.} = 25 \cdot DN$ odkształcenie względne dla przewodów PE-HD wynosi $\varepsilon = 2\%$, co oznacza, że jest mniejsze niż dopuszczalne ($\varepsilon = 5\%$).

Naprężenia można obliczyć z następującego wzoru:

$$\varepsilon = \frac{D}{2 \cdot R} \cdot 100 \quad (9)$$

gdzie

- ε - naprężenia [%]
- D - średnica zewnętrzna przewodu [mm]
- R - promień gięcia [mm]

Dopuszczalne wartości odkształceń względnych dla poszczególnych materiałów są podane w tabeli 2.

7.11. Różnice w projektowaniu sieci przy wyższej temperaturze

Przy projektowaniu sieci kanalizacyjnych sanitarnych, ogólnospławnych oraz deszczowych z materiałów tradycyjnych oraz z tworzyw sztucznych ułożonych w gruncie zakłada się, że temperatura wyjściowa przyjmowana do obliczeń wytrzymałościowych wynosi 20°C.

W praktyce dla przewodów ułożonych w gruncie temperatura na głębokości 1-2 m nie przekracza 10°C, a tym samym wytrzymałość przewodów jest jeszcze większa niż wynika z wartości MRS dla danego materiału (wyznaczanego w temp. 20°C). W przypadku sieci wykonanych z materiałów tradycyjnych temperatura nie wpływa na zmianę wytrzymałości.

Dla sieci z tworzyw sztucznych należy uwzględnić wpływ temperatury na wytrzymałość przewodów, jeżeli przy stałym przepływie temperatura jest wyższa niż 20°C. Zarówno ciśnienie robocze, jak i okres trwałości rurociągów zależne są od temperatury medium przesyłanego rurociągami. Im wyższa jest temperatura pracy, tym okres trwałości przy danym ciśnieniu ulega skróceniu.

Projektując rurociągi z PE oraz PVC-U do pracy w wyższych temperaturach niż 20°C, należy stosować współczynniki redukcji ciśnienia. Ich właściwe stosowanie pozwala na bezawaryjną pracę rurociągu w wyższych temperaturach, przy zapewnieniu mu okresu trwałości takiego, jaki posiadałby, pracując w temp. 20°C (tzn. ponad 50 lat).

W przypadku, gdy system przewodów rurowych z PE oraz PVC-U działa w sposób ciągły, w stałej temperaturze wyższej niż 20°C aż do 45°C, mogą mieć zastosowanie współczynniki obniżenia ciśnienia (tablica 14) [18], [19].

Tabela 14. Współczynniki obniżenia ciśnienia dla PE oraz PVC-U

Temperatura [°C]	Współczynnik f_t dla rur PE	Współczynnik f_t dla rur PVC-U
do 20	1,00	1,0
25	0,935	1,0
30	0,870	0,9
40	0,740	0,7
45	-	0,6

W przypadku, gdy temperatura robocza znajduje się pomiędzy wymienionymi przedziałami, to zgodnie z ISO 13761 współczynniki można obliczyć przez interpolację.

Dozwolone ciśnienie eksploatacyjne (PFA) jest wyznaczane z następującego równania:

$$PFA = f_T \times f_A \times PN \quad (10)$$

gdzie

f_T - współczynnik obniżania ciśnienia

f_A - współczynnik obniżania (podwyższania) w zależności od aplikacji (dla przesyłania wody $f_A = 1$)

PN - ciśnienie nominalne.

Przy projektowaniu sieci z tworzyw układanych nad gruntem należy sprawdzić czy poziom naprężeń rozciągających wywołanych zmianą temperatury rurociągu w ściankach przewodu nie będzie przekraczał maksymalnych wartości dla danego materiału w przypadku pracy w warunkach bezciśnieniowych (tabela 6) lub ciśnieniowych (tabela 10). Naprężenia te (σ) można obliczyć z następującego wzoru:

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta t \quad (11)$$

gdzie

σ - naprężenia normalne [MPa]

α - współczynnik rozszerzalności liniowej [K^{-1}],

E - moduł sprężystości [MPa]

Δt - różnica temperatur ($\Delta t = t_1 - t_2$) [$^{\circ}C$]

t_1 - temperatura otoczenia [$^{\circ}C$]

t_2 - temperatura przy układaniu [$^{\circ}C$]

Założenie: $\sigma \leq \sigma_{max}$.

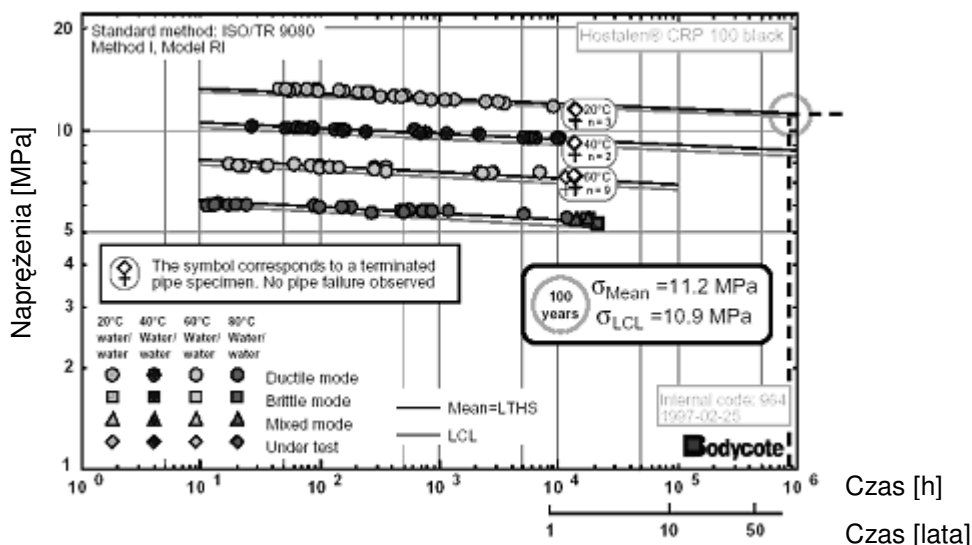
Tabela 15. Parametry materiałów do obliczenia naprężenia (σ)

Właściwości	PVC-U	PP	PE	Jednostka
Moduł sprężystości, E (1 min)	$\geq 3\ 200$	$\geq 1\ 250$	≥ 800	MPa
Średni współczynnik termicznej rozszerzalności liniowej	$\approx 8 \times 10^{-5}$	$\approx 14 \times 10^{-5}$	$\approx 17 \times 10^{-5}$	K^{-1}

Przy projektowaniu przewodów układanych nad gruntem należy spełnić wymogi określone w normie [13].

Często wytrzymałość tworzyw jest przedstawiana na wykresach naprężenia w funkcji czasu.

Rysunek 15 przedstawia przykładowy wykres wytrzymałości polietylenu klasy PE100 na wewnętrzne ciśnienie hydrostatyczne.



Rysunek 15. Wykres wytrzymałości PE100 na wewnętrzne ciśnienie hydrostatyczne na przykładzie surowca Hostalen CRP 100

Należy zauważyć, że przy temperaturze 20°C średnie naprężenia (σ) wynoszą 11,2 MPa i prognozowana trwałość rurociągów z PE100 przekracza 100 lat (MRS jest równy 10 MPa i nie spada poniżej tej wartości dla okresu 100 lat). Standardowo minimalna wymagana wytrzymałość MRS podawana jest dla okresu 50 lat i temp. 20°C.

Od czasu powstania w końcu lat 80 XX wieku pierwszych odmian bimodalnego polietylenu klasy PE100 odkryto wiele nowych odmian PE100 o wyższych parametrach wytrzymałościowych. Obecnie przewody wodociągowe oraz kanalizacyjne mogą być produkowane z PE100+, który spełnia podwyższone wymagania w stosunku do obowiązujących norm europejskich (CEN), zwłaszcza w odniesieniu do odporności na pełzanie (Creep Rupture Strength), odporności na powolny wzrost pęknięć (Slow Crack Growth) i szybką propagację pęknięć (Rapid Crack Propagation).

8.12. Różnice w projektowaniu sieci z uwzględnieniem wpływu odporności chemicznej

Zgodnie z wymogami normy [20], podczas projektowania systemów kanalizacyjnych należy stosować takie materiały, które nie będą powodowały obniżenia trwałości sieci.

Przewody z tworzyw PP, PE, PVC-U zgodne z normami [23], [24], [25] są odporne w szerokim zakresie odczynu pH na korozję spowodowaną działaniem między innymi ścieków komunalnych, wody deszczowej, powierzchniowej i gruntowej.

W przypadku sieci przeznaczonych do przesyłania chemicznie zanieczyszczonych ścieków, np. ścieków przemysłowych, należy wziąć pod uwagę odporność chemiczną i temperaturową materiału, z którego wyprodukowano przewody.

Informacje dotyczące odporności chemicznej materiałów PP, PE i PVC-U są podane w normie [21], a dotyczące materiałów uszczelnień gumowych w [22].

Przewody wykonane z żywicy GRP oraz kamionki również posiadają dobrą odporność na ścieki komunalne, wody deszczowe, powierzchniowe i gruntowe.

W przypadku sieci kanalizacyjnych wykonanych z betonu lub żelbetu liczne badania [26], [27], [28], [33] wskazują na niewystarczającą odporność na korozję chemiczną, fizyczną oraz biologiczną. Szczególnie szkodliwe są korozje ługujące, kwasowe oraz pęczniące.

Wycofane normy branżowe BN dopuszczały wyroby z betonu niskiej jakości o wytrzymałości klasy B-30 lub niższej, które nie spełniają wymaganych obecnie parametrów użytkowych [29], [30].

Alkaliczny odczyn betonu, spowodowany obecnością wodorotlenku wapnia Ca(OH)_2 jest przyczyną korozji tego materiału w środowisku kwaśnym. Ze względu na dość znaczną rozpuszczalność wodorotlenku wapnia w wodzie, środowisko wodne wywiera działanie korozyjne na beton, którego jednym z głównych składników jest cement portlandzki.

Poza działaniem jako rozpuszczalnik woda ma znaczny wpływ na proces wietrzenia chemicznego, zwłaszcza gdy zawiera rozpuszczony CO₂, sole i kwasy.

Standardowo średnica porów betonu (w przybliżeniu 70% makro- i 30% mikroporów) jest większa niż średnica cząstek wody. Nie zapobiega to jednak przenikaniu do wnętrza betonu cząsteczek o rozmiarach mniejszych, do których zaliczają się m.in. cząsteczki kwasów, olejów itp.

Jeżeli woda lub ścieki mają pH 6,5-5,5, to zgodnie z normą [31] jest to słaby stopień, przy pH 5,5-4,5 silny, a przy pH < 4,5 bardzo silny stopień oddziaływania korozyjnego na beton. Bardzo istotna jest też zawartość CO₂, NH₄⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻.

Zaprojektowanie zbyt małych spadków i prędkości przepływu może również wpłynąć bardzo niekorzystnie na warunki panujące w sieciach kanalizacyjnych betonowych. W warunkach zwiększonych oporów przepływu (tabela 11) oraz małych spadkach, zalegające osady mogą powodować zwiększenie korozji.

8. STUDZIENKI KANALIZACYJNE

Studzienki są niezbędnym elementem uzbrojenia sieci kanalizacyjnych i umożliwiają dostęp do przewodów oraz wykonanie niezbędnych czynności eksploatacyjnych.

Tabela 16. Podstawowe dane o studzienkach

Rodzaj studzienki	Typ studzienki	Materiał	Średnica wewnętrzna [mm]	Nominalna średnica przewodów d _n [mm]
Tradycyjne	Włazowe przelotowe, zbiorcze	beton, żelbet, polimerobeton, kamionka, GRP	1200	≤ 300
			1200, 1400	400
			1400	500, 600
			1600, >1600	800, >800
Tworzywowe	Inspekcyjne	PE, PP	200, 315, 400, 425, 600, 800	110 - 600
			Włazowe	PE, PP
	1400	110 - 800		
	PE	1000, 1200, 1400		110 - 2000

Podstawowe wymogi w zakresie projektowania oraz budowy studzienek są zawarte w normie [35] oraz [20], [53], [54]. Ze względów konstrukcyjnych studzienki wykonywane są jako prefabrykowane, monolityczne oraz murowane. Norma [35] dopuszcza wykonywanie uszczelnień połączeń kręgów studni również na zaprawę cementową. W wielu wypadkach, takie rozwiązanie może być niewystarczające ze względu na konieczność zapewnienia szczelności na eksfiltrację i infiltrację. Dlatego też, coraz częściej wprowadzane są zaostrzone wymagania w zakresie szczelności połączeń. Rzutuje to na konieczność stosowania uszczelki na wszystkich połączeniach.

Zgodnie z wymogami normy [36] dla studzienek np. betonowych należy stosować zabezpieczenia antykorozyjne. W przypadku studzienek stosowanych na sieciach kanalizacji sanitarnej oraz ogólnospławnej, beton powinien spełniać wymogi podwyższonej odporności na ścieki oraz siarkowodor. Jest to szczególnie istotne, jeżeli sieć projektowana jest na małych spadkach i może dochodzić do okresowego zagniwania osadów. Norma [31] podaje parametry oddziaływania korozyjnego wód. Dlatego też przy projektowaniu sieci kanalizacyjnych z materiałów tradycyjnych (np. betonowych) projektant musi dysponować dokładnymi danymi o korozyjności wód i ścieków. W przypadku sieci z tworzyw odpornych na korozję nie ma takiej konieczności. Studzienki z polimerobetonu oraz kamionki również posiadają wysoką odporność chemiczną.

Dla studzienek z tworzyw norma [53] oraz projekt normy europejskiej [54] nakładają obowiązek badania szczelności połączeń przy ciśnieniu 0,5 bar oraz podciśnieniu 0,3 bar. Tak wysokie wymagania, zwłaszcza w odniesieniu do badania na podciśnienie zapewnia odporność połączeń na eksfiltrację i infiltrację ścieków. Jest to szczególnie ważne, gdy projektowana sieć będzie posadowiona pod wodą gruntową. Wymagania normatywne w zakresie zapewnienia szczelności studzienek z tworzyw są wyższe niż dla studzienek wykonanych z materiałów tradycyjnych, ponieważ połączenia studzienek z materiałów tradycyjnych nie są badane na szczelność przy podciśnieniu.

Tablica 17. Zakres średnic rur z tworzyw sztucznych i materiałów tradycyjnych

Rodzaj materiału	Data rozpoczęcia produkcji	Zakres średnic rur [mm]
PVC-U	1935	40-630
PE-HD	1955	16-2400
PP	1955	25-1600
GRP-EP	1955	15-1500
GRP-UP	1955	200-2400
PE-X	1968	25-160
Żeliwo	XV	40-2000
Żeliwo sferoidalne	lata 50-te XX	100-1000
Stal	XVIII	160-2000
Polimerobeton	lata 90-te XX	150-2000
Kamionka	ok. 3500 p.n.e.	100-1400

Tablica 18. Rodzaje materiałów stosowanych do budowy sieci kanalizacji grawitacyjnej, ciśnieniowej, podciśnieniowej, wodociągowej oraz wymagania normatywne.

Rury i kształtki	Rodzaj sieci		
	Kanalizacja grawitacyjna	Kanalizacja ciśnieniowa i podciśnieniowa	Wodociągi
Betonowe	PN-EN 1916	-	-
Żelbetowe	PN-EN 1916	PN-EN 640	PN-EN 640
Włókno-cementowe	PN-EN 588-1	PN-EN 512	-
Polimerobetonowe	Aprobata techniczna	-	-
Kamionkowe	PN-EN 295	-	-
Żeliwne	PN-EN 877	-	PN-81/H-74100
Żeliwo sferoidalne	PN-EN 598	PN-EN 598	PN-EN 545 PN-92/H-74108
PVC-U	PN-EN 1401	PN-EN 1452, PN-EN 1456	PN-EN 1452
PP	PN-EN 1852	PN-C-89207	-
PE	PN-EN 12666, Aprobata techniczna	PN-EN 13244, Aprobata techniczna	PN-EN 12201
PVC-U, PP, PE strukturalne	PN-EN 13476	-	-
PP-MD (polipropylen z wypełniaczem mineralnym)	PN-EN 14758	-	-
Żywicze poliestrowe zbrojone włóknem szklanym GRP	PN-EN 14364	PN-EN 14364	Aprobata techniczna

BIBLIOGRAFIA:

1. PN-EN 805 Zaopatrzenie w wodę - Wymagania dotyczące zewnętrznych systemów i ich części składowych.
2. JANSON L.-E., MOLIN J.: Projektowanie i wykonawstwo sieci zewnętrznych z tworzyw sztucznych, VBB consulting Ltd.
3. DRESCHER G.: Das Im Erdreich eingebettetes Rohr. Österreichischer Ingenieur-Zeitschrift, Jahrgang 8/3.
4. MOSER A.P., SHUPE O.K., BISHOP R.R.: "Is PVC strain limited after all these years"; Buried Plastics Pipes Technology ASTM STP 1093, September 1990
5. CEN/TR 1295-3 Structural design of buried pipelines under various conditions of loading — Part 3: Common method.
6. JANSON L.E., MOLIN J.: 1991; Design and installation of buried plastic pipes. Stockholm, Akaprint ApS, Aarhus
7. ATV-DVWK-A 127 Statische Berechnung von Entwässerungskanälen and -leitungen, 3. Auflage.
8. ÖNORM B 5012 Structural design of buried water and sewerage pipelines.
9. Fachverband der Kunststoffrohr – Industrie: Kunststoffrohr Handbuch, 4 Auflage, Vulkan – Verlag Essen, Essen 2000.
10. JANSON L.-E.: Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disposal, 4th edition, Borealis, Stockholm 2003.
11. prCEN/TS 15223 Plastics piping systems - Validated design parameters of buried thermoplastics piping systems, 2005.
12. PN-EN 13476-1:2007 (U) Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do becznieniowej podziemnej kanalizacji deszczowej i sanitarnej -- Systemy przewodów rurowych o ściankach strukturalnych z nieplastyfikowanego poli(chloru winylu) (PVC-U), polipropylenu (PP) i polietylenu (PE) -- Część 1: Ogólne wymagania i właściwości użytkowe.
13. PN-ENV 1046:2007 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych -- Systemy poza konstrukcjami budynków do przesyłania wody lub ścieków -- Praktyka instalowania pod ziemią i nad ziemią.
14. PN-EN 1610:2002 Budowa i badania przewodów kanalizacyjnych.
15. ZWIERZCHOWSKI D. Analiza bezpieczeństwa betonowych i kamionkowych przewodów kanalizacyjnych, praca doktorska, Kielce, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2000.
16. ANDRZEJ KULICZKOWSKI Rury kanalizacyjne. Własności materiałowe, Kielce 2001.
17. PN-EN ISO 9969:1997 Rury z tworzyw termoplastycznych - Oznaczenie sztywności obwodowej.
18. PN-EN 12201-2:2004 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania wody -- Polietylen (PE) Część 2: Rury
19. PN-EN 1452-2:2000 Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych. Systemy przewodowe z niezmiękczonego poli(chloru winylu) (PVC-U) do przesyłania wody. Rury
20. PN-EN 476:2001 Wymagania ogólne dotyczące elementów stosowanych w systemach kanalizacji grawitacyjnej.
21. ISO/TR 10358. Klasyfikacja odporności chemicznej rur i kształtek z tworzyw sztucznych.
22. ISO/TR 7620 Rubber materials - Chemical resistance.
23. PN-EN 13476-3:2007 (U) Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do becznieniowej podziemnej kanalizacji deszczowej i sanitarnej -- Systemy przewodów rurowych o ściankach strukturalnych z nieplastyfikowanego 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.

24. PN-EN 1852-1:1999/A1:2004 Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych. Podziemne beciśnieniowe systemy przewodowe z polipropylenu (PP) do odwadniania i kanalizacji. Wymagania dotyczące rur, kształtek i systemu.
25. PN-EN 1401-1 Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych. Podziemne beciśnieniowe systemy przewodowe z niezmiękczonego poli(chlorku winylu) (PVC-U) do odwadniania i kanalizacji. Wymagania dotyczące rur, kształtek i systemu.
26. GRUENER M. Korozja i ochrona betonu. Warszawa 1983.
27. PIASTA W. Korozja chemiczna betonu pod długotrwałym obciążeniem. Cement – Wapno – Beton, 1999 nr 6.
28. STAROŚCIAK D. i inni Mikrobiologiczna korozja siarczanowa żelbetowych kolektorów na ścieki komunalne, Inżynieria i Budownictwo, 1993 nr 8.
29. PN-EN 1917 Betonowe studzienki włączowe i kontrolne nie zbrojone i zbrojone włóknom stalowym.
30. KAROL MARZEJON Beton kontra tworzywo. Magazyn Instalatora, 2006 nr 6 str.50-51.
31. DIN 4030 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte, Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser – und Bodenproben, 1991.
32. ANDRZEJ KULICZKOWSKI Rury Kanalizacyjne tom II Projektowanie konstrukcji, Kielce 2004.
33. CEZARY MADRYAS, ANDRZEJ KOLONKO, LESZEK WYSOCKI Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych, Wrocław 2002.
34. PN-EN 1277:2005 Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych - Systemy przewodów rurowych z tworzyw termoplastycznych do beciśnieniowych sieci układanych pod ziemią - Metoda badania szczelności połączeń z elastomerowym pierścieniem uszczelniającym.
35. PN-B-10729 Kanalizacja. Studzienki kanalizacyjne.
36. PN-92/B-10735 Kanalizacja. Przewody kanalizacyjne. Wymagania i badania przy odbiorze.
37. CEN/TR 1295-2 Structural design of buried pipelines under various conditions of loading — Part 2: Summary of national established methods of design.
38. PN-EN 1452-1:2000 Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych -- Systemy przewodowe z niezmiękczonego poli(chlorku winylu) (PVC-U) do przesyłania wody -- Wymagania ogólne.
39. PN-EN 1456-1:2003 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do ciśnieniowej kanalizacji deszczowej i sanitarnej układanej pod ziemią i nad ziemią. Nieplastyfikowany poli(chlorek winylu) (PVC-U). Część 1: Wymagania dotyczące elementów rurociągu i systemu.
40. PN-EN 1452-3:2000 Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych. Systemy przewodowe z niezmiękczonego poli(chlorku winylu) (PVC-U) do przesyłania wody. Kształtki.
41. PN-EN 12666-1:2006 (U) Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do beciśnieniowej podziemnej kanalizacji deszczowej i sanitarnej Polietylen (PE) -- Część 1: Wymagania dotyczące rur, kształtek i systemu.
42. PN-EN 13244-1:2004 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do ciśnieniowych rurociągów do wody użytkowej i kanalizacji deszczowej oraz sanitarnej, układane pod ziemią i nad ziemią -- Polietylen (PE) -- Część 1: Wymagania ogólne.
43. PN-EN 13244-2:2004 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do ciśnieniowych rurociągów do wody użytkowej i kanalizacji deszczowej oraz sanitarnej, układane pod ziemią i nad ziemią -- Polietylen (PE) -- Część 2: Rury.

44. PN-EN 13244-3:2004 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do ciśnieniowych rurociągów do wody użytkowej i kanalizacji deszczowej oraz sanitarnej, układane pod ziemią i nad ziemią -- Polietylen (PE) -- Część 3: Kształtki.
45. PN-EN 877:2004 Rury i kształtki z żeliwa, złącza i elementy wyposażenia instalacji do odprowadzania wód z budynków -- Wymagania, metody badań i zapewnienie jakości.
46. PN-EN 1916:2005 Rury i kształtki z betonu niezbrojonego, betonu zbrojonego włóknem stalowym i żelbetowe.
47. PN-EN 588-1:2000 Rury włókno-cementowe do kanalizacji -- Rury, złącza i kształtki do systemów grawitacyjnych.
48. PN-EN 295-1:1999 Rury i kształtki kamionkowe i ich połączenia w sieci drenażowej i kanalizacyjnej – Wymagania.
49. PN-EN 598:2000 Rury, kształtki, i wyposażenie z żeliwa sferoidalnego oraz ich połączenia do odprowadzania ścieków -- Wymagania i metody badań.
50. PN-EN 1295-1:2002 Obliczenia statyczne rurociągów ułożonych w ziemi w różnych warunkach obciążenia Część 1: Wymagania ogólne.
51. PN-EN 640:2000 Rury ciśnieniowe żelbetowe i rury ciśnieniowe żelbetowe ze zbrojeniem równomiernie rozłożonym (bez płaszcza blaszanego) oraz złącza i kształtki.
52. PN-81/H-74100 Rury żeliwne ciśnieniowe -- Wymagania i badania.
53. PN-EN 13598-1:2005 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do podziemnej bezciśnieniowej kanalizacji deszczowej i sanitarnej -- Nieplastyfikowany poli(chlorek winylu) (PVC-U), polipropylen (PP) i polietylen (PE) -- Część 1: Specyfikacje techniczne kształtek pomocniczych wraz z płytkami studzienkami inspekcyjnymi.
54. prEN 13598-2:2006 Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage - Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) - Part 2 : Specifications for manholes and inspection inspection chambers in traffic areas and deep underground installations.
55. PN-EN 1446:1999 Systemy przewodowe z tworzyw sztucznych - Rury z tworzyw termoplastycznych - Oznaczanie elastyczności obwodowej.
56. PN-EN 124:2000 Zwieńczenia wpustów i studzienek kanalizacyjnych do nawierzchni dla ruchu pieszego i kołowego -- Zasady konstrukcji, badania typu, znakowanie, sterowanie jakością.
57. PN-EN ISO 12162:1999 Klasyfikacja i oznaczenie materiałów z tworzyw termoplastycznych do wytwarzania rur i kształtek do zastosowań ciśnieniowych -- Ogólny współczynnik eksploatacji (projektowy).