



## Lotność olejów a charakterystyki porowatych łożysk ślizgowych

ARTUR KRÓL, TADEUSZ KAŁDOŃSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny,  
Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu,  
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki własnych badań wpływu lotności na charakterystyki łożysk porowatych. Autorzy podjęli ten problem, badając łożyska porowate nasączone olejami o różnym stopniu nasycenia. Zastosowano bazowe oleje mineralne, które charakteryzowały się szerokim zakresem lotności oznaczonej normatywną metodą Noacka od 4 do 30%. W pierwszym etapie przeprowadzono badania podstawowych parametrów olejów, łożysk i czopów badawczych. W drugim etapie przeprowadzono badania stanowiskowe (docieranie i praca przy różnych prędkościach obrotowych i obciążeniach).

Uzyskane wyniki badań wskazują na wpływ lotności na charakterystyki łożysk porowatych i konieczność uwzględniania tej właściwości olejów w procesie doboru do łożysk porowatych.

**Słowa kluczowe:** lotność olejów, łożyska porowate, stopień nasycenia

**Symbole UKD:** 621.822.5

### 1. Wstęp

Łożyska porowate nasączone olejami lub smarami stanowią uzupełnienie szerokiej gamy łożysk ślizgowych. Ze względu na swoją konstrukcję mogą pracować przy małej prędkości ślizgania pod znacznie wyższym obciążeniem niż łożyska konwencjonalne. Ponadto środek smarny zawarty w porowatej tulei zapewnia ciągłość smarowania przez cały okres pracy węzła tribologicznego, a przy dodatkowym dosycaniu w czasie pracy, nośność i trwałość tych łożysk dodatkowo się zwiększa. Dlatego też łożyska porowate nie wymagają zasilania środkiem smarnym z zewnętrznych układów smarowania i mogą być stosowane w węzłach tribologicznych, do których dostęp jest utrudniony, w położeniu pionowym i skośnym.

Jak wskazuje analiza literatury, proces doboru i konstruowania łożysk porowatych obejmuje tylko kilka istotnych właściwości wałka i tulei [2, 3, 5, 6]. Natomiast środek smarny dobierany jest jedynie przy uwzględnieniu jego lepkości, na podstawie ogólnych zaleceń, wykresów lub też teoretycznych obliczeń lepkości w oparciu o teorię smarowania hydrodynamicznego. Analiza warunków pracy łożyska, mechanizmu smarowania łożysk porowatych i zachodzących procesów fizykochemicznych wskazuje, że szereg innych właściwości środka smarnego istotnie wpływa na charakterystyki eksploatacyjne węzła tribologicznego z porowatą tuleją [13]. Ponadto wyniki badań eksperymentalnych wskazują, że łożyska porowate pracują w obszarze tarcia granicznego i mieszanego [2, 4, 7, 9-11], a jedynie tuleje o specjalnej konstrukcji umożliwiają wytworzenie warunków smarowania hydrodynamicznego. Lepkość środka smarnego w warunkach tarcia granicznego i mieszanego ma mniejsze znaczenie niż w przypadku smarowania hydrodynamicznego [1]. Ze względu na brak wymiany środka smarnego zawartego w porowatej tulei, trwałość, nośność i inne parametry pracy węzła ślizgowego będą zależały w dużej mierze od odporności oleju (smaru) na występujące wymuszenia. Dlatego odpowiednio dobrany środek smarny do łożysk porowatych powinien charakteryzować się zespołem właściwości, które zapewnią prawidłową pracę łożyska. Można do nich zaliczyć takie właściwości, jak: duża odporność na utlenianie, duża stabilność termooksydacyjna, optymalna smarność, mała lotność, odpowiednia lepkość, duża stabilność lepkości na zmiany temperatury (duży wskaźnik lepkości), brak oddziaływania korozyjnego na materiał tulei i czopa, odporność na ścinanie. Spośród tych parametrów jedynie lepkość i jej charakterystyki w funkcji temperatury są przytaczane i analizowane przez różnych autorów [3, 4, 10]. Jednakże, wydaje się, że występujące zjawiska w czasie pracy węzła tribologicznego z porowatą tuleją wymagają analizy całego zespołu właściwości środków smarnych.

Występujące wymuszenia cieplne (generowana temperatura) powodują, że mechanizm samosmarowania jest podtrzymywany, ale jednocześnie jest to przyczyną wyciekania środka smarnego z węzła tarcia i jego odparowywania. W efekcie prowadzi to do zmniejszenia ilości środka smarnego zawartego w ściankach tulei i zmniejszenia stopnia nasycenia. Zjawiska te w dużej mierze zależą od takich właściwości oleju, jak: odparowalność, lepkość, wskaźnik lepkości, ale również i aktywność powierzchniowa do materiału łożyska. Vinod Babu [11] prowadził badania stanowiskowe tulei porowatych o różnym stopniu nasycenia i wskazywał, że stopień nasycenia tulei nie może być niższy niż 0,4. Do problemu tego odnosi się również Lawrowski, przedstawiając zależność liczby Sommerfelda od stopnia nasycenia [8], osiągniętą dla dwóch olejów o różnej lepkości. Wraz ze wzrostem stopnia nasycenia liczba Sommerfelda rosła, a zatem warunki pracy ulegały poprawie. W innych badaniach Zozulia próbował powiązać trwałość badanych łożysk z właściwościami olejów (zawartość frakcji lotnych, zawartość żywic) i przedstawił następujący wzór (1):

$$t = \frac{Q \cdot \theta - (q_1 + q_t)}{V_t \cdot (S_t + S_c)}, \quad (1)$$

gdzie:  $t$  — trwałość [h];

$Q$  — masa oleju nasączającego tuleję [g];

$\theta$  — współczynnik zużycia oleju;

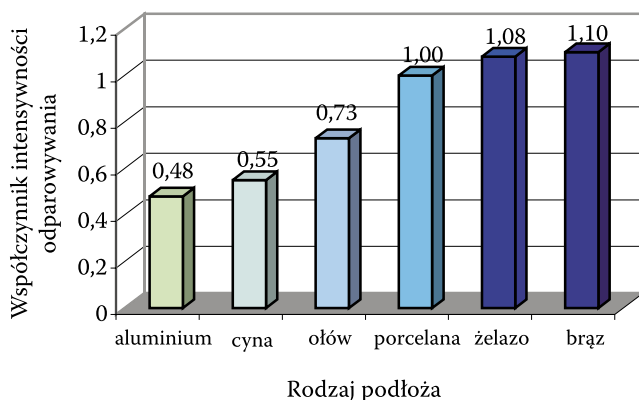
$q_1$  — ilość odparowanego oleju w danej temperaturze, po której intensywność odparowywania stabilizuje się [% v/v];

$q_t$  — ilość ciężkich frakcji (żywic), w danej temperaturze;

$V_t$  — odparowalność oleju [ $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ ] z powierzchni  $1 \text{ cm}^2$  przy danej temperaturze  $^{\circ}\text{C}$ ;

$S_t, S_c$  — powierzchnia tulei i czopa z których odparowuje olej [2].

Zozulia [2] zwrócił jednocześnie uwagę, że bardzo istotne znaczenie w intensywności odparowywania oleju z porowatej powierzchni ma materiał podłoża (rys. 1). Zastosowany olej nieznacznie intensywniej odparowywał z powierzchni brązowej niż żelaznej. Natomiast zmiana rodzaju podłoża na aluminiowy, cynowy lub ołowiany prowadziła do znacznego obniżenia intensywności odparowywania oleju.



Rys. 1. Wykres intensywności odparowywania oleju transformatorowego 20 z tej samej powierzchni dla różnych materiałów podłoża w stosunku do obojętnego podłoża porcelanowego na podstawie danych Zozuli [2]

Inni autorzy zajmowali się badaniem procesu wyciekania oleju z porowatej tulei w czasie, poprzez ocenę zmiany masy oleju zawartego w łożysku i stopnia nasycenia tulei [14]. Do rzadkości należą badania łożysk porowatych, w których oceniany jest wpływ odparowalności zastosowanych olejów na parametry pracy łożysk. Braun [20] przedstawia wyniki takich badań, w których dokonał oceny

lotności trzech zastosowanych olejów normatywną metodą ASTM D972. Łożyska nasączone olejem o największej odparowalności zacierały się znacznie szybciej niż pozostałe.

Brak jest również badań wpływu warunków procesu nasączenia tulei na właściwości olejów. Krzeziński [10] przedstawia wyniki badań wpływu parametrów procesu nasycania (podciśnienie, temperatura i czas) na osiągnięty stopień nasycenia tulei. Stwierdza, że zastosowane podciśnienie ze względu na możliwość zmiany właściwości olejów nie może być niższe niż 0,001 MPa, ale jednocześnie nie przedstawia wyników badań zmiany właściwości olejów w wyniku przeprowadzonego procesu nasycania.

Celem podjętych badań było określenie wpływu lotności olejów na charakterystyki porowatych łożysk ślizgowych.

## 2. Badania podstawowych właściwości olejów, łożysk i wałków

W pierwszym etapie badań przeprowadzono badanie podstawowych właściwości 6 próbek skomponowanych z baz olejowych mineralnych. Do badań użyto baz olejowych, które uzyskiwano poprzez destylację próżniową pozostałości poatmosferycznej destylacji ropy naftowej rurociągowej typu Ural. Z destylacji odbierano frakcje wyselekcjonowane w zakresie lepkości. Frakcje były poddawane rafinacji selektywnym rozpuszczalnikiem (furfurolem), a następnie deparafinizowane mieszaną rozpuszczalnikami (aceton, benzen, toluen). Końcowym etapem była rafinacja ziemiami bielącymi. Bazy te różnią się między sobą przede wszystkim lepkością i wskaźnikami lepkości, a także lotnością.

W drugim etapie badań przeprowadzono proces nasycania tulei handlowych (produkcji Polmo Łomianki nr katalogowy 397  $\varnothing 25^{-0,1}/35,2^{-0,16} \times 20^{-0,3}$  mm) badanymi olejami w taki sposób, aby osiągnąć różne stopnie nasycenia. Analiza literatury [5, 8-10], a także analiza mechanizmu samosmarowania porowatych łożysk ślizgowych wskazuje, że w pierwszym okresie pracy ubytek oleju jest spowodowany jego wpływem na skutek wzrostu temperatury i zmniejszania się lepkości oleju. Utrudnia to badanie wpływu lotności oleju na parametry pracy. Dlatego w celu wyeliminowania tego zjawiska przygotowano tuleje o różnym stopniu nasycenia. Jednocześnie dobrano niewielkie obciążenia pracy, tak aby łożyska pracowały w stabilnych warunkach, bez zagrożenia przegrzania. Tak przygotowane tuleje zbadano na stanowisku PLS-01, które jest na wyposażeniu Zakładu Tribologii i Logistyki Paliw i Smarów WAT i które szerzej scharakteryzowano w [12]. W trakcie przeprowadzonych badań stanowiskowych poszukiwano odpowiedzi na pytanie, czy stopień nasycenia tulei nasączonych olejami o różnej lotności będzie miał wpływ na pracę łożysk przy różnych parametrach  $p\nu$  ( $p$  — obciążenie,  $\nu$  — prędkość ślizgania) i czy lotność olejów będzie powodować szybsze zacieranie się łożysk.

TABELA 1

Zestawienie szczegółowych danych dotyczących testów stanowiskowych

Materiał łożyska	Proszek żelaza 97,5% Proszek miedzi 2,5%	Prędkość obrotowa	250 obr/min (0,26 m/s), 650 obr/min (0,85 m/s), 1050 obr/min (1,37 m/s), 1450 obr/min (1,90 m/s)
Materiał wałka	NC6	Procent zawartości oleju [%] (w/w)	3,26
Twardość wałka	60 HRC	Pasowanie	H7/d8
Wymiary łożyska	$\varnothing 25^{-0,1}/35,2^{-0,16} \times 20^{-0,3}$ mm	Średnia porowatość	21,5%
Średnia wartość luzu	60 $\mu$ m	Średnia gęstość łożyska	6,05 g/cm <sup>3</sup>

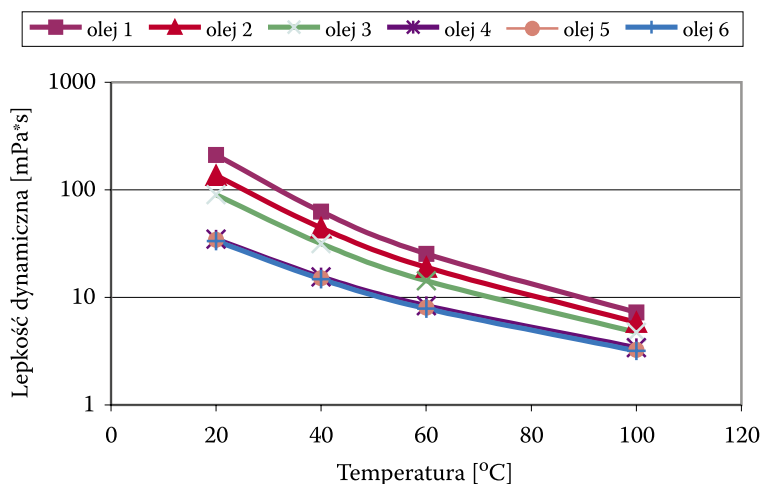
## 2.1. Wyniki badań właściwości olejów

W pierwszym etapie zbadano właściwości przygotowanych próbek baz olejowych. Bazy olejowe wybrano w taki sposób, aby otrzymać próbki o zróżnicowanej lotności oznaczonej metodą Noacka [17] (warunki normatywne: czas 1 h, 250°C podciśnienie 20 mm H<sub>2</sub>O — 196,12 Pa). Przeprowadzono również badanie lepkości kinematycznej [15] i obliczenia lepkości dynamicznej zgodnie z [15], obliczono wskaźnik lepkości w oparciu o [16]. Ponadto przeprowadzono badanie właściwości smarowościowych przygotowanych próbek olejów na aparacie czterokulowym, zgodnie z [18], oznaczając wartość obciążenia zespawania  $P_z$ , wskaźnika zużycia pod obciążeniem  $I_h$  i granicznego obciążenia zużycia  $G_{oz}$ . Wyznaczono również wartość obciążenia zacierającego  $P_t$  pod obciążeniem zmienianym w sposób płynny. W tabeli 2 i na rysunkach 2 i 3 podano wyniki badań lepkości i lotności mineralnych olejów bazowych.

TABELA 2

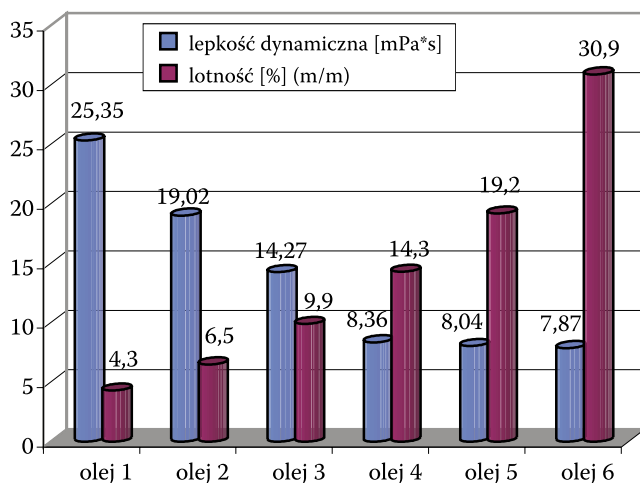
Wyniki badań przygotowanych 6 próbek mineralnych olejów bazowych

Nazwa próbki	Lepkość kinematyczna [mPa·s]				Wskaźnik lepkości WL	Lotność [%]
	$\eta_{20C}$	$\eta_{40C}$	$\eta_{60C}$	$\eta_{100C}$		
Olej 1	239,23	72,1	29,44	8,64	89	4,3
Olej 2	155,46	51,08	22,22	7,07	94	6,5
Olej 3	103,76	36,6	16,79	5,73	94	9,9
Olej 4	41,98	19,04	10,37	4,35	142	14,3
Olej 5	40,66	18,13	9,78	4,07	127	19,2
Olej 6	38,87	17,38	9,4	3,93	123	30,9

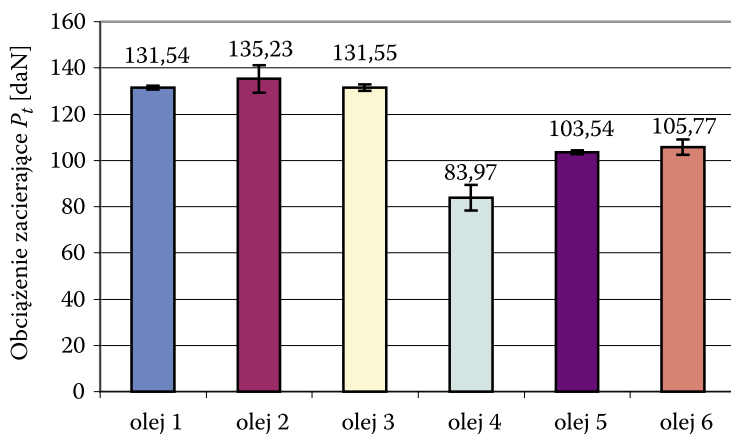


Rys. 2. Wykres logarymiczny lepkości dynamicznej olejów w funkcji temperatury

Na rysunku 3 porównano uzyskane wyniki badania lepkości dynamicznej olejów w temperaturze 60°C (bezpieczna wartość temperatury pracy łożysk porowatych) i badania ich lotności. Można zaobserwować, że wraz ze spadkiem lepkości rośnie lotność badanych olejów. Jednakże dla olejów 4, 5 i 6 uzyskano bardzo istotny efekt, to jest zróżnicowanie lotności tych olejów przy jednocześnie niewielkich, mało znaczących różnicach lepkości (rys. 2).



Rys. 3. Wykres porównawczy lepkości dynamicznej w temperaturze 60°C i lotności olejów

Rys. 4. Obciążenie zacierające  $P_t$  olejów (obciążenie zadawane płynnie przy 500 obr/min)

W tabeli 3 i na rysunku 4 podano wyniki badań właściwości smarnościowych olejów wykonane na aparacie czterokulowym.

TABELA 3

## Wyniki badań właściwości smarnościowych olejów

Nazwa	Obciążenie badawcze [daN]/Średnia średnica skaz [mm]						$P_n$	$P_z$	$G_{oz}$
	31,39	39,24	49,05	61,80	78,48	98,10			
Olej 1	0,28	0,31	0,33	0,36	2,43	2,70	61,80	117,12	268,29
Olej 2	0,28	0,31	0,33	2,01	2,40	2,53	49,05	117,12	250,41
Olej 3	0,28	0,31	0,35	2,18	2,48	2,83	49,05	117,12	268,88
Olej 4	0,28	0,31	0,33	2,16	2,48	2,94	49,05	117,12	244,70
Olej 5	0,28	0,31	0,35	2,21	2,39	2,86	49,05	117,12	288,88
Olej 6	0,30	1,40	1,81	2,13	2,43	2,79	31,39	117,12	305,79

Analiza wyników badań właściwości smarnościowych wskazuje, że badane oleje miały takie same właściwości przeciwzatarciowe (ta sama wartość  $P_z$  dla wszystkich próbek). Ponadto zaobserwowano, że oleje o większej lepkości (oleje 1-3) miały wyższą wartość  $P_t$  niż oleje o mniejszej lepkości. W obszarze intensywnego zużycia różnice wartości średniej średnicy śladu zużycia nie są znaczące i mieszczą się w granicach błędów pomiarowych.

## 2.2. Charakterystyka użytych łożysk i wałków

Przedmiotem badań były tuleje spiekane z proszku żelaza (97,5% Fe) z dodatkiem proszku miedzi (2,5% Cu) produkowane przez Polmo Łomianki S.A. (nr katalogowy wyrobu nr 397  $\text{Ø}25^{-0,1}/35,2^{-0,16} \times 20^{-0,3}$  mm). Zastosowano jeden rodzaj tulei ze względu na konieczność wyeliminowania wpływu rodzaju materiału łożyska, jego wymiarów i porowatości na charakterystyki eksploatacyjne tych łożysk, a także ze względu na opisany wyżej wpływ materiału podłoża na intensywność odparowywania olejów. Zastosowane łożysko jest jednostronnie kalibrowane (powierzchnia wewnętrzna) i standardowo nasączone olejem ochronnym Antykol TS-120. W badaniach stanowiskowych użyto wałków wykonanych ze stali NC6 (rys. 5 i 6).



Rys. 5. Widok ogólny wałka do badań stanowiskowych



Rys. 6. Widok ogólny węzła tribologicznego łożysko-wałek

Przed badaniem określano porowatość tulei, masę i stopień nasycenia [19], parametry chropowatości (tab. 4), a także wymiary średnicy wewnętrznej tulei po wciśnięciu w objęmkę w celu określenia rzeczywistego luzu łożyskowego. Wszystkie te oznaczenia wykonywano również po zakończeniu badania. Dla wałka badawczego określano wymiary zewnętrzne i chropowatość.

TABELA 4

Wyniki badania chropowatości wałków i tulei użytych do badań stanowiskowych

Lp.	Parametr chropowatości	Tuleja		Wałek	
		Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Wartość średnia	Odchylenie standardowe
1.	Ra	2,63 $\mu\text{m}$	0,36 $\mu\text{m}$	0,20 $\mu\text{m}$	0,06 $\mu\text{m}$
2.	Rm	21,92 $\mu\text{m}$	1,41 $\mu\text{m}$	2,05 $\mu\text{m}$	0,76 $\mu\text{m}$
3.	Rz	21,75 $\mu\text{m}$	1,48 $\mu\text{m}$	1,84 $\mu\text{m}$	0,67 $\mu\text{m}$
4.	Rt	21,92 $\mu\text{m}$	1,41 $\mu\text{m}$	2,05 $\mu\text{m}$	0,76 $\mu\text{m}$

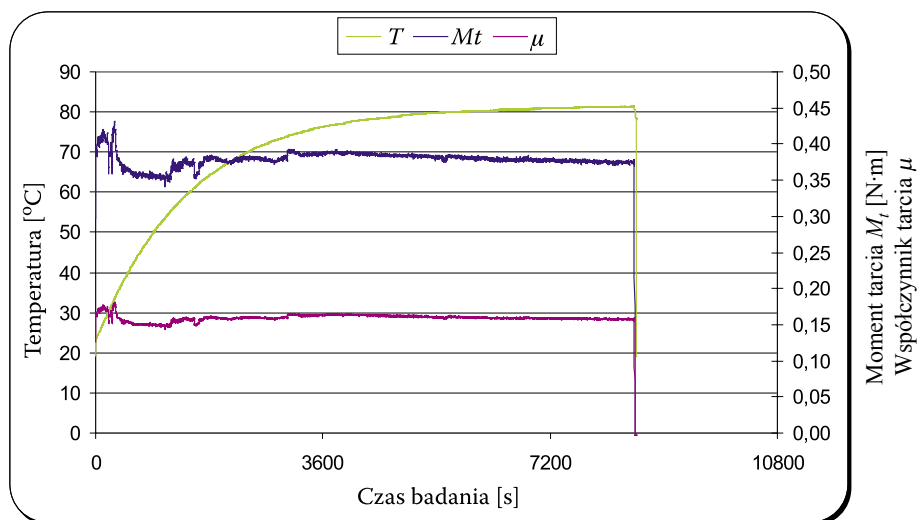


Jak wspomniano, bardzo istotnym elementem było przygotowanie tulei o odpowiednim stopniu nasycenia. W tym celu przeprowadzono proces nasycania, który polegał na zanurzeniu tulei w oleju, o temperaturze otoczenia, na kilka minut. Po wyjęciu tuleje natychmiast wycierano, tak aby uniknąć zasysania dodatkowej ilości oleju, co mogło znacząco podwyższyć końcowy stopień nasycenia. Tuleje ważono i określano stopień nasycenia, a w przypadku gdy jego wartość była za niska proces kontynuowano.

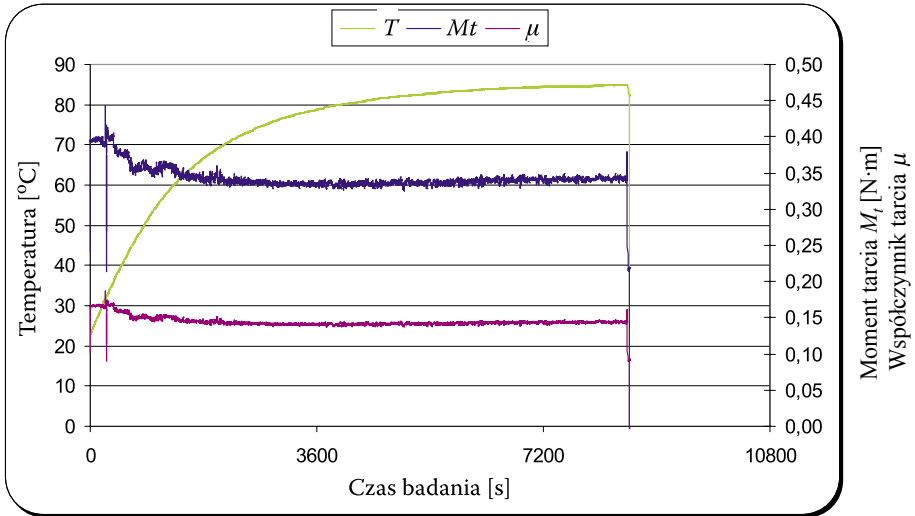
### 2.3. Wyniki badań stanowiskowych

W wyniku przeprowadzonych badań stanowiskowych otrzymano charakterystyki łożysk przy różnym stopniu nasycenia, nasączonych olejami o zróżnicowanej lotności (rys. 7-10).

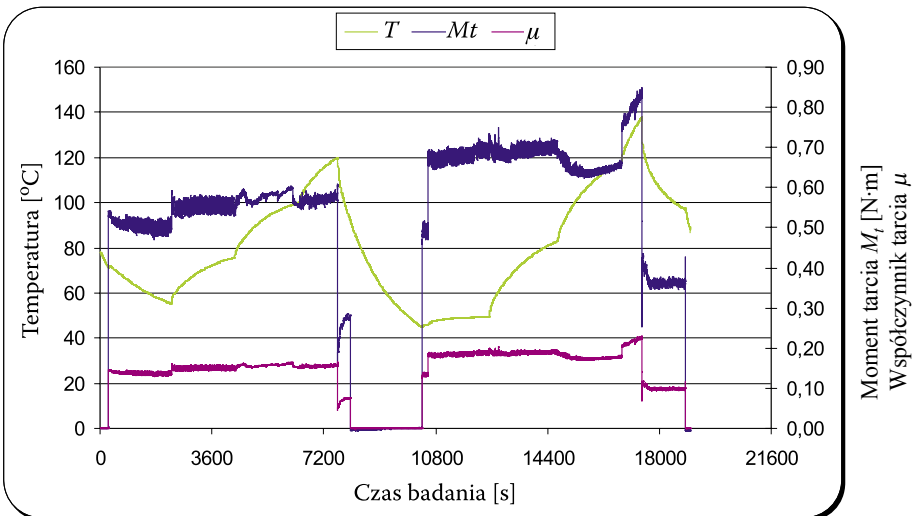
Analiza uzyskanych wyników badań wskazuje, że stopień nasycenia łożyska miał istotny wpływ na parametry pracy łożysk dopiero poniżej wartości 50%, co znajduje potwierdzenie w literaturze [11]. Zaobserwowano, że czas docierania łożysk nasączonych olejami 1-3 był podobny jak dla olejów 4-6. Jednakże moment tarcia, a w efekcie współczynnik tarcia, miał wyższą wartość dla olejów 1-3, co wynikało z większej lepkości tej grupy olejów, a także większej wartości  $P_t$  niż w przypadku olejów 4-6. Niższa wartość  $P_t$  zastosowanego oleju odpowiadała mniejszej wartości momentu tarcia i współczynnika tarcia.



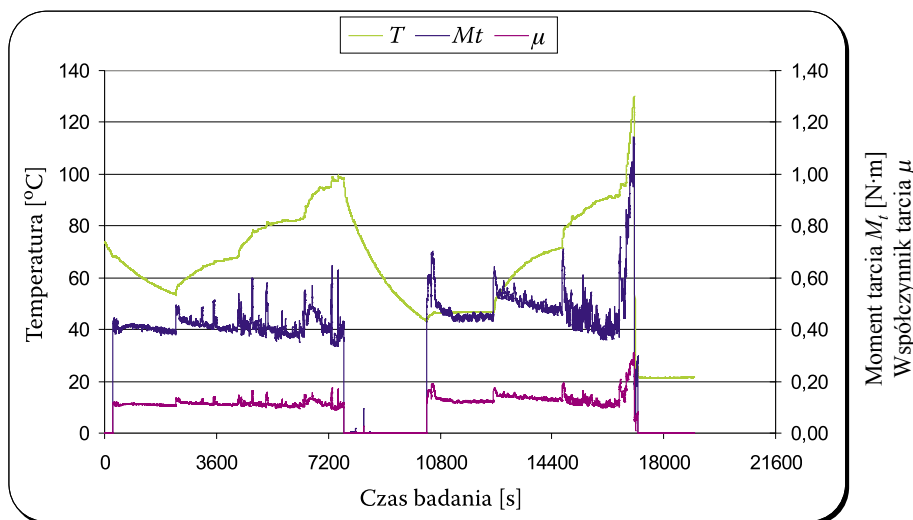
Rys. 7. Wykres zmian momentu tarcia  $M_t$ , temperatury  $T$  i współczynnika tarcia  $\mu$  w etapie docierania łożyska nasączonego olejem 1 (stopień nasycenia 100%)



Rys. 8. Wykres zmian momentu tarcia  $M_t$ , temperatury  $T$  i współczynnika tarcia  $\mu$  w etapie docierania łożyska nasączonego olejem 6 (stopień nasycenia 100%)



Rys. 9. Wykres zmian momentu tarcia  $M_t$ , temperatury  $T$  i współczynnika tarcia  $\mu$  w etapie badań właściwych łożyska nasączonego olejem 1 (nasycenie 40,2%)



Rys. 10. Wykres zmian momentu tarcia  $M_t$ , temperatury  $T$  i współczynnika tarcia  $\mu$  w etapie badań właściwych łożyska nasączonego olejem 5 (nasylenie 57,7%).

Jednakże, gdy stopień nasycenia miał wartość niższą niż 50%, to oleje o większej lepkości i mniejszej lotności (oleje 1-3) miały korzystniejszy wpływ na parametry pracy łożysk, a ich praca była bardziej stabilna. W przypadku łożysk nasączonych olejami 4-6 poniżej 50% zaobserwowano wyższe wartości momentu tarcia, a jego przebieg już przy mniejszych obciążeniach i prędkościach ślizgania był nierównomierny i niestabilny. W końcowym efekcie parametry pracy łożysk nasączonych olejami o wyższej lotności szybko pogarszały się, następował wzrost momentu tarcia i temperatury, a łożysko nie przechodziło pozytywnie całego testu. Dla łożysk nasączonych olejami 1-3 proces ten następował przy większych obciążeniach i prędkościach ślizgania.

Pełnego testu na stanowisku nie ukończono dla wszystkich łożysk, których nasycenie było niższe niż 50%. Łożyska takie po pracy miały znacznie wyższe wartości chropowatości niż dla łożysk nasączonych powyżej 50%. Ponadto zaobserwowano wyraźną różnicę w masie łożysk po teście nasączonych olejami 1-3 w porównaniu do łożysk nasączonych bardziej lotnymi olejami 4-6.

### 3. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań stanowiskowych łożysk wskazują, że lotność ma istotne znaczenie w procesie samosmarowania łożyska porowatego. Łożyska nasączone olejami o większej lotności wykazywały gorsze parametry

pracy, o ile stopień nasycenia był odpowiednio niski. Prowadzi to do wniosku, że lotność zastosowanych olejów nabiera znaczenia, gdy łożysko osiąga niższy stopień nasycenia, np. w wyniku intensywnego wyciekania oleju przy nieprawidłowo dobranej jego lepkości do warunków pracy. Zmniejszony stopień nasycenia powoduje, że lotność staje się głównym czynnikiem wpływającym na straty oleju w trakcie pracy, a w efekcie wpływającym na jego nośność i trwałość. Dlatego niezbędne jest uwzględnianie tego parametru przy doborze olejów do porowatych łożysk ślizgowych.

Artykuł wpłynął do redakcji 23.11.2005 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w maju 2006 r.

#### LITERATURA

- [1] M. HEBDA, A. WACHAL, *Trybologia*, WNT, Warszawa, 1980.
- [2] В. Д. ЗОУЛЯ, *Смазки для спеченных самосмазывающихся подшипников*, Киев, 1976.
- [3] K. KRZEMIŃSKI, *Zastosowanie i dobór samosmarujących łożysk porowatych*, Przegląd Mechaniczny, nr 5-6, 1981, 5-7.
- [4] K. KRZEMIŃSKI, *Nośność łożysk ślizgowych z panwiami porowatymi*, Przegląd Mechaniczny, nr 18, 1973, 653-655.
- [5] Z. LAWROWSKI, *Tendencje rozwojowe ślizgowych łożysk bezobsługowych*, Tribologia, nr 4, 1999, 521-533.
- [6] Z. LAWROWSKI, *Podstawy doboru materiałów na ślizgowe łożyska bezobsługowe*, Tribologia, nr 5-6, 1997, 734-743.
- [7] K. KRZEMIŃSKI, *Właściwości ruchowe samosmarujących łożysk porowatych stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym*, Przegląd Mechaniczny, nr 5, 1979, 14-18.
- [8] Z. LAWROWSKI, *Mechanizm samosmarowania łożysk z tulejek porowatych na przykładzie pomrętów stalowych*, Przegląd Mechaniczny, nr 22, 1962, 691-696.
- [9] K. KRZEMIŃSKI, *Rozkłady przepuszczalności w porowatych tulejach łożyskowych spiekanych z proszków żelaza*, Metalurgia Proszków, 1984, 85-95.
- [10] K. KRZEMIŃSKI, *Właściwości użytkowe łożysk porowatych i konwencjonalnych w ruchu obrotowym i obrotowo-zwrotnym*, Metalurgia Proszków, 1983, 47-53.
- [11] R. AMAN, L. VINOD BABU, *Tests on sintered bearings with reduced oil contents*, Wear, 1984, no. 95, 263-269.
- [12] B. GIEMZA, T. KALDOŃSKI, *The investigations of friction and wear of porous bearings lubricated by greases*, Applied Mechanics and Engineering, Special issue: ITC 2004, vol. 9, Zielona Góra, 2004, 147-152.
- [13] T. KALDOŃSKI, A. KRÓL, *Dobór środków smarowych do porowatych łożysk ślizgowych*, Problemy Eksploatacji, 2000, nr 3, 81-95.
- [14] B. KORYTKOWSKI, *Łożyska samosmarujące — wydzielanie oleju z porowatego spieku na skutek zmian temperatury*, Zagadnienia tarcia, zużycia i smarowania, nr 9, 1971, 25-41.
- [15] PN-C-04011:1981, *Przetwory naftowe. Oznaczanie lepkości kinetycznej i obliczanie lepkości dynamicznej*.
- [16] PN-C-04013:1979, *Obliczanie wskaźnika lepkości na podstawie lepkości kinematycznej w 40 i 100°C*.

- [17] ASTM D5800, *Standard Test Method for Evaporation Loss of Lubricating Oils by the Noack Method*.
- [18] PN-C-04147:1976, *Przetwory naftowe. Badanie własności smarnych olejów i smarów*.
- [19] PN-H-04934:1981, *Metalurgia proszków. Oznaczanie gęstości, porowatości otwartej, zawartości oleju i stopnia nasycenia*.
- [20] A. L. BARUN, *Porous bearings*, Tribology International, October 1982, 235-242.

A. KRÓL, T. KAŁDOŃSKI

### **Evaporation of oils versus tribological characteristics of porous bearings**

**Abstract.** In the article, the problem of oils evaporation was discussed and the investigation results of porous bearings having different saturation rates were presented. Oil samples were basic mineral oils with different volatilities, estimated by Noack method, ranging from 4% to 30%. At the first stage, investigations of chosen parameters of oils, bearings, and shafts were performed. At the second stage, stand tests were carried out (running-in process and operation under conditions of different sliding speeds and loads).

The obtained results confirmed that oil evaporation has significant influence on operation characteristics of porous bearings. Finally, it was noticed that evaporation of oils should be regarded in the process of oil selection to porous bearings.

**Keywords:** oil evaporation, porous bearing, saturation rate

**Universal Decimal Classification:** 621.822.5

