

# Smarowanie

<b>Smarowanie smarem plastycznym .....</b>	<b>231</b>
<b>Smary plastyczne .....</b>	<b>231</b>
Lepkość oleju bazowego.....	231
Konsystencja smaru .....	232
Zakres temperatury – koncepcja świateł ulicznych SKF.....	232
Ochrona przed korozją, zachowanie smaru w obecności wody .....	234
Zdolność przenoszenia obciążeń: dodatki typu EP i AW .....	234
Mieszalność .....	236
<b>Smary SKF.....</b>	<b>236</b>
<b>Wymiana smaru.....</b>	<b>237</b>
Okresy wymiany smaru.....	237
Korekta okresu wymiany smaru ze względu na warunki pracy i rodzaj łożyska.....	240
Uwagi .....	242
<b>Sposoby wymiany smaru.....</b>	<b>242</b>
Dosmarowywanie.....	242
Całkowita wymiana zasobu smaru.....	244
Smarowanie ciągłe.....	245
<b>Smarowanie olejowe.....</b>	<b>248</b>
Sposoby smarowania olejowego .....	248
Oleje smarowe .....	251
Dobór oleju .....	252
Wymiana oleju.....	253

Warunkiem prawidłowej pracy łożysk tocznych jest ich odpowiednie smarowanie, które zapobiega bezpośredniemu metalicznemu kontaktowi elementów tocznych z łożyszniami i koszykiem. Środek smarowy zmniejsza także zużycie ściernie i chroni powierzchnie łożyska przed korozją. Wybór odpowiedniego środka smarowego i sposobu smarowania jest więc tak samo istotny dla każdego łożyskowania, jak jego właściwy dozór.

Do smarowania łożysk tocznych dostępny jest szeroki asortyment smarów plastycznych i olejów, a ponadto stosowane są także smary stałe, przeznaczone do specjalnych zastosowań, jak np. do pracy w ekstremalnych temperaturach. Wybór środka smarowego zależy przede wszystkim od warunków pracy, to znaczy od zakresu temperatury i prędkości obrotowych, a także od warunków otoczenia.

Najkorzystniejsze warunki termiczne występują w łożysku wówczas, gdy zasób smaru jest możliwie mały, ale wystarczający do niezawodnego smarowania łożyska. Jeżeli jednak środek smarowy ma do spełnienia dodatkowe zadania, jak uszczelnienie lub odprowadzenie ciepła, to może być potrzebna większa ilość smaru.

Środek smarowy w łożysku w miarę upływu czasu – w wyniku obciążeń mechanicznych, procesu starzenia i gromadzenia się zanieczyszczeń – traci swoje właściwości smarowe. Dlatego więc, przy smarowaniu smarem plastycznym należy okresowo uzupełniać lub wymieniać zasób smaru, a przy smarowaniu olejowym filtrować na bieżąco olej lub wymieniać go w określonych odstępach czasu.

Informacje i zalecenia podane w niniejszym rozdziale dotyczą łożysk nieuszczelnionych. Łożyska i zespoły łożyskowe SKF z uszczelnieniami lub blaszkami ochronnymi z obu stron są już w momencie dostarczenia wypełnione smarem. Informacje dotyczące smarów plastycznych stosowanych standardowo przez SKF do wypełniania tego typu łożysk – wraz z ich krótkim opisem i podstawowymi parametrami – można znaleźć w tekście poprzedzającym odpowiednie rozdziały tabelarycznej części katalogu.

Trwałość eksploatacyjna smaru w łożyskach uszczelnionych przekracza z reguły oczekiwaną trwałość łożyska tak, że wymiana smaru nie jest konieczna i – wyjątkując wyjątkowe przypadki – również nie jest przewidywana.

### Uwaga

W praktyce mogą występować różnice właściwości smarowniczych z pozoru identycznych środków smarowych – zwłaszcza smarów plastycznych – produkowanych przez różnych producentów lub przez różne zakłady. SKF nie może więc odpowiadać za środek smarowy i jego zachowanie się w czasie eksploatacji. Zaleca się więc użytkownikowi łożysk (producentowi maszyn) szczegółowo określić właściwości optymalnego środka smarowego dobranego do danego zastosowania.

## Smarowanie smarem plastycznym

W większości przypadków zastosowań i w normalnych warunkach pracy, łożyska toczne mogą być smarowane smarem plastycznym.

Smar plastyczny ma w stosunku do oleju tę zaletę, że może być łatwiej utrzymany w łożyskowaniu, zwłaszcza przy skośnym lub pionowym układzie wałów. Ponadto, smar poprawia uszczelnienie łożyskowania przed przenikaniem zanieczyszczeń i wilgoci lub wody.

Zbyt duża ilość smaru powoduje szybki wzrost temperatury roboczej łożyska, zwłaszcza przy wysokich prędkościach obrotowych. Jako ogólną zasadę można przyjąć, że podczas rozruchu łożysko powinno być całkowicie wypełnione smarem, a wolną przestrzeń w oprawie należy tylko częściowo wypełnić smarem. Przed rozpoczęciem pracy z maksymalną prędkością należy odczekać aż nadmiar smaru w łożysku ułoży się w oprawie lub wypłynie. Pod koniec procesu „docierania się” smaru, temperatura robocza łożyska zwykle spada, co świadczy o prawidłowym ułożeniu się smaru w łożyskowaniu.

Jeżeli jednak łożyska mają pracować z małą prędkością obrotową i wymagana jest dobra ochrona przed zanieczyszczeniami i korozją, to zaleca się wypełnić smarem całą wolną przestrzeń w oprawie.

## Smary plastyczne

Smary plastyczne są zagęszczonymi olejami mineralnymi lub syntetycznymi, przy czym rolę zagęszczaczy pełnią zwykle mydła metaliczne. Czasami stosowane są inne zagęszczacze, jak np. polimocznik, który sprawdza się m.in. w warunkach wysokich temperatur. W celu polepszenia określonych właściwości smaru plastyczny może ponadto zawierać pewne dodatki smarowe. Konsystencja smaru zależy w dużym stopniu od rodzaju i udziału zagęszczacza oraz od temperatury roboczej danego zastosowania. Najważniejszymi czynnikami, które należy brać pod uwagę przy doborze smaru są: konsystencja, zakres temperatury roboczej, lepkość oleju bazowego, właściwości antykorozyjne oraz zdolność przenoszenia obciążeń (obciążalność). Szczegółowe informacje nt. powyższych właściwości zostały zawarte w dalszej części rozdziału.

### Lepkość oleju bazowego

Znaczenie lepkości oleju dla kształtowania filmu smaru oddziałującego współpracującą powierzchnie łożyska, a przez to i dla trwałości łożyska, zostało już omówione w rozdziale „Warunki smarowania – stosunek lepkości  $\kappa$ ” na **stronie 59**; podane tam informacje odnoszą się także do lepkości oleju bazowego smarów plastycznych.

Lepkość oleju bazowego smarów plastycznych najczęściej stosowanych w łożyskach tocznych mieści się w granicach od 15 do 500 mm<sup>2</sup>/s w temp. 40 °C. Smary o lepkości oleju bazowego większej niż 1 000 mm<sup>2</sup>/s w temp. 40 °C wydzielają olej na tyle wolno, że łożysko nie jest dostatecznie smarowane. Z tego powodu, jeżeli z obliczeń wynika, że ze względu na niską prędkość obrotową lepkość wymagana znacznie przekracza 1 000 mm<sup>2</sup>/s w temp. 40 °C korzystniej jest wybrać smar o lepkości oleju bazowego nie większej niż 1 000 mm<sup>2</sup>/s i dobrych właściwościach jeśli chodzi o wydzielanie oleju lub zastąpić smarowanie olejowe.

## Smarowanie

Lepkość oleju bazowego decyduje też o tym, jaka jest zalecana maksymalna prędkość w przypadku smarowania łożysk tocznych danym smarem. Dopuszczalna prędkość obrotowa zależy także od wytrzymałości smaru na ścinanie, która jest z kolei uzależniona od zagęszczacza. Producenci smarów często oznaczają maksymalną prędkość pracy dla smaru posługując się tzw. „współczynnikiem prędkości”

$$A = n \cdot d_m$$

gdzie

A = współczynnik prędkości, mm/min

n = prędkość obrotowa, obr/min

$d_m$  = średnia średnica łożyska  
= 0,5 (d + D), mm

W przypadku łożyskowań szybkobieżnych, czyli np. łożysk kulkowych, dla których  $A > 700\ 000$  najlepsze są smary na bazie olejów o niskiej lepkości.

### Konsystencja smaru

Smary plastyczne zostały podzielone na różne klasy konsystencji zgodnie ze skalą opracowaną przez National Lubricating Grease Institute (NLGI). Konsystencja smaru w całym zakresie jego temperatury pracy nie powinna się zbytnio zmieniać w zależności od temperatury lub powtarzających się cykli obciążenia. Smary, które rozrzedzają się w podwyższonej temperaturze mogą wyciekać z węzła łożyskowego. Smary gęstniejące w niskiej temperaturze mogą z kolei znacznie zwiększać opory ruchu lub wydzielać zbyt mało oleju.

Do łożysk tocznych stosowane są głównie smary plastyczne o klasach konsystencji 1, 2 i 3 z zagęszczaczami w postaci mydeł metalicznych. Najbardziej popularne smary mają klasę konsystencji 2. Smary o niższej klasie konsystencji są zalecane dla zastosowań pracujących w niskiej temperaturze lub gdy istotna jest lepsza pompowność. Smary o klasie konsystencji 3 są natomiast zalecane do łożyskowań o pionowym wale, przy czym dodatkowo pod łożyskiem należy zainstalować przegrodę uniemożliwiającą wyciek smaru z łożyska.

W łożyskowaniach narażonych na silne drgania warunki pracy dla smaru są bardzo ciężkie, ponieważ jest on pod wpływem wibracji nieprzerwanie doprowadzany do łożyska, a przez to nie-

ustannie wałkowany. W takim przypadku sama wyższa klasa konsystencji nie stanowi gwarancji wystarczającego smarowania i lepiej zastosować smar o podwyższonej stabilności mechanicznej, który jest bardziej odporny na wałkowanie.

Smary plastyczne z zagęszczaczem polimocznikowym mogą zmieniać swoją konsystencję zależnie od występujących naprężeń ścinających, tj. są gęściejsze przy niższych prędkościach. W łożyskowaniach o pionowym wale istnieje jednak niebezpieczeństwo, że smar polimocznikowy wycieknie z oprawy, jeśli tylko przy odpowiedniej prędkości obrotowej osiągnie stan półpłynny.

### Zakres temperatury – koncepcja świateł ulicznych SKF

Zakres temperatury pracy smaru plastycznego zależy głównie od rodzaju oleju bazowego, zagęszczacza oraz dodatków. Poszczególne temperatury opisujące zakres pracy smaru zostały przedstawione w sposób schematyczny na **wykreście 1** w formie tzw. „podwójnych świateł ulicznych”.

Temperatury graniczne, tj. dolna temperatura graniczna i górna temperatura graniczna zostały jasno określone.

- Dolna temperatura graniczna (LTL) to najniższa temperatura, przy której smar umożliwia jeszcze łatwy rozruch łożyska. Zależy ona głównie od rodzaju oleju bazowego i jego lepkości.
- Górna temperatura graniczna (HTL) to temperatura kroplenia, która zależy głównie od zagęszczacza. Temperaturą kroplenia nazywamy temperaturę, w której smar traci swoją konsystencję i staje się płynny.

Łatwo wywnioskować, że nie jest zalecana praca w temperaturze poniżej dolnej temperatury granicznej lub powyżej górnej temperatury granicznej. Na **wykreście 1** obszar ten zaznaczono na czerwono. Pomimo tego, że producenci smarów w informacjach technicznych nt. swoich wyrobów zwykle określają dolną i górną temperaturę graniczną, naprawdę istotne z punktu widzenia niezawodnej pracy łożysk są następujące temperatury podawane przez SKF

- dolna temperatura zalecana (LTPL) oraz
- górna temperatura zalecana (HTPL).

To właśnie te temperatury wyznaczają granice zielonej strefy przedstawionej na **wykresie 1**, w której smar należycie spełnia swoją funkcję i jego trwałość można dość dokładnie wyznaczyć. Ze względu na brak istnienia normy określającej sposób wyznaczania górnej temperatury zalecanej należy z dużą ostrożnością interpretować dane techniczne podawane przez producentów smarów.

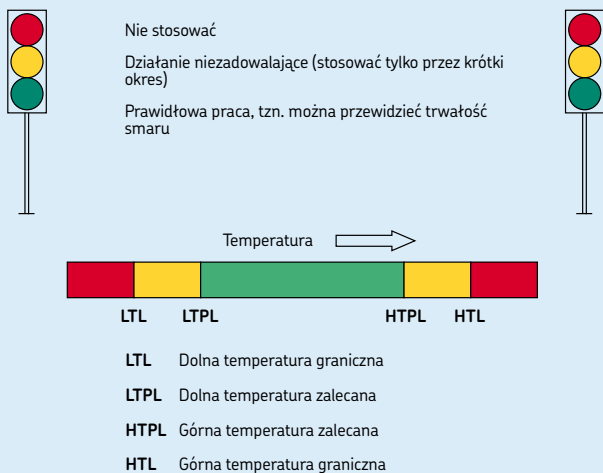
W temperaturze wyższej od górnej temperatury zalecanej (HTPL) smar starzeje i utlenia się znacznie szybciej, a produkty powstające w procesie utleniania mają negatywny wpływ na smarowanie. Z tego względu praca smaru w strefie żółtej, ograniczonej przez górną temperaturę zalecaną i górną temperaturę graniczną (HTL), jest możliwa tylko przez krótki czas.

Strefa żółta istnieje także po stronie niskich temperatur. Wraz ze spadkiem temperatury zmniejsza się zdolność smaru do wydzielania oleju i smar staje się sztywniejszy (rośnie klasa konsystencji). W rezultacie dopływ smaru do strefy kontaktu elementów tocznych i bieżni jest niewystarczający. Na **wykresie 1**, ta graniczna temperatura jest określona jako dolna temperatura zalecana (LTPL). Jej wartości są różne dla łożysk wałeczkowych i kulkowych. Ponieważ łożyska kulkowe łatwiej smarować niż łożyska wałeczkowe, znaczenie dolnej temperatury zale-

canej jest mniejsze dla łożysk kulkowych. W przypadku łożysk wałeczkowych długotrwała praca w temperaturze niższej niż zalecana prowadzi do poważnego uszkodzenia łożyska. Krótkotrwała praca w strefie żółtej podczas rozruchu na zimno nie jest szkodliwa, gdyż ciepło wytwarzane w łożysku na skutek tarcia na tyle szybko podniesie temperaturę, że znajdzie się ona w strefie zielonej.

Wykres 1

### Koncepcja świateł ulicznych SKF



**Uwaga**

Koncepcja świateł ulicznych SKF znajduje zastosowanie dla każdego smaru plastycznego. Różnią się tylko wartości poszczególnych temperatur granicznych. Można je określić jedynie na podstawie praktycznych testów łożysk i zostały one przedstawione na

- **wykresie 2** w przypadku smarów najczęściej stosowanych do smarowania łożysk tocznych
- **wykresie 3** w odniesieniu do smarów SKF.

Zakresy temperatur podane na powyższych wykresach zostały wyznaczone na podstawie specjalistycznych badań przeprowadzonych w laboratoriach SKF i mogą odbiegać od wartości podawanych przez poszczególnych producentów smarów. Wartości podane na **wykresie 2** dotyczą powszechnie dostępnych na rynku smarów o klasie konsystencji NLGI 2 bez dodatków typu EP. Temperatury podane na wykresach odnoszą się do temperatury spowodowanej pracą łożyska (zwykle mierzonej na powierzchni pierścienia nieruchomego). Ze względu na to, że dane dotyczące każdego rodzaju smaru są średnią wielu smarów o zbliżonym składzie należy podane wartości traktować orientacyjnie, pamiętając jednak, że ich rozrzut w obrębie różnych smarów danego rodzaju jest niewielki.

**Ochrona przed korozją, zachowanie smaru w obecności wody**

Zadaniem smaru jest między innymi ochrona łożyska przed korozją i powinien on być odporny na wypłukanie w przypadku przedostania się wody do łożyskowania. Odporność na działanie wody zależy wyłącznie od rodzaju zagęszczacza. Smary zawierające kompleks litu, kompleks wapnia lub polimocznik zwykle charakteryzują się dobrą odpornością na wodę. Właściwości antykorozyjne smaru zależą natomiast głównie od zastosowanego dodatku inhibitora korozji.

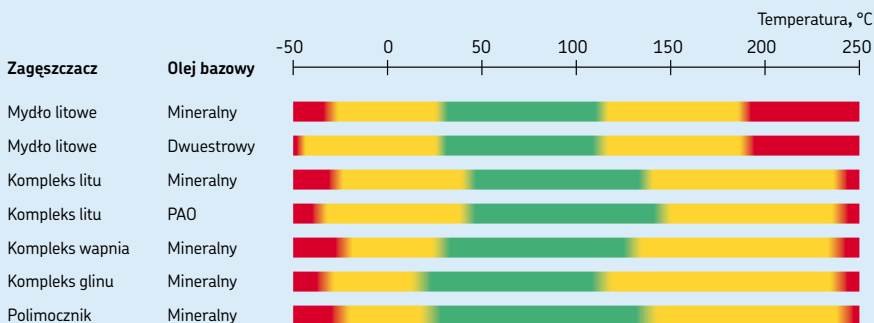
W przypadku bardzo małych prędkości obrotowych dobrym sposobem zabezpieczenia łożyska przed korozją i działaniem wody jest wypełnienie smarem całej wolnej przestrzeni łożyska.

**Zdolność przenoszenia obciążeń: dodatki typu EP i AW**

Trwałość łożyska ulega znacznemu skróceniu jeżeli grubość filmu smarowego jest zbyt mała, aby zapobiec bezpośredniemu kontaktowi mikronierówności występujących na powierzchniach styku współpracujących elementów. Jednym ze sposobów przeciwdziałania temu zjawisku jest stosowanie dodatków typu EP (Extreme Pressure). Dodatki te uaktywniają się w wysokiej temperaturze występującej w strefie bezpośredniego kontaktu nierówności i zmniejszają zużycie ściernie współpracujących powierzchni. W wyniku ich działania powierzchnia staje się bardziej gładka, mniejsze są naprężenia w strefie styku i wzrasta trwałość eksploatacyjna łożyska.

Wykres 2

Koncepcja świateł ulicznych SKF – smary standardowe



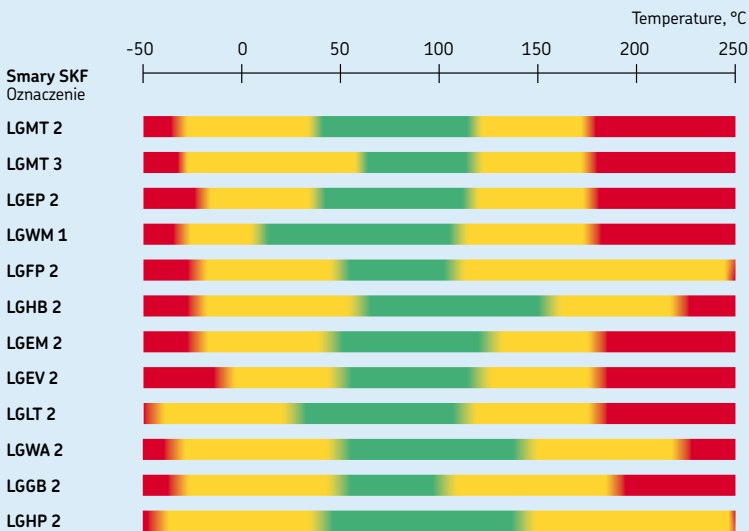
Wiele nowoczesnych dodatków typu EP zawiera związki siarki lub fosforu. Pierwiastki te mają niestety negatywny wpływ na wytrzymałość struktury krystalicznej stali łożyskowej. W przypadku zastosowania dodatków typu EP ich działanie chemiczne może wykroczyć poza strefę mikronierówności. Jeżeli temperatura robocza i naprężenia w strefie kontaktu są zbyt duże, to dodatki mogą zacząć wykazywać aktywność chemiczną nawet wówczas, gdy nie ma bezpośredniego kontaktu mikronierówności. Sprzyja to rozwojowi mechanizmu korozji dyfuzyjnej i może prowadzić do przyspieszonego uszkodzenia łożyska, którego pierwszymi objawami będą mikroskopijne wżery. Z tego względu SKF zaleca stosowanie mniej aktywnych dodatków typu EP w temperaturze powyżej 80 °C. Środki smarowe zawierające dodatki EP nie powinny być stosowane w temperaturach roboczych przekraczających 100 °C. W przypadku bardzo niskich prędkości często stosowane są dodatki smarowe w postaci stałej, jak np. dwusiarczek molibdenu (MoS<sub>2</sub>), które zwiększają efekt działania dodatków typu EP. Tego

typu dodatki muszą charakteryzować się wysoką czystością i małą wielkością cząstek, żeby nie powodowały powstawania zagłębień na powierzchni elementów toczonej i bieżni, które mogłyby zmniejszyć trwałość zmęczeniową łożyska.

Dodatki typu AW (Anti-Wear) zmniejszające zużycie ściernie spełniają podobną funkcję jak dodatki typu EP, tzn. zapobiegają bezpośredniemu kontaktowi metal-metal. Z tego względu dodatki typu EP i AW często nie są rozróżniane choć działają w nieco inny sposób. Główna różnica polega na tym, że dodatki typu AW tworzą na powierzchni metalu warstwę ochronną. Podczas zderzania się mikronierówności występujących na współpracujących powierzchniach ściera się wówczas warstwa ochronna. Stosowanie dodatków typu AW nie zmniejsza chropowatości powierzchni, jak to ma miejsce w przypadku dodatków EP. Należy jednak zachować szczególną ostrożność, gdyż dodatki AW mogą zawierać pierwiastki, które wnikając w strukturę stali łożyskowej osłabiają ją, podobnie jak w przypadku dodatków EP.

Wykres 3

Koncepcja światła ulicznych SKF – smary SKF



Dla temperatur roboczych powyżej 150 °C zalecamy stosować smar SKF LGEP 2



Niektóre zagęszczacze (np. kompleks sulfo-nianu wapniowego) działają podobnie do dodatków EP/AW, nie wykazując przy tym aktywności chemicznej i nie wpływają negatywnie na trwałość zmęczeniową łożyska. Podane wcześniej temperatury graniczne dla dodatków EP nie dotyczą tego typu smarów.

Jeżeli tylko grubość filmu smarowego jest wystarczająco duża, SKF zwykle nie zaleca stosowania dodatków typu EP i AW. W niektórych sytuacjach dodatki EP/AW mogą jednak być użyteczne. Ich działanie jest korzystne jeśli dochodzi do nadmiernych poślizgów elementów tocznych względem bieżni. W celu uzyskania bardziej szczegółowych informacji prosimy kontaktować się z działem doradztwa technicznego SKF.

### Mieszalność

W przypadku konieczności zmiany stosowanego smaru na inny istotnym czynnikiem jest mieszalność, czyli możliwość zmieszania dwóch różnych smarów bez wystąpienia negatywnych skutków ubocznych. Jeżeli zostaną zmieszane smary, które są ze sobą niekompatybilne, może dojść do poważnej zmiany konsystencji smaru i uszkodzenia łożyska spowodowanego wypłynięciem smaru.

Smary wykonane na podobnej bazie olejowej i z identycznymi zagęszczaczami zazwyczaj mogą być mieszane bez żadnych negatywnych skutków, np. smar na bazie oleju mineralnego z zagęszczaczem litowym może być mieszany z innym smarem na bazie oleju mineralnego z zagęszczaczem litowym. Niektóre smary zawierające różne zagęszczacze, np. kompleks wapnia i kompleks litu są także mieszalne ze sobą.

W łożyskowaniach, w których niska konsystencja smaru mogłaby spowodować wypłynięcie smaru z węzła łożyskowego, należy przy kolejnej operacji wymiany smaru całkowicie wypchnąć stary smar z węzła łożyskowego i kanałów doprowadzających smar, a nie tylko dosmarować łożysko niewielką ilością smaru (→ rozdział „Wymiana smaru”, początek na **stronie 237**).

Preparat ochronny, którym zabezpieczane są łożyska SKF jest kompatybilny z większością smarów do łożysk tocznych. Nielicznymi wyjątkami są smary polimocznikowe (→ rozdział „Przygotowania do montażu i demontażu” na **stronie 258**). Nowoczesne smary polimocznikowe (np. smar SKF LGHP 2) charakteryzują się lepszą kompatybilnością z preparatami

ochronnymi niż niektóre smary polimocznikowe starej generacji. Należy pamiętać, że smary na bazie syntetycznego oleju fluorowego z zagęszczaczem PTFE, np. smar SKF LGET 2, są niekompatybilne z najczęściej stosowanymi preparatami ochronnymi. Preparaty te należy więc usunąć przed nałożeniem smaru. Bardziej szczegółowych informacji może udzielić dział doradztwa technicznego SKF.

## Smary SKF

Asortyment smarów plastycznych SKF do łożysk obejmuje różne rodzaje smarów i umożliwia dobór odpowiedniego smaru prawie dla każdego łożyskowania. Smary plastyczne SKF zostały opracowane z wykorzystaniem najnowszej wiedzy nt. smarowania łożysk tocznych i dokładnie sprawdzone podczas wnikliwych testów w laboratoriach i warunkach rzeczywistych. Jakość tych smarów jest stale monitorowana przez SKF.

Najważniejsze dane techniczne smarów SKF zostały podane w **tablicy 2** na **stronach 246 i 247**, wraz z informacjami ułatwiającymi szybki wybór właściwego smaru. Zakresy temperatur pracy dla smarów SKF przedstawiono schematycznie na **wykresie 3**, **strona 235**, zgodnie z koncepcją światła ulicznych SKF.

Więcej informacji nt. smarów plastycznych można znaleźć w katalogu „Narzędzia do obsługi łożysk i smary SKF” lub w internecie na stronie [www.mapro.skf.com](http://www.mapro.skf.com).

W celu bardziej precyzyjnego doboru smaru dla danego rodzaju łożyska i konkretnego zastosowania można skorzystać z dostępnego w internecie, opracowanego przez SKF programu „LubeSelect”. Można go znaleźć na stronie [www.aptitudexchange.com](http://www.aptitudexchange.com).

## Wymiana smaru

Smar w łożyskach tocznych musi być wymieniany jeśli jego trwałość eksploatacyjna jest krótsza niż oparta na doświadczeniu oczekiwana trwałość łożyska. Wymiana powinna być zawsze przeprowadzana w czasie, gdy smarowanie łożyska smarem zawartym w nim jest jeszcze w pełni zado-walające.

Okresy wymiany smaru zależą od wielu wza-jemnie powiązanych czynników, takich jak: ro-dzaj i wielkość łożyska, prędkość obrotowa, temperatura pracy, rodzaj smaru, wolna prze-strzeń w łożysku i węzle łożyskowym oraz warun-ki otoczenia. Ocena czasu, po którym środek smarowy należy wymienić (okres wymiany) jest możliwa tylko na podstawie praw statystyki matematycznej. Okres wymiany smaru wg SKF jest zdefiniowany jako czas, po upływie którego 99 % łożysk jest jeszcze niezawodnie smarowa-nych. Czas ten odpowiada więc trwałości użyt-kowej smaru  $L_1$ .

SKF zaleca korzystać z doświadczeń zebra-nych w rzeczywistych warunkach i na podstawie testów, a także posługiwać się opisanymi niżej metodami pozwalającymi wyznaczyć okresy wymiany smaru.

### Okresy wymiany smaru

Okres pracy smaru do wymiany  $t_f$  dla łożysko-wań z poziomym wałem, pracujących w nor-malnych i czystych warunkach można wyzna-czyć na podstawie **wykresu 4** w zależności od

- iloczynowi współczynnika prędkości  $A$  i odpo-wiedniego współczynnika łożyskowego  $b_f$  gdzie
$$A = n d_m$$
$$n = \text{prędkość obrotowa obr/min}$$
$$d_m = \text{średnia średnica łożyska}$$
$$= 0,5 (d + D), \text{ mm}$$
$$b_f = \text{współczynnik łożyskowy zależny od}$$
$$\text{rodzaju łożyska i warunków obciążenia}$$
$$(\rightarrow \text{tablica 1, strona 239})$$
- stosunku obciążenia  $C/P$

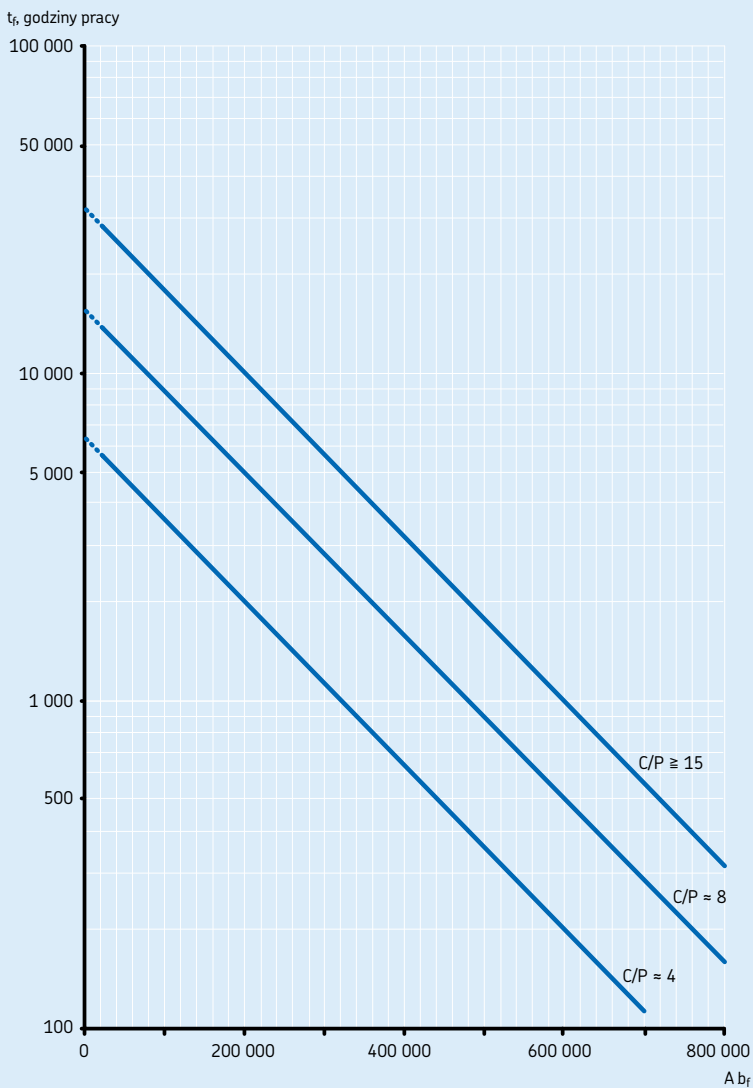
Tak wyznaczona wartość okresu wymiany smaru  $t_f$  ma charakter przybliżony i obowiązuje dla temperatury roboczej 70 °C przy założeniu, że stosowany jest dobrej jakości smar na bazie oleju mineralnego z zagęszczaczem litowym. W przypadku innych warunków pracy należy

dokonać korekty wartości czasu pracy smaru do wymiany, wyznaczonego na podstawie **wykresu 4**, zgodnie z zaleceniami podanymi w podrozdziale „Korekta okresu wymiany smaru ze względu na warunki pracy i rodzaj łożyska”, początek na **stronie 240**.

Jeżeli współczynnik prędkości  $A$  przekracza 70 % zalecanej wartości podanej w **tablicy 1**, lub temperatura otoczenia jest wysoka, to zaleca się przeprowadzenie obliczeń zgodnie z algoryt-mem opisanym w rozdziale „Prędkości i drga-nia”, zaczynającym się na **stronie 107**, w celu sprawdzenia temperatury roboczej i dobrania odpowiedniego sposobu smarowania.

Stosując nowoczesne smary o podwyższo-nych parametrach możliwe jest uzyskanie więk-szej trwałości smaru i wydłużenie okresu pracy smaru do wymiany. Więcej informacji można uzyskać kontaktując się z działem doradztwa technicznego SKF.

Okres pracy smaru do wymiany dla temperatury roboczej 70 °C



## Współczynniki łożyskowe oraz zalecane wartości graniczne dla współczynnika prędkości A

Rodzaj łożyska <sup>1)</sup>	Współcz.	Zalecane wartości graniczne dla współczynnika prędkości A w zależności od		
	$b_f$	stosunku $C/P \geq 15$	obciążenia $C/P \approx 8$	$C/P \approx 4$
–	–	mm/min		
<b>Łożyska kulkowe zwykłe</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Łożyska kulkowe skośne</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Łożyska kulkowe wahlwe</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Łożyska walcowe</b>				
– łożysko swobodne	1,5	450 000	300 000	150 000
– łożysko ustalające, bez zewnętrznych obciążeń osiowych lub z lekkimi, ale zmiennymi obciążeniami osiowym	2	300 000	200 000	100 000
– łożysko ustalające, ze stałym, lekkim obciążeniem osiowym	4	200 000	120 000	60 000
– z pełną liczbą elementów tocznych <sup>2)</sup>	4	NA <sup>3)</sup>	NA <sup>3)</sup>	20 000
<b>Łożyska stożkowe</b>	2	350 000	300 000	200 000
<b>Łożyska baryłkowe</b>				
– gdy stosunek obciążeń $F_a/F_r < e$ i $d_m \leq 800$ mm				
dla serii 213, 222, 238, 239	2	350 000	200 000	100 000
dla serii 223, 230, 231, 232, 240, 248, 249	2	250 000	150 000	80 000
dla serii 241	2	150 000	80 000 <sup>4)</sup>	50 000 <sup>4)</sup>
– gdy stosunek obciążeń $F_a/F_r < e$ i $d_m > 800$ mm				
dla serii 238, 239	2	230 000	130 000	65 000
dla serii 230, 231, 232, 240, 248, 249	2	170 000	100 000	50 000
dla serii 241	2	100 000	50 000 <sup>4)</sup>	30 000 <sup>4)</sup>
– gdy stosunek obciążeń $F_a/F_r > e$				
dla wszystkich serii	6	150 000	50 000 <sup>4)</sup>	30 000 <sup>4)</sup>
<b>Łożyska toroidalne CARB</b>				
– z koszykiem	2	350 000	200 000	100 000
– bez koszyka, z pełną liczbą elementów tocznych <sup>2)</sup>	4	NA <sup>3)</sup>	NA <sup>3)</sup>	20 000
<b>Łożyska kulkowe wzdłużne</b>	2	200 000	150 000	100 000
<b>Łożyska walcowe wzdłużne</b>	10	100 000	60 000	30 000
<b>Łożyska baryłkowe wzdłużne</b>				
– z wirującym pierścieniem wewnętrznym	4	200 000	120 000	60 000

<sup>1)</sup> Współczynniki łożyskowe oraz zalecane wartości współczynnika prędkości A dotyczą łożysk w wykonaniu podstawowym, ze standardowym koszykiem. W przypadku innych konstrukcji łożyska lub specjalnych wariantów wykonania koszyka proszę kontaktować się z działem doradztwa technicznego SKF

<sup>2)</sup> Wartość  $t_f$  uzyskaną na podstawie **wykreśu 4** należy podzielić przez 10

<sup>3)</sup> Nie ma zastosowania, dla tych wartości  $C/P$  zalecane są łożyska z koszykiem

<sup>4)</sup> Dla wyższych prędkości zalecane jest smarowanie olejowe

### Korekta okresu wymiany smaru ze względu na warunki pracy i rodzaj łożyska

#### Temperatura robocza

Chcąc uwzględnić szybsze starzenie się smaru wraz ze wzrostem temperatury, zalecane jest skrócenie o połowę okresu pracy smaru do wymiany, odczytanego z **wykresu 4** na każde 15 °C wzrostu temperatury roboczej powyżej 70 °C, pamiętając jednocześnie o tym, żeby nie przekraczać górnej temperatury zalecanej dla danego smaru (→ **wykres 1**, HTPL, na **stronie 233**).

Dla temperatur niższych niż 70 °C można wydłużyć okres pracy smaru do wymiany  $t_f$  jeżeli tylko temperatura robocza nie jest bliska dolnej temperatury zalecanej (→ **wykres 1**, LTPL, na **stronie 233**). Nie jest jednak zalecane wydłużenie tą metodą okresu pracy smaru do wymiany  $t_f$  o więcej niż dwa razy. W przypadku łożysk z pełną liczbą elementów tocznych oraz łożysk wzdłużnych, wartości  $t_f$  odczytane z **wykresu 4** nie powinny być wydłużane.

Ponadto, nie jest zalecane stosowanie okresów wymiany smaru przekraczających 30 000 godzin.

W przypadku wielu zastosowań istnieje inna praktyczna granica stosowania smarowania smarem plastycznym, gdy temperatura robocza cieplejszego pierścienia łożyska przekracza 100 °C. W wyższych temperaturach należy stosować specjalne smary. Ponadto, należy pamiętać o stabilizacji wymiarowej łożyska i możliwości przedwczesnego uszkodzenia uszczelnienia.

W sprawie łożysk pracujących w wysokich temperaturach prosimy kontaktować się z działem doradztwa technicznego SKF.

#### Pionowy wał

Dla łożysk pracujących na wałach ustawionych pionowo, wartości okresu pracy smaru do wymiany odczytane z **wykresu 4** powinny być zmniejszone o połowę. Należy też pamiętać o zastosowaniu dobrego uszczelnienia lub tarczy utrzymującej smar, aby zapobiec wyciekaniu smaru z łożyskowania.

#### Drgania

Umiarkowane drgania nie mają negatywnego wpływu na trwałość smaru, ale silne drgania i obciążenia udarowe, takie jak występują np. w przesiewaczach wibracyjnych, wywołują zjawisko ugniatania smaru. W takich przypadkach okres wymiany smaru powinien być skrócony.

Jeżeli smar staje się zbyt miękki, to należy zastosować smar o lepszej stabilności mechanicznej, np. smar SKF LGHB 2 lub smar o wyższej klasie konsystencji (NLGI 3).

#### Wirujący pierścień zewnętrzny

W przypadku zastosowań z wirującym pierścieniem zewnętrznym, współczynnik prędkości A jest obliczany w nieco inny sposób: do obliczeń należy podstawić średnicę zewnętrzną łożyska D zamiast  $d_m$ . Trzeba też zapewnić dobre uszczelnienie, aby nie dopuścić do ubytku smaru.

Przy dużych prędkościach obrotowych pierścienia zewnętrznego (tzn. > 40 % prędkości nominalnej podawanej w tablicach wyrobów), należy dobrać smary o mniejszej skłonności do wydzielania oleju.

W przypadku łożysk barytkowych wzdłużnych, w których wiruje pierścień zewnętrzny, zaleca się stosowanie smarowania olejowego.

#### Zanieczyszczenia

W przypadku przedostawania się zanieczyszczeń do wnętrza łożyskowania smar powinien być wymieniany częściej niż wynika to z okresu wymiany smaru wyznaczonego z wykresu.

Pozwoli to zmniejszyć stopień zanieczyszczenia smaru i ograniczy negatywne zjawiska związane z przedostawaniem się zanieczyszczeń pomiędzy współpracujące elementy łożyska. Zanieczyszczenia w postaci płynów (woda, płyny technologiczne) także skracają okres wymiany smaru. W przypadku silnych zanieczyszczeń należy rozważyć możliwość zastosowania smarowania ciągłego.

#### Bardzo małe prędkości

Łożyska pracujące z bardzo małą prędkością i lekko obciążone wymagają stosowania smaru o niskiej klasie konsystencji, podczas gdy łożyska pracujące także z małą prędkością, ale silnie obciążone powinny być smarowane smarem o wysokiej lepkości i, o ile to tylko możliwe, bardzo dobrych właściwościach typu EP.

Smary zawierające dodatki stałe, jak np. grafit i dwusiarczek molibdenu ( $\text{MoS}_2$ ) mogą być stosowane jeśli współczynnik prędkości  $A < 20\,000$ . Właściwy dobór rodzaju smaru i jego ilości jest bardzo ważny w zastosowaniach wolnoobrotowych.

## Wysokie prędkości

Okresy wymiany smaru dla łożysk pracujących z prędkościami przekraczającymi wartość współczynnika prędkości A podaną w **tablicy 1, strona 239**, mają sens tylko wówczas, gdy stosowany jest specjalny smar lub odpowiednia konstrukcja łożyska, np. łożyska hybrydowe. W takich przypadkach lepsze od smarowania smarami plastycznymi są różne warianty smarowania ciągłego, jak np. smarowanie olejowe typu obiegowego lub smarowanie punktowe

## Bardzo duże obciążenia

Dla łożysk pracujących w warunkach, dla których współczynnik prędkości  $A > 20\,000$  i stosunek obciążenia  $C/P < 4$  okres wymiany smaru musi być jeszcze krótszy. W takich warunkach zalecane jest smarowanie ciągłe smarem plastycznym lub smarowanie olejowe typu zanurzeniowego.

W przypadku zastosowań, dla których współczynnik prędkości  $A < 20\,000$  i stosunek obciążenia  $C/P = 1-2$  należy skorzystać z zaleceń opisanych pod hasłem „Bardzo małe prędkości” na **stronie 240**. Przy dużych obciążeniach i dużych prędkościach generalnie zalecane jest smarowanie olejowe typu obiegowego z chłodzeniem oleju.

## Bardzo małe obciążenia

W wielu wypadkach okres wymiany smaru może zostać wydłużony jeśli obciążenia są niewielkie ( $C/P = 30$  do  $50$ ). Warunkiem prawidłowej pracy łożysk jest jednak zapewnienie im niezbędnego minimalnego obciążenia określonego w części poprzedzającej tablicy wymiarowe poszczególnych rodzajów łożysk.

## Niewspółosiowość

Stały błąd niewspółosiowości mieszczący się w dopuszczalnych granicach nie ma negatywnego wpływu na trwałość smaru w łożyskach baryłkowych, kulkowych wahlowych lub toroidalnych.

## Łożyska wielkogabarytowe

W celu ustalenia właściwego okresu wymiany smaru dla łożysk wałeczkowych, a w szczególności dla łożysk wielkogabarytowych ( $d > 300$  mm) stosowanych w niewralgicznych łożyskowaniach w przemyśle, zalecane jest wykorzystanie procedury interaktywnej. W takich przypadkach dobrze jest na początku wymieniać smar w łożyskach częściej i ściśle przestrzegać zaleceń dotyczących ilości smaru (→ rozdział „Sposoby wymiany smaru” na **stronie 242**).

Przed całkowitą wymianą zasobu smaru należy dokonać oceny stanu wymienianego smaru oraz jego stopnia zanieczyszczenia cząsteczkami stałymi i wodą. Uszczelnienie także powinno zostać wnikliwie sprawdzone pod względem zużycia, śladów uszkodzeń i przecieków. Jeżeli stan smaru i elementów towarzyszących jest zadowolający, to można stopniowo wydłużać okres wymiany smaru.

Podobna procedura jest zalecana w przypadku łożysk baryłkowych wzdłużnych, maszyn prototypowych oraz zmodernizowanych urządzeń o zwartej konstrukcji i przenoszących duże moce, a także w sytuacji, gdy brak jest doświadczenia inżynierskiego w danej dziedzinie.

## Łożyska walcowe

Okresy wymiany smaru wyznaczone na podstawie **wykresu 4, strona 238**, odnoszą się do łożysk walcowych z

- koszykiem formowanym wtryskowo z poliamidu 6,6 wzmocnionego włóknem szklanym, prowadzonym na elementach tocznych, w oznaczeniu przyrostek P
- dwuczęściowym koszykiem masywnym mosiężnym, prowadzonym na elementach tocznych, w oznaczeniu przyrostek M.

Dla łożysk walcowych z

- tłoczonym koszykiem stalowym, prowadzonym na elementach tocznych, brak przyrostka albo przyrostek J lub
- masywnym koszykiem mosiężnym, prowadzonym na pierścieniu wewnętrznym lub zewnętrznym, w oznaczeniu przyrostek MA, MB, ML lub MP

okres wymiany smaru odczytany z **wykresu 4** powinien być skrócony o połowę i należy zastosować smar dobrze wydzielający olej. Ponadto, smarowane smarem plastycznym łożyska z koszykami MA, MB, ML i MP nie powinny pracować ze współczynnikami prędkości większym niż  $A = n \times d_m = 250\,000$ . W przypadku aplikacji nie spełniających tego warunku prosimy o kontakt z konsultantami SKF. SKF zwykle zaleca wówczas smarowanie olejowe.

### Uwagi

Jeżeli wyznaczona wartość okresu wymiany smaru  $t_f$  jest zbyt mała dla danego zastosowania, to zalecane jest

- sprawdzenie temperatury roboczej łożyska
- sprawdzenie czy smar jest zanieczyszczony substancjami stałymi lub płynami
- sprawdzenie warunków pracy łożyska, takich jak obciążenie lub niewspółosiowość

a przede wszystkim należy rozważyć możliwość doboru bardziej odpowiedniego smaru.

### Sposoby wymiany smaru

Wybór sposobu wymiany smaru zależy przede wszystkim od danego zastosowania oraz od wyznaczonego okresu wymiany smaru  $t_f$ .

- Dosmarowywanie jest wygodną i zalecaną metodą wówczas, gdy wyznaczony okres wymiany smaru jest krótszy niż sześć miesięcy. Metoda ta umożliwia ciągłą pracę maszyn i pozwala uzyskać niższą temperaturę równowagi w porównaniu ze smarowaniem ciągłym.
- Całkowita wymiana zasobu smaru jest zalecana w sytuacji, gdy okres wymiany smaru jest dłuższy niż sześć miesięcy. Procedura ta jest często stosowana jako element planowanej obsługi łożysk, np. w kolejnictwie.
- Smarowanie ciągłe jest stosowane wówczas, gdy obliczony okres wymiany smaru jest krótki, np. ze względu na szkodliwy wpływ zanie-

czyszczeń, lub gdy inne sposoby wymiany smaru nie zdają egzaminu z powodu utrudnionego dostępu do łożyskowania. Smarowanie ciągłe nie jest zalecane w przypadku wysokich prędkości obrotowych, gdyż intensywne ugniatanie smaru może wówczas prowadzić do znacznego wzrostu temperatury roboczej i zniszczenia struktury zagęszczacza smaru.

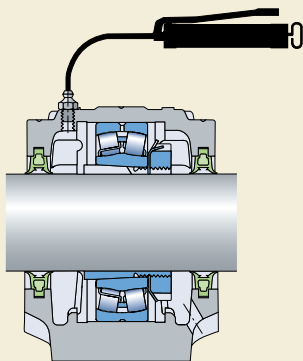
W przypadku, gdy w łożyskowaniu występują różne łożyska często przyjmuje się okres wymiany smaru jako mniejszą z wartości wyznaczonych dla poszczególnych łożysk. Ogólne wytyczne i zalecane ilości smaru dla trzech alternatywnych sposobów wymiany smaru zostały przedstawione poniżej.

### Dosmarowywanie

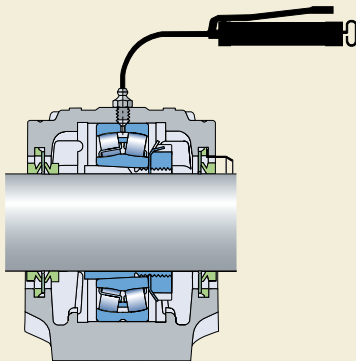
Zgodnie z informacjami podanymi na początku tego rozdziału łożysko powinno być na etapie montażu w całości wypełnione smarem, natomiast wolna przestrzeń w oprawie powinna być wypełniona tylko częściowo. W zależności od planowanego sposobu dosmarowywania stopień wypełnienia smarem wolnej przestrzeni w oprawie powinien wynosić:

- 40 % przy dosmarowywaniu od czoła łożyska (→ rys. 1).
- 20 % przy dosmarowywaniu przez rowek i otwory smarowe w pierścieniu zewnętrznym lub wewnętrznym łożyska (→ rys. 2).

Rys. 1



Rys. 2



Odpowiednią ilość smaru przy dosmarowywaniu od czoła łożyska można wyznaczyć z zależności

$$G_p = 0,005 D B$$

a dla dosmarowywania przez pierścieni zewnętrzny lub wewnętrzny ze wzoru

$$G_p = 0,002 D B$$

gdzie

$G_p$  = ilość smaru dodawana przy dosmarowywaniu, g

$D$  = średnica zewnętrzna łożyska, mm

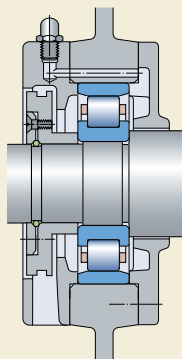
$B$  = szerokość całkowita łożyska (wysokość całkowita  $H$  w łożyskach wzdłużnych), mm

W celu umożliwienia zastosowania smarownicy ciśnieniowej do dosmarowywania łożyska należy zamontować w oprawie kulkowy zaworek smarowy. Jeżeli stosowane są uszczelnienia stykowe, to trzeba przygotować w oprawie otwór wypływowy, zapobiegający nadmiernemu gromadzeniu smaru w przestrzeni wokół łożyska (→ rys. 1), które może prowadzić do trwałego wzrostu temperatury pracy łożyska. Należy pamiętać o zastąpieniu otworu wypływowego przy stosowaniu ciśnieniowych urządzeń myjących.

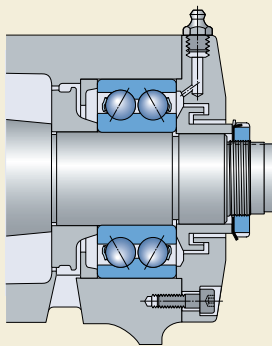
Gromadzenie się nadmiernej ilości smaru w przestrzeni otaczającej łożysko, powodujące wzrost temperatury i wywierające negatywny wpływ na żywotność smaru i łożyska, ma szczególne znaczenie w przypadku łożysk pracujących z dużymi prędkościami. W takiej sytuacji zalecane jest stosowanie regulatora ilości smaru zamiast otworu wypływowego. Rozwiązanie to zapobiega doprowadzeniu zbyt dużej ilości smaru i pozwala dosmarowywać maszynę podczas pracy. Regulator ilości smaru składa się z tarczy regulacyjnej obracającej się z wałem, która tworzy wąską szczelinę z pokrywą oprawy (→ rys. 3). Nadmiar zużytego smaru jest odrzucany przez tarczę do pierścieniowego wgłębienia w oprawie, a następnie odprowadzany przez otwór w dolnej części oprawy. Bliższe dane nt. konstrukcji i wymiarów regulatorów ilości smaru mogą być dostarczone na życzenie.

Aby świeży smar rzeczywiście dotarł do łożyska i wyparł stary smar plastyczny, smar powinien być doprowadzany przez specjalny kanał smarowy w oprawie do czoła pierścienia zewnętrznego (→ rys. 1 i 4) lub, co nawet lepsze, bezpośrednio do wnętrza łożyska. W celu zapew-

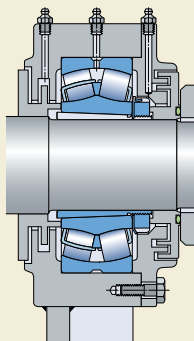
Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5





nienia właściwego smarowania niektóre rodzaje łożysk, np. łożyska baryłkowe, są wyposażone w rowek i/lub otwory smarowe w pierścieniu zewnętrznym lub wewnętrznym (→ rys. 2 i 5).

Należy pamiętać, że stary smar zostanie wyparty z łożyska tylko wówczas, gdy dosmarowywanie odbywa się podczas pracy maszyny. Jeżeli maszyna nie pracuje, należy ręcznie obracać łożysko podczas dosmarowywania. Najlepsze efekty daje dosmarowywanie przez pierścień wewnętrzny lub zewnętrzny. Z tego względu ilość smaru przy dosmarowywaniu tą metodą jest mniejsza niż przy dosmarowywaniu od czoła łożyska. Podane ilości smaru zostały wyznaczone przy założeniu, że przewody smarowe zostały wypełnione smarem podczas montażu. Jeżeli tak nie było, to przy pierwszym dosmarowaniu należy doprowadzić więcej smaru, żeby wypełnić przewody smarowe.

W sytuacji, gdy przewody smarowe są długie należy sprawdzić czy zdolność pompowania stosowanego smaru jest wystarczająca w całym zakresie temperatury otoczenia.

Cały zasób smaru w łożysku powinien zostać wymieniony wówczas, gdy wolna przestrzeń w oprawie nie może już pomieścić dodatkowego smaru, co odpowiada wypełnieniu ponad 75 % wolnej przestrzeni oprawy. Przy dosmarowywaniu od czoła łożyska i początkowym wypełnieniu wolnej przestrzeni w oprawie w 40 % należy dokonać całkowitej wymiany smaru po około pięciu cyklach dosmarowywania. Ze względu na mniejszą ilość smaru stosowaną na etapie montażu i mniejsze dawki smaru doprowadzane przy dosmarowywaniu łożysk przez pierścień zewnętrzny lub wewnętrzny całkowita wymiana zasobu smaru jest przy takim rozwiązaniu konieczna tylko w wyjątkowych wypadkach.

### Całkowita wymiana zasobu smaru

Podczas wymiany smaru po obliczonym okresie jego pracy do wymiany lub po określonej liczbie operacji dosmarowania należy usunąć cały przepracowany smar i zastąpić go świeżym smarem plastycznym.

Przy wypełnianiu łożyska i oprawy smarem należy korzystać z zaleceń podanych w części „Dosmarowywanie”.

Warunkiem umożliwienia wymiany zasobu smaru jest zapewnienie łatwego dostępu do oprawy i jej otwarcia. Pokrywy opraw dzielonych i pokrywy boczne opraw niedzielonych mogą być bez trudu zdjęte dla odsłonięcia łożyska. Po usunięciu zużytego smaru świeży smar należy nakładać w pierwszej kolejności pomiędzy elementy toczne. Należy przy tym dopilnować, aby żadne zanieczyszczenia nie wniknęły do wnętrza łożyska i aby sam smar plastyczny był wolny od zanieczyszczeń. Zalecane jest stosowanie rękawic odpornych na działanie smaru, co pozwala uniknąć problemów związanych z uczuleniem skóry na smar.

W przypadku trudno dostępnych opraw, ale wyposażonych w kulkowe zaworki smarowe i w otwory do wypływu lub w regulator ilości smaru, jest możliwe całkowite odnowienie zasobu smaru w oprawie za pomocą kolejnych dosmarowań, aż można będzie stwierdzić, że zużyty smar został całkowicie wyparty z oprawy. Taka procedura wymaga znacznie więcej smaru niż jest to potrzebne przy ręcznej odnowie zasobu smaru. Ponadto, metoda ta ma istotne ograniczenie dotyczące prędkości roboczych: przy wysokich prędkościach prowadzi do niepotrzebnego wzrostu temperatury spowodowanego nadmiernym ugniataniem smaru.

## Smarowanie ciągłe

Ten sposób smarowania jest stosowany wówczas, gdy obliczony okres pracy smaru do wymiany jest bardzo krótki, np. z powodu negatywnego wpływu zanieczyszczeń lub w sytuacji, gdy inne sposoby wymiany smaru są bardzo niewygodne, np. jeżeli dostęp do łożyska jest utrudniony. Ze względu na zwiększone ugniatanie smaru, które może prowadzić do nadmiernego wzrostu temperatury, smarowanie ciągłe jest zalecane tylko dla małych prędkości obrotowych, przy których współczynnik prędkości

- $A < 150\ 000$  dla łożysk kulkowych i
- $A < 75\ 000$  dla łożysk wałeczkowych.

W takich przypadkach początkowy stopień wypełnienia oprawy smarem może wynosić 100 %, a ilość smaru dostarczaną na jednostkę czasu można wyznaczyć na podstawie wzorów na  $G_p$  (patrz część „Dosmarowywanie”) dzieląc obliczoną ilość smaru przez okres pracy smaru do wymiany.

Przy stosowaniu systemu centralnego smarowania należy sprawdzić czy zdolność pompowania danego smaru plastycznego jest wystarczająca w całym zakresie temperatury.

Smarowanie ciągłe można zapewnić stosując automatyczne jednopunktowe lub wielopunktowe dozowniki smaru, np. SYSTEM 24 lub SYSTEM MultiPoint. Więcej informacji na ten temat zostało zawarte w rozdziale „Narzędzia do obsługi łożysk i smary”, patrz **strona 1069**.

Systemy smarowania specjalnie dostosowane dla potrzeb użytkownika, jak np. jedno- i wieloliniowe systemy centralnego smarowania VOGEL zapewniają niezawodne smarowanie z wykorzystaniem bardzo małej ilości smaru. Więcej informacji nt. systemów smarowania VOGEL można znaleźć na stronie [www.vogelag.com](http://www.vogelag.com).

## Smary plastyczne SKF – dane techniczne i charakterystyczne właściwości

## Część 1: Dane techniczne

Ozna- czenie	Opis	Klasa NLGI	Zagęszczacz/ olej bazowy	Lepkość oleju bazowego w		Temperatury graniczne	
				40 °C	100 °C	LTL <sup>1)</sup>	HTPL <sup>2)</sup>
–	–	–	–	mm <sup>2</sup> /s		°C	
LGMT 2	Przemysłowy i motoryzacyjny ogólnego przeznaczenia	2	Mydło litowe/ olej mineralny	110	11	-30	+120
LGMT 3	Przemysłowy i motoryzacyjny ogólnego przeznaczenia	3	Mydło litowe/ olej mineralny	120	12	-30	+120
LGEP 2	Dla dużych obciążeń, z dodatkami EP	2	Mydło litowe/ olej mineralny	200	16	-20	+110
LGLT 2	Dla małych obciążeń, niskich temperatur, wysokich prędkości	2	Mydło litowe/ olej dwuwestrowy	15	3,7	-55	+100
LGHP 2	Dla wysokich wymagań i wysokiej temperatury	2-3	Dwumocznik/ olej mineralny	96	10,5	-40	+150
LGFP 2	Dla przemysłu spożywczego	2	Kompleks aluminium/ olej parafinowy	130	7,3	-20	+110
LGGB 2	Ulegający biodegradacji, niski poziom toksyczności	2	Mydło litowo-wapniowe/ olej estrowy	110	13	-40	+120
LGWA 2	Dla szerokiego zakresu temperatur	2	Mydło kompleksu lito- wego/olej mineralny	185	15	-30 chwilowo: +220	+140
LGHB 2	O wysokiej lepkości i dla wysokich temperatur	2	Sulfonian kompleksu wapnia/olej mineralny	450	26,5	-20 chwilowo: +200	+150
LGEM 2	Dla ekstremalnie wysokich temperatur	2	PTFE/syntetyczny (polieter fluorowy)	400	38	-40	+260
LGEM 2	O wysokiej lepkości, z dodatkiem stałych środków smarowych	2	Mydło litowe/ olej mineralny	500	32	-20	+120
LGEV 2	O bardzo wysokiej lepkości, ze stałymi środkami smarowymi	2	Mydło litowo-wapniowe/ olej mineralny	1 000	58	-10	+120
LGWM 1	Dla bardzo dużych obciążeń, dla niskich temperatur	1	Mydło litowe/ olej mineralny	200	16	-30	+110

<sup>1)</sup> LTL: dolna temperatura graniczna. Bezpieczny zakres temperatury pracy, → rozdział „ Zakres temperatury – koncepcja światła ulicznych SKF”, początek na **stronie 232**

<sup>2)</sup> HTPL: górna temperatura zalecana

## Smary plastyczne SKF – dane techniczne i charakterystyczne właściwości

## Część 2: Charakterystyczne właściwości

Ozna- czenie	Wysoka tempera- tura, powyżej +120 °C	Niska tempera- tura <sup>1)</sup>	Bardzo duża prędkość	Bardzo mała prędkość lub oscy- lacje	Mały moment oporu, małe tarcie	Wysoki poziom drgan	Duże obciąż- zenia	Właści- wości antyko- rozyjne	Odpor- ność na dział. wody
LGMT 2			0	-	+	+	0	+	+
LGMT 3			0	-	0	+	0	0	+
LGEP 2			0	0	-	+	+	+	+
LGLT 2		+	+	-	+	-	-	0	0
LGHP 2	+	0	+	-	0	+	0	+	+
LGFP 2			0	-	0	0		+	+
LGGB 2		0	0	0	0	+	+	0	+
LGWA 2	+		0	0	0	+	+	+	+
LGHB 2	+		0	+	-	+	+	+	+
LGEM 2			Prosimy o kontakt z działem doradztwa technicznego SKF						
LGEM 2			-	+	-	+	+	+	+
LGEV 2		-	-	+	-	+	+	+	+
LGWM 1		+	0	0	0	-	+	+	+

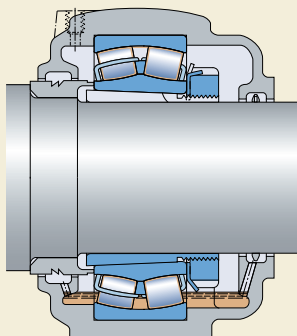
Symbole: + Zalecany  
 0 Odpowiedni  
 - Nieodpowiedni

Jeżeli nie jest podany żaden symbol, to dany smar może zostać zastosowany, ale nie jest zalecany.

W celu uzyskania bardziej szczegółowych informacji prosimy kontaktować się z działem doradztwa technicznego SKF.

<sup>1)</sup> Bezpieczny zakres temperatury pracy, → rozdział „Zakres temperatury – koncepcja światła ulicznych SKF”, początek na stronie 232

Rys. 6



## Smarowanie olejowe

Smarowanie olejowe jest powszechnie stosowane wówczas, gdy wysokie prędkości obrotowe lub wysokie temperatury pracy nie pozwalają już na użycie smaru plastycznego, kiedy trzeba odprowadzić ciepło wytworzone przez tarcie w łożysku lub gdy sąsiadujące elementy maszynowe (np. koła zębate) są smarowane olejem.

W celu wydłużenia trwałości eksploatacyjnej łożysk zaleca się stosować różne sposoby smarowania wykorzystujące czysty olej, czyli smarowanie obiegowe lub natryskowe z wysokim stopniem filtracji oleju, a przy smarowaniu olejowo-powietrznym także z filtracją powietrza. Przy smarowaniu obiegowym, natryskowym i olejowo-powietrznym należy zapewnić odprowadzanie oleju przepływającego przez łożysko za pomocą kanałów i przewodów o odpowiednio dobranej średnicy.

### Sposoby smarowania olejowego

#### Smarowanie zanurzeniowe

Najprostszym sposobem smarowania olejowego jest smarowanie zanurzeniowe (→ rys. 6). Olej jest zabierany przez obracające się elementy łożyska, rozdzielany w łożysku i ścieka z powrotem do miski olejowej. Jeżeli łożysko jest nieruchome, poziom oleju powinien sięgać nieco poniżej środka najniższej położonego elementu tocznego. W celu zapewnienia właściwego poziomu oleju zalecane jest stosowanie urządzeń do automatycznego utrzymywania poziomu oleju, jak np. SKF LAHD 500. Podczas pracy z dużą prędkością, poziom oleju w oprawie może się znacznie obniżyć, co spowoduje dodanie zbyt dużej ilości oleju przez urządzenie automatyczne. W takiej sytuacji prosimy o kontakt z działem doradztwa technicznego SKF.

### Smarowanie rozbryzgowe z pierścieniem olejowym

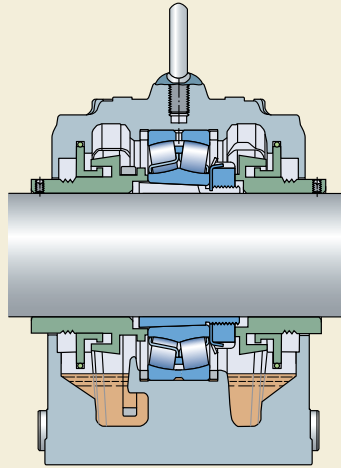
W przypadku zastosowań, w których prędkości i temperatura robocza wymagają smarowania olejowego, a dodatkowo konieczna jest wysoka niezawodność, zalecanym sposobem smarowania jest smarowanie rozbryzgowe z pierścieniem olejowym (→ rys. 7). Pierścień olejowy wymusza obieg oleju w łożyskowaniu. Pierścień ten spoczywa na tulei zamontowanej na wale z jednej strony łożyska i jest zanurzony w zbiorniku oleju w dolnej części oprawy. Pod wpływem obrotu wału pierścień olejowy także zaczyna się obracać i transportuje olej do kanału zbiorczego. Po przepłynięciu przez łożysko olej trafia ponownie do zbiornika w dolnej części oprawy. Oprawy stojące dzielone SKF serii SONL zostały zaprojektowane specjalnie pod kątem metody smarowania rozbryzgowego. Bardziej szczegółowych informacji udziela dział doradztwa technicznego SKF.

### Smarowanie obiegowe

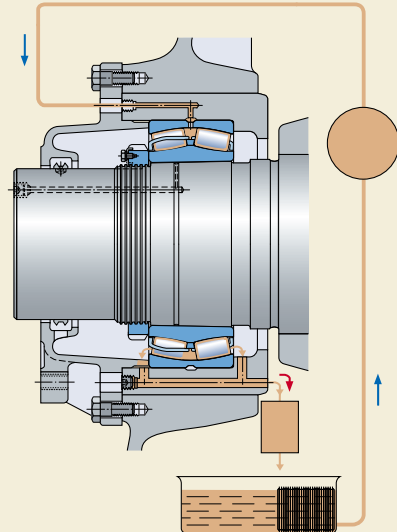
Ze wzrostem prędkości obrotowej wzrasta również temperatura pracy co przyspiesza proces starzenia się oleju. W celu uniknięcia częstej wymiany oleju i zapewnienia jego odpowiedniego poziomu często przewiduje się smarowanie obiegowe (→ rys. 8), przy czym obieg oleju utrzymywany jest zwykle za pomocą pompy. Olej po przejściu przez łożysko jest filtrowany, ewentualnie chłodzony i z powrotem doprowadzony do łożyska. Właściwe filtrowanie pozwala uzyskać wysokie wartości współczynnika  $\eta_c$  i tym samym wysoką trwałość eksploatacyjną (→ podrozdział „Trwałość nominalna wg SKF”, początek na **stronie 52**).

Chłodzenie oleju umożliwia utrzymanie temperatury pracy łożyska na niskim poziomie.

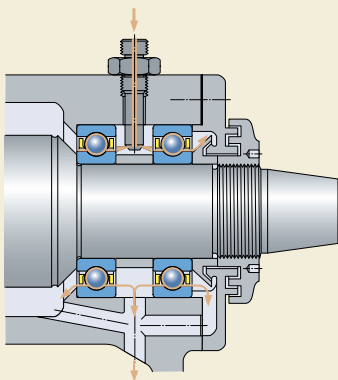
Rys. 7



Rys. 8



Rys. 9



### Smarowanie natryskowe

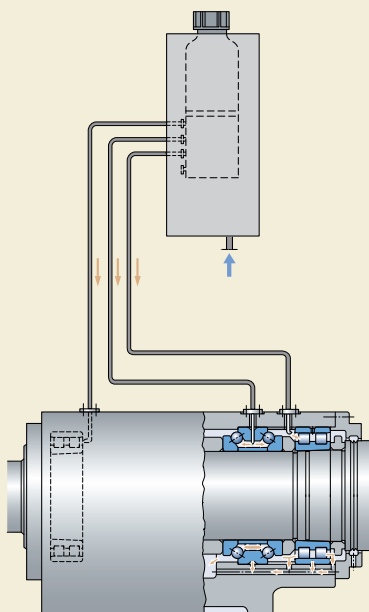
W przypadku bardzo wysokich prędkości obrotowych konieczne jest zachowanie dopływu wystarczającej, ale niezbyt dużej, ilości oleju do wnętrza łożyska, aby zapewnić jego niezawodne smarowanie – przy utrzymaniu temperatury pracy na odpowiednim poziomie. W takich przypadkach najbardziej skuteczne jest smarowanie natryskowe (→ rys. 9) poprzez wtrysk oleju pod dużym ciśnieniem do wnętrza łożyska. Należy przy tym zapewnić odpowiednio dużą prędkość strumienia oleju (co najmniej 15 m/s), żeby mógł on przedostać się przez zawirowania powietrza otaczające wirujące łożysko.

### Smarowanie olejowo-powietrzne

Przy smarowaniu olejowo-powietrznym (→ rys. 10) bardzo małe, dokładnie odmierzone ilości oleju są kierowane do łożyska za pomocą sprężonego powietrza. Dzięki temu do łożyska dociera tylko wymagana ilość smaru umożliwiającą pracę łożyska w niższych temperaturach i przy wyższych prędkościach niż przy innych sposobach smarowania. W określonych odstępach czasu olej jest wtryskiwany do przewodów rurowych za pomocą urządzenia dozującego, takiego jak np. VOGEL OLA, a następnie jest rozdzielany w ciągłym strumieniu sprężonego powietrza i „pełza” po wewnętrznej powierzchni przewodów. Na koniec olej jest rozpylany w łożysku za pośrednictwem dyszy lub przedostaje się na bieżnię łożyska wykorzystując zjawisko napięcia powierzchniowego. Sprężone powietrze dodatkowo chłodzi łożysko i wytwarza w węzle łożyskowym nadciśnienie, które zapobiega wnikananiu zanieczyszczeń.

Więcej informacji nt. projektowania systemów olejowo-powietrznych można znaleźć w publikacji VOGEL nr 1-5012-3 „Systemy olejowo-powietrzne” lub na stronie internetowej [www.vogelag.com](http://www.vogelag.com).

Rys. 10



### Smarowanie mgłą olejową

Smarowanie mgłą olejową nie było zalecane w ostatnim okresie ze względu na możliwy szkodliwy wpływ na środowisko.

Nowa generacja urządzeń do wytwarzania mgły olejowej pozwala jednak uzyskać mgłę o zawartości oleju tylko 5 ppm. Nowe konstrukcje specjalnych uszczelnień także ograniczają do minimum przedostawanie się mgły do otoczenia. W przypadku stosowania nietoksycznych olejów syntetycznych szkodliwy wpływ na środo-

wisko jest jeszcze bardziej zmniejszony. Smarowanie mgłą olejową jest dziś wykorzystywane w różnych specjalistycznych zastosowaniach, jak np. w przemyśle petrochemicznym.

## Oleje smarowe

Do smarowania łożysk tocznych zalecane są przede wszystkim czyste oleje mineralne. Tylko w specjalnych przypadkach stosuje się oleje z dodatkami polepszającymi niektóre ich właściwości smarowe (odporność na naciski – EP, odporność na ścieranie itp.). Jeśli chodzi o dodatki EP do olejów stosowanych do smarowania łożysk, to obowiązują te same wytyczne, jak dla dodatków EP do smarów plastycznych omówione w podrozdziale „Zdolność przenoszenia obciążeń: dodatki typu EP i AW” na **stronie 234**.

Na rynku dostępne są syntetyczne oleje smarowe o podobnych klasach lepkości jak mineralne. Zasadniczo oleje syntetyczne są stosowane do smarowania łożysk tylko w ekstremalnych przypadkach, np. przy bardzo niskich lub bardzo wysokich temperaturach. Pod pojęciem olejów syntetycznych kryje się szeroka gama olejów o rozmaitych bazach. Najbardziej popularne są polialfaolefiny (PAO), estry i glikole polialkilowe (PAG). Oleje syntetyczne różnią się właściwościami od olejów mineralnych (→ **tablica 3**).

Decydujący wpływ na trwałość zmęczeniową łożyska ma rzeczywista grubość filmu smarowego. W warunkach pełnego smarowania grubość ta jest zależna od lepkości oleju, wskaźnika lepkości oraz współczynnika ciśnienie-lepkość. Dla większości środków smarowych na bazie

oleju mineralnego współczynnik ciśnienie-lepkość jest zbliżony i można bez większego błędu przyjąć wartości podawane w literaturze. Zmiana lepkości wraz ze wzrostem ciśnienia jest jednak zależna od struktury chemicznej zastosowanej bazy olejowej. W związku z tym wartości współczynnika ciśnienie-lepkość dla poszczególnych olejów syntetycznych często znacznie się różnią. Ze względu na różnice w wartościach wskaźnika lepkości i współczynnika ciśnienie-lepkość należy pamiętać, że zjawisko tworzenia się filmu smarowego może mieć inny charakter dla oleju mineralnego i syntetycznego o jednakowej lepkości w temperaturze odniesienia. Szczegółowych informacji na ten temat należy zawsze poszukiwać u dostawcy danego środka smarowego.

Ponadto, istotną rolę w tworzeniu filmu smarowego pełnią dodatki olejowe. Ze względu na różnice w rozpuszczalności poszczególnych dodatków w olejach syntetycznych, często substancje stosowane jako dodatki w olejach syntetycznych są inne niż w ich mineralnych odpowiednikach.

Tablica 3

### Właściwości różnych rodzajów oleju

Właściwość	Rodzaj oleju bazowego		Estrowy	PAG
	Mineralny	PAO		
Temp. krzepnięcia (°C)	-30 .. 0	-50 .. -40	-60 .. -40	około. -30
Wskaźnik lepkości	niski	średni	wysoki	wysoki
Współczynnik ciśnienie-lepkość	wysoki	średni	niski do średni	wysoki



### Dobór oleju

Dobór oleju odbywa się w pierwszym rzędzie w zależności od lepkości, która powinna być taka, aby zapewnić prawidłowe smarowanie łożyska w jego temperaturze pracy. Lepkość oleju jest zależna od temperatury i spada wraz ze wzrostem temperatury. Zależność lepkości od temperatury opisuje wskaźnik lepkości VI. Do smarowania łożysk tocznych zaleca się stosować oleje o wysokiej wartości wskaźnika lepkości (mała zmiana lepkości wraz z temperaturą) wynoszącej co najmniej 95.

Aby na powierzchniach styku między elementami tocznymi i bieżniami mógł się wytworzyć wystarczająco wytrzymały film smarowy, olej musi wykazywać określoną minimalną lepkość w temperaturze pracy. Wartość wymaganej lepkości kinematycznej  $v_1$  niezbędnej do zapewnienia prawidłowego smarowania w temperaturze roboczej można wyznaczyć z **wykresu 5, strona 254**, przy założeniu, że stosowany jest olej mineralny. Jeśli temperatura pracy jest znana z doświadczenia lub też może być ustalona w inny sposób, to odpowiednie wartości lepkości w zwyczajowo przyjętej w normach międzynarodowych temperaturze 40 °C – oznaczenie klasy lepkości oleju wg ISO VG – można wyznaczyć z **wykresu 6, strona 255**, sporządzonego dla wskaźnika lepkości 95.

Niektóre rodzaje łożysk tocznych, np. baryłkowe, toroidalne, stożkowe i baryłkowe wzdłużne, w porównywalnych warunkach pracy zwykle charakteryzują się wyższą temperaturą roboczą niż inne rodzaje łożysk, np. kulkowe zwykłe i walcowe.

Przy doborze odpowiedniego oleju należy rozważyć następujące aspekty:

- Z punktu widzenia trwałości łożysk zalecane jest dobranie oleju, którego lepkość w temperaturze pracy ( $v$ ) jest większa od lepkości  $v_1$  wyznaczonej z **wykresu 5**. Warunek  $v > v_1$  można uzyskać stosując olej o wyższej klasie lepkości wg ISO VG lub o wyższym wskaźniku lepkości VI, ale trzeba zwrócić uwagę, żeby współczynnik ciśnienie-lepkość nie był mniejszy. Ponieważ jednak wraz ze wzrostem lepkości rośnie temperatura pracy, polepszenie efektu smarowania, jakie może być uzyskane tym sposobem, jest często w praktyce możliwe tylko w ograniczonym stopniu.

- Jeżeli stosunek lepkości  $\kappa = v/v_1$  jest mniejszy od jedności, zaleca się stosować olej z dodatkami EP, a dla  $\kappa < 0,4$ , stosowanie olejów z dodatkami EP jest bezwzględnie konieczne. W przypadku łożysk wałeczkowych średnich i dużych wymiarów, gdy  $\kappa > 1$ , stosowanie tego rodzaju olejów może przynieść polepszenie niezawodności działania. Trzeba jednak pamiętać, że niektóre dodatki EP mogą mieć niekorzystny wpływ (→ „Zdolność przeniesienia obciążeń: dodatki typu EP i AW” na **stronie 234**).
- Przy szczególnie niskich lub wysokich prędkościach obrotowych, krytycznych warunkach obciążenia lub nietypowych warunkach smarowania prosimy skontaktować się z działem doradztwa technicznego SKF.

### Przykład

Łożysko o średnicy otworu  $d = 340$  mm i średnicy zewnętrznej  $D = 420$  mm ma pracować z prędkością roboczą  $n = 500$  obr/min. Średnica średnia wynosi więc  $d_m = 0,5(d + D) = 380$  mm. Z **wykresu 5**, odczytujemy, że minimalna lepkość kinematyczna  $v_1$  niezbędna dla prawidłowego smarowania w temperaturze pracy wynosi około  $11 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Zakładając, że temperatura robocza łożyska wynosi  $70$  °C, odczytujemy z **wykresu 6**, że odpowiedni będzie olej o klasie lepkości ISO VG 32, którego lepkość kinematyczna w temperaturze odniesienia  $40$  °C wynosi co najmniej  $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

## Wymiana oleju

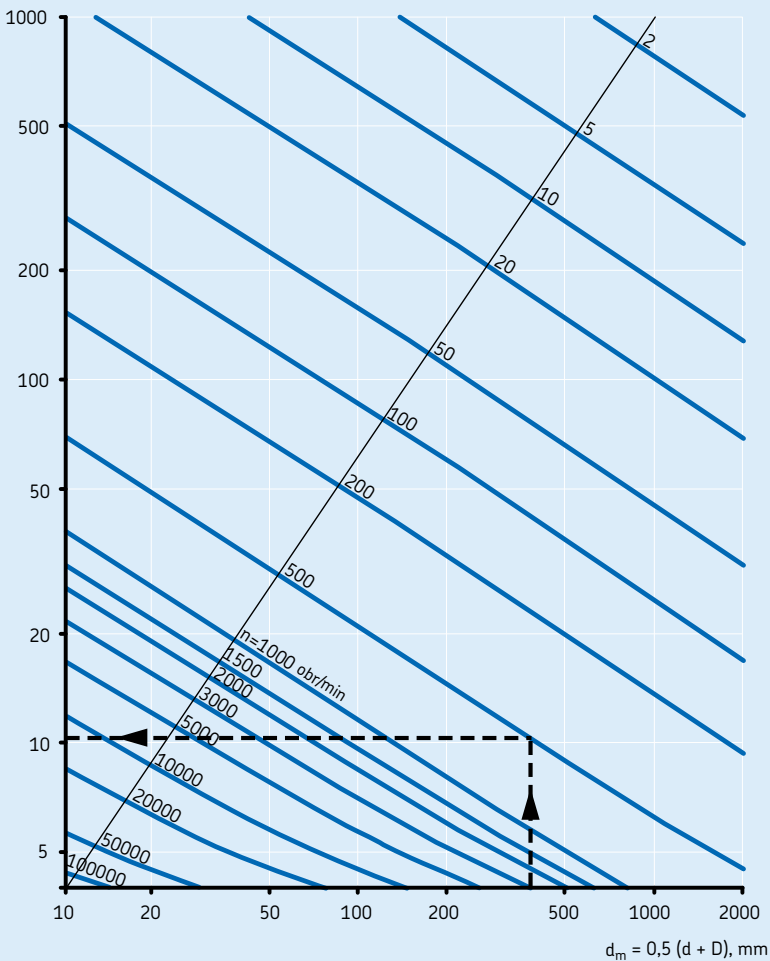
Częstotliwość wymiany oleju zależy przede wszystkim od warunków pracy i ilości stosowanego oleju.

Przy smarowaniu zanurzeniowym najczęściej wystarczy wymienić olej raz do roku, o ile temperatura pracy łożyska nie przekracza 50 °C i niebezpieczeństwo zanieczyszczenia oleju jest niewielkie. Wyższe temperatury pracy wymagają częstszych zmian oleju, np. przy temperaturze roboczej około 100 °C olej powinien być wymieniany co trzy miesiące. To samo odnosi się do ciężkich warunków pracy.

Przy smarowaniu obiegowym okres wymiany oleju zależy między innymi od tego, jak często cały zasób oleju przepływa przez łożysko oraz czy jest on chłodzony. Z tego powodu okres wymiany oleju w danym urządzeniu zazwyczaj może być określony tylko w sposób doświadczalny poprzez częste badanie jakości oleju pod kątem zawartości zanieczyszczeń lub stopnia utlenienia. To samo dotyczy smarowania natryskowego. W przypadku smarowania olejowo-powietrznego olej przepływa przez łożysko tylko raz i nie podlega recyrkulacji.

Wyznaczanie minimalnej wymaganej lepkości kinematycznej  $\nu_1$  w temperaturze pracy

Lepkość wymagana  $\nu_1$  w temperaturze pracy,  $\text{mm}^2/\text{s}$



Wyznaczenie lepkości kinematycznej  $\nu$  w temperaturze odniesienia (klasyfikacja ISO VG)Lepkość wymagana  $\nu_1$  w temperaturze pracy,  $\text{mm}^2/\text{s}$ 