



WIMiR

Materiały pomocnicze do
Podstaw Konstrukcji Maszyn 2

Projekt 2

Poprzeczne łożysko ślizgowe tarcia płynnego

Spis treści

1 Indeks użytych oznaczeń.....	1
2 Parametry wytrzymałościowe oraz typowe obszary zastosowań wybranych stopów łożyskowych.....	3
3 Przydatne wzory i zależności.....	4
4 Charakterystyki temperaturowe olejów.....	8
5 Wykresy charakterystycznych wskaźników pracy łożyska.....	8

Opracował: Horak W., Michalczyk K.

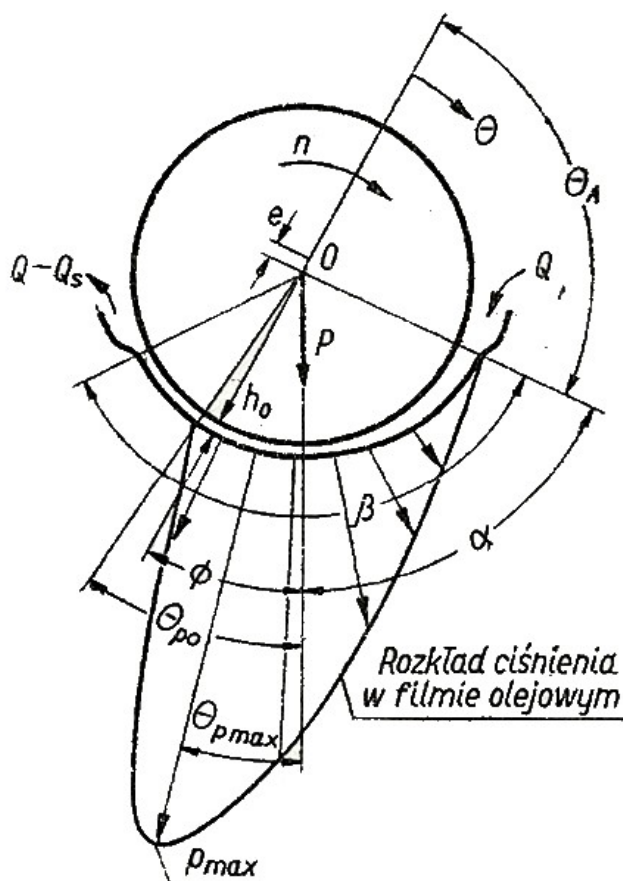
Kraków 2020

1 Indeks użytych oznaczeń

Tab.1.

NAZWA ZMIENNEJ	SYMBOL	JEDNOSTKA	UWAGI
Średnica czopa	D	mm	
Promień czopa	R	mm	
Długość panwi	L	mm	
Obciążenie łożyska	F	N	
Prędkość oborowa wału	n	obr/min	
Parametr chropowatości powierzchni wału	Rz_w	μm	
Parametr chropowatości powierzchni panwi	Rz_p	μm	
Lepkość dynamiczna oleju	η	Pa·s	
Luz promieniowy	δ	mm	
Ekscentryczność	e	mm	
Ekscentryczność względna	ε	-	
Najmniejsza grubość filmu smarnego	h_0	mm	
Liczba Sommerfelda	S	-	$S = \frac{\eta n}{p_{sr} \psi_{rz}^2}$
Prędkość obwodowa wału	v	m/s	
Względny luz promieniowy	ψ	-	
Względny luz rzeczywisty (efektywny)	ψ_{rz}	-	
Średni luz skuteczny	L_{srSk}	μm	
Współczynnik tarcia	μ	-	
Natężenie przepływu środka smarnego	Q	m^3/s	
Natężenie wypływu środka smarnego po obu stronach panewki	Q_s	m^3/s	
Średnie naciski powierzchniowe	p_{sr}	MPa	
Dopuszczalne naciski powierzchniowe (materiału panewki)	p_{dop}	MPa	
Kąt określający najmniejszą grubość filmu smarnego	ϕ	°	
Temperatura smaru na dopływie	t_1	°C	
Temperatura smaru na wypływie	t_2	°C	
Temperatura otoczenia	t_{ot}	°C	
Temperatura montażu	t_{mont}	°C	
Przyjęta wartość temperatury łożyska	t_{B0}	°C	
Obliczona wartość temperatury łożyska	t_{B1}	°C	
Moc tarcia	N_T	W	
Moment tarcia	M_T	Nm	
Prędkość opływu korpusu łożyska przez powietrze	v_{pow}	m/s	
Współczynnik obl. powierzchni korpusu łożyska	W_{korp}	-	
Całkowita powierzchnia wymiany ciepła	A_{wym}	m^2	
Pole powierzchni wymiany ciepła korpusu	A_{korp}	m^2	
Pole powierzchni wymiany ciepła wału	A_{wat}	m^2	
Współczynnik przejmowania ciepła	α_{HX}	W/ $\text{m}^2 \cdot \text{K}$	
Współczynnik rozszerzalności temperaturowej wału	$\alpha_w = 11 \cdot 10^{-6}$	1/K	Podano wartość charakterystyczną dla stali
Współczynnik rozszerzalności temperaturowej	$\alpha_p = 23 \cdot 10^{-6}$	1/K	Podano wartość charakterystyczną

zabudowy panwi			dla stopów aluminium
Współczynnik rozszerzalności temperaturowej zabudowy panwi	$\alpha_p=9 \cdot 10^{-6}$	1/K	Podano wartość charakterystyczną dla żeliwa
Ciepło właściwe smaru	$c_p=2000$	J/kg·K	
Mechaniczny równoważnik ciepła	Jm	J/cal	



Rys. 1. Oznaczenia łożyska

2 Parametry wytrzymałościowe oraz typowe obszary zastosowań wybranych stopów łożyskowych

Tab.2.

Symbol	Orientacyjne warunki pracy	Zastosowanie
PbSb15SnAs	<ul style="list-style-type: none"> • $p_{dop} = 10 \text{ MPa}$, • $v > 15 \text{ m/s}$, • $p v_{dop} < 15 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$ • $t_{dop} < 120^\circ\text{C}$ 	panwie łożysk ślizgowych pracujących przy średnim natężeniu pracy, obciążeniu statycznym i dużych prędkościach obwodowych czopa.
PbSb14Sn9As	<ul style="list-style-type: none"> • $p_{dop} = 10 \text{ MPa}$, • $v > 1,5 \text{ m/s}$, • $p v_{dop} < 30 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$, • $t_{dop} < 130^\circ\text{C}$ 	panwie łożysk ślizgowych pracujących przy średnich obciążeniach uderowych lub przy dużych obciążeniach statycznych i średnich prędkościach obwodowych
SnSb8Cu4	<ul style="list-style-type: none"> • $p_{dop} = 10 \text{ MPa}$, • $v > 5 \text{ m/s}$, • $p v_{dop} < 50 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$, • $t_{dop} < 110^\circ\text{C}$ 	panwie łożysk ślizgowych pracujących w ruchu ciągłym przy obciążeniach statycznych i dynamicznych oraz bardzo dużych prędkościach obwodowych czopa
SnSb11Cu6	<ul style="list-style-type: none"> • $p_{dop} = 20 \text{ MPa}$, • $v < 70 \text{ m/s}$, • $p v_{dop} < 80 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$, • $t_{dop} < 110^\circ\text{C}$ 	panwie łożysk ślizgowych pracujących przy dużych obciążeniach uderzeniowych lub statycznych, przy dużym natężeniu pracy i przy znacznych prędkościach obwodowych

3 Przydatne wzory i zależności

3.1 Sprawdzenie warunku laminarnego przepływu środka smarnego w łożysku

Wartość liczby Reynoldsa dla przepływu środka smarnego w łożysku można wyznaczyć na podstawie zależności:

$$Re = \frac{\rho v \delta}{\eta} \quad (1)$$

Graniczna wartość liczby Reynoldsa:

$$Re_{dop} = 41.3 \sqrt{\frac{D}{2 \cdot \delta}} \quad (2)$$

Jeżeli $Re > Re_{dop}$, przepływ w łożysku jest nielaminarny. W takim przypadku metoda obliczeń łożysk ślizgowych w oparciu o omawianą metodę nie ma zastosowania. Należy wprowadzić korektę (zmienić luz promieniowy lub wybrać olej o wyższej klasie lepkości).

3.2 Szacowanie wartości luzu promieniowego

Dla łożysk metalowych orientacyjną wartość luzu promieniowego można określić na podstawie empirycznej zależności:

$$\delta = \frac{D}{2} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{v} \pm 30\% [mm] \quad (3)$$

Przy doborze wartości luzu należy kierować się zaleceniami zawartymi w tabeli 3.

Tab.3. Wpływ cech łożyska na dobór wartości luzu promieniowego

Cecha łożyska	Mniejsze wartości luzu	Większe wartości luzu
Wartość L/D	$\leq 0,8$	$> 0,8$
Prędkość obrotowa	mała	duża
Wartość obciążenia	mała	duża
Wartość modułu Younga E	małe E	duże E

3.3 Szacowanie wartości współczynnika przejmowania ciepła (konwekcji)

$$\alpha_{HX} = 7 + 12 \cdot \sqrt{v_{pow}} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (4)$$

3.4 Szacowanie pola powierzchni wymiany ciepła korpusu łożyska

Całkowita powierzchnia wymiany ciepła węzła łożyskowego jest sumą powierzchni korpusu łożyska oraz powierzchni części wału przez którą odprowadzanie jest ciepło z układu.

$$A_{wym} = A_{korp} + A_{wal} \quad (5)$$

Przybliżone pole powierzchni korpusu łożyska określane jest na podstawie uproszczonej zależności:

$$A_{korp} = W_{korp} \cdot L \cdot D \quad (6)$$

gdzie: W_{korp} [-] współczynnik wielkości korpusu. Dla typowych wolnostojących łożysk przyjmuje się wartości od 20 do 30.

Przybliżone pole powierzchni wału przez które oddawane jest ciepło do otoczenia można określić na podstawie uproszczonej zależności:

$$A_{\text{wał}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} + 6 \cdot L \cdot D \quad (7)$$

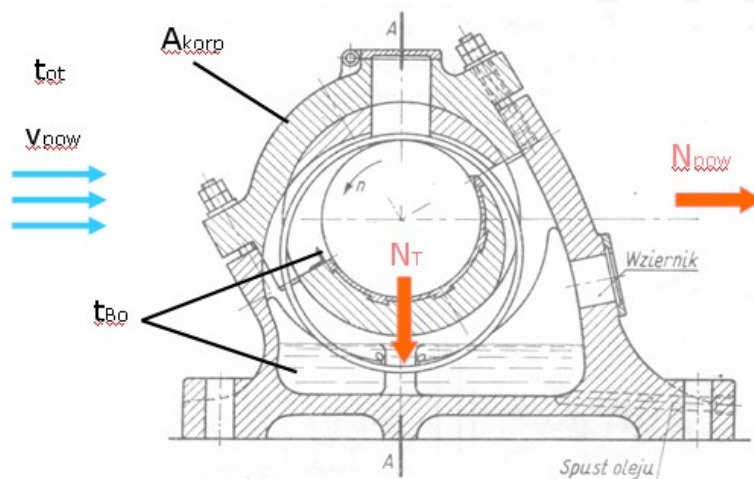
3.5 Szacowanie bilansu cieplnego łożyska z konwekcyjną wymianą ciepła

Ilość mocy cieplnej generowanej przez łożysko:

$$N_T = \mu F v \quad [W] \quad (8)$$

Ilość mocy cieplnej jaka może być odebrana z układu:

$$N_{\text{pow}} = \alpha_{HX} A_{\text{wym}} (t_{B1} - t_{ot}) \quad [W] \quad (9)$$



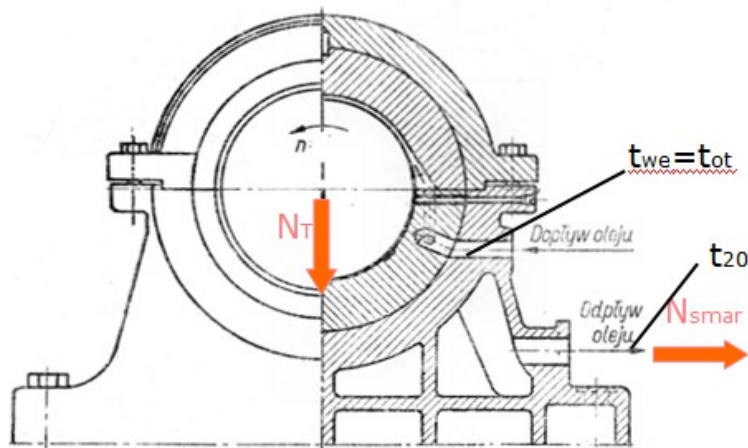
Rys. 2. Źródła oraz sposób odprowadzania ciepła z łożyska smarowanego za pomocą pierścienia (chłodzenie konwekcyjne)

3.6 Szacowanie bilansu cieplnego łożyska z obiegiem środka smarnego

Ilość mocy cieplnej generowanej przez łożysko, patrz wzór (8):

Ilość mocy cieplnej jaka może być odebrana z układu przez środek smarny (przy założeniu, że olej dostarczany do łożyska schładzany jest do temperatury otoczenia):

$$N_{\text{smar}} = \rho c_p Q (t_{21} - t_{ot}) \quad [W] \quad (10)$$



Rys. 3. Źródła oraz sposób odprowadzania ciepła z łożyska smarowanego obiegowo (chłodzenie środkiem smarnym)

3.7 Smarowanie łożysk ślizgowych poprzecznych

W łożyskach ślizgowych hydrodynamicznych lepkość oleju smarującego powinna być tym większa im większe są naciski jednostkowe i im mniejsza prędkość obrotowa elementu obracającego się.

Smarowanie pierścieniem luźnym zapewnia dostarczenie środka smarnego na górną powierzchnię czopa z natężeniem proporcjonalnym do prędkości obrotowej pierścienia, do momentu osiągnięcia tzw. prędkości przejścia v_p po przekroczeniu której dalszy wzrost prędkości nie powoduje już zwiększenia intensywności smarowania.

Pierścienie smarujące luźne stosuje się przy prędkościach obwodowych wałów pomiędzy 0,5 m/s a 32 m/s. Aby zmniejszyć efekt klina smarnego pomiędzy wewnętrzną powierzchnią pierścienia a powierzchnią czopa, korzystne jest ukształtowanie wewnętrznej powierzchni pierścienia jako powierzchni rowkowanej.

W pracy Lemmon, D.C., Booser E.R., Bearing Oil-Ring Performance, ASME Journal of Basic Engineering, 1960 Autorzy podali zależność określającą wartość prędkości przejścia dla oleju o gęstości 875 kg/m^3 :

$$v_p = 0,47 \cdot D_p^{1,5} \cdot \eta^{-0,67} \text{ [m/s]} \quad (11)$$

Podali również zależność określającą natężenie przepływu oleju w granicznym przypadku:

$$q_p = 1,67 \cdot 10^{-2} \cdot a \cdot D_p^{2,25} \cdot \eta^{-0,35} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (12)$$

gdzie D_p – to średnica pierścienia [m], a – to jego szerokość [m]

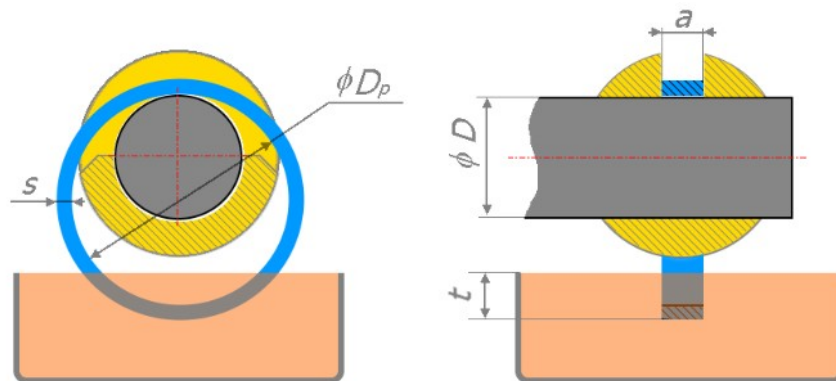
Orientacyjne proporcje pierścienia luźnego o przekroju prostokątnym:

średnica pierścienia $D_p \approx 1,5 \div 1,75 D$, szerokość pierścienia $a \approx 0,1 D_p$, grubość $s \approx (0,3 \div 0,4) \cdot a$.

Głębokość zanurzenia pierścienia t można oszacować za pomocą wzoru:

$$t \approx D_p^{0,6} \quad (13)$$

gdzie t i D_p mają takie same jednostki.

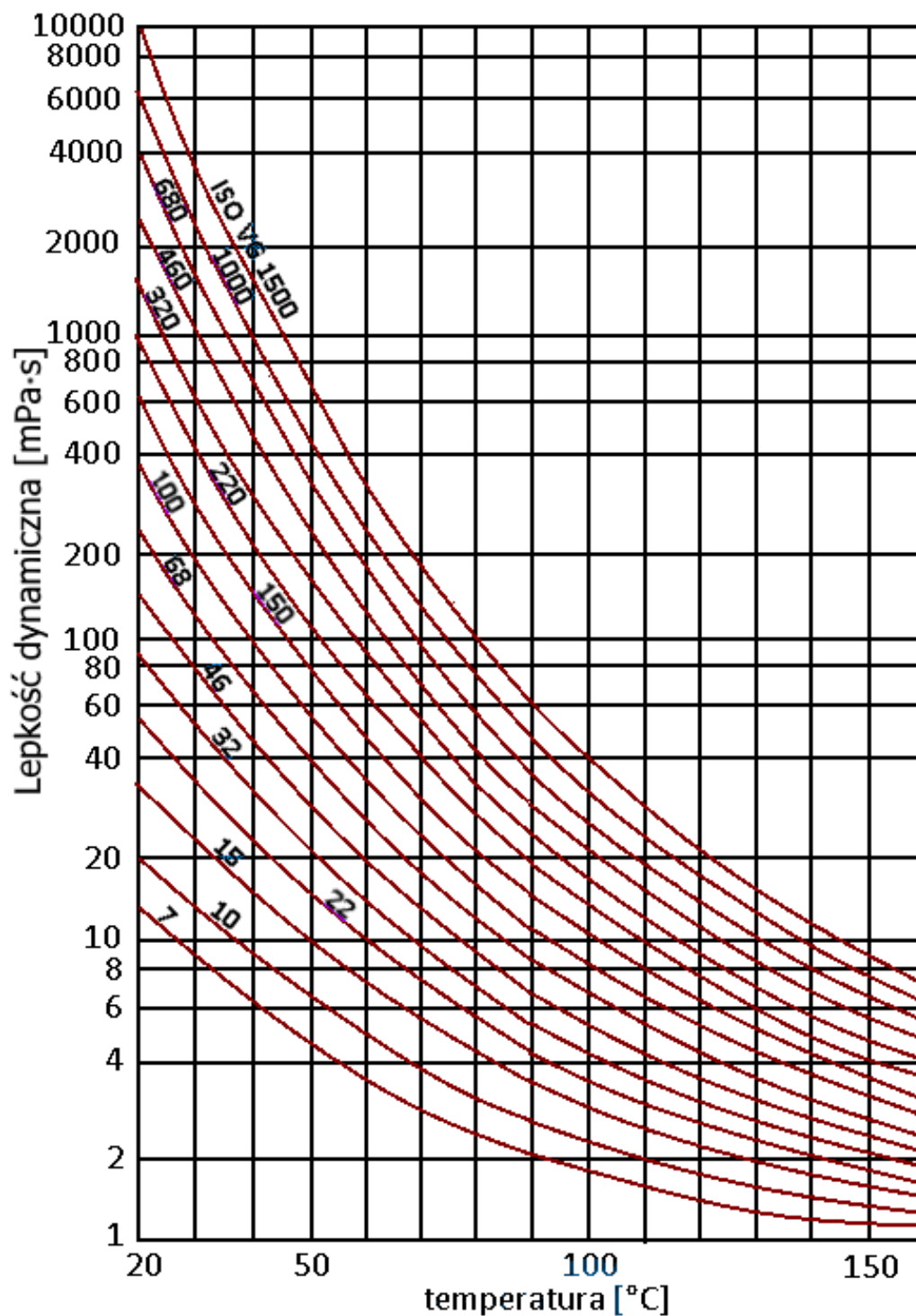


Rys.4. Konstrukcja łożyska samonastawnego smarowanego pierścieniem luźnym

Smarowanie pierścieniem stałym, stosowane jest przy niewielkich prędkościach obrotowych (do około 60 obr/min ze względu na rosnącą siłę odśrodkową odrzucającą olej z pierścienia), natężenie przepływu 60obr/min można wyznaczyć na podstawie zależności:

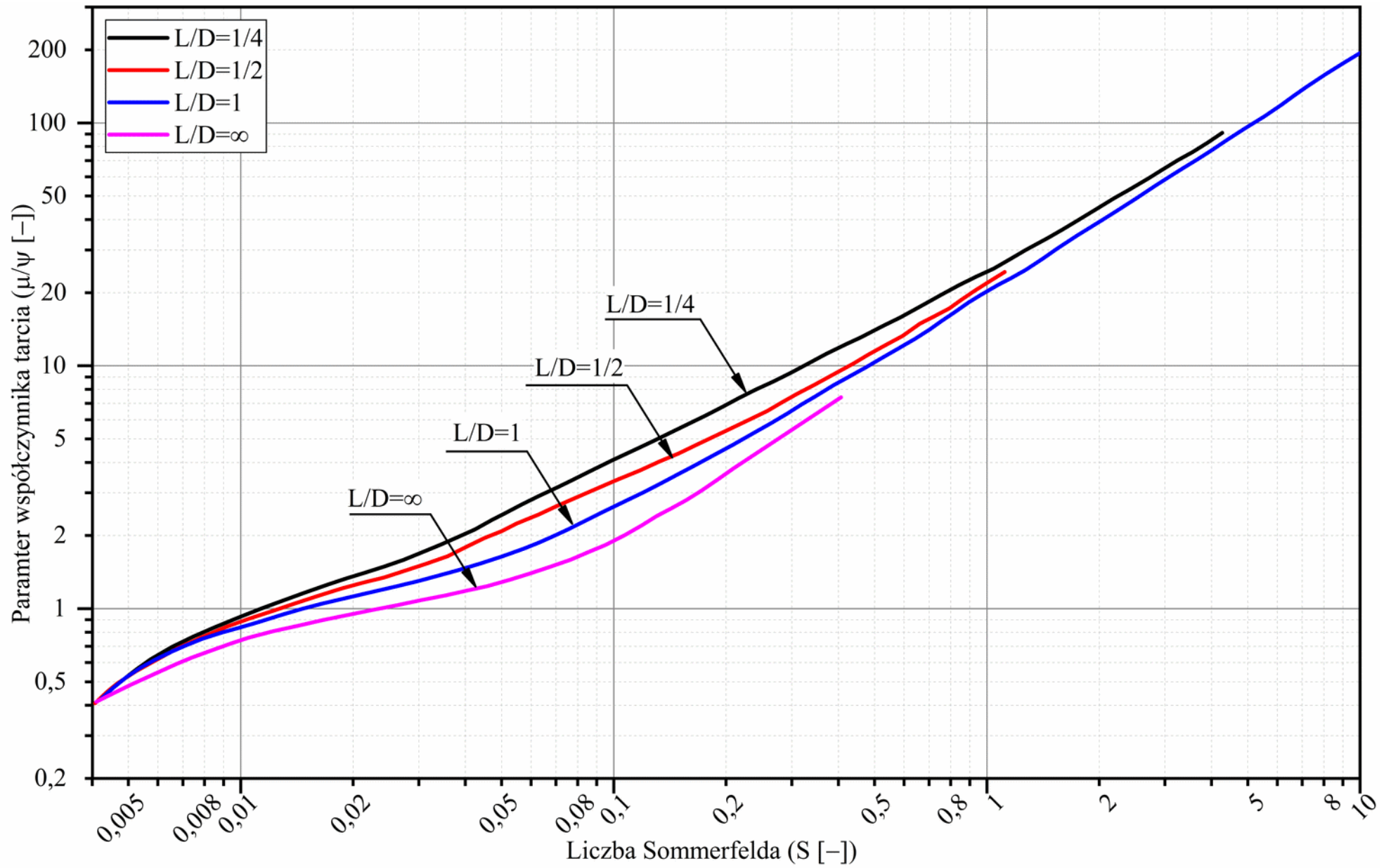
$$q = 1,76 \cdot 10^{-9} \cdot a \cdot (D_p \cdot n)^{1,5} \cdot \eta^{0,5} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (14)$$

4 Charakterystyki temperaturowe olejów

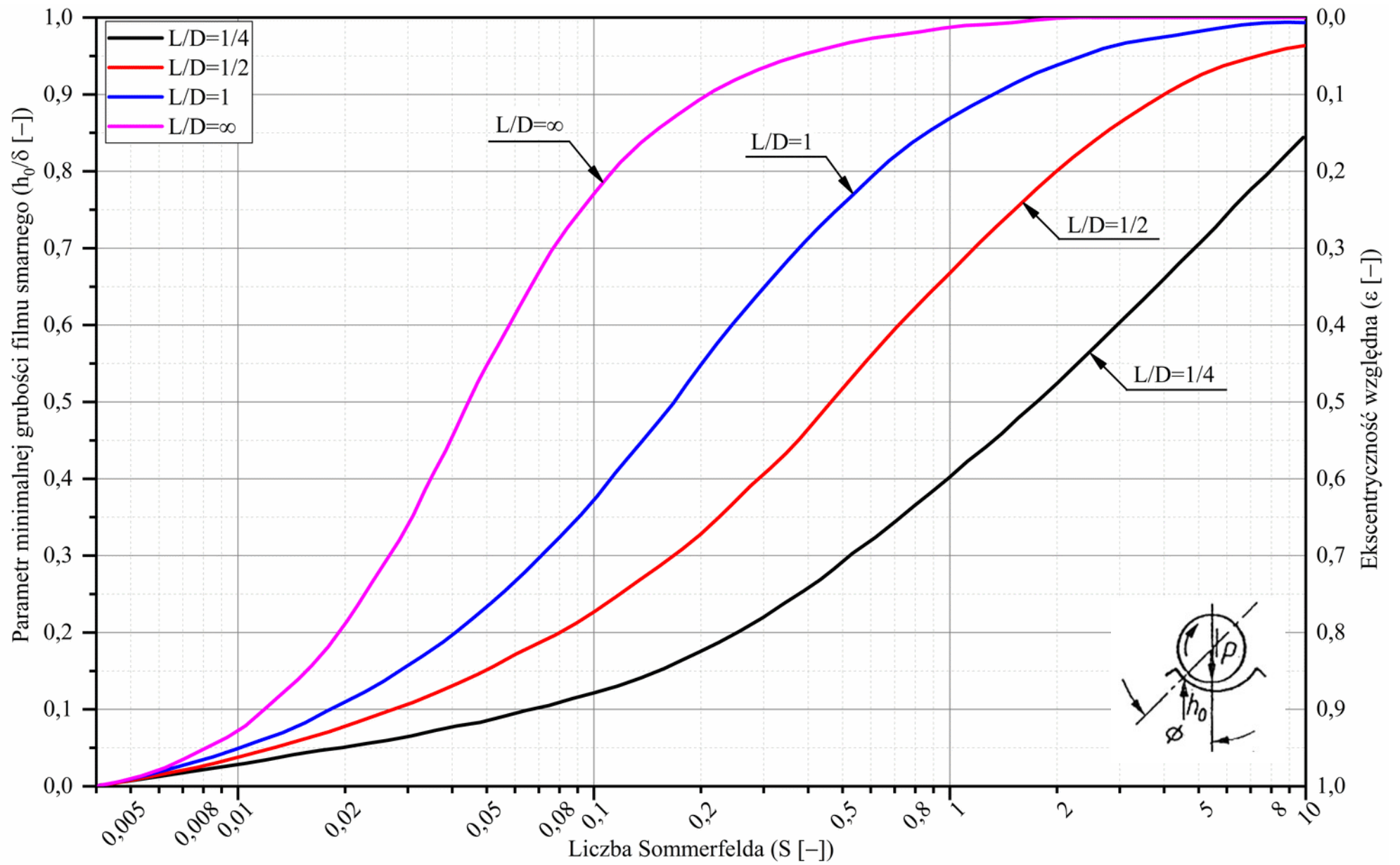


Rys.1. Charakterystyki temperaturowe olei o wskaźniku lepkości VI=100 wg klasyfikacji ISO (na podstawie DIN 31652)

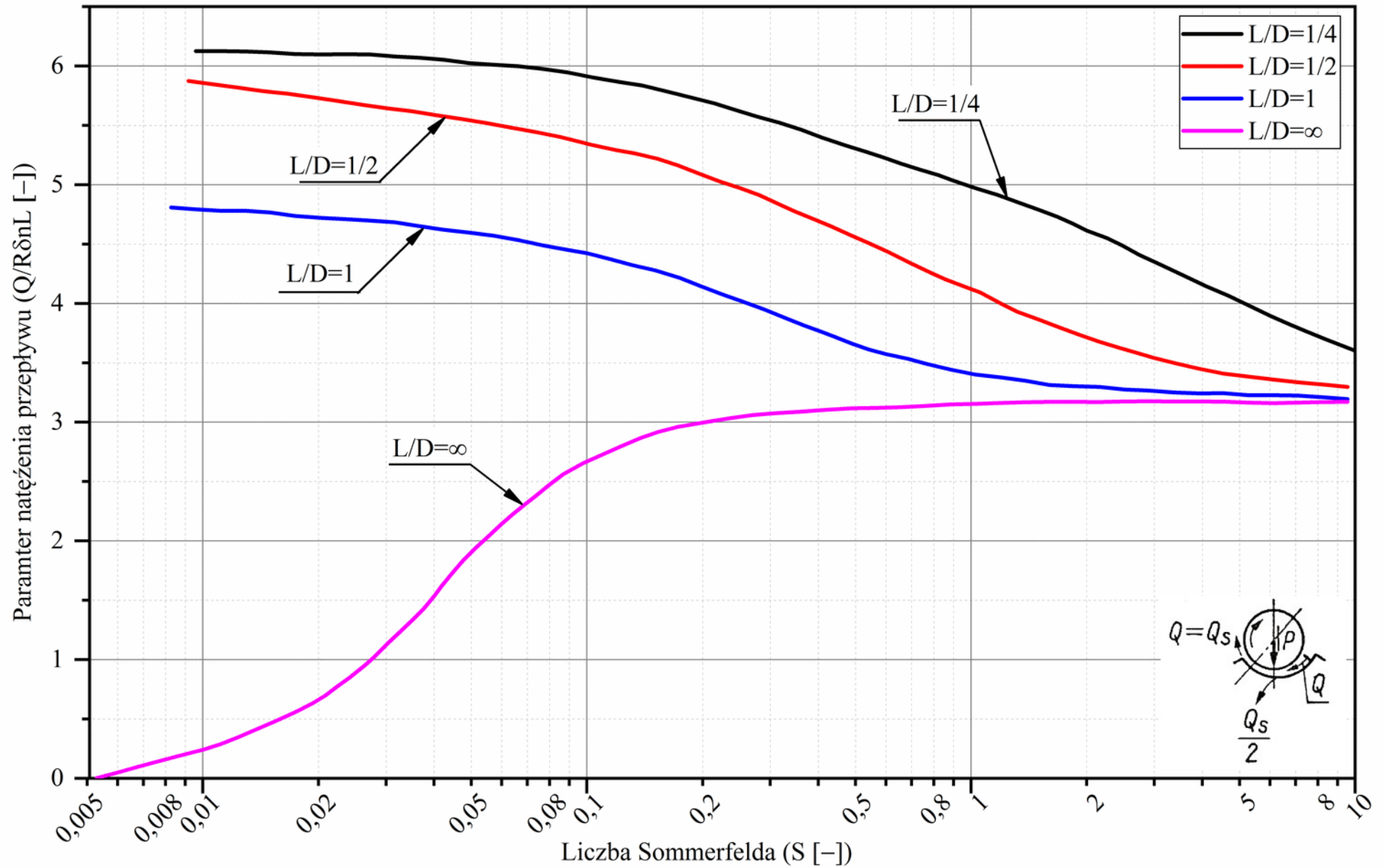
5 Wykresy charakterystycznych wskaźników pracy łożyska



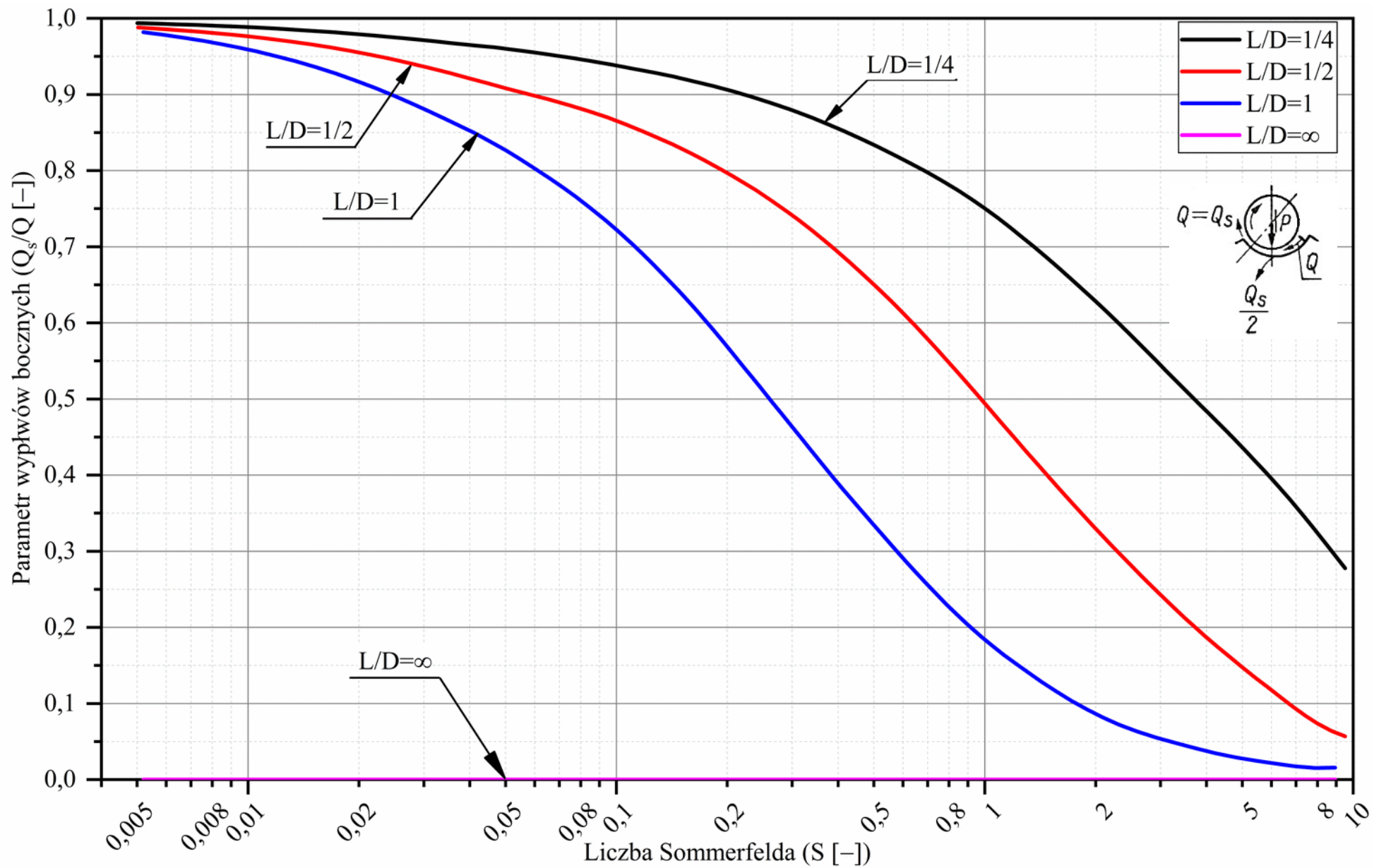
Rys.2. Parametr $\mu/\psi=f(S)$



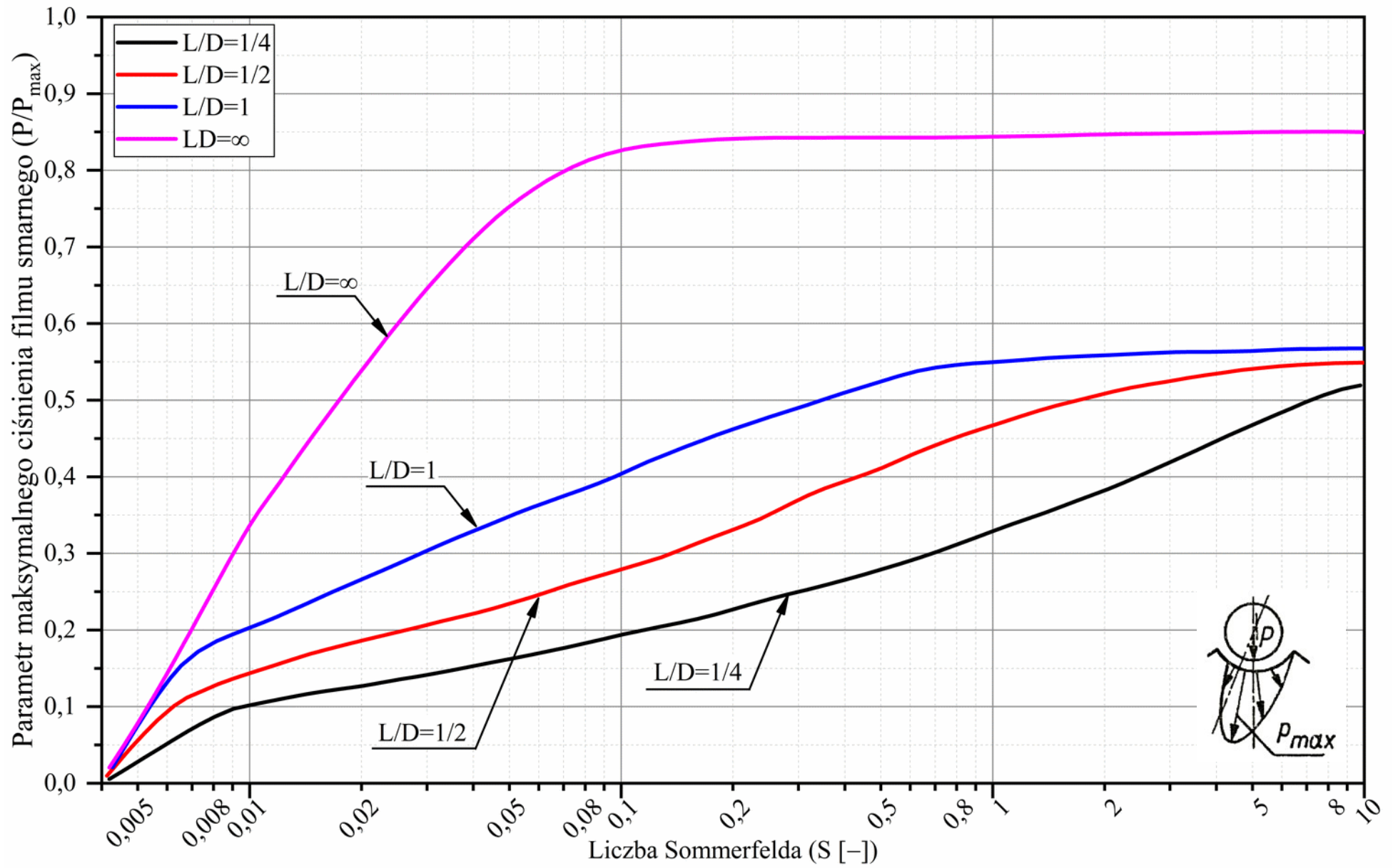
Rys.3. Parametr $h_0/\delta=f(S)$



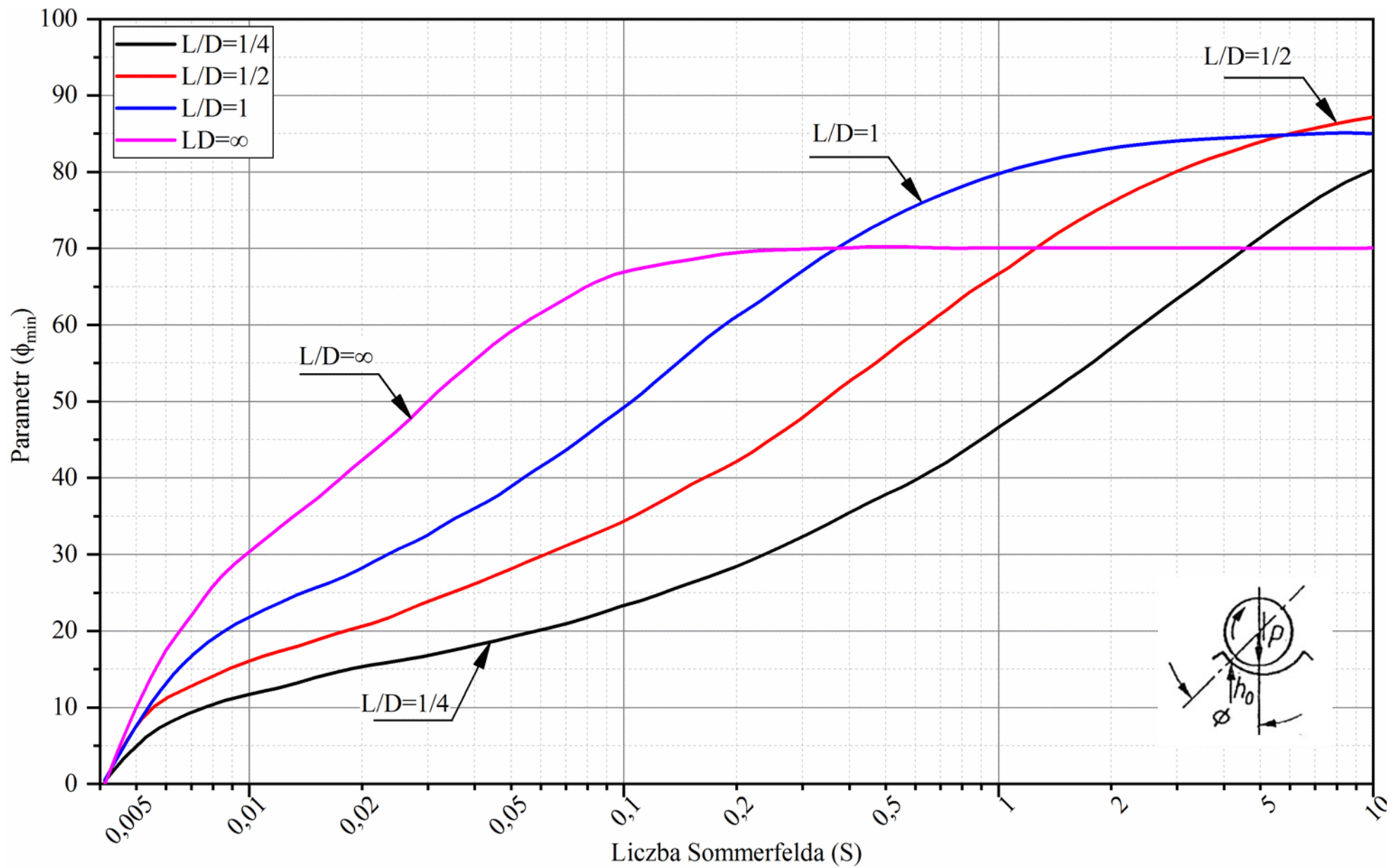
Rys.4. Parametr $Q/R\delta nL=f(S)$



Rys.5. Parametr $Q_s/Q=f(S)$



Rys.6. Parametr $P/P_{max}=f(S)$



—Rys.7. Parametr $\phi=f(S)$