



Dobór rodzaju łożyska

Przestrzeń do dyspozycji	35
Obciążenia	37
Wielkość obciążenia	37
Kierunek obciążenia	37
Niewspółosiowość	40
Dokładność	40
Prędkość	42
Cichobieżność	42
Sztwność	42
Przemieszczenie osiowe	43
Montaż i demontaż łożysk	44
Łożyska z otworem walcowym	44
Łożyska z otworem stożkowym	44
Uszczelnienia zintegrowane	45
Tablica: Rodzaje łożysk – konstrukcja i właściwości	46

Każdy rodzaj łożyska ze względu na swoją konstrukcję ma charakterystyczne właściwości, które czynią go mniej lub bardziej przydatnym do określonego zastosowania. Przykładowo, łożyska kulkowe zwykle mogą przenosić średnie obciążenia promieniowe, jak również obciążenia osiowe, charakteryzują się niewielkim tarcie i mogą być wykonane z bardzo dużą dokładnością oraz jako rozwiązania cichobieżne. Z tego względu są one zalecane do zastosowań w małych i średnich silnikach elektrycznych.

Łożyska baryłkowe i łożyska toroidalne mogą przenosić bardzo duże obciążenia i są samonastawne. Takie rodzaje łożyskowania są zatem często przewidywane do przenoszenia dużych obciążeń, gdy jednocześnie występują w pracy odkształcenia i niewspółosiowości uwarunkowane obciążeniami, np. w budowie maszyn ciężkich.

Ponieważ jednak w wielu przypadkach przy wyborze rodzaju łożyska trzeba uwzględnić wiele czynników, często wzajemnie przeciwnych, nie można podać żadnych powszechnie obowiązujących zasad doboru. Zadaniem podanych tu informacji jest jedynie wskazać najważniejsze czynniki, które powinny być wzięte pod uwagę przy doborze rodzaju łożyska i w ten sposób ułatwić prawidłowy wybór uwzględniając

- ilość przestrzeni do dyspozycji
- obciążenia
- niewspółosiowość
- dokładność
- prędkość
- cichobieżność
- sztywność
- możliwość przemieszczenia osiowego
- montaż i demontaż
- zintegrowane uszczelnienia.

Załączona na **stronach 46 i 47** tablica zawiera sumaryczny przegląd rodzajów łożysk, ich cech konstrukcyjnych oraz zgrubną ocenę przydatności tych łożysk do wymagań stawianych łożyskowaniu. Dokładne informacje na temat poszczególnych rodzajów łożysk, ich właściwości i dostępnych rozwiązań można znaleźć w rozdziałach poświęconych konkretnym rodzajom łożysk. Inne rodzaje łożysk, które nie zostały wymienione w tablicy są stosowane tylko w nielicznych, ściśle określonych zastosowaniach.

Załączona tablica umożliwia jedynie stosunkowo zgrubną klasyfikację rodzajów łożysk. Ograniczona liczba symboli nie pozwala na dokładne różnicowanie, a pewne właściwości zależą nie tylko od konstrukcji łożyska. Przykładowo, sztywność układu złożonego z łożysk kulkowych skośnych lub łożysk stożkowych zależy również od dobranego napięcia wstępnego, a zdolność łożyska do przenoszenia dużej prędkości obrotowej jest zależna od dokładności wykonania łożyska, elementów przynależnych oraz od konstrukcji koszyka. Pomimo tych ograniczeń zamieszczona na **stronach 46 i 47** tablica powinna umożliwić odpowiedni dobór rodzaju łożyska. Należy tu również nadmienić, że na ostateczny dobór rodzaju łożyska wpływa całkowity koszt łożyskowania i składowania części zamiennych.

Dalsze ważne kryteria doboru łożyskowania, jak np. nośność i trwałość, tarcie, dopuszczalne prędkości obrotowe, luz łożyska lub napięcie wstępne, smarowanie czy rodzaj uszczelnienia omówiono dokładnie w następnych rozdziałach niniejszego katalogu

Cały zakres produkcji SKF nie mógł zostać przedstawiony w Katalogu Głównym. Łożyska nie wymienione tutaj są opisane w licznych katalogach i broszurach specjalistycznych – w razie pytań prosimy o kontakt z SKF.

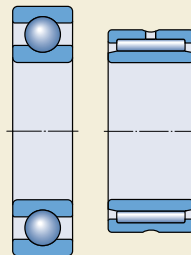
Przestrzeń do dyspozycji

W wielu przypadkach co najmniej jeden z głównych wymiarów łożyska – najczęściej średnica otworu – jest już narzucony przez konstrukcję urządzenia i średnicę wału.

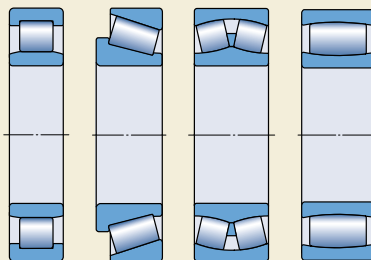
Do wałów o małych średnicach mogą być stosowane wszystkie rodzaje łożysk kulkowych, przy czym najbardziej popularne są tu łożyska kulkowe zwykłe; odpowiednie są również łożyska igiełkowe (→ rys. 1). Dla wałów o dużych średnicach nadają się przede wszystkim łożyska walcowe, stożkowe, baryłkowe i toroidalne, a także łożyska kulkowe zwykłe (→ rys. 2).

W przypadku, gdy przestrzeń w kierunku promieniowym jest ograniczona należy dobierać łożyska o małym przekroju poprzecznym, to znaczy przede wszystkim łożyska o nieznacznej wysokości przekroju, a więc łożyska o ciągu średnic 8 lub 9. Należy tu wziąć pod uwagę przede wszystkim złożenia igiełkowe, łożyska igiełkowe cienkościenne, łożyska igiełkowe bez pierścienia wewnętrznego lub z pierścieniem wewnętrznym (→ rys. 3), katalog SKF „Łożyska igiełkowe” oraz określone szeregi łożysk kulkowych zwykłych, łożysk kulkowych skośnych, łożysk walcowych, stożkowych, baryłkowych i toroidalnych.

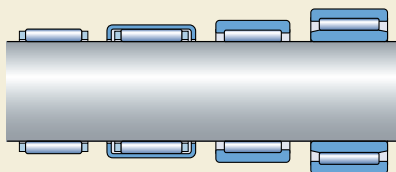
Rys. 1



Rys. 2



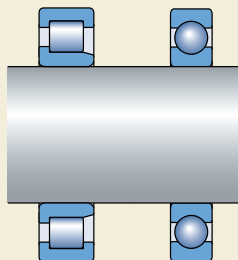
Rys. 3



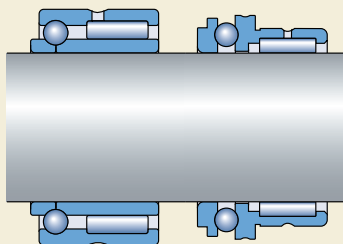
Dobór rodzaju łożyska

Jeżeli przestrzeń jest ograniczona w kierunku osiowym, to przy występowaniu obciążeń promieniowych i obciążeń złożonych należy stosować określone serie łożysk walcowych i kulkowych zwykłych (→ **rys. 4**), a także różne rodzaje łożysk igiełkowych kombinowanych (→ **rys. 5**). Dla obciążeń ściśle osiowych nadają się złożenia igiełkowe i łożyska igiełkowe wzdłużne oraz pewne serie łożysk kulkowych wzdłużnych lub łożysk walcowych wzdłużnych (→ **rys. 6**).

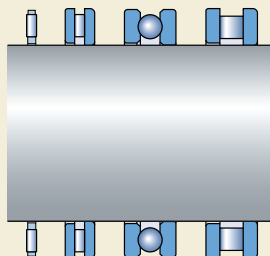
Rys. 4



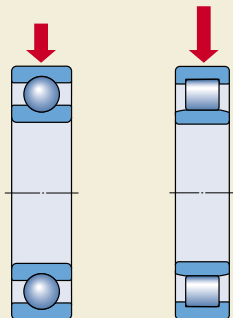
Rys. 5



Rys. 6



Rys. 7

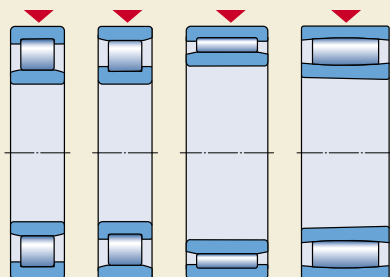


Obciążenia

Wielkość obciążenia

Wielkość obciążenia jest jednym z tych czynników, które zwykle wyznaczają rozmiar przewidywanego łożyska. Ogólnie mówiąc, łożyska walczkowe mogą przenosić większe obciążenia niż łożyska kulkowe o tych samych wymiarach zewnętrznych (→ rys. 7) a łożyska z pełną liczbą elementów tocznych mogą przejmować większe obciążenia niż odpowiadające im łożyska wyposażone w koszyki. Łożyska kulkowe są przeważnie stosowane do przenoszenia małych i średnich obciążeń, podczas gdy przy większych obciążeniach i jednocześnie większych wymiarach wału bardziej odpowiednie są łożyska walczkowe.

Rys. 8



Kierunek obciążenia

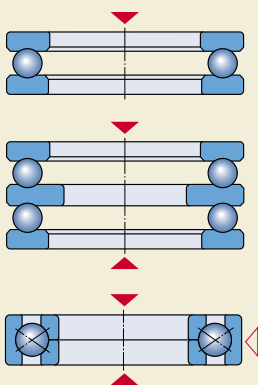
Obciążenie promieniowe

Łożyska walcowe z jednym pierścieniem bez obrzeży (typu NU i N), łożyska igiełkowe (z wyjątkiem łożysk igiełkowych kombinowanych) oraz łożyska toroidalne mogą przenosić tylko obciążenia promieniowe (→ rys. 8). Wszystkie pozostałe rodzaje łożysk poprzecznych oprócz obciążeń promieniowych mogą także przenosić obciążenia osiowe (→ „Obciążenie złożone”).

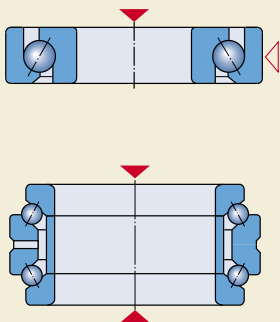
Obciążenie osiowe

Łożyska kulkowe wzdłużne i łożyska kulkowe skośne dwukierunkowe (→ rys.9) są najbardziej odpowiednimi rodzajami łożysk do przenoszenia małych i średnich obciążeń działających w kierunku ściśle osiowym. Łożyska kulkowe wzdłużne jednokierunkowe mogą przenosić obciążenia osiowe tylko w jednym kierunku; gdy obciążenia działają w obu kierunkach, konieczne jest zastosowanie łożysk dwukierunkowych.

Rys. 9



Rys. 10



Łożyska kulkowe skośne wzdłużne mogą przenosić umiarkowane obciążenia osiowe przy wysokich prędkościach obrotowych, przy czym łożyska jednokierunkowe mogą być jednocześnie obciążone w kierunku promieniowym, podczas gdy łożyska dwukierunkowe są normalnie stosowane tylko do obciążeń ściśle osiowych (→ rys. 10).

W przypadku dużych i bardzo dużych obciążeń osiowych działających w jednym kierunku odpowiednie są łożyska igiełkowe wzdłużne, łożyska walcowe wzdłużne, łożyska stożkowe wzdłużne, jak również łożyska baryłkowe wzdłużne (→ rys. 11). Łożyska baryłkowe wzdłużne mogą również przenosić obciążenia promieniowe. W celu przejęcia wysokich obciążeń osiowych o zmiennym kierunku można zbudować obok siebie dwa łożyska walcowe wzdłużne lub dwa łożyska baryłkowe wzdłużne.

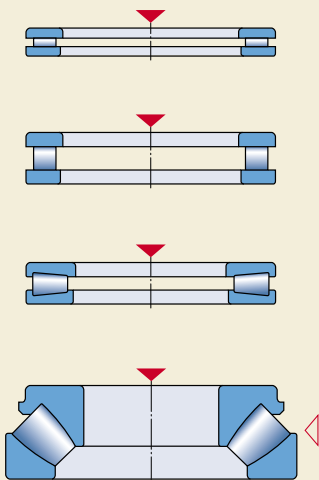
Obciążenie złożone

Obciążenie złożone składa się z działającego równocześnie obciążenia promieniowego i obciążenia osiowego. Obciążalność osiowa łożyska zależy od wielkości kąta działania łożyska α . Im większy kąt działania, tym większa zdolność łożyska do przenoszenia obciążeń osiowych. O zdolności łożyska do przenoszenia obciążeń osiowych świadczy współczynnik obciążenia osiowego Y , którego wartość maleje wraz ze wzrostem kąta działania α . Wartości tego współczynnika dla każdego rodzaju łożyska podane są albo w tekście przed tablicami łożysk, albo w samych tablicach. W łożyskach kulkowych zwykłych wielkość kąta działania i wynikająca stąd zdolność do przenoszenia obciążeń osiowych zależy od wielkości luzu wewnętrznego (→ rozdział „Łożyska kulkowe zwykłe”, początek na stronie 287).

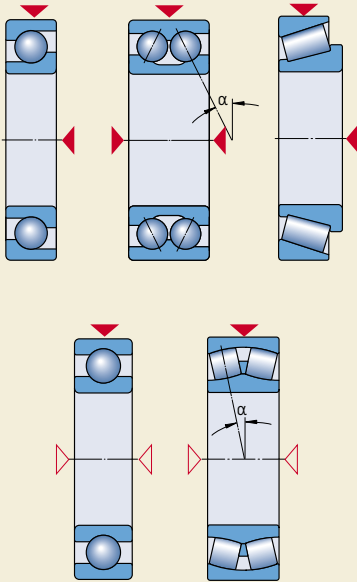
Przy obciążeniach złożonych stosuje się głównie łożyska kulkowe skośne jednorzędowe i dwurzędowe lub łożyska stożkowe jednorzędowe. Można także stosować łożyska kulkowe zwykłe i łożyska baryłkowe (→ rys. 12). Ponadto, do przejmowania obciążeń złożonych mogą być również użytkowane w ograniczonym zakresie łożyska kulkowe wahlowe i łożyska walcowe typu NJ i NUP, jak również typu NU i NU z pierścieniem kątowym HJ (→ rys. 13).

Łożyska kulkowe skośne jednorzędowe, łożyska stożkowe, łożyska walcowe typu NJ i NU+HJ oraz łożyska baryłkowe wzdłużne mogą przenosić obciążenia osiowe tylko w jednym kierunku.

Rys. 11



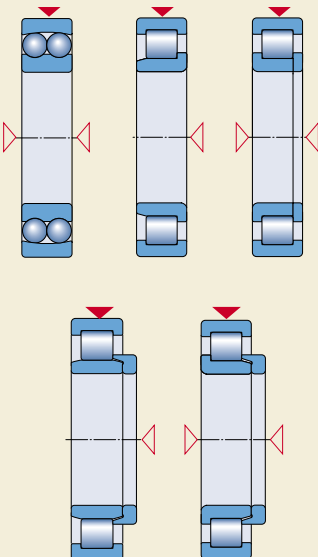
Rys. 12



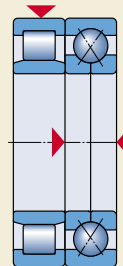
Przy zmieniającym się kierunku obciążenia łożyska te muszą być zawsze zabudowane z drugim łożyskiem. Z tego powodu łożyska kulkowe skośne jednorzędowe są dostępne w wykonaniu do „uniwersalnej zabudowy” w zespole, a łożyska stożkowe jednorzędowe mogą być dostarczone jako dopasowane komplety złożone z dwóch łożysk jednorzędowych (→ rozdział „Łożyska kulkowe skośne jednorzędowe”, początek na **stronie 409**, oraz „Parowane łożyska stożkowe jednorzędowe”, początek na **stronie 671**).

W przypadku obciążeń złożonych, przy bardzo dużej składowej osiowej, może być ona przejęta, niezależnie od obciążenia promieniowego, przez drugie łożysko. Oprócz wymienionych łożysk wzdłużnych, do tego celu nadają się również niektóre łożyska poprzeczne, np. łożyska kulkowe zwykłe lub łożyska kulkowe skośne dwukierunkowe (→ **rys. 14**). W celu zapewnienia w tym przypadku przenoszenia przez łożysko tylko składowej osiowej pierścień zewnętrzny łożyska musi być zabudowany z luzem promieniowym w otworze oprawy.

Rys. 13



Rys. 14



Obciążenie momentem

Przy mimośrodkowym przyłożeniu siły łożysko jest obciążone momentem wywrotnym. Do przeniesienia momentów wywrotnych nadają się, obok łożysk dwurzędowych np. łożysk kulkowych zwykłych lub łożysk kulkowych skośnych, przede wszystkim sparowane jednorzędowe łożyska kulkowe skośne lub łożyska stożkowe ustawione w układzie X lub jeszcze lepiej w układzie O (→ **rys. 15**).

Niewspółosiowość

Niewspółosiowość wału w stosunku do oprawy może występować na przykład wówczas, gdy wał ugina się pod obciążeniem roboczym lub gdy gniazda w oprawach nie były obrabiane w jednym zamocowaniu, lub przy zabudowie łożysk w oddzielne oprawy umieszczone w znacznej odległości od siebie.

Tak zwane łożyska sztywne, czyli łożyska kulkowe zwykłe i łożyska walcowe nie mogą kompensować niewspółosiowości pierścieni łożysk lub kompensacja jest możliwa tylko w bardzo ograniczonym zakresie. Łożyska wahlliwe, to znaczy łożyska kulkowe wahlliwe, łożyska baryłkowe, łożyska toroidalne i łożyska baryłkowe wzdłużne (→ **rys. 16**), umożliwiają wyrównanie niewspółosiowości łożysk wywołanej obciążeniem roboczym i mogą również skompensować błędy współosiowości, wynikające z procesu produkcji i zabudowy. Wartości dopuszczalnej niewspółosiowości są podane w tekście poprzedzającym dany rozdział tabelarycznej części katalogu. Jeżeli przewidywana niewspółosiowość przekracza wartość dopuszczalną prosimy skorzystać z usług doradców technicznych SKF.

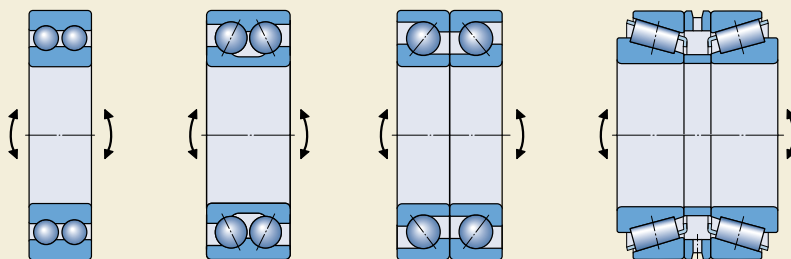
Łożyska kulkowe wzdłużne z pierścieniami kulistymi i podkładkami kulistymi, zespoły łożyskowe typu Y (zespoły z oprawami) oraz łożyska igiełkowe samonastawne (→ **rys. 17**) mogą kompensować niewspółosiowości, spowodowane błędami wytwarzania lub zabudowy.

Dokładność

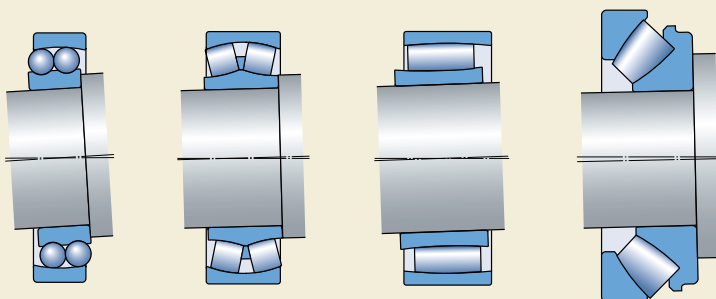
W odniesieniu do łożyskowań o dużej dokładności biegu (np. do wrzecion obrabiarek), a także łożyskowań pracujących przy bardzo wysokich prędkościach obrotowych stosowane są łożyska o dokładnościach wyższych od normalnych.

W tekście poprzedzającym każdy rozdział tabelarycznej części katalogu podano informacje dotyczące klas tolerancji, w których dane łożyska są produkowane. Asortyment łożysk precyzyjnych produkowanych przez SKF obejmuje łożyska kulkowe skośne jednorzędowe, łożyska walcowe jednorzędowe i dwurzędowe oraz łożyska kulkowe skośne wzdłużne jednorzędowe i dwurzędowe (→ katalog SKF „Łożyska precyzyjne”).

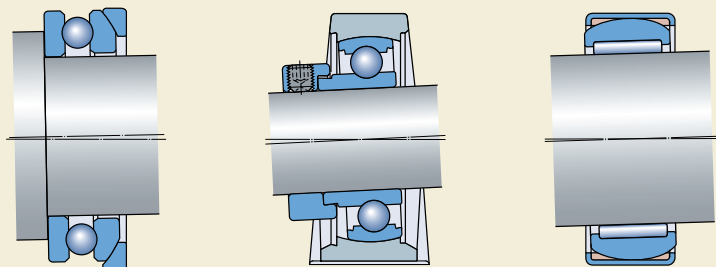
Rys. 15



Rys. 16



Rys. 17



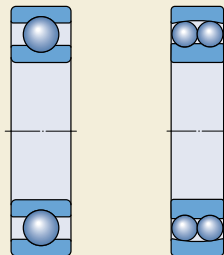
Prędkość

Prędkość obrotowa łożysk tocznych jest ograniczona przez dopuszczalną temperaturę pracy. Najbardziej odpowiednie do pracy przy wysokich prędkościach obrotowych są te rodzaje łożysk, które cechuje małe tarcie i odpowiednio niewielkie wytwarzanie ciepła w łożysku.

Przy obciążeniu ściśle promieniowym z największymi prędkościami obrotowymi mogą pracować łożyska kulkowe zwykłe i łożyska kulkowe wahlwe (→ rys. 18), a przy obciążeniach złożonych – łożyska kulkowe skośne (→ rys. 19). Odnosi się to szczególnie do precyzyjnych łożysk kulkowych skośnych lub łożysk kulkowych zwykłych z ceramicznymi elementami tocznymi.

Łożyska wzdłużne, ze względu na ich konstrukcję, nie mogą przenosić tak dużych prędkości obrotowych, jak łożyska poprzeczne.

Rys. 18



Rys. 19



Cichobieżność

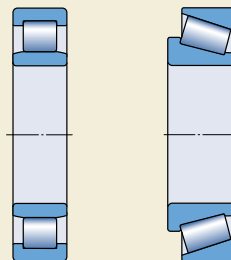
W określonych przypadkach zastosowań, np. w małych silnikach elektrycznych do maszyn gospodarstwa domowego i w maszynach biurowych, bardzo ważną rolę przy doborze łożysk odgrywa warunek cichobieżności. Łożyska kulkowe zwykłe SKF szczególnie dobrze nadają się do tego typu zastosowań.

Sztywność

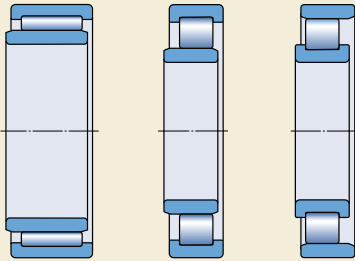
Sztywność łożyska charakteryzuje wielkość odkształcenia sprężystego (ugięcia) w obciążonym łożysku. Zwykle odkształcenia te są bardzo małe i najczęściej mogą być pominięte. W niektórych przypadkach łożyskowania, jak np. w roboczych wrzecionach obrabiarek lub w łożyskowaniu zębniaka sztywność łożysk ma kluczowe znaczenie.

Zasadniczo, łożyska wałeczkowe, np. łożyska wałcowe lub stożkowe (→ rys. 20), ze względu na dużą powierzchnię styku między elementami tocznymi i bieżniami mają większą sztywność niż łożyska kulkowe. Sztywność łożyskowania może być zwiększona przez zastosowanie podczas zabudowy napięcia (zacisku) wstępnego (→ rozdział „Napięcie wstępne łożysk”, początek na stronie 206).

Rys. 20



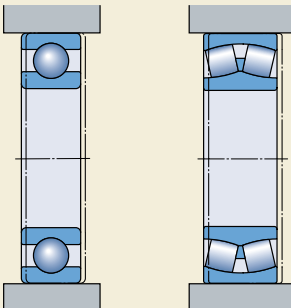
Rys. 21



Rys. 22



Rys. 23



Przemieszczenie osiowe

Łożyszkowanie wału lub innego elementu maszynowego składa się na ogół z łożyska ustalającego i łożyska swobodnego (→ rozdział „Układy łożysk”, początek na **stronie 160**).

Łożyska ustalające zapewniają ustalenie osiowe elementu maszynowego w obu kierunkach. Najbardziej odpowiednimi łożyskami do spełnienia tego zadania są takie łożyska, które mogą przenosić obciążenia złożone oraz mogą zapewnić prowadzenie osiowe w powiązaniu z drugim łożyskiem (→ tablica na **stronach 46 i 47**).

Łożyska swobodne mogą przemieszczać się wzdłuż osi, dzięki czemu unika się obustronnego napinania łożysk np. w wyniku zmiany długości wału spowodowanej rozszerzalnością cieplną. Jako łożyska swobodne najbardziej odpowiednie są łożyska igiełkowe i łożyska walcowe (typu NU lub N) (→ **rys. 21**), jak również łożyska walcowe typu NJ i pewne konstrukcje łożysk z pełną liczbą wałeczków.

W sytuacjach, gdy wymagane przemieszczenie osiowe jest stosunkowo duże i wał może być narażony na niewspółosiowość, w roli łożyska swobodnego doskonale sprawdza się łożysko toroidalne CARB (→ **rys. 22**).

Omawiane rodzaje łożysk pozwalają na swobodne przesunięcie wzdłużne bieżni łożyska względem siebie. Pierścienie wewnętrzny i zewnętrzny mogą być przy tym montowane przy zastosowaniu pasowania ciasnego. Wartości dopuszczalnego przemieszczenia osiowego są podane w odpowiednich tablicach łożysk.

Jeżeli jako łożysko swobodne zastosowane jest łożysko nierozłączne, np. łożysko kulkowe zwykłe lub łożysko baryłkowe (→ **rys. 23**), to jeden z pierścieni musi być luźno pasowany (→ rozdział „Promieniowe osadzenie łożysk”, początek na **stronie 164**).

Montaż i demontaż łożysk

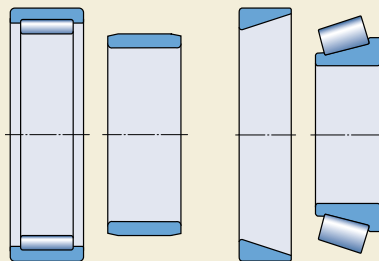
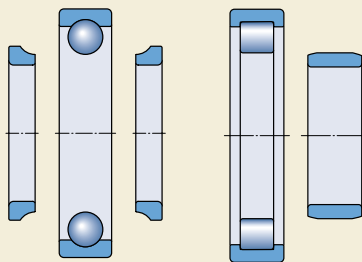
Łożyska z otworem walcowym

Łożyska z otworem walcowym łatwiej montować i demontować jeżeli mają konstrukcję rozłączną, zwłaszcza przy ciasnym pasowaniu obu pierścieni. Łożyska rozłączne są również wskazane przy częstym montażu i demontażu, gdyż pozwalają na niezależny montaż jednego pierścienia z elementami tocznymi i koszykiem od drugiego pierścienia, np. łożyska kulkowe skośne jednorzędowe dwukierunkowe, łożyska walcowe, igiełkowe i stożkowe (→ rys. 24), a także łożyska kulkowe i wałeczkowe wzdłużne.

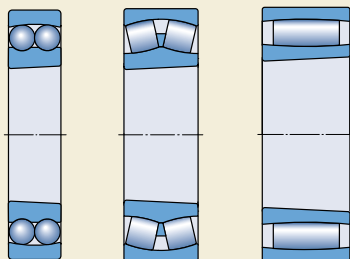
Łożyska z otworem stożkowym

Łożyska z otworem stożkowym (→ rys. 25) można łatwo zakładać na czop stożkowy lub na czop walcowy przy zastosowaniu tulei rozprężnej wciąganej, lub wciskanej (→ rys. 26).

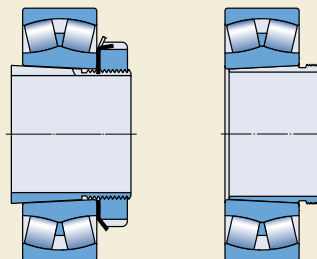
Rys. 24



Rys. 25



Rys. 26



Uszczelnienia zintegrowane

Dobór uszczelnienia jest bardzo istotny z punktu widzenia prawidłowej pracy łożyska. SKF dostarcza łożyska ze zintegrowanymi

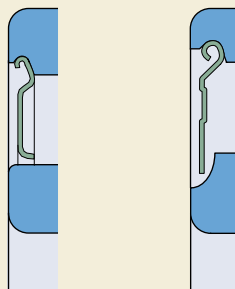
- blaszkami ochronnymi (→ rys. 27)
- uszczelnieniami o obniżonym tarciu (→ rys. 28)
- uszczelnieniami stykowymi (→ rys. 29)

dającymi w wielu wypadkach możliwość stworzenia ekonomicznego i zwartej rozwiązania. Liczne rozmiary łożysk uszczelnionych są dostępne w ramach następujących rodzajów łożysk

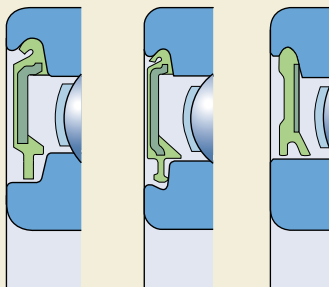
- łożyska kulkowe zwykłe
- łożyska kulkowe skośne
- łożyska kulkowe wahliwe
- łożyska walcowe
- łożyska igiełkowe
- łożyska baryłkowe
- łożyska toroidalne CARB
- rolki nośne
- łożyska typu Y i zespoły łożyskowe typu Y.

Wszystkie łożyska ze zintegrowanymi uszczelnkami z obu stron są napełnione smarem plastycznym odpowiedniej jakości i w odpowiedniej ilości.

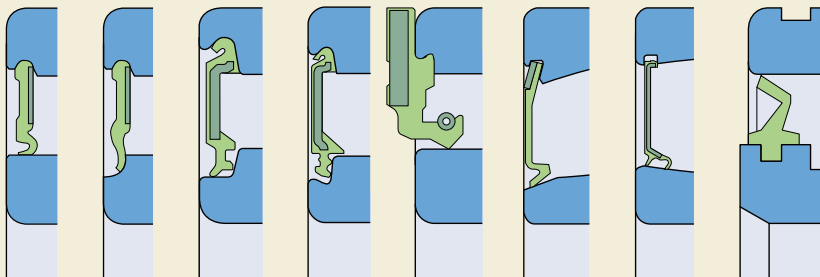
Rys. 27



Rys. 28



Rys. 29



Dobór rodzaju łożyska

Zamieszczona tablica zawiera tylko bardzo pobieżne informacje. W każdym konkretnym przypadku należy dokonać bardziej dokładnej selekcji, powołując się na informacje podane w części technicznej lub bardziej szczegółowe informacje w tekście poprzedzającym poszczególne rozdziały tabelarycznej części katalogu. Jeśli dla danego rodzaju łożyska podanych jest obok siebie kilka typów lub wykonień, to wówczas zamieszczone dane odnoszą się do łożyska oznaczonego małą literą. Przyjęte symbole ++ + bardzo dobre + + dobre + dostateczne – mała przydatność -- brak przydatności ← w jednym kierunku ↔ w obu kierunkach		Rodzaje łożysk – konstrukcja i właściwości Cechy konstrukcyjne				
Rodzaj łożyska		otwór stożkowy	z blaszkami ochronnymi lub uszczelnkami	samonastawne	nierozłączne	rozłączne
łożyska kulkowe zwykłe	 a  b		a			
łożyska kulkowe skośne, jednorzędowe	 a  b					
zespoły parowane, dwurzędowe	 a  b  c		b		a, b	c
jednorzędowe dwukierunkowe						
łożyska kulkowe wahlliwe						
łożyska walcowe, z koszykiem	 a  b  c  d					
z pełną liczbą wałeczków, jednorzędowe	 a  b				a	b
z pełną liczbą wałeczków, dwurzędowe	 a  b  c  d		d			
łożyska igiełkowe, z pierścieniami stalowym	 a  b  c		a			
złożenia igiełkowe, łożyska cienkościenne	 a  b  c		b, c			
łożyska kombinowane	 a  b  c		b, c			
łożyska stożkowe, jednorzędowe						
parowane jednorzędowe	 a  b  c					
łożyska baryłkowe						
łożyska toroidalne CARB, z koszykiem						
z pełną liczbą wałeczków						
łożyska kulkowe wzdłużne	 a  b					
z kulistym pierścieniem zewnętrznym	 a  b					
łożyska igiełkowe wzdłużne						
łożyska walcowe wzdłużne	 a  b					
łożyska baryłkowe wzdłużne						

Charakterystyka

Przydatność łożyska ze względu na:

obciążenie ściśle promieniowe	obciążenie ściśle osiowe	obciążenie złożone	obciążenie momentem	dużą prędkość obrotową	dużą dokładność biegu	wysoką sztywność	cichobieżność	małe tarcie	kompensację niewspółosiowości w czasie pracy	kompensację niewspółosiowości montażowej (początkowej)	łożyskowanie ustalające	łożyskowanie swobodne	możliwość przemieszczenia osiowego wewnątrz łożyska
+	↔	↔	a - b +	a +++ b ++	a +++ b ++	+	+++	+++	-	-	↔	+	--
a + b ++	a + b ++	++	-	a ++ b +	a +++ b ++	+	a ++ b +	a ++ b +	-	-	++ ↔	--	--
++	↔	↔	+	+	++	+	+	+	--	--	↔	+	--
-	↔	↔	+	++	+	+	+	+	--	--	↔	-	--
+	-	-	--	+++	++	-	++	+++	+++	+++	↔	+	--
++	--	--	--	++	++	++	++	++	-	-	--	+++	+++
++	a b + c d ↔	a b + c d ↔	--	++	++	++	+	++	-	-	a b + c d ↔	a b +	a b +
+++	-	+	--	-	+	+++	-	-	-	-	+	+	+
+++	-	c d + b ↔	+	-	+	+++	-	-	--	--	c d + b ↔	a b + ↔	a b + ↔
++	--	--	--	+	a ++	++	+	+	--	-- c ++	--	+++	+++
++	--	--	--	+	+	++	+	+	--	--	--	+++	+++
+	c ++ ↔	+	-	+	+	++	+	-	--	--	+	--	--
++	++	+++ ↔	-	+	+	++	+	+	-	-	+++ ↔	--	--
+++	a b + c ↔	a b + c ↔	a b + c -	+	+	a b + c +++	+	+	-	--	a b + c ↔	a b - c --	--
+++	↔	+++ ↔	--	+	+	++	+	+	+++	+++	++ ↔	+	--
+++	--	--	--	+	+	++	+	+	+++	+++	--	+++	+++
+++	--	--	--	-	+	+++	+	-	+++	+++	--	+++	+++
--	a + b ↔	--	--	-	++ a	+	-	+	-	--	++ ↔	--	--
--	a + b ↔	--	--	-	+	+	-	+	-	++	++ ↔	--	--
--	++ ↔	--	--	-	a + b ++	++	-	-	--	--	++ ↔	--	--
--	+++ ↔	+	--	-	+	++	-	+	+++	+++	+++ ↔	--	--