

**DZIAŁ: HYDRODYNAMIKA
ĆWICZENIE B: Wyznaczanie oporów przy przepływie płynów
[MATERIAŁY DODATKOWE - TABELĘ]**

opracowanie: A.W.

SPIS TABEL:

**POMOCNICZE DANE do obliczeń
ŚREDNICE ZASTĘPCZE i WSPÓŁCZYNNIKI TARCIA dla rur prostych dla przepływu LAMINARNEGO
WSPÓŁCZYNNIK TARCIA – STAŁE a, b, n dla rur gładkich dla przepływu TURBULENTNEGO
Współczynnik tarcia dla węzownicy
PRZYKŁADOWE WIELKOŚCI LICZBOWE WSPÓŁCZYNNIKA OPORÓW MIEJSCOWYCH φ
WSPÓŁCZYNNIK OPORÓW MIEJSCOWYCH φ DLA ZMIANY KIERUNKU PRZEPŁYWU
WSPÓŁCZYNNIK OPORÓW MIEJSCOWYCH φ DLA ROZSZERZEŃ I ZWĘŻEŃ PRZEWODÓW
OPORY PRZEPŁYWU PRZEZ MATERIAŁY SYPKIE – zależność n od Re**

POMOCNICZE DANE do obliczeń

wielkość	wartość	jednostka
przyspieszenie ziemskie g	9.81	[m/s ²]
gęstość wody ρ_{H_2O}	1000	[kg/m ³]
gęstość powietrza ρ_{AIR}	1.293	[kg/m ³]
lepkość dynamiczna powietrza w T = 18°C μ_{AIR}	182.7	[μ P]
lepkość dynamiczna powietrza w T = 0°C μ_{0AIR}	171.6 [6] 170.8 [8]	[μ P]
stała Sutherlanda C wg różnych źródeł zakres stosowania: 0-300°C [4], 170-1900 K [6]	114 [4] 111 [6] 120 [7]	[K]

UWAGA! lepkość przeliczyć na jednostki układu SI, dla innych temperatur lepkość powietrza można skorygować wg wzoru Sutherlanda
dodatkowe dane dotyczące lepkości powietrza w arkuszu kalkulacyjnym „dane pomocnicze”

ŚREDNICE ZASTĘPCZE i WSPÓŁCZYNNIKI TARCIA

dla rur prostych dla przepływu LAMINARNEGO (zwykle Re < 2100) gdzie: $\lambda = \frac{a}{Re}$ [4]

TABELA 11.1.9.4. STRONA 691 [4]

profil:	h/b	d _z	a
koło o średnicy d	-	d	64
kwadrat o boku h	-	h	57
trójkąt równoboczny o boku h	-	0.58 h	53
pierścień o szerokości b	-	2 b	96
elipsa o osiach h i b	0.7	1.17 h	65
	0.5	1.30 h	68
	0.3	1.44 h	73
	0.2	1.50 h	76
	0.1	1.55 h	78
prostokąt o bokach h i b	-	$\frac{2hb}{h+b}$	-
	1/∞	2 h	96
	0.1	1.82 h	85
	0.2	1.67 h	76
	0.25	1.60 h	73
	0.333	1.50 h	69
	0.5	1.33 h	62
półkole (powierzchnia cieczy na średnicy d)	-	d	-
plytki płaski strumień o głębokości h	-	4 h	-
warstwka cieczy o grubości t na pionowej rurze	-	4 t	-

**WSPÓŁCZYNNIK TARCIA – STAŁE a, b, n w równaniu $\lambda = a + \frac{b}{Re^n}$
dla rur gładkich dla przepływu TURBULENTNEGO [4]**

TABELA 11.1.9.1. STRONA 689 [4]

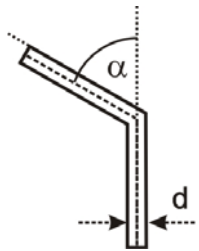
autor / równanie	a	b	n	Re
Blasius	-	0.3164	0.25	5000 – 10⁵ [4] 2320 – 10⁵ [9]
Generaux	-	0.16	0.16	4000 – 2 · 10 ⁷ [9]
Jakob i Erik	0.00714	0.06104	0.35	5000 – 5 · 10 ⁵
Herman i Schiller	0.0054	0.3968	0.3	5000 – 2 · 10 ⁶ [4] 2500 – 2 · 10 ⁶ [9]
Lang	0.015	1.7	0.5	5000 – 2 · 10 ⁶
Nikuradse	0.0032	0.221	0.237	10 ⁵ – 2 · 10 ⁶
Rea	-	0.079	0.109	8 · 10 ⁴ – 10 ⁶
Koo	0.0056	0.50	0.32	3000 – 3 · 10 ⁶

Współczynnik tarcia dla węzownicy λ_w w stosunku do współczynnika dla rury prostej λ obliczany jest z równania: $\lambda_w = \lambda (1 + 3.54 \frac{d}{D})$, D – średnica zwoju, d – średnica przewodu.

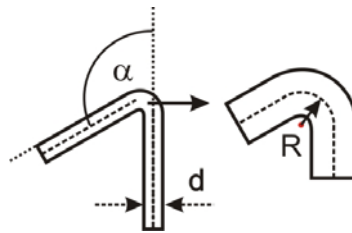
PRZYKŁADOWE WIELKOŚCI LICZBOWE WSPÓŁCZYNNIKA OPORÓW MIEJSCOWYCH ϕ [4]

	ϕ		ϕ
włot do rury o brzegach ostrych	0.5	kolanka nieopływowe/ostre	
włot do rury o brzegach zaokrąglonych	0.2 – 0.25	kolanko 90°; d = 12.5 mm	2.2
wylot z rury	1	kolanko 90°; d = 25 mm	2
kolanka	0.02 – 1.3	kolanko 90°; d = 37 mm	1.6
zawory i zasuwy	0.8 - 6	kolanko 90°; d = 50 mm	1.1
trójnik 90° - łączenie strug	3	kolanko 90°	1.1
trójnik 90° - rozdzielanie strug	2	kolanko 60°	0.55
		kolanko 45°	0.25
		kolanko 30°	0.2

WSPÓŁCZYNNIK OPORÓW MIEJSCOWYCH ϕ DLA ZMIANY KIERUNKU PRZEPŁYWU [10]



kolanka nieopływowe / ostre



kolanka opływowe / zaokrąglone

kolanka nieopływowe / ostre:

α	90°	80°	60°	45°	30°	20°
ϕ	1.17	0.92	0.52	0.32	0.19	0.11

kolanka opływowe / zaokrąglone – 90°:

R/d	0.75	1	1.25	1.5	2	3	4	5
ϕ	0.5	0.25	0.2	0.17	0.15	0.12	0.1	0.09

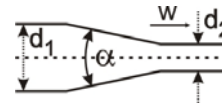
kolanka opływowe / zaokrąglone – 15° – 90°: $\phi = \phi_{90^\circ} \cdot x$

α	180°	120°	90°	60°	45°	30°	15°
x	1.40	1.15	1	0.77	0.63	0.46	0.25

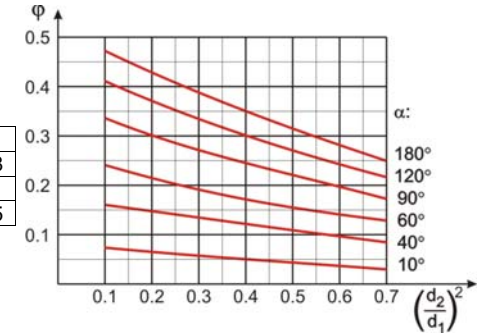
WSPÓŁCZYNNIK OPORÓW MIEJSCOWYCH ϕ DLA ROZSZERZEŃ I ZWĘŻEŃ PRZEWODÓW [4,10]
[w obliczeniach oporów należy przyjąć prędkość dla przekroju o mniejszej powierzchni]

PRZEWODY ZBIĘŻNE:

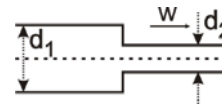
konfuzor poddźwiękowy – zwężenie stożkowe:



α	7	10	15	20	25	30	35	40
ϕ	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
ϕ	0.30	0.31	0.31	0.32	0.33	0.34	0.34	0.35



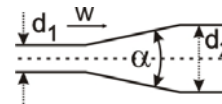
nagłe zwężenie:



$(d_2/d_1)^2$	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ϕ	0.5	0.47	0.42	0.38	0.34	0.30	0.25	0.20	0.15	0.09	0

PRZEWODY ROZBIEŻNE:

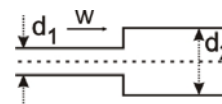
dyfuzor poddźwiękowy – rozszerzenie stożkowe:



$$\phi = k \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2$$

α	2.5	5	10	15	20	25	30	35	40
k	0.18	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	180
k	1.03	1.12	1.13	1.10	1.07	1.06	1.05	1.04	1

nagłe rozszerzenie:



$$\phi = \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2$$

$(d_2/d_1)^2$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ϕ	1	0.81	0.64	0.49	0.35	0.25	0.16	0.09	0.04	0.01	0

OPORY PRZEPŁYWU PRZEZ MATERIAŁY SYPKIE – zależność n od Re [4]
(część teoretyczna: wariant 3, równanie 39)

Re	10	20	40	80	100	200	400	1000	2000	4000	10 000
n	1.00	1.15	1.30	1.45	1.55	1.70	1.80	1.85	1.90	1.93	1.96

dotatkowe dane w arkuszu kalkulacyjnym „dane pomocnicze”

LITERATURA:

1. Jacek Molenda „Technologia chemiczna”, WSiP, Warszawa 1997,
2. Edgar Bortel „Zarys technologii chemicznej”, WN PWN, Warszawa 1992
3. Wieńczysław Kuczyński „Podręcznik do ćwiczeń z technologii chemicznej”, PWN, Warszawa 1974,
4. Praca zbiorowa „Kalendarz chemiczny”, cz. II., tom I., PWT, Warszawa 1955,
5. Krzysztof Schmidt-Szałowski, Jan Sentek, Jerzy Raabe, Ewa Boryk „Podstawy technologii chemicznej; Procesy w przemyśle nieorganicznym”, OWPW, Warszawa 2004,
6. F. M. White, “Viscous Fluid Flow”, 2nd ed., McGraw-Hill, (1991); [arXiv:physics/0410237v1](https://arxiv.org/abs/physics/0410237v1): You-Jae Kim, J.-G. Han and Youn J. Kim “Numerical Analysis of Flow Characteristics of An Atmospheric Plasma Torch”, 12th International Congress on Plasma Physics, 25-29 October 2004, Nice (France),
7. “Technical handbook”, Magnetrol, bulletin 41-600.4, USA 2005,
8. Praca zbiorowa „Poradnik fizykochemiczny”, WNT, Warszawa 1974,
9. Roman Koch, Andrzej Noworyta „Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej”, WNT, Warszawa 1998,
10. Zdzisław Orzechowski, Jerzy Prywer, Roman Zarzycki „Zadania z mechaniki płynów w inżynierii środowiska”, WNT, Warszawa 2001.