

## THE LUBRICITY AND SORPTIVE EXPERIMENTAL COMPARATIVELY INVESTIGATIONS OF ENGINE OILS

**Tomasz J. Kałdoński, Tadeusz Kałdoński**

*Military University of Technology  
Faculty of Mechanical Engineering  
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland  
tel.: +48 22 6838473  
e-mail: tomasz.kaldonski@wme.wat.edu.pl*

### **Abstract**

*In the paper are presented the results of experimental investigations of lubricity and sorptive properties of selected engine oils. The lubricity properties of oils were tested according to standard method ASTM D2596–69, ASTM D2270–77, and PN–76/C–04147(Polish Standard) on the Four–Ball Test Machine. Sorptive properties of oils were evaluated indirect method, i.e. by means of differential scanning calorimeter DSC141. Two research aims has been realized in this paper. The first aim depended on check the usability of differential scanning calorimetry for indirect assessment of sorptive properties (adsorption) of oils on true material of tribological joint of Four–Ball Test Machines, which was used the next for assessment of lubricity properties of the oils. The second aim depended on conformation of interdependence: have better sorptive properties of oils – have better its lubricating ability.*

*In effect it is showed the thermal measurements for oil–metal system, with the aid of differential scanning calorimeter DSC141, on Four–Ball Test Machines. The worse were lubricity properties of oil (smaller quantity of lubricity additive) the weaker was interaction in metal–oil system and this stand for worse sorptive effects.*

**Keywords:** combustion engine, tribology, lubricity, sorption, engine oils

## EXPERYMENTALNE BADANIA PORÓWNAWCZE SMARNOŚCI I SORPCJI OLEJÓW SILNIKOWYCH METODAMI POŚREDNIMI

### **Streszczenie**

*W pracy przedstawiono rezultaty eksperymentalnych, porównawczych badań właściwości smarnościowych i właściwości sorpcyjnych wybranych olejów silnikowych. Właściwości smarnościowe olejów oceniano znormalizowaną metodą według PN–76/C–04147 oraz ASTM D2596–69 i ASTM D2270–77 na aparacie czterokulowym. Właściwości sorpcyjne olejów oceniono metodą pośrednią, tzn. za pomocą różnicowego kalorymetru skaningowego DSC141. Zostały zrealizowane dwa cele tej pracy. Pierwszy cel polegał na sprawdzeniu przydatności różnicowej kalorymetrii skaningowej do oceny właściwości sorpcyjnych olejów silnikowych. Drugi polegał na potwierdzeniu zależności: lepsze właściwości sorpcyjne oleju – lepsza jego smarność.*

*W efekcie sorpcja jest przedstawiana dla pomiarów olej - metal za pomocą różnicowego kalorymetru scanningowego i na aparacie 4 – kulowym. Gorsze były właściwości smarnościowe oleju (mniejsza ilość dodatków smarnościowych), słabsza była reakcja metal–olej i to oznacza gorsze właściwości sorpcyjne.*

**Słowa kluczowe:** silnik spalinyowy, tribologia, smarność, sorpcja, oleje silnikowe

### **1. Przedstawienie problemu**

Niezawodną i długotrwałą pracę silnika warunkuje między innymi jego prawidłowe smarowanie, które zależy od rodzaju środka smarowego i jego jakości zdeterminowanej określonymi właściwościami fizyczno–chemicznymi. Właściwości oleju można podzielić na: objętościowe, charakterystyczne dla całej masy oleju oraz powierzchniowe, a więc objawiające się dopiero w styku

z inną fazą. Właściwości objętościowe to np. właściwości reologiczne, dyspersyjne, termochemiczne, odporność na utlenianie. Właściwości powierzchniowe to np. właściwości smarnościowe, sorpcyjne, korozyjne, przeciwkorozyjne, detergencyjne. Właściwości powierzchniowe są zazwyczaj właściwościami zespołowymi, tzn. wynikającymi z właściwości indywidualnych elementów systemu tribologicznego, jakim jest każdy węzeł podlegający tarcia, relacji pomiędzy tymi elementami oraz wpływu otoczenia, np. zużycie zależy zarówno od jakości oleju, jak i od jakości smarowanych nim elementów poddanych określonym wymuszeniom. Szczególnie trudne warunki pracy ma olej silnikowy, który oprócz funkcji czynnika smarującego musi spełniać funkcję uszczelniającą, chłodzącą, myjącą. W szczególności do zadań oleju silnikowego należy: zmniejszenie współczynnika tarcia pomiędzy współpracującymi elementami (w efekcie zmniejszenie oporów ruchu i strat energetycznych przekładających się na zmniejszenie zużycia paliwa przez silnik), chłodzenie elementów obciążonych termicznie, do których nie dociera czynnik chłodzący z zewnątrz, oczyszczenie (obmycie) współpracujących powierzchni części silnika z produktów zużycia tych części oraz szkodliwych produktów spalania paliwa i oleju, polepszenie szczelności układu: tłok–pierścienie–tuleja cylindra, ochrona wewnętrznych elementów silnika przed korozją, tłumienie drgań w układzie tłokowo – korbowym. Doskonalenie konstrukcji współczesnych silników spalinowych i dążenie do zmniejszenia kosztów eksploatacji powoduje ciągły wzrost wymagań w stosunku do olejów silnikowych. Jest to wymuszane m.in. przez coraz większy stopień doładowania, stosowanie do wyrobu elementów silników materiałów ceramicznych i kompozytowych, dążenie do wydłużenia czasu pracy oleju do wymiany itd. Użytkownika niespecjalisty nie interesuje pełny opis stanu oleju, lecz fakt, czy zapewni on możliwie małe opory ruchu, małe zużywanie się elementów urządzenia i ich ochronę przed zatarciem.

Z powyższych względów niezwykle istotne znaczenie ma odpowiednia smarność olejów silnikowych. Smarność oleju to zespół cech substancji smarującej określających jej zachowanie w warunkach tarcia granicznego i stanowiących o jej właściwościach przeciwzużyciowych, przeciwzatarciowych i przeciwtarciowych.[1,2]. Smarność oleju jest ściśle związana z jego składem chemicznym oraz ze stanem energetycznym smarowanej powierzchni. Jest to zatem właściwość zespołowa całego systemu tribologicznego, a nie tylko jego jednego elementu – oleju. Smarność jest wynikiem określonej zdolności oleju do wytworzenia trwałej warstwy granicznej (filmu granicznego) w wyniku adsorpcji (chemisorpcji) na ciałach stałych (podłożu). Podatność ta jest różna w stosunku do różnych rodzajów ciał stałych, z którymi kontaktuje się substancja smarująca. Miarą smarności jest trwałość warstwy granicznej, a więc trwałość związania substancji smarującej z podłożem. Trwałość tę można oceniać zarówno w czasie tworzenia warstwy granicznej (obserwując efekty towarzyszące, np. mierząc ciepło sorpcji) lub też w czasie jej niszczenia (np. mierząc ilość energii, jaką trzeba włożyć, aby przerwać film graniczny). O trwałości warstwy granicznej można również wnioskować pośrednio ze zjawisk związanych ze smarnością np. skłonność do zacierania elementów chronionych określonym olejem (podejście diagnostyczne). Zatem smarność rozumiana jako podatność do adsorpcji może być badana i oceniana zarówno w warunkach statycznych, jak i dynamicznych.

## 2. Cel, zakres i metody badań

W ramach realizowanego tematu badań postawiono sobie dwa cele zdeterminowane m.in. dostępną w Wojskowej Akademii Technicznej aparaturą badawczą:

- a) pierwszy cel polegał na sprawdzeniu przydatności różnicowej kalorymetrii skaningowej do pośredniej oceny właściwości sorpcyjnych (adsorpcji) wybranych olejów silnikowych na materiale rzeczywistego węzła tribologicznego aparatu czterokulowego, w którym następnie ocenione zostaną właściwości smarnościowe tych olejów;
- b) drugi cel polegał na potwierdzeniu zależności: lepsze właściwości sorpcyjne oleju silnikowego, lepsze jego właściwości smarnościowe.

Adsorpcja jest procesem dynamicznym przebiegającym na granicy faz (olej-metal) polegającym na tym, że składniki jednej z faz (tu oleju) występują w innych ilościowych stosunkach w warstwie granicznej przylegającej do drugiej fazy (tu metalu) niż w głębi oleju. Jeśli warstwa graniczna (film graniczny) oleju jest bogatsza w cząsteczki niż jego wnętrze to mówimy o adsorpcji dodatniej. Z taką właśnie adsorpcją (chemisorpcją) mamy do czynienia w przypadku smarowania różnych elementów maszyn. Na powierzchniach tych elementów, wykonanych z różnorodnych materiałów, istnieje pole niewyasyconych sił zależne od budowy chemicznej materiału konstrukcyjnego. Mówimy o tzw. energii powierzchniowej. W efekcie na takiej powierzchni mogą adsorbować cząsteczki fazy ciekłej. Zaadsorbowanie cząsteczek oleju powoduje zmniejszenie energii powierzchniowej. Wskutek tego w czasie adsorpcji zostaje wymieniona z otoczeniem pewna ilość ciepła zwana – ciepłem adsorpcji. Zachodzi więc proces egzotermiczny. Przebieg tych procesów w układzie powoduje zmiany temperatury, które są siłą napędową przepływu ciepła. Pomiarom tego ciepła, zajmuje się kalorymetria. Przy pomocy bardzo czułych mikrokalorymetrów możliwy jest pomiar ciepła wyzwalanego w czasie reakcji chemicznych i różnych przemian fizycznych. Metodą przeznaczoną m.in. do badania kinetyki przemian fazowych, właściwości termochemicznych oraz reaktywności ciał stałych i cieczy jest analiza termiczna pozwalająca określić wpływ zmian temperatury na własności fizyczne badanej substancji. Jedną z metod termicznych jest różnicowa kalorymetria skaningowa DSC (differential scanning calorimetry). Rezultaty tej metody przedstawia się za pomocą krzywych obrazujących zależność mierzonych właściwości od temperatury. Uzyskane krzywe określają szybkość zmiany zadanego parametru oraz ułatwiają rozróżnienie efektów termicznych i wyznaczenie temperatury punktów przejść fazowych. Metoda DSC jest wygodna w stosowaniu m.in. ze względu na niewielką ilość badanej substancji koniecznej do pomiaru, mogą to być próbki o masie rzędu miligramów bardzo różnych substancji, zarówno organicznych jak i nieorganicznych. Pomiarów można przeprowadzać zarówno podczas grzania jak i chłodzenia w szerokim zakresie temperatur. W porównaniu z innymi metodami termicznymi wyniki otrzymuje się szybko i są one wystarczająco dokładne.

Z powyższych względów postanowiono zastosować metodę DSC do pośredniej oceny właściwości sorpcyjnych wybranych olejów silnikowych i następnie uzyskane wyniki skonfrontować z wynikami badań właściwości smarnościowych.

Ponieważ właściwości smarnościowe nie są ściśle zdefiniowane jako fizykochemiczna cecha oleju, nie można ich oznaczać zwykłymi metodami laboratoryjnymi, a tylko pośrednio przez pomiar współczynnika tarcia lub przez określenie zużycia smarowanych powierzchni w warunkach symulujących warunki eksploatacyjne. Do takich badań nazywanych badaniami mechaniczno–dynamicznymi, stosuje się specjalne urządzenia ogólnie znane jako maszyny tarcia. Do najczęściej używanych w świecie maszyn tarcia zaliczyć można aparat czterokulowy (four–ball test machine). Elementem badawczym w tym urządzeniu są cztery stalowe kulki o jednakowej średnicy (12,7mm), umieszczone w naczyniu z badanym olejem, tworzące węzeł tarcia w postaci prawidłowego ostrosłupa. Trzy kulki są umocowane za pomocą pierścienia dociskowego do podstawy, a czwarta wprawiona w ruch obrotowy ślizga się po nich. Przez stopniowe obciążanie kulki górnej dochodzi w pewnej chwili do rozerwania filmu olejowego, co uwidacznia się nagłym wzrostem momentu tarcia i współczynnika tarcia. Metoda ta jest również znormalizowana w Polsce [3]. Właściwości smarnościowe oleju oceniane na aparacie czterokulowym określa się m.in. na podstawie:

- śladów zużycia powstałych na kulkach przy ustalonym obciążeniu;
- wartości obciążenia, przy którym następuje zatarcie;
- wartości momentu i współczynnika tarcia w funkcji czasu;
- zależności średnicy zatarcia kulek od osiowego obciążenia.

### **3. Obiekty badań**

Badaniom smarnościowym i kalorymetrycznym poddano cztery oleje silnikowe:

- a) pierwszym z nich był olej silnikowy Orlen Platinum 15W/40 posiadający najwyższą klasę jakości wg API (American Petroleum Institute). Spełnia on procedury ATIEL (Association Technique de L'Industrie Européenne des Lubrifiants) wymagane przez ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles) oraz spełnia procedury CMA (Chemical Manufactures Association) wymagane przez API. Na oleju tym wzorowano się, jeśli chodzi o lepkość pozostałych olejów badanych, tworzonych jako mieszaniny baz olejowych SN650 i SN350(1114) produkowanych do 2002 roku w Rafinerii Czechowice i dodatku ulepszającego właściwości smarowości o nazwie Additin RC2515;
- b) drugi olej przeznaczony do badań porównawczych otrzymano jako mieszaninę dwóch olejów bazowych 1114 i SN-650 w takim stosunku wagowym, aby uzyskać olej o lepkości zbliżonej do lepkości oleju Platinum 15W/40, tj. 55,76%mas. oleju bazowego 1114 i 44,24%mas. oleju bazowego SN-650;
- c) trzecią mieszaniną wykonano w podobny sposób, z tym że zawierała ona ponadto 2%mas. dodatku ulepszającego właściwości smarowości o nazwie Additin RC2515 – zatem skład procentowy tej mieszaniny był następujący: 66,24%mas. 1114, 37,76%mas. SN650 i 2%mas. Additin RC2515;
- d) czwarta mieszanina różniła się od trzeciej większą zawartością dodatku smarowościowego i jej skład był następujący: 69,75%mas. 1114, 20,25%mas. SN-650 i 10%mas. Additin RC2515.

W poniższej tabeli zestawiono wybrane właściwości fizyczno-chemiczne olejów określone zanim zostały one poddane badaniom smarowościowym i kalorymetrycznym (Tab.1). Wymienione w tab.1. parametry określono zgodnie z normami: PN81/C-04011 i PN75/C-04009 [4,5].

Tab. 1. Właściwości fizyczno – chemiczne badanych olejów  
Tab. 1. Phisico-chemical properties tested oils

Olej Parametr	Orlen Platinum 15W/40 (olej S-1)	1114 + SN-650 (olej S-2)	1114+SN-650 + Additin (2%) (olej S-3)	1114+SN-650 + Additin (10%) (olej S-4)
Lepkość kinematyczna w 40°C [mm <sup>2</sup> /s]	101,89	99,45	99,68	100,77
Lepkość kinematyczna w 100°C [mm <sup>2</sup> /s]	13,74	10,77	10,80	11,54
Temperatura zapłonu w tyglu zamkniętym w [°C]	220,7	221,6	195,6	175,1

Oprócz olejów obiektem badań były również elementy wężła tribologicznego aparatu czterokulowego. Są to kulki o średnicy 12,7mm wykonane ze stali łożyskowej ŁH-15. W badaniach smarowościowych poszczególnych olejów ocenia się m.in. średnice śladów zużycia tych kulek. Natomiast do oceny efektów sorpcyjnych podczas pomiarów kalorymetrycznych potrzebne są próbki stali ŁH-15 (z kulek aparatu czterokulowego) o rozmiarach umożliwiającym umieszczenie ich w celach mikrokalorymetru. Jakość warstwy wierzchniej kulek oraz ich skład chemiczny oceniono za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego Philips XL30. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono wysoką jakość wykonania sfery kulek (kulki uszkodzone eliminowano z badań – były to jednak przypadki sporadyczne). Skład chemiczny był następujący: C-0,77%, Mn-0,24%, Si-0,4%, Cr-1,37%, Fe-97,22%, S-0,01%, P-0,02%. Próbki ze stali ŁH-15, niezbędne do badań kalorymetrycznych, uzyskano realizując kolejne etapy ich

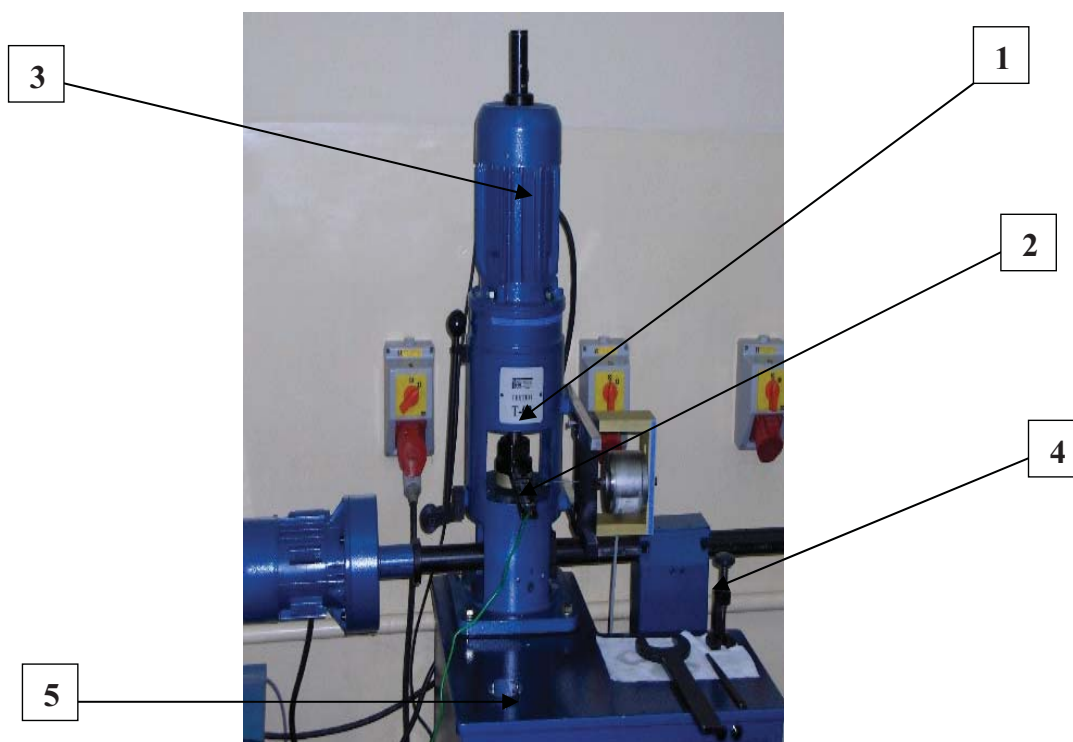
wycinania z kulek węzła tribologicznego aparatu czterokulowego, co przedstawiono na poniżej (Rys.1).



Rys. 1. Poszczególne etapy wycinania próbek  
Fig. 1. Individual stages of cut out probes

Do tego celu zastosowano drążarkę elektroerozyjną drutową BP-97d charakteryzującą się wysoką precyzją wycinania detali o dowolnie zaprogramowanych kształtach. Wycięte próbki były docierane na papierze ściernym do uzyskania tych samych wymiarów i masy próbek. W efekcie do badań kalorymetrycznych stosowano próbki o wymiarach 4x4x2mm i masie zawierającej się w granicach 0,196–0,197 grama.

#### 4. Stanowiska badawcze



Rys. 2. Aparat 4 - kulowy  
Fig. 2. Four Ball Test Machine

Do badań właściwości smarnościowych zastosowano aparat czterokulowy T-02 (prod. ITeE Radom-Polska) pokazany na rysunku 2., składający się z: korpusu (1), zespołu mocującego kulki (2), zespołu napędowego (3), zespołu obciążającego węzeł tarcia (4), podstawy (5). Układ pomiarowy wyposażony jest w mikroprocesorowy system sterowania i pomiarów. Kulki przed badaniem były przemywane acetonem i benzyną ekstrakcyjną. Odczytu średnic śladów zużycia na kulkach dokonywano za pomocą lupy Brinella o dokładności odczytu 0,05mm.

Do pośredniej oceny właściwości sorpcyjnych olejów, poprzez badanie ich ciepła właściwego  $C_p$  w funkcji temperatury, zastosowano różnicowy kalorymetr skaningowy SETARAM DSC141 (Rys.3), w którym wzorcem był szafir [6].



Rys. 3. Różnicowy kalorymetr skaningowy SETARAM DSC141

Fig. 3. Differential scanning calorimeter SETARAM DSC141

Różnicowy kalorymetr skaningowy DSC jest modulem analizatora rejestrującym temperaturę i przepływ ciepła wydzielanego lub pobieranego przez układ podczas przemiany lub reakcji chemicznej. Za pomocą tego aparatu można mierzyć różnice energii doprowadzonych do substancji badanej i wzorcowej. Różnice te mogą być mierzone jako funkcje temperatury lub czasu. Zarówno substancja badana, jak i wzorcowa są badane w tym samym, zaprogramowanych warunkach. Różnica energii doprowadzonej do próbki i do wzorca odpowiada entalpii reakcji lub entalpii przemiany. Zastosowanie w aparatach DSC dwóch niezależnych, sterowanych elektronicznie obwodów grzejnych umożliwia utrzymanie temperatury próbki i wzorca w każdej chwili na tym samym poziomie. Rejestrowany jest nadmiar energii doprowadzonej do próbki i wzorca na jednostkę czasu w zależności od przemiany (endo lub egzotermicznej). Różnicowy kompensacyjny kalorymetr skaningowy zbudowany jest z dwóch niezależnych mikropieców wykonanych ze stopu platyna–iryd. Każdy z nich zaopatrzony jest w platynowy czujnik i oporowy grzejnik wykonany z drutu platynowego. Oba mikropiece umieszczone są w odseparowanych cylindrycznych otworach w bloku aluminiowym o znanej temperaturze.

Podczas pomiaru szybkość ogrzewania mikroprocesorów z pojemnikami jest liniowa w czasie. Obydwa pojemniki utrzymane są w takiej samej temperaturze, aby różnica temperatur  $\Delta T$  między nimi była stale równa zero. Z chwilą rozpoczęcia przemiany w badanej próbce zakłócony jest stan układu. Pomiędzy próbką i wzorcem powstaje różnica temperatur, ale  $\Delta T=0$ . Sygnał o jej powstaniu przechodzi do układu sterującego dodatkowym elementem grzejnym, który doprowadza do jednego z pojemników tyle energii, ile potrzeba do skompensowania różnicy temperatur. Energia doprowadzona dodatkowo do badanej próbki lub wzorca odpowiada entalpii przemiany. W ten sposób można mierzyć strumień energii przepływającej z elementów grzejnych do odnośnika lub próbki badanej w funkcji czasu lub temperatury. Za pomocą systemu sterującego kalorymetru utrzymuje się liniowy wzrost temperatury w przedziale stosowanych szybkości ogrzewania oraz stałą kompensację różnicy temperatury  $\Delta T$ . Skala pionowa aparatu została wykalibrowana w mikrokaloriach na sekundę. Dzięki temu z krzywych DSC można bezpośrednio wyznaczyć ciepło reakcji oraz ciepło molowe substancji w funkcji temperatury. Urządzenia DSC pracują od  $-170^{\circ}\text{C}$  do  $+750^{\circ}\text{C}$ . Osiąganie wyższych temperatur jest trudne ze względów materiałowych, ponadto rosną wtedy błędy wywołane stratami ciepła przez promieniowanie. Czułość aparatów DSC jest rzędu  $100[\mu\text{cal/s}]$ .

Pojemność cieplną pod stałym ciśnieniem można zmierzyć za pomocą DSC stosując dwie metody, tj. pomiar  $C_p$  w trybie ze stopniem temperatury oraz pomiar  $C_p$  w trybie ciągłym. Pierwsza metoda, bazująca na krokowym sposobie grzania, polega na określeniu wartości temperatury, przy której aparat zatrzyma dalsze ogrzewanie na ustalony wcześniej czas. Zaletą tej

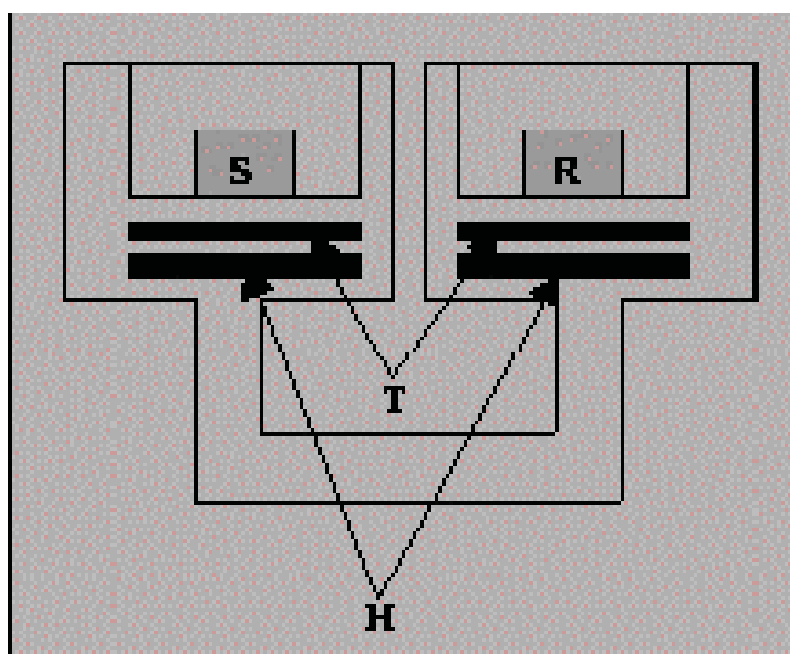
metody jest uzyskanie termicznej równowagi po „zatrzymaniu” temperatury, co procentuje uzyskaniem dużo lepszej, niż przy metodzie drugiej precyzji pomiaru. Druga metoda jest odpowiednia dla większości kalorymetrów skaningowych i jest ona znacznie szybsza i stosunkowo prosta [6].

## 5. Metodyka badań

Badania właściwości smarnościowych olejów przeprowadzono na aparacie czterokulowym wg. PN-76/C-04147 [3]. Oznaczono:

- a) obciążenie zacierające  $P_t$ ;
- b) obciążenie niezacierające  $P_n$ ;
- c) obciążenie zespawania  $P_z$ ;
- d) wskaźniki zużycia pod obciążeniem  $I_h$ ;
- e) graniczne obciążenie zużycia  $G_{oz}$  przy  $P=150kG$  (147,15daN).

Pośrednią różnicową ocenę efektów sorpcyjnych przeprowadzono za pomocą kalorymetru DCS 141, który składał się z dwóch identycznych układów kalorymetrycznych (Rys. 4).



Rys. 4. Układ kalorymetryczny DCS141  
Fig. 4. Calorimetric system DCS141

Układy te wyposażone były w platynowy termometr (T) i grzejnik (H). Jeden pojemnik zawierał naczynie aluminiowe wypełnione badaną próbką (S) ze stali ŁH-15 (Rys.1) wraz z naniesionym na jej sferę olejem, natomiast w drugim umieszczone było puste naczynie aluminiowe zwane próbką referencyjną (R) lub odnośnikiem–szafir. Obydwa pojemniki ogrzewano osobnymi grzałkami tak, aby utrzymana była równość ich temperatur, przy stałym z góry zadaniem tempie wzrostu temperatury. Kalorymetr połączony był z komputerem, przy pomocy którego, stosując odpowiedni program sterujący, zadawane były warunki początkowe.

Pomiary przepływu ciepła prowadzone były w cyklu ogrzewania z szybkością 3K/min w przedziale temperatur od 20°C do 150°C dla wszystkich badanych próbek ŁH-15 wraz z olejami.

Zależność pojemności cieplnej od temperatury jest inna dla próbki niż dla odnośnika, więc moc cieplna dostarczana do obydwu grzejników jest różna. W ten sposób wykreślona zostaje różnica tych mocy od temperatury nazywana krzywą DCS.

Średnią wartość ciepła właściwego ( $C_{pst}$ ) układu olej + metal obliczono ze wzoru:

$$C_{psr} = \frac{m_{st} \cdot C_{pst} + m_{ol} \cdot C_{pol}}{m_{st} + m_{ol}}, \quad (1)$$

gdzie:

- $m_{st}$  - masa stali, [g],
- $m_{ol}$  - masa oleju, [g],
- $C_{pst}$  - ciepło właściwe stali, [J/g·K],
- $C_{pol}$  - ciepło właściwe oleju, [J/g·K].

## 6. Wyniki badań oraz ich analiza

Wyniki badań właściwości smarnościowych olejów, wg PN-76/C-04147, przedstawiono w tabl. 2 [7].

Tab. 2. Lista parametrów smarnościowych  
Tab. 2. List of lubricating parameters

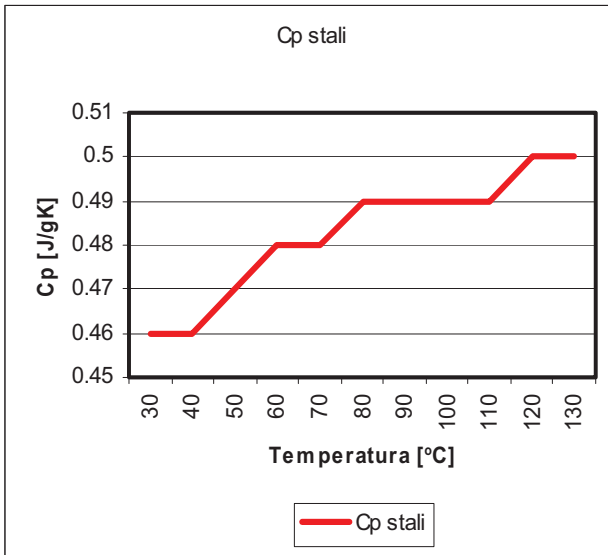
Badany olej	$I_h$ [daN]	$P_n$ [daN]	$P_z$ [daN]	$P_t$ [daN]	$G_{oz}$ [daN/mm <sup>2</sup> ]
S-1	43,33	98,1	245,25	284,34	54,17
S-2	19,62	49,50	123,61	118,01	37,12
S-3	33,03	61,80	245,25	179,70	58,15
S-4	64,04	78,48	608,22	275,81	105,28

Wartości parametrów zebranych w Tab.2. obrazują wpływ stężenia dodatku Additin RC2515 na właściwości smarnościowe olejów. Wyraźny wpływ dodatku smarnościowego można zaobserwować w przypadku wartości  $G_{oz}$  zmienionego z 37,12 [daN/mm<sup>2</sup>] do 105,28 [daN/mm<sup>2</sup>]. Podobną sytuację możemy zaobserwować w przypadku obciążenia zespawania  $P_z$  rosnącego od 123,61 [daN] aż do wartości 608,22 [daN], przewyższając znacznie możliwości oleju handlowego Platinum 15W/40. Podobna tendencja wzrostowa wartości parametrów smarnościowych olejów wraz ze wzrostem zawartości dodatku Additin RC2515 jest widoczna w każdym przypadku. Jeśli chodzi o bezwzględną wartość  $P_n$ , a szczególnie  $P_t$ , to mimo wszystko najlepszy okazał się olej Platinum 15W/40. W każdym przypadku najslabszy okazał się olej niezawierający dodatku smarnościowego, tj olej S2.

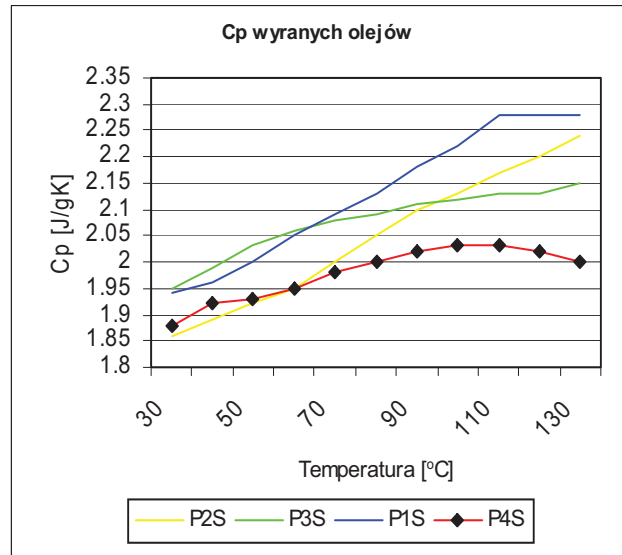
Na rys. 5-10 przedstawiono zależności ciepła właściwego w funkcji temperatury (krzywe DSC) dla czterech badanych olejów (S-1, S-2, S-3, S-4), próbek stali ŁH-15 oraz układów metal-olej (ŁH-15 z kolejnymi olejami S-1, S-2, S-3, S-4), wynikających bezpośrednio z eksperymentu i z obliczeń ze wzoru (1) [8].

Przeprowadzone badania ciepła właściwego  $C_p$  stali ŁH-15 (Rys.5.) wskazują, że ciepło to rośnie w sposób ciągły od wartości 0,46J/g·K w temperaturze 30°C do 0.50J/g·K w temperaturze 130°C. Badanie ciepła właściwego olejów pokazało, że materiał badawczy handlowy różni się znacznie od mieszanin olejów bazowych wykonanych w laboratorium. Oleje S-2, S-3, S-4 miały podobną zależność  $C_p$  rosnącą w sposób ciągły wraz ze wzrostem temperatury. Natomiast olej handlowy S-1 miał niższe wartości ciepła właściwego i ciepło to w mniejszym stopniu zależało od temperatury, (Rys. 6).

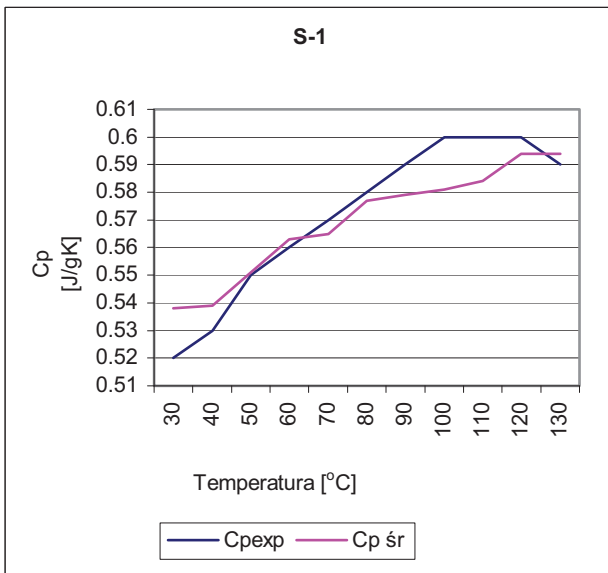




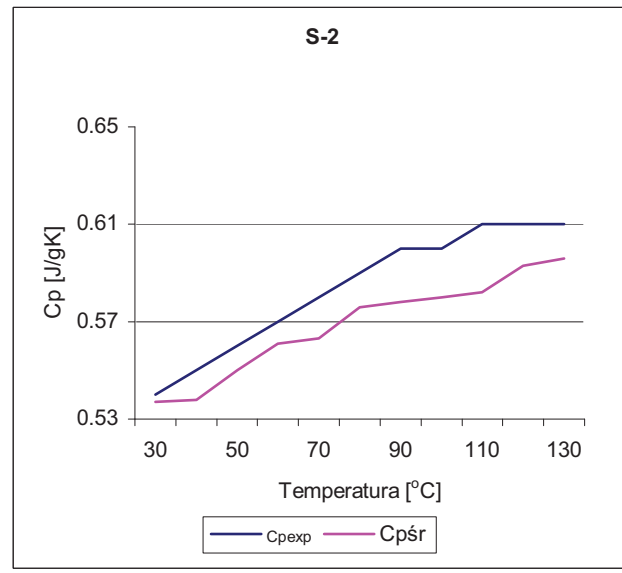
Rys. 5. Krzywa DSC dla próbek stali ŁH – 15  
Fig. 5. DSC curve for ŁH-15 steel probes



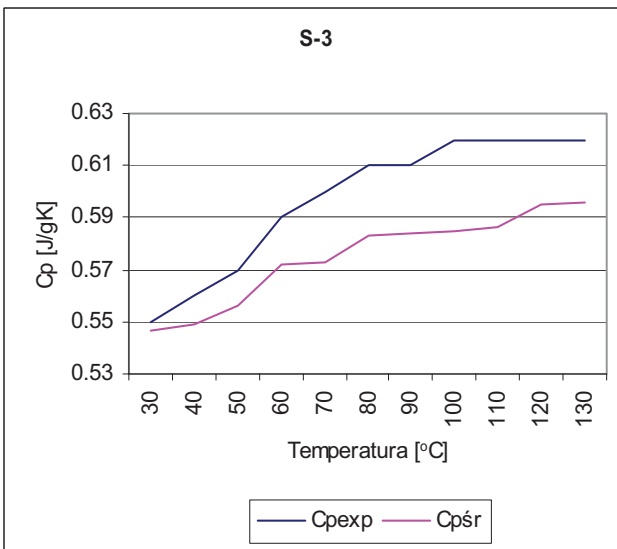
Rys. 6. Krzywe DSC dla wybranych olejów silnikowych.  
Fig. 6. DSC curves for selected engine oils



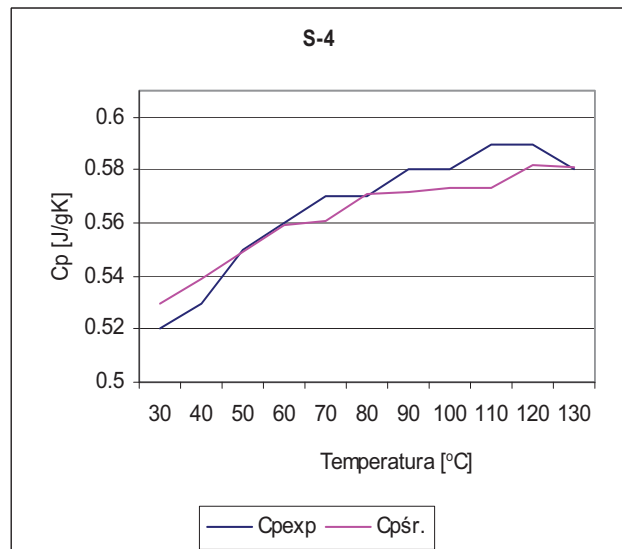
Rys. 7. Krzywe DSC dla układu ŁH-15/olej S-1  
Fig. 7. DSC curves for ŁH-15/S-1 oil system



Rys. 8. Krzywe DSC dla układu ŁH-15/olej S-2  
Fig. 8. DSC curves for ŁH-15/S-2 oil system



Rys. 9. Krzywe DSC dla układu ŁH-15/ Olej S-3  
Fig. 9. DSC curves for ŁH-15/S-3 oil system



Rys. 10. Krzywe DSC dla układu ŁH-15/ olej S-4  
Fig. 10. DSC curves for ŁH-15/S-4 oil system

Badania mikrokalorymetryczne układów metal–oleje nie wykazały znaczących anomalii na krzywych zmiany ciepła właściwego ze zmianą temperatury. Różnice można jednak zaobserwować porównując wyniki eksperymentalne z obliczeniami według zasady addytywności. Od pewnej temperatury zmierzona pojemność cieplna miała wyższe wartości ciepła niż wynikałoby to z udziałów  $C_p$  zależnych od składu badanego układu. Te wyższe wartości są najbardziej widoczne dla oleju S–1 (handlowego) poczynając od temperatury 50°C (łagodnie) i nasilając się od temperatury 70°C÷90°C (Rys.7). Najmniejsze różnice pomiędzy ciepłem obliczonym a zmierzonym występowały w układzie ŁH–15/olej S–2 (Rys.8). Różnice te rosły wraz ze wzrostem zawartości dodatku smarnościowego (Rys.9 i Rys.10).

Większe wartości  $C_{p\text{exp}}$  zmierzonego od wartości  $C_p$  obliczonego oznaczają, że ogrzanie 1g tego układu o 1°C wymagało większej ilości ciepła niż wynika to z obliczeń. Sugeruje to, że powyżej pewnych temperatur pojawiły się dodatkowe oddziaływania wiążące olej z metalem. Oddziaływania te mogą być wynikiem sorpcji oleju na metal.

## 7. Wnioski

Na podstawie poprowadzonych badań można stwierdzić, że:

1. wraz ze wzrostem zawartości dodatku Additin RC2515 poprawiły się właściwości smarnościowe badanych mieszanin olejów bazowych (SN–650 + 1114);
2. najlepsze właściwości smarnościowe miał olej S-4, tj. mieszanina zawierająca 10% dodatku smarnościowego i olej handlowy Orlen Platinium 15W/40;
3. dla oleju o najlepszych właściwościach smarnościowych (S4) stwierdzono najsilniejsze oddziaływanie olej–metal objawiające się największym zróżnicowaniem ciepła właściwego zbadanego  $C_{p\text{exp}}$  od ciepła właściwego obliczonego  $C_p$ ;
4. im gorsze były właściwości smarnościowe oleju (mniejsza zawartość dodatku smarnościowego) tym mniejsze było oddziaływanie olej–metal, co oznacza gorsze efekty sorpcyjne;
5. wyniki badań cieplnych układów olej–metal za pomocą różnicowego kalorymetru skaningowego DSC141 dobrze korelowały z wynikami badania smarności na aparacie czterokulowym.

## Literatura

- [1] Kałdoński, T., *Tribologia i płyny eksploatacyjne Cz.1 Wybrane problemy tribologii*, WAT, Warszawa, 1995.
- [2] Kałdoński, T., Kałdoński, T. J., *Fizykochemiczny mechanizm samo–smarowania porowatego łożyska ślizgowego*, Biuletyn WAT nr 10, Warszawa, 2004.
- [3] PN–76/C–04147, *Przetwory naftowe, Badania własności smarnych olejów i smarów*.
- [4] PN–81/C–04011, *Przetwory naftowe, Oznaczanie lepkości i obliczanie lepkości dynamicznej*.
- [5] PN–75/C–04009, *Przetwory naftowe, Pomiar temperatury zapłonu w tyglu zamkniętym metodą Martensa–Pensky’ego*.
- [6] SETARAM/DSC 141, *Instrukcja obsługi, Caluire–France*, 1999.
- [7] Kula, P., *Badanie mikrokalorymetryczne wybranej grupy antyferroelektrycznych materiałów ciekłokrystalicznych*. WAT, Warszawa, 2002.
- [8] Juda, J., *Badanie smarności i ciepła sorpcji wybranych olejów silnikowych*, WAT, Warszawa, 2005, (praca magisterska – promotor Kałdoński, T.), 2005.