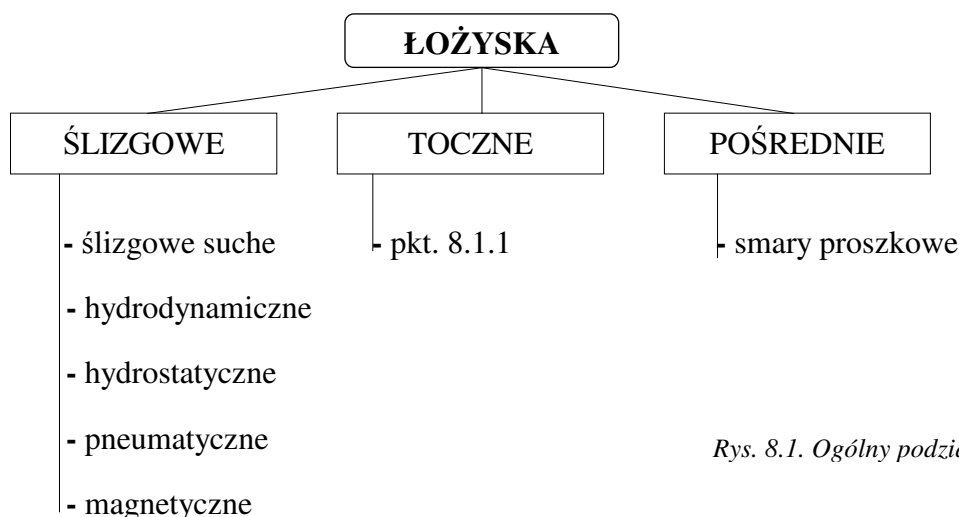


## 8.0 Łożyskowanie

**Łożysko** - element konstrukcyjny umożliwiający przenoszenie sił między elementami których powierzchnie funkcjonalne poruszają się z różnymi prędkościami obrotowymi.

**Prowadnica** - element konstrukcyjny umożliwiający przenoszenie sił między elementami których powierzchnie funkcjonalne poruszają się z różnymi prędkościami w ruchu prostoliniowym.



Rys. 8.1. Ogólny podział łożysk

### 8.1. Łożyska toczne

#### 8.1.1. Definicje

**Łożyska toczne** - łożyska działające wg zjawiska tarcia tocznego (wykorzystujące elementy pośrednie między powierzchniami roboczymi).



Rys. 8.2. Podział łożysk tocznych

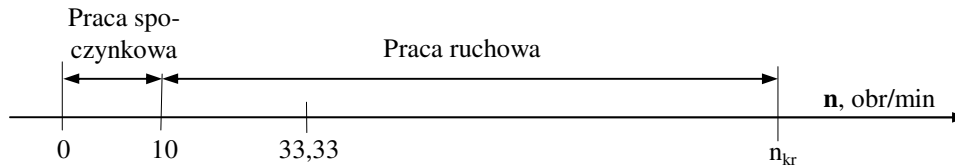
**Trwałość godzinowa**  $L_h$  [h] - czas pracy łożyska pracującego pod działaniem obciążenia zastępczego ze statystycznie gwarantowaną z 95% pewnością.

**Trwałość obrotowa**  $L_N$  - ilość milionów obrotów wykonanych pod działaniem obciążenia zastępczego ze statystycznie gwarantowanych z 95% pewnością.

$$L_N = \frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6} \quad [\text{m ln obr.}] \quad (8.1)$$

gdzie:  $n$  - średnia prędkość obrotowa łożyska [obr/min].

**Prędkość obrotowa**  $n$  - średnia prędkość obrotowa łożyska podczas pracy.



Rys. 8.3. Charakter pracy łożyska w zależności od jego prędkości obrotowej

**Wzdłużne obciążenie wewnętrzne łożysk skośnych** – składowa wzdłużna obciążenia łożyska powstała na skutek działania składowej poprzecznej w łożyskach o bieżniach usytuowanych skośnie.

$$S = \frac{P_p}{2 \cdot Y} \quad (8.2)$$

**Obciążenie zastępcze ruchowe** - obciążenie poprzeczne lub styczne łożyska uwzględniające składową poprzeczną podczas pracy ruchowej (w zakresie obrotów od 10 obr/min do  $n_{kr}$ ).

$$P = V \cdot X \cdot P_p + Y \cdot P_w \quad (8.3)$$

gdzie:  $V$  - współczynnik uwzględniający kinematyczny charakter pracy łożyska, przyjmuje wartości:  $V = 1$  - dla wirującego czopa,  $V = 1,2$  - dla wirującej obudowy,  $X$ ,  $Y$  - współczynniki konstrukcyjne łożyska,  $P_p$ ,  $P_w$  - składowe siły obciążenia łożyska: poprzeczna i wzdłużna.

**Obciążenie zastępcze spoczynkowe** - obciążenie poprzeczne lub styczne łożyska uwzględniające składową prostopadłą podczas pracy spoczynkowej (w zakresie obrotów do 10 obr/min).

$$P_0 = X \cdot P_p + Y \cdot P_w \quad (8.4)$$

**Nośność ruchowa** - zdolność do przenoszenia siły zastępczej ruchowej łożyska przez 1 mln obrotów (500 h przy 33,33 obr/min) podczas pracy ruchowej.

$$C = P \cdot \frac{f_h \cdot f_t}{f_n} \quad f_h = \sqrt[k]{\frac{L_h}{500}} \quad f_n = \sqrt[k]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}} \quad (8.5)$$

gdzie:  $f_h, f_n$  - współczynniki uwzględniające rzeczywistą trwałość godzinową i prędkość obrotową łożyska,  $f_t$  - współczynnik uwzględniający temperaturę pracy ( $>150$  °C),  $k$  - wykładnik potęgowy uwzględniający kształt elementów tocznych, przyjmuje wartości:  $k = 3$  - dla łożysk kulkowych i baryłkowych,  $k = 10/3$  - dla pozostałych.

**Nośność spoczynkowa** - zdolność do przenoszenia siły zastępczej spoczynkowej podczas pracy spoczynkowej.

$$C_0 = s \cdot P_0 \quad (8.6)$$

gdzie:  $s$  - współczynnik uwzględniający charakter obciążenia łożyska, przyjmuje wartości:  $s \geq 2$  - dla obciążeń uderzeniowych,  $s \geq 1$  - dla obciążeń dwukierunkowych,  $s \geq 0,5$  - dla obciążeń jednokierunkowych.

**Węzeł łożyskowy** - miejsce podparcia wału (osi) składające się z jednego lub kilku łożysk.

**Układ łożyskowy** - system łożyskowania wału (osi).

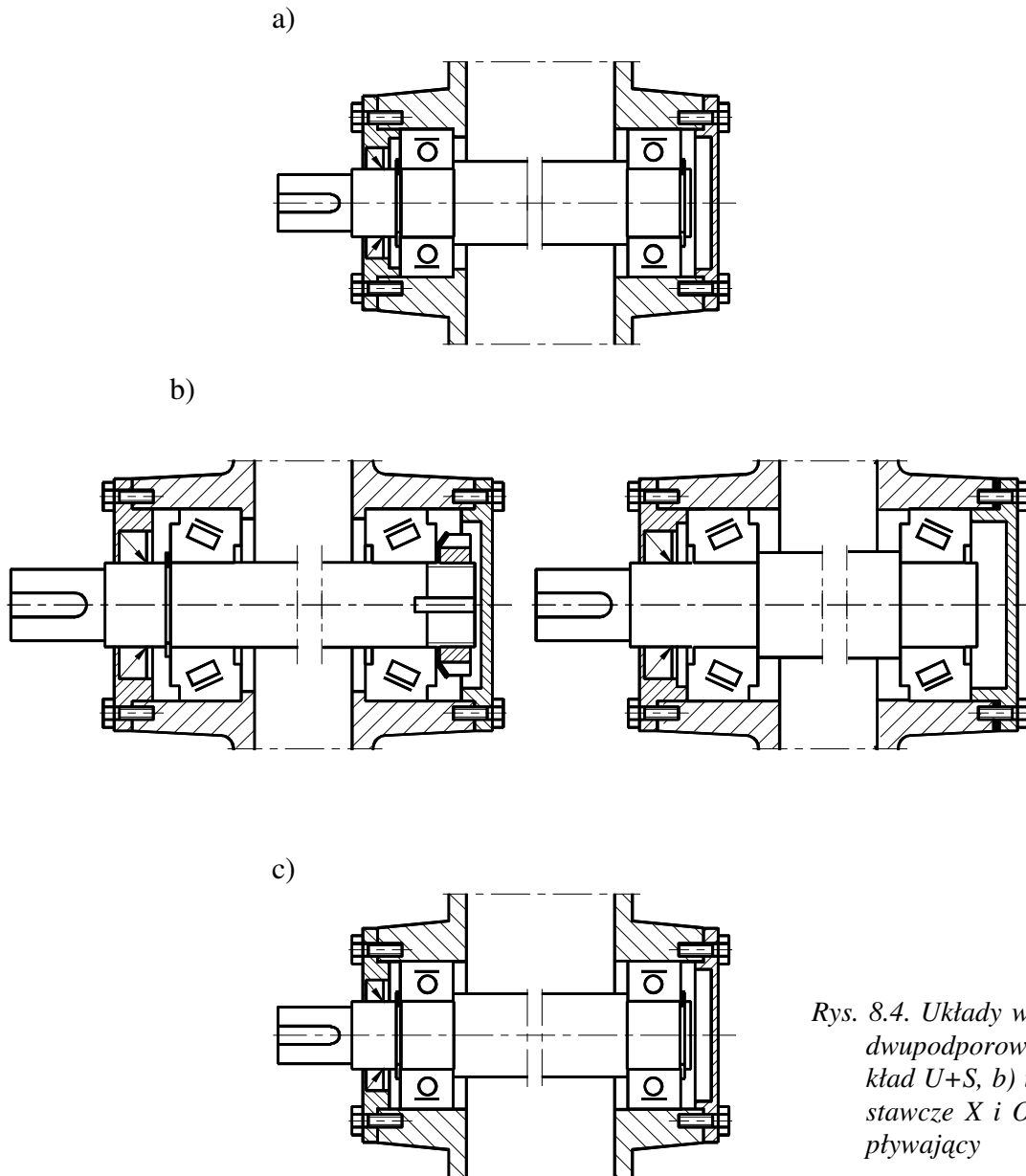
### 8.1.2. Układy łożyskowe

Najczęściej stosowane układy łożyskowe dla wałów (osi) podpartych w dwóch węzłach, są następujące.

**Układ U+S** (węzeł ustalony + węzeł swobodny) - charakteryzuje się pełną kompensacją wydłużeń cieplnych wału oraz brakiem możliwości regulacji luzów poprzecznych i wzdłużnych łożysk. Przedstawiony na rysunku 8.4a.

**Układ nastawczy** - charakteryzują się możliwością płynnej regulacji luzów w łożyskach oraz brakiem kompensacji wydłużeń cieplnych wału. Układ typu **X** powoduje przy wydłużaniu cieplnym wału wzrost obciążenia łożysk i wzrost naprężeń ściskających w wale, układ typu **O** powoduje wzrost luzów na bieżniach łożysk. Stosowane są w związku z tym do krótkich wałów. W ich konstrukcjach wykorzystywane są najczęściej łożyska skośne: kulkowe skośne, stożkowe i baryłkowe skośne. Przedstawiono je na rysunku 8.4b.

**Układ pływający** - stosowany wówczas gdy ustalenie wzdłużne wału (osi) jest dokonane poza miejscami podparcia (np. w przekładni zębatej walcowej z kołami daszkowymi). Przedstawiony na rysunku 8.4c.



Rys. 8.4. Układy wałów (osi) dwupodporowych, a) układ U+S, b) układy nastawcze X i O, c) układ pływający

### 8.1.3. Smarowanie

Systemy smarowania stosowane do łożyskowania wałów.

1. Smarowanie za pomocą smarów stałych - stosowane w łożyskach z wewnętrznym uszczelnieniem (typu 2RS). Ilość smaru w łożysku powinna wystarczyć na cały okres jego eksploatacji.
2. Smarowanie przez nakładanie smaru mazistego - polega na okresowym uzupełnianiu smaru w smarowniczkach skąd odpowiednimi kanałami przedostaje się na powierzchnie bieżni łożysk.
3. Smarowanie przy pomocy oliwiarki - podobnie jak w pkt. 2, czynnikiem smarującym jest olej.

4. Smarowanie kroplowe - uzyskuje się z odpowiedniej konstrukcji smarownicy która dostarcza olej ze zbiornika grawitacyjnie kroplami na powierzchnie smarowane lub knotem.
5. Smarowanie zanurzeniowe (rozbryzgowe) - zwilżenie powierzchni trących uzyskuje się przez zanurzenie ruchomych elementów maszyny w zbiornik oleju skąd następuje grawitacyjne lub rozbryzgowe jego przemieszczanie wewnątrz maszyny.
6. Smarowanie obiegowe (natryskowe) - polega na dostarczeniu oleju w miejsce smarowania za pomocą pompy olejowej przewodami lub kanalikami olejowymi.
7. Smarowanie mgłą olejową - podobnie jak w pkt. 8, smar transportowany pod wyższym ciśnieniem zostaje rozpylony w tryskaczach i w postaci drobnych kropelek osiada na smarowanych powierzchniach.

Do smarowania łożysk tocznych stosowane są:

- oleje: silnikowe, przekładniowe i przemysłowe,
- smary stałe: maszynowe do łożysk ślizgowych, do gorących łożysk ślizgowych, do łożysk tocznych, samochodowe, litowe, bentonitowe, Aliten.

#### 8.1.4. Uszczelnienia

Uszczelnienia stosowane są w celu zatrzymania czynnika smarującego w łożyskach, zabezpieczenia przed przedostaniem się, tego czynnika, na zewnątrz maszyny (zespołu) oraz zabezpieczenia łożyska przed zanieczyszczeniami pylistymi i ciekłymi. Uszczelnienia te mają charakter uszczelnień ruchowych. W zależności od dopuszczalnej wzajemnej prędkości powierzchni uszczelnianych rozróżnia się uszczelnienia:

1. Pierścieniem filcowym ( $v < 2,5$  m/s,  $n < 3000$  obr/min); skuteczne dla smarów stałych.
2. Uszczelnienie kołnierzone ( $v < 2,5 \div 7,5$  m/s,  $n < 15000$  obr/min).
3. Odrzutnikowe ( $v = 7,5 \div 15$  m/s).
4. Labiryntowe osiowe lub promieniowe ( $v = 7,5 \div 10$  m/s).
5. Szczelinowo-rowkowe ( $v = 7,5 \div 30$  m/s).

Ogólnie:

$v = 15$  m/s - granica zastosowania uszczelnień stykowych na wałach polerowanych (1, 2);

$v = 15 \div 30$  m/s - tylko uszczelnienia bezstykowe (3, 4, 5)

#### 8.1.5. Pasowania

Tolerancje opraw i czopów dla łożysk tocznych przedstawiono w tablicach 8.1, 8.2.

Klasy dokładności wymiarowej (PN-74/M-86406): P0 - klasa normalna, P6- klasa wysoka, P5 - klasa precyzyjna, P4 - klasa szczególnie precyzyjna.

Rodzaje luzów poprzecznych (BN-74/1130-05): C1 - luz mniejszy od zmniejszonego, C2 - luz zmniejszony, (bez oznaczenia) - luz normalny, C3 - luz powiększony, C4- luz większy od powiększonego, C5 - luz bardzo powiększony.

Tablica 8.1. Tolerancje średnic gniazd.

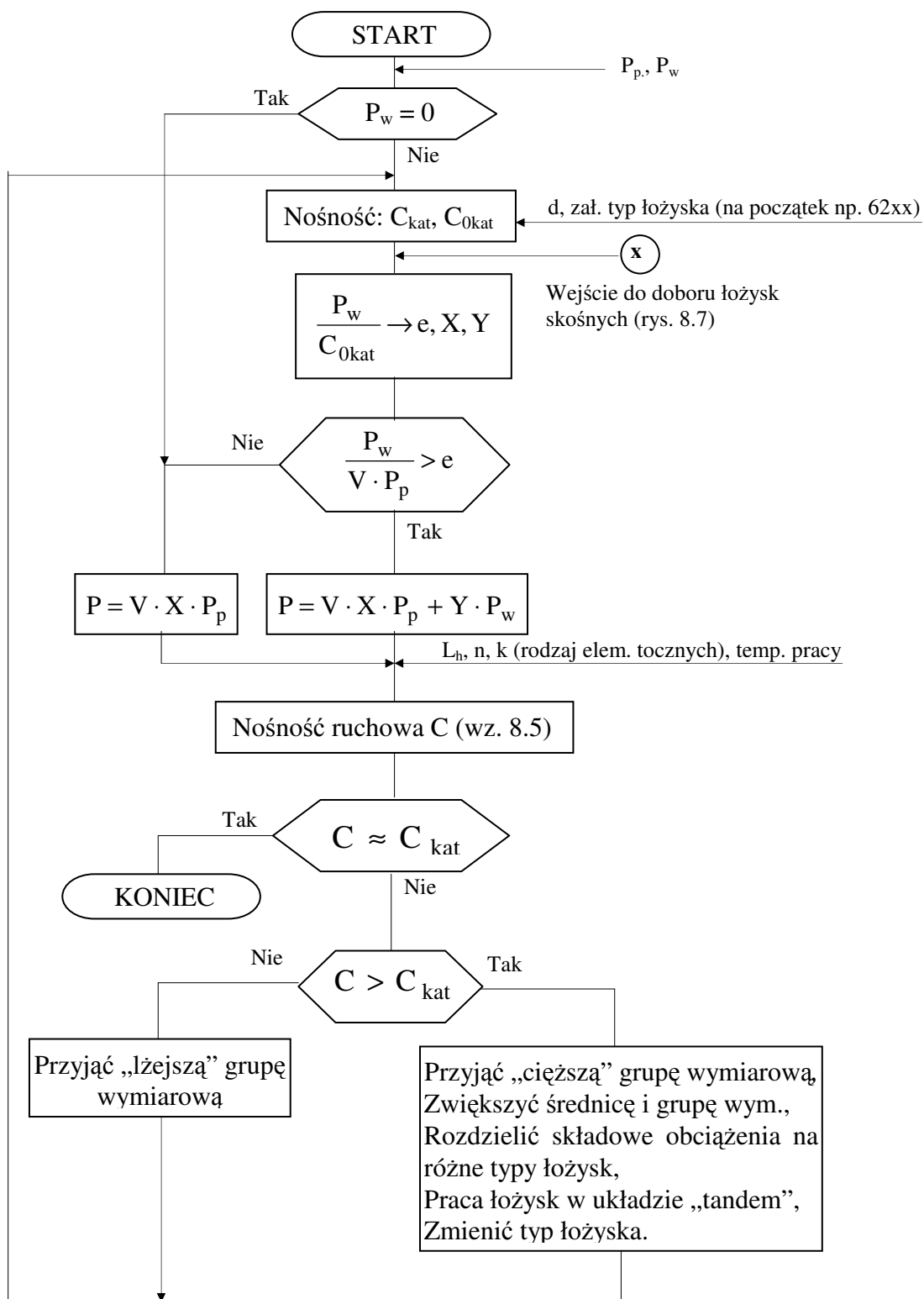
Przypad. konstr.	Oprawa	Warunki pracy	Pasowanie	Przykłady
Ruchoma oprawa	Niedzielona	obciążenia duże, obudowa cienkościenna	P7	koła samolotów, przednie koła samochodów i ciągników na łożyskach wałeczk., korbowody <sup>1)</sup>
		obciążenia normalne i duże uderzeniowe	N7	przednie koła samochodów i ciągników na łożyskach kulkowych, korbowody, wały silników spalinowych <sup>1)</sup>
		obciążenia małe i zmienne	M7	krażniki przenośników, koła linowe, koła jezdne suwnic <sup>1)</sup>
Przyp. złożony	Niedzielona	obciąż. duże uderzeniowe	M7	silniki elektryczne trakcyjne
		obciążenia normalne i duże	K7	silniki elektryczne, pompy, tylne mosty samochodów, wały silników spalinowych <sup>1)</sup>
Ruchomy czop	Nie dzielona lub dzielona	obciążenia normalne i duże	J7, H7	silniki elektryczne, wały silników
		obciążenia uderzeniowe		spalinowych osie pojazdów szynowych
		obciążenia dowolne	M7	mechanizmy różne
		obciążenia normalne i małe (dopływ ciepła przez wał)	G7	cylindry suszarni i maszyn papierniczych
		obciążenia normalne i małe	H8	wały pędziane, maszyny rolnicze
		obciążenia bardzo duże i uderzeniowe przy małej prędkości	E8	walce walcarek
		obciążenia dowolne	H9	oprawy dzielone wolno stojące
Ruchomy czop lub przyp. złożony	Nie dzielona	wysoka dokładność biegu, małe przesunięcia wzdłużne wałów, zmienne obciążenia i kierunki obrotów	P6, N6, M6	łożyska walcowe i stożkowe wrzecion obrabiarek
		wysoka dokładność biegu, małe obciążenia o nie ustalonym kierunku	K6	łożyska przednie wrzecion szlifierek
		wysoka dokładność biegu	J6	łożyska tylne wrzecion szlifierek, łożyska kulkowe skośne dwurzędowe
<b>Łożyska wzdłużne</b>				
Obciążenia ściśle wzdłużne	łożyska kulkowe w układzie poziomym oraz w urządzeniach narażonych na drgania		H8	
	łożyska kulkowe i baryłkowe wzdłużne, luz poprzeczny w gnieździe, gdyż oddzielne łożysko ustala wał w kierunku poprzecznym		-	
Obciążenia złożone	ruchomy czop		J7	
	ruchoma oprawa		K7	
	ruchoma oprawa, duże obciążenie poprzeczne		M7	
<sup>1)</sup> Pierścień zewnętrzny nieprzesuwany w kierunku wzdłużnym.				

Tablica 8.2. Tolerancje średnic czopów.

Przypadek konstrukcyjny	Kulkowe	Kulkowe skośne 2-rzędowe	Walcowe i igiełkowe	Stożkowe	Baryłkowe	Przykłady	
Osadzone bezpośrednio na czopach <sup>1)</sup>							
Ruchoma oprawa	g6 <sup>2)</sup>					Koła samolotów, krążniki przenośników, luźne koła pasowe	
	h6					Przednie koła samochodów i ciągników, koła przyczep, koła lino-we	
Ruchomy czop lub przypadek złożony	I	h5, j6, k6	-	j6, k6, m6		Maszyny elektryczne, obrabiarki, pompy, sprężarki, wentylatory, Wrzeciona szlifierskie <sup>4)</sup>	
	II	j5, k5	-	j5 <sup>3)</sup> , k5, m5			-
	III	j5, k5, m5	j5	k5, n5, m6	k5, m6, n6	m6, n6	Silniki elektryczne i spalinowe, obrabiarki do drewna, przekładnie zębate
	IV	-	-	n6, p6		n6, p6, r6	Osie lokomotyw oraz wagonów kolejowych i tramwajowych, silniki trakcyjne
Z otworem stożkowym osadzone w tulejach stożkowych							
Dowolny	h7, h8					Wały pomp, maszyny od których wymagana jest większa dokładność ruchu	
	h9, h10					Osie lokomotyw i wagonów, maszyny rolnicze, wały pędni	
<b>Łożyska wzdłużne</b>							
Ruchoma oprawa	j6	-	-	-	j6	Wszystkie zastosowania	
Ruchomy czop lub przyp. złożony	-	-	-	-	k6, m6		
<p>I - obciążenie małe i zmienne (<math>P \leq 0,1C</math>)</p> <p>II - obciążenie małe i zmienne dla łożysk klas wyższych od normalnej w urządzeniach o dużej dokładności</p> <p>III - obciążenia normalne i duże (<math>P &gt; 0,1C</math>)</p> <p>IV - obciążenia bardzo duże i uderzeniowe (<math>P \geq 0,15C</math>)</p> <p><sup>1)</sup> Z kilku tolerancji podanych w jednym wierszu (dla łożysk jednego rodzaju), z lewej strony odnoszą się do czopów o najmniejszych średnicach a z prawej strony - o największych (do 250 mm).</p> <p><sup>2)</sup> Gdy jest wymagana możliwość przesuwania się pierścienia po czopie.</p> <p><sup>3)</sup> Dla czopów do łożysk igiełkowych i igiełkowych bez jednego z pierścieni, pracujących w warunkach normalnych, należy stosować tolerancję h5, a dla opraw tolerancję G6. Gdy są konieczne powiększone luzy - odpowiednio: f6, H6.</p> <p><sup>4)</sup> Średnice czopów wrzecion szlifierskich należy tolerować symetrycznie w zależności od klasy dokładności łożyska (dla P5 - tolerancja js5, dla P4 - tolerancja js4).</p> <p>U w a g a. W tablicy podano zalecane tolerancje średnic czopów wałów stalowych pełnych. Dla wałów ze stopów lekkich należy stosować sąsiednie ciaśniejsze tolerancje w tej samej klasie dokładności (np. tolerancję czopa m5 zamiast k5).</p>							

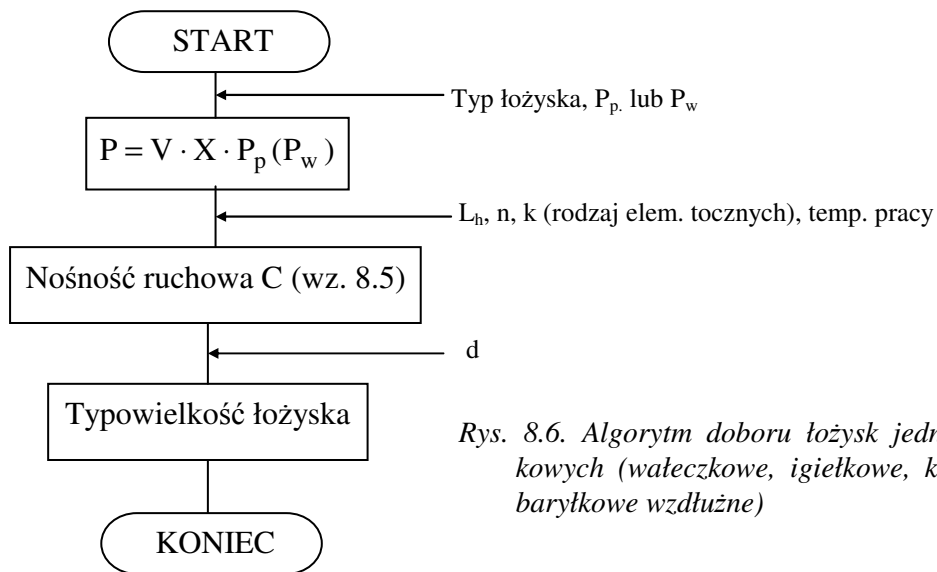
## Piśmiennictwo

- [1] Katalog informator, *Łożyska toczne; łożyska toczne w samochodach osobowych*, Wydawnictwo Przemysłowe WEMA, Warszawa, 1994 (zawiera spis Polskich Norm).
- [2] Dietrich M.: *Podstawy Konstrukcji Maszyn. t.3*, PWN, Warszawa, 1989.

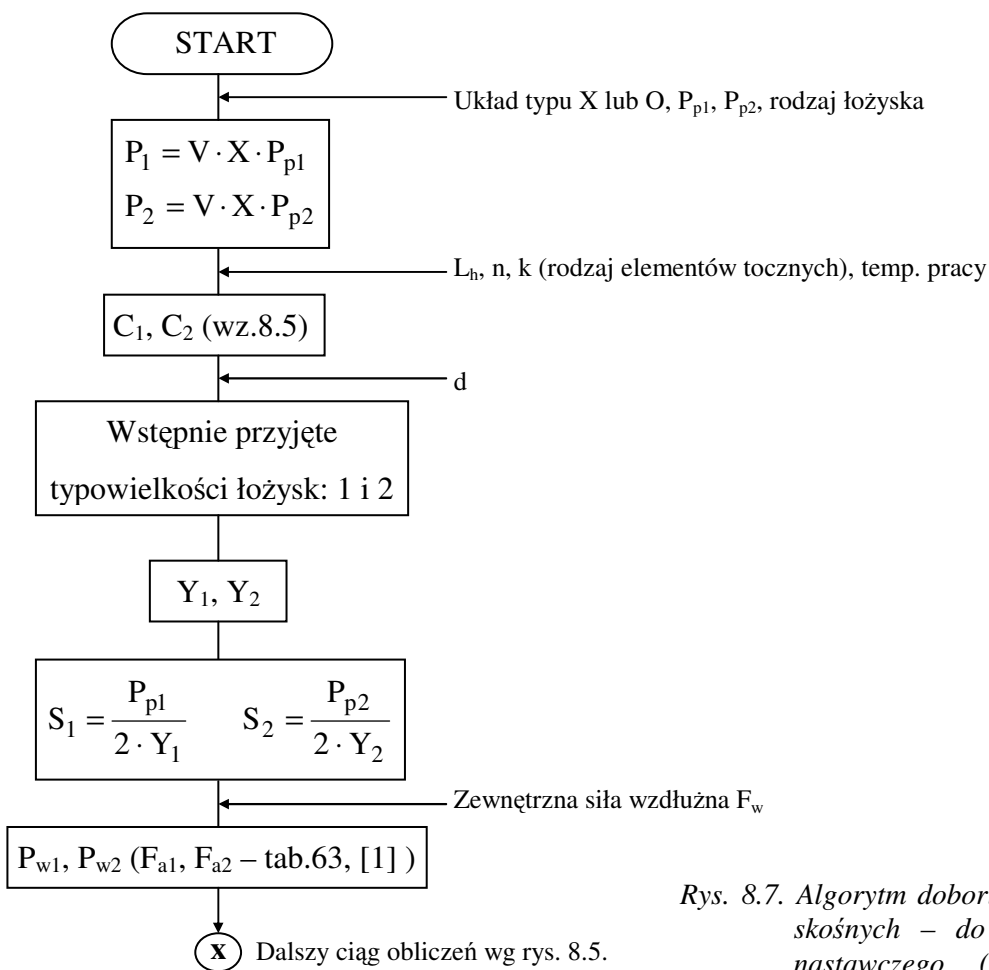


Rys. 8.5. Algorytm doboru łożysk kulkowych zwykłych





Rys. 8.6. Algorytm doboru łożysk jednokierunkowych (wałeczkowe, igiełkowe, kulkowe i baryłkowe wzdłużne)



Rys. 8.7. Algorytm doboru łożysk skośnych – do układu nastawczego (kulkowe skośne i stożkowe)