



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

Autor

karol.marzejon@pipelife.com

Polskie Stowarzyszenie Producentów Rur i Kształtek
z Tworzyw Sztucznych



- ▶ **PKN-CEN/TS 15223:2011** „Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych – Potwierdzone parametry projektowe podziemnych systemów przewodów rurowych z tworzyw termoplastycznych”
- ▶ **CEN/TR 1295-2:2005** „Obliczenia statyczne rurociągów ułożonych w ziemi w różnych warunkach obciążenia – Część 2: Podsumowanie przyjętych krajowych metod projektowych”
- ▶ **CEN/TR 1295-3:2007** „Obliczenia statyczne rurociągów ułożonych w ziemi w różnych warunkach obciążenia – Część 3: Główne metody”

Europejskie projekty badawcze

TEPPFA



- The European Plastics Pipe and Fitting Association
(Europejskie Stowarzyszenie Producentów Rur
i Kształtek z Tworzyw Sztucznych)

PlasticsEurope - Association of Plastics Manufacturers



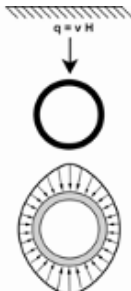
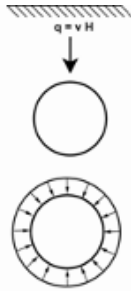
(Stowarzyszenie Producentów Tworzyw
Sztucznych)

Europejskie projekty badawcze

Wyniki europejskiego projektu badawczego „Projektowanie podziemnych rurociągów z tworzyw termoplastycznych” zrealizowanego przez TEPPFA i Plastics Europe pozwoliły na między innymi:

- porównanie wyników obliczeniowych z ugięciami rzeczywistymi
- określenie względnej wagi parametrów projektowo-wykonawczych
- analizę zachowania rurociągów w ośrodku gruntowym

Różnice w klasyfikacji rur

	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 ścianki [%]	~ 0	~ 0,5	< 5
Kryteria projektowe	Naprężenie	Naprężenie / odkształcenie względne	Odkształcenie + stateczność

Różnice w klasyfikacji rur

- ▶ Podział rur ze względu na zachowanie zgodnie z normą PN-EN 805, PN-EN 476.
- Do rur **sztywnych** zalicza się przewody, których „**zdolność do przenoszenia obciążenia jest ograniczona przez złamanie bez istotnego odkształcenia przekroju poprzecznego (zachowanie sztywne)**”, np.: beton, polimerobeton, kamionka, żeliwo, stal (za wyjątkiem cienkościennych rur stalowych).
- 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**”, np.: rury z żywic epoksydowych wzmacnianych włóknem szklanym (duroplasty) GRP-EP, GRP-UP.

Różnice w klasyfikacji rur

- 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)**”, np.: PVC-U, PE i PP.

Różnice w klasyfikacji rur

Moser* proponuje przyjęcie dla przewodów elastycznych bezpiecznych odkształceń względnych ścianek przewodów od 2,5% (PVC-U) do 5,0% (PE, PP).

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



PKN-CEN/TS
15223

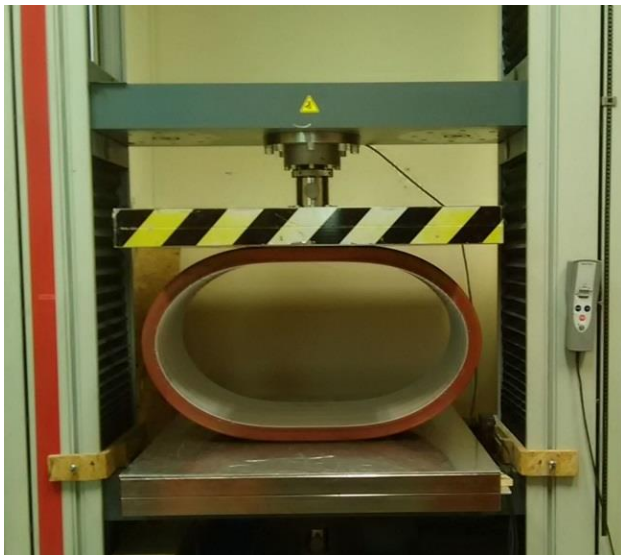
* MOSER A.P., SHUPE O.K., BISHOP R.R.: "Is PVC strain limited after all these years"; Buried Plastics Pipes Technology ASTM STP 1093, September 1990

Różnice w klasyfikacji rur

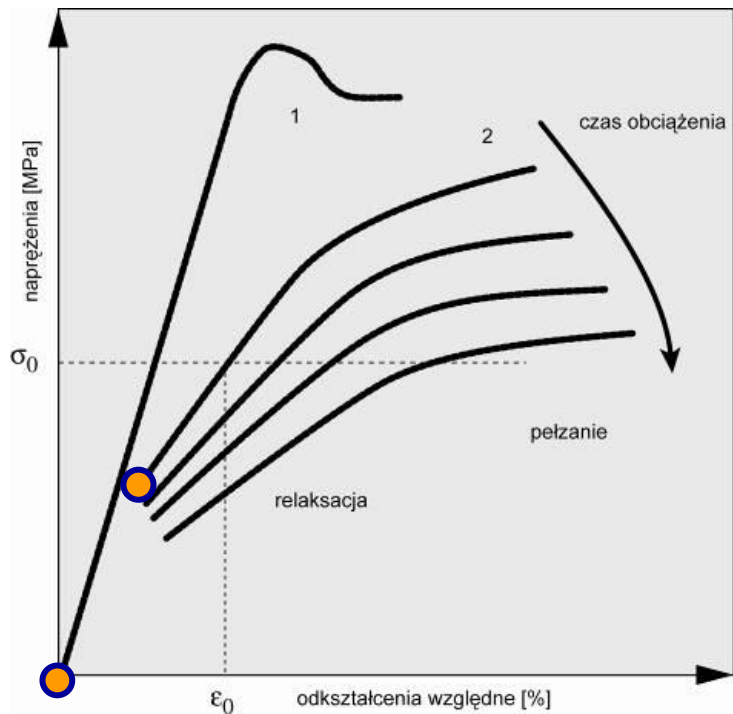
- ✓ Dla rur bezciśnieniowych **nie wymaga** się analizy naprężenia ze względu na **lepkosprężyste** zachowanie oraz **redystrybucję naprężeń** (PKN-CEN/TS 15223 pkt. 4.3 Rury bezciśnieniowe).
- ✓ Wykazano w badaniach Mosera i Jansona, że **odkształcenie materiału nie stanowi ograniczenia** dla wszystkich zastosowań praktycznych.
- ✓ Zarówno konstrukcja rury, jak i jej spójność powinny być sprawdzane za pomocą badania elastyczności obwodowej przy ugięciu 30% (PN-EN ISO 13968:2009). Pozytywny wynik tego badania gwarantuje stabilność na wyboczenie. Badanie takie jest przewidziane w normie dla rur strukturalnych PN-EN 13476, nie dotyczy rur litych.

Różnice w klasyfikacji rur

- ✓ Badanie elastyczności obwodowej przy ugięciu 30%



Różnice w odkształceniach względnych materiałów



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

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

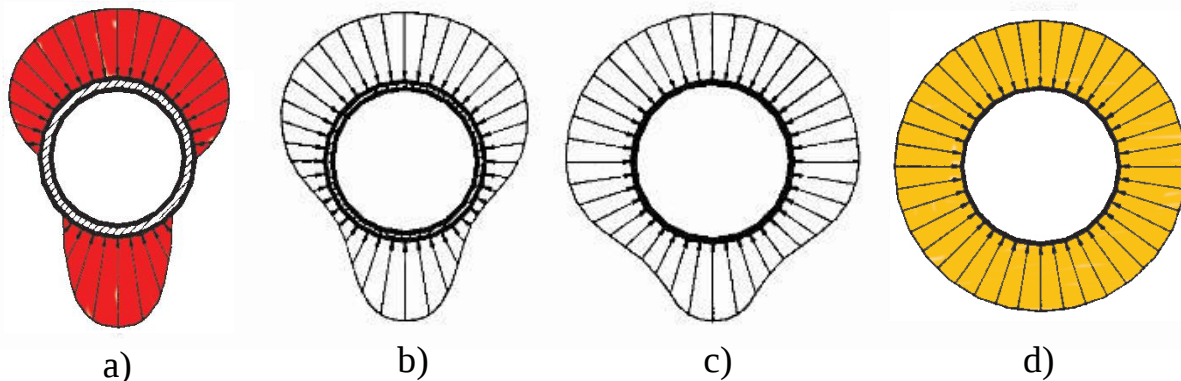
σ - naprężenia [MPa]

ϵ - odkształcenia [%]

E - moduł Younga [MPa]

Różnice w odkształceniach względnych materiałów

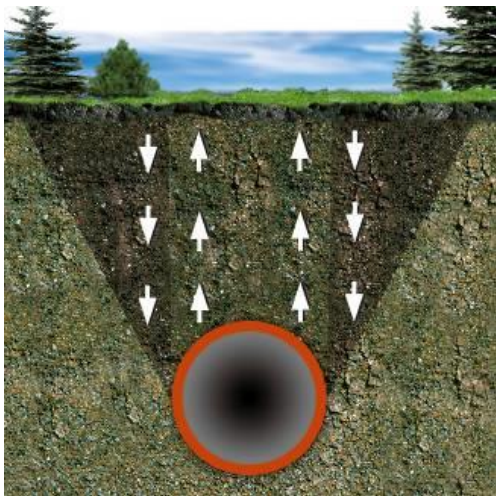
Dla przewodów **sztywnych** wzrost obciążeń zewnętrznych **zwiększa obciążenia** konstrukcji przewodu, natomiast dla przewodów **termoplastycznych** wzrost obciążeń zewnętrznych jest przenoszony na grunt po obu stronach przewodu, powodując **zmniejszenie obciążenia** nad przewodem.



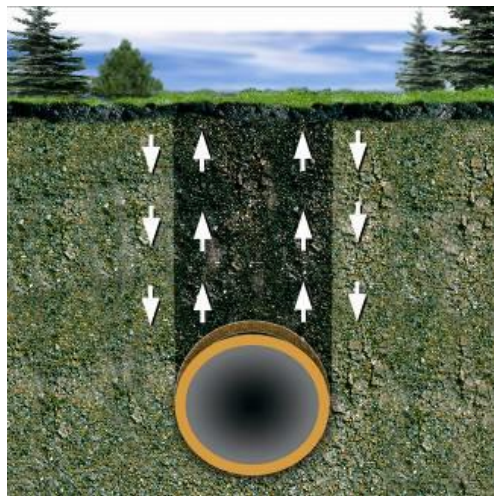
Rozkłady obciążeń według Dreschera dla rury a) sztywnej, b) sprężystej, c) elastycznej, d) idealnie elastycznej w jednakowych warunkach ułożenia i obciążenia

Różnice w przekazywaniu obciążenia

Porównanie zachowania w gruncie rur sztywnych i elastycznych



a)

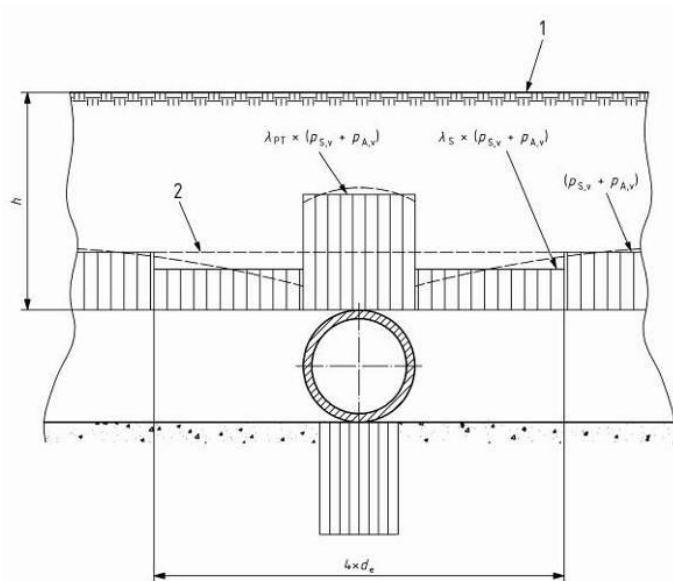


b)

Napór gruntu na rurę a) sztywną b) elastyczną

Różnice w przekazywaniu obciążenia

- ▶ Rozkład obciążeń działających na przewód **sztywny** oraz grunt (CEN/TR 1295-3)



Oznaczenia

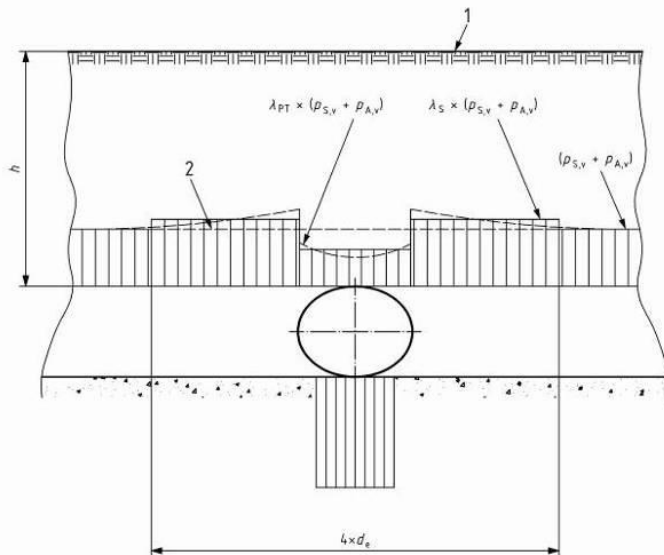
- 1 poziom gruntu
- 2 początkowe pionowe obciążenie gruntu



niekorzystny rozkład obciążeń zwiększenie obciążenia nad rurą i zmniejszenie po jej obu stronach

Różnice w przekazywaniu obciążenia

- Rozkład obciążeń działających na przewód **elastyczny** oraz grunt (CEN/TR 1295-3)



Oznaczenia

- 1 poziom gruntu
- 2 początkowe pionowe obciążenie gruntu



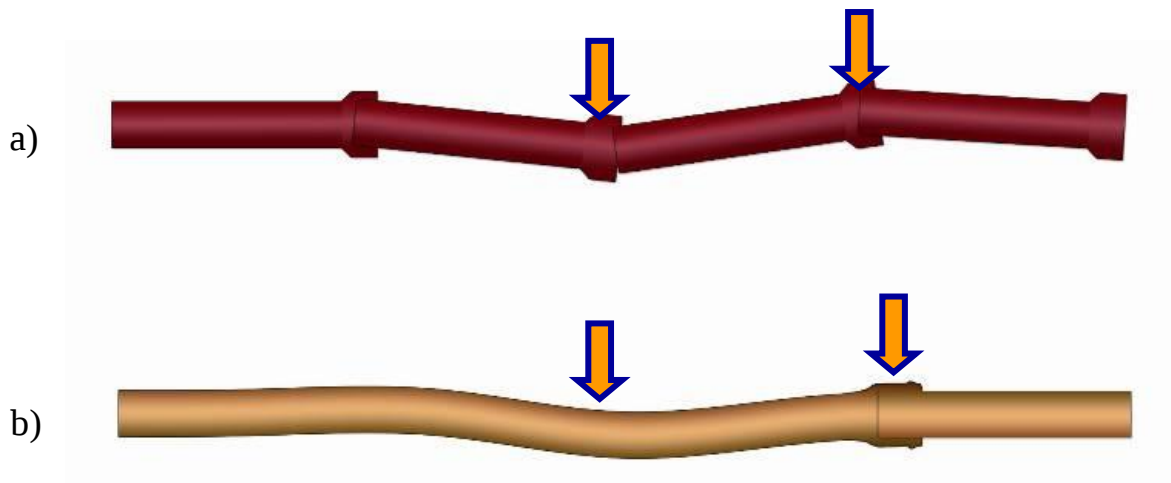
korzystny rozkład obciążeń zmniejszenie obciążenia nad rurą i zwiększenie na grunt po jej obu stronach

Różnice w pracy przewodów w kierunku podłużnym

- ▶ Przewody znajdujące się w gruncie pracują w dwóch stanach statycznych:
 1. **pierścieniowym** (zakłada się jednakowe warunki podłoża wzdłuż osi podłużnej)
 2. **belkowym** (niejednorodne podłoża, różne warunki hydrogeologiczne, zmienne obciążenie zarówno naziemem, jak i obciążeniem z powierzchni wzdłuż osi podłużnej oraz gdy są to tereny szkód górniczych)

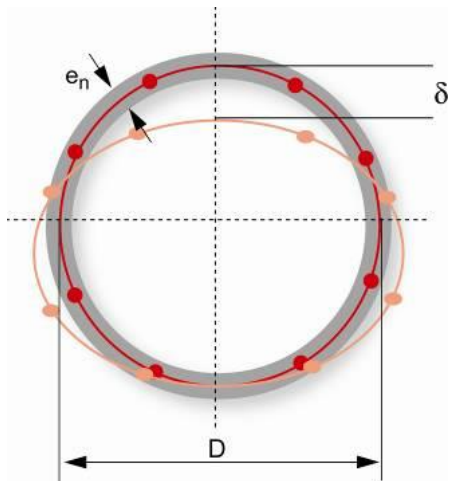
Różnice w pracy przewodów w kierunku podłużnym

Przemieszczenia rur a) sztywnych i b) podatnych



Różnice w kryteriach wymiarowania

- Ugięcia rur do kanalizacji bezciśnieniowej



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

CEN/TS 15223

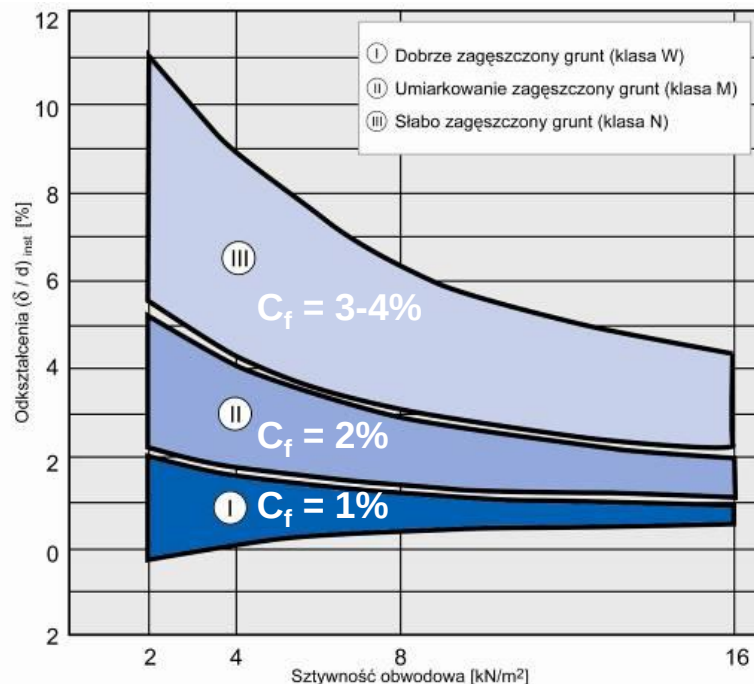
Ugięcie początkowe przewodów elastycznych

- ▶ Wpływ stopnia zagęszczenia gruntu oraz klasy sztywności obwodowej rur na ugięcie

Wykres powstał na podstawie wyników projektu badawczego TEPPFA

Wykres przedstawia początkowe ugięcie przewodów $(\delta / d)_{pocz.}$ w zależności od sztywności przewodu oraz jakości zagęszczenia gruntu

$$(\delta/d)_{końc.} = (\delta/d)_{pocz.} + C_f$$



Właściwości materiałowe i wytrzymałościowe do obliczeń

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 355-500	0,4	$8 \cdot 10^{-5}$	3500	0,05	60
PE 80	0,45	$19 \cdot 10^{-5}$	850	0,07	19
PE 100	0,45	$19 \cdot 10^{-5}$	1100	0,08	21
PP-B	0,42	$12 \cdot 10^{-5}$	1250	0,07	27
PP-HM	0,42	$12 \cdot 10^{-5}$	1700	0,07	31
PP-H	0,42	$12 \cdot 10^{-5}$	1250	0,07	30
PP-R	0,42	$12 \cdot 10^{-5}$	950	0,07	23

Typowe właściwości dla rur termoplastycznych przyjmowane do projektowania (CEN/TS 15223)

Właściwości materiałowe i projektowe rur ciśnieniowych

Materiał	MRS klasyfikacja σ [MPa]	Współczynnik projektowy C_{50} [-]	Współczynnik projektowy C_{100} [-]	Dopuszczalne krótkookresowe naprężenia σ_s [MPa]
PVC-HI	18,0	1,4	1,38	35
PVC 250	25,0	2,0	1,94	42
PVC 315	31,5	1,6	1,58	45
PVC 355	35,5	1,6	1,58	51
PVC 400	40,0	1,6	1,58	57
PVC 450	45,0	1,4	1,38	64
PVC 500	50,0	1,4	1,38	71
PE 80	8,0	1,25	1,23	12,6
PE 100	10,0	1,25	1,23	16

Właściwości materiałów dla rur ciśnieniowych termoplastycznych w temp. 20°C (CEN/TS 15223)

Właściwości materiałowe i projektowe rur ciśnieniowych

- ▶ Powiązanie ogólnego współczynnika eksploatacji (projektowy) C z klasyfikacją ciśnienia PN

$$PN = \frac{10 \sigma_s / S}{C} e \quad S = (d_n - e) / 2 e$$

- ▶ Uwaga: ogólne współczynniki projektowe C_{50} dla PVC i PE są wartościami minimalnymi i dla cieczy szkodliwych dla środowiska lub ludzi, wartości mogą być podwyższone.
- ▶ Współczynnik projektowy dla 100 lat C_{100} nieznacznie różni się od współczynnika dla 50 lat C_{50} , potwierdzając **parametry projektowe sieci na ponad 100 lat.**

Naprężenia i wydłużenia niszczące dla różnych materiałów

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

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

Orientacyjne naprężenia niszczące przy rozciąganiu i wydłużenia niszczące dla różnych materiałów

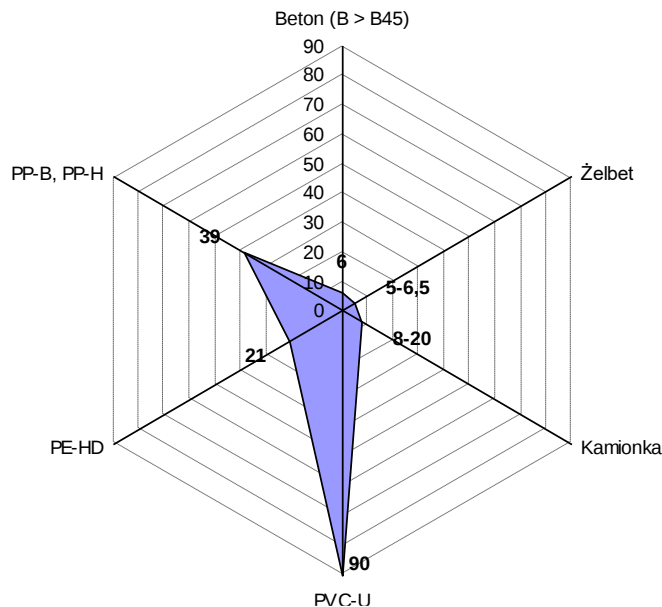
Różnice w wytrzymałości konstrukcji kanałowych

- ▶ Właściwości materiałowe i wytrzymałościowe konstrukcji kanałowych

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	≈ 1,4	90
PE-HD	≥ 800	≈ 0,94	21
PP-B, PP-H	≥ 1 250	≈ 0,90	39

Różnice w wytrzymałości konstrukcji kanałowych

- ▶ 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.

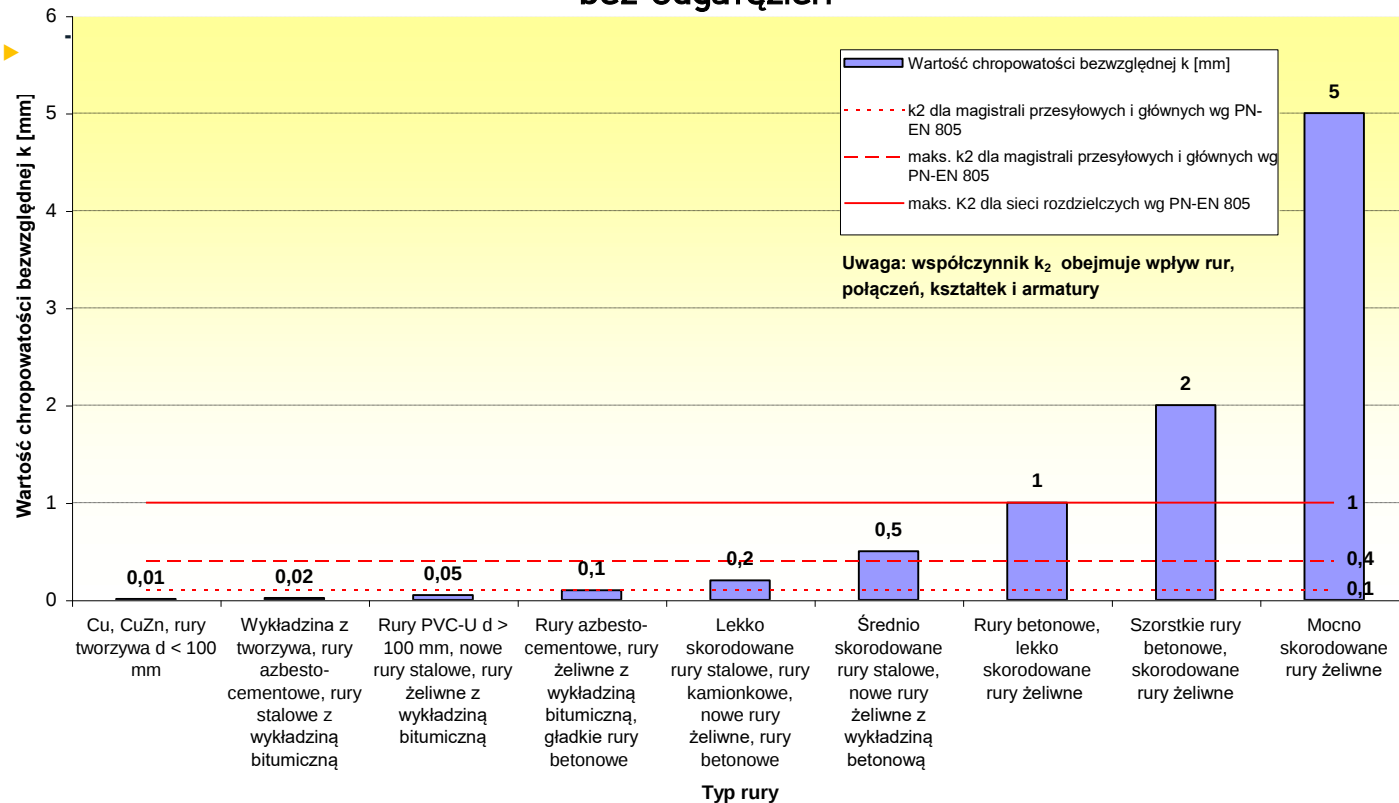


Różnice w doborze hydraulicznym

- ▶ Zgodnie z normą **PN-EN 805** podczas ustalania chropowatości projektowej należy względnić wzrost chropowatości w dłuższym czasie
- ▶ Zgodnie z **CEN/TS 15223** należy zwrócić szczególnie uwagę na **wzrost wartości współczynników chropowatości bezwzględnej (k) wraz z wiekiem** oraz **korozją** eksploatowanych sieci wykonanych z tradycyjnych materiałów
- ▶ Rury z tworzyw posiadają bardzo niskie wartości współczynników chropowatości w porównaniu do materiałów tradycyjnych np. rur betonowych, kamionkowych, żeliwnych.
- ▶ W celu obniżenia chropowatości i korozji rur tradycyjnych np. żeliwnych, stalowych stosuje się wewnętrzne wykładziny z tworzyw lub bitumiczne.

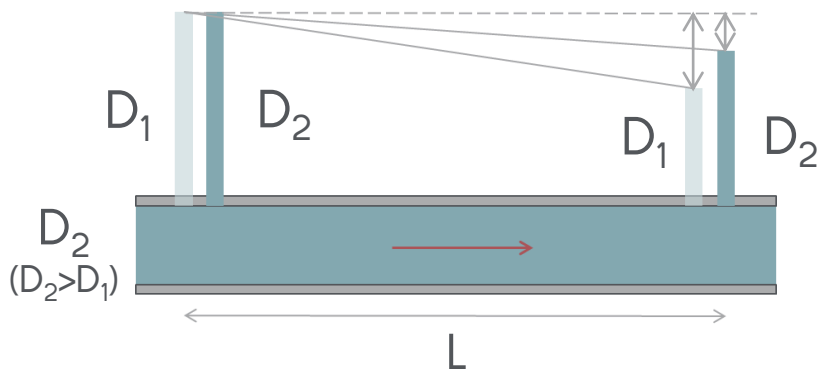
Różnice w doborze hydraulicznym

Wartości współczynników chropowatości bezwzględnej k dla prostych odcinków bez odgałęzień



Różnice w doborze hydraulicznym

- ✓ Bardzo niski współczynnik oporów (tarcia) hydraulicznego λ rur z tworzyw w długim czasie
- ✓ Przy tej samej prędkości przepływu większe pole przekroju poprzecznego rury pozwala na większy przepływ w przewodzie
- ✓ Straty ciśnienia w przewodzie o większym przekroju poprzecznym są mniejsze - optymalizacja hydrauliczna i kosztowa inwestycji



strata
ciśnienia $D_2 < D_1$

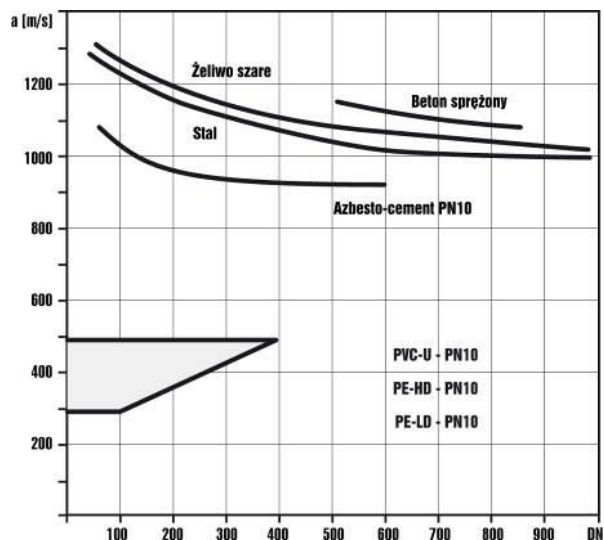
$$Q = v \cdot A$$

$$\Delta h = \lambda \frac{l u^2 \rho}{2 d}$$

Równanie Darcy-Weisbacha

Różnice w rozprzestrzenianiu się uderzenia hydraulicznego

- ▶ Prędkość rozprzestrzeniania się fali uderzeniowej w przewodach wykonanych z różnych materiałów



- **wysokie prędkości rozprzestrzeniania się uderzenia hydraulicznego dla sieci wykonanych z materiałów tradycyjnych o wysokim module sprężystości.**
- **sieci z tworzyw termoplastycznych - elastycznych PE oraz PVC mogą wytrzymać dużo wyższe krótkotrwałe wzrosty naprężeń, bez ryzyka powstania uszkodzeń.**

Wielkość uderzenia hydraulicznego można wyznaczyć z wzoru Żukowskiego (CEN/TS 15223)

Zginanie osiowe jako kryterium projektowe

- ▶ Niezbędnym elementem projektowania przewodu jest **oszacowanie efektów wzdluznych**, których nie uwzględnia większość zintegrowanych metod projektowania w EN 1295-1.
- ▶ **Odkształcenie względne ścianki pod wpływem zginania** prostej rury można obliczyć z następującego wzoru:

$$\varepsilon = \frac{d_n}{2 \cdot R} \cdot 100$$

gdzie

ε - odkształcenie względne ścianki [%]

D - średnica zewnętrzna przewodu [mm]

R - promień gięcia [mm]

- ▶ **Pytanie: ile wynosi dopuszczalne odkształcenie względne ścianki ε dla PE?**

Ugięcia graniczne jako kryterium projektowe dla rur ciśnieniowych

- ▶ Sieci z tworzyw termoplastycznych gładkościennych PE-HD, PVC-U mogą być projektowane z zachowaniem minimalnego promienia gięcia ($R_{\min}$). Wykorzystuje się do tego ich **naturalne elastyczne właściwości**. Gdy rury są zginane mogą ulec wyboczeniu.
- ▶ **Graniczny promień zginania** przewodów ze względu na powstanie wyboczenia (inaczej nazywanym załamaniem) można obliczyć z następującego wzoru:

$$R_{gr} = \frac{d_n^2}{1,12e}$$

gdzie

R_{gr} - graniczny promień zginania rury [mm]

d_n - średnica zewnętrzna przewodu [mm]

e - grubość ścianki przewodu [mm]

Średnica DN [mm]	Rodzaj przewodu	
	PVC-U	PE
≤ 200	$R > 300 \cdot [\text{DN}]$	$R > 250 \cdot [\text{DN}]$
> 200	$R > 500 \cdot [\text{DN}]$	$R > 400 \cdot [\text{DN}]$

Różnice w projektowaniu sieci przy wyższej temperaturze

- ▶ Projektując rurociągi ciśnieniowe 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).

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

Różnice w projektowaniu sieci przy wyższej temperaturze

- ▶ Przy projektowaniu sieci z tworzyw **układanych nad gruntem** należy sprawdzić czy **poziom naprężen rozciągających** wywołanych zmianą temperatury rurociągu w ściankach przewodu nie będzie przekraczał maksymalnych wartości dla danego materiału w przypadku pracy w warunkach bezciśnieniowych lub ciśnieniowych.

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta t \qquad \sigma \leq \sigma_{\max.}$$

gdzie

σ - naprężenia normalne [MPa]

α - współczynnik rozszerzalności liniowej [K⁻¹]

E - moduł sprężystości [MPa]

Δt - różnica temperatur ($\Delta t = t_1 - t_2$) [°C]

t_1 - temperatura otoczenia [°C]

t_2 - temperatura przy układaniu [°C]

Różnice w projektowaniu sieci z uwzględnieniem wody gruntowej

- ▶ Dla sieci wykonanych z **materiałów tradycyjnych** projektowanych w warunkach występowania **wody gruntowej** lub też **gruntów gliniastych (pomijane kryterium)** czynnikiem ograniczającym zastosowanie jest zapewnienie **szczelności połączeń** kielichowych na **podciśnienie (infiltracja wód)**.
- ▶ Normy dla sieci kanalizacyjnych tradycyjnych np. PN-EN 295 (kamionka), PN-EN 1916 (beton) nie przewidują badania szczelności na podciśnienie, tylko na **ciśnienie** 50 kPa (0,5 bar), czyli dotyczą warunków eksfiltracji ścieków, a nie infiltracji wód do wnętrza sieci.
- ▶ Wyroby z tworzyw PP, PVC, PE zgodnie z wymaganiami PN-EN spełniają wymagania szczelności **połączeń** kielichowych na **podciśnienie (infiltracja wód)**, standardowo na ciśnienie -30 kPa (-0,3 bar).

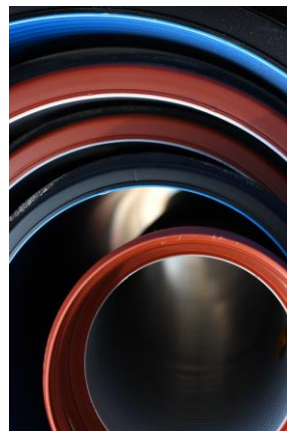
Różnice w projektowaniu sieci z uwzględnieniem wpływu odporności chemicznej

- ▶ Zgodnie z wymogami normy **PN-EN 476**, 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 PN-EN 13476-3, PN-EN 1852-1, PN-EN 1401-1 **są odporne** w szerokim zakresie odczynu pH **na korozję** spowodowaną działaniem między innymi ścieków komunalnych, wody deszczowej, powierzchniowej i gruntowej.

Różnice w projektowaniu sieci z uwzględnieniem wpływu odporności chemicznej

- ▶ Informacje dotyczące odporności chemicznej materiałów PP, PE i PVC-U są podane w wytycznych **ISO/TR 10358**, a dotyczące materiałów uszczelnień gumowych w **ISO/TR 7620**.
- ▶ Jeżeli woda lub ścieki mają pH 6,5–5,5, to zgodnie z normą **DIN 4030** 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 CO_2 , NH_4^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} .
- ▶ 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.

- ▶ Dla sieci bezciśnieniowych i ciśnieniowych wykonanych z materiałów tradycyjnych oraz tworzyw termoplastycznych istnieją **znaczące różnice w kryteriach projektowych** (np.: **dopuszczalne odkształcenie względne ścianki, rozkład obciążeń, zachowanie się w gruncie**). Właściwości materiałowe rur tradycyjnych oraz termoplastycznych mają istotny wpływ na pracę rur w gruncie.
- ▶ Podczas projektowania sieci należy stosować wytyczne **CEN/TS 15223, które** podają **parametry projektowe** podziemnych systemów rurowych z tworzyw termoplastycznych.



- ▶ Najnowsze normy i wytyczne CEN między innymi CEN/TR 1295-2, CEN/TR 1295-3, PN-EN 13476, PN-C-89224, opierają się na **wieloletnich badaniach** zachowania się systemów rurowych z tworzyw termoplastycznych. Szczególnie istotne są wyniki europejskiego projektu badawczego „**Projektowanie podziemnych rurociągów z tworzyw termoplastycznych**” zrealizowanego przez **TEPPFA** oraz **Plastics Europe**.
- ▶ Prawidłowo zaprojektowane sieci oparte o **potwierdzone parametry projektowe** podziemnych systemów przewodów rurowych z **tworzyw termoplastycznych** zapewniają **długotrwałą pracę ponad 100 lat**.



Dziękuję!

Zapraszam do odwiedzenia www.prik.pl

Polskie Stowarzyszenie Producentów Rur i Kształtek
z Tworzyw Sztucznych

