

POMIAR STRUMIENIA PRZEPIYU PLYNÓW I OPORÓW PRZEPIYU

CEL ĆWICZENIA

Celem Ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą pomiaru prędkości płynu przy pomocy rurki Prandtla oraz określanie oporów przepływu w przewodach wentylacyjnych.

LITERATURA

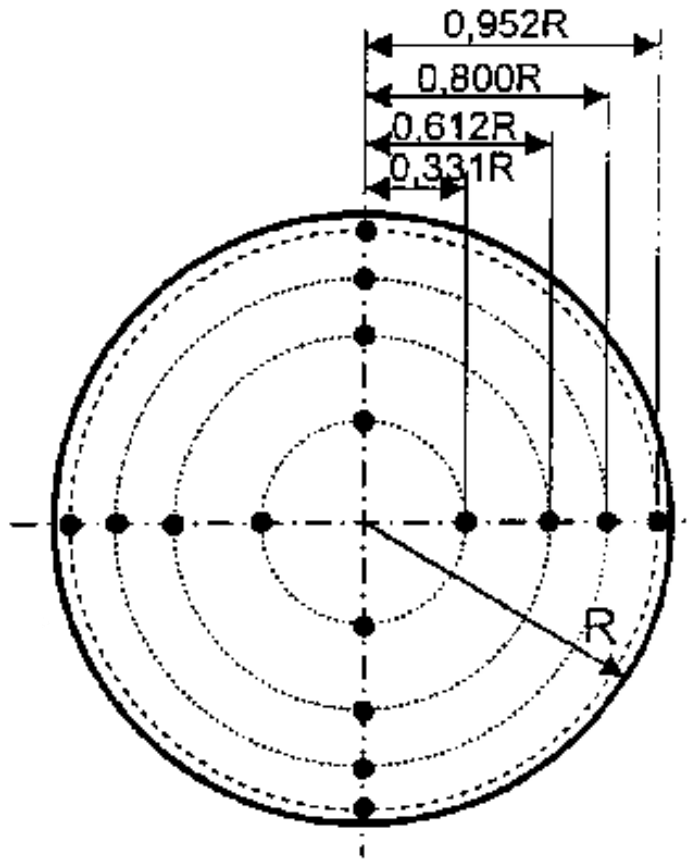
1. Informacje z wykładów
2. Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: Mechanika płynów w inżynierii środowiska. WNT
Rozdziały: 1, 2, 3, 4, 5, 7
3. Słupek S., Nocoń J., Buczek A.: Technika Ciepła - Ćwiczenia obliczeniowe. Skrypt AGH nr 1646.
Rozdziały - 1 i 5
4. Norma PN – ISO 5221
5. Norma PN-EN ISO 5167:2005 Pomiary strumienia płynu za pomocą zwęzek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym.

WYZNACZENIE PRĘDKOŚCI ŚREDNIEJ - METODĄ LOG - CZEBYSZEWA

W szczególnych punktach pomiarowych można dokonać pomiaru prędkości przepływu powietrza przy pomocy rurki Prandtla zgodnie z normą (PN – ISO 5221) metodą „Log – Czebyszewa” w celu określenia średniej prędkości powietrza w kanale. Położenie punktów pomiarowych w przewodzie o przekroju kołowym odpowiada następującym wartościom promienia r/R (rys. 1).

Tabela 1

Liczba punktów pomiarowych	r/R
3	0,375
	0,825
	0,936
4	0,331
	0,612
	0,800
	0,952
5	0,287
	0,570
	0,689
	0,847
	0,962



Rys. 1 Punkty pomiarowe w metodzie Log - Czebyszewa

OPRY PRZEPIYWU POWIETRZA

1. Oporo miejscowe

Strata cišnienia spowodowana jest zmianą kierunku i wartości prędkości wywołanego konstrukcją przewodu, przez który przepływa plyn. Stratę cišnienia na skutek oporów miejscowych wyznacza się z zależności:

$$\Delta p_m = \zeta \frac{\rho w^2}{2}$$

Strata cišnienia wyrażona jest w postaci cišnienia dynamicznego. Prędkości plynu za i przed przeszkodą są różne. Do wzoru podstawia się zwyczajowo prędkość za przeszkodą.

2. Oporo tarcia

Straty tarcia wskutek tarcia mają duże znaczenie praktyczne. Stratę cišnienia na skutek tarcia obliczamy z zależności:

$$\Delta p_t = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho w^2}{2}$$

Wartość współczynnika tarcia zależy od dwóch parametrów: chropowatości rurociągu i liczby Reynoldsa. Zależność współczynnika λ przedstawia wykres (rys. 2).

Liczba Reynoldsa

Charakter przepływu płynu określa się na podstawie wartości liczby Reynoldsa. Liczba Reynoldsa wyraża stosunek sił bezwładności do sił lepkości podczas ruchu płynu:

$$Re = \frac{wD}{\nu}$$

gdzie ν współczynnik lepkości kinematycznej.

W praktyce inżynierskiej przyjmuje się na ogół następujące kryteria dla rur okrągłych

- $Re < 2100$ – przepływ laminarny (uporzędkowany, warstwowy, stabilny),
- $2100 < Re < 3000$ – przepływ przejściowy (częściowo turbulentny),
- $Re > 3000$ – przepływ turbulentny (burzliwy).

W przepływach turbulentnych można wyróżnić trzy zakresy:

Zakres I

$$k < \delta_{lam}$$

Chropowatość bezwzględna mniejsza od grubości podwarstwy laminarnej. Brak wpływu chropowatości na współczynnik tarcia.

Zakres II

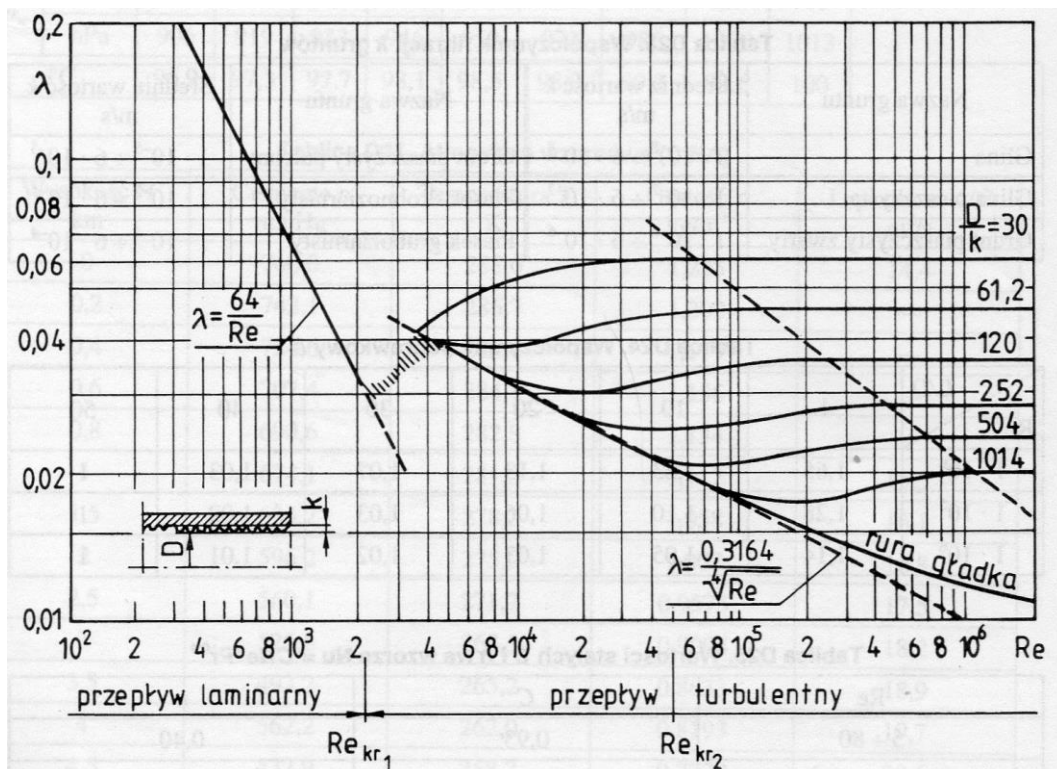
$$k > \delta_{lam}$$

Chropowatość bezwzględna większa od grubości podwarstwy laminarnej. Wpływ chropowatości na współczynnik tarcia zmienia się z liczbą Re .

Zakres III

$$k \gg \delta_{lam}$$

Chropowatość bezwzględna dużo większa od grubości podwarstwy laminarnej. W pełni rozwinięty przepływ turbulentny. Brak wpływu liczby Re na współczynnik tarcia.



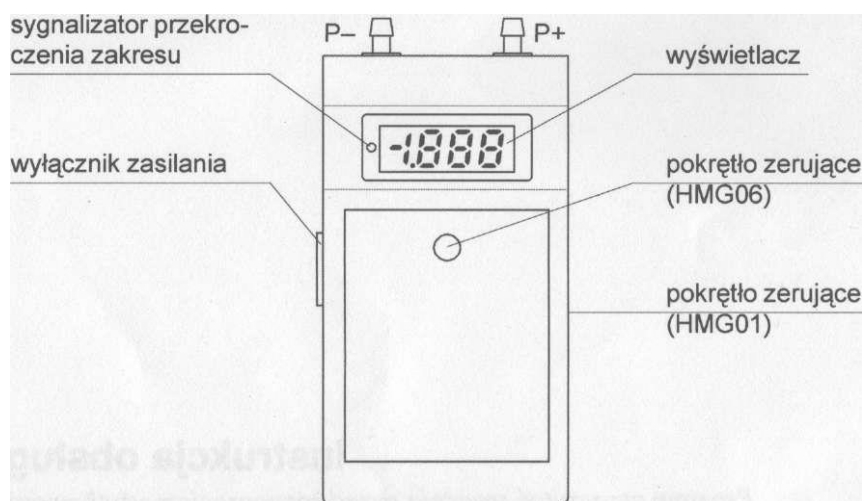
Rys. 2 Zależność współczynnika tarcia λ w rurze o przekroju kołowym od liczby Re

PRZYRZĄDY POMIAROWE

1. Mikromanometr Przenośny HMG (rys. 3)

WPROWADZENIE

Mikromanometry HMG to bateryjnie zasilane urządzenia służące do pomiaru ciśnienia różnicowego oraz nad- i podciśnienia. Dzięki niewielkim rozmiarom umożliwiającym jednoręczną obsługę oraz trwałej konstrukcji, są pomocnym narzędziem pomiarowym wszędzie tam, gdzie potrzebne są pomiary stosunkowo niewielkich ciśnień. Przyrządy nadają się wyłącznie do pomiaru ciśnienia czystych, nieagresywnych gazów.



Rys. 3 Mikromanometr MHG - schemat

ZASADA DZIAŁANIA

Elementem pomiarowym jest półprzewodnikowy czujnik piezorezystancyjny. Różnica ciśnień doprowadzona do czujnika powoduje zmianę rezystancji gałęzi mostka rezystancyjnego. Po elektronicznym przetworzeniu sygnału wartość ciśnienia jest wyświetlana na ciekłokrystalicznym wskaźniku numerycznym.

OBSŁUGA

1. Włączanie przyrządu.

Przyrząd włącza się przesuwając suwak wyłącznika w pozycję "on". Gdy na wyświetlaczu pojawia się napis "LOBAT" oznacza to, że bateria jest zużyta i należy ją niezwłocznie wymienić na nową.

2. Zerowanie.

Jeśli przy obu króćcach podłączeniowych (P-/P+) otwartych do atmosfery przyrząd wskazuje wartość różną od zera należy za pomocą pokrętła zerującego doprowadzić do wskazania zerowego na wyświetlaczu. Pozwoli to na likwidację błędów wywołanych położeniem przyrządu, starzeniem się podzespołów elektronicznych oraz wpływem dryftu termicznego. Po ustaleniu zera, w czasie normalnej pracy nie należy już zmieniać położenia pokrętła. Należy pamiętać, aby podczas zerowania do przyrządu nie było doprowadzone żadne ciśnienie (oba wejścia otwarte do atmosfery).

Zaleca się dokonywanie korekcji zera przed każdym pomiarem w celu zwiększenia dokładności pomiarów.

Uwaga: Błędu powstałego w wyniku nadmiernego przeciążenia czujnika pomiarowego może nie dać się skorygować elektronicznie. W takim wypadku przyrząd musi zostać zwrócony do serwisu.

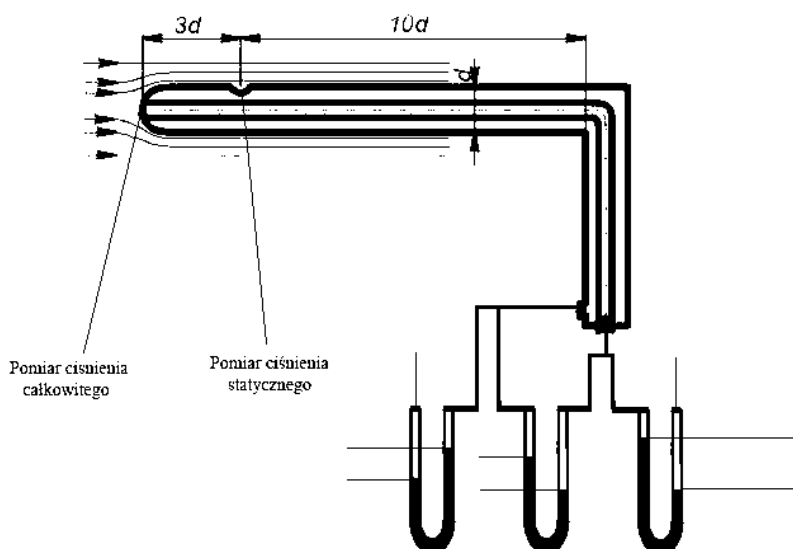
3. Podłączenia

Przy pomiarach nadciśnienia ciśnienie należy doprowadzić do króćca oznaczonego symbolem "P+".
Przy pomiarach podciśnienia ciśnienie należy doprowadzić do króćca oznaczonego symbolem "P-".

Przy pomiarach różnicy ciśnień ciśnienie wyższe należy doprowadzić do króćca oznaczonego symbolem "P+", natomiast niższe do króćca oznaczonego symbolem "P-".

2. Sonda Prandtla

Przyrząd pomiarowy rys. 4 służący do wyznaczenia wartości ciśnienia dynamicznego. Składa się z dwóch koncentrycznych rurek. Dokonywany jest pomiar ciśnienia całkowitego i statycznego przepływającego płynu.



Rys. 4 Sonda Prandtla

Prędkość wynika z równania (przy założeniu przepływu płynów doskonałych):

$$w = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(p_c - p_s)}{\rho}}$$

gdzie

p_c - ciśnienie całkowite

p_s - ciśnienie statyczne

ρ - gęstość płynu

Sonda Prandtla należy do przyrządów punktowych umożliwiających pomiar w danym punkcie poprzecznego przekroju kanału. Przemieszczając sondę w różne miejsca, można wyznaczyć rozkład prędkości w danym przekroju.

3. Mikromanometr AirFlow



Rys. 5 Mikromanometr AirFlow

OPIS

Mikromanometr PVM100 pozwala mierzyć bezpośrednio ciśnienie i prędkość, przyrząd oferuje dużą dokładność pomiaru oraz możliwość natychmiastowego zapisu, przywołania i przeglądania do 60 wyników z wbudowanej pamięci.

DZIAŁANIE

Przyrząd może pracować w dwóch trybach. W trybie pomiaru rzeczywistego mierzone wartości są bezpośrednio wyświetlane w wybranych jednostkach prędkości (m/s lub ft/min) lub nadciśnienia, podciśnienia lub różnicy ciśnień (Pa lub in H₂O) na dwurzędowym matrycowym wyświetlaczu LCD. Fluktuacje przepływu są natychmiastowo obrazowane na graficznym wskaźniku w postaci linijki z ruchomym znacznikiem, a przez wybór szybkiej lub wolnej reakcji przyrządu wartości porównawcze są szybko uzyskiwane. Funkcja szczególnie użyteczna przy pulsującym przepływie.

WYKONYWANIE POMIARÓW

Przed uruchomieniem silnika napędzającego wentylator podłączony do przewodu wentylacyjnego należy wykonać następujące pomiary i czynności:

- pomiar temperatury powietrza - t_o
- pomiar ciśnienia barometrycznego - p_b
- pomiar wilgotności względnej powietrza - ϕ
- pomiary średnic: przewodu wentylacyjnego - D
- wyznaczyć punkty pomiaru w celu wyznaczenia średniej prędkości przepływu

Po uruchomieniu silnika napędzającego wentylator ($n = \text{const}$) podłączony do przewodu wentylacyjnego należy wykonać następujące pomiary:

- ciśnienia dynamicznego w wyznaczonych punktach pomiarowych (tabela 2)
- ciśnienia statycznego w rurociągu przed rurką Prandtla p_{st} (jeden raz w czasie eksperymentu) **mikromanometrem AirFlow !!!!!!!**
- następnie należy wykonać pomiary różnicy ciśnień pomiędzy punktami pomiarowymi opisanymi w tabeli 3 w celu wyznaczenia współczynników oporów miejscowych i liniowych.

Tabela 2 Prędkość średnia metoda Log - Czebyszew

L.p	r, mm	p_d , Pa	Uwagi
3g.			
2g.			
1g.			
0 - oś			
1d.			
2d.			
3d.			

Tabela 3 Opory przepływu

L.p.	Nazwa	Nr punktu pomiarowego	Wartość nadciśnienia, Δp_n	Wartość różnicy ciśnień, Δp	Uwagi
1	Kolano 90 °	5			
	R =	6			
2	Odcinek 1	6			
	L =	7			
3	Kolano 90 °	7			
	R =	13			
4	Odcinek 2	13			
	L =	14			
5	Łuk 180 °	16			
	R =	17			
6	Kolano 90 °	21			
	R =	22			

OBLICZENIA DO SPRAWOZDANIA

1. Określenie rzeczywistych parametrów powietrza (pomiar, tablice)

Rzeczywista gęstość powietrza wilgotnego:

$$\rho = \rho_N \frac{(p - \varphi p_p) T_N}{p_N T} + \varphi \rho''$$

gdzie:

φ - wilgotność względna

p_p - ciśnienie pary wodnej nasyconej w temperaturze T , kPa

$$\lg p_p = 7,345 - \frac{1809,85}{T - 33,72}$$

ρ'' - gęstość pary wodnej nasyconej w temperaturze T , kg/m³

$$\lg \rho'' = 4,723 - \frac{1652,67}{T - 38,32}$$

N - indeks odnoszący się do warunków normalnych ($T_N = 273,15$ K, $p_N = 101325$ Pa)

2. Wyznaczenie średniej prędkości w przepływie na podstawie pomiarów.
3. Określenie charakteru przepływu - liczba Re.
4. Obliczenie współczynników strat lokalnych ζ i porównanie ich z danymi tablicowymi dla elementów instalacji wentylacyjnej. Wyjaśnić różnice.
5. Obliczenie współczynników λ tarcia i porównanie z wartościami odczytanymi z wykresu 1. Wyjaśnić różnice.

Uwaga

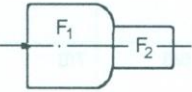
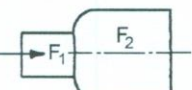
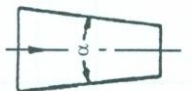

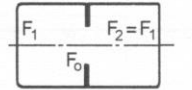
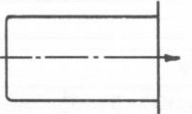
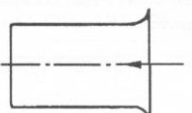
Do wyznaczenia chropowatości rurociągu przyjąć materiał - stal ocynkowana wieloletnia

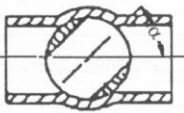
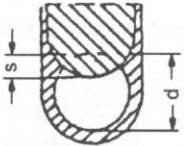
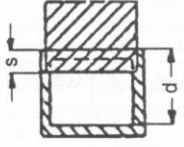
SPRAWOZDANIE POWINNO ZAWIERAĆ:

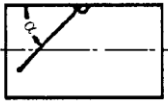
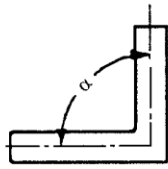
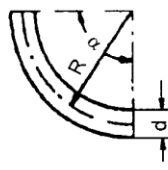
- schemat stanowiska pomiarowego z zaznaczonymi punktami pomiarowymi,
- wyniki pomiarów w tabeli,
- obliczenia,
- porównanie otrzymanych wyników z danymi tablicowymi z wyjaśnieniem ewentualnych różnic,
- wnioski.

Załączniki 1

Wartości współczynnika oporu miejscowego [5]

Rodzaj oporu	Wartość współczynnika ξ											
1	2											
Nagłe zwężenie** 	$\frac{F_2}{F_1}$	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	ξ	0,5	0,47	0,42	0,38	0,34	0,30	0,25	0,20	0,15	0,09	0
Nagłe rozszerzenie 	$\xi = \left(\frac{1 - F_1}{F_2} \right)^2$											
	$\frac{F_1}{F_2}$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
	ξ	0	0,01	0,04	0,09	0,16	0,25	0,36	0,49	0,64	0,81	1
Stożkowe zwężenie 	α°	7	10	15	20	25	30	35	40			
	ξ	0,16	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28			
	α°	45	50	55	60	65	70	75	80			
	ξ	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35			
Stożkowe rozszerzenie 	$\xi = K \left(\frac{F_2}{F_1} - 1 \right)^2$											
	α°	5	10	15	20	25	30	40	45			
	K	0,13	0,17	0,26	0,41	0,53	0,71	0,90	0,98			
	α°	50	60	70	80	90	100	120	140			
	K	1,03	1,12	1,13	1,10	1,07	1,06	1,05	1,04			
Kryza w rurze 	$\frac{F_0}{F_2}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
	ξ	226	47,8	17,5	7,8	3,75	1,8	0,8	0,29	0,06	0,0	
Wylot przewodu 	$\xi = 1$											
Wlot przewodu 	z ostrą krawędzią $\xi = 0,5$ z zaokrągloną krawędzią $\xi = 0,25$											

<p>Kurek</p> 	α°	5	10	20	30	40	50	60	65	
	ξ	0,05	0,29	1,56	5,47	17,3	52,6	206	486	
<p>Zasuwa w kolistym przewodzie</p> 	$\frac{s}{d}$	0	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	
	ξ	0,05	0,07	0,26	0,81	2,08	5,52	17,0	97,8	
<p>Zasuwa w przewodzie prostokątnym</p> 	$\frac{s}{d}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	ξ	0,09	0,39	0,95	2,08	4,02	8,12	17,8	44,5	193,0

1	2												
<p>Kłapa</p> 	α°	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	85
	ξ	1,7	2,3	3,2	4,6	6,6	9,5	14	20	30	42	62	90
<p>Kolano ostre</p> 	α°	90		120		135		150					
	ξ	1,1		0,55		0,25		0,2					
<p>Kolano zaokrąglone (półtut)</p> 	$\xi = \left[0,131 + 0,163 \left(\frac{d}{R} \right)^{3,5} \right] \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}$ <p>dla $R = 3 \cdot d$; $\xi \approx 0,14$</p>												

Załączniki 2

Chropowatość ścianek powierzchni przewodów [5]

Materiał	Stan przewodu	Chropowatość k [mm]
Beton	nowy, handlowy, gładki	0,3–0,8
Beton	nowy, handlowy, średnioszorstki	1–2
Beton	nowy, handlowy, szorstki	2–5
Beton	nowy, żelbetowy, starannie wygładzony	0,1–0,15
Beton	nowy, natryskowy, wygładzony	0,1–0,15
Beton	nowy, natryskowy, bez wygładzenia	0,2–0,8
Beton	wygładzony po kilkuletnim ruchu (woda)	0,2–0,3
Drewno	różny	0,2–1,0
Guma	nowy, technicznie gładki	0,0015
Miedź, mosiądz, brąz, aluminium, inne lekkie metale ciągnione i prasowane	nowy, technicznie gładki	0,001–0,0015
PCW	nowy, technicznie gładki	0,025
Polietylen	nowy, technicznie gładki	0,05
Stal bez szwu	nowy	0,02
Stal spawana	nowy	0,12
Stal spawana	nieznaczna korozja	0,20
Stal spawana	widoczna korozja	0,60
Stal spawana	stary, silna korozja	1,5–3
Stal ocynkowana	nowy	0,1–0,2
Stal ocynkowana	po kilku latach eksploatacji	0,4–0,7
Sztko	nowy, technicznie gładki	0,0015
Żeliwo asfaltowane	nowy	0,1–0,2
Żeliwo	nowy	0,2–0,5
Żeliwo	stary	0,5–1,5
Żeliwo	stary, silna korozja	do 3