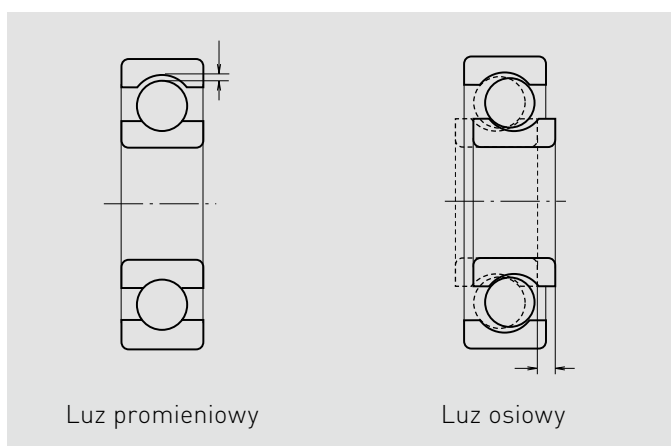


## Luz wewnętrzny – rodzaje i normy

Luz wewnętrzny to odległość, na jaką mogą się przesunąć dwa pierścienie łożyska niezamontowanego, jeżeli zostaną popchnięte w przeciwnych kierunkach. Rozróżnia się luz promieniowy i osiowy. Luz promieniowy jest mierzony prostopadle do osi środkowej łożyska, podczas gdy luz osiowy jest mierzony wzdłuż tej osi. Mierzona jest odległość pomiędzy jednym i drugim położeniem końcowym.



Luz promieniowy

Luz osiowy

Luz wewnętrzny ma bardzo duży wpływ na pracę łożysk, oddziałując na takie czynniki, jak ich trwałość serwisowa, drgania, poziom szumu i wydzielanie ciepła.

### Zmierzony i geometryczny luz wewnętrzny

Dla uzyskania wartości rzeczywistych, luz teoretyczny jest mierzony po przyłożeniu zdefiniowanego obciążenia pomiarowego do łożyska. Ta zmierzona wartość jest zawsze nieco wyższa niż luz teoretyczny – zwany także luzem geometrycznym. Różnica pomiędzy tymi dwoma wartościami odpowiada odkształceniu sprężystemu spowodowanemu przez obciążenie pomiarowe.

Luz teoretyczny można obliczyć odejmując wielkość odkształcenia sprężystego od luzu zmierzonego. To odkształcenie sprężyste jest minimalne w przypadku łożysk walcowych, w przypadku których luz wewnętrzny określony przed montażem oraz luz teoretyczny są takie same.

Tabele pokazujące luz wewnętrzny dla konkretnych typów łożysk można znaleźć w głównym katalogu łożysk NSK.

## Przeliczanie luzu promieniowego na luz osiowy

$$\text{Luz osiowy } \Delta_a = \Delta_r \cot \alpha = \frac{1,5}{e} \Delta_r$$

$\Delta_r$  : Luz promieniowy

$\alpha$  : Kąt działania

$e$  : Stała

## Czynniki wpływające na luz wewnętrzny

### Zmniejszenie luzu wewnętrznego spowodowane pasowaniem

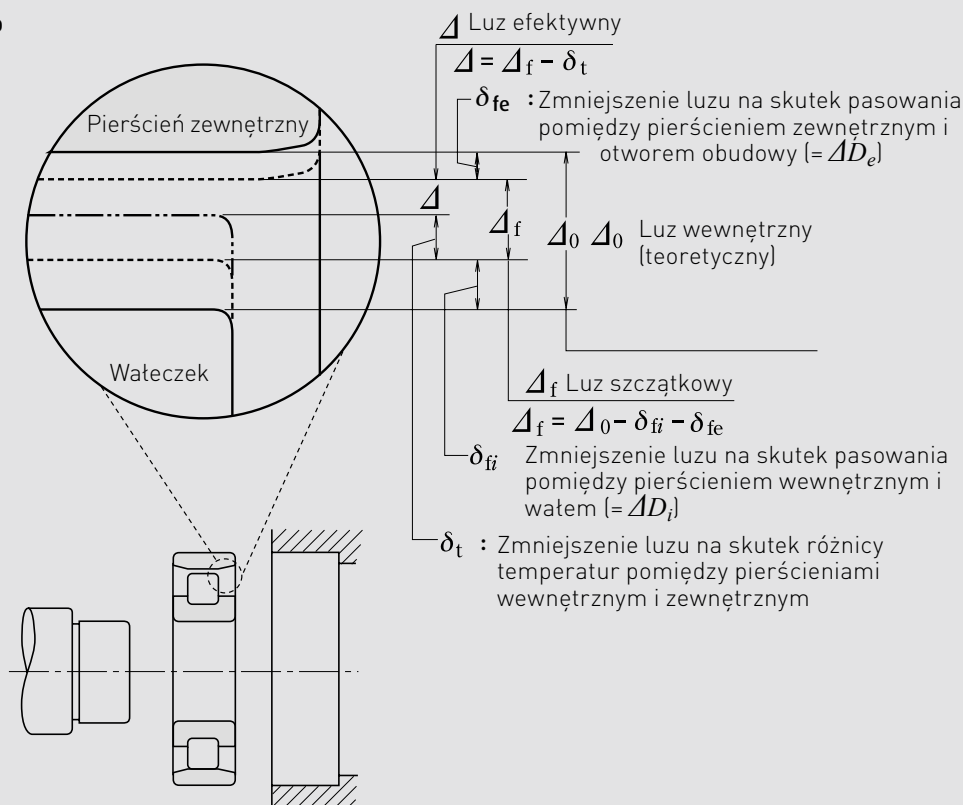
Kiedy pierścień wewnętrzny lub pierścień zewnętrzny są ciasno pasowane na wale lub w obudowie, zmniejszenie luzu wewnętrznego promieniowego powodowane jest przez ściskanie lub rozprężanie pierścieni tożyskowych. Zmniejszenie to zależy od typu łożyska oraz rozmiarów i konstrukcji wału i obudowy. Wielkość tego zmniejszenia wynosi w przybliżeniu 70 do 90% wcisku. Luz promieniowy po odjęciu tego zmniejszenia ( $\delta_{fe}$  i  $\delta_{fi}$ ) od teoretycznego luzu wewnętrznego ( $\Delta_0$ ), nazywany jest luzem szczątkowym ( $\Delta_f$ ).

### Zmniejszenie luzu wewnętrznego promieniowego spowodowane różnicą temperatury między pierścieniami wewnętrznym i zewnętrznym

Ciepło wytwarzane podczas pracy wskutek tarcia odprowadzane jest poprzez wał i obudowę. Ponieważ obudowy generalnie przewodzą ciepło lepiej niż wały, temperatura pierścienia wewnętrznego i elementów tocznych jest zwykle wyższa niż pierścienia zewnętrznego o 5 do 10 °C. Jeżeli wał jest ogrzewany lub obudowa jest chłodzona, różnica temperatur między pierścieniami wewnętrznym i zewnętrznym powoduje zmniejszanie się luzu promieniowego.

Luz, który uzyskamy po odjęciu zmniejszenia luzu  $\delta_t$  od luzu szczątkowego, ( $\Delta$ ) nazywany jest luzem efektywnym ( $\Delta$ ).

## Zmiany luzu promieniowego



**Wielkość tego zmniejszenia oblicza się przy pomocy następujących równań:**

$$\delta_t = \alpha \Delta_t D_e$$

$\delta_t$  : Zmniejszenie luzu promieniowego spowodowane różnicą temperatury między pierścieniami wewnętrznym i zewnętrznym (mm)

$\alpha$  : Współczynnik rozszerzalności liniowej stali żelaznej =  $12,5 \cdot 10^{-6}$  (1/°C)

$\Delta_t$  : Różnica temperatur między pierścieniami wewnętrznym i zewnętrznym (°C)

$D_e$  : Średnica bieżni pierścienia zewnętrznego (mm)

**Dla łożysk kulkowych**

$$D_e = 1/5(4D+d)$$

**Dla łożysk wałeczkowych**

$$D_e = 1/4(3D+d)$$

Należy wybierać łożyska z efektywnym luzem zerowym lub lekko dodatnim. W przypadku stosowania łożysk kulkowych skośnych jednorzędowych lub łożysk stożkowych w układzie podwójnym, luz efektywny powinien być minimalny (o ile nie jest wymagane obciążenie wstępne). W przypadku dwóch łożysk walcowych z obrzeżem z jednej strony zamontowanych naprzeciwko siebie, należy wybrać taki poziom luzu osiowego, który pozwoli na swobodne wydłużanie się wału.

#### Luz wewnętrzny dla określonych zastosowań

Warunki pracy	Przykłady	Luz wewnętrzny
Duże ugięcie wału	Pół-ptywające łożyska kół samochodów	C5 lub podobny
Para przechodząca przez wał wydrążony lub obracające się wały są ogrzewane	Suszarnie w maszynach do produkcji papieru Walce przenośników wałeczek	C3, C4 C3
Duże obciążenia udarowe oraz wibracje lub zarówno pierścień wewnętrzny jak i zewnętrzny są ciasno pasowane	Kolejowe silniki trakcyjne Przesiewacze wibracyjne Sprzęta hydrauliczne Przekładnie ciągników	C4 C3, C4 C4 C4
Zarówno pierścień wewnętrzny jak i zewnętrzny są luźno pasowane	Walce przewężające wałeczek	C2 lub podobny
Wymagany niski poziom szumu i drgań	Małe silniki o specjalnych wymaganiach	C1, C2, CM
Luz ustawiany po montażu celem zabezpieczenia wału przed ugięciem itp.	Wały główne obrabiarek	CC9, CC1

#### Obciążenie wstępne – specjalny rodzaj luzu ujemnego

Podczas pracy łożyska toczne zwykle zachowują pewien luz wewnętrzny. Jednak w niektórych przypadkach wymagane jest zapewnienie luzu ujemnego dla zwiększenia sztywności układu łożysk. Nazywane jest to „obciążeniem wstępnym”.

Obciążenie wstępne jest zwykle stosowane w łożyskach, w których luz może być ustawiany podczas montażu, w takich jak łożyska kulkowe skośne czy łożyska stożkowe. Zwykle montowane są dwa łożyska w układzie X lub O celem utworzenia zestawu podwójnego z obciążeniem wstępnym.

## Cel obciążenia wstępnego w typowych zastosowaniach

- › Wały główne obrabiarek, przyrządy precyzyjne  
Montaż łożysk w dokładnej pozycji zarówno osiowej jak i promieniowej oraz uzyskanie dokładności obrotu i zwiększenie sztywności wału.
- › Wały główne obrabiarek, wały kół zębatych przekładni samochodowych  
Zwiększenie sztywności łożysk i optymalizacja przekładni.
- › Małe silniki elektryczne  
Zmniejszenie szumu powstającego na skutek drań osiowych i rezonansu.
- › Zastosowanie łożysk kulkowych skośnych i kulkowych wzdłużnych przy wysokich prędkościach obrotowych lub przy wysokich przyspieszeniach  
Niedopuszczenie do przesunięcia między elementami tocznymi i bieżniami powodowanymi momentami żyroskopowymi
- › Łożyska kulkowe wzdłużne oraz łożyska baryłkowe wzdłużne wahliwe montowane na wałach poziomych  
Utrzymanie elementów tocznych we właściwej pozycji względem pierścieni łożyskowych.

## Rodzaje obciążenia wstępnego

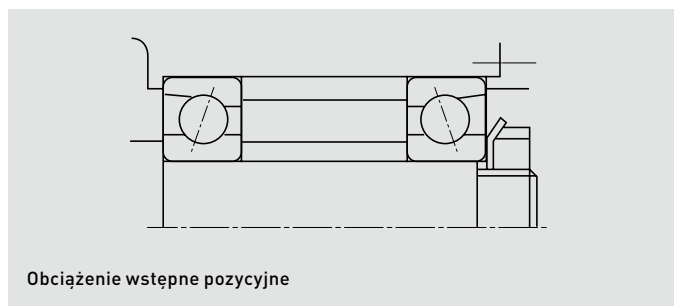
### 1a) Obciążenie wstępne pozycyjne

Obciążenie wstępne pozycyjne uzyskiwane jest przez ustawienie dwóch osiowo przeciwstawnych łożysk w pozycji wymuszającej obciążenie wstępne.

Po zamontowaniu, ich pozycje pozostają niezmiennymi podczas pracy.

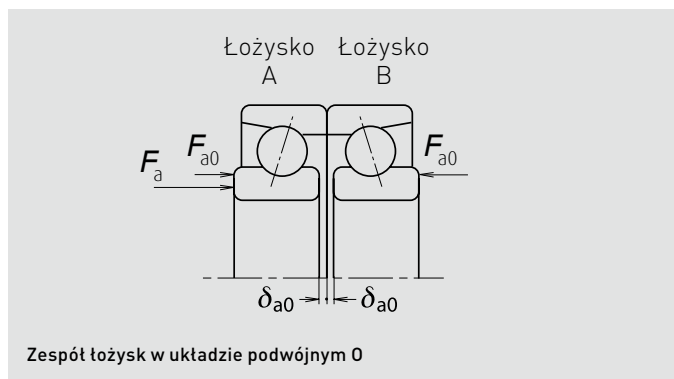
W praktyce stosowane są generalnie trzy metody uzyskiwania pozycyjnego obciążenia wstępnego.:

- › Zainstalowanie zestawu podwójnego łożysk z uprzednio ustawionymi ustalonymi wymiarami i luzem osiowym
- › Zastosowanie pierścienia ustalającego lub podkładki dystansowej właściwego rozmiaru dla uzyskania wymaganego odstępu i obciążenia wstępnego
- › Zastosowanie śrub lub nakrętek pozwalających na ustawianie osiowego obciążenia wstępnego. W tym przypadku moment startowy powinien być mierzony w celu sprawdzenia właściwego obciążenia wstępnego.

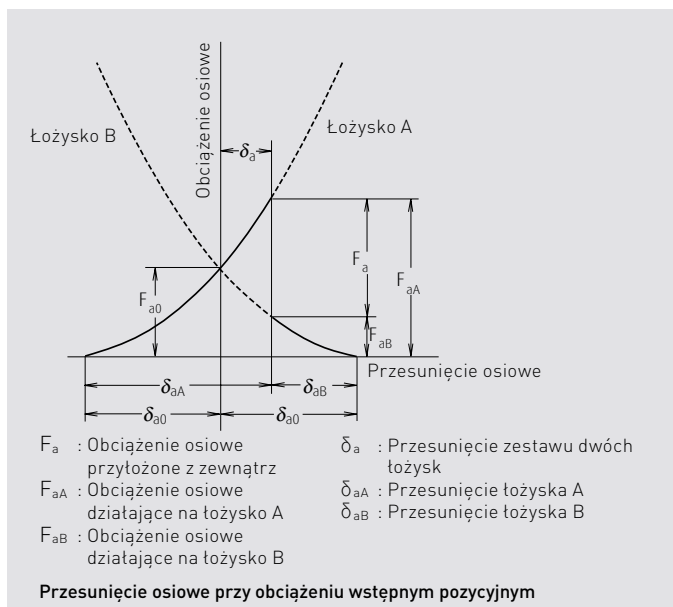


### 1b) Obciążenie wstępne pozycyjne i sztywność

Jeżeli pierścienie wewnętrzne łożysk A i B są ustalone osiowo, osiowy odstęp  $2\delta_{a0}$  jest wyeliminowany. Obciążenie wstępne  $F_{a0}$  jest wymuszone na każdym łożysku.

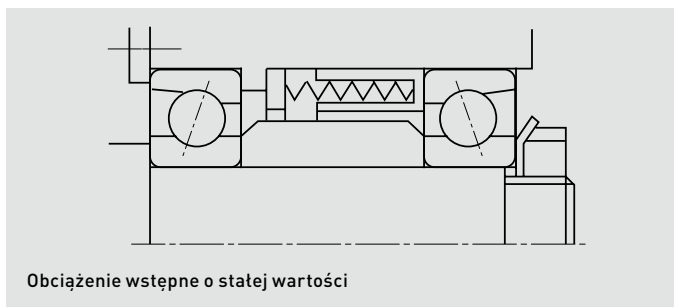


Sztywność łożyska – tj. zależność pomiędzy obciążeniem i przesunięciem osiowym – przy danym obciążeniu osiowym  $F_a$  wymuszonym na podwójnym zestawie.



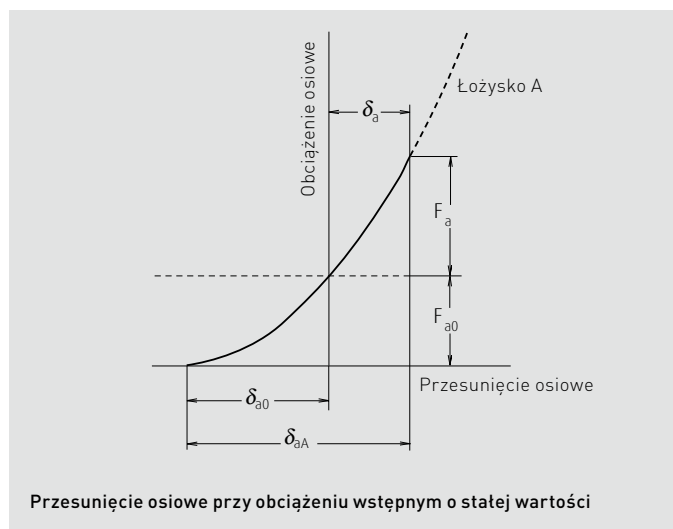
## 2a) Obciążenie wstępne o stałej wartości

Obciążenie wstępne o stałej wartości osiągane jest poprzez zastosowanie sprężyny zwojowej lub piórowej. Nawet jeżeli względna pozycja łożysk zmienia się podczas pracy, wielkość obciążenia wstępnego pozostaje relatywnie stała.



## 2b) Obciążenie wstępne o stałej wartości i sztywność

Wykres pokazuje obciążenie wstępne dla łożysk podwójnych pod obciążeniem wstępnym o stałej wartości. Krzywa ugięcia sprężyny jest prawie równoległa do osi poziomej ponieważ sztywność sprężyn jest mała w porównaniu ze sztywnością łożyska. W rezultacie sztywność zestawu przy obciążeniu wstępnym o stałej wartości jest w przybliżeniu równa sztywności pojedynczego łożyska z zastosowanym do niego obciążeniem wstępnym  $F_{a0}$ .



## Porównanie sztywności łożysk i metod obciążania wstępnego

### Obciążenie wstępne pozycyjne oraz o stałej wartości można porównać następująco:

- (1) W przypadku kiedy obydwa obciążenia wstępne są równe, obciążenie wstępne pozycyjne zapewnia większą sztywność łożyska. Innymi słowy, przesunięcie spowodowane zewnętrznymi obciążeniami jest mniejsze dla łożysk z obciążeniem wstępnym pozycyjnym.
- (2) Obciążenia wstępne o stałej wartości są bardziej odpowiednie dla zastosowań wymagających wysokich prędkości obrotowych, dla przeciwdziałania drganiom osiowym oraz przy stosowaniu łożysk wzdłużnych na poziomych wałach.
- (3) W przypadku obciążenia wstępnego pozycyjnego obciążenie wstępne zmienia się w zależności od następujących czynników:
  - › Różnica w osiowym rozszerzaniu się pod wpływem różnicy temperatury między wałem a obudową
  - › Różnica w rozszerzaniu się promieniowym spowodowanym różnicą temperatury między pierścieniami wewnętrznym i zewnętrznym
  - › Ugięcia spowodowane obciążeniem
- (4) W przypadku obciążenia wstępnego o stałej wartości zmiany są minimalne, ponieważ efekty rozszerzania i kurczenia się wału są pomijalne.

### Wielkość obciążenia wstępnego

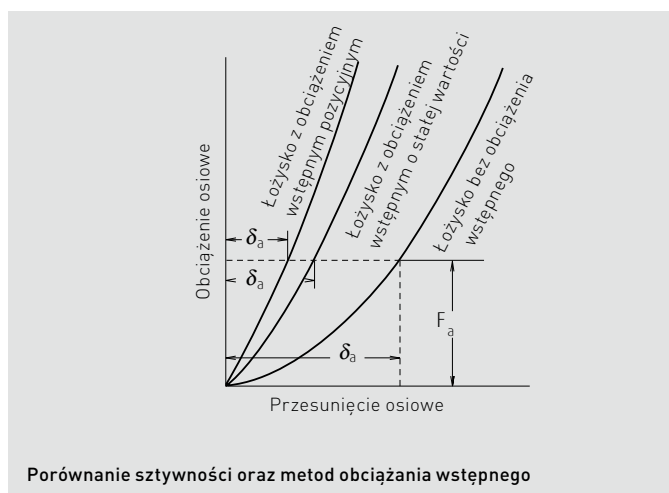
Jeżeli obciążenie wstępne jest większe niż konieczne, może się pojawić dodatkowe nadmierne ciepło, zwiększony moment tarcia i zmniejszona trwałość zmęczeniowa. Dlatego wielkość obciążenia wstępnego powinna być określana bardzo ostrożnie z uwzględnieniem warunków pracy oraz celu zastosowania obciążenia wstępnego. W skrajnych przypadkach trwałość łożyska może wynieść kilka godzin.

#### (1) Obciążenie wstępne łożysk kulkowych skośnych w układzie podwójnym

Jako ogólną zasadę przyjmuje się, że bardzo lekkie i lekkie obciążenia wstępne powinny być dobierane dla wrzecion szlifierskich i dla wałów głównych centrów obróbczych a średnie obciążenia wstępne powinny być dobierane dla wałów głównych obrabiarek wymagających sztywności. Jeżeli prędkości obrotowe prowadzą do wartości  $D_{pw} \cdot n$  (wartość dmn) wyższej niż 500 000, obciążenie wstępne musi być bardzo uważnie analizowane i dobierane.

#### (2) Obciążenie wstępne łożysk kulkowych wzdłużnych

Jeżeli kulki w łożysku kulkowym wzdłużnym obracają się z względnie wysoką prędkością obrotową mogą zacząć ślizgać się z powodu działania momentów żyroskopowych. Aby zapobiec ślizganiu się powinno być zastosowane co najmniej takie minimalne obciążenie osiowe, które wynika z wyższej z dwu wartości wyliczonych z równań.



$$F_{a \min} = \frac{C_{0a}}{100} \cdot \left( \frac{n}{N_{\max}} \right)^2$$

$$F_{a \min} = \frac{C_{0a}}{1000}$$

$F_{a \min}$  : Minimalne obciążenie osiowe [N], {kG}  
 $n$  : Prędkość obrotowa [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $C_{0a}$  : Nośność statyczna bazowa [N], {kG}  
 $N_{\max}$  : Graniczna prędkość obrotowa (smarowanie olejowe) [ $\text{min}^{-1}$ .]

#### (3) Obciążenie wstępne łożysk barytkowych wzdłużnych wahliwych

Przy stosowaniu łożysk barytkowych wzdłużnych wahliwych mogą wystąpić uszkodzenia takie, jak złuszczenia bieżni z powodu ślizgania się wateczków po bieżni pierścienia zewnętrznego. Minimalne obciążenie osiowe konieczne dla zabezpieczenia przed taką sytuacją ( $F_{a \min}$ ) można obliczyć korzystając z następującego równania:

$$F_{a \min} = \frac{C_{0a}}{1000}$$