



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I ZARZĄDZANIA

Instytut Technologii Mechanicznej

ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 2203, fax +48 61 665 2200

e-mail: office_mt@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl



DOBÓR PROWADNICY

MATERIAŁY DYDAKTYCZNE DO PRZEDMIOTÓW

Napędy maszyn technologicznych

Napędy urządzeń mechatronicznych

Napędy urządzeń medycznych i rehabilitacyjnych

Do korzystania wyłącznie przez studentów Politechniki Poznańskiej

Opracował: dr inż. Wojciech Ptaszyński

Poznań, 2019-10-22

1. RODZAJE PROWADNIC

Prowadnice mają za zadanie dokładne prowadzenie, najczęściej liniowe, przemieszczających się elementów. Muszą jednocześnie przenosić obciążenia wynikające z masy przemieszczanych elementów oraz sił powstających w danym procesie. Typ i konstrukcja prowadnicy wpływa istotnie na dokładność ruchu, szczególnie z dwóch powodów:

- dokładności geometrycznej prowadnicy (prostoliniowość, prostopadłość, równoległość),
- sił tarcia w prowadnicach.

Ogólnie wymaga się od prowadnic stosowanych w maszynach i urządzeniach aby posiadały:

- wysoką sprawność (małe siły tarcia),
- dużą nośność i sztywność (przenoszone duże obciążenia, odporne na drgania),
- dużą trwałość.

Powszechnie w budowie maszyn i urządzeń spotyka się następujące rodzaje prowadnic:

- ślizgowe,
- toczne,
- z tarciami wewnętrznymi (hydrostatyczne, aerostatyczne, sprężyste).

Prowadnice hydrostatyczne posiadają dużą nośność, mniejszy współczynnik tarcia niż prowadnice ślizgowe ale są znacznie droższe ze względu na kosztowne zasilanie hydrauliczne.

1.1. Prowadnice ślizgowe

1.1.1. Budowa prowadnic ślizgowych

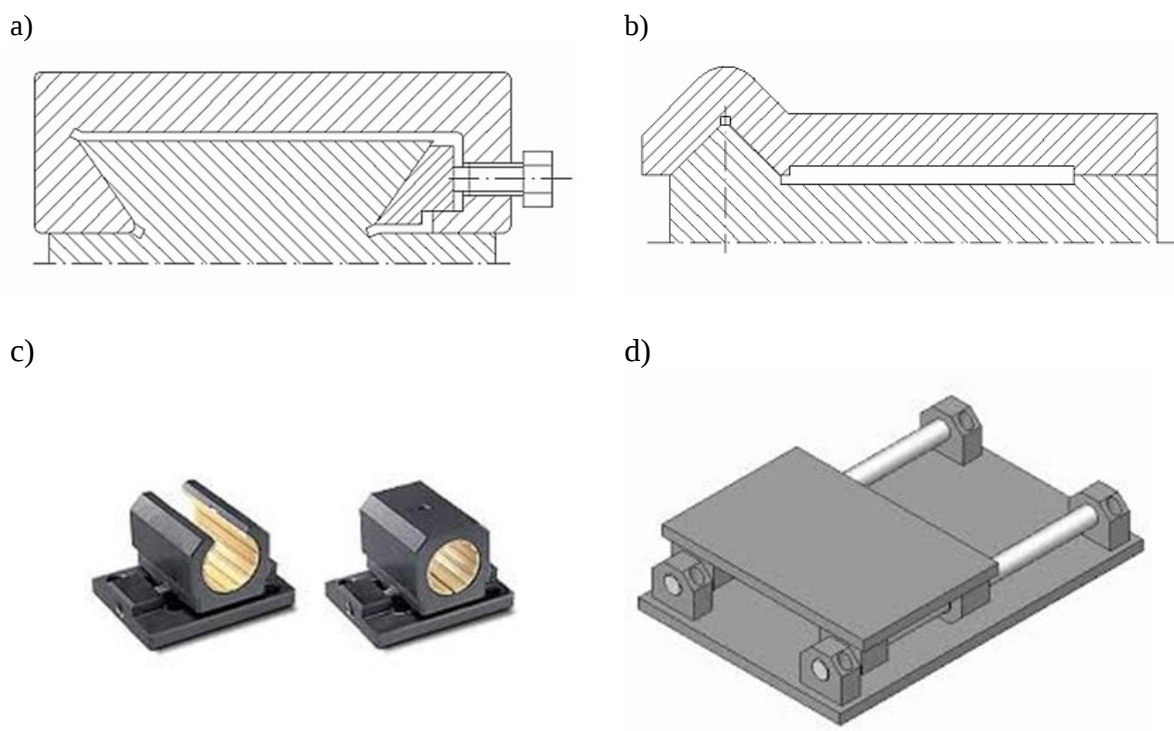
Prowadnice ślizgowe charakteryzują się dużą nośnością oraz sztywnością ale mają duży współczynnik tarcia oraz występują duże trudności w uzyskaniu bezluzowości. Prowadnice ślizgowe ze względu na kształt powierzchni prowadzących możemy podzielić na:

- prowadnice walcowe,
- prowadnice pryzmatyczne.

Przykładowe konstrukcje prowadnic ślizgowych przedstawiono na rys. 1.1.

Podstawową wadą prowadnic ślizgowych jest duże tarcie pomiędzy przesuwanymi elementami oraz duża różnica pomiędzy tarciem spoczynkowym i ruchowym co może prowadzić do powstawania drgań ciernych (stik-slip) przy małych prędkościach ruchu (tabela 1.).

Przy zastosowaniu nakładek z tworzyw sztucznych możliwe jest zmniejszenie tarcia w prowadnicach oraz przede wszystkim wyrównanie współczynnika tarcia w czasie spoczynku i ruchu.

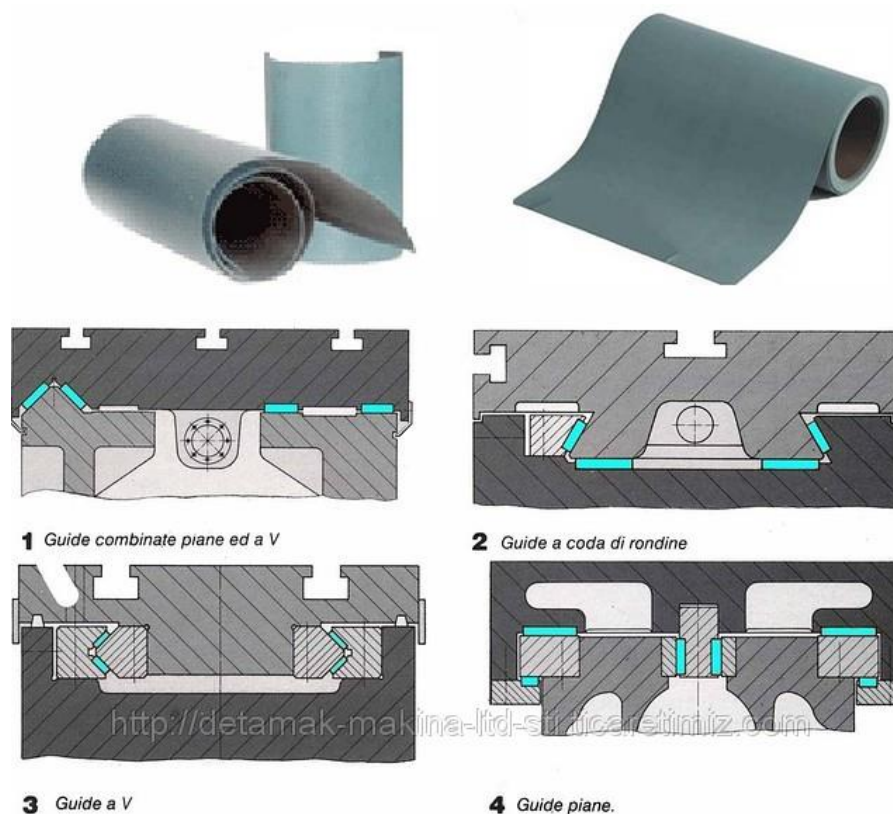


Rys. 1. Przykładowe prowadnice ślizgowe: a) pryzmatyczna z kasowaniem luzu, b) pryzmatyczna swobodna, c) i d) z prowadnicą okrągłą

Tabela 1. Orientacyjne współczynniki tarcia w prowadnicach ślizgowych dla różnych materiałów

Materiał prowadnic	Współczynnik tarcia dla powierzchni smarowanych		Różnica współczynników tarcia $\mu_0 - \mu$
	statyczny μ_0	dynamiczny μ	
Żeliwo po żeliwie	0,25 ÷ 0,27	0,15 ÷ 0,27	0,10
Stal po stali	0,20 ÷ 0,25	0,05 ÷ 0,15	0,12
Stal po żeliwie	0,13 ÷ 0,16	0,05 ÷ 0,10	0,10
Stal po brązie	0,15 ÷ 0,20	0,10 ÷ 0,15	0,05
Żeliwo po brązie	0,20 ÷ 0,25	0,15 ÷ 0,17	0,06
Stal hartowana po nakładkach z tworzywa	0,08	0,10	-0,02

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe rozwiązanie prowadnic ślizgowych z nakładkami z tworzyw sztucznych.



Rys. 2. Przykładowe rozwiązanie prowadnic ślizgowych z nakładkami z tworzyw sztucznych

Istnieją dwie metody formowania nakładek plastikowych na prowadnicach:

- do żeliwnych powierzchni prowadnic przykleja się żywicami epoksydowymi plastikowe wykładziny o grubości $1,5 \div 2$ mm,
- prowadnice są pokrywane kilkumilimetrową warstwą półpłynnej masy, która po kilkunastu godzinach ulega samoutwardzeniu.

Takie powierzchnie następnie podlegają obróbce wykańczającej.

Istnieje kilka materiałów, z których wykonywane są nakładki, najbardziej popularne to:

- poliacetal (POM) zawierający dodatki zmniejszające tarcie,
- tworzywo o nazwie handlowej Turcite zawierający około 25% sproszkowanego brązu o wielkości drobin $5 \mu\text{m}$.

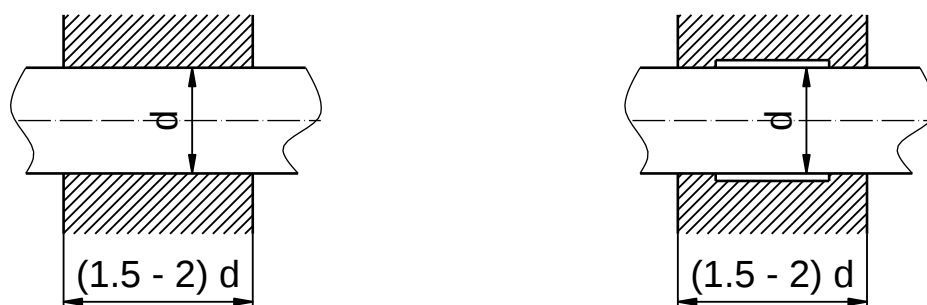
1.1.2. Dobór prowadnic ślizgowych

Dobierając materiały na prowadnice powinno się zwracać uwagę na charakter zjawiska tarcia między materiałem prowadnicy i prowadnika. Dlatego też najczęściej stosowane są odmienne materiały na prowadnicę i prowadnik. Jako typowe zestawienie materiałów stosuje się stal-mosiądz, stal-brąz, stal-żeliwo, stal-tworzywo sztuczne, itp..

Zjawisko tarcia w prowadnicach jest zagadnieniem dość złożonym. Siła tarcia zależy od współczynnika tarcia, którego dokładne określenie nie jest łatwe, od siły nacisku oraz konstrukcji prowadnicy. Dlatego też najczęściej obliczenia sił w prowadnicach maszyn

technologicznym możemy wykonać na podstawie orientacyjnych współczynników tarcia podanych w różnych pozycjach literaturowych.

Jeśli chodzi natomiast o siłę nacisku to w przypadku występowania tylko siły prostopadłej do prowadnicy można przyjąć rozkład równomierny tej siły na powierzchnię czynną prowadnicy. Natomiast w przypadku występowania również momentów siły a prowadnica wykonana jest z luzem (warunek przesuwu) może występować styk punktowy na prowadnicy i tym samym wzrost siły skupionej w punkcie styku co może doprowadzić do zablokowania prowadnicy. Aby uniknąć tej sytuacji w przypadku prowadnic walcowych długość czynna prowadnika powinna być dłuższa niż $(1.5 \div 2)d$, lub też należy zastosować dwie oddalone od siebie części prowadnika, tak aby odległość między skrajnymi częściami prowadnika spełniała ten warunek (rys. 3)



Rys. 3. Szerokość prowadnicy okrągłej

Podstawowym warunkiem doboru prowadnicy ślizgowej są dopuszczalne naciski powierzchniowe. Wartość nacisków powierzchniowych występujących w prowadnicy wpływa na trwałość prowadnicy.

Dla prowadnic żeliwnych wartość dopuszczalnych nacisków powierzchniowych wynosi ok 10 MPa. Prowadnice z nakładkami plastikowymi mogą pracować przy znacznie mniejszych naciskach powierzchniowych niż w przypadku prowadnic żeliwnych. Dopuszczalny nacisk powierzchniowy dla prowadnic z nakładkami wynosi około 5 MPa.

1.2. Prowadnice toczne

1.2.1. Budowa i rodzaje prowadnic tocznych

Prowadnice toczne charakteryzują się najmniejszym współczynnikiem tarcia, można uzyskać bezluzowe połączenie ale posiadają mniejszą nośność i sztywność. Istotną zaletą prowadnic tocznych jest również taki sam opór toczenia przy ruszaniu z miejsca jak i w trakcie ruchu co zapobiega występowaniu tarcia ciernego (stik-slip).

Prowadnice toczne są droższe niż prowadnice ślizgowe.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe prowadnice toczne.

a)



b)



c)



d)



Rys. 3. Przykładowe prowadnice toczne: a) prowadnice ze swobodnymi elementami tocznymi, b) prowadnice toczne z szyną i wózkiem, c) łożyska liniowe, d) prowadnice toczne krzywoliniowe

W prowadnicach tocznych występuje zarówno tarcie toczne (opory toczenia się rolek czy kulek po bieżni) jak i ślizgowe (tarcie pomiędzy kulkami a koszyczkiem, pomiędzy kulkami itp.). Tarcie toczne ma znikomy udział w oporach tarcia w takich prowadnicach a decydujący ma tarcie ślizgowe. Wyznaczenie takich oporów tarcia jest trudne dlatego też najczęściej stosuje się, wyznaczony doświadczalnie, zastępczy współczynnik tarcia dla całej prowadnicy. Dla prostej prowadnicy z elementami kulkowymi współczynnik zastępczy współczynnik tarcia może wynosić od 0.006 do 0.01.

1.2.2. Dobór prowadnicy tocznej z szyną i wózkiem

Dopuszczalne obciążenie działające na elementy toczne ustala się na podstawie wzorów Herta. Bardziej miarodajne wartości dopuszczalnych obciążeń są uzyskiwane na podstawie badań trwałości podobnie jak w przypadku łożysk tocznych. W przypadku produkowanych znormalizowanych prowadnic tocznych składających się z szyn i wózków producenci tych prowadnic wykonali takie badania i podają wartości nośności statycznej i dynamicznej. Dlatego też prowadnice toczne dobiera się z dwóch podstawowych warunków obciążenia:

- obciążenie statyczne,
- obciążenia dynamiczne,

1.2.2.1. Nośność statyczna

Przy normalnym obciążeniu pomiędzy bieżnią i elementami tocznymi powstaje tymczasowa deformacja. Przy dużych obciążeniach mogą powstać trwałe odkształcenia na powierzchni bieżni. Takie trwałe odkształcenia zmieniają właściwości bieżni. Statyczna nośność C_0 to obciążenie, przy którym w najwyższym punkcie pomiędzy bieżnią i korpusem walcowym wywołane jest odkształcenie o rozmiarze 0.001 średnicy walca. W związku z tym statyczna siła obciążająca prowadnicę nie może być większa niż nośność statyczna:

$$F < C_0$$

gdzie: F – maksymalne obciążenie statyczne prowadnicy,
 C_0 – nośność statyczna prowadnicy z katalogu.

Niektóre firmy wprowadzają dodatkowo współczynnik bezpieczeństwa nośności statycznej, który można wyliczyć z równania:

$$S_0 = \frac{C_0}{F}$$

Przykładowe współczynnik bezpieczeństwa statycznego w zależności od warunków pracy przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Współczynniki bezpieczeństwa statycznego [HIWIN]:

Warunki pracy	Współczynnik bezpieczeństwa statycznego S_0
Normalne przemieszczenie	1 ÷ 3
Wysoka prędkość	2 ÷ 4
Z udarami i wibracjami	3 ÷ 5

1.2.2.2. Nośność dynamiczna

W wyniku wielokrotnego obciążenie współpracujących części walcowych kulki z bieżnią prowadnicy (kolejne przejazdy prowadnicy) po pewnym czasie części te wykazują efekty zmęczenia. Jego konsekwencją jest tworzenie się wyrw (wżerów) i złuszczenia powierzchni bieżni. Nośność dynamiczna prowadnicy tocznej jest obciążeniem, przy którym prowadnica pokonuje drogę równą 50 km bez efektów zużycia. Osiągana w praktyce żywotność może być różna przy tych samych obciążeniach. Znamionowa żywotność to żywotność jaka występuje w 90% identycznych prowadnicach tak samo obciążonych. Żywotność znamionową możemy obliczyć ze wzoru:

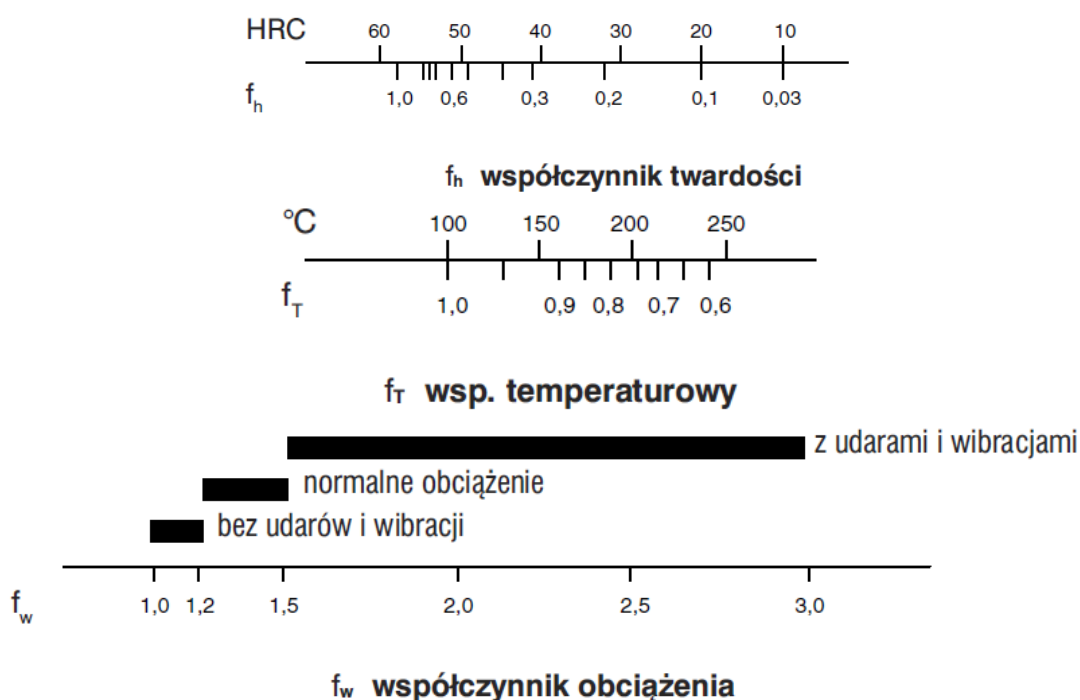
$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{P} \right)^3$$

gdzie: L - znamionowa żywotność przy 50 000 m,
 C_{dyn} - dynamiczna nośność z katalogu [N],
 P - dynamiczne ekwiwalentne obciążenie [N].

Przy szczególnych warunkach pracy należy wziąć pod uwagę współczynniki pracy. Wówczas żywotność znamionową możemy obliczyć ze wzoru:

$$L = \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P} \right)^3$$

gdzie: f_H – współczynnik twardości,
 f_T – współczynnik temperaturowy,
 f_w – współczynnik udaru.



Znając żywotność prowadnicy oraz średnią prędkość ruchu można obliczyć żywotność godzinową prowadnicy:

$$L_h = L \cdot \frac{50000}{60 \cdot v_{sr}}$$

gdzie: L_h – żywotność godzinowa prowadnicy [h]
 L – żywotność prowadnicy [50000m],
 v_{sr} – średnia prędkość ruchu prowadnicy [m/min],

Zwykle projektujemy urządzenia zakładając czas eksploatacji znając obciążenie prowadnicy oraz średnią prędkość ruchu prowadnicy. Wówczas możemy, przekształcając powyższe wzory, obliczyć najpierw wymaganą znamionową żywotność prowadnicy ze wzoru:

$$L = \frac{60 \cdot L_h \cdot v_{sr}}{50000}$$

A następnie wymaganą nośność dynamiczną prowadnicy ze wzoru:

$$C_{dyn} = \frac{P \cdot f_w \cdot \sqrt[3]{L}}{f_H \cdot f_T}$$

Na tej podstawie szuka się w katalogu konkretnej prowadnicy i współpracującego z nią wózka.

1.2.2.3. Obciążenie ekwiwalentne przy zmiennym obciążeniu

Gdy obciążenie prowadnicy tocznej zmienia się w dużym zakresie należy to uwzględnić w obliczeniach żywotności. Wówczas ekwiwalentną siłę działającą na wózek prowadnicy można obliczyć z równania:

$$P = \sqrt[3]{\frac{P_1^2 \cdot L_1 + P_2^2 \cdot L_2 + P_3^2 \cdot L_3 + \dots + P_n^2 \cdot L_n}{L}}$$

gdzie: $P_{1...n}$ - poszczególne obciążenia [N]
 $L_{1...n}$ - poszczególne drogi przejazdu [m]
 L - łączna droga przejazdu [m]

Poszczególne obciążenia należy uwzględnić obciążenia statyczne (od sił statycznych, mas itp.) oraz od sił dynamicznych (sił bezwładności przesuwanych mas) jako reakcje tych sił na poszczególne wózki prowadnicy.

1.2.2.4. Opory tarcia w prowadnicy

W porównaniu z prowadnicami ślizgowymi w prowadnicach tocznych występują znacznie mniejsze opory tarcia. Występuje tutaj tarcie zarówno toczne, między elementami tocznymi a prowadnicą, oraz ślizgowe między np. elementami tocznymi, obudową itp. Wyznaczenie w tym przypadku sił tarcia jest trudne dlatego też możemy to porównać do tarcia ślizgowego i przyjąć zastępczy współczynnik tarcia, który określa się eksperymentalnie. Dla tego typu prowadnic można przyjąć zastępczy współczynnik tarcia w zakresie 0.002 do 0.004. Siłę tarcia można zatem obliczyć ze wzoru:

$$T = N \cdot \mu$$

gdzie: N – nacisk na wózek prowadnicy,
 μ – zastępczy współczynnik tarcia.

Literatura

1. Pod redakcją Oleksiuk W., Konstrukcja przyrządów i urządzeń precyzyjnych. WNT 1996.
- 2.