

**Anna MATUSZEWSKA<sup>\*</sup>, Marian GRĄDKOWSKI<sup>\*\*</sup>,  
Monika MAKOWSKA<sup>\*\*</sup>**

## **OPTYMALIZACJA ZAWARTOŚCI DODATKÓW SMARNYCH W MODELOWYCH KOMPOZYCJACH SMAROWYCH**

### **OPTIMIZATION OF THE ADDITIVES CONTENT IN MODEL LUBRICANTS**

#### **Słowa kluczowe**

tarcie, smarowanie, kompozycje smarowe, dodatki smarne, zacieranie

#### **Key-words:**

friction, lubrication, lubricant compositions, lubricating additives, scuffing

#### **Streszczenie**

Zbadano wpływ wybranych, komercyjnych dodatków smarnych na zdolność środka smarowego na bazie mineralnego oleju podstawowego SAE 30/95 do przeciwdziałania zacieraniu. Badania prowadzono za pomocą aparatu czterokulowego T-02, umożliwiającego liniowy przyrost obciążenia.

---

<sup>\*</sup> Instytutu Paliw i Energii Odnawialnej, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa.

<sup>\*\*</sup> Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom.

żenia węzła tarcia. Porównania właściwości smarnych badanych dodatków dokonano na podstawie wielkości obciążenia zacierającego ( $P_t$ ), granicznego nacisku zatarcia ( $p_{oz}$ ) oraz analizy zmian momentu i współczynnika tarcia w funkcji obciążenia. Wartości poszczególnych badanych parametrów zależą od rodzaju i zawartości dodatków smarnych w kompozycji smarowej. W wielu przypadkach stwierdzono brak monotonicznej zależności badanej cechy od zawartości dodatku w kompozycji, przy czym maksima dla różnych badanych dodatków oraz poszczególnych badanych cech występują przy różnych stężeniach dodatków w kompozycji smarowej. Brak monotoniczności oraz różna zależność badanych cech dla różnych dodatków od ich stężenia w oleju uniemożliwia aprioryczną optymalizację składu oleju smarowego. Stwierdzono także, że kompozycje smarowe o porównywalnej wartości  $P_t$  mogą wykazywać znaczne różnice wartości  $p_{oz}$  i odwrotnie. Wskazuje to, że maksymalna wartość obciążenia zacierającego nie powinna być jedynym kryterium optymalizacji zawartości dodatku smarnego w kompozycji. Fakty te powinny być brane pod uwagę podczas komponowania środków smarowych dla określonych rodzajów węzłów i warunków tarcia.

## WPROWADZENIE

Istotnym zagadnieniem w budowie i eksploatacji maszyn jest niezawodność węzłów tarcia. W praktyce kształtowanie trwałości węzłów tarcia odbywa się na drodze doboru materiałów konstrukcyjnych, obróbki ich powierzchni (warstwy wierzchniej) oraz doboru materiałów smarowych. Nie istnieje jednak powszechnie uznany opis teoretyczny łączący właściwości fizykochemiczne środka smarowego ze zjawiskami i procesami towarzyszącymi tarcia. W efekcie brak jest podstaw teoretycznych dobiegania składników środka smarowego dla określonych materiałów i warunków pracy węzła tarcia. Nie ulega jednak wątpliwości, że elementem determinującym właściwości systemu tribologicznego jest warstwa wierzchnia. To w jej obrębie zachodzą wszystkie zjawiska i procesy związane ze zużyciem i zacieraniem.

Właściwości warstwy wierzchniej kształtowane są na etapie produkcji elementów maszyn [L. 1–3]. Mniejszą uwagę zwraca się na możliwość wpływania na nie także podczas eksploatacji. W warunkach tarcia skład chemiczny i właściwości fizyczne warstwy wierzchniej zmieniają

się w wyniku oddziaływania na nią aktywnych składników środka smarowego [L. 4–6]. Charakter tych zmian w znacznej mierze zależy od właściwości warstwy granicznej, które z kolei są pochodną składu chemicznego środka smarowego. Cząsteczki polarne tej warstwy, znajdujące się najbliżej powierzchni ciała stałego, podlegają uporządkowaniu przestrzennemu, a często także fizycznemu lub chemicznemu związaniu z powierzchnią [L. 7]. W wyniku tych oddziaływań, na powierzchni tarcia powstają nowe warstwy wierzchnie, decydujące o właściwościach systemu tribologicznego. Możliwe jest więc takie kształtowanie systemu tribologicznego, aby modyfikowana podczas tarcia warstwa wierzchnia wykazywała optymalną odporność na zużywanie i zacieranie. Kluczową rolę odgrywa w tym względzie charakter chemiczny materiału warstwy wierzchniej i środka smarowego. Determinują one mechanizmy procesów tribochemicznych, kształtujących właściwości warstwy wierzchniej w fazie eksploatacji [L. 8].

Celem pracy było zbadanie możliwości optymalizacji właściwości smarnych kompozycji smarowych na bazie oleju podstawowego SAE 30/95 i wybranych dodatków o działaniu AW/EP oraz ustalenie korelacji pomiędzy zawartością dodatków smarnych w oleju a wartościami obciążenia zacierającego ( $P_t$ ) i granicznego nacisku zatarcia ( $p_{oz}$ ).

## OBIEKTY I METODY BADAŃ

Do mineralnego oleju podstawowego SAE 30/95 (**Tab. 1**) wprowadzano odmierzoną ilość komercyjnego dodatku smarnego o działaniu AW/EP (od 0,5% do 7,5% wag.) i tak uzyskaną kompozycję homogenizowano. W badaniach używano handlowych pakietów dodatków (ok. 50-procentowe roztwory składników aktywnych w oleju podstawowym) firm ETHYL i LUBRIZOL. Zastosowano następujące pakiety, które w pracy oznaczono symbolami przedstawionymi w **Tab. 2**: *Hitec 340* (D3), *Hitec 381* (D4), *Anglamol 99* (D5), *Lubrizol 5345* (D6) i *Lubrizol 5346* (D7). Przy wyborze dodatków kierowano się rodzajem i zawartością pierwiastków aktywnych w pakiecie. D7 oparty jest na siarkowanych estrach kwasów tłuszczowych, pozostałe – na siarkowo-fosforowych lub siarkowo-chlorowych związkach organicznych.

**Tabela 1. Charakterystyka mineralnego oleju podstawowego SAE 30/95**

Table 1. SAE 30/95 mineral basic oil characteristic

Lp.	Właściwość	Wartość
1	Lepkość kinematyczna w temp. 40°C, [mm/s <sup>2</sup> ]	78,7
2	Lepkość kinematyczna w temp. 100°C, [mm/s <sup>2</sup> ]	9,97
3	Wskaźnik lepkości	107
4	Obciążenie zacierające, P <sub>t</sub> , [N]	1217±100
5	Obciążenie zatarcia, P <sub>oz</sub> , [N]	3000±100
6	Graniczny nacisk zatarcia, p <sub>oz</sub> , [N/mm <sup>2</sup> ]	260±15

Przebieg procesów zużywania i zacierania zależy od rodzaju materiału elementów trących, w szczególności właściwości warstwy wierzchniej, lepkości oraz aktywności chemicznej środka smarowego, a także obciążenia, prędkości poślizgu i temperatury styku. W warunkach prowadzenia testów tribologicznych normalizować można praktycznie wszystkie powyższe parametry. Jeżeli jedyną zmienną jest skład oleju, to można przyjąć, że rejestrowane zużywanie i zacieranie jest funkcją zdolności środka smarowego do przeciwdziałania tym procesom i zależy od jego rodzaju i zawartości poszczególnych komponentów w oleju smarowym. Przy zachowaniu tej samej bazy olejowej, zmieniając rodzaj i zawartość dodatków smarnych można badać ich wpływ na trwałość węzła tarcia, a w efekcie także optymalizować ich zawartość w kompozycji smarowej. Optymalizacji zawartości poszczególnych dodatków smarnych w kompozycjach dokonano na podstawie porównania wartości obciążenia zacierającego (P<sub>t</sub>) oraz granicznego nacisku zatarcia (p<sub>oz</sub>), a także analizy zmian momentu tarcia i współczynnika tarcia w funkcji stężenia dodatku w oleju oraz obciążenia węzła tarcia.

**Tabela 2. Skład elementarny (wg danych producentów) i umowne symbole zastosowanych pakietów dodatków AW/EP**

Table 2. Elementary composition (according to the producer's information) and conventional symbols of used AW/EP additives

Symbol pakietu/dodatku *	Zawartość pierwiastka aktywnego dodatku, [% wag.]			
	S	P	N	Cl
D3	39,7	0,75	-	
D4	22,4	1,56	-	0,03
D5	31,8	1,72	0,94	-
D6	20	-	-	21
D7	10,5	-	-	-

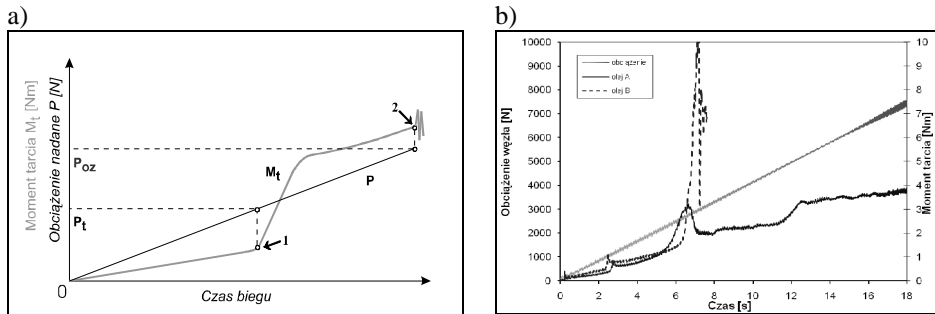
\* używano pakietów handlowych (ok. 50-proc. roztwory dodatków w oleju podstawowym)

Właściwości smarne kompozycji badano za pomocą aparatu cztero-kulowego T-02. Testy prowadzono przy liniowym przyroście obciążenia w następujących warunkach: prędkość obrotowa wrzeciona  $500 \pm 20$  obr./min, prędkość poślizgu 0,19 m/s, przyrost obciążenia 409 N/s, obciążenie końcowe  $7400 \pm 100$  N, temperatura  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Porównania właściwości przeciwzatarciowych kompozycji smarowych dokonywano na podstawie wartości obciążenia zacierającego  $P_t$  (wg PN-C-04141:1976), natomiast odporności warstwy wierzchniej na zacieranie na podstawie wartości granicznego nacisku zatarcia wyznaczanego według metodyki opisanej w [L. 9]. Jako wynik testów przyjmowano średnią arytmetyczną z wyników co najmniej trzech biegów testowych, wolnych od błędu grubego. Przynależność poszczególnych wyników do zbioru danych weryfikowano za pomocą testu Q-Dixona przy 95-procentowym poziomie ufności.

Jako elementy testowe węzłów tarcia stosowano kulki ze stali łożyskowej ŁH-15 o średnicy 12,7 mm. Przed testami tribologicznymi wszystkie elementy testowe myto w benzynie ekstrakcyjnej za pomocą myjki ultradźwiękowej przez 10 minut.

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na **Rys. 1a** przedstawiono teoretyczną krzywą momentu tarcia  $M_t$  w funkcji obciążenia węzła  $P$  [L. 9]. W punkcie 1 na krzywej momentu tarcia (**Rys. 1a**) obserwuje się nagły wzrost jego wartości, wyznaczający obciążenie zacierające ( $P_t$ ). W klasycznym przypadku w tym momencie test jest przerywany. Pozwala to określić jedynie nośność filmu smaru. W [L. 9] opisano metodę pozwalającą na uzyskanie pełniejszej informacji o właściwościach systemu tribologicznego w warunkach zacierania. Obciążenie wzrasta pomimo osiągnięcia  $P_t$  aż do rzeczywistego zatarcia (unieruchomienia) węzła przy obciążeniu zatarcia ( $P_{oz}$ ) (punkt 2 na **Rys. 1a**). Znajomość wartości obciążenia zatarcia oraz wielkości skaży zużycia, przy której ono nastąpiło pozwala na ilościowe określenie granicznego nacisku zatarcia ( $p_{oz}$ ). Środek smarowy ma tym lepsze właściwości przeciwzatarciowe im większa jest wartość granicznego nacisku zatarcia oraz mniejszy przyrost momentu tarcia pomiędzy punktami 1 i 2 [L. 9].



**Rys. 1. Zależność momentu tarcia od obciążenia węzła tarcia: a) zależność teoretyczna, b) zależność wyznaczona eksperymentalnie dla różnych olejów smarowych**

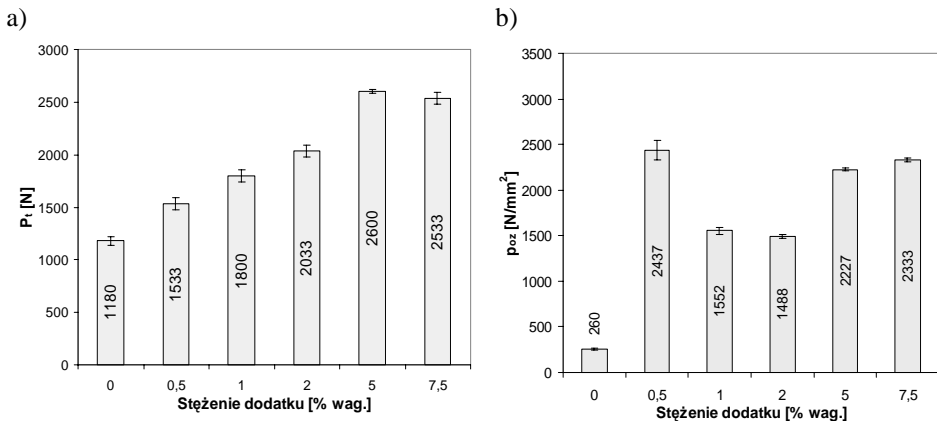
Fig. 1. Influence of the friction pair load on moment of friction: a) theoretical dependence and b) experimental dependence for different lubricants

W warunkach eksperymentalnych zmiana momentu tarcia w funkcji obciążenia węzła może znacznie różnić się od teoretycznej (**Rys. 1b**). Chociaż olej B charakteryzuje się nieco wyższą wartością obciążenia zacierającego niż olej A, to po jego osiągnięciu następuje niemal natychmiastowe zatarcie i unieruchomienie węzła. W przypadku oleju A, pomimo niższej wartości  $P_t$ , nie nastąpiło zatarcie węzła po jej przekroczeniu, lecz jedynie wzrost momentu tarcia, który przy dalszym wzroście obciążenia ulega okresowemu obniżeniu. Można przyjąć, że w tym przypadku, po osiągnięciu obciążenia zacierającego i przerwaniu filmu smarowego, doszło do tak istotnej modyfikacji warstwy wierzchniej elementów trących w wyniku oddziaływania z aktywnymi składnikami środka smarowego, iż przejęła ona funkcję smaru i zapobiegła „zespawaniu” węzła.

Powyższe rozważania wskazują, że optymalizacja składu kompozycji smarowej w oparciu o wartości obciążenia zacierającego  $P_t$  może być niewystarczająca, w szczególności w odniesieniu do węzłów tarcia, w których mogą występować chwilowe przeciążenia. W takim przypadku nie wystarczy zastosowanie kompozycji smarowej o wysokiej wartości  $P_t$ , lecz niezbędne jest zapewnienie jej efektywnego działania przeciwzatarciowego także po przerwaniu filmu smarowego [**L. 10**]. Zapobiegnie to unieruchomieniu węzła tarcia po przekroczeniu obciążenia zacierającego.

Pierwiastkami aktywnymi w dodatkach o działaniu AW/EP najczęściej są siarka i fosfor. W niektórych przypadkach fosfor może być zastąpiony innym pierwiastkiem, np. w D6 jest nim chlor (**Tab. 2**). Dodatek ten zapewnia względnie wysoką (w porównaniu z innymi badanymi) no-

śność filmu smarowego (**Rys. 2**), która rośnie proporcjonalnie do jego zawartości w oleju. Bardziej złożony jest natomiast związek pomiędzy zawartością dodatku D6 w oleju a granicznym naciskiem zatarcia (**Rys. 2**). Najwyższą wartość  $p_{oz}$  dodatek D6 zapewnia już przy 0,5-procentowej zawartości pakietu w oleju. Nietypowym zjawiskiem jest wyraźna niższa odporność warstwy wierzchniej na zacieranie (o 36%), gdy zawartość tego pakietu w oleju wzrasta do 1–2%. Dopiero zwiększenie jego stężenia w oleju do 5% znacząco poprawia wartości wskaźnika  $p_{oz}$ , lecz pozostaje ona niższa o kilka procent niż przy 0,5-procentowej zawartości tego pakietu w oleju. Wskazuje to, że zawiera on składniki, które w warunkach zacierania tworzą na powierzchni tarcia substancje skutecznie zabezpieczające warstwę wierzchnią przed zacieraniem już przy ich małej zawartości w oleju.



**Rys. 2.** Wpływ zawartości pakietu D6 w oleju mineralnym na: a) obciążenie zacierające i b) graniczne obciążenie zatarcia

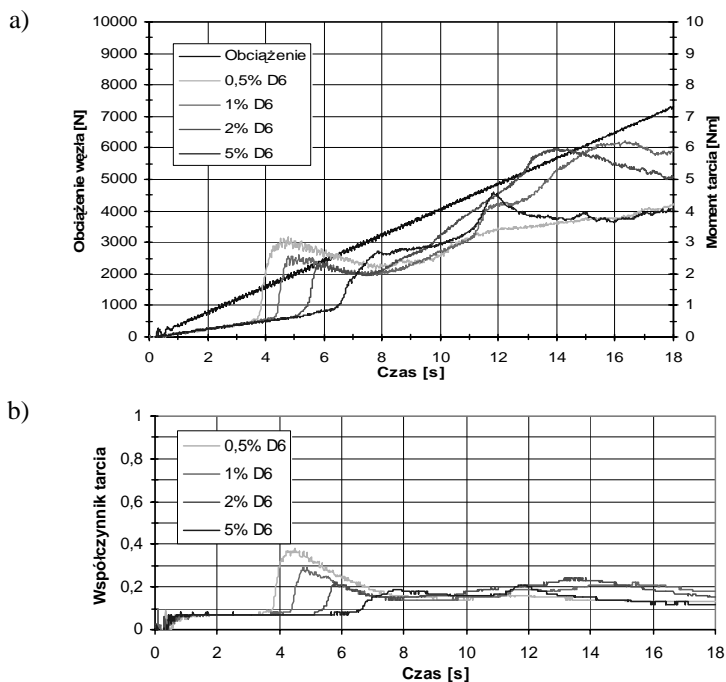
Fig. 2. Influence of D6 content in mineral oil on: a) scuffing load and b) limiting pressure of seizure

Dobre właściwości przeciwwzarciove dodatku D6 potwierdzają także wyniki badania zmian momentu tarcia (**Rys. 3a**) i współczynnika tarcia (**Rys. 3b**) w funkcji obciążenia węzła i stężenia dodatku w oleju. Już 0,5-procentowa zawartość pakietu D6 w oleju chroni testowy węzeł przed zatarciem (**Rys. 3a**), a wzrost oporów ruchu po przekroczeniu obciążenia zacierającego jest umiarkowany (**Rys. 3b**). Maksymalna wartość współczynnika tarcia po przerwaniu filmu smarowego zmniejsza się w miarę wzrostu zawartości dodatku w oleju. Można to tłumaczyć wzrostem wy-

dajności reakcji tribochemicznych aktywnych składników dodatku z warstwą wierzchnią elementu węzła tarcia na wskutek wzrostu jego stężenia. Mechanizm ten nie wyjaśnia jednak niskich wartości granicznego nacisku zatarcia przy 1- i 2-procentowej zawartości tego pakietu w oleju. Spadku tego nie daje się apriorycznie przewidzieć i można go ustalić jedynie eksperymentalnie.

Reasumując powyższe rozważania, można przyjąć, że pakiet D6 reprezentuje grupę dodatków, których zawartość w oleju może być optymalizowana w zależności od przewidywanych warunków pracy.

Przeprowadzone badania tribologiczne przygotowanych kompozycji smarowych w warunkach zacierania wykazały brak proporcjonalnej zależności pomiędzy zawartością dodatku w kompozycji olejowej a jej właściwościami smarnymi, charakteryzowanymi parametrami  $P_t$  i  $p_{oz}$ .

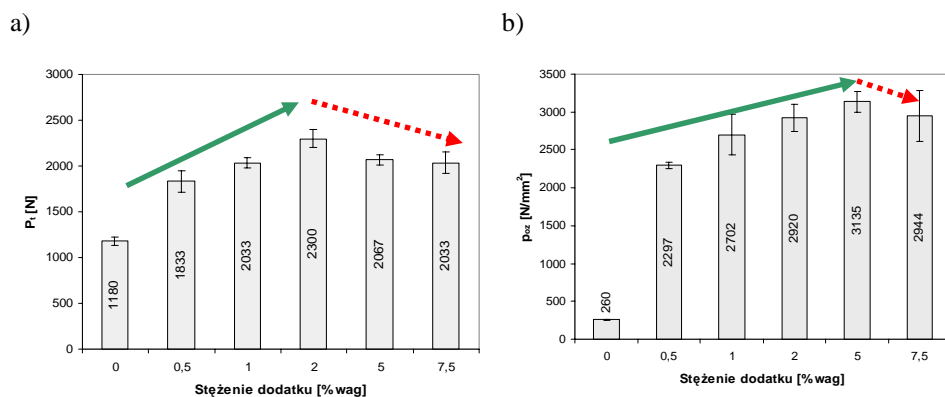


**Rys. 3. Zmiana momentu (a) i współczynnika tarcia (b) w węźle smarowanego kompozycjami o różnej zawartości pakietu D6 [L. 10]**

Fig. 3. Change of moment of friction (a) and friction coefficient (b) as a function of load of friction pair lubricated with compositions containing different quantities of D6 [L. 10]



Zwiększanie trwałości filmu smarowego (wzrost wartości  $P_t$ ) jest korzystne dla węzła. Zazwyczaj przyjmuje się, że towarzyszy temu również zwiększenie odporności na zacieranie. Analiza działania dodatku D6 przy różnych stężeniach w oleju wykazuje, że takie założenie jest błędne (**Rys. 2**). Wskazuje to, że maksymalne wartości  $P_t$  i  $p_{oz}$  przy zastosowaniu poszczególnych dodatków mogą być osiągnięte przy różnych stężeniach dodatku w oleju. Sytuacja taka wystąpiła między innymi w odniesieniu do pakietu D3 (**Rys. 4**). Zależność właściwości smarnych kompozycji od stężenia w niej D3 jest znacznie mniej złożona niż w przypadku D6, ale i w tym przypadku istnieje rozbieżność pomiędzy maksimami dla wartości obciążenia zacierającego i granicznego nacisku zatarcia. Oba te przypadki wskazują, że dla danego węzła tarcia i warunków jego pracy istnieją optymalne zakresy zawartości danego rodzaju dodatku w kompozycji smarowej. Prowadzi to do wniosku o celowości wieloczynnikowej optymalizacji zawartości dodatków w kompozycjach smarowych.

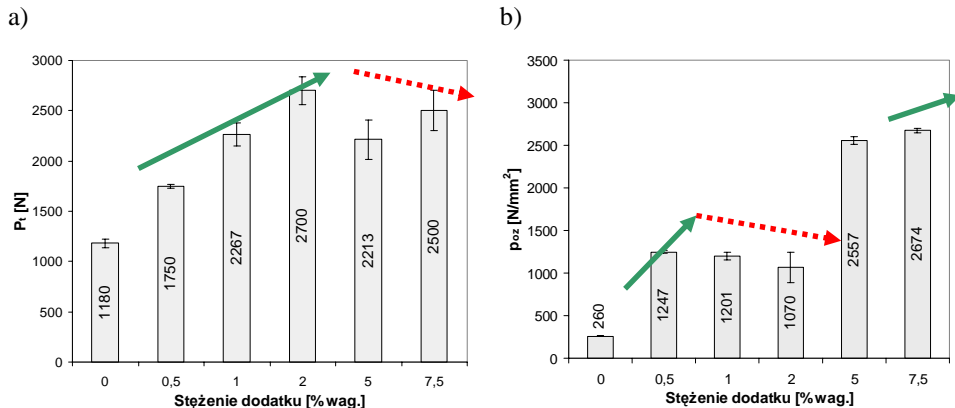


**Rys. 4. Wpływ zawartości pakietu D3 w oleju mineralnym na: a) obciążenie zacierające i b) graniczne obciążenie zatarcia**

Fig. 4. Influence of D3 content in mineral oil on: a) scuffing load and b) limiting pressure of seizure

W przypadku kompozycji zawierającej dodatek D4 (**Rys. 5**), podobnie jak D3 (**Rys. 4**), wzrost trwałości filmu smarowego obserwuje się do 2-procentowej zawartości pakietu, zawierającego ten dodatek, w oleju. Wyższe stężenia dodatku powodują obniżenie wartości  $P_t$ . Tak więc dla oby pakietów wyższa niż 2-procentowa zawartość w oleju jest niekorzystna z punktu widzenia nośności filmu smarowego. Jednak 2-procentowa zawartość pakietu D4 w oleju nie pozwala na wykorzysta-

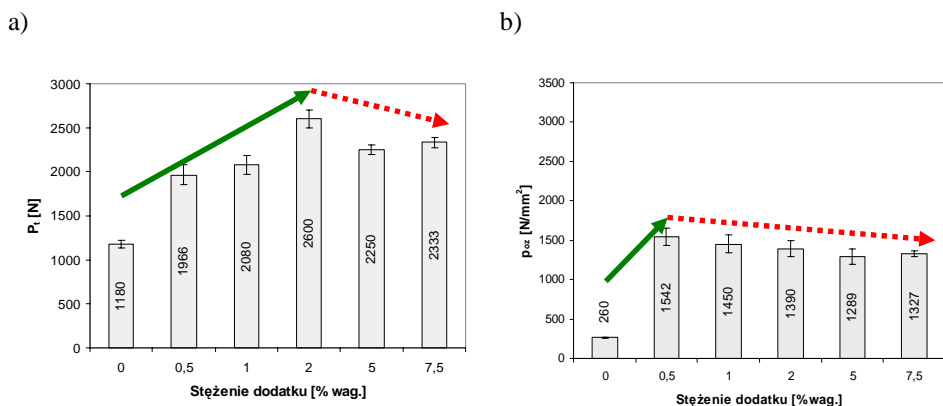
nie jego potencjału. W tym przypadku zasadny jest kompromis: zwiększenie stężenia pakietu do 5% powoduje pewne obniżenie nośności filmu smarowego, ale w zamian pozwala uzyskać ponaddwukrotny wzrost odporności warstwy wierzchniej na zacieranie.



**Rys. 5. Wpływ zawartości pakietu D4 w oleju mineralnym na: a) obciążenie zacierające i b) graniczne obciążenie zatarcia**

Fig. 5. Influence of D4 content in mineral oil on: a) scuffing load and b) limiting pressure of seizure

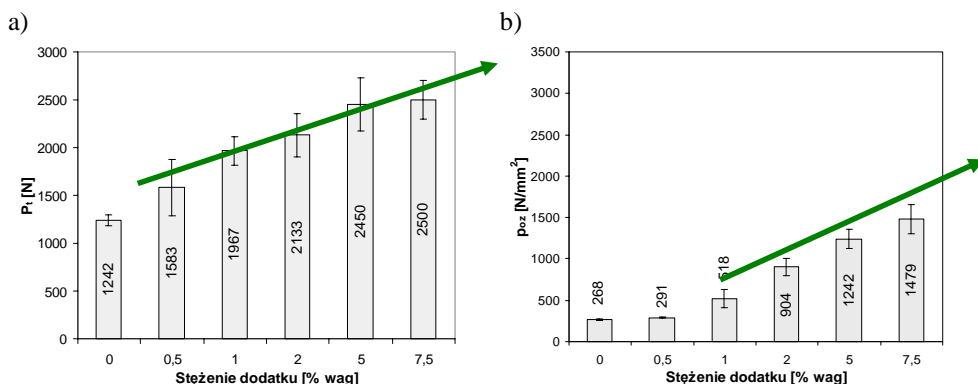
W przypadku niektórych dodatków, wzrost ich stężenia w oleju może powodować równoczesny spadek wartości  $P_t$  i  $p_{oz}$ . Zjawisko takie wystąpiło przy wyższych stężeniach dodatku D3 w oleju (Rys. 4), a także w przypadku kompozycji olejowych zawierających D5 (Rys. 6).



**Rys. 6. Wpływ zawartości pakietu D5 w oleju mineralnym na: a) obciążenie zacierające i b) graniczne obciążenie zatarcia**

Fig. 6. Influence of D5 content in mineral oil on: a) scuffing load and b) limiting pressure of seizure

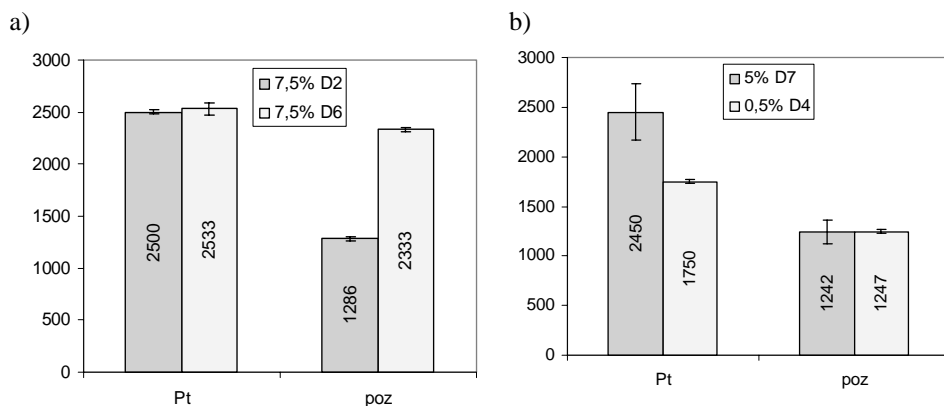
Monotoniczny przyrost zarówno obciążenia zacierającego, jak i granicznego nacisku zatarcia ze wzrostem stężenia dodatku w oleju stwierdzono w odniesieniu do D7 (**Rys. 7**). Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że dodatek ten, pomimo zapewnienia kompozycji smarowej względnie wysokiej, porównywalnej z innymi dodatkami wartości obciążenia zacierającego, nie gwarantuje zadowalającej odporności warstwy wierzchniej na zacieranie.



**Rys. 7. Wpływ zawartości pakietu D7 w oleju mineralnym na: a) obciążenie zacierające i b) graniczne obciążenie zatarcia**

Fig. 7. Influence of D7 content in mineral oil on: a) scuffing load and b) limiting pressure of seizure

W wyniku porównania właściwości smarnych różnych badanych kompozycji stwierdzono, że oleje o porównywalnej nośności filmu smarowego ( $P_t$ ), mogą charakteryzować się zróżnicowaną zdolnością do tworzenia odpornych na zacieranie warstw wierzchnich na elemencie stalowym ( $p_{oz}$ ) i na odwrót: oleje o identycznej wartości  $p_{oz}$  mogą znacząco różnić się wartością  $P_t$  (**Rys. 8**). Warunki realizacji testów tribologicznych w każdym przypadku były jednakowe, a jedyną zmienną stanowił skład kompozycji smarowej. Przedstawione na **Rys. 8** różnice właściwości wynikają więc z różnych właściwości filmu smarowego oraz różnego oddziaływania poszczególnych badanych dodatków smarnych z warstwą wierzchnią stalowych powierzchni tarcia. Te ważne z punktu widzenia trwałości węzłów tarcia zjawiska są pomijane w procesach eksploatacji. Ich uwzględnienie przy doborze składu środka smarowego może poprawić trwałość i niezawodność węzłów tarcia.



**Rys. 8. Zróznicowanie wartości  $p_{oz}$  przy porównywalnych wartościach  $P_t$  (a) oraz wartości  $P_t$  przy porównywalnych wartościach  $p_{oz}$  (b) badanych kompozycji smarowych**

Fig. 8. Diversification of  $p_{oz}$  values at the same  $P_t$  values and of  $P_t$  values at the same  $p_{oz}$  values of different lubricating compositions

## PODSUMOWANIE

Efektywność ochrony wężła tarcia przed uszkodzeniem i unieruchomieniem zależy zarówno od nośności filmu smarowego, rozdzielającego trące się powierzchnie, jak i odporności na zacieranie warstw wierzchnich kontaktujących się powierzchni [L. 10]. Oba parametry, jeśli przyjąć niezmienność materiału wężła tarcia, zależą od właściwości środka smarowego. Z punktu widzenia trwałości i niezawodności wężła tarcia korzystne jest, aby nośność filmu smarowego i odporność warstwy wierzchniej na zacieranie charakteryzowały się możliwie wysokimi wartościami. Jednak w odniesieniu do większości zbadanych kompozycji smarowych stwierdzono brak jakościowych i ilościowych korelacji pomiędzy składem chemicznym kompozycji a jednoczesną maksymalizacją nośności filmu smarowego i odporności warstwy wierzchniej na zacieranie. Typowym przypadkiem jest to, że maksymalne wartości charakteryzujące te parametry występują przy różnych stężeniach dodatków smarnych. Dlatego też, w procesie komponowania środków smarowych dla określonych węzłów i warunków tarcia niezbędne jest optymalizowanie składu kompozycji smarowej ze względu na maksymalizację obciążenia zacierającego ( $P_t$ ) – parametru znormalizowanego, jak i granicznego nacisku zatarcia ( $p_{oz}$ ) – parametru nieznormalizowanego, lecz możliwego do wyznaczenia przy aktualnie dostępnym tribologicznym instrumentarium testowym.

## LITERATURA

1. Burakowski T., Wierzchoń T.: Inżynieria powierzchni metali. WNT, Warszawa, 1995.
2. Krantz L. T., Coper C. V., Townsend D. P., Hansen B. D.: Increased Surface Fatigue Lives of Spur Gears by Application of a Coating, NASA Report NASA/TM-2003-212463, 2003.
3. Gahlin R., Larsson M., Hedenqvist P.: Me-C:H Coatings in Motor Vehicles. *Wear*, 2001, 249, 302–309.
4. Stachowiak G.W., Batchelor A.W.: *Engineering Tribology – Second Edition*. Butterworth-Heinemann, 2001, 744.
5. Kajdas Cz., Hiratsuka K.: Kataliza i tribokataliza. *Tribologia*, 2004, 2, 11–24.
6. Burakowski T., Marczak R.: Eksploatacyjna warstwa wierzchnia i jej badanie. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*. 1995, 3(103), 327–337.
7. Konchits V.V., Myszkin N.K.: Organic Deposits on Friction Surface and Their Role in Boundary Lubrication. *Proc. of 13<sup>th</sup> International Colloquium on Tribology*, Esslingen, 2002, 1259–1268.
8. Matuszewska A., Gładkowski M.: Antiwear Action of Mineral Lubricants Modified by Conventional and Unconventional Additives. *Tribology Letters*, 2007, 2(27), 177-180.
9. Szczerek M., Tuszyński W.: *Badania tribologiczne. Zacieranie*. ITeE, Radom, 2000.
10. Matuszewska A.: Tribologiczna ocena efektywności środków smarowych przeznaczonych do stalowych węzłów tarcia. *Rozprawa doktorska*, Politechnika Krakowska, Kraków, 2008, 171.

**Recenzent:**  
**Andrzej KULCZYCKI**

## Summary

**The paper discusses the research on the influence of selected commercial lubricating additives on the ability of the lubricant based on SAE 30/95 to prevent scuffing. The research was done using the T-02 four-ball apparatus, which allows a proportional increase of the load of the friction pair. The comparison of the investigated additives was based on the value of scuffing load ( $P_t$ ), limiting pressure of seizure ( $p_{oz}$ ) and on changes of the moment and coefficient of friction as a function of the load. The values of the examined parameters depend on the type and quantity of additives in the lubricating**

composition. In many cases, no monotonic dependence of the parameters on the content of additive was observed, and maxima for different additives and investigated features are present at different concentrations of the additives in the lubricating composition. No monotonicity and varying dependence of the investigated features for different additives and their concentration prevents aprioric optimisation of the lubricating oil composition. It has also been concluded that lubricating compositions of comparative values of  $P_t$  can show significant differences in  $p_{oz}$  values and vice versa. This shows that the maximal value of scuffing load should not be the only criterion for optimising the content of the additive in lubricant. These facts should be considered during composing the lubricants for specified friction pairs and friction conditions.