

Romuald MAKOWSKI¹

**METODA OKREŚLENIA WPLYWU MODYFIKACJI ŚRODKÓW SMAROWYCH
CZĄSTKAMI MIEDZI NA ZUŻYCIE ELEMENTÓW SYSTEMU
TRIBOLOGICZNEGO**

Autor przedstawia metodę oceny wpływu modyfikacji środków smarowych cząstkami miedzi na podstawie charakterystyk zużycia elementów systemu tribologicznego. Badania tribologiczne przeprowadzono za pomocą maszyn tarciovych: T05 i aparatu czterokulowego.

**DETERMINATION METHOD OF INFLUENCE OF LUBRICANTS
MODIFICATION WITH COPPER PARTICLES ON WEAR OF TRIBOLOGICAL
SYSTEM ELEMENTS**

The author presents an evaluation method of influence of lubricants modification with copper particles on the of wear characteristics of tribological system elements.

Tribological tests were carried out using tribological apparatus T05 and four ball machine.

1. UZASADNIENIE PODJĘCIA BADAŃ

Straty energetyczne w węzle kinematycznym powodowane są między innymi poprzez zastosowany środek smarowy. Własności chemiczne środka smarowego mają ogromny wpływ na te straty, jednakże nie mniej ważne są własności związane z całością systemu tribologicznego. Ważnym zagadnieniem jest więc możliwość przewidywania skutków zastosowania odpowiedniego środka smarowego w zależności od warunków użytkowania w konkretnym rozwiązaniu konstrukcyjnym.

Środki smarowe – głównie oleje, pomimo swoich głównych zalet, do których można zaliczyć między innymi: zmniejszanie oporów tarcia i zużycia, odprowadzanie ciepła i produktów zużycia ze strefy tarcia, tłumienie drgań, ochrona przed korozją, nie rozwiązują oczywistych problemów niedosmarowania w warunkach ekstremalnych obciążeń i temperatur oraz likwidacji tzw. zimnego startu, np. zimnego rozruchu silnika (przez pierwsze kilkanaście sekund silnik jest niedosmarowany) [1-8]. Powstała więc idea wprowadzenia do węzłów tarcia wraz z olejem dodatku uzupełniającego (niskotarciowego dodatku smarnościowego – NDS), mogącego łagodzić tego rodzaju skutki. Mechanizm działania tego rodzaju dodatku najogólniej można przedstawić następująco: cząstki NDS

¹ Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Radomska, ul. Chrobrego 45, tel. 48/361 7667, poczta: makrom1@wp.pl

transportowane są przez środek smarowy do węzłów tarcia, gdzie w wyniku adsorpcji fizycznej lub chemisorpcji (lub wiązań atomowych), wiążą się ze współpracującymi tarciowo metalicznymi powierzchniami. Na powierzchniach tych w procesie tarcia powstaje film smarowy o nowych właściwościach oraz zastępuje warstwę graniczną /ZWG/ [9-12]. W przypadku niedosmarowania w miejscach lokalnych styków powierzchni metalicznych, gdy olej bazowy nie zapewnia prawidłowego smarowania, do akcji włączają się cząstki ZWG, które przejmują na siebie rolę filmu smarowego.

W przypadku zastosowania zdyspergowanych cząstek miękkich metali oddziaływanie z powierzchniami tarcia jest oparte głównie na zjawiskach adhezyjnych oraz dyfuzji [13-18]. Problemem tym zajmuje się szereg krajowych jednostek badawczych jak również i zagranicznych [9,10,11,15,16,17]. W Politechnice Radomskiej realizowano projekty badawcze dotyczące zastosowania zdyspergowanych cząstek i nanocząstek metali w środkach smarowych stosowanych w parach kinematycznych i w środkach chłodząco-smarujących w obróbce skrawaniem metali [4,10,11].

2. BADANIA WŁASNE

2.1 Badania tribologiczne. Maszyna tarciova T05

Stanowisko badawcze: badania tribologiczne prowadzono za pomocą maszyny tarciovej T05, której opis techniczny znajduje się w literaturze [9,18].

Materiały badawcze: materiał próbki i przeciwpróbki - stal 45 wg PN/H-84019, obrabiona cieplnie do ok. HRC 45-50. Powierzchnie robocze próbki i przeciwpróbki szlifowane do $R_a \sim 0,6 \mu\text{m}$.

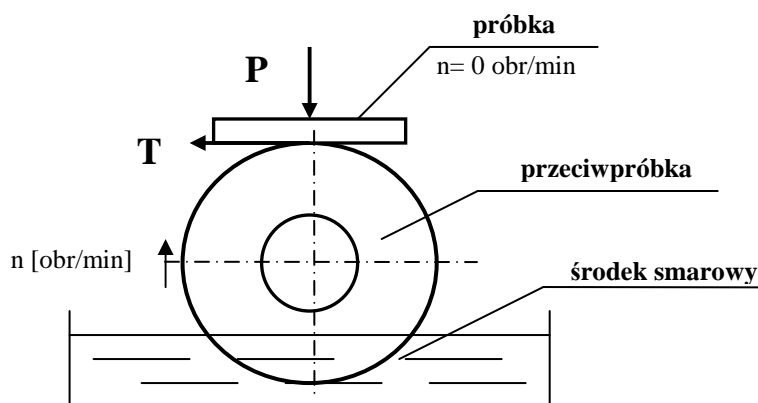
Środki smarowe: oleje podstawowe (bazowe): SAE 10/95, SAE 30/95

SAE 10/95 – lepkość kinematyczna przy temperaturze 100°C – $\nu = 5,2 \div 5,9$;

SAE 30/90 – lepkość kinematyczna przy temperaturze 100°C – $\nu = 9,6 \div 12,9$.

Cząstki miedzi: produkcji f-my Aldrich o rozmiarach zewnętrznych ok. $3 \mu\text{m}$.

Udział wagowy cząstek miedzi w olejach podstawowych $U_{wg} = 0,25 \%$.



Rys.1. Schemat węzła tribologicznego maszyny tarciovej T05, gdzie: P - siła normalna obciążenia zewnętrznego węzła, T - siła tarcia.

2.2. Wyniki badań zużycia próbek płaskich

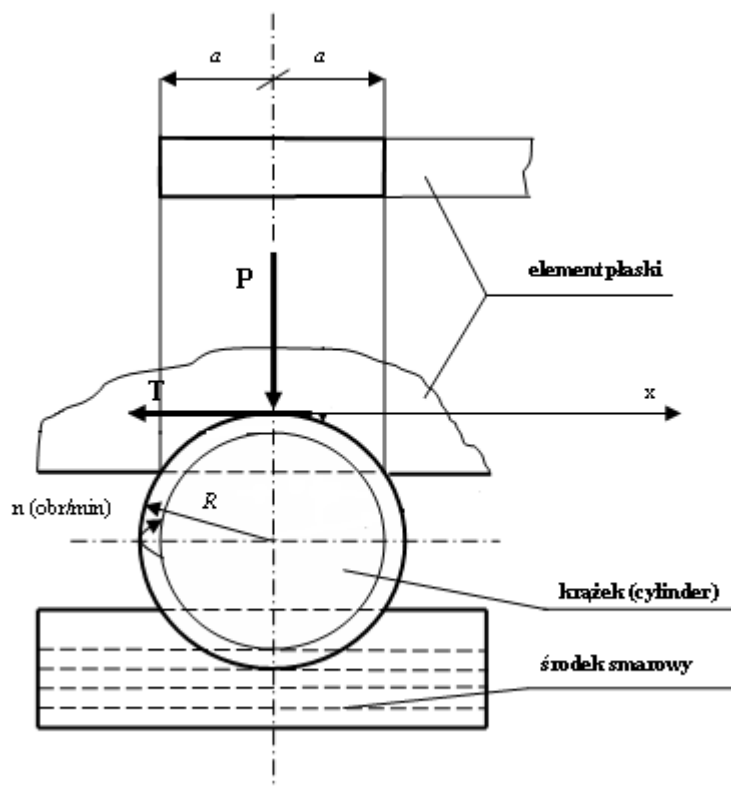
Warunki badań: schematycznie węzeł tribologiczny maszyny tarciovej przedstawiono na rysunku 1. Badania prowadzono przy prędkości obrotowej przeciwności $n = 200$ obr/min, co odpowiada prędkości liniowej poślizgu $V = 0,4$ m/s.

Obciążenie próbki przy wyznaczaniu charakterystyki czasowej $\mu = f(P)$ wynosiło $P = 600$ N, dla dróg tarcia $S = 100, 300, 600, 1000 - 5000$ m.

Po badaniach tarciowych poddano analizie zużycie liniowe próbek płaskich.

Pomiaru parametru zużycia dokonywano za pomocą profilometru skanującego Form Talysurf Series 2, firmy Taylor Hobson, mierząc wartości „ $2a$ ”, następnie dzieląc je na połowę (rysunek 2). Działania te wykonywano ze względu na zapis matematyczny funkcji zużycia elementu płaskiego.

Schemat pomiaru zużycia przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat pomiaru zużycia elementów tego węzła kinematycznego maszyny T05

Gdzie:

x – współrzędne punktu styku wg osi „ x ”,

z – oś wyznaczona jako prostopadła do osi „ x ” leżąca na płaszczyźnie prostopadłej do elementu obrotowego,

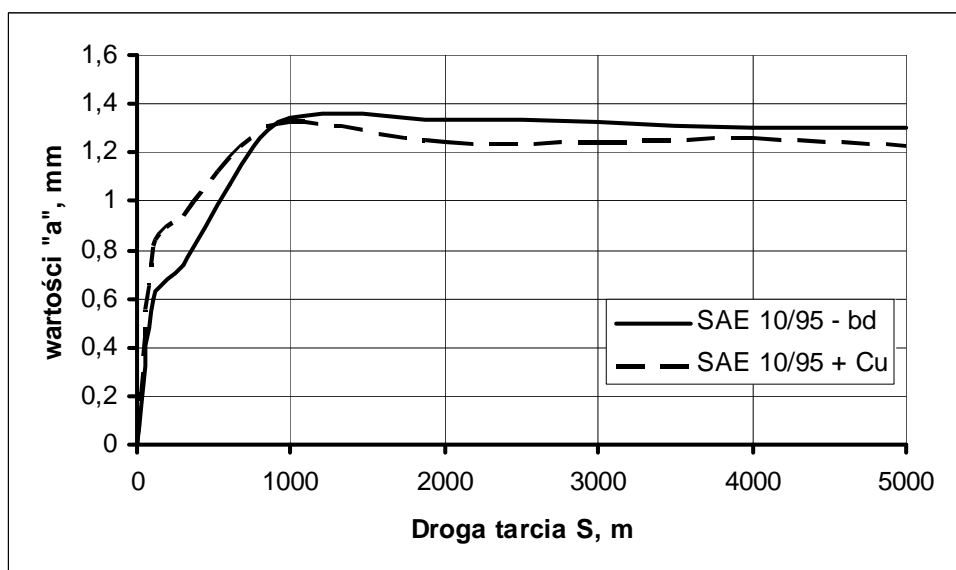
a – połowa szerokości kontaktu elementów, wg osi „ x ”.

WYNIKI BADAŃ

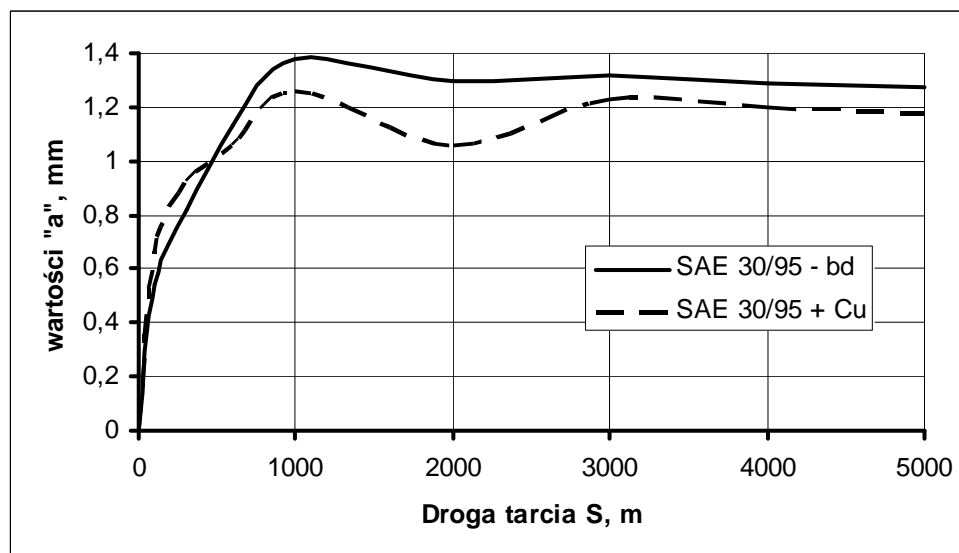
Wyniki pomiarów parametru „a” wykonane wg rys. 2 przedstawiono w tabeli 1

Tabela 1. Wartości „a” zużycia elementu płaskiego

Środek smarowy	Wartości „a” [mm] po drodze tarcia S [m]							
	100	300	600	1000	2000	3000	4000	5000
SAE 10/95 - bd	0,600	0,740	1,070	1,340	1,338	1,330	1,303	1,302
SAE 10/95 + Cu	0,812	0,940	1,180	1,330	1,243	1,246	1,257	1,231
SAE 30/95 - bd	0,540	0,820	1,130	1,380	1,297	1,320	1,285	1,277
SAE 30/95 + Cu	0,660	0,920	1,060	1,260	1,060	1,225	1,199	1,180



Rys. 3. Zależność parametru „a” od drogi tarcia dla oleju SAE 10/95



Rys. 4. Zależność parametru "a" od drogi tarcia dla oleju SAE 30/95

2.3. Badania tribologiczne. Aparat czterokulowy

Metoda badawcza

Badania prowadzono zgodnie z PN – 76/ C – 04147.

Warunki badań i badane materiały

Kulki stalowe łożysk tocznych wykonane w „0” klasie dokładności o średnicy $\frac{1}{2}$ ”.

Środki smarowe: olej bazowy SAE 10/95 i SAE 30/95.

Wyznaczane charakterystyki: $M_t = f(S)$ – nie załączane w artykule, oraz $z = f(S)$, po drodze tarcia $S = 600, 1000, 3000, 5000$ i 10000 m,

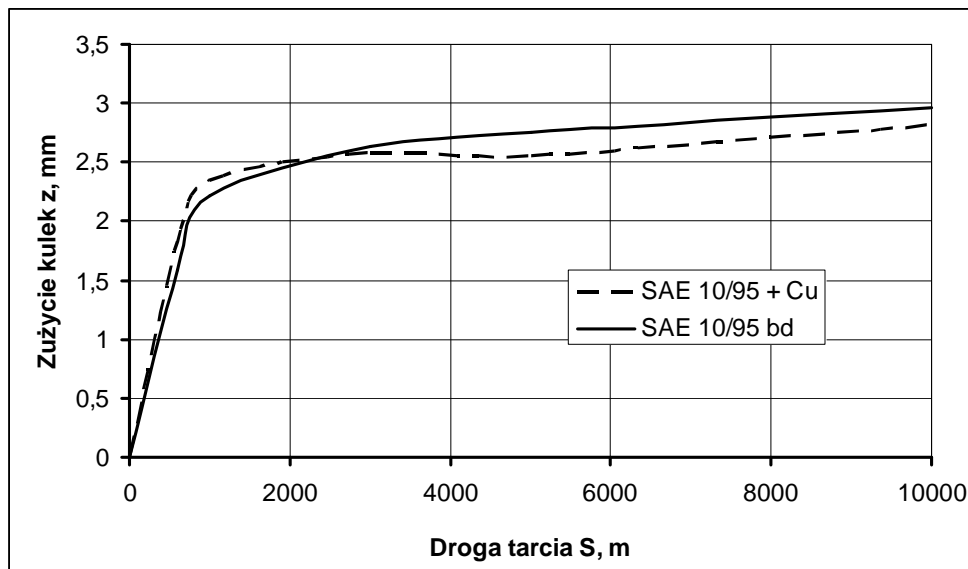
gdzie: M_t – moment tarcia, z – wartości śladów wytarcia (średnice) kulek biorących udział w procesie tarcia.

Obciążenie normalne węzła kinematycznego: $P = 600$ N

Prędkość poślizgu: $V = 0,55$ m/s.

Tabela 2 . Wartości średnic wytarcia kulek po badaniach tarciovych.
Środek smarowy – olej SAE 10/95, bez dodatków i z dodatkiem Cu

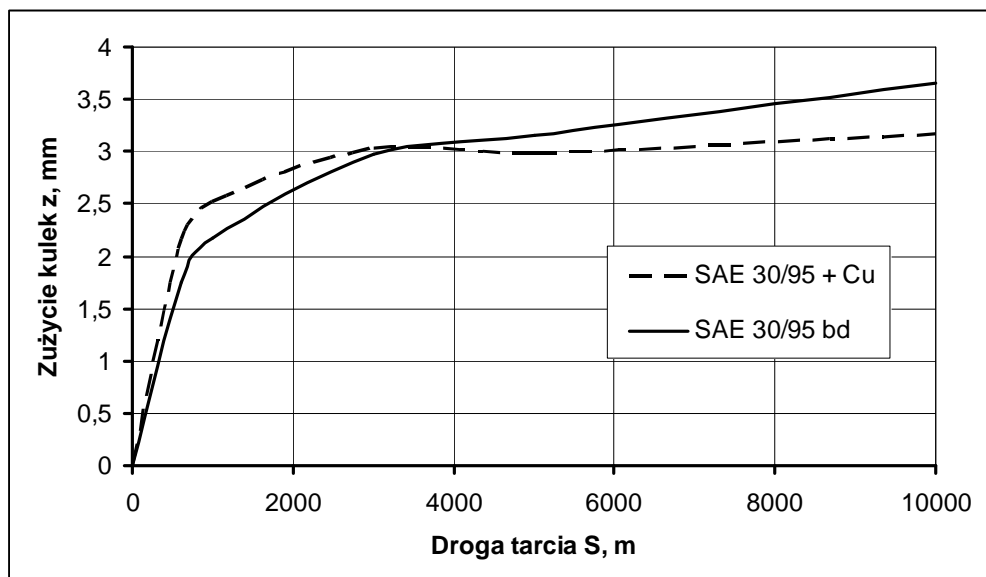
Uśrednione wartości średnic śladów wytarcia kulek	Droga tarcia S [m]					
	0	600	1000	3000	5000	10000
SAE 10/95 bd	0	1,58	2,21	2,63	2,70	2,96
SAE 10/95 + Cu	0	1,82	2,34	2,58	2,55	2,82



Rys.5. Zależność parametru "z" zużycia kulek od drogi tarcia dla oleju SAE 10/95

Tabela 3 . Wartości średnic wytarcia kulek po badaniach tarciovych
Środek smarowy – olej SAE 30/95, bez dodatków i z dodatkiem Cu

Uśrednione wartości średnic śladów wytarcia kulek	Droga tarcia S [m]					
	0	600	1000	3000	5000	10000
SAE 30/95 bd	0	1,75	2,18	2,98	3,15	3,65
SAE 30/95 + Cu	0	2,16	2,52	3,04	2,99	3,17



Rys.6. Zależność parametru "z" zużycia kulek od drogi tarcia dla oleju SAE 30/95

3. PODSUMOWANIE

Analizując wartości parametrów zużycia przedstawione na rys. 3 – 6 można stwierdzić, że zaobserwowano występowanie dwóch obszarów zużycia elementu płaskiego i kulek, a mianowicie część pierwszą, której zakres jest zawarty pomiędzy początkiem procesu tarcia, a drogą tarcia charakterystyczną tym, że zużycie elementów badanych jest większe przy zastosowaniu oleju bazowego z dodatkiem cząstek Cu. Następnie występuje przecięcie krzywych zużycia i zmniejszenie tego zużycia w funkcji drogi tarcia (część druga). Przecięcie krzywych zużycia natępuje przy różnych wartościach drogi tarcia. Zależy to głównie od lepkości bazowego środka smarowego, i tak dla SAE 10/95 droga ta wynosi ok. 900m, dla SAE 30/95 tylko ok. 500m – badania za pomocą T05. Pozostałe wartości można odczytać na rysunkach 5 i 6. Powodowane jest to wytworzeniem eksploatacyjnej warstwy wierzchniej o innych cechach fizycznych aniżeli warstwa wierzchnia w początkowej fazie procesu tarcia. Teza ta została udowodniona w badaniach powierzchni tarcia metodą mikroskopii elektronowej. Wyników autor nie zamieszcza ze względu na ich dużą objętość.

4. WNIOSKI

Na podstawie załączonych wyników badań można sformułować ogólne wnioski końcowe, a mianowicie:

- dodatki cząstek czystych metali do środków smarowych wpływają na przebieg procesu tribologicznego w węzłach kinematycznych,
- zaproponowana metoda oceny wpływu dodatków do bazowych środków smarowych, na podstawie wartości zużycia jednego z elementów systemu tribologicznego, jest prawidłowa. Dokładnego opisu metody i sposobu prowadzenia obliczeń autor nie zamieszcza – są zbyt obszerne.

Badania prowadzono w ramach realizacji projektu badawczego nr N N504 349136, którego autor jest kierownikiem.

4. BIBLIOGRAFIA

1. Sułek M.W., Bocho-Janiszewska A.: *Influence of organic complexes of metals on motion resistance and wear*. Tribologia nr 2/2003, s. 95-105.
2. Sułek M.W., Bocho-Janiszewska A.: *Przeciwzatarciowe oddziaływanie smaru litowego z dodatkami organicznych kompleksów metali*. Inżynieria powierzchni nr 1/2003, s. 59-64.
3. Kajdas C.: *Importance of anionic reactive intermediates for lubricant component reactions with friction surfaces*. Lubrication Science nr 6/1994.
4. Marczak R., Morozow D.: *Badania wpływu dodatku dyspersyjnych cząstek molibdenu na tribologiczne własności cieczy smarująco-chłodzących*. Tribologia nr 3/200, s. 467-474.
5. Liu G., Li X., Lu N., Fan R.: *Enhancing AW/EP property of lubricant oil by adding nano Al/Sn particles*. Tribology Letters. 2005, Vol. 18, nr 1, s. 85-90.
6. Liu G., Li X., Qin B., Xing D., Guo Y., Fan R.: *Investigation of the mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surface*. Tribology Letters. 2004, Vol. 17, nr 4, s. 961-966.
7. Hisakado T., Saitou K., Suda H.: *The effect of iron particles on the friction and wear mechanisms of ceramics in ethanol*. Wear. 1997, Vol. 210, s. 188-194.
8. Jingfang Zhou, Jianjun Yang, Zhijun Zhang, Weimin Liu, Qunji Xue: *Study on the structure and tribological properties of surface-modified Cu nanoparticles*. Materials Research Bulletin. 1999, Vol. 34, nr 9, s. 1361-1367.
9. Makowski R., Marczak R. i inni: *Dyspersje miedzi i innych metali w materiałach smarnych inicjujące niskotarciowe pokrycia roboczych powierzchni kinematycznych węzłów maszyn*. Projekt badawczy Komitetu Badań Naukowych /Nr 7 T08C 027 08/. Politechnika Radomska, Radom, 1998.
10. Kotnarowski A., Makowski R. i inni: *Ocena wpływu proszków metali, zawartych w cieczach smarująco – chłodzących, na zużycie narzędzi i opory tarcia podczas procesu skrawania*. Sprawozdanie z projektu badawczego nr 7 T08C 038 20. Radom, luty 2004.
11. Kotnarowski A., Makowski R., Morozow D.: *Badanie możliwości modyfikacji olejowych cieczy chłodząco – smarujących za pomocą proszków metali*. Tribologia 2/2004.

12. Rybakowa L.M., Nazarov A.N.: *Osobiennosti strukturnych izmienenij mietalla pri trenii podvlivanijem aktivnoj sriedy*. Fizika i Chimia obrabotki materialow, nr 2/1676.
13. Makowski R.: *Ocena wpływu cząstek metali wchodzących w skład środka smarowego na stan warstwy wierzchniej*. Tribologia, 4/2001 (178), s. 669 – 677.
14. Makowski R.: *Konstituowanie warstwy wierzchniej w procesie tarcia ślizgowego z zastosowaniem modyfikowanego środka smarowego cząstkami miękkich metali*. Tribologia 5 / 2008. s. 121 - 133.
15. Кузменко А.Г., Маковски Р.: *Влияние медного порошка в смазке на трение и износ сопряжений*. *The international scientific journal „Problems of Tribology”* Nr2/2009, *Ukraina*, s. 62 – 80.
16. Makowski R.: *Zużycie jako kryterium oceny wpływu środka smarowego w systemie tribologicznym*. Tribologia 2 / 2009. s. 81 - 92.
17. Кузменко А.Г., Маковски Р.: *Повышение износостойкости узла трения введением частиц металла в смазочную среду*. „Сучасні прблеми трибології”. Київ, 2010, с. 117.
18. Makowski R., Kuzmienko Anatolij G.: *Tribologiczne problemy modyfikacji środków smarowych cząstkami metali*. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2009.
19. Кузьменко А. Г. *Прикладная теория методов испытаний на износ*. Хмельницький: ХНУ, 2008. – 579с.