

**Adam Klasik**

adam.klasik@its.waw.pl

**Dariusz Rudnik**

dariusz.rudnik@its.waw.pl

Instytut Transportu Samochodowego

## **PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH OTRZYMANYCH NA TESTERACH T-05 i T-11**

W artykule przedstawiono stanowiska tribologiczne: T-05 typu rolka-klocek i T-11 typu tarcza-trzpień. Przedyskutowano i porównano wyniki badań prowadzonych na obu testerach mając na uwadze ich ewentualną zamiennność. Przedstawiono wyniki badań tribologicznych kompozytów o osnowie stopów aluminium zbrojonych cząsteczkami SiC firmy DURALCAN o zróżnicowanej zawartości zbrojenia (oznaczenie komercyjne F3S.10S, F3S.20S i F3S.30S). Wykazano, że przy ocenie współczynnika tarcia oba testery można stosować zamiennie. Natomiast, jeśli rozważa się przebieg zużycia przez tarcie wówczas należy brać pod uwagę specyfikę współpracy w rozpatrywanym węźle tarcia i stosować w badaniach takie stanowisko tribologiczne, które bardziej odpowiada rzeczywistej współpracy w danym węźle trącym.

Słowa kluczowe: tribologia, test tribologiczny, para cierna, kompozyty

### ***COMPARING THE RESULTS OF TRIBOLOGICAL TESTS OBTAINED ON THE T-05 and T-11 TEST STANDS***

*The article presents the tribological test stands: T-05 of the “roller-block” type and T-11 “pin on disc” type. The results of the investigations carried out using both testers were discussed in detail and then the results were compared in view of their possible interchangeability. The results of tribological tests of aluminium alloy matrix composites reinforced with various SiC particles by DURALCAN company (the commercial markings: F3S.10S, F3S.20S and F3S.30S) were presented. It was proved that both testers may be interchangeably used in the evaluation of a friction coefficient. However, when considering the course of friction wear, then the specification of co-working in the friction pairs should be taken into account and such tribological test stand should be used that better corresponds to real co-working in the given friction pair.*

*Keywords: tribology, tribological test, friction pair, composites*

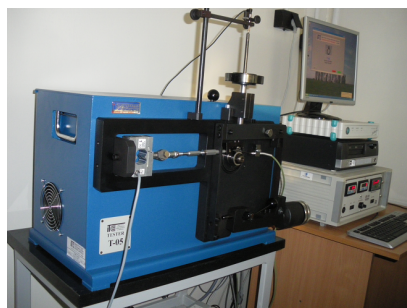
## 1. Wprowadzenie

Tarcie jest zjawiskiem powszechnie występującym w przyrodzie i technice. Podczas tarcia zachodzi rozpraszanie energii, zaś zachodzące zjawiska są nieodwracalne. Tarcie jest zjawiskiem nierozdzielnie związanym z pracą maszyn i urządzeń [1, 2] stąd też przy opracowywaniu nowych materiałów (np. powłok ochronnych), przeznaczonych do stosowania na gotowe wyroby i elementy konstrukcji, bada się je z punktu widzenia odporności na zużycie przez tarcie. Jednym z obszarów, w którym właściwości tribologiczne są szczególnie istotne, jest przemysł motoryzacyjny.

W pojazdach samochodowych stosuje się materiały o dużym współczynniku tarcia (np. stosowane na tarczach hamulcowe) oraz o bardzo małym współczynniku tarcia (np. stosowane na pierścieniu uszczelniające tłoki). Równocześnie współpracująca ze sobą para materiałów musi charakteryzować się dużą odpornością na zużycie cieerne i odpornością na zacieranie, pracując zarówno w wysokiej temperaturze jak i w temperaturze otoczenia. Wymaga to stosowania w tym celu testerów tribologicznych o różnych skojarzeniach tarciovych, symulujących występujące w technice rzeczywiste skojarzenia cieerne, takie jak ruch posuwisto-zwrotny czy ruch obrotowy, pracujące na sucho czy smarowane. Posiadane przez Instytut Transportu Samochodowego testery pozwalają na określenie charakterystyk tribologicznych współpracujących par materiałowych. Na podstawie tych wyników można dokonać wstępnej selekcji materiałów, które znajdują potencjalne zastosowanie w pojazdach samochodowych.

## 2. Opis stanowisk badawczych

Urządzenie testowe T-05 (rys. 1a) ze skojarzeniem tarciovym rolka-klocek służy do oceny odporności na zużycie podczas tarcia metali i tworzyw sztucznych. Może również być wykorzystywane do badań właściwości smarnych smarów plastycznych, olejów i smarów stałych. jak również do badania odporności na zacieranie powłok niskotarciowych, nanoszonych na wysokoobciążone elementy maszyn. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom konstrukcyjnym i wyposażeniu urządzenia testy można przeprowadzać w styku technicznie suchym i ślizgowym smarowanym, o ruchu postępowym lub oscylacyjnym, z możliwością regulacji w szerokim zakresie wartości prędkości poślizgu i amplitudy. Styk może być skoncentrowany lub rozłożony [3].



a) T-05

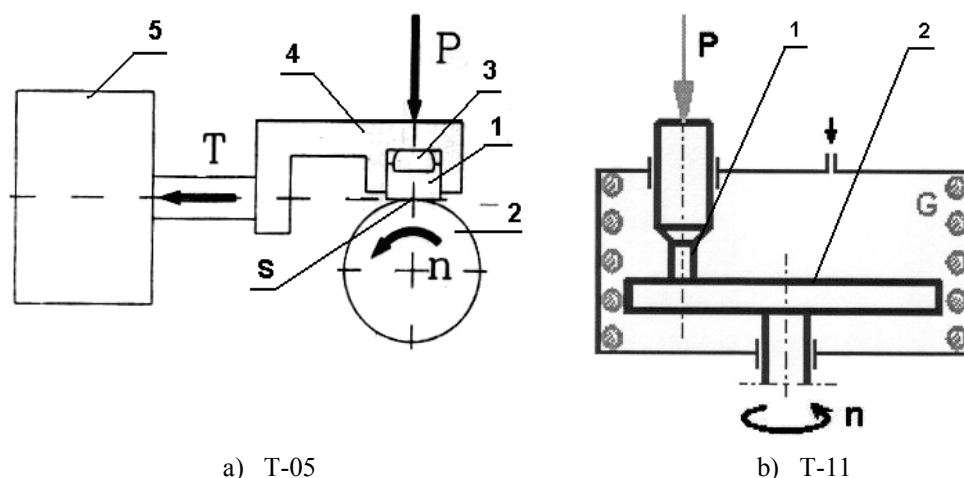


b) T-11

Rys. 1. Stanowiska do badań tribologicznych  
*Fig. 1. Tribological tests stands*

Urządzenie testowe T-11 (rys. 1b) ze skojarzeniem trzpień-tarcza (Pin-on-Disk) służy do określania tribologicznych właściwości materiałów stosowanych na węzły tarcia maszyn. Urządzenie to można wykorzystać do badania metali, tworzyw sztucznych, materiałów ceramicznych i cienkich powłok nanoszonych różnymi metodami, w warunkach tarcia suchego lub smarowania, w atmosferze kontrolowanej - otoczeniu powietrza bądź określonego gazu, w temperaturze otoczenia lub podwyższonej [4].

Schematy stanowisk badawczych T-05 i T-11 i zasadę ich działania ilustruje rys. 2.



Rys. 2. Schematy testerów tribologicznych  
*Fig. 2. Tribological stands schemes*

Zasadę działania urządzenia testowego T-05 przedstawiono na rys. 2a. Uchwyt próbki 4 z wkładką półkolistą 3 stanowi samonastawne zamocowanie klocka 1 (próbki), które zapewnia jego dobre przyleganie do rolki 2 (przeciwpróbki), a tym samym równomierne rozłożenie nacisków w styku. Układ obciążenia pozwala na przyłożenie siły  $P$  dociskającej klocek do rolki. Rolka obraca się z jednostajną prędkością obrotową  $n$ . Środek pola styku klocka i rolki – punkt  $S$  - leży w osi geometrycznej pręta przenoszącego siłę tarcia  $T$  na czujnik siły 5. Powoduje to, że czujnik siły wskazuje bezpośrednio wartość siły tarcia [3].

Zasadę działania urządzenia testowego T-11 przedstawiono na rys. 2b. Nieruchoma próbka 1 w postaci trzciny dociskana jest siłą  $P$  do obracającej się z prędkością  $n$  tarczy 2 (przeciwpróbka). Węzeł tarcia umieszczony jest w izolowanej komorze zaopatrzonej w element grzewczy  $G$ . Opór powstały w wyniku pracy pary cieńej przenoszony jest na czujnik siły wskazujący bezpośrednio wartość siły tarcia [4].

### 3. Materiał badawczy

Do badań wytypowano komercyjne kompozyty F3S.10S, F3S.20S i F3S.30S na bazie stopu aluminium A359 (AlSi9Mg) zbrojone dyspersyjnie cząsteczkami SiC w ilości odpowiednio 10, 20 i 30% (obj.). Skład chemiczny osnowy podano w tablicy 1. Kompozyty w postaci gąsek wyprodukowano w firmie DURALCAN, Kanada.

Tablica 1

Skład chemiczny osnowy kompozytów

Table 1

*Composite matrix chemical composition*

Skład chemiczny [%]								
Gatunek	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
F3S.10S	8,9	0,07	0,001	0,002	0,62	0,002	0,10	reszta
F3S.20S	9,2	0,12	<0,01	0,02	0,54	<0,01	0,10	reszta
F3S.30S	9,3	0,18	0,01	0,02	0,56	<0,01	0,11	reszta

Udział procentowy cząsteczek zbrojenia SiC w kompozytach według atestu producenta oraz ich wielkość przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Zawartość procentowa oraz wielkość cząsteczek SiC w kompozytach

Table 2

*SiC percentage and particle size in composites*

Gatunek	SiC [% obj.]	Średnica cząstek SiC [μm]
F3S.10S	11,34	11,2÷12,7
F3S.20S	20,80	14,3÷15,6
F3S.30S	29,50	18,9÷22,5

Próbki do badań wykonano metodą odlewania grawitacyjnego do kokili żeliwnej. Wsad (gąski) topiono w piecu tyglowym PET typu TS-PET-96/501 o pojemności tygla 50 kg Al.

Przyjęto następujące parametry technologiczne odlewania:

- temperatura kąpieli – 720°C ± 5°C,
- temperatura kokili – 190°C ± 10°C.

## 4. Metodyka i wyniki badań

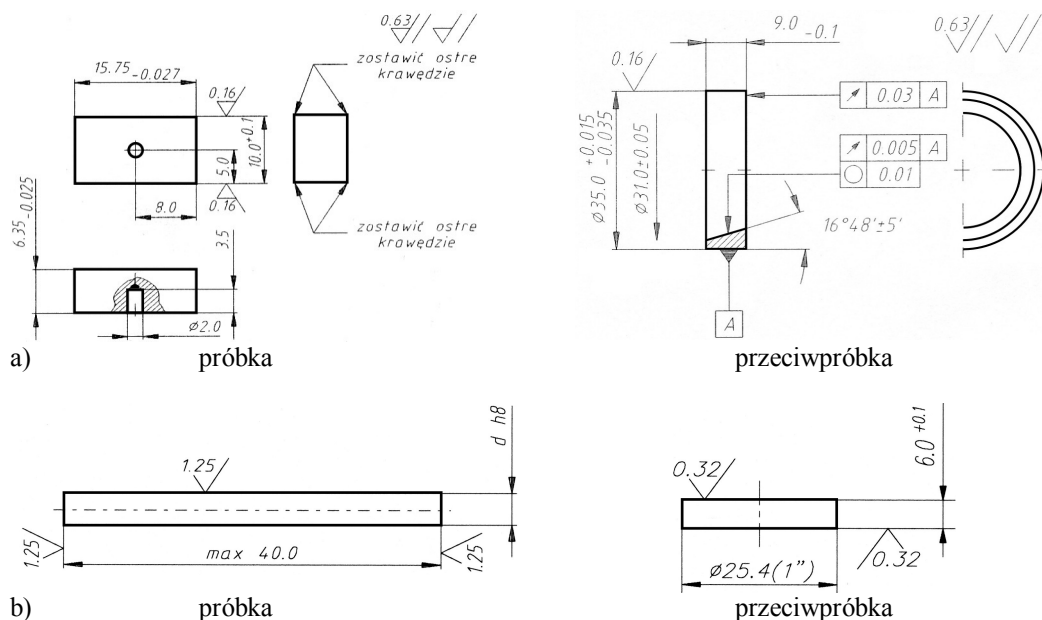
### 4.1. Metodyka badań tribologicznych

Badania tribologiczne kompozytów przeprowadzono w warunkach tarcia technicznie suchego. W trakcie badań prowadzono ciągłą rejestrację siły tarcia, liniowego zużycia i temperatury masowej badanej próbki.

Zużycie cierne określano metodą wagową, ważąc próbki na wadze elektronicznej METTLER TOLEDO AT 200, o zakresie pomiarowym 205 g i dokładności 0,0001 g.

Wymiary próbek stosowanych w badaniach przedstawiono na rys. 3.

## Porównanie wyników badań tribologicznych...



Rys. 3. Próbkki do badań - tester T-05 (a), tester T-11 (b)  
 Fig. 3. Samples for testing - stand T-05 (a), stand T-11 (b)

Na testerze tribologicznym T-05 przeprowadzono badania na próbkach płaskich w styku ślizgowym skoncentrowanym.

Próbki do badań wykonane były z materiału kompozytowego, natomiast przeciwpółki pierścieni (T-05) i tarcza (T-11) wykonane zostały ze stali łożyskowej 100Cr6 (ŁH15) o twardości 60HRC.

Parametry testów przedstawiono w tabelicy 3.

Parametry testów tribologicznych

Tablica 3

*Tribological tests parameters*

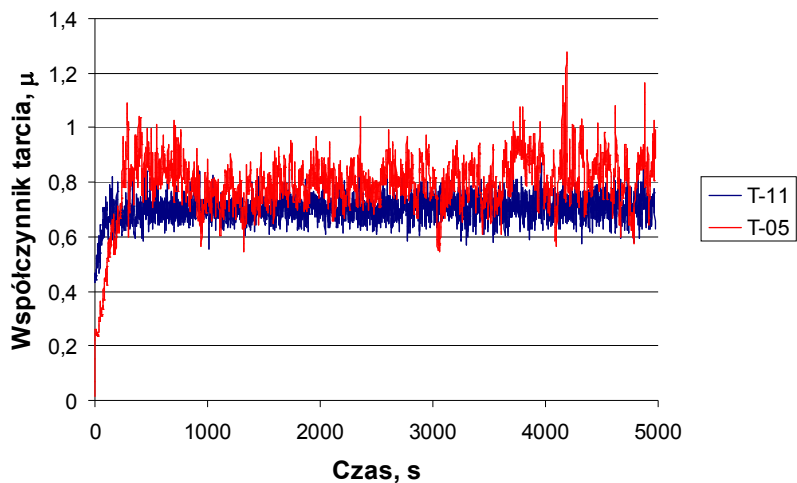
Table 3

Tester tribologiczny	T-05	T-11
Nacisk jednostkowy	zmienny	0,8 [MPa]
Czas współpracy	5000 [s]	5000 [s]
Prędkość poślizgu	0,5 [m/s]	0,5 [m/s]
Obciążenie węzła tarcia	10 [N]	10 [N]
Droga tarcia	2500 [m]	2500 [m]

### 4.2. Porównanie wyników badań wykonanych na testerach tribologicznych T-05 i T-11

Wyniki badań współczynnika tarcia kompozytów F3S.10S, F3S.20S i F3S.30S przeprowadzonych na testerach T-05 i T-11 oraz obliczony średni współczynnik tarcia przedstawiono na rys. 4.

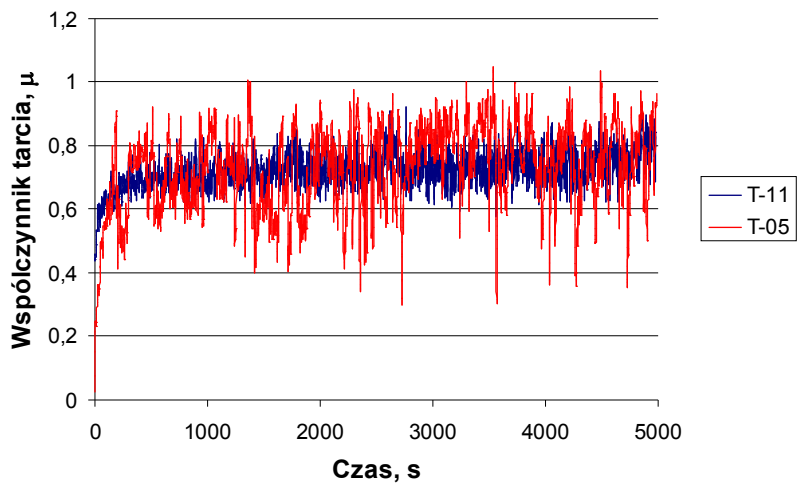
Kompozyt F3S.10S



T-11 – 0,703

T-05 – 0,793

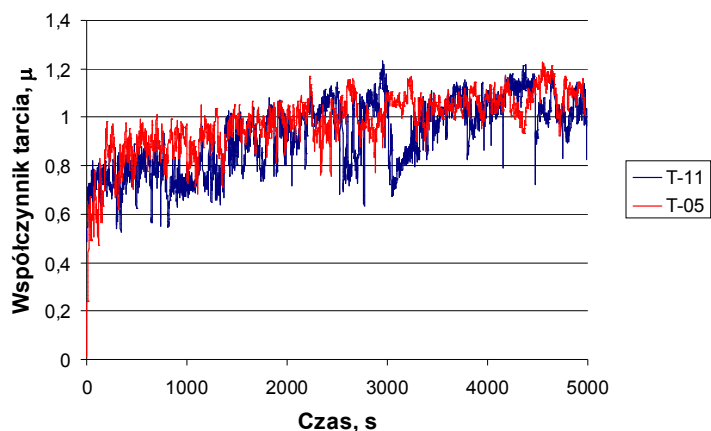
Kompozyt F3S.20S



T-11 – 0,723

T-05 – 0,730

Kompozyt F3S.30S



T-11 – 0,925

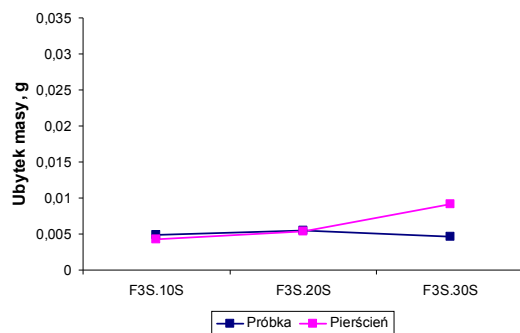
T-05 – 0,979

Rys. 4. Porównanie otrzymanych współczynników tarcia na testerze T-05 i T-11 dla poszczególnych kompozytów

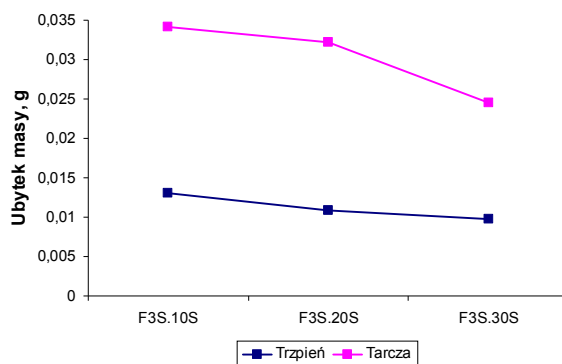
Fig. 4. Comparison of the obtained on the tester T-05 and T-11 friction coefficients for each composite

Otrzymane wyniki badań współczynnika tarcia wykazują niewielkie różnice pomiędzy testerami. Niemniej jednak praca testera T-11 (szczególnie w przypadku kompozytów zawierających 10% i 20% fazy zbrojącej) jest bardziej równomierna, co ilustrują granatowe linie na wykresach (rys. 4).

Przedstawiono również stopień zużycia próbek kompozytowych (F3S.10S, F3S.20S, F3S.30S) i przeciwpróbek ze stali łożyskowej (rys. 5 i 6).



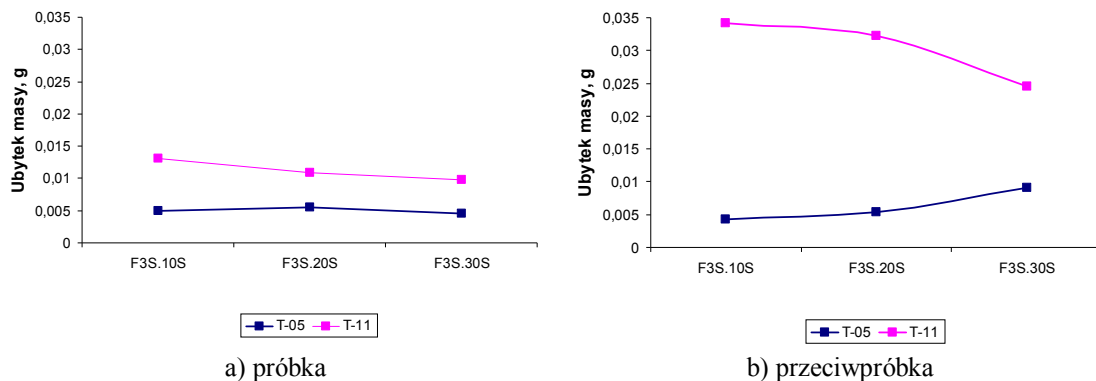
a) tester T-05



b) tester T-11

Rys. 5. Zużycie kompozytowej próbki i stalowej przeciwpróbki w tribotesterach a) T-05, b) T-11

Fig. 5. Composite sample and steel antisample wear in tribological stands a) T-05, b) T-11



Rys. 6. Zużycie kompozytowej próbki (a) i stalowej przeciwpróbki (b) w zależności od typu testera tribologicznego

Fig. 6. Composite sample (a) and steel antisample (b) wear depending on tribological stands type

Ubytek masy zarejestrowany na testerze T-11 jest wyższy niż otrzymany na testerze T-05 zarówno dla badanych kompozytów jak i dla stalowej przeciwpróbki. Ponadto stwierdzono, że wraz ze wzrostem zawartości zbrojenia maleje zużycie kompozytowej próbki.

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały przydatność stanowisk T-05 i T-11 do badań tribologicznych w warunkach tarcia technicznie suchego materiałów stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym. Atutem stanowiska T-11 jest łatwiejsze wykonanie próbek do badań oraz ewentualna zamienność materiałowa tarczy i trzpienia, z których wykonano próbkę i przeciwpróbkę. W stanowisku T-05 trudność może stanowić wykonanie pierścienia, szczególnie z materiałów trudno obrabialnych (np. stosowanych w badaniach kompozytów).

Wyniki badań współczynnika tarcia  $\mu$  otrzymane na testerach T-05 i T-11 (pomimo różnic w sposobie współpracy pary cieiernej) dla tego samego kompozytu nie różnią się w sposób istotny (rys. 4). W obu przypadkach współczynnik tarcia rośnie wraz z zawartością zbrojenia (SiC) w kompozycie. Zatem ze względu na współczynnik tarcia na wstępnym etapie badań stanowiska te mogą być stosowane zamiennie.

Otrzymane wyniki badań ubytku masy zarówno próbki stalowej jak i przeciwpróbki dla testera T-11 są wyższe niż dla testera T-05 (rys. 5 i 6). Wynika to z różnicy w styku ślizgowym w węźle tarcia. W testerze T-05 początkowo jest to styk skoncentrowany – liniowy, dopiero z biegiem czasu powierzchnia styku rośnie wraz ze wzrostem zużycia. Natomiast w testerze T-11 powierzchnia styku w czasie całego testu jest stała.

Ubytek masy zarówno próbki jak i przeciwpróbki maleje (rys. 5b) wraz z rosnącą zawartością zbrojenia (SiC) w kompozycie. Spowodowane to jest wzrostem powierzchni nośnej twardych elementów kompozytu [5].

Pomimo wielu wspólnych cech tribotesterów T-05 i T-11, ze względu na specyficzną współpracę w węźle tarcia, należy do badań wybierać stanowisko tribologiczne bardziej odpowiadające rzeczywistej współpracy badanych materiałów.



## **LITERATURA**

- [1] Hebda M. Procesy tarcia, smarowania i zużywania maszyn, ISBN 978-83-7204-556-0, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, 2007
- [2] Szczerek M., Tuszyński W., "Badania tribologiczne. Zacieranie", ISBN 83-7204-161-X, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, 2000
- [3] Instrukcja obsługi T-05 Tester typu rolka-klocek, Instytut Technologii Eksploatacji Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2008
- [4] Instrukcja obsługi T-11 Tester typu trzpień-tarcza, Instytut Technologii Eksploatacji Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2008
- [5] A. Klasik, J. Sobczak, K. Pietrzak, N. Sobczak, A. Wojciechowski „Influence of multiple remelting of particulate reinforced cast aluminum composites on their properties and structure” Instytut Transportu Samochodowego, Instytut Odlewnictwa, 2012