

Anna Zajezińska
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Smarowanie łożysk tocznych

W artykule przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z eksploatacją środków smarowych w łożyskach tocznych. Omówiono zasady doboru olejów smarowych i smarów plastycznych do łożysk eksploatowanych w warunkach zmiennych temperatur, obciążeń i prędkości obrotowych. Przedstawiono aktualnie stosowane metody aplikacji środków smarowych do węzłów tarcia, poprzez systemy centralnego smarowania. Przedstawiono nowoczesne, perspektywiczne gatunki łożyskowych smarów plastycznych do wielofunkcyjnych zastosowań, spełniających wysokie, współczesne wymagania jakościowe.

Lubricating of rolling bearings

The basic operational characteristics of lubricating agents for rolling bearings are presented. Rules of choice of greasing oils and lubricating greases for bearings performing in conditions of variable temperatures, bearing load and rotational speed are discussed. Contemporary methods of greasing agents application in friction points through central greasing system are presented. Modern and promising types of bearing lubricating greases, meeting high quality, contemporary criteria for multifunctional applications are demonstrated.

Wstęp

Podstawowym parametrem wpływającym na trwałość eksploatacyjną oraz niezawodność działania urządzeń, obok elementów konstrukcyjnych, jest zagadnienie właściwego smarowania węzłów tarcia. Niewystarczające smarowanie w skrajnych przypadkach doprowadzić może do zużycia współpracujących powierzchni i powstawania zmian mechanicznych (uszkodzeń materiałowych). Niekiedy, przy niekorzystnym odprowadzeniu ciepła generowanego w toku pracy może dojść do zmniejszenia luzu łożysk lub nawet do ich zacisku. Szacuje się, że około 40% stanów awaryjnych łożysk wywołane jest niewłaściwym smarowaniem [3, 11].

Głównymi przyczynami uszkodzeń wywołanych niedostatecznym smarowaniem jest:

- zastosowanie niewłaściwie dobranego środka smarowego,

- niedobór środka smarowego w obszarze styku powierzchni,
- zanieczyszczenia w środku smarowym – przenikające do łożyska przy niewystarczającym uszczelnieniu,
- zmiany parametrów jakościowych środków smarowych,
- nadmierne smarowanie.

Zapobieganie przedwczesnym uszkodzeniom łożysk możliwe jest przez stosowanie zabiegów pielęgnacyjnych, obejmujących:

- obserwację łożyska i kontrolę prawidłowości pracy, poprzez rejestrację temperatury, poziomu drgań oraz pomiaru stopnia zużycia,
- kontrolę smarowania łożysk, poprzez okresowe badania parametrów jakościowych środka smarowego oraz sprawdzanie urządzeń doprowadzających ten środek do łożysk.

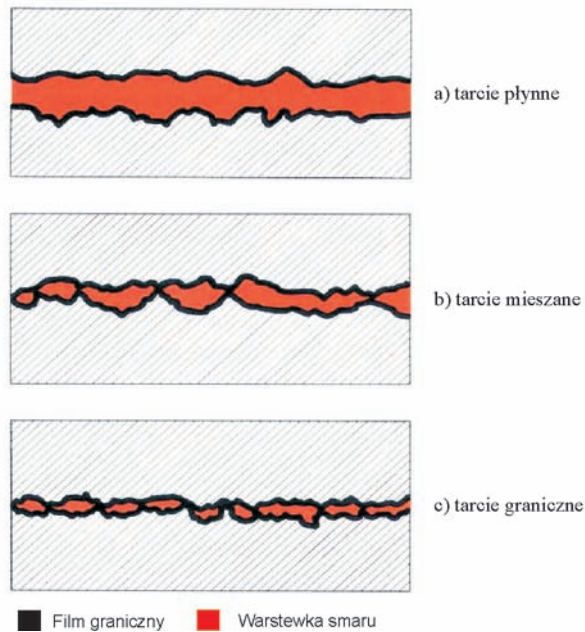
Rola środka smarowego w łożysku tocznym

Podstawową funkcją środka smarowego w łożysku jest zmniejszanie tarcia oraz obniżanie lub eliminowanie zużycia powierzchni elementów poruszających się względem siebie. Dodatkowo środek smarowy powinien zapewniać ochronę korozyjną łożysk, odprowadzać ciepło generowane w łożysku, a także posiadać zdolność do odprowadzania

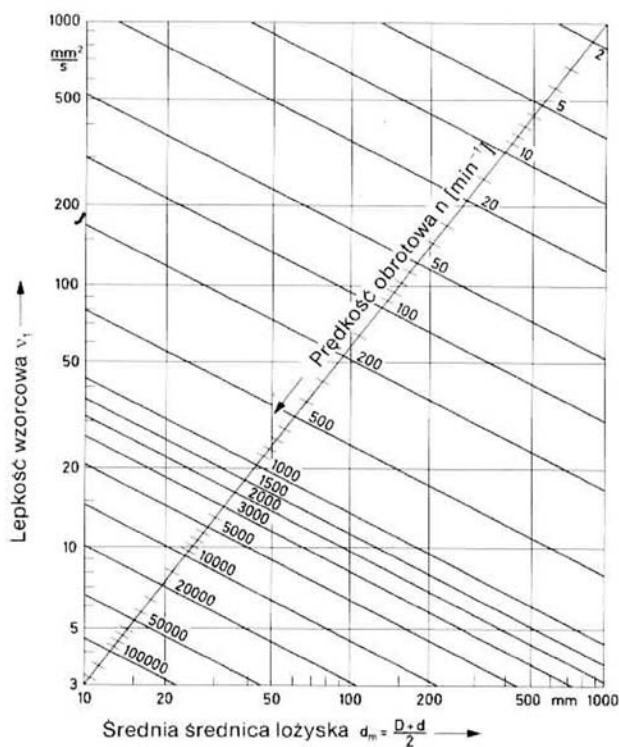
zanieczyszczeń, przenikających do łożyska wskutek niedostatecznego systemu uszczelnień [4, 9].

W łożyskach tocznych w obecności środka smarowego mogą występować następujące rodzaje tarcia (rysunek 1a, 1b, 1c):

- tarcie płynne, w którym wzajemnie przesuwane się



Rys. 1. Modele tarcia występujące w obecności środka smarowego



Rys. 2. Wyznaczanie lepkości wzorcowej oleju (v_1) w zależności od średniej średnicy łożyska i jego prędkości obrotowej

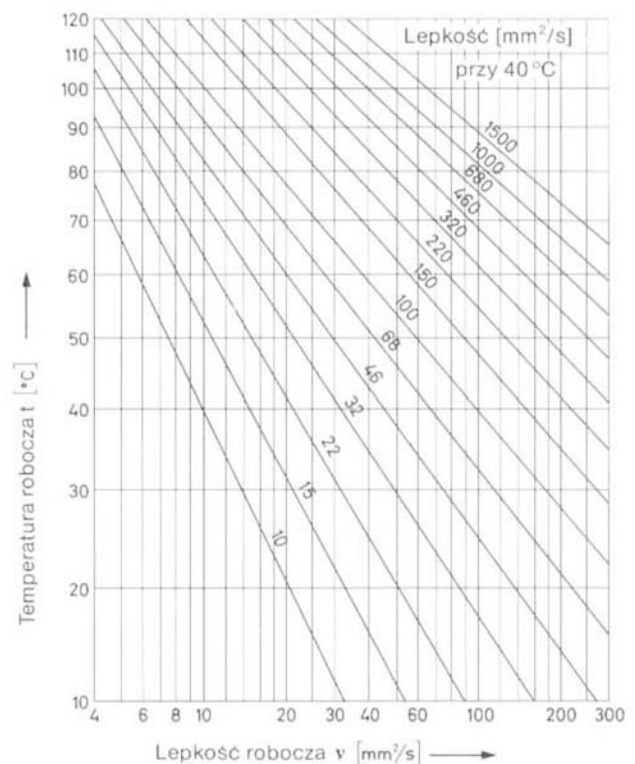
Ocena stanu smarowania

Ocena stanu smarowania dokonywana jest w oparciu o założenie, że między przenoszonymi obciążeniami powierzchniami tocznymi i powierzchniami ślizgowymi tworzony jest film smarowy, który daje się opisać za pomocą teorii smarowania elastohydrodynamicznego (EHD).

elementy powierzchni są całkowicie oddzielone za pomocą filmu smarowego,

- tarcie częściowe, w przypadku którego – z uwagi na zbyt cienką warstwę filmu smarowego – dochodzi w częściach obszaru do styku powierzchni,
- tarcie graniczne, w którym wskutek wysokiej temperatury lub wysokich nacisków jednostkowych dochodzi do obniżania warstwy smarowej i częściowego smarowania powierzchni elementów.

Tarcie płynne można uzyskać przy zastosowaniu olejów lub smarów plastycznych, przy czym oddzielenie smarowanych powierzchni za pomocą substancji smarowych nastąpi wówczas, gdy w szczelinie smarowej powstanie ciśnienie równoważące siły zewnętrzne, działające na węzeł smarowy.



Rys. 3. Zależność lepkości oleju od temperatury

Grubość filmu smarowego w łożysku o danej geometrii jest określona głównie za pomocą:

- prędkości toczania,
- lepkości dynamicznej w temperaturze roboczej i przy ciśnieniu atmosferycznym,

– ciśnieniowego współczynnika lepkości.

Podrzędne znaczenie ma obciążenie, gdyż w przypadku zwiększonego obciążenia wzrasta również lepkość oleju i wskutek odkształceń sprężystych powiększają się powierzchnie styku.

W praktyce, do oceny stanu smarowania stosuje się uproszczoną metodę, która również opiera się na teorii EHD. Wyznacza się lepkość odniesienia (lepkość wzorcową), w stosunku do lepkości roboczej zastosowanego oleju. Lepkość odniesienia można odczytać z wykresu przedstawionego na rysunku 2, biorąc pod uwagę średnią średnicę łożyska i jego prędkość obrotową. Jeśli znana jest lepkość oleju w temperaturze 40°C to z wykresu przedstawionego na rysunku 3 można odczytać lepkość roboczą olejów mineralnych o przeciętnej charakterystyce lepkościowo-temperaturowej [1, 4, 7, 11].

Nieco odmienny mechanizm ma proces smarowania łożysk przy zastosowaniu smaru plastycznego. Smarowanie łożysk odbywa się głównie za pomocą oleju, stanowiącego główny komponent smaru – smar plastyczny stanowi więc „zasobnik” oleju smarowego. Umiarkowane, ale ciągle wydatkowanie oleju ze smaru ma szczególne znaczenie w przypadku eksploatacji łożysk w wysokich temperaturach, i zależy głównie od rodzaju i konsystencji smaru oraz lepkości oleju podstawowego.

Prawidłowości teorii EHD odnoszą się zasadniczo również do smarowania smarem plastycznym, przyjmując za

podstawę lepkość oleju zastosowanego do jego wytworzenia. Działanie smaru jest jednak określone nie tylko przez olej bazowy, lecz również przez zagęszczacz i dodatki – jest więc prawdopodobne, że przy niskim poziomie lepkości oleju wystąpi korzystniejszy stan smarowania, niż określony na podstawie wyznaczonej teoretycznie trwałości zmęczeniowej łożyska.

Sposób smarowania „smarem stałym” polega na wyrównywaniu chropowatości powierzchni i stosowany jest wówczas, gdy występuje niedostateczne oddzielenie powierzchni lub przy docieraniu łożysk. W charakterze smarów stałych stosowany jest głównie grafit oraz disiarczki molibdenu o wysokim stopniu rozdrobnienia. Smar stały tworzy z powierzchnią połączenia chemiczne, w wyniku których powstają związki o lepszych właściwościach smarowych, umożliwiającymi tworzenie wysokiej trwałości filmu smarowego przy występujących wysokich obciążeniach i temperaturach. Jednak przy smarowaniu za pomocą smarów stałych uzyskuje się na ogół niższe okresy eksploatacji niż w przypadku smarowania olejem lub smaru plastycznego. Utworzona warstwa smaru stałego ulega zmniejszeniu, a nawet zużyciu, wskutek występującego w łożysku obciążenia. Niekorzystne jest również stosowanie smarów stałych w przypadku łożysk wysokoobrotowych – prowadzi to do zwiększenia tarcia i generowania ciepła, zwiększającego temperaturę eksploatacji łożysk.

Sposób doprowadzenia środka smarowego do łożysk

W toku eksploatacji maszyn i urządzeń, podstawowym warunkiem zapewnienia bezpiecznego ich użytkowania jest niezakłócone, stałe doprowadzenie środka smarowego do węzła tarcia. Środek smarowy może być aplikowany okresowo, poprzez podawanie ustalonych jego dawek; co pewien czas lub w sposób ciągły [1-3].

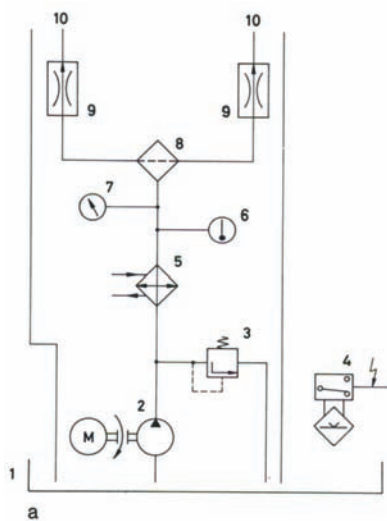
Stosowane rozwiązania konstrukcyjne przewidują dwa podstawowe systemy smarowania: smarowanie obiegowe i smarowanie przelotowe.

W warunkach **smarowania obiegowego** środkiem smarowym jest olej, podawany do węzła tarcia grawitacyjnie lub za pomocą pompy i następnie, poprzez system filtrów, z powrotem transportowany do zbiornika (rysunek 4).

W przypadku **smarowania przelotowego** środek smarowy (olej lub smar

plastyczny) po przejściu przez węzeł tarcia wydostaje się na zewnątrz układu i nie jest powtórnie zawracany.

Smarowanie może odbywać się indywidualnie lub grupowo (smarowanie centralne wielu punktów z jedne-



Rys. 4a. Schemat układu do smarowania obiegowego:

- 1 – zasobnik,
- 2 – zespół pompy olejowej,
- 3 – zawór ograniczający ciśnienie,
- 4 – elektryczna kontrola oleju,
- 5 – chłodnica,
- 6 – termometr,
- 7 – manometr,
- 8 – filtr,
- 9 – zawór regulacyjny przepływu (rozdzielacz),
- 10 – miejsce łożyskowania,
- 11 – przewód powrotny pompy;

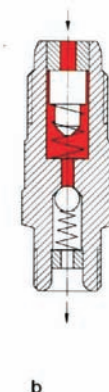
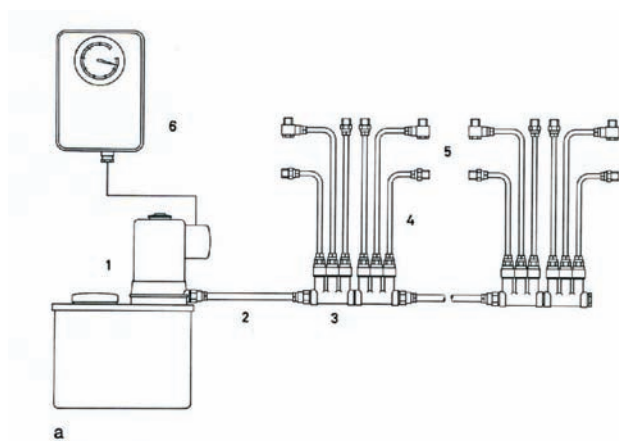
4b. Przykład budowy dławika

go źródła). W przypadku linii produkcyjnych i ciągów technologicznych układy centralnego smarowania są nowoczesnym i ekonomicznie uzasadnionym rozwiązaniem konstrukcyjnym, zapewniającym właściwe smarowanie urządzeń. Umożliwiają ciągły, precyzyjny dopływ środka smarnego do węzła tarcia, zwiększają niezawodność działania, zmniejszają zużycie energii i ograniczają niebezpieczeństwo zanieczyszczenia środka smarnego. Układy centralnego smarowania wymagają jednak dokonania wyboru uniwersalnego środka smarnego, optymalnego dla każdego rodzaju węzła tarcia maszyny [3]. Schemat układu do smarowania centralnego przedstawiono na rysunku 5.

Jedną z technik smarowania węzłów tarcia stanowią układy centralnego smarowania mgłą olejową. Olej doprowadzany jest do węzła tarcia za pomocą sprężonego

powietrza. Do smarowania metodą rozpyleniową (mgłą olejową) stosowane są oleje o niższej lepkości – do klasy lepkości ISO VG 46. Zaletą układów smarowania mgłą olejową jest zapobieganie przedostawaniu się zanieczyszczeń do węzłów tarcia, a ograniczeniem – względy ekologiczne.

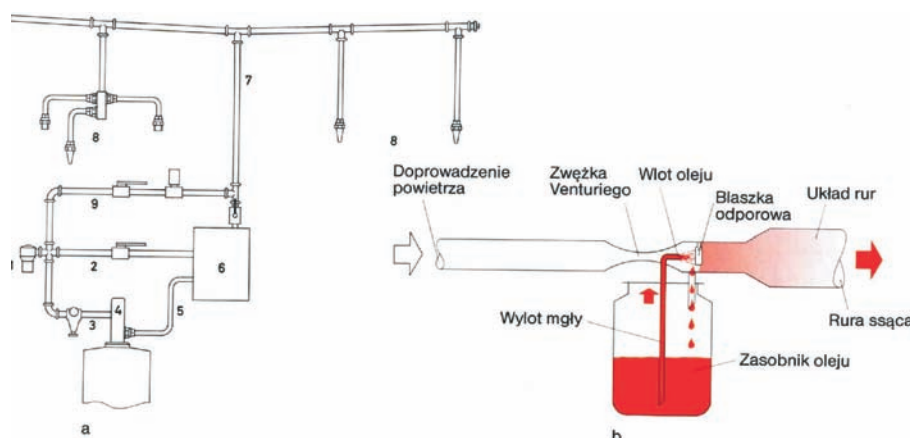
Mniejsze zagrożenie dla środowiska stanowi nowoczesna technika; smarowanie powietrzno-olejowe. Podobnie jak przy smarowaniu metodą rozpyleniową, sprężone powietrze wykorzystywane jest jako czynnik transportujący olej do punktów smarowania, jednak mechanizm tego „transportu” jest zasadniczo odmienny; szybko przepływające powietrze transportuje olej, zwilżając ścianki elementów smarowanych. Nie powstaje mgła olejowa, a jedynie nieznaczne ilości oleju dostarczane są do smarowanego punktu (rysunek 6).



Rys. 5a. Schemat urządzenia do smarowania centralnego:

- 1 – pompa,
- 2 – przewód główny,
- 3 – zawór dozujący,
- 4 – przewód do miejsca łożyskowania,
- 5 – miejsce łożyskowania,
- 6 – urządzenie sterujące;

5b. Przykład zaworu dozującego



Rys. 6a. Budowa urządzenia do smarowania mgłą olejową:

- 1 – filtr powietrzny,
- 2 – doprowadzenie powietrza,
- 3 – regulator ciśnienia,
- 4 – pompa,
- 5 – przewód główny,
- 6 – urządzenie do mgły olejowej,
- 7 – przewód,
- 8 – zwrotne dysze rozpylające,
- 9 – przewód powietrza;

6b. Schemat urządzenia do mgły olejowej

Dobór środka smarnego

Przy doborze środka smarnego do węzła tarcia decydujące znaczenie mają zalecenia producenta maszyn i urządzeń. W nowych konstrukcjach o doborze środka smarnego decydują głównie warunki eksploatacji węzła tarcia (tj. obciążenie, prędkość obrotowa i temperatura pracy łożyska), a także warunki środowiska. Ponadto, przewidziany do stosowania środek smarny (olej lub

smar plastyczny) powinien być kompatybilny z materiałem uszczelniającym i nie wykazywać niekorzystnego oddziaływania na materiał, z którego wykonane jest łożysko (szczególnie koszyk) [3, 6, 11, 12].

W tablicach 1 i 2 podano podstawowe właściwości użytkowe różnych gatunków smarów plastycznych, wytworzonych z udziałem olejów mineralnych i syntetycznych.

Tablica 1. Właściwości użytkowe smarów plastycznych wytworzonych z udziałem oleju mineralnego i różnych zagęszczaczy

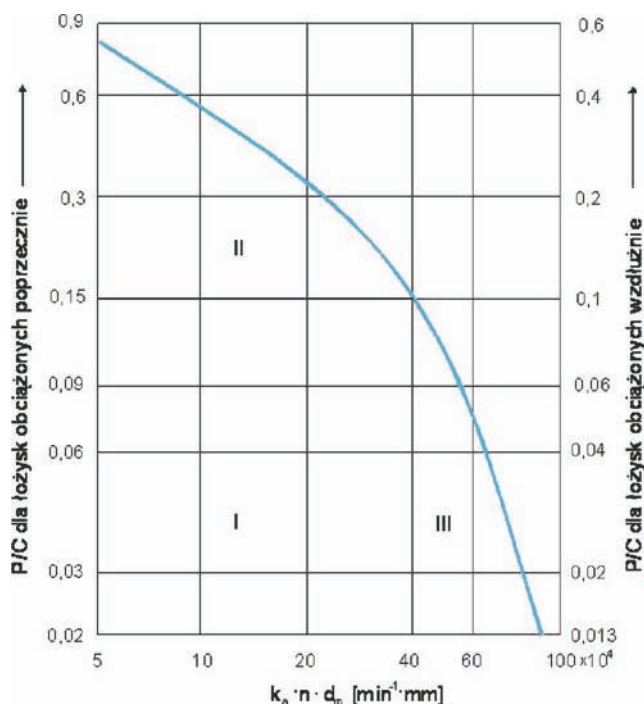
Typ smaru	Temperatura kroplenia [°C]	Maksymalna temperatura stosowania [°C]	Stabilność mechaniczna	Odporność na starzenie	Odporność na działanie wody
Wapniowy	90-100	50-60	Średnia, do dobrej	Słaba, do średniej	Bardzo dobra
Sodowy	170-190	90-110	Słaba, do dobrej	Średnia, do dobrej	Nieodporny
Litowy stearynianowy	190-200	100-120	Średnia	Dobra, do bardzo dobrej	Dobra
Litowy 12-hydroksystearynowy	190-200	130-150	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Bardzo dobra
Kompleksowy wapniowy	230-280	130-150	Dobra, do bardzo dobrej	Dobra, do bardzo dobrej	Bardzo dobra
Kompleksowy glinowy	250-280	130-150	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Bardzo dobra
Kompleksowy litowy	230-280	130-160	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Bardzo dobra
Polimocznikowy	230-270	140-170	Dobra, do bardzo dobrej	Bardzo dobra	Bardzo dobra
Bentonitowy	–	150-200	Dobra	Dobra, do bardzo dobrej	Dobra, do bardzo dobrej

Tablica 2. Właściwości użytkowe smarów plastycznych wytworzonych z udziałem olejów syntetycznych i różnych zagęszczaczy

Rodzaj zagęszczacza	Rodzaj oleju	Temperatura kroplenia [°C]	Zakres stosowania temperatur [°C]	Stabilność mechaniczna	Odporność na starzenie	Odporność na działanie wody	Szczególne zalecenia
Litowy 12-hydroksystearynowy	Estrowy	190-200	-60-130	Dobra, do bardzo dobrej	Dobra	Umiarkowana	Niskie temperatury, wysokie prędkości obrotowe
Litowy kompleksowy	Estrowy	230-280	-40-180	Bardzo dobra	Dobra	Dobra	Szeroki zakres temperatur pracy
Litowy kompleksowy	Silikonowy	230-280	-40-180	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Dobra	Szeroki zakres temperatur pracy
Polimocznikowy	Silikonowy	230-270	-40-200	Dobra, do bardzo dobrej	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Wysokie i niskie temperatury, niskie obciążenia
Polimocznikowy	Fluorosilikonowy	230-270	-40-200	Dobra, do bardzo dobrej	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Wysokie i niskie temperatury, umiarkowane obciążenia
PTFE	Fluorosilikonowy	–	-40-230	Dobra	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Wysoka odporność na chemikalia i rozpuszczalniki

Tablica 3. Dobór smaru plastycznego według różnych kryteriów

Lp.	Kryteria	Zalecenia
1.	Warunki eksploatacji <ul style="list-style-type: none"> wskaźnik prędkości obrotowej stosunek obciążeń P/C 	Dobór smaru według wykresu przedstawionego na rysunku 7
2.	Właściwości ruchowe <ul style="list-style-type: none"> nieznaczne tarcie, również przy rozruchu niskie i stałe tarcie, dopuszczalne wyższe tarcie przy rozruchu niski poziom szumów w łożysku 	<ul style="list-style-type: none"> Smar klasy konsystencji 1-2, zawierający olej syntetyczny niższej lepkości Smar klasy konsystencji 3-4, ilość oleju < 30% wolnej przestrzeni w łożysku lub smar klasy konsystencji 2-3, ilość oleju < 20% wolnej przestrzeni w łożysku Smar wysokiej czystości, klasy konsystencji 2, o gładkiej teksturze, olej bazowy wyższej lepkości
3.	Warunki zabudowy łożyska <ul style="list-style-type: none"> skośne lub pionowe położenie osi łożyska 	<ul style="list-style-type: none"> Smar klasy konsystencji 2-3, o wysokiej przyczepności
4.	Utrzymanie <ul style="list-style-type: none"> częste dosmarowywanie dorywcze dosmarowywanie smar na okres trwałości łożyska 	<ul style="list-style-type: none"> Smar klasy konsystencji 1-2 Smar klasy konsystencji 2-3, o dobrej stabilności mechanicznej Smar klasy konsystencji 2-3, o dobrej stabilności mechanicznej
5.	Warunki środowiska <ul style="list-style-type: none"> wysoka temperatura, dosmarowywanie niska temperatura woda skondensowana 	<ul style="list-style-type: none"> Smar bezpopiołowy, nie tworzący pozostałości Smar klasy konsystencji 1-2, zawierający olej syntetyczny i odpowiedni zagęszczacz Smar tworzący emulsje z wodą, np. sodowy lub litowy

Rys. 7. Dobór smaru plastycznego w zależności od stosunku obciążenia P/C i odniesionego do łożyska wskaźnika prędkości obrotowej $k_a \cdot n \cdot d_m$

Zasady doboru smarów plastycznych w oparciu o różne kryteria przedstawiono w tablicy 3, a zasady doboru smarów w zależności od obciążenia oraz prędkości obrotowej łożysk przedstawiono na rysunku 7.

Na rysunku tym obciążenie przedstawiono w postaci stopnia obciążenia P/C , gdzie P – jest obciążeniem

Zakres I

Normalny zakres pracy

Smary K do łożysk tocznych według DIN 51825

Zakres II

Zakres wysokich obciążeń

Smary KP do łożysk tocznych wg DIN 51825: T2 lub inne odpowiednie smary

Zakres III

Zakres wysokich prędkości obrotowych

Smary do łożysk szybkoobrotowych

Dla rodzajów łożysk przy $k_a > 1$ smary plastyczne według DIN 51825: T2 lub inne odpowiednie smary

Wartości k_a

$k_a = 1$ – łożyska kulkowe, kulkowe skośne, czteropunktowe, kulkowe wahliwe, walcowe obciążone poprzecznie, kulkowe wzdłużnie

$k_a = 2$ – łożyska baryłkowe, stożkowe, igielkowe

$k_a = 3$ – łożyska walcowe obciążone wzdłużnie, łożyska walcowe pełnowałeczkowe

nadany, a C – dynamiczną nośnością łożyska. Prędkość obrotową łożysk przedstawiono w postaci współczynnika obrotów $n \cdot d_m$, gdzie n – jest prędkością obrotową, a d_m – średnią podziałową łożyska.

Na rysunku wyróżniono trzy zakresy pracy smarów:

- Zakres I:** normalny zakres pracy. W przypadkach

objętych tym zakresem mogą być stosowane normalne, wielofunkcyjne smary do łożysk. Przy wyższych prędkościach i obciążeniach mogą wystąpić wyższe temperatury, co wymaga zastosowania smarów o podwyższonych maksymalnych temperaturach pracy.

- **Zakres II:** zakres wysokich obciążeń. Ten zakres pracy wymaga stosowania smarów o wysokiej lepkości oleju bazowego, z dodatkami EP lub dodatkami stałych środków smarowych, np. disiarczku molibdenu.
- **Zakres III:** zakres wysokich prędkości obrotowych przy niskim obciążeniu. Przy wysokich prędkościach obrotowych opór powodowany tarciem wewnętrznym smaru powinien być niski, a smar powinien posiadać dużą przyczepność. W takich przypadkach stosuje się smary plastyczne zawierające olej o niskiej lepkości – często olej syntetyczny, np. węglowodorowy lub estrowy.

Do smarowania łożysk tocznych stosowane są oleje mineralne i syntetyczne. Podstawowe wymagania jakościowe dla tej grupy środków smarowych przedstawiane są w normach międzynarodowych i specyfikacjach firmowych. Niezależnie, dla indywidualnych odbiorców stosowane są warunki dostawcze, zawierające minimalne wymagania, uwzględniające specyficzne właściwości technologiczne olejów.

W nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych najczęściej stosowane są oleje smarowe wytwarzane z udziałem olejów mineralnych. Oleje syntetyczne stosowane są w przypadkach występowania ekstremalnych warunków pracy węzłów tarcia.

W tabelicy 4 podano podstawowe właściwości fizykochemiczne olejów smarowych: mineralnych i syntetycznych.

Dobór oleju o odpowiedniej lepkości, dla uzyskania maksymalnej trwałości łożysk – przy założeniu normal-

nych warunków eksploatacji – dokonywany jest w oparciu o następujące założenia:

- $v = v_1$ łożyska kulkowe, kulkowe skośne, kulkowe wahlowe, walcowe obciążone poprzecznie, igiełkowe, stożkowe obciążone poprzecznie,
- $v = 2 v_1$ łożyska walcowe obciążone wzdłużnie, stożkowe obciążone wzdłużnie, baryłkowe jednorzędowe, baryłkowe, walcowe wzdłużne,
- $v = 2,5 v_1$ wolno obracające się łożyska walcowe wzdłużne i łożyska baryłkowe wzdłużne o średnicy zewnętrznej poniżej 400 mm,

gdzie:

- v – lepkość robocza oleju smarowego,
- v_1 – lepkość wzorcowa.

Lepkość wzorcową oleju, w zależności od prędkości obrotowej i średnicy łożyska, wyznacza się z diagramu przedstawionego na rysunku 2.

Po ustaleniu lepkości roboczej oleju dokonuje się doboru oleju o odpowiedniej lepkości nominalnej, w zależności od temperatury łożyska.

Dla olejów mineralnych o typowej charakterystyce (pod względem zależności lepkości od temperatury) może być wykorzystywany do tego celu diagram przedstawiony na rysunku 3.

W przypadku normalnych warunków eksploatacji, tj. ciśnieniu atmosferycznym, maksymalnej temperaturze 120°C oraz stosunku obciążeń $P/C < 0,1$, mogą być stosowane oleje nieinhibitowane, choć zalecane jest stosowanie olejów zawierających inhibitory utleniania (ochrona przed starzeniem) oraz inhibitory korozji.

W przypadkach, w których z uwagi na zalecenia konstrukcyjne urządzenia nie ma możliwości zastosowania oleju wymaganej lepkości, stosowane są oleje z dodatkami EP i dodatkami przeciwzużyciowymi.

Tabela 4. Porównanie właściwości olejów smarowych; mineralnych i syntetycznych

Rodzaj oleju	Olej mineralny	Syntetyczny węglowodorowy	Poliglikolowy	Estrowy	Silikonowy	Polieter fenyłowy
Wskaźnik lepkości	80-100	80-140	150-270	120-170	190-300	-70-20
Temperatura płynięcia	-60 ÷ -10	-80 ÷ -50	-55 ÷ -20	-70 ÷ -40	-80 ÷ -30	-12 ÷ +20
Temperatura zapłonu	140-250	180-240	150-300	200-230	150-350	150-340
Stabilność termiczna	3-2	3-2	4	4-3	2	1
Odporność na utlenianie	3	2	3	2	1	1
Właściwości smarne	2	2	2	2	4	3-2
Podatność na inhibitowanie	2	2-1	2	2-1	4	4
Oddziaływanie na elastomery	1	1	1	3	1	4

Skala ocen: 1 – bardzo dobra; 2 – dobra; 3 – dostateczna; 4 – zła

Smarowanie węzłów tarcia przy zastosowaniu smarów stałych odbywa się tylko w specjalnych przypadkach, to jest:

- łożyskowania w próżni, w której olej intensywnie odparowuje,
- łożyskowania urządzeń eksploatowanych w ekstremalnie niskich temperaturach,

- łożyskowania, w którym środek smarowy (olej lub smar plastyczny) w wyniku występujących sił odśrodkowych zostałyby odrzucony z łożyska.

Najczęściej stosowanymi smarami stałymi są grafit i dwusiarczek molibdenu – stosowane bezpośrednio jako proszki, w postaci kompozycji z olejem (pasta) lub kompozycji z tworzywem sztucznym, jako lakier przeciwierny.

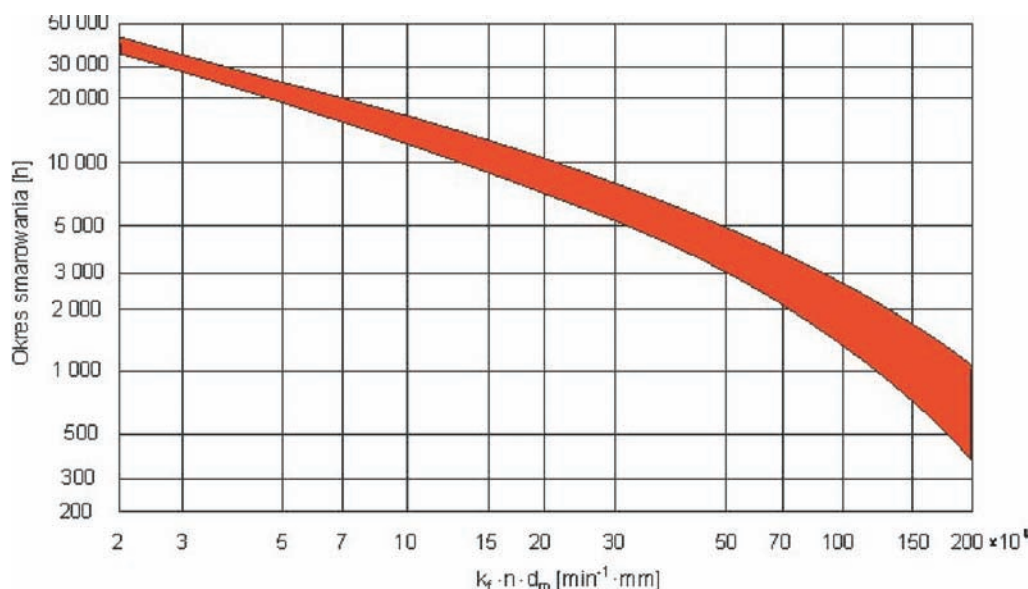
Trwałość eksploatacyjna

Trwałość eksploatacyjną smaru i wynikające stąd okresy smarowania, podobnie jak trwałość zmęczeniową łożysk, można wyznaczyć tylko dla określonego prawdopodobieństwa ubytku. Najczęściej przewiduje się, że obowiązują one dla 10-20% prawdopodobieństwa ubytku.

Teoretyczny okres pracy smaru w łożysku może być

wyznaczony z diagramu na podstawie znajomości iloczynu prędkości obrotowej n i jego średnicy d_m oraz współczynnika k_f (rysunek 8).

Wartości okresów smarowania wyznaczone na rysunku 8 ustalone zostały dla łożysk zawierających smar litowy i eksploatowanych w normalnych warunkach, tj. współ-



Rodzaj łożyska	k_f	Rodzaj łożyska	k_f
Łożyska kulkowe jednorzędowe	0,9-1,1	Łożyska walcowe: ▪ jednorzędowe ▪ dwurzędowe ▪ pełnowałeczkowe	1,8-2,3 2 25
Łożyska kulkowe dwurzędowe	1,5		
Łożyska kulkowe skośne: ▪ jednorzędowe ▪ dwurzędowe	1,6 2		
Łożyska do wrzecion $\alpha = 15^\circ$	0,75	Łożyska walcowe wzdłużne	90
Łożyska do wrzecion $\alpha = 25^\circ$	0,9	Łożyska igielkowe	3,5
Łożyska czteropunktowe	1,6	Łożyska stożkowe	4
Łożyska kulkowe wahliwe	1,3-1,6	Łożyska baryłkowe jednorzędowe	10
Łożysko kulkowe wzdłużne	5-6	Łożyska baryłkowe bez obrzeży	7-9
Łożyska kulkowe skośne wzdłużne	1,4	Łożyska baryłkowe ze środkowym obrzeżem	9-12

Rys. 8. Okresy smarowania łożysk tocznych smarem litowym w zależności od współczynnika prędkości obrotowej $k \cdot n \cdot d$ dla normalnych warunków pracy (współczynnik P/C poniżej 0,1, temperatura eksploatacji łożyska do 70°C , brak dostępu wody i zanieczyszczeń)

czynniku P/C poniżej 0,1, temperaturze eksploatacji łożyska do 70°C oraz przy braku dostępu do łożyska zanieczyszczeń i wody.

Przy wyższych obciążeniach i temperaturach, trwałość smarów (i okresy przesmarowywania łożysk) ulegają skróceniu. Wzrost temperatury o 15°C, przy temperaturze powyżej 70°C, powoduje obniżenie o połowę trwałości odczytanej z wykresu. Wpływ zanieczyszczeń, obciążeń udarowych, drgań itp. uwzględnia się stosując współczynniki zmniejszające trwałość eksploatacyjną. Wytyczne odnośnie do ich wielkości przedstawiono w tabelicy 5.

Określenie teoretycznych okresów trwałości smaru w łożysku możliwe jest również w oparciu o diagram opracowany przez firmę SKF (rysunek 9). Uwzględnia on zależność trwałości eksploatacyjnej od temperatury, prędkości obrotowej i średnicy zewnętrznej łożysk.

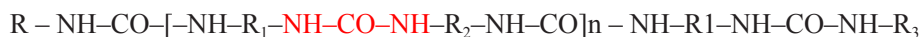
Tabela 5. Współczynniki obniżające trwałość eksploatacyjną łożyskowych smarów plastycznych

Wpływ kurzu i wilgoci w pomieszczeniach czynnych łożyska:	
umiarkowany	$f_1 = 0,7 \dots 0,9$
silny	$f_1 = 0,4 \dots 0,7$
bardzo silny	$f_1 = 0,1 \dots 0,4$
Wpływ obciążeń udarowych, wibracji i drgań:	
umiarkowany	$f_2 = 0,7 \dots 0,9$
silny	$f_2 = 0,4 \dots 0,7$
bardzo silny	$f_2 = 0,1 \dots 0,4$
Wpływ zwiększonych temperatur łożyska:	
umiarkowany (do 75°C)	$f_3 = 0,7 \dots 0,9$
silny (75°C ... 85°C)	$f_3 = 0,4 \dots 0,7$
bardzo silny (85°C ... 120°C)	$f_3 = 0,1 \dots 0,4$
Wpływ wysokich obciążeń:	
$P/C = 0,1 \dots 0,15$	$f_4 = 0,7 \dots 1,0$
$P/C = 0,15 \dots 0,25$	$f_4 = 0,4 \dots 0,7$
$P/C = 0,25 \dots 0,35$	$f_4 = 0,1 \dots 0,4$
Wpływ przepływu powietrza przez łożysko:	
nieznaczny przepływ	$f_5 = 0,5 \dots 0,7$
silny przepływ	$f_5 = 0,1 \dots 0,5$

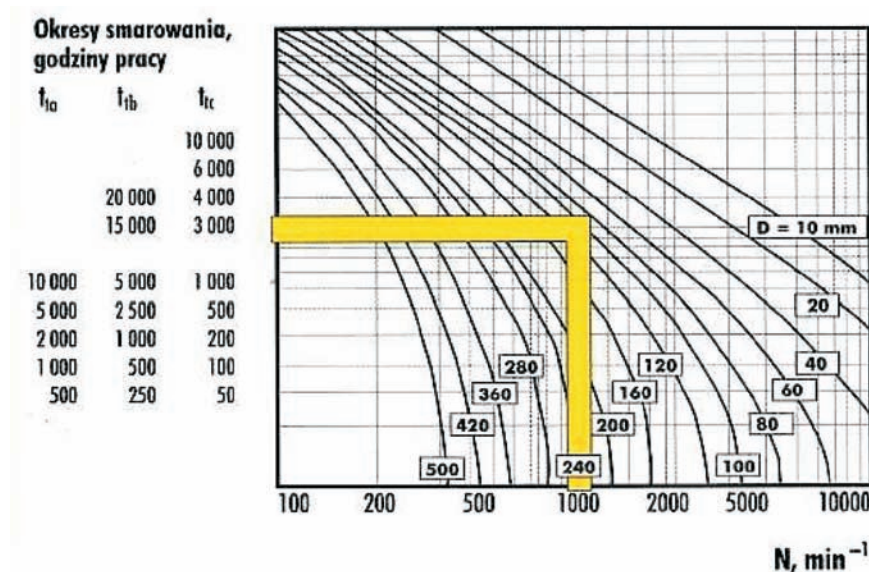
Nowoczesne gatunki smarów łożyskowych

Celem zapewnienia wysokich wymagań użytkowników, stosujących nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne maszyn i urządzeń, w charakterze smarów łożyskowych

stosowane są nowoczesne gatunki smarów o wysokim poziomie parametrów jakościowych, w tym szczególnie w zakresie trwałości pracy w łożysku.



Rys. 10. Ogólny wzór chemiczny polimocznikowych zagęszczaczy smarów plastycznych, gdzie: R i R₃ – rodnik alkilowy lub aryłowy monoaminy, R₁ – rodnik alkilowy lub aryłowy diizocyjanianu, R₂ – rodnik alkilowy lub aryłowy diaminy, N – 1-5



Rys. 9. Wyznaczanie okresów smarowania łożysk w zależności od średnicy zewnętrznej (D), prędkości obrotowej (N) i rodzaju łożyska

Przykładem nowoczesnego gatunku smaru, zalecanego szczególnie do łożysk zakrytych, są smary polimocznikowe, wytwarzane z udziałem organicznego, bezpopiołowego zagęszczacza, odpornego na procesy starzenia [8, 10].

Szczególne zalety smarów polimocznikowych uwiaczniają się przy smarowaniu łożysk szybkoobrotowych, eksploatowanych w granicznych dla smarów warunkach [8, 10].

Trwałość pracy w łożysku smarów polimocznikowych, określoną w badaniu w aparacie FAG FE9 według metodyki DIN 51 821, przedstawiono w tabelicy 6.

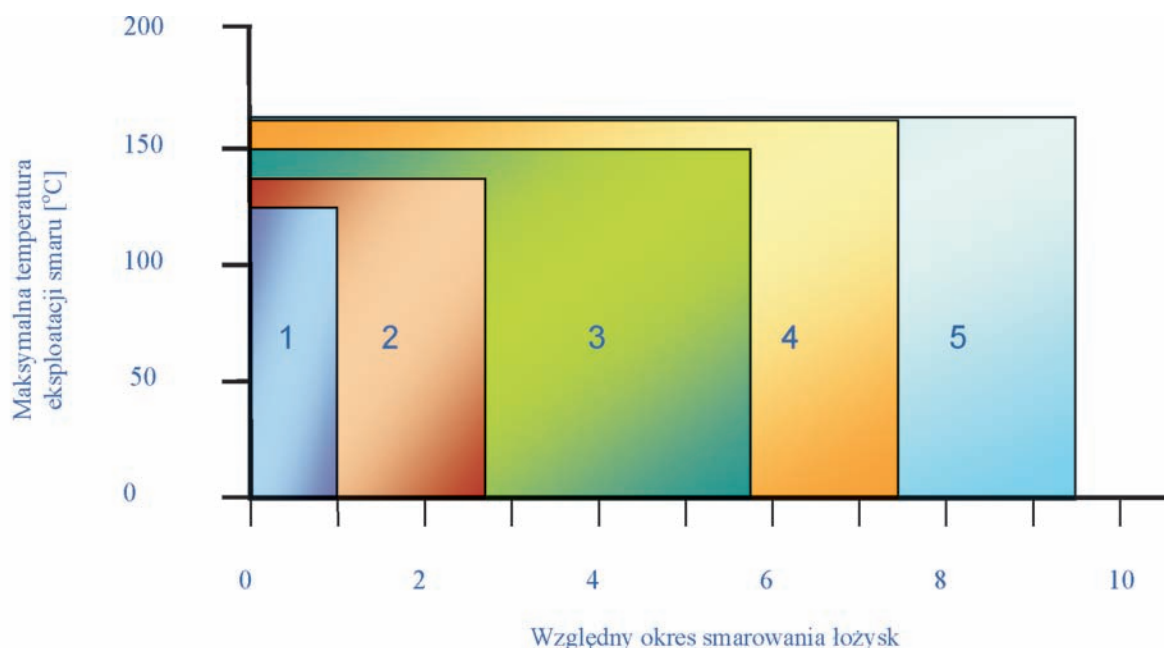
Tablica 6. Smary polimocznikowe – trwałość pracy w łożysku w badaniu w aparacie FAG FE 9 według DIN 51 821

Smear polimocznikowy, oznaczenie	1	2	3	4
Warunki badania				
▪ prędkość obrotowa [rpm]	6000	6000	6000	6000
▪ obciążenie osiowe [N]	1150	1150	1150	4150
▪ temperatura [°C]	160	160	180	180
Olej bazowy	PAO + olej mineralny	PAO + olej estrowy	olej estrowy	olej estrowy
Trwałość pracy łożysk				
L 10 – czas bezawaryjnej pracy 90% badanych łożysk [h]	143	60	330	345
L 50 – czas bezawaryjnej pracy 50% badanych łożysk [h]	440	135	510	> 530

Drugim wymienianym najczęściej gatunkiem smaru łożyskowego o wysokich parametrach jakościowych, umożliwiającym eksploatację w szerokim zakresie temperatur, obciążeń i prędkości obrotowej łożysk, są smary zagęszczone kompleksowym sulfonianem wapnia. Aktualnie produkty te stosowane są jako smary do specjalistycznych zastosowań, lecz z uwagi na ich zalety eksploatacyjne stanowią one perspektywiczny, nowoczesny gatunek smaru do wielofunkcyjnych zastosowań [5].

Trwałość eksploatacyjną smarów polimocznikowych oraz smarów zagęszczonych kompleksowym sulfonianem wapnia, na tle konwencjonalnych smarów łożyskowych, przedstawiono na rysunku 11. Na rysunku tym trwałość pracy w łożysku przedstawiono jako względny okres smarowania łożysk, w funkcji temperatury.

Z przedstawionych danych wynika, że smary łożyskowe nowej generacji w temperaturze 160°C charakteryzują się od trzy- do pięciokrotnie wyższą trwałością w odniesieniu do smarów litowych, hydroksystearynianowych.

**Rys. 11.** Trwałość eksploatacyjna konwencjonalnych i perspektywicznych gatunków smarów łożyskowych

1 – smary litowe stearynianowe, 2 – smary litowe hydroksystearynianowe, 3 – smary kompleksowe litowe, 4 – smary wapniowe sulfonianowe, 5 – smary polimocznikowe

Podsumowanie

Zapewnienie właściwego smarowania węzłów tarcia stanowi podstawowy – obok względów konstrukcyjnych – parametr wpływający na trwałość eksploatacyjną urządzeń.

Przy doborze smaru podstawowymi kryteriami są warunki eksploatacji łożyska, tj.: rodzaj i wielkość łożyska, prędkość obrotowa, obciążenie, zakres temperatur pracy oraz możliwość penetracji zanieczyszczeń do węzłów tarcia.

Nowoczesne gatunki łożyskowych smarów plastycznych stanowią produkty charakteryzujące się wysokimi walorami użytkowymi, w tym głównie wysoką trwało-

ścią eksploatacyjną; kilkakrotnie wyższą w porównaniu z konwencjonalnymi, wielofunkcyjnymi smarami litowymi hydroksystearnianowymi.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodomski

Literatura

- [1] Czarny R.: *Systemy centralnego smarowania maszyn i urządzeń*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [2] Elf Lubrificants Polska: *Systemy centralnego smarowania maszyn*. Paliwa, oleje, smary w eksploatacji, 72, 2000.
- [3] FAG – Wälzlager. *Schmierung von Wälzlagern*. Publ. Nr 11115, Schweinfurt 1996.
- [4] Lansdown A.R.: *Lubrication. A Practical Guide to Lubricant Selection*. Pergamon Press Ltd. Oxford OX OBW, England 1982.
- [5] Mackwood W., Muir R.: *Calcium Sulfonate Complex Grease The Next Generation Food Machinery Grease*. NLGI Spokesman, 67, 2, 2003, 17-22.
- [6] Materiały Techniczne firmy TOTAL: *Paliwa, oleje i smary w eksploatacji*. 1998/VII, nr 53, 16-19.
- [7] Materiały Techniczne firmy TOTALFINAELF Polska, Warszawa 2001.
- [8] Nadasdi T.: *Next Generation long-life Polyurea Greases*. NLGI Spokesman, 65, 8-14, 2001.
- [9] Neale M.J.: *Lubrication – A Tribology Handbook*, Butterworth – Heinemann Ltd. Oxford, 1993.
- [10] Root J.A., Scruton P.J.: *Second Generation Multi-Purpose Polyurea Grease*. NLGI Spokesman, 59, 5, 28-32, 1993.
- [11] SKF – Katalog Główny. Katalog 3200 P. Reg. 47.3000, 1985.
- [12] Zwierzycki W.: *Oleje smarowe – dobór i użytkowanie*. Radom, Wydawnictwo RN Glimar, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 1996.



Dr inż. Anna ZAJEZIERSKA – absolwentka Wydziału Chemicznego Politechniki Krakowskiej. Zastępca Kierownika Zakładu Olejów, Środków Smarowych i Asfaltów INiG w Krakowie. Specjalizuje się w zagadnieniach technologii wytwarzania środków smarowych do zastosowań przemysłowych i dla motoryzacji oraz oceną ich właściwości eksploatacyjnych. Autorka wielu publikacji patentowych.

ZAKŁAD OLEJÓW, ŚRODKÓW SMAROWYCH I ASFALTÓW

Zakres działania:

- opracowanie i modyfikacja technologii wytwarzania olejów podstawowych (bazowych);
- opracowanie i modyfikacja technologii wytwarzania środków smarowych: olejów przemysłowych silnikowych, smarów plastycznych, olejów technologicznych do obróbki metali oraz niskokrzepnących płynów do chłodnic i spryskiwaczy samochodowych;
- opracowanie i modyfikacja technologii wytwarzania parafin, wosków specjalnych i kompozycji woskowych,
- opracowanie i modyfikacja technologii wytwarzania asfaltów drogowych i przemysłowych oraz kompozytów asfaltowo-polimerowych;
- specjalistyczne badania i ocena właściwości użytkowych środków smarowych;
- specjalistyczne badania i ocena jakości parafin, wosków specjalnych i kompozycji woskowych;
- specjalistyczne badania i ocena jakości asfaltów drogowych przemysłowych oraz kompozytów asfaltowo-polimerowych;
- opracowywanie zagadnień związanych z gospodarką olejami odpadowymi i odpadami rafineryjnymi;
- sporządzanie ekobilansów procesów technologicznych metodą Oceny Cyklu Życia (LCA).

Kierownik: mgr inż. Stefan Ptak

Adres: ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków

Telefon: 12 617-74-32

Faks: 12 617-74-30, 12 617-75-22

E-mail: stefan.ptak@inig.pl

