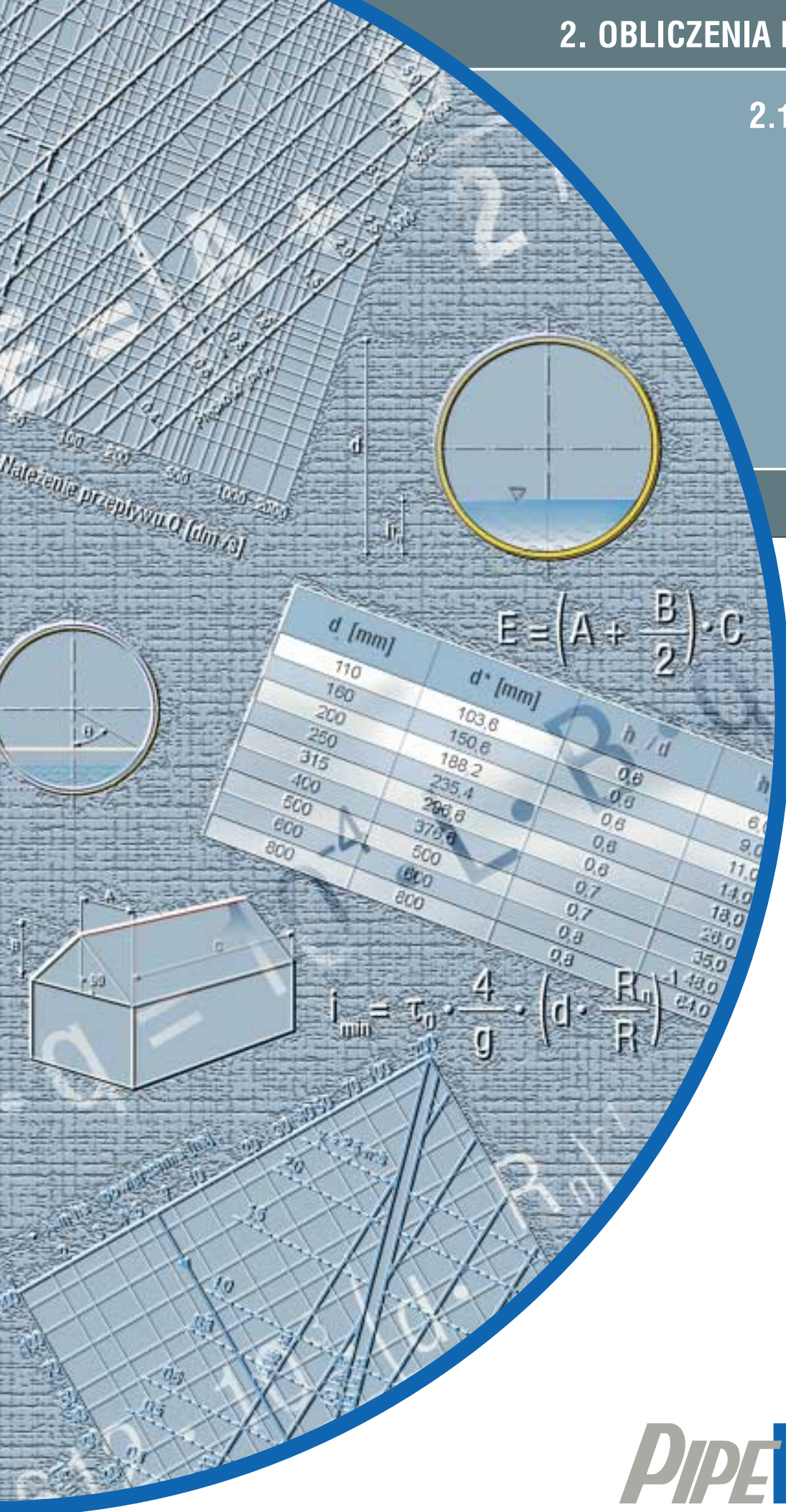


## 2. OBLICZENIA RUROCIĄGÓW

### 2.1. OBLICZENIA

#### PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH



# OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

## 1. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA I WZORY

Obliczenia hydrauliczne przewodów polegają na wyznaczeniu średnicy rur, prędkości przepływu, napełniania przekroju, spadku hydraulicznego. Obliczenia przeprowadza się dla poszczególnych odcinków sieci między węzłami na podstawie uprzednio określonego przepływu. Obliczenia przeprowadzane są przy założeniu warunków ruchu ustalonego i jednostajnego tzn. przy założeniu, że natężenie przepływu, spadek hydrauliczny, średnica i chropowatość ścian rurociągu nie zmieniają się na danym

odcinku przewodu. Podstawowym równaniem do obliczania natężeń przepływu jest równanie ciągłości:

$$Q = F \cdot v; F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

dla przekroju kołowego

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot v}{4}$$

gdzie:

Q - obliczeniowe natężenie przepływu [m<sup>3</sup>/s]  
 F - powierzchnia przekroju [m<sup>2</sup>]  
 v - średnia prędkość przepływu [m/s]  
 d - wewnętrzna średnica przewodu [m]

Opory ruchu na długości przewodów obliczane są na podstawie jednostkowego spadku hydraulicznego. Jednostkowy spadek hydrauliczny dla przewodów zamkniętych, przy ustalonym ruchu burzliwym obliczany jest ze wzoru Darcy – Weisbacha:

$$i = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Współczynnik oporów hydraulicznych ( $\lambda$ ) określany jest ze wzoru Colebrooka – White'a:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot d} \right)$$

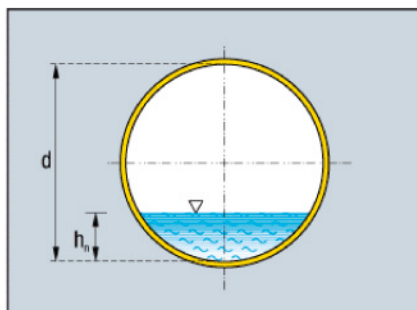
$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

gdzie:

i - jednostkowe straty na pokonanie oporów tarcia, równe spadkowi dna kanału przy przepływie o swobodnym zwierciadle, lub nachyleniu linii ciśnień przy przepływie pod ciśnieniem, [-]  
 d - średnica wewnętrzna przewodu, [m]  
 v - średnia prędkość przepływu, [m/s]  
 g - przyspieszenie ziemskie, [m/s<sup>2</sup>]  
 $\lambda$  - współczynnik oporów liniowych  
 Re - liczba Reynoldsa  
 $\nu$  - współczynnik lepkości kinematycznej, [m<sup>2</sup>/s];  
 (dla wody o temp. 10°C  
 $\nu = 1,308 \cdot 10^{-6}$  m/s )  
 k - współczynnik chropowatości bezwzględnej [mm]

Do obliczeń natężenia przepływu przy częściowym napełnieniu przewodu stosowany jest wzór Bretting'a:

$$\frac{q_n}{Q} = 0,46 - 0,5 \cos \left( \pi \cdot \frac{h_n}{d} \right) + 0,04 \cos \left( 2\pi \cdot \frac{h_n}{d} \right)$$



gdzie:

Q - natężenie przepływu przy całkowitym napełnieniu kanału [m<sup>3</sup>/s],  
 q<sub>n</sub> - natężenie przepływu przy częściowym napełnieniu kanału [m<sup>3</sup>/s],  
 d - średnica wewnętrzna kanału [m],  
 h<sub>n</sub> - wysokość częściowego napełnienia kanału [m],

Parametry hydrauliczne przewodów w powyższych wzorach występują w formie uwikłanej. Wykonywanie obliczeń bezpośrednio ze wzorów wymaga stosowania metody "prób i błędów" jest więc żmudne

i kłopotliwe. Z tego względu w praktyce projektowej korzysta się z odpowiednich nomogramów i wykresów. Firma Pipelife opracowała odpowiednie nomogramy i programy komputerowe do doboru paramet-

trów hydraulicznych dla rur z różnych materiałów produkowanych przez zakład.

Na życzenie Klienta mogą być udostępnione nomogramy lub dyskietki z programami.

## OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

### 2. OBLICZENIA HYDRAULICZNE RUR CIŚNIENIOWYCH Z PVC I PE

Ustalenie średnic przewodów przeprowadza się na podstawie przepływów cieczy przez poszczególne odcinki przewodów przy przyjętej średniej prędkości przepływu.

Średnie prędkości przepływu w przewodach wodociągowych ograniczone są ze względów ekonomicznych oraz ze względu na możliwości uderzeń hydraulicznych, które

są bardziej niebezpieczne przy większych prędkościach.

Prędkości przepływu powinny zawierać się w przybliżeniu w granicach: 0,5 ÷ 0,8 m/s (1,0 m/s) w przewodach o średnicach < 300mm; 0,9 ÷ 1,5 m/s w przewodach o średnicach > 300 mm.

Prędkości przepływu poniżej 0,5 m/s są niekorzystne ze względu na utrzymanie czystości przewodu (powstawanie osadów), a prędkości powyżej 1,5 m/s mogą wywoływać duże spadki ciśnienia oraz niebezpieczne uderzenia hydrauliczne,

#### Przewody z PVC

Dla przewodów z PVC, zarówno nowych jak i będących w eksploatacji, firma Pipelife stosuje następujące wartości współczynnika chropowatości bezwzględnej (k):

k=0,01 mm – dla przewodów o średnicy  $d_n \leq 200$  mm, o małej ilości przyłączy lub odgałęzień i armatury (Nomogram Nr 1)  
k=0,05 mm – dla przewodów o średnicy  $d_n > 200$  mm, o małej ilo-

ści przyłączy lub odgałęzień i armatury (Nomogram Nr 1)  
k=0,1 mm – dla przewodów o dużej ilości odgałęzień i armatury (Nomogram Nr 2).

#### Przewody z PE

W przypadku rur z polietylenu firma Pipelife stosuje następujące wartości współczynnika chropowatości bezwzględnej (k):

k=0,01 mm – dla przewodów o średnicy  $d_n \leq 200$  mm (Nomogram Nr 3),  
k=0,015 mm – dla przewodów o średnicy  $d_n > 200$  mm (Nomogram Nr 3).

W tym przypadku wielkość oporów miejscowych na elementach sieci (łuki, trójniki, zawory), nie jest uwzględniona.

Dla typowych rozwiązań sieci, wielkości oporów miejscowych można przyjmować w wysokości 2 – 5% wielkości strat liniowych.

#### Miejscowe straty ciśnienia

W projektach, w których wymagane jest uwzględnienie miejscowych strat ciśnienia w poszczególnych elementach (tak w przewodach z PVC jak i z PE) można korzystać ze wzoru na obliczanie strat miejscowych:

$$\Delta h = \xi \frac{V^2}{2g}$$

gdzie:

$\Delta h$  - strata ciśnienia [m],  
 $\xi$  - współczynnik oporów miejscowych, zależny od rodzaju przeszkody,  
 $V$  - prędkości przepływu [m/s],  
 $g$  - przyspieszenie ziemskie [m/s<sup>2</sup>]

### 3. OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW PRZY PRZEPŁYWIE O SWOBODNYM ZWIERCIADLE

#### KRZYWE SPRAWNOŚCI PRZEKROJU KOŁOWEGO

Warunki przepływu w przewodach zamkniętych przy częściowym napełnieniu są zróżnicowane, zależnie od stopnia ich napełnienia. Tak więc uzupełnieniem nomogramów do ustalenia parametrów hydraulicznych przewodów przy całkowitym napełnieniu są krzywe spraw-

ności przekroju kołowego wyznaczające zależności między przepływami  $q_n$  i prędkościami  $V_n$  przy rzeczywistych napełnieniach od wielkości przepływów  $Q$  i prędkości  $V$  – przy całkowitym napełnieniu przewodu. Nomogram Nr 4 przedstawia krzywe sprawności dla prze-

kroju kołowego wyznaczone na podstawie formuły Thormanna, uwzględniającej wpływ tarcia pomiędzy zwierciadłem ścieków, a powierzchnią (zawartym pomiędzy zwierciadłem ścieków i powierzchnią zwilżonego sklepienia kanału).

#### OBLICZENIA PRZEWODÓW KANALIZACJI ZEWNĘTRZNEJ

Podstawą do wymiarowania sieci kanalizacyjnych są wyliczone maksymalne przepływy oraz ustalone w rozwiązaniu wysokościowym sieci spadki kanałów. Projektowane

spadki kanału muszą zapewniać uzyskanie najmniejszych prędkości zapewniających tzw. samoczyszczenie kanałów.

Przy obliczeniach hydraulicznych przewodów z rur produkowanych przez Pipelife zaleca się stosowanie następujących wartości współczynnika chropowatości bezwzględnej (k):

## OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

### Rury z PVC o ścianach gładkich

$k=0,25$  mm dla kanałów tranzytowych bez specjalnych urządzeń kanałowych, bez odpływów bocznych lub przy małej ich liczbie, (Nomogram Nr 5),  
 $k=0,4$  mm – dla kanałów z bocznymi dopływami i uzbrojeniem (przy uwzględnieniu oporów miejscowych na łukach, trójnikach itp. (Nomogram Nr 6).

Biorąc pod uwagę względną dokładność odczytów z nomogramów oraz teoretyczną wartość współczynnika  $k$ , w obliczeniach można posługiwać się Nomogramami dla rur klasy T-SN = 8 kPa, uwzględniając procentowo większe przepływy:

- o 6,0% dla rur klasy L-SN = 2 kPa
- o 3,5% dla rur klasy N-SN = 4 kPa



**UWAGA:** Na nomogramach Nr 5 i 6, rury opisane zostały przez ich średnice zewnętrzne ( $d_n$ ), jednak podane wartości  $v$  i  $Q$  obliczone są na podstawie wewnętrznych średnic rur ( $d_i$ ) klasy T (o stosunku grubości ścianki do średnicy rury:  $\frac{e_n}{d_n} = 0,03$

### Rury z PP Pragma®

$k=0,25$  mm dla kanałów tranzytowych bez specjalnych urządzeń kanałowych, bez odpływów bocznych lub przy małej ich liczbie, (Nomogram Nr 7),  
 $k=0,4$  mm – dla kanałów z bocznymi dopływami i uzbrojeniem (przy uwzględnieniu oporów

miejscowych na łukach, trójnikach itp. (Nomogram Nr 8 - dla rur Pragma®).



**UWAGA:** Nomogram nr 7 i nr 8 opisany jest wg średnic zewnętrznych ( $d_n$ ), ale podane wartości  $v$  i  $Q$  obliczone zostały na podstawie średnic wewnętrznych rur ( $d_i$ ).

## SPADKI, PRĘDKOŚCI PRZEPŁYWU I NAPEŁNIENIA PRZEWODÓW KANALIZACJI ZEWNĘTRZNEJ

### Spadki i prędkości minimalne

Podstawowym wymaganiem przy doborze spadków kanałów jest zapewnienie w sieci warunków samoczyszczenia, tj. uzyskania w kanałach najmniejszych prędkości, które nie dopuszczają do tworzenia na ich dnie osadów.

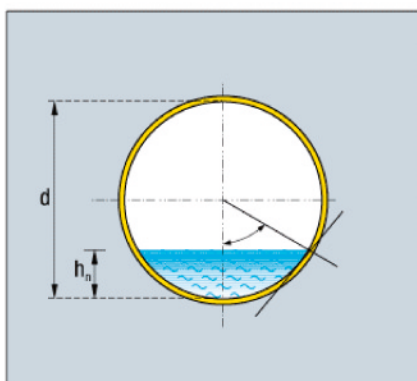
Cząstki stałe, np. piasku, mogą się osadzać na dnie kanału aż do jego całkowitej wysokości zgodnie z kątem tarcia cząstek:

Jeśli  $\theta=35^\circ$  (odpowiedni kąt tarcia dla cząstek stałych zawartych w ściekach), wtedy:

Obszar, w którym może występować osadzanie się cząstek, jest ograniczony do względnie płaskiej strefy kanału (rys. obok).

$$\frac{h_n}{d} = \frac{1}{2} (1 - \cos \theta)$$

$$\frac{h_n}{d} = 0,1$$



gdzie:

$h_n$  - wysokość napełnienia kanału [m];  
 $d$  - średnica wewnętrzna [m]

Prędkości spełniające warunek samoczyszczenia, przy całkowitym napełnieniu kanału, nie powinny być mniejsze niż:

$V_{socz} = 0,8$  m/s – w kanalizacji sanitarnej,  
 $V_{socz} = 0,6$  m/s – w kanalizacji deszczowej,  
 $V_{socz} = 1,0$  m/s – w kanalizacji ogólnospławnej.

## OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

Prędkości (zalecane do wyznaczania spadków) nie powinny być traktowane jako stałe, lecz uzależnione od średnicy kanału i powinny wzrastać wraz ze średnicą.

Aby powyższy warunek został spełniony, minimalne spadki kanałów rurowych można przyjmować wg praktycznej formuły:

$$i_{\min} = \frac{1}{d}$$

gdzie:  
d - średnica wewnętrzna [m].

Minimalny spadek hydrauliczny spełniający warunek samoczyszczenia kanału, może być również wyrażony jako opór tarcia między ścianką danego przekroju a transportowanymi ściekami.

Minimalny spadek hydrauliczny można określić ze wzoru na średnie graniczne naprężenie styczne "τ":

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot i$$

gdzie:  
γ - ciężar właściwy ścieków [kg/m<sup>3</sup>];  
R - promień hydrauliczny [m];  
i - spadek hydrauliczny [‰].

Rzeczywiste naprężenie styczne τ<sub>0</sub> wyraża się wzorem:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i \cdot k_1$$

gdzie:  
R =  $\frac{d}{4}$  dla kanałów kołowych całkowicie napełnionych  
k<sub>1</sub> - współczynnik korekcyjny  $k_1 = f\left(\frac{h_n}{d}\right)$   
d - średnica wewnętrzna [m]  
k<sub>1</sub> odczytuje się z Nomogramu Nr 4 z krzywej  $\frac{R_n}{R}$   
stąd:  $\tau_0 = \gamma \cdot i \cdot \frac{d}{4} \cdot \frac{R_n}{R}$

Po odpowiednim przekształceniu wzoru i wstawieniu wartości τ, minimalny spadek hydrauliczny będzie wyrażony wzorem:

$$i_{\min} = \tau_0 \cdot \frac{4}{g} \cdot \left(d \cdot \frac{R_n}{R}\right)^{-1}$$

Warunek będzie spełniony jeżeli  
τ<sub>0</sub> ≥ 1,5 Pa dla wód deszczowych ;  
τ<sub>0</sub> ≥ 2,0 Pa dla ścieków bytowo-gospodarczych

dla wód deszczowych:

$$i_{\min} = 0,612 \cdot 10^{-3} \cdot \left(d \cdot \frac{R_n}{R}\right)^{-1}$$

dla ścieków bytowo-gospodarczych:

$$i_{\min} = 0,815 \cdot 10^{-3} \cdot \left(d \cdot \frac{R_n}{R}\right)^{-1}$$

### Spadki i prędkości maksymalne

Największe dopuszczalne spadki rurociągów wynikają z ograniczenia maksymalnych dopuszczalnych prędkości przepływu ścieków. Wiąże się to ze ścieraniem materiału ścianki rury, zwłaszcza w dolnej części tam gdzie ścieki niosą duże ilości piasku i innych zanieczyszczeń.

Liczne badania rur z tworzyw sztucznych potwierdziły dużą ich odporność na ścieranie i korozję, znacznie przekraczającą odporność rur betonowych, ceramicznych i żelbetonowych. Ścieralność rur z tworzyw sztucznych, w wyniku

transportu zawieszin zawierających piasek, oceniana jest na mniej niż 0,5mm w ciągu 100 lat eksploatacji.

Mimo znacznej odporności materiału rur z tworzyw sztucznych, możliwość niszczenia ścianek przewodów w wyniku abrazji i korozji powinna być brana pod uwagę przy projektowaniu systemów kanalizacyjnych. Firma Pipelife zaleca, aby prędkości maksymalne nie przekraczały 5,0 m/s. Odpowiadające tym prędkościom spadki maksymalne będą zależały od średnicy przewodu i przyjętego napełnienia. Orientacyjne wielkości spadków rurociągów podane są obok.

#### SPADKI PRZEWODÓW KOŁOWYCH PRZY MAKSYMALNYCH DOPUSZCZALNYCH PRĘDKOŚCIACH.

Średnica rury [mm]	Spadek [%]
	v = 5 m/s
200	23,0
250	16,7
300	13,2
400	9,0
500	6,7
600	5,2
700	4,2
800	3,7
900	3,0
1000	2,7

## OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

### OBLICZENIA HYDRAULICZNE SYSTEMÓW DRENAŻY ROLNICZYCH I BUDOWLANYCH

Podstawą do wymiarowania rurociągów drenarskich są obliczeniowe przepływy ( $Q$ ) oraz spadki rurociągów ( $i$ ) ustalone w rozwiązaniach wysokościowych sieci drenarskich.

Perforowane rurociągi drenarskie są zasilane wodą na całej

długości, występuje więc przepływ niestabilny, niejednostajny. Jednak średnicę rurociągów dobiera się dla maksymalnego natężenia przepływu na końcu danego odcinka obliczeniowego i na całym odcinku przyjmuje się jednakową średnicę.

Do doboru średnic rurociągów drenarskich stosowane są wzory Prandtla – Coolebrook'a i Darcy - Weisbach'a, przy całkowitym napętnieniu oraz krzywa sprawności przekroju kołowego (Nomogram Nr 4).

Dla rur drenarskich karbowanych PVC do obliczenia strumienia ścieków przepływających przez rurę całkowicie napętnioną można stosować wzór Prandtla - Colebrook'a:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \left[ -2,0 \cdot \log \left( \frac{2,51 \cdot v}{d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot i}} + \frac{k}{3,71} \right) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot i} \right]$$

Przy założeniu współczynnika  $k = 2,0$  mm dla rur drenarskich karbowanych z PVC opracowano nomogram do określania średnic zbieracza i wydajności sączków (Nomogram Nr 9)

gdzie:

- $Q$  - przepływ przy całkowitym napętnionym kanale
- $k$  - współczynnik chropowatości bezwzględnej [m]
- $d$  - średnica wewnętrzna przewodu [m]
- $v$  - prędkość [m/s]
- $i$  - spadek [‰]

#### Systemy drenarskie użytków rolnych

Przepływy obliczeniowe drenaży użytków rolnych oblicza się na podstawie norm odpływów jednostkowych, ustalonych w oparciu o średnie roczne opady atmosferyczne, skład mechaniczny gleb i spadki powierzchni terenu oraz wielkość odwadnianej powierzchni.

Projektowane spadki rurociągów drenarskich muszą zapewnić samoczyszczenie się rurociągów z osadów które mogą dostawać się do wnętrza przez otwory perforacji z dopływającą wodą.

Przepływy wody w rurociągach drenarskich (a zwłaszcza w sączkach) odbywają się najczęściej przy niewielkim napętnieniu, a więc i przy małych prędkościach. Tylko przez kilka lub kilkanaście dni w roku, po roztopach wiosennych i długotrwałych obfitych opadach, napętnienie rurociągów jest duże, prędkości przepływu wody największe i wtedy następuje usunięcie z rurociągów większych ilości osadów. Z tego względu minimalne prędkości wody w drenażach przy całkowitym napętnieniu powinny wynosić:

- $\geq 0,15$  m/s – w glebach związłych i średnio związłych,
- $\geq 0,24$  m/s – w glebach pylastych i żelazistych, przy zabezpieczeniu drenaży materiałem filtracyjnym,
- $\geq 0,35$  m/s – w glebach kurzakowych i pylastych, silnie żelazionych.

Maksymalne prędkości przepływu nie powinny przekraczać 1,0 m/s w glebach lekkich oraz 1,2 m/s w glebach średnich i ciężkich. Na terenach górskich i podgórskich o wyraźnie zbitym podłożu dopuszcza się 2 m/s. Zbyt duże spadki i prędkości przepływu zagrażają trwałości rurociągów dre-

narskich, ze względu na możliwość przepływu wody w zasypie na zewnętrzny grunt i wymywanie cząstek gruntu.

Uzyskiwanie odpowiednich prędkości związane jest z zapewnieniem odpowiednich spadków rurociągów podanych w tabeli poniżej.

MINIMALNE I MAKSYMALNE SPADKI RUROCIĄGÓW DRENARSKICH								
[%]	Średnice rurociągów $d_n$ [mm]							
	50	65	80	100	125	160	200	250
Minimalne*	3 (6)	2,5 (5)	2 (4)	1,5 (3)	1,5 (2,5)	1,5 (2,5)	1,5 (2)	1,5 (2)
Maksymalne								
• piaski, gliny piaszczyste, gliny lekkie oraz pyły piaszczyste i zwykłe	100	65	50	30	20	15	15	10
• gliny średnie, ciężkie, bardzo ciężkie, ility, pyły gliniaste i pyły ilaste	125	90	75	40	25	20	16	13

\*) spadki podane w nawiasach dotyczą terenów, gdzie występuje zagrożenie zamulania drenaży cząstkami gleby i związkami żelaza

## OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

### Ustalenie średnic sączków i zbieraczy

W drenowaniu systematycznym użytków rolnych nie oblicza się średnic sączków. Stosuje się sączki z rur perforowanych o średnicy 50mm, z zachowaniem odpowiedniej długości sączków. W praktyce długość sączków nie powinna przekraczać 250 mm, a na terenach płaskich, gdzie konieczne jest stosowanie spadków minimalnych 150mm.

Do wykonywania zbieraczy oraz sączków drenaży kombinowanych i niesystematycznych stosuje się rury większych średnic  $\geq 65$ mm. Przepływ obliczeniowy ustala się na podstawie wzoru:

$$Q = A \cdot q = 10^{-4} \cdot L \cdot B \cdot q$$

gdzie:

Q - natężenie przepływu [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ]

A - odwadniana powierzchnia [ha]

q - norma odpływu jednostkowego [ $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$ ]

L - rozstaw sączków (lub szerokość powierzchni odwadnianej), [m]

B - sumaryczna długość sączków (lub długość rurociągu drenarskiego), [m]

### NORMY ODPŁYWU JEDNOSTKOWEGO q [ $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$ ]

Gatunek gleby	Spadek terenu [%]	Normy odpływu przy średnich opadach rocznych [mm]					
		< 600	600 - 700	700 - 800	800 - 900	900 - 1000	> 1000
Gleby zawierające powyżej 50% części spławialnych o średnicy < 0,02 mm	< 20	0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,80	0,80 - 1,20	1,20 - 1,50	1,8
	20-40	0,40	0,40 - 0,55	0,55 - 0,80	0,80 - 1,20		
	>20	0,35	0,35 - 0,50	0,50 - 0,80	0,80 - 1,20		
Gleby zawierające 20 - 50% części spławialnych o średnicy < 0,02 mm	< 20	0,50	0,50 - 0,65	0,65 - 0,80	0,85 - 1,50	1,50 - 1,80	2,00
	20-40	0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,85	0,85 - 1,50		
	>20	0,40	0,40 - 0,55	0,55 - 0,85	0,85 - 1,50		
Gleby zawierające powyżej 50% części spławialnych o średnicy < 0,02 mm	< 20	0,55	0,55 - 0,70	0,70 - 0,90	0,90 - 1,50	1,50 - 1,80	2,00
	20-40	0,50	0,50 - 0,65	0,65 - 0,90	0,90 - 1,50		
	>20	0,50	0,50 - 0,65	0,65 - 0,90	0,90 - 1,50		

Do obliczania średnich zbieraczy należy przyjmować normę odpływu z dokładnością do 0,05  $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$

Podane w tabeli normy należy zwiększyć w przypadku drenowania częściowego i niesystematycznego, stosując następujące współczynniki ujęte w tabeli:

### WSPÓŁCZYNNIKI DO OKREŚLANIA NORM ODPŁYWU PRZY DRENOWANIU CZĘŚCIOWYM I NIESYSTEMATYCZNYM

Stopień zasilania terenów wodami napływającymi z obszarów przyległych i warunki ich odpływu	Wartości współczynnika	
	Przy drenowaniu częściowym	Przy drenowaniu niesystematycznym
Tereny bez wyraźnego napływu wód z obszarów przyległych (spadki obszarów przyległych do 20%) lub obszarów o dobrych warunkach odpływu	1,0	1,5
Tereny o utrudnionych warunkach odpływu wód powierzchniowych, intensywnie zasilane spływami z obszarów przyległych (spadki obszarów przyległych > 20%)	1,2	1,8
Tereny bezodpływowe (kotliny) intensywnie zasilane spływami z obszarów przyległych	1,5	2,2

## OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

W przypadku ustalania rozstawu sączków na podstawie wzorów hydraulicznych, wartości miarodaj-

nych norm odpływu jednostkowego z terenów objętych drenowaniem

należy przyjmować zgodnie z poniższą tabelą:

MIARODAJNE ODPŁYWY DOBOWE $q$ [ $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$ ] NA TERENACH TRWALE PODMOKŁYCH						
Gatunek gleby	Średni opad roczny z wielolecia [mm]					
	< 600		600 - 700		700 - 800	
	Odpływ $q$					
	mm/dobę	$\text{dm}^3/\text{h} \cdot \text{ha}$	mm/dobę	$\text{dm}^3/\text{h} \cdot \text{ha}$	mm/dobę	$\text{dm}^3/\text{h} \cdot \text{ha}$
Gleby zawierające 20 - 50% części spławialnych o średnicy < 0,02 mm	5,00	0,60	5,00-6,00	0,60-0,70	6,00-7,50	0,70-0,85
Gleby zawierające powyżej 50% części spławialnych o średnicy < 0,02 mm	5,50	0,65	5,50-6,50	0,75	6,50-8,00	0,75-0,95

Przy ustalaniu rozstawu, należy przyjmować  $q$  z zaokrągleniem do

0,05 mm/dobę, przy obliczaniu średnic zbieraczy z dokładnością do  $0,05 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$

MIARODAJNE ODPŁYWY DOBOWE $q$ [ $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$ ] WG OPRACOWAŃ NIEMIECKICH						
Gatunek gleby	Średni opad roczny z wielolecia [mm]					
	< 600		600 - 1000		>1000	
	Odpływ $q$					
	mm/dobę	$\text{dm}^3/\text{h} \cdot \text{ha}$	mm/dobę	$\text{dm}^3/\text{h} \cdot \text{ha}$	mm/dobę	$\text{dm}^3/\text{h} \cdot \text{ha}$
Odpływ ze zbieracza		0,8		1,0		2,0
Wysokość odpływu sączków	7		9		17	

Przeliczenie jednostek:

$$1 \text{ mm opadu} = 0,1 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 = 1\text{l}/\text{m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha} = 1000 \text{ m}^3/\text{km}^2$$

$$1 \text{ doba} = 86400 \text{ s}$$

$$1 \text{ mm/dobę} = 0,116 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$$

$$1 \text{ l/s} \cdot \text{ha} = 8,64 \text{ mm/dobę}$$

Do wykonywania systemów odwadniających użytków rolnych firma Pipelife oferuje karbowane rury drenarskie z PVC i z PP Pragma® z perforacją lub bez. Do wykonywania zbieraczy mogą być też wykorzystywane rury kanalizacyjne z PVC o ściankach gładkich lub rury Pragma® z PP.

Do obliczeń hydraulicznych rurociągów drenarskich firma Pipelife przygotowała nomogramy dla następujących wartości chropowatości bezwzględnej (k):

### Rury karbowane z PVC

$k=0,25 \text{ mm}$  – Nomogram Nr 9.

### Rury o podwójnej ściance z PP Pragma®

$k=0,25 \text{ mm}$  – Nomogram Nr 10.

W przypadku wykonywania zbieraczy z rur kanalizacyjnych z PVC należy korzystać z odpowiednich nomogramów (Nr 5 i 6) opracowanych dla tych rur, a dla rur Pragma® odpowiednio nomogramy nr 7 i 8.



## OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

### Drenaże budowlane

Obliczenia hydrauliczne rurociągów drenaży budowlanych mają na celu ustalenie średnic rurociągów drenażowych i kolektorów odprowadzających oraz sprawdzenie granicznych prędkości maksymalnych i minimalnych.

Przepływ obliczeniowy ustalony jest na podstawie obliczeń hydrogeologicznych z uwzględnieniem układu warstw, współczynników filtracji gruntu, warunków zasilania wód gruntowych itp.

Podstawą do doboru średnic są dopływy do rurociągów drenarskich i kolektorów przy najwyższych stanach wody gruntowej (zwykle wiosną i jesienią). Natomiast przepływy wody przy niskich stanach wody gruntowej (zwykle późnym latem), są podstawą do obliczenia prędkości minimalnej.

Minimalne prędkości wody w rurociągach odwadniających i kolektorach powinny zapewniać usuwa-

nie cząstek gruntu dostających się przez otwory perforacji. Jako najmniejszą prędkość umożliwiającą samoczyszczenie się rurociągów przyjmuje się:

–  $V_{\min} \geq 0,2$  m/s, przy założeniu, że do rurociągu nie przedostają się zanieczyszczone wody powierzchniowe.

Minimalne spadki rurociągów drenaży budowlanych wynoszą:

- 2% dla rur o średnicy  $d \leq 200$  mm w gruntach gliniastych i ilastych,
- 3% dla rur o średnicy  $d \leq 200$  mm w gruntach piaszczystych i pylastych,
- 1,5% dla rurociągów o średnicy  $d > 200$  mm.

W przypadku gdy do drenażu wprowadzone są również wody z odwodnienia powierzchniowego terenu minimalna prędkość przepływu w rurociągu powinna wynosić:

$$V_{\min} \geq 0,6 \text{ m/s}$$

Maksymalne prędkości przepływu w rurociągach drenarskich nie powinny przekraczać 1,0 m/s.

Najmniejszą średnicą rur zalecaną do stosowania w drenażach budowlanych jest średnica  $d=100$  mm (wyjątkowo  $d=80$  mm).

Do wykonywania systemów drenaży budowlanych Pipelife oferuje rury drenarskie karbowane z PVC z perforacją lub bez, rury o podwójnej ścianie z PP Pragma® z perforacją i bez. Do budowy kolektorów mogą też być wykorzystywane rury kanalizacyjne z PVC o ścianach gładkich (klasy L, N, T).

Do obliczeń hydraulicznych rurociągów drenaży budowlanych należy stosować odpowiednio Nomogramy Nr 9 i 10.

## 4. OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW INSTALACJI KANALIZACYJNYCH

### WYMIAROWANIE INSTALACJI KANALIZACJI BYTOWO – GOSPODARCZEJ

Wymiarowanie przewodów kanalizacji wewnętrznej polega na określeniu średnic przewodów i spadków niezbędnych dla zapewnienia odpowiednich prędkości przepływu oraz napełnienia rurociągów [B13].

Podstawą do wymiarowania przewodów instalacji kanalizacyjnych są ustalone wartości przepływów obliczeniowych w poszczególnych odcinkach rurociągów.

Średnice podejść pojedynczych i zbiorowych oraz przewodów spustowych (pionów) i przewodów wentylacyjnych ustala się na podstawie wartości sumy równoważników odpływu.

Średnice przewodów odpływowych (poziomów) i połączeń (przykanalików) kanalizacji bytowo – gospodarczej, ogólnospławnej i deszczowej można ustalać na podstawie wzoru Chezy:

Dla ułatwienia projektowania opracowane zostały nomogramy do wymiarowania instalacji kanalizacyjnych:

- dla poziomów i przykanalików kanalizacji bytowo – gospodarczej przy napełnieniu  $h/d=0,5$  – Nomogram Nr 11,
- dla poziomów i przykanalików kanalizacji deszczowej przy napełnieniu  $h/d=0,7$  – Nomogram Nr 12,
- dla poziomów i przykanalików kanalizacji ogólnospławnej, przy napełnieniu  $h/d=0,7$  – Nomogram Nr 13.

$$q = V \cdot F$$

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}; \quad C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$

gdzie:

- q - natężenie przepływu ścieków [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
- V - średnia prędkość przepływu ścieków [m/s]
- F - powierzchnia przekroju rury wypełniona ściekami [ $\text{m}^2$ ]
- R - promień hydrauliczny [m]
- i - spadek rurociągu,
- g - przyspieszenie ziemskie [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]
- $\lambda$  - współczynnik oporów liniowych

## OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

### WYMIAROWANIE PRZEWODÓW INSTALACJI DESZCZOWEJ

Wymagania dotyczące projektowania instalacji kanalizacyjnej wód deszczowych zawarte są w normie PN – 92/B – 01707 – Instalacje kanalizacyjne.

Norma ta zaleca wymiarować przewody kanalizacji deszczowej (podejścia, przewody spustowe) przy przyjęciu miarodajnego natężenia deszczu nie mniejszego niż  $I=300 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$  (pkt. 3.7. Normy). Przyjęcie w normie takiego dużego natężenia deszczu uzasadnione jest dążeniem do poprawy niezawodności działania podejść i pionów narażonych na różnorodne zanieczyszczenia.

Wymieniona wyżej norma dopuszcza stosowanie innych uzasadnionych technicznie metod wyznaczania przepływów obliczeniowych i w konsekwencji innych metod wymiarowania przewodów instalacji kanalizacyjnych (pkt. 3.1. Normy).

Firma Pipelife do wymiarowania produkowanych przez siebie systemów rynnowych (Crescent105, Rapidflow i Streamline132), proponuje metodę opisaną poniżej.

Stosowanie tej metody jest uzasadnione ponieważ:

- powierzchnie rynien i rur spustowych produkowane z PVC są gładkie, co przyczynia się do dużej wydajności systemu,
- specjalny, hydraulicznie opływowy kształt elementu łączącego rynnę z pionem wprawia wodę w ruch wirowy i powoduje jej "zasysanie", co w konsekwencji przyspiesza odpływ wody. Dzięki temu rynny mogą być mocowane w poziomie, bez spadków,
- łagodnie wyprofilowane łuki rynien i przewodów spustowych przyspieszają odpływ wody i nie dopuszczają do gromadzenia się zanieczyszczeń,
- przy określaniu odpływu uwzględnione jest przestrzenne rozmieszczenie rur spustowych,
- uwzględniony jest wpływ kierunku wiatru na wielkości powierzchni efektywnej dachu,
- zdolność przepustowa elementów systemu potwierdzona została pomiarami hydraulicznymi.

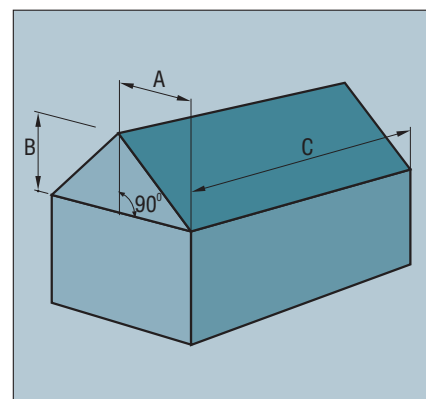
W metodzie tej, przy wymiarowaniu elementów systemu rynnowe-

go, uwzględnione są dwa podstawowe parametry:

- efektywna powierzchnia dachu,
- natężenie deszczów.

Efektywna (maksymalna) powierzchnia spływowa dachu zależy od:

- spadku dachu,
- głównego kierunku wiatru.



Do określenia tej powierzchni stosuje się wzór:

$$E = \eta \cdot \sqrt{A^2 + B^2} \cdot C$$

$$\eta \cdot \sqrt{A^2 + B^2} = A + \frac{B}{2}$$

czyli

$$E = \left( A + \frac{B}{2} \right) \cdot C$$

gdzie:

- E - efektywna powierzchnia dachu [ $\text{m}^2$ ]
- A - długość rzutu poziomego krawędzi pochyłej dachu [m]
- B - pionowa odległość pomiędzy krawędzią rynny a kalenicą [m]
- C - długość dachu [m]
- $\eta$  - współczynnik uwzględniający wpływ kierunku wiatru  $> 1.0$

Natężenie deszczów zależy od warunków klimatycznych regionu i określone jest na podstawie obserwacji meteorologicznych oraz przyjętego prawdopodobieństwa występowania opadu.

Do wymiarowania rynien i pionów deszczowych proponuje się intensywność opadów wynoszącą  $75 \text{ mm/h}$ , podczas deszczu trwającego 5 min raz na cztery lata. Odpowiada to wielkości odpływu do  $208 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$ .

W celu obliczenia przepływu Q w rynnie należy więc pomnożyć efektywną powierzchnię dachu przez spływ powierzchniowy  $f=0,0208 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$ :

$$Q = E \cdot f$$

gdzie:

- Q - natężenie przepływu, [ $\text{l/s}$ ]
- E - efektywna powierzchnia dachu, [ $\text{m}^2$ ]
- f - obliczeniowe natężenie deszczu [ $\text{l/(s} \cdot \text{m}^2)$ ]  $f = 0,0208 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$ .

Podane w asortymencie wyrobów systemów rynnowych Pipelife średnice rur spustowych i powierzchnie dachów ustalone zostały

na podstawie natężenia deszczu  $0,0208 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$ .

Średnice przewodów odpływowych (poziomów) i przyłączy instalacji

deszczowej należy wymiarować wg Nomogramów Nr 12 i Nr 13.

#### Pipelife Polska S.A.

ul. Torfowa 4; Kartoszyno; 84-110 Krokowa  
tel.: (+ 48 58) 77 48 888; fax: (+ 48 58) 77 48 807; e-mail: dok@pipelife.com.pl; www.pipelife.pl



## OBLICZENIA HYDRAULICZNE PRZEWODÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

### 5. OBLICZENIA SIECI GAZOWYCH

Technologiczny reżim pracy gazociągu określają następujące parametry:

- charakterystyka gazu
- obliczeniowe natężenie przepływu gazu
- ciśnienie i temperatura gazu w punktach początkowym i końcowym każdego z odcinków gazociągu (dyspozycyjne spadki ciśnienia).

Wymagania dotyczące wartości ciśnienia nominalnego podane są w normie PN – 87/C – 96001 – “Paliwa gazowe rozprowadzane wspólną siecią i przeznaczone dla gospodarstwa komunalnej”.

Przewody z rur PE szeregu wymiarowego SDR – 11 i SDR – 17,6 są powszechnie stosowane do budowy gazociągów niskiego i średniego ciśnienia (do 0,4 MPa).

W przewodach pracujących pod niskim ciśnieniem objętość i prędkość przepływającego gazu jest w przybliżeniu stała, a wartość strat ciśnienia jest niewielka. W przewodach średniego i wysokiego ciśnie-

nia następuje izotermiczne zwiększenie objętości i prędkości przepływu.

Podstawowe zagadnienia przy obliczaniu strat ciśnienia w rurociągach reguluje norma PN – 76/M – 34034 “Rurociągi. Zasady obliczeń strat ciśnienia”.

Dla odcinków prostych przewodów spadek ciśnienia zależy od długości, średnicy wewnętrznej rury, prędkości przepływu gazu, ciężaru właściwego oraz od współczynnika oporu przepływu. Współczynnik oporów przepływu uzależniony jest od chropowatości powierzchni rury oraz lepkości medium (tarcia wewnętrznego wyrażonego liczbą Reynoldsa).

Dla ułatwienia obliczeń gazociągów firma Pipelife przygotowała nomogramy dla typowych warunków eksploatacyjnych gazociągów z rur polietylenowych.

Nomogram Nr 14 – dla rur gazowych z PE szeregu SDR – 11, przy przepływie uwarstwionym i nadciśnieniu roboczym  $\leq 100$  mbar,

Nomogram Nr 15 – dla rur gazowych z PE szeregu SDR – 17,6, przy przepływie uwarstwionym i nadciśnieniu roboczym  $\leq 100$  mbar,

Nomogram Nr 16 – dla rur gazowych z PE szeregu SDR – 11, przy przepływie burzliwym,

Nomogram Nr 17 – dla rur gazowych z PE szeregu SDR – 17,6, przy przepływie burzliwym.

Na nomogramach oznaczono wielkości średnic zewnętrznych przewodów, jednak w obliczeniach uwzględniono średnice wewnętrzne rur.

Nomogramy opracowane są dla następujących parametrów gazu:

- gaz ziemny GZ – 50
- gęstość gazu,  $\gamma=0,745$  kg/m<sup>3</sup>
- temperatura gazu 10°C
- lepkość dynamiczna gazu  $11 \cdot 10^6$  Pa·s
- współczynnik chropowatości bezwzględnej  $k=0,007$  mm.

W przypadku gazu z innej podgrupy należy zastosować wzór korekcyjny:

$$\Delta P = K \cdot \Delta P$$

$$K = \left[ \frac{\gamma}{0,745} \right]^{0,69}$$

gdzie:

$\Delta P$  - różnica pomiędzy ciśnieniem  $p_1$  i  $p_2$  [bar]

$P_1, P_2$  - ciśnienie manometryczne na początku i końcu odcinka gazociągu [bar]

$P_{1abs}$  - ciśnienie absolutne początkowe [bar], ( $p_{1abs}=p_1+1$ )

$p_{2abs}$  - ciśnienie absolutne końcowe [bar], ( $p_{2abs}=p_2+1$ )

Dla powszechnie stosowanych gazów współczynnik K wynosi:

- GZ – 50 ( $\gamma=0,745$  kg/m<sup>3</sup>)  
K=1,000
- GZ – 41,5 ( $\gamma=0,840$  kg/m<sup>3</sup>)  
K=1,086
- GZ – 35 ( $\gamma=0,880$  kg/m<sup>3</sup>)  
K=1,122

Z nomogramów odczytuje się jednostkowe spadki ciśnienia na długości, wielkości oporów miejscowych nie jest uwzględniona.

Przy obliczaniu oporów miejscowych w gazociągach można posługiwać się wartościami równoważnymi oporów miejscowych.

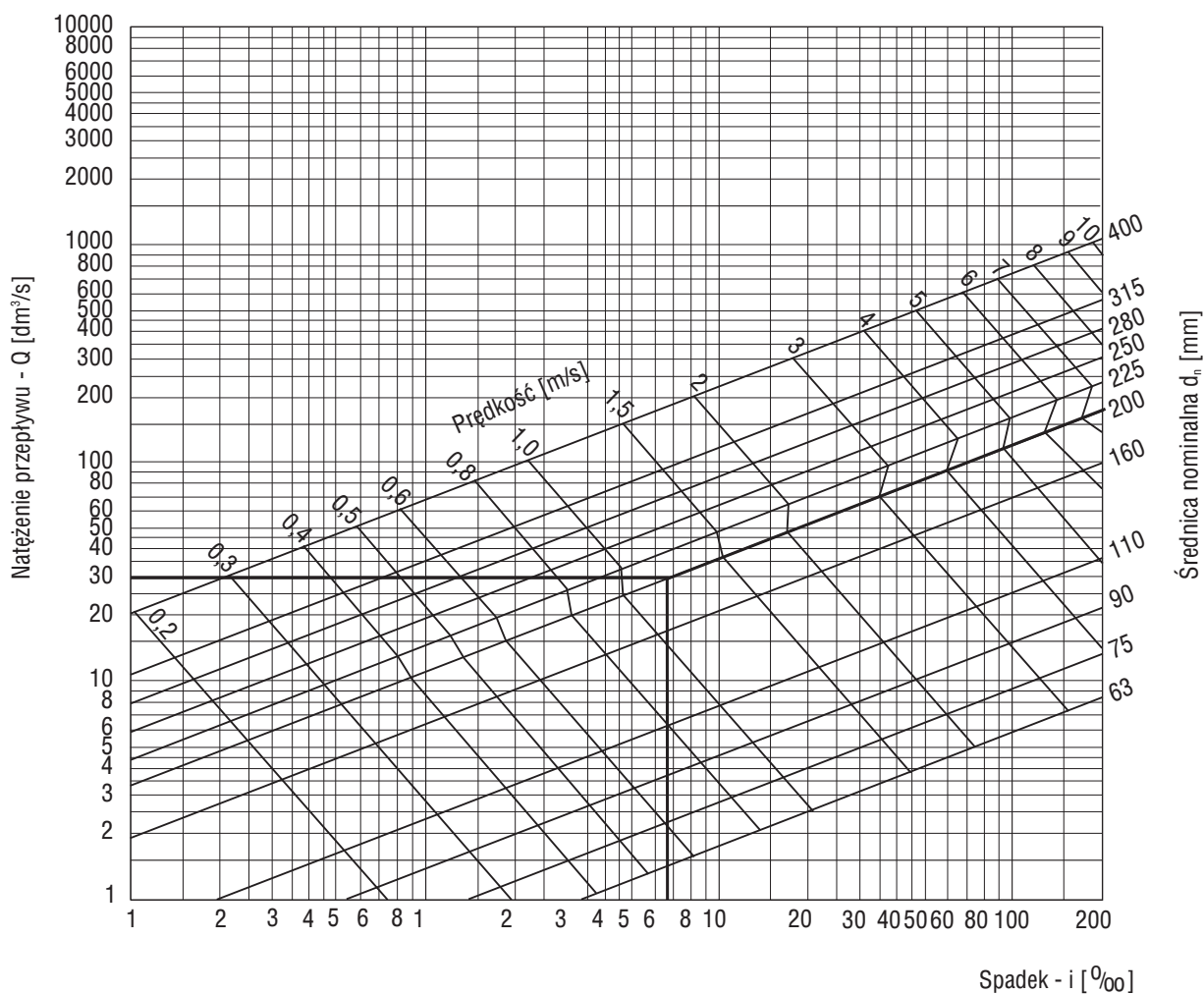
W praktyce, na straty ciśnienia wywołane oporami miejscowymi rezerwuje się 10% dyspozycyjnej straty ciśnienia dla danego układu gazociągów, lub też wprowadza się do obliczeń tzw. *długość obliczeniową*.

*Długość obliczeniowa* jest to długość geometryczna rurociągu pomnożona przez współczynnik 1,1.

# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 1

**doboru parametrów hydraulicznych dla rur ciśnieniowych z PVC  
wg wzorów Darcy - Weisbach`a/Colebrook`a - White`a**



Rury PVC d<sub>n</sub> = 63 - 200mm, PN 10, k = 0,01mm, temp. 10°C

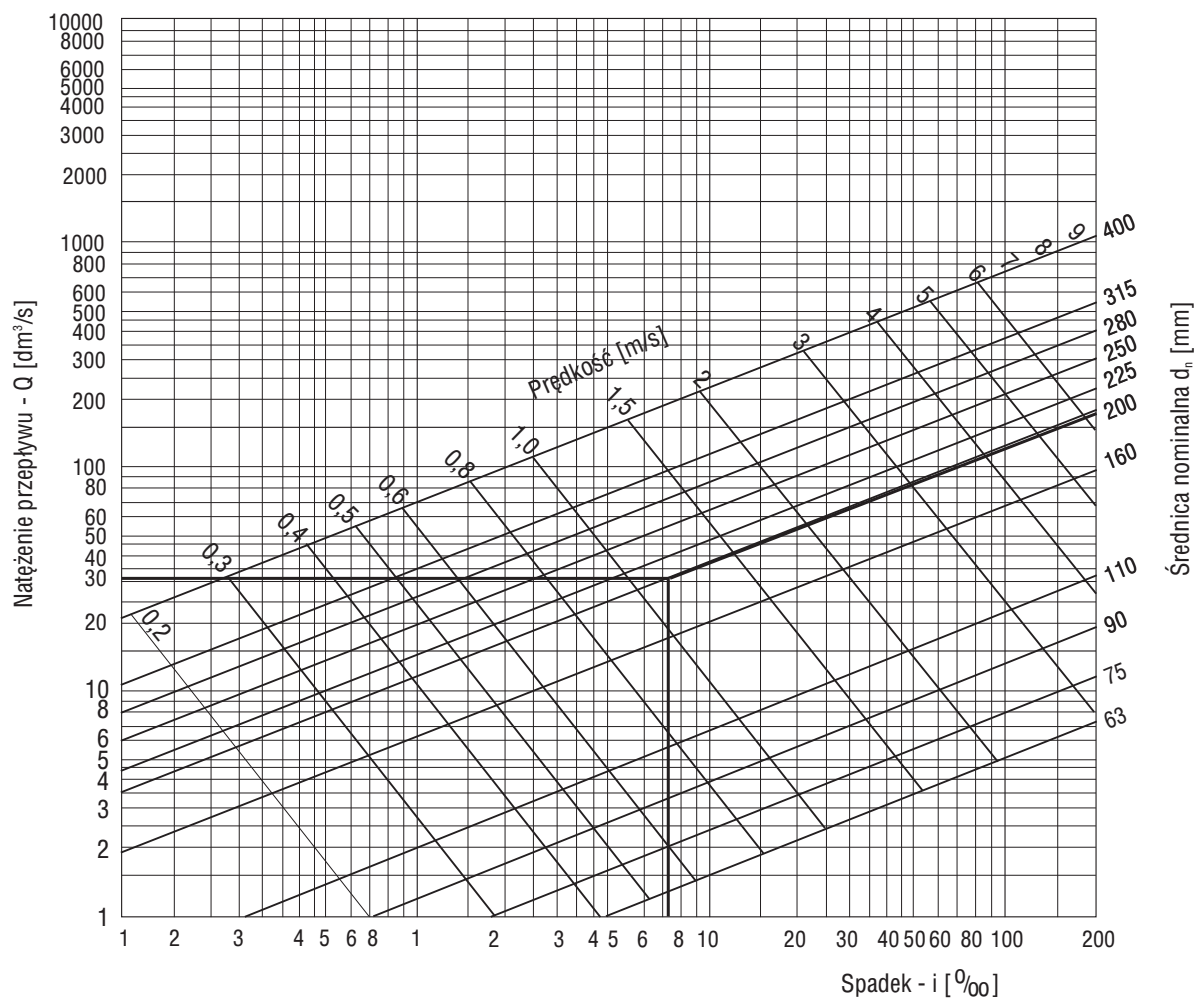
Rury PVC d<sub>n</sub> = 225 - 400mm, PN 10, k = 0,05mm, temp. 10°C

(nomogram obliczono dla średnic wewnętrznych d<sub>i</sub>)

# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 2

**doboru parametrów hydraulicznych dla rur ciśnieniowych z PVC  
wg wzorów Darcy - Weisbach'a/Colebrook'a - White'a**



Rury PVC  $d_n = 63-400$ mm, PN 10,  $k = 0,1$ mm, temp.  $10^{\circ}$ C  
(nomogram obliczono dla średnic wewnętrznych  $d_i$ )

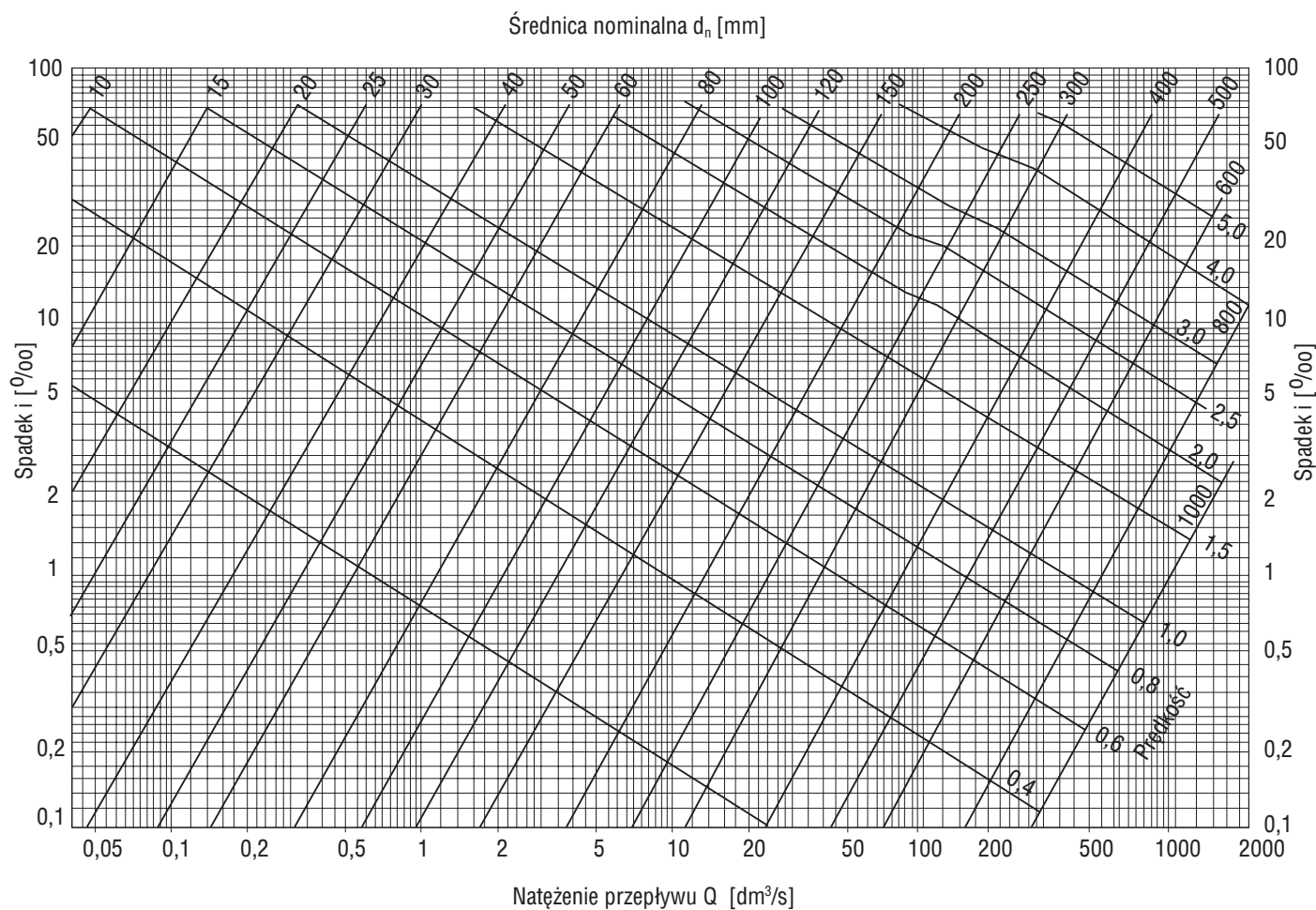
# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 3

### doboru parametrów hydraulicznych dla rur ciśnieniowych z PE

wg wzorów Darcy - Weisbach`a/Colebrook`a - White`a

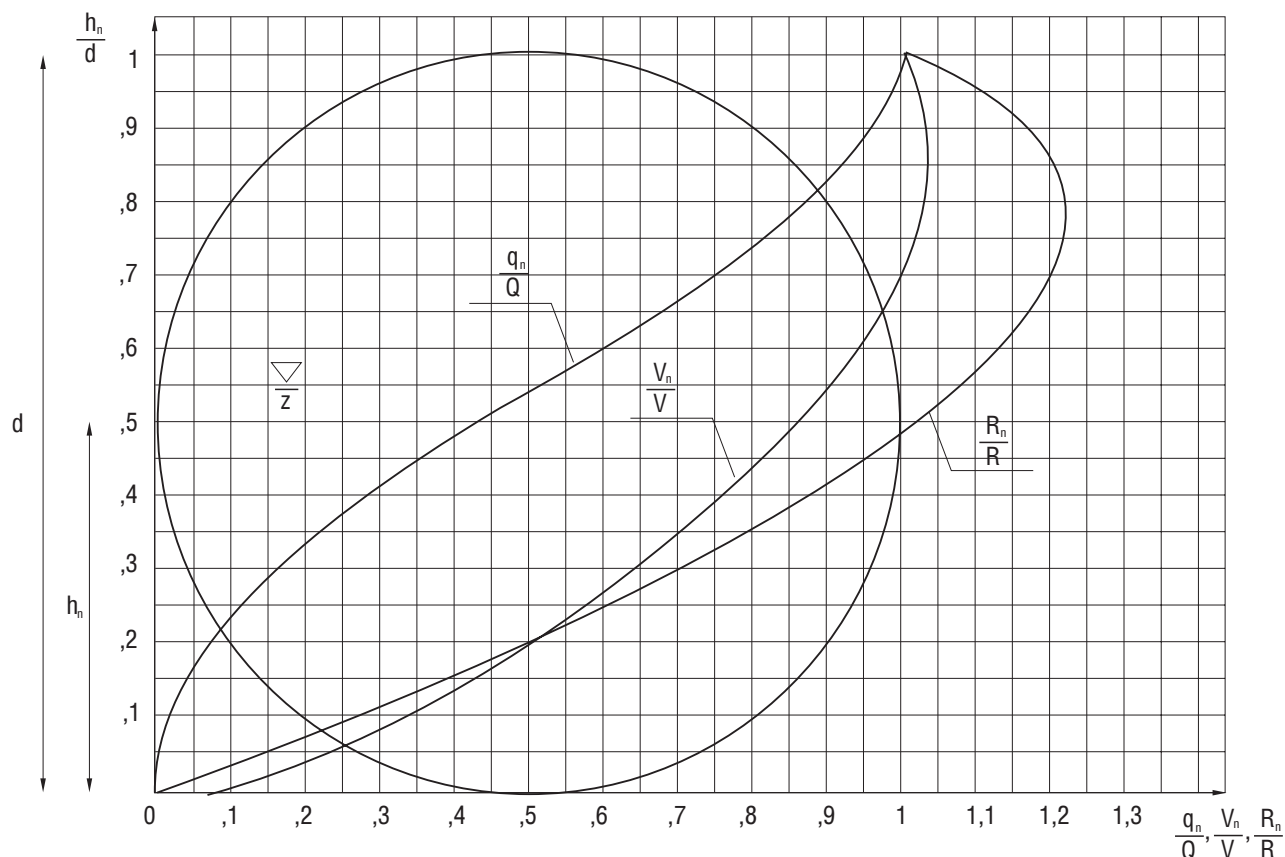
(nomogram obliczono dla średnic wewnętrznych) rur  $d_n < 200\text{mm}$ ,  $k = 0,010\text{ mm}$ , temp.  $10^\circ\text{C}$ ;  
dla rur  $d_n > 200\text{mm}$ ,  $k = 0,05\text{mm}$ , temp.  $10^\circ\text{C}$



## NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 4

## Krzywe sprawności przekroju kołowego



$\frac{h_n}{d}$  - stosunek wysokości częściowego napełnienia ( $h_n$ ) do średnicy wewnętrznej rury ( $d$ ).

$\frac{q_n}{Q}$  - stosunek wielkości przepływów ( $q_n$ ) przy rzeczywistych napełnieniach kanałów ( $h_n$ ) do wielkości przepływów ( $Q$ ) przy całkowitym napełnieniu ( $d$ ).

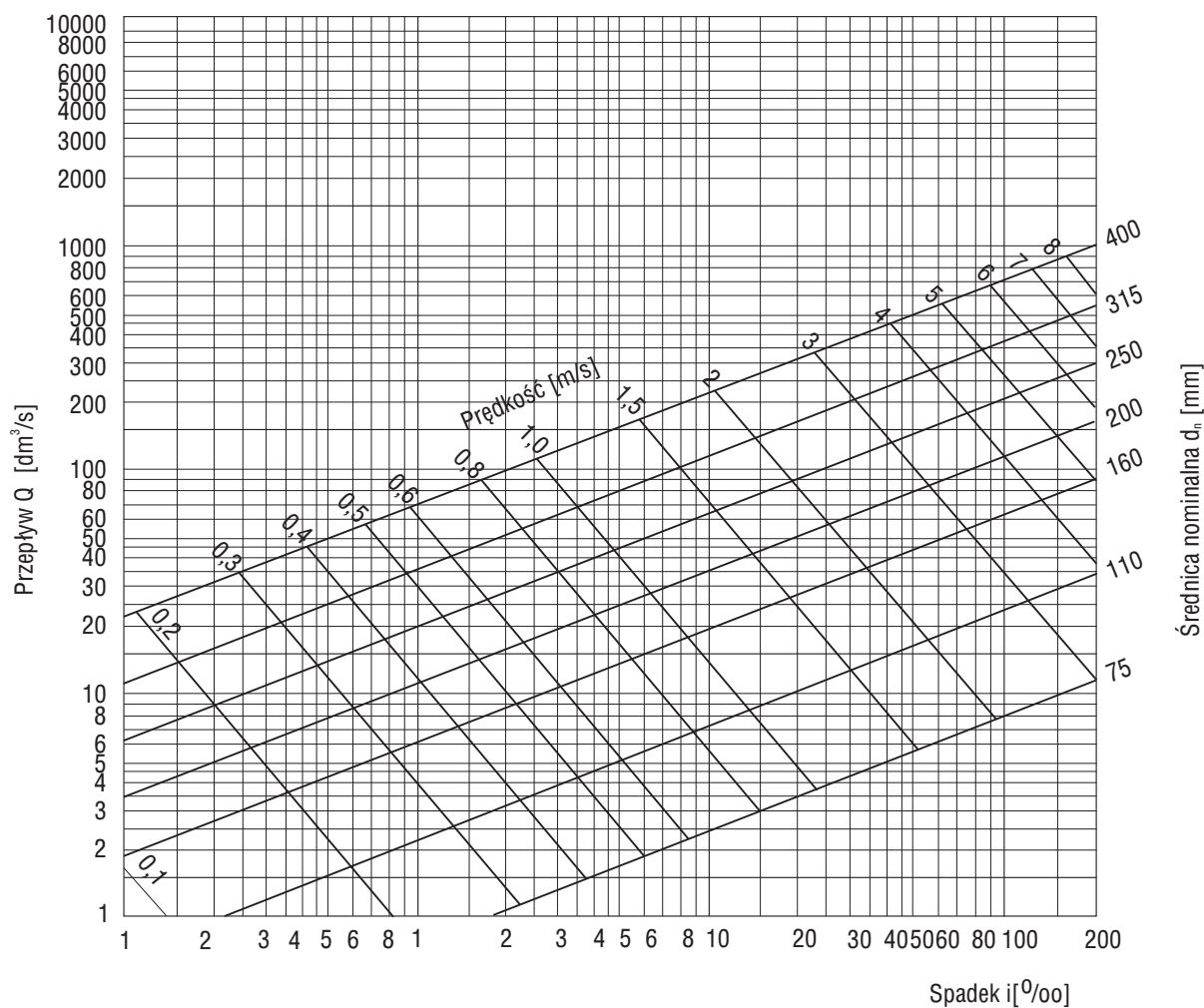
$\frac{V_n}{V}$  - stosunek prędkości przepływu przy rzeczywistych wysokościach napełnienia kanałów ( $h_n$ ) do prędkości przepływu ( $V$ ) przy całkowitym napełnieniu ( $d$ ).

$\frac{R_n}{R}$  - stosunek promienia hydraulicznego przy rzeczywistych wysokościach napełnienia ( $h_n$ ) do promienia hydraulicznego przy całkowitym napełnieniu ( $d$ ).

# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 5

**doboru parametrów hydraulicznych dla rur kanalizacyjnych z PVC klasy T - SN = 8 kPa przy całkowitym napełnieniu wg wzorów Darcy-Weisbach'a/Colebrooka - White'a dla  $k = 0,25\text{mm}$ , temp.  $10^\circ\text{C}$ .**



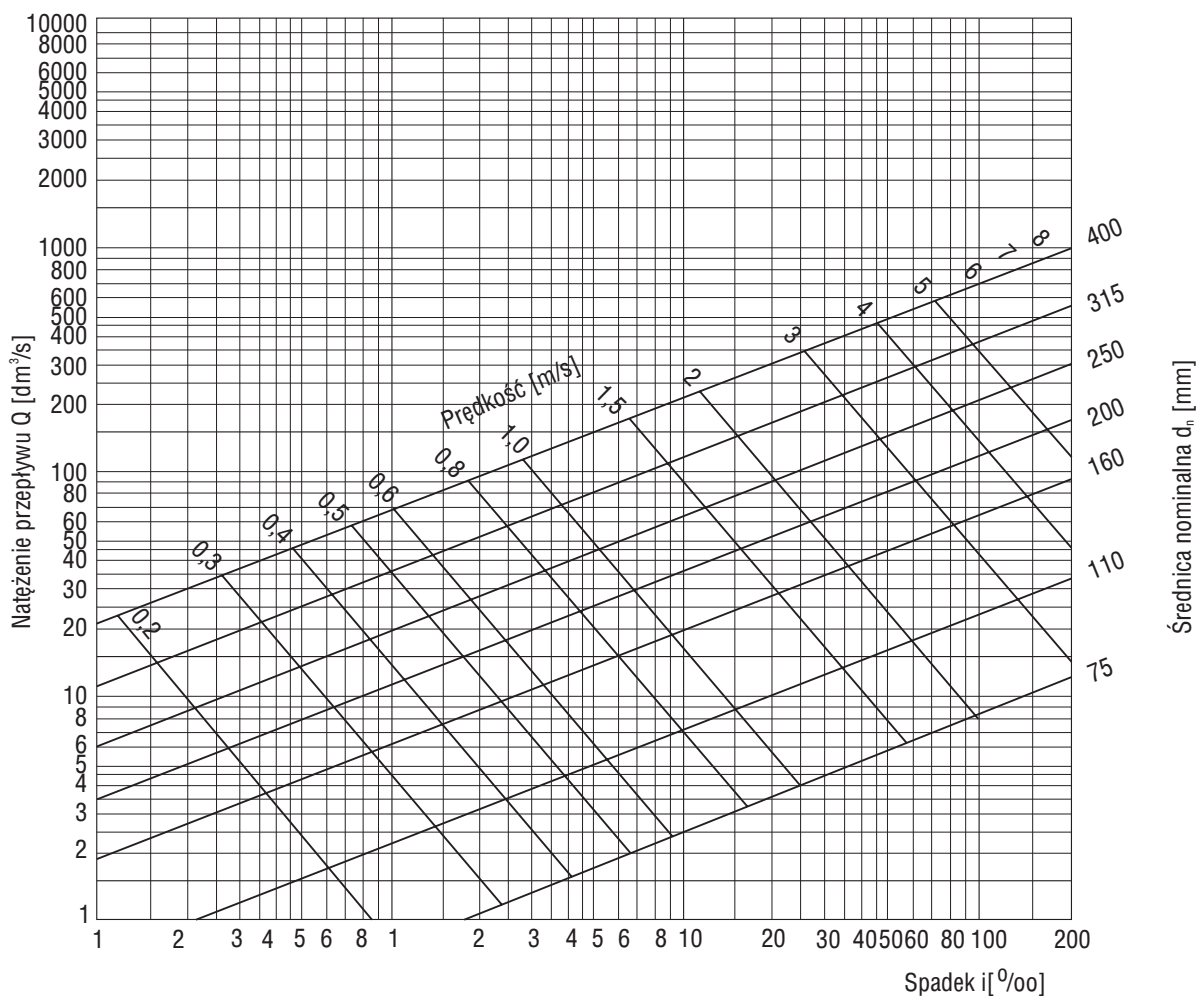
Uwaga: Dla rur klasy L - SN = 2 kPa należy zwiększyć przepływ  $Q$  o 6,0%  
Dla rur klasy N - SN = 4 kPa należy zwiększyć przepływ  $Q$  o 3,5%



## NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 6

**doboru parametrów hydraulicznych dla rur kanalizacyjnych z PVC klasy T - SN = 8 kPa przy całkowitym napełnieniu**  
**wg wzorów Darcy-Weisbach'a/Colebrooka - White'a**  
**dla  $k = 0,40\text{mm}$ , temp.  $10^{\circ}\text{C}$**

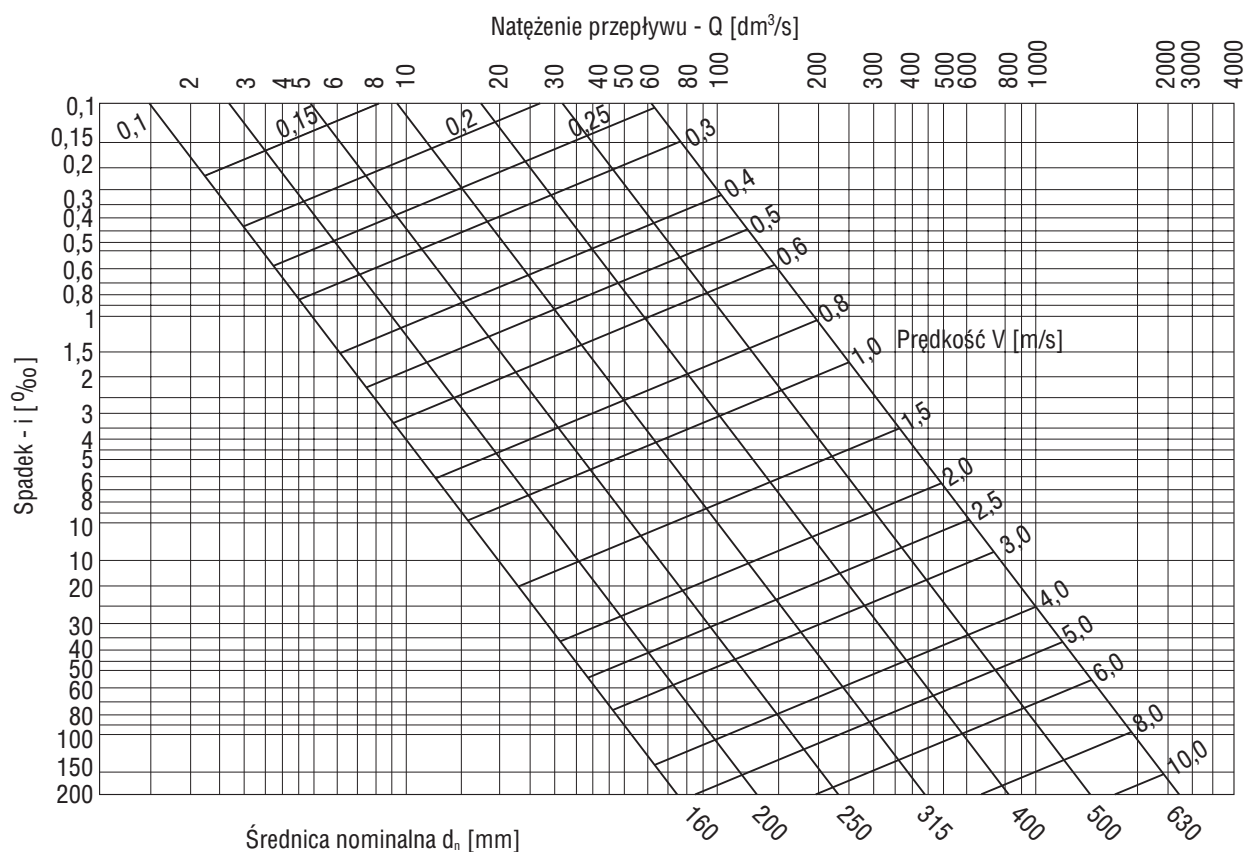


Uwaga: Dla rur klasy L - SN = 2 kPa należy zwiększyć przepływ  $Q$  o 6,0%  
 Dla rur klasy N - SN = 4 kPa należy zwiększyć przepływ  $Q$  o 3,5%

# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 7

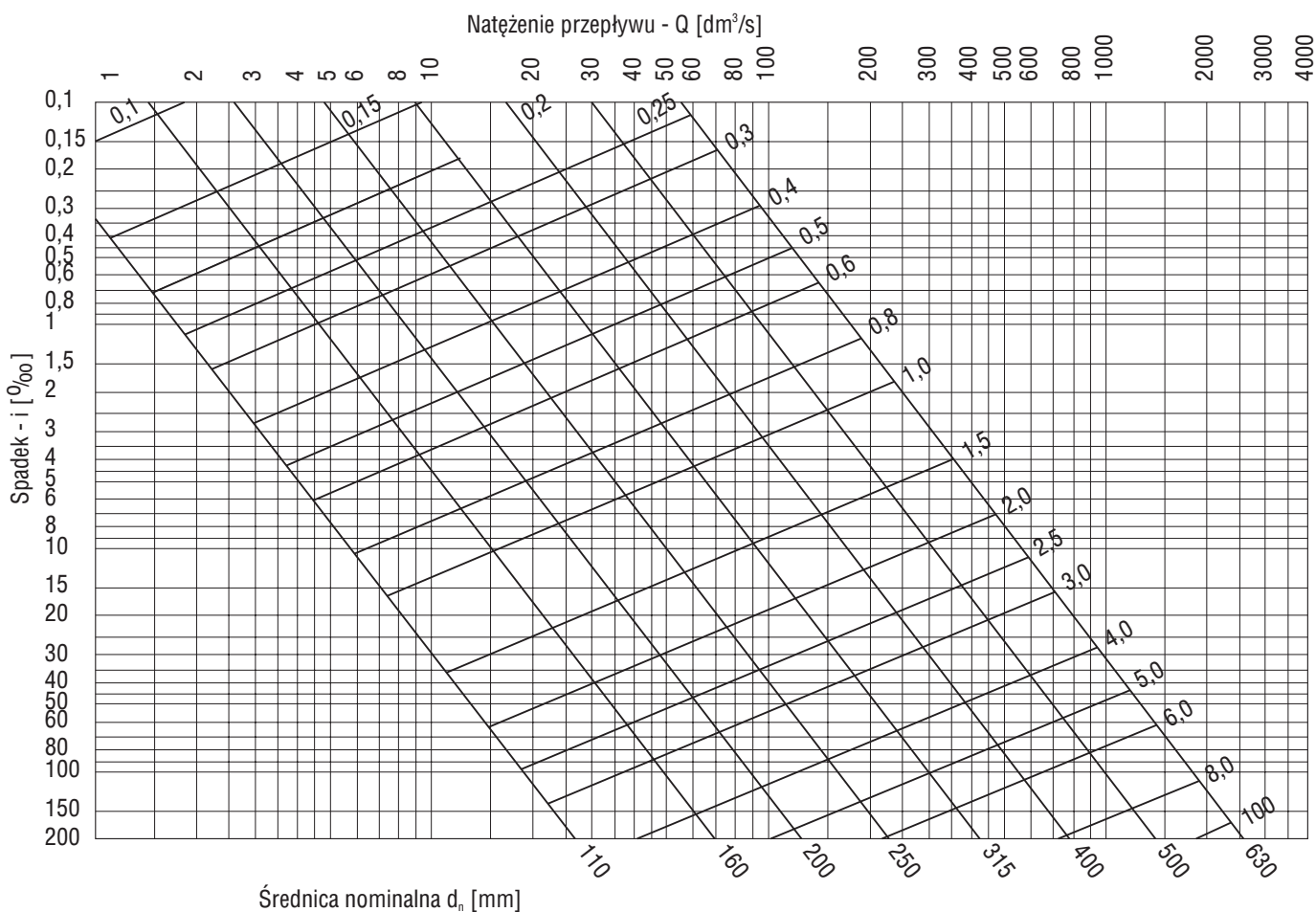
**doboru parametrów hydraulicznych dla rur kanalizacyjnych Pragma<sup>®</sup> z PP wg wzorów Darcy-Weisbach'a/Colebrooke-White'a dla  $k = 0,25\text{mm}$ , temp.  $10^\circ\text{C}$  przy całkowitym napełnieniu**



# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 8

**doboru parametrów hydraulicznych  
dla rur kanalizacyjnych Pragma® z PP**  
wg wzorów Darcy-Weisbach'a/Colebrooke-White'a  
dla  $k = 0,40\text{mm}$ , temp.  $10\text{ C}$  przy całkowitym napełnieniu

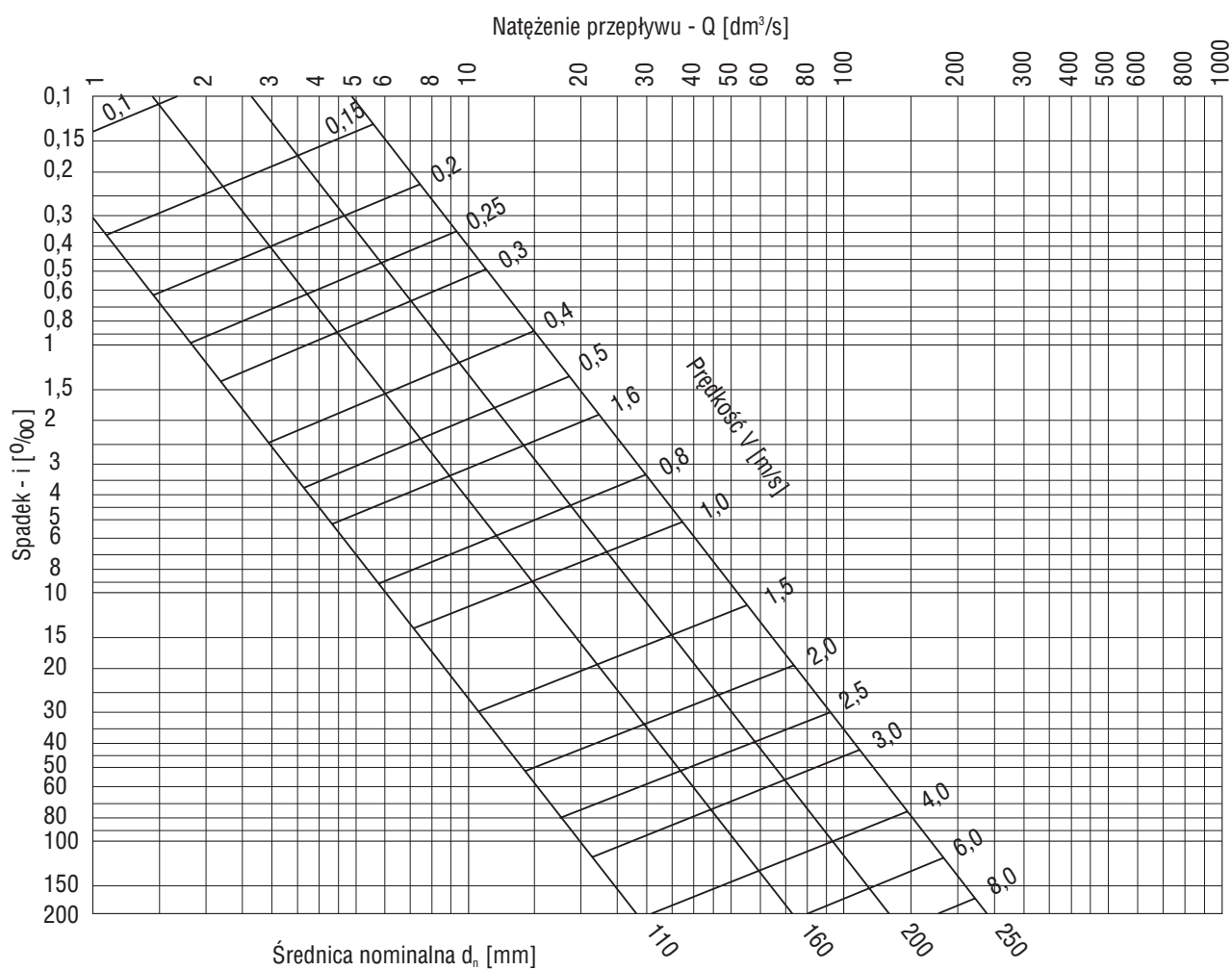




# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 10

**do doboru rur drenarskich z PP Pragma®**  
 wg wzorów Darcy-Weisbach'a/Colebrooke-White'a  
 dla  $k = 0,25\text{mm}$ , temp.  $10^{\circ}\text{C}$

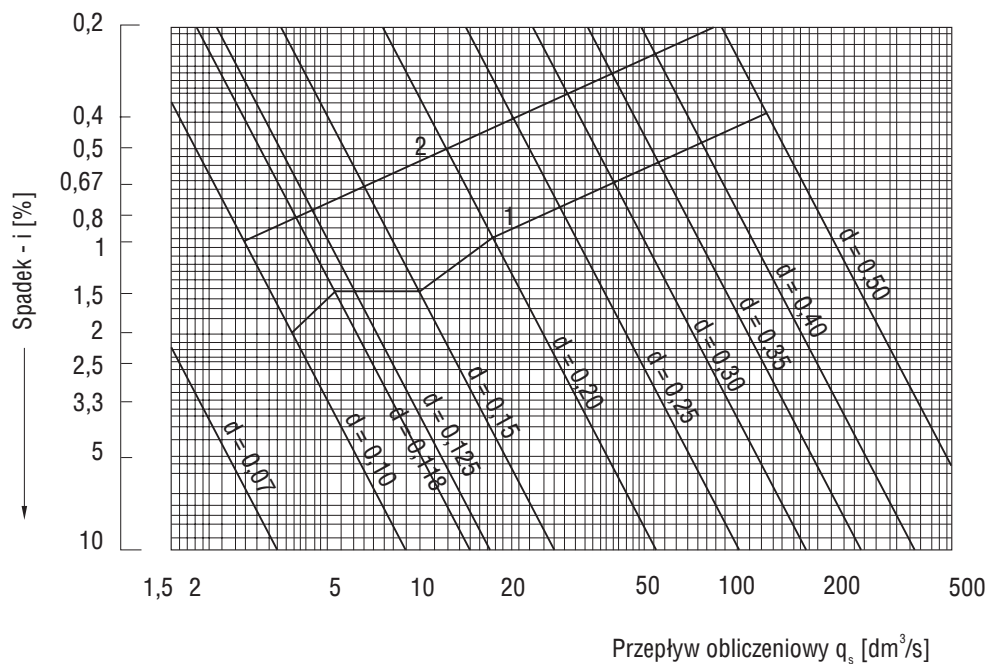


# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 11

### do wymiarowania poziomów i przykanalików kanalizacji bytowo - gospodarczej

wg wzoru Chezy dla  $k = 1,0\text{mm}$ , temp.  $10^{\circ}\text{C}$  przy napełnieniu  $h/d = 0,5$

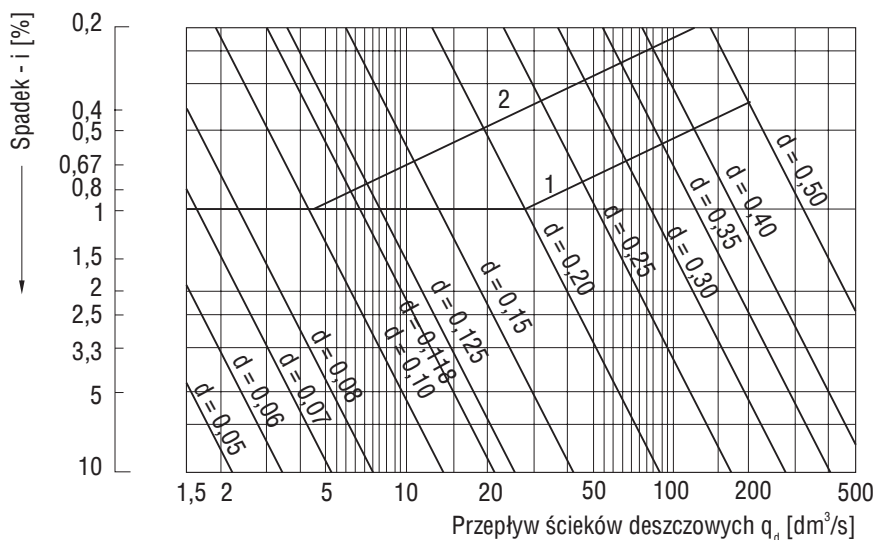


- 1 - górne ograniczenie dla przewodów w budynkach
- 2 - górne ograniczenie dla przewodów zewnętrznych  
wg PN - 92/B - 01707 - 4

# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 12

do wymiarowania poziomów i przykanalików kanalizacji deszczowej wg wzoru Chezy dla  $k = 1,0\text{mm}$ , temp.  $10^{\circ}\text{C}$  przy napełnieniu  $h/d = 0,7$

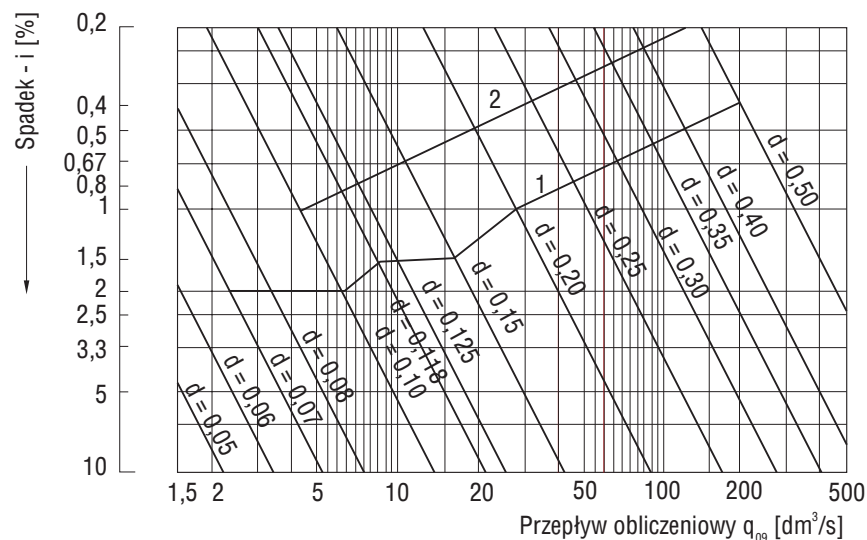


- 1 - górne ograniczenie dla przewodów w budynkach
- 2 - górne ograniczenie dla przewodów zewnętrznych wg PN - 92/B - 01707 - 5

# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 13

do wymiarowania poziomów i przykanalików kanalizacji ogólnospławnej wg wzoru Chezy dla  $k = 1,0\text{mm}$ , temp.  $10^{\circ}\text{C}$  przy napełnieniu  $h/d = 0,7$



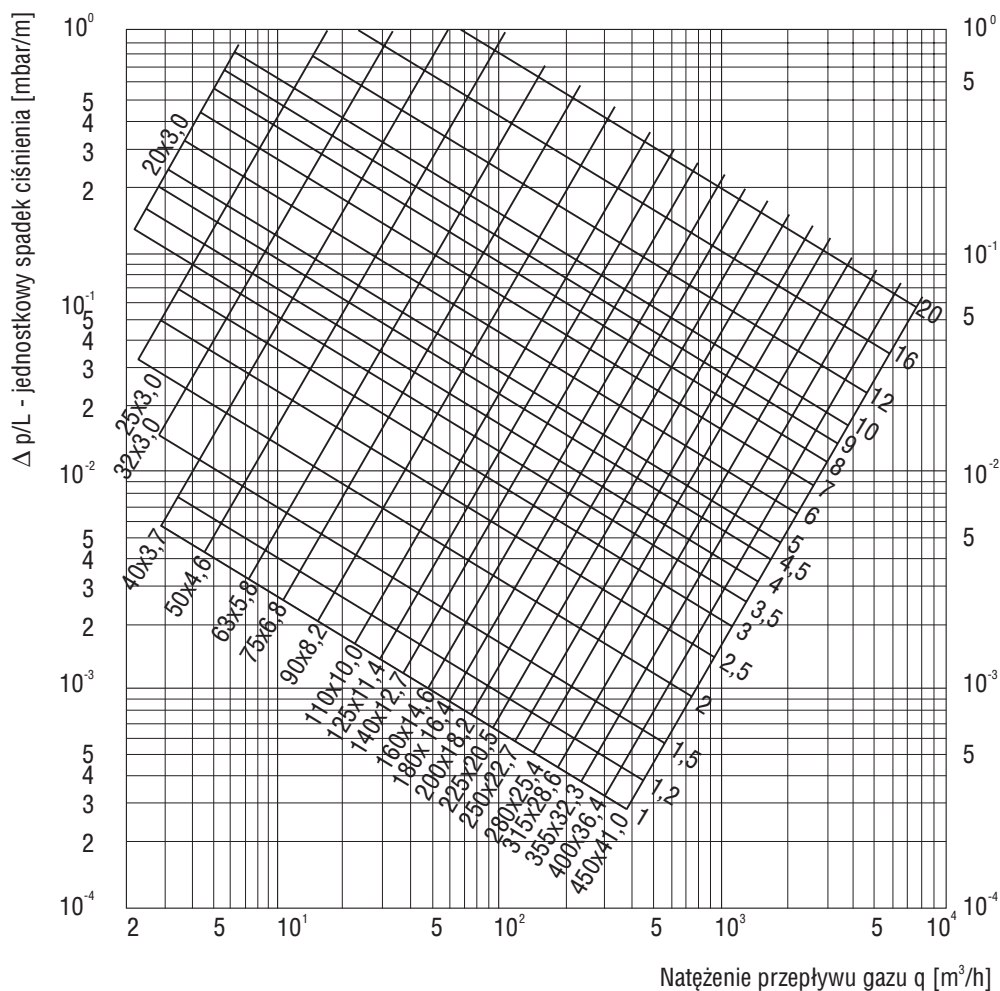
- 1 - górne ograniczenie dla przewodów w budynkach
- 2 - górne ograniczenie dla przewodów zewnętrznych wg PN - 92/B - 01707 - 6



## NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 14

**doboru rur gazowych z PE szeregu SDR 11  
dla gazu ziemnego o temp. 10°C przy przepływie uwarstwionym  
i nadciśnieniu roboczym  $\leq 100\text{mbar}$**

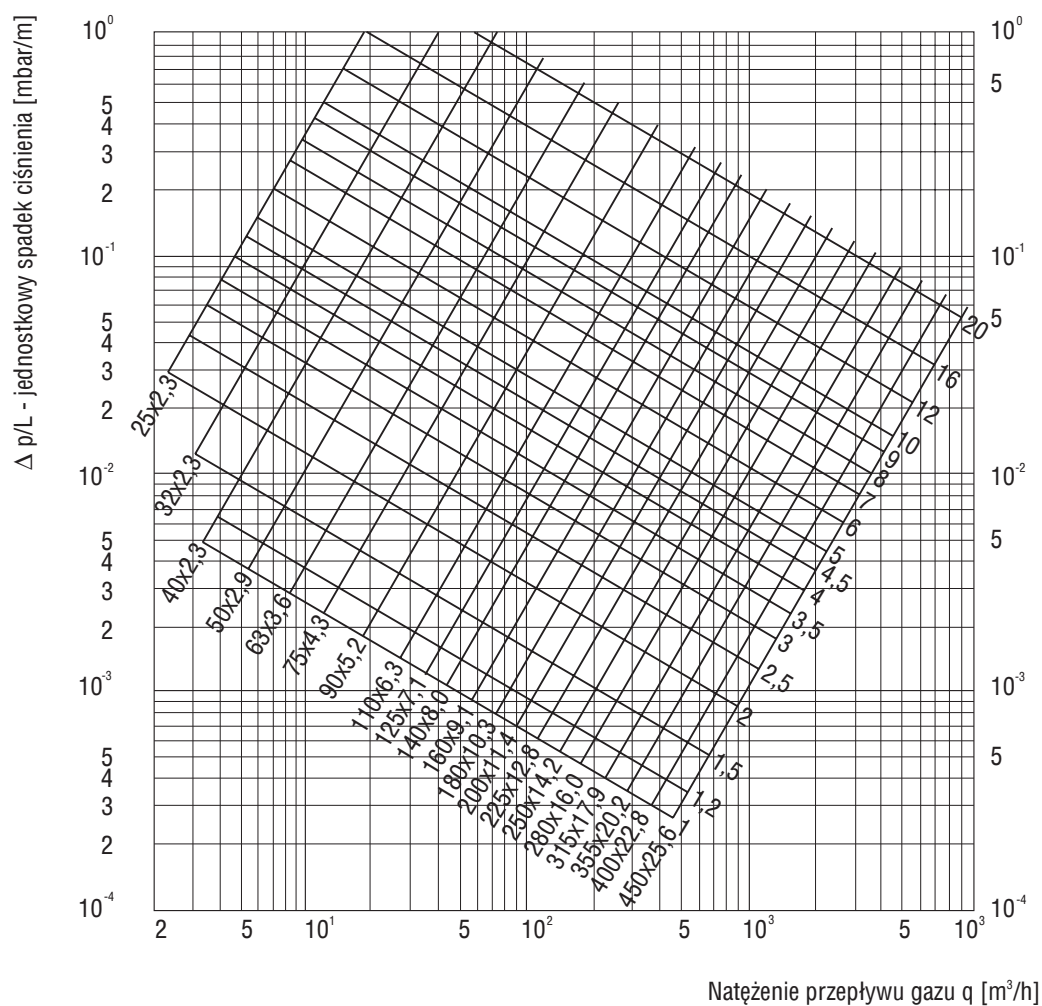


\*Uwaga:  $\text{m}^3/\text{h}$  - przelicza się w warunkach  $t = 10^\circ\text{C}$  i  $P = 1\text{bar( abs)}$

# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

## NOMOGRAM NR 15

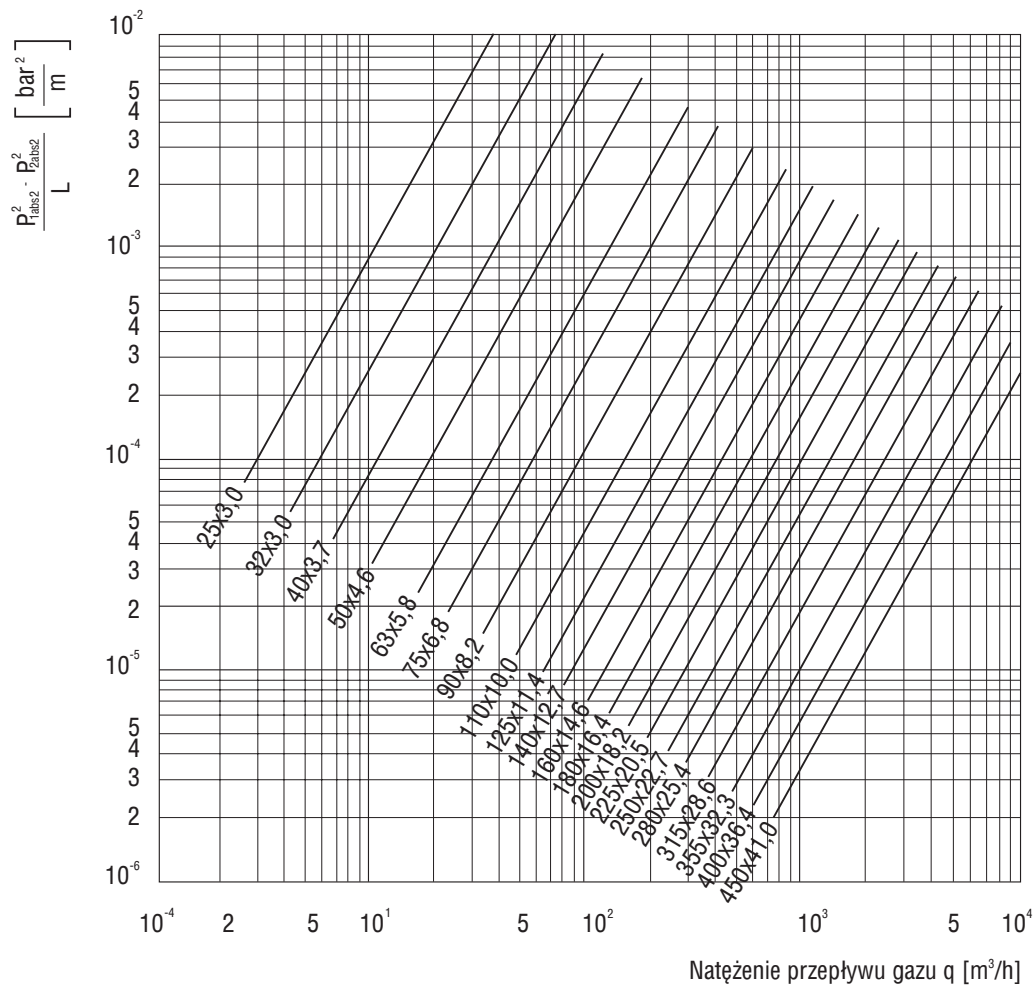
**doboru rur gazowych z PE szeregu SDR 17,6**  
**dla gazu ziemnego o temp. 10°C przy przepływie uwarstwionym**  
**i nadciśnieniu roboczym  $\leq 100$  mbar**



\*Uwaga:  $m^3/h$  - przelicza się w warunkach  $t = 10^\circ C$  i  $P = 1 \text{ bar(abs)}$

## NOMOGRAM NR 16

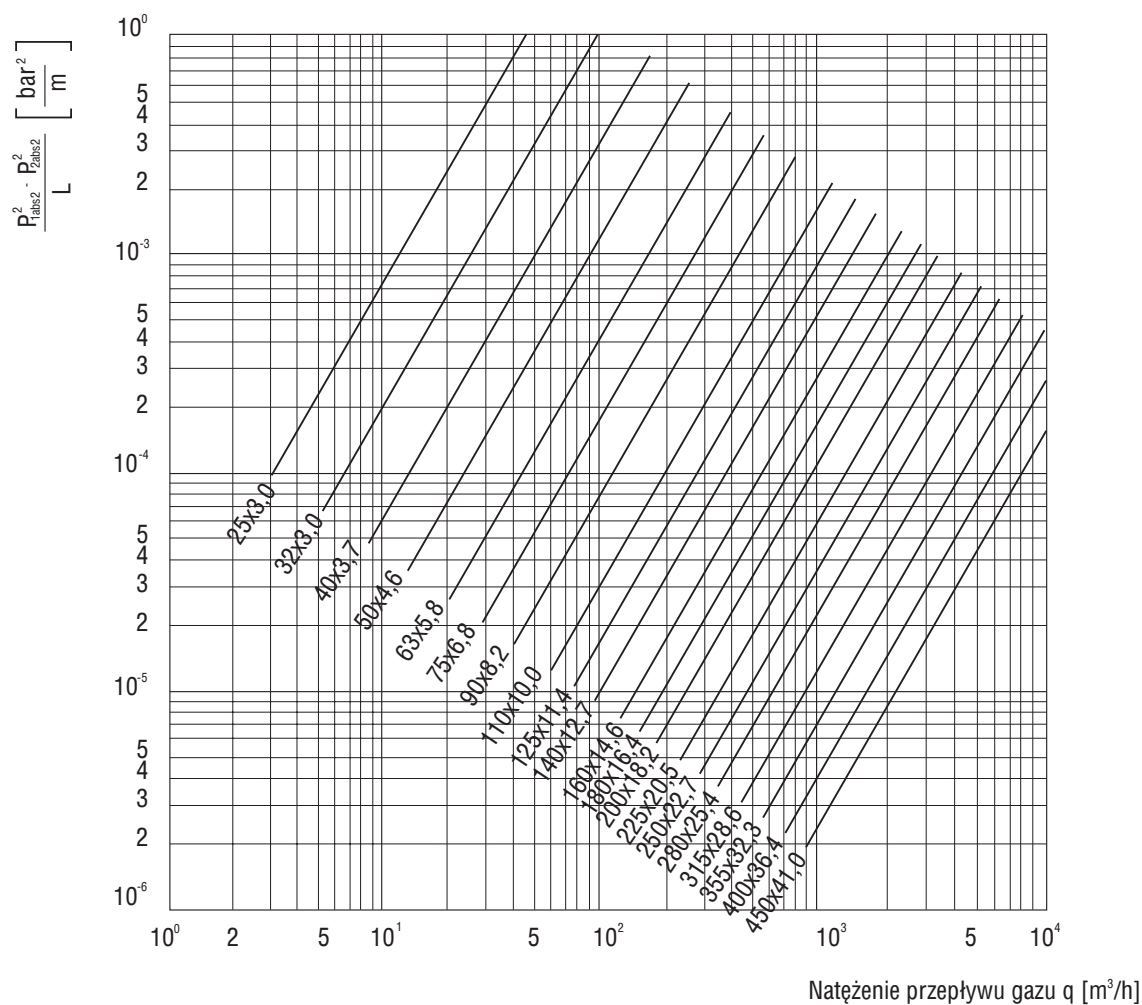
**doboru rur gazowych z PE szeregu SDR 11**  
**dla gazu ziemnego o temp. 10°C przy przepływie burzliwym**



# NOMOGRAMY DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

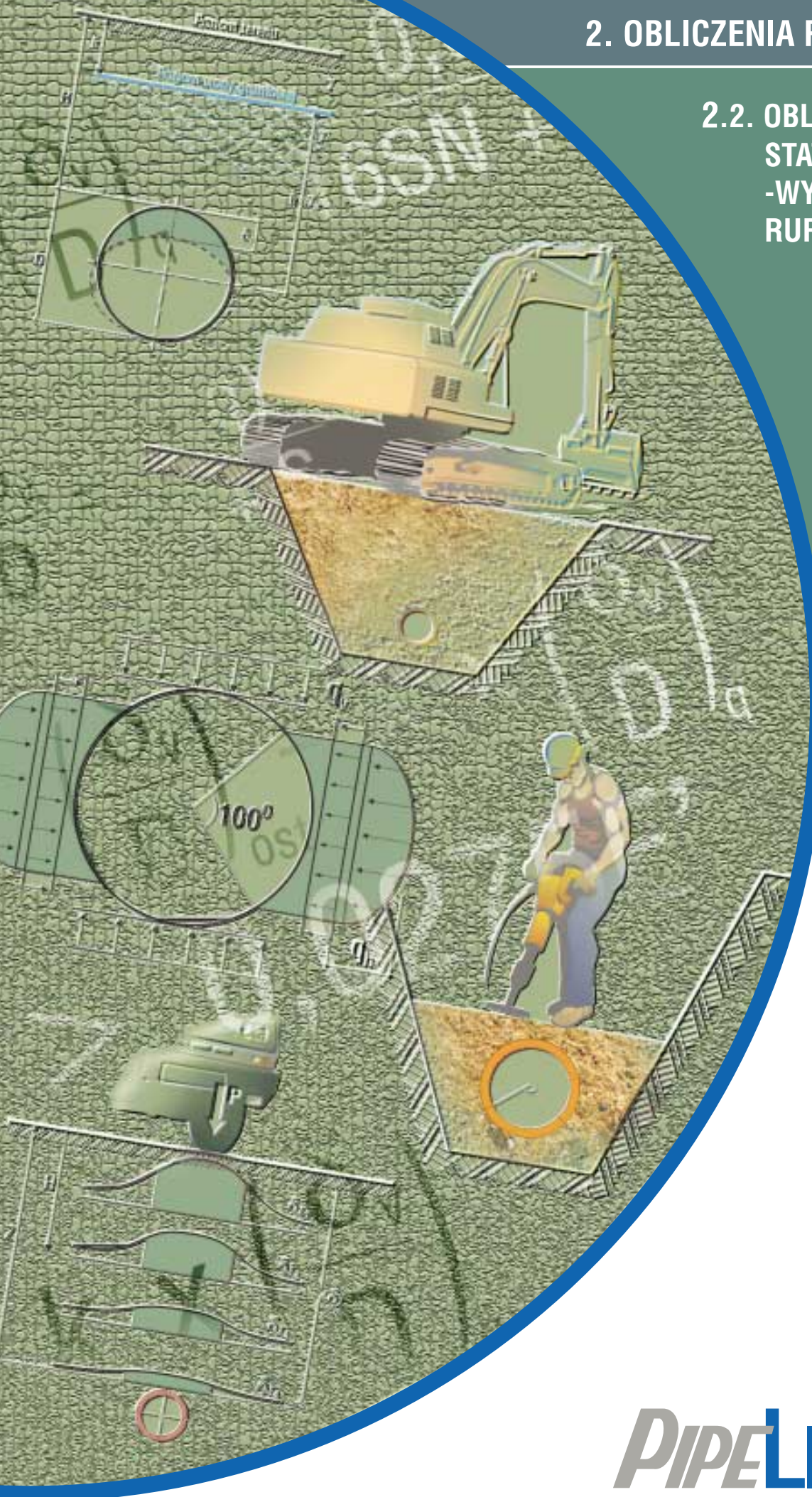
## NOMOGRAM NR 17

**doboru rur gazowych z PE szeregu SDR 17,6**  
dla gazu ziemnego o temp. 10°C przy przepływie burzliwym  
i nadciśnieniu roboczym > 100 mbar



## 2. OBLICZENIA RUROCIĄGÓW

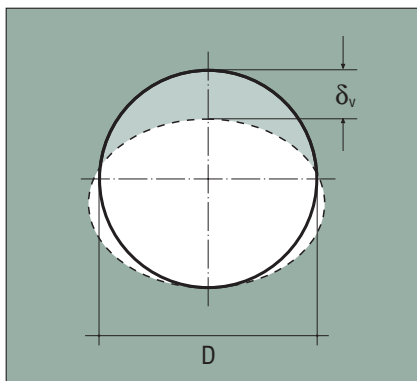
### 2.2. OBLICZENIA STATYCZNO -WYTRZYMAŁOŚCIOWE RUR



## OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

### 1. ODDZIAŁYWANIE MIĘDZY GRUNTEM I ELASTYCZNĄ RURĄ UMIESZCZONĄ W GRUNCIE

Rury PVC, PE i PP, w terminologii inżynierskiej nazywane elastycznymi, pod wpływem obciążenia pionowego odkształcają się (bez zmian strukturalnych) przyjmując kształt elipsy. Średnica pionowa rury ulega skróceniu o wartość  $\delta_v$  (schemat na rysunku).



Odształcenie rury od obciążenia pionowego

Odształcająca się rura wywierając nacisk na grunt, wywołuje na zasadzie reakcji odpór gruntu, co z kolei powoduje zmniejszenie naprężeń zginających w ścianie 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).

Im większa będzie siła oporu gruntu, tym mniejszemu odkształceniu (ugięciu) ulegnie rura pod obciążeniem.

Wpływ gruntu w strefie ułożenia rury na jej ogólną wytrzymałość jest głównym czynnikiem odróżniającym pracę rury elastycznej od zachowania się rury sztywnej, a mianowicie: rura sztywna, np. betonowa, sama przyjmuje na siebie oddziaływania sił pionowych, podczas gdy własność rury elastycznej, zależna jest od zdolności przejścia pionowych obciążeń przez układ "rura-grunt".

Dla lepszego zrozumienia wzajemnego oddziaływania pomiędzy sztywnością obwodową rury i sztywnością gruntu, można zastosować wzór Spangler'a:

$$\frac{\delta_v}{D} = \frac{f(q)}{S_r + S_s}$$

Równanie to opisuje ugięcie względne  $\delta_v/D$  rury o sztywności  $S_r$  poddanej pionowemu obciążeniu  $q$  i umieszczonej w gruncie o sztywności  $S_s$ , gdzie  $D$  oznacza średnicę pionową początkowo nie odkształconej rury.

Z równania tego wynika, że ugięcie rury możemy ograniczać do dopuszczalnej wartości przez dobór sztywności rury lub gruntu, bądź przez oba czynniki jednocześnie. Widać także, jak zmniejszanie jednego z tych czynników może być kompensowane przez wzrost drugiego.

Można również powiedzieć, że im rura ma większą sztywność obwodową, w tym mniejszym stopniu zdaje

się na współpracę mechaniczną z gruntem i tym mniejsze jest ryzyko przekroczenia dopuszczalnych ugięć rury spowodowanych np. niewłaściwym wykonaniem robót. Z drugiej strony, jeżeli da się rurze większe wsparcie gruntu przez odpowiedni dobór materiału obsypki i większe jej zagęszczenie, sztywność rury może być mniejsza.

W obu przypadkach należy kierować się rachunkiem ekonomicznym, biorąc pod uwagę koszt zakupu droższej rury (o wyższej klasie sztywności) w stosunku do kosztów materiału obsypki, jej dowozu i kosztów robót związanych z zagęszczeniem gruntu.

### 2. METODA OBLICZANIA ODKSZTAŁCEŃ RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

Wytrzymałość rur elastycznych układanych w wykopie otwartym i następnie zasypanych, można obliczyć w oparciu o metodę stanów granicznych:

– stan graniczny użytkowania – należy sprawdzić przez porównanie odkształceń od obciążeń z odkształceniem dopuszczalnym,

– stan graniczny nośności – można sprawdzić przez porównanie naprężeń krytycznych powodujących utratę stateczności na skutek wyboczenia z naprężeniami ściskającymi od obciążeń obliczeniowych oraz przez porównanie odkształcenia względnego (obwodowego) wywołanego uginającą się rurą pod wpływem obciążenia z odkształceniem dopuszczalnym.

Obecnie wobec braku opracowań krajowych, do obliczania odkształceń rur elastycznych ułożonych w gruncie przyjęto metodę "Molina" [E4], zwaną też metodą skandynawską, udokumentowaną najnowszymi badaniami i popartą 30-letnim doświadczeniem.

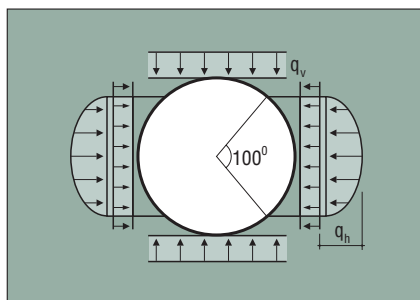
Procedura obliczeń metodą skandynawską uwzględnia oddziaływanie pomiędzy rurą a otaczającym ją gruntem.

# OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

## 3. OBCIĄŻENIA

Na rurę ułożoną w wykopie i następnie zasypaną działają:

- obciążenia pionowe ( $q_v$ ), które ogólnie mówiąc, wywołują w rurze stan naprężenia i odkształcenie,
- obciążenia poziome ( $q_h$ ), które się temu przeciwstawiają.



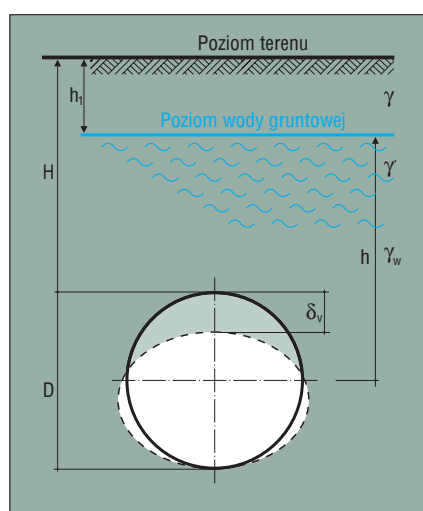
Model rozkładu parcia gruntu wg metody skandynawskiej

W normalnych warunkach ułożenia rury, pionowa składowa parcia gruntu ( $q_v$ ) jest większa od składowej poziomej ( $q_h$ ). Różnica ( $q_v - q_h$ ) powoduje odkształcenie się ścianki rury, co odpowiada zmniejszeniu się średnicy poziomej. Odkształcająca się ścianka rury powoduje odpór gruntu, którego wielkość zależy od wielkości parcia pionowego i od stosunku sztywności obsypki do sztywności rury.

### Obciążenie rury zasypem gruntowym

Obciążenie pionowe rury zasypem gruntowym można obliczyć z wyrażenia (zgodnie ze schematem na rysunku obok):

$$q_n = q_z + q_w$$



Schemat rury ułożonej w gruncie

gdzie:

$q_z$  - pionowe obciążenie gruntem [ $\text{kN/m}^2$ ]

$$q_z = \gamma \cdot h_1 + \gamma' \cdot (H - h_1)$$

$q_w$  - ciężar wody [ $\text{kN/m}^2$ ]

$$q_w = \gamma_w \cdot h$$

$\gamma$  - ciężar właściwy gruntu zasypki [ $\text{kN/m}^3$ ] (do obliczeń przyjmuje się średnio  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ )

$\gamma'$  - ciężar właściwy gruntu zasypki z uwzględnieniem siły wyporu [ $\text{kN/m}^3$ ] (do obliczeń przyjmuje się średnio  $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ )

$\gamma_w$  - ciężar właściwy wody w porach gruntu [ $\text{kN/m}^3$ ]

H - miąższość warstwy zasypki powyżej rury [m]

$h_1$  - odległość pomiędzy zwierciadłem wody gruntowej, a powierzchnią terenu

### Obciążenia zewnętrzne naziomu

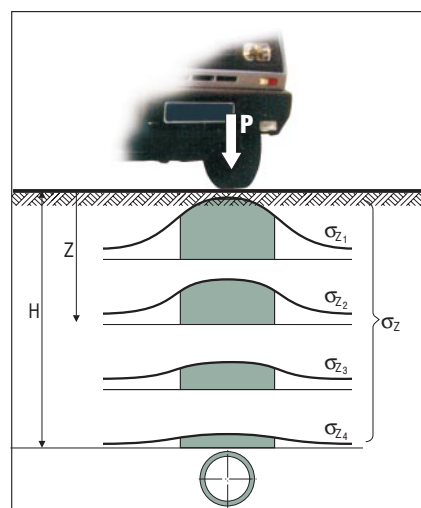
Obciążenia naziomu pochodzą od sąsiadujących budowli i obiektów nasyków oraz obciążeń drogowych, tramwajowych itp.

Przy obliczaniu naprężeń od obciążeń zewnętrznych stosowana jest teoria sprężystości wg Boussinesque'a [B3].

Do najczęściej występujących obciążeń zewnętrznych naziomu należą obciążenia ruchem drogowym.

Obciążenia ruchem drogowym i tramwajowym należy przyjmować zgodnie z obowiązującymi normami [B6, B7].

Przy obciążeniu powierzchni wieloma siłami skupionymi, przy obliczaniu naprężeń stosuje się zasadę superpozycji. Stąd też przy obliczaniu obciążeń od pojazdów stosuje się odpowiednie współczynniki uwzględniające obciążenia od kilku kół.



Schemat rozkładu naprężeń w gruncie wg teorii Boussinesque'a.

## OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

W oparciu o normatywy należy przyjąć jako obciążenie ruchem drogowym miarodajny pojazd o trzech osiach dających naciski o wartościach 60kN (oś przednia) + 2 x 120 kN (dwie osie tylne).

- dla dróg I i II klasy technicznej – klasę A obciążeń,
- dla dróg III, IV i V klasy technicznej – klasę B obciążeń,
- dla dróg wyższych klas technicznych – klasę C obciążeń.

Nacisk od kół pojazdu rozłożony jest na prostokąt o wymiarach 20 x 60 cm.

Norma uzależnia wielkości obliczeniowe od klasy obciążeń.

Dla wymagań w klasach A, B i C przeprowadzono analizę obciążeń przewodu w zależności od przykrycia rury. Posłużono się wzorem Boussinesque'a:

Z przekształcenia powyższego wzoru określono zależność:

Dla określenia występującego we wzorze współczynnika C sporządzono wykres (zamieszczony obok).

Norma dopuszcza, aby przy zagłębieniu analizowanej konstrukcji większej niż 1,0 m poniżej poziomu nawierzchni, nie uwzględniać współczynnika dynamicznego.

Wykres obowiązuje dla określania obciążeń użytkowych działających na przewód o średnicy do 400 mm. Przy obliczaniu statyczno-wytrzymałościowym przewodów większych średnic prosimy o kontakt z Działem Technicznym Pipelife.

Przy obliczaniu odkształceń dużych kolektorów przy małym przykryciu należy rozpatrzyć wpływ wielkości średnicy i rodzaju gruntu w warstwie ochronnej i zasypie końcowym na wielkość obciążenia.

Całkowite pionowe obciążenie rury ułożonej w gruncie wynosi:

OBCIĄŻENIE NORMOWE OD POJAZDÓW				
Klasa obciążeń	Naciski na osie			Odległość między pojazdami
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	
	[kN]	[kN]	[kN]	[m]
A	60	120	120	1,00
B	60	120	120	1,25
C	60	120	120	1,50
D	80	120	-	1,50
E	50	100	-	1,50

$$q_r = \frac{3 \cdot P \cdot H^3}{2 \cdot \pi \cdot R^5} \quad [\text{kPa}]$$

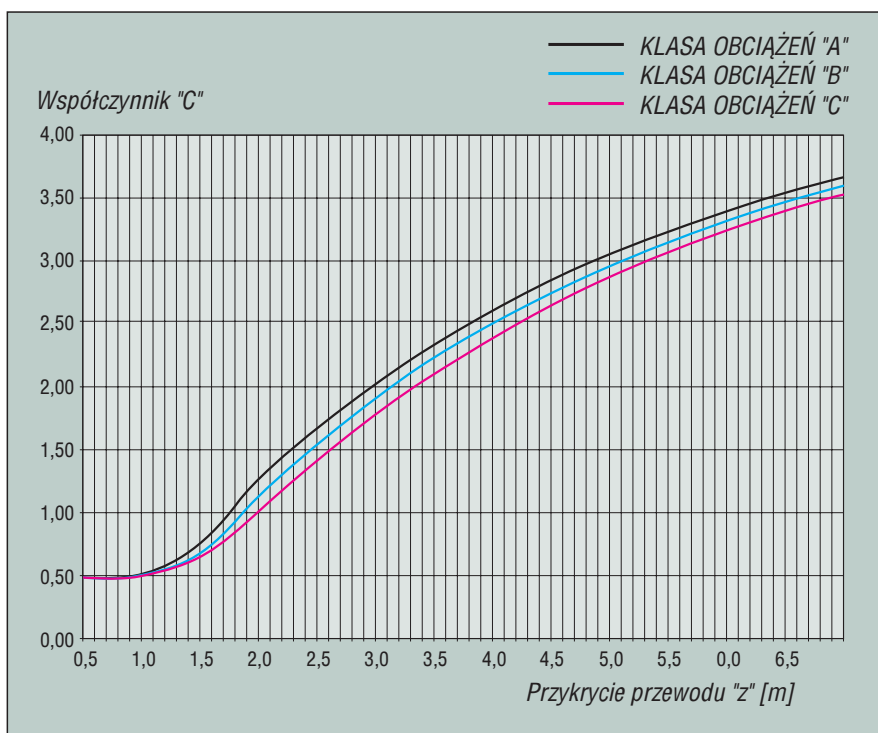
$$q_r = \frac{C \cdot P}{H^2} \quad [\text{kPa}]$$

gdzie:

P – nacisk koła [kN]

H – przykrycie przewodu [m]

R – odległość punktu przyłożenia siły od rozpatrywanego punktu [m].



$$q_n = q_z + q_w$$



# OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

## 4. SPRAWDZANIE STANÓW GRANICZNYCH

### Stan graniczny użytkowania – ugięcie

Dla rur ułożonych w gruncie ugięcie uwarunkowane jest przez zewnętrzne obciążenie, sztywność rury, jakość obsypki i podłoża oraz przez rodzaj zastosowanej technologii montażu.

Teoretycznie ugięcie spowodowane obciążeniami zewnętrznymi obliczone jest ze wzorów [E4]:

$$\left(\frac{\delta_v}{D}\right)_q = \frac{0,083 \times q}{16SN + 0,122E'_s}$$

$$SN = \frac{E \cdot I}{D^3}$$

$$I = \frac{e^3}{12}$$

Zgodnie z norami skandynawskimi rury kanalizacyjne beczciśnieniowe sklasyfikowano przy użyciu wartości krótkotrwałej sztywności obwodowej SN wyrażonej zwykle w kPa (1 kPa = 1 kN/m<sup>2</sup>). Dla rur o ściankach pełnych, gładkich moment bezwładności przyjmuje się równy:

gdzie:

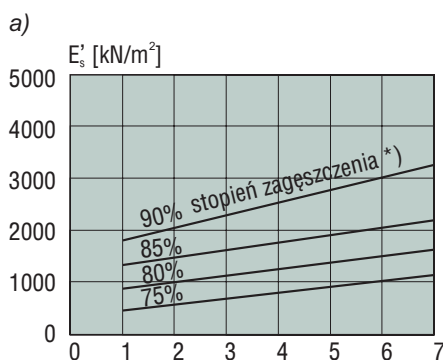
$\delta_v$  – zmniejszenie średnicy rury [mm]  
 $D$  – średnica okręgu obojętnego rury nieodkształconej [mm]  
 $q_v$  – obciążenie pionowe rury [kN/m<sup>2</sup>]  
 $SN$  – sztywność obwodowa rury [kN/m<sup>2</sup>]  
 $E'_s$  – moduł sieczny gruntu [kN/m<sup>2</sup>]  
 $E$  – moduł relaksacji materiału rury [kN/m<sup>2</sup>] (wartość krótkotrwała  
 $E_{3min} = 3200$  [MPa] dla rur PVC)  
 $I$  – moment bezwładności ścianki rury [mm<sup>3</sup>]  
 $e$  – grubość ścianki rury [mm]

### Moduł sztywności gruntu

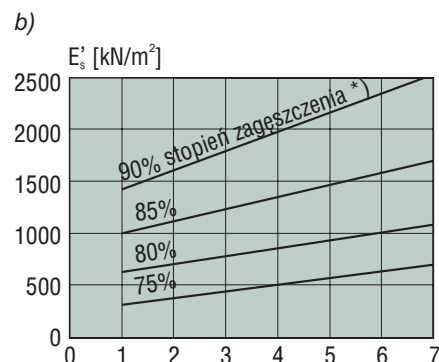
Do obliczenia odkształcenia względnego średnicy rury wykorzystuje się moduł sieczny gruntu [ $E'_s$ ]. Moduł sieczny gruntu zależy od stopnia zagęszczenia gruntu wokół rury i od efektywnego parcia gruntu, tzn. od głębokości ułożenia przewodu.

Moduły sieczne gruntu ustalane są na podstawie badań gruntów w aparacie cylindrycznym. W praktyce metoda ta może być stosowana do obliczeń odkształceń rur z tworzyw sztucznych układanych w gruntach niespoistych.

Moduł sieczny gruntu zależy od stopnia zagęszczenia gruntu wokół rurociągu, wysokości przykrycia rury oraz położenia poziomu wody gruntowej. Na rysunku obok podano minimalne wartości modułów siecznych gruntu uzyskane w badaniach.



Przykrycie rury H [m]



Przykrycie rury H [m]

\*) stopień zagęszczenia gruntu wg zmodyfikowanej metody Proctora.

Moduł sieczny gruntu dla zasypki rurociągu z materiałów sypkich

a) poziom wody gruntowej poniżej rury

b) poziom wody gruntowej powyżej rur

### Wpływ warunków wykonawstwa

Odształcenie względne przekroju rury od obciążeń pionowych określa początkowe odkształcenie rury, powstające bezpośrednio po wykonaniu zasypu rurociągu.

Ugięcie początkowe, spowodowane zewnętrznym obciążeniem pionowym, dla rur zasypywanych gruntem sypkim (np. piaskiem lub żwirem) wynosi zazwyczaj 2% do 4%.

Z wieloletnich obserwacji terenowych wynika, że znaczna część ugięcia spowodowana jest pracami wyko-

nawczymi. Z tego powodu w celu określenia maksymalnego odkształcenia początkowego, do odkształcenia obliczonego od obciążeń należy dodać ugięcie wynikające z zastosowanej metody montażu oraz warunków podłoża.

Maksymalne ugięcie początkowe może być obliczone ze wzoru:

$$\left(\frac{\delta_v}{D}\right)_{mp} = \left(\frac{\delta_v}{D}\right)_q \cdot 100 + I_f + B_f$$

gdzie:

$\left(\frac{\delta_v}{D}\right)_{mp}$  – maksymalne ugięcie początkowe [%]

$\left(\frac{\delta_v}{D}\right)_q \cdot 100$  – obliczeniowe teoretyczne ugięcie wywołane obciążeniem gruntu i naziomu [%]

$I_f$  – składowa ugięcia rury wynikająca z warunków montażu [%]

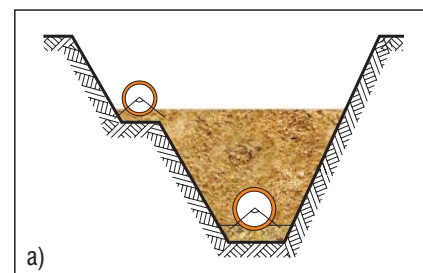
$B_f$  – składowa ugięcia rury wynikająca z warunków podłoża [%]

## OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

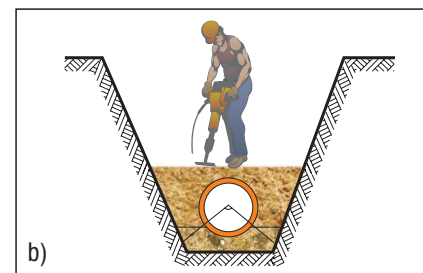
Na wartość składowej montażu  $I_f$  wpływają warunki budowy:

- rzeczywisty kształt montażu wykopu (rys. a),
- metoda i rodzaj użytego sprzętu do zagęszczenia (rys. b),
- natężenie ruchu podczas budowy (rys. c).

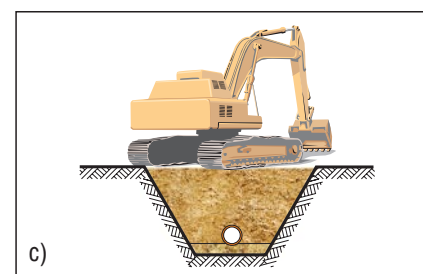
Wykop stopniowy



Zagęszczenie gruntu bezpośrednio nad rurą za pomocą ciężkiego sprzętu (>0,6 kN)



Duży ruch sprzętu budowlanego przy małej głębokości przykrycia rury  $H \leq 1,5$  m

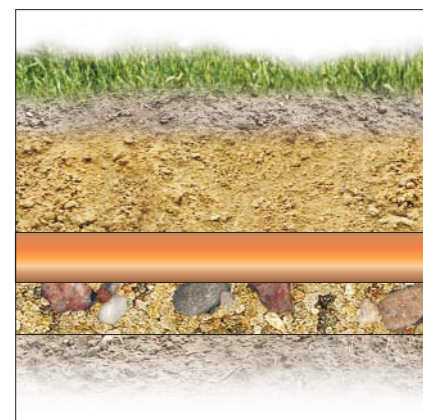


Na wartość składowej ugięcia  $B_f$  składają się:

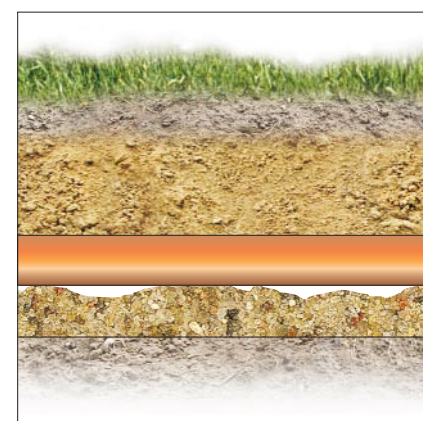
- warunki w dnie wykopu,
- jakość wykonawstwa,
- umiejętności ekipy montażowej.

Warunki w dnie wykopu:

a) Nierówne podłoże (występowanie kamieni)



b) le wykonana warstwa wyrównawcza



## OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

W tabelach podano orientacyjne wartości składowych ugięcia  $I_f$  i  $B_f$  zalecane dla wykopów wypełnianych materiałem sytkim.

ORIENTACYJNE WARTOŚCI SKŁADOWEJ MONTAŻU RUR $I_f$	
Metoda montażu	Składowa montażu $I_f$ [%]
Rura w wykopach stopniowych - bez nadzoru - z nadzorem	1 - 2 0
Duże obciążenie ruchem pojazdów budowlanych i $H < 1.5$ m	1 - 2
Zagęszczenie zasypki wykopu powyżej rury przy pomocy ciężkiego sprzętu, $P > 0.6$ kN	0 - 1

Wartość średnią ugięcia początkowego otrzymamy, jeżeli we wzorze na ugięcie maksymalne  $-(\frac{\delta_v}{D})_{mp}$  nie uwzględnimy składowej podłoża  $B_f$ .

Przy właściwym wykonawstwie średnie ugięcie początkowe nie przekracza na ogół 5%.

Dopuszczalne maksymalne ugięcia początkowe wynoszą:

- dla rur z PVC - 8%
- dla rur z PE i PP - 9%

ORIENTACYJNE WARTOŚCI SKŁADOWEJ PODŁOŻA $B_f$		
Warunki w dnie wykopu (jakość podłoża)	Składowa podłoża $B_f$ [%]	
	wykonawstwo	
	staranne	zwykłe
Bez nadzoru - bez kamieni *) - grunt z kamieniami i głazami	2	4
	3	5
Z nadzorem - bez kamieni *) - z kamieniami	1	2
	2	3

\*) dotyczy dna wykopu

Ze względu na procesy osiadania i przemieszczania się cząstek gruntu, zachodzące zarówno w obrębie obsypki, jak i zasypki, początkowe ugięcie rury będzie wzrastać w czasie, aż do momentu uzyskania wartości zbliżonej do

stałej, ostatecznej wartości po 1 roku do 3 lat od ułożenia i zasypania rurociągu. Jak wykazują długoletnie obserwacje, wielkość ostatecznego ugięcia po 1 – 3 latach osiągnie około dwukrotność ugięcia początkowego.

Praktycznie dla obliczenia ostatecznego ugięcia rury po okresie 3 lat należy zastosować wzór:

$$\left(\frac{\delta_v}{D}\right)_{ost} = k \cdot \left(\frac{\delta_v}{D}\right)_q$$

Maksymalne ostateczne ugięcie rury, będzie więc wyrażone wzorem:

$$\left(\frac{\delta_v}{D}\right)_{most} = k \cdot \left(\frac{\delta_v}{D}\right)_q + I_f + B_f$$

gdzie:

$k$  – współczynnik odkształcenia długoterminowego, na podstawie wieloletnich doświadczeń przyjmuje się wartości 1,5 – 2,0.

## OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

Wartość ugięcia rury ograniczona jest warunkiem zachowania szczelności w całym okresie eksploatacyjnym oraz niewielką zmianą przepustowości.

W związku z tym zaleca się, aby maksymalne długotrwałe ugięcie rury nie przekraczało 15%.

$$\left(\frac{\delta_v}{D}\right)_{\text{most}} \leq 15\%$$



Przedstawiona powyżej metoda obliczania odkształceń rur z tworzyw sztucznych dotyczy przewodów kanalizacyjnych (bezcisnieniowych) jak i przewodów ciśnieniowych, ponieważ maksymalne ugięcie wystąpi, gdy ciśnienie wewnętrzne będzie równe zeru.

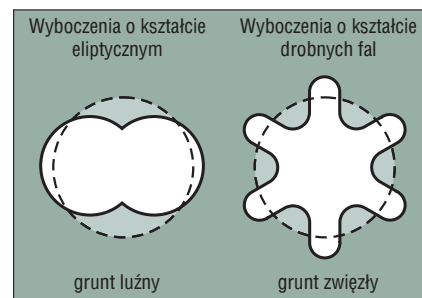
Dla rur drenarskich karbowanych z PVC na ogół nie przeprowadza się obliczeń statycznych i wytrzymałościowych. Przyjmuje się, że głębokości drenaży z rur karbowanych z PVC nie powinny przekraczać 3,5 – 4,0 m.

### 5. STAN GRANICZNY NOŚNOŚCI – WYBOCZENIE

Pod wpływem zewnętrznego ciśnienia gruntu powstają siły ściskające działające obwodowo na ściankę rury. Jeżeli siły te są duże, mogą spowodować uszkodzenie powstałe w wyniku wybooczenia ścianki rury.

Oddziaływanie to jest połączonym działaniem dużego ciśnienia zewnętrznego (lub podciśnienia) i niskiej sztywności rury, co stwarza ryzyko wystąpienia wybooczenia.

Osadzenie rury w zagęszczonym gruncie znacznie zwiększa jej odporność na wybooczenia, toteż występują one w formie drobnych fal. Natomiast, gdy otaczający grunt jest luźny, to odporność na wybooczenia jest mniejsza, a więc wystąpią one w kształcie mniej lub bardziej eliptycznym (rys. obok).



Rodzaje wybooczenia

Ze względu na ryzyko wystąpienia wybooczeń dozwolone (bezpieczne) parcie dla gruntów zwięzłych może być obliczone zgodnie z poniższym równaniem:

$$q_{\text{dop}} = \frac{5,63}{F} \sqrt{SN \cdot E'_t}$$

gdzie:

F – współczynnik bezpieczeństwa (dla wszystkich przypadków F=2)  
 SN – sztywność obwodowa rury [kN/m<sup>2</sup>]  
 E'<sub>t</sub> – moduł styczny gruntu, charakteryzujący sztywność gruntu [kN/m<sup>2</sup>] (zaleca się przyjmować E'<sub>t</sub> = 2E'<sub>s</sub>)

## OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

W przypadku gdy rura otoczona jest gruntem luźnym, takim jak muł, glina czy ił, dopuszczalne zewnętrzne parcie gruntu oblicza się zgodnie z równaniem:

$$q_{\text{dop}} = \frac{24 SN}{F} + \frac{2 E'_t}{3F}$$

Pod warunkiem, że spełniona jest zależność:

$$SN > 0,0275 E'_t$$

Minimalna niezbędna wartość stosunku grubości ściany do średnicy rury ( $e/D$ ), dla rury z PVC ze względu na ryzyko wystąpienia wybożenia wynosi:

Ruch drogowy	( $e/D$ )
nie występuje	0,02
występuje	0,025
	0,03

### Odkształcenie względne ścianki rury

Dla rur ciśnieniowych odkształcenie całkowite będzie sumą odkształcenia zginającego i rozciągającego. Dla rur z tworzyw sztucznych (materiał o wy-

sokiej szybkości relaksacji naprężenia zginającego), obliczenia mogą być wykonywane oddzielnie dla naprężenia rozciągającego spowodowanego

przez wewnętrzne ciśnienie i osobno dla naprężenia zginającego spowodowanego przez obciążenia zewnętrzne (od gruntu i ruchu ulicznego).

### Wybożenie

Sprawdzanie rur na wybożenia należy przeprowadzać przy założeniu, że moduł styczny gruntu  $E'_t$  równy jest zeru, niezależnie od rodzaju gruntu otaczającego rurę.

Dla rur ciśnieniowych, posiadających dużą sztywność SN, wybożenia rzadko będą decydującym kryterium projektowym.

### Odkształcenie

Odkształcenie dla rur ciśnieniowych sprawdzamy zgodnie ze wzorem:

$$\varepsilon = \frac{p \cdot d_n}{2e_n \cdot E} + D_f \cdot \left( \frac{\delta_v}{d_n} \right) \cdot \left( \frac{e_n}{d_n} \right)$$

gdzie:

$\varepsilon$  – dopuszczalne odkształcenie względne (%)

$p$  – ciśnienie robocze [MPa]

$e_n$  – nominalna grubość ścianki [mm]

$E$  – moduł Younga [długotrwały] [MPa]

$\delta$  – ugięcie bezwzględne [mm]

$D_n$  – średnica nominalna [mm]

$D_f$  – współczynnik związany z momentem zginającym spowodowanym ugięciem.

Współczynnik  $D_f$  ma charakter złożony, jego wartość może zmieniać się w przedziale 3 do 10 i więcej (średnio 6).