

**Jerzy KORYCKI\***

## **MIARY INTERAKCJI W OBRAZACH AFM OBSZARU WĘZŁA TARCIA**

### **MEASURES OF INTERACTION IN AFM IMAGES OF FRICTION AREA**

#### **Słowa kluczowe:**

zużycie, tarcie, AFM, topografia, miary i relacje parametrów procesu tarcia

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

wear, friction, AFM, topography, measures and relations of parameters of the friction process

#### **Streszczenie**

Artykuł jest kontynuacją opracowań [L. 1]. Przedstawia fragment wyników analizy relacji właściwości tribologicznych i topografii ponad 5500 grafik z pomiarów AFM.

Niniejsze opracowanie jest wprowadzeniem w ilościową ocenę interakcji w badaniach tribologicznych.

---

\* Instytut Paliw i Energii Odnawialnej – IPiEO, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa; jkorycki@ipieo.pl

## WPROWADZENIE

Jednym z głównych celów badań naukowych jest obserwacja, ocena i interpretacja interakcji – wzajemnych oddziaływań na siebie: przedmiotów, w szerszym zakresie materii i energii. W przypadku badań tribologicznych są to oddziaływania w procesie tarcia. Proces tarcia jest procesem wymiany energii między atomami oddziałującymi grawitacyjnie i elektromagnetycznie. Oddziaływania grawitacyjne są przeważnie pomijalnie małe względem elektromagnetycznych. Na skutek stochastycznego oddziaływania wielu ciał jest to przeważnie proces dyssypacji energii.

Zagadnienie korelacji w badaniach tribologicznych jest często poruszane [L. 3]. Przykładowo w ostatnich czterech woluminach ZEM i Tribologii odniesiono się do zagadnienia korelacji w 47 artykułach.

Punktem wyjścia do napisania tego artykułu jest opracowanie wyników badań AFM w zakresie prac własnych IPiEO. Wyniki zawarte w tym opracowaniu były inspiracją do poszerzenia analizy i pozwoliły na postawienie też zawartych w tym artykule.

W przedkładanej pracy ogólnie ukazano relacje między wszystkimi normatywnymi parametrami: pomiaru właściwości tribologicznych – [L. 1] i topografii powierzchni, łącznie do 185 parametrów związanych z topografią powierzchni i normatywnymi parametrami pomiaru właściwości tribologicznych.

## BADANIA – ZAKRES ANALIZY WYNIKÓW

**Rzeczowy zakres analizowanych próbek:** Przedstawiono analizę wyników badań 70 próbek po pomiarach tarcia: 170 do 239 – 7 serii badawczych. Pomiary tarcia wykonano za pomocą urządzenia HFRR w IPiEO, zgodnie z normą PN EN/ISO 12156/2006. Badano roztwory dodatków w zakresie stężeń 100÷10 000 ppm w komponentach rafineryjnych [L. 4]: lekkim oleju napędowym – LON-2 i hydrodsiarczonym oleju napędowym – HON-2; roztwory: dekanianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: LON-2 seria 170 i HON-2 seria 210, 2-undekanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: LON-2 seria 180 i HON-2 seria 220. Zbadano w HON-2 roztwory: butynianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$ ) – seria 190 i 2-heksanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$ ) – seria 200 oraz palmitynianu cholesterolu – seria 230 [L. 1].

**Przedmiotem badań metodą AFM [L. 1, 5]** była zużyta za pomocą urządzenia HFRR powierzchnia dysku. W urządzeniu HFRR mamy do czynienia z oscylacyjnym ruchem, w zakresie 1 mm, kulki o średnicy

6 mm ze stali Ł15 o twardości 800 VPN dociskanej z siłą  $\sim 1,9$  N do dysku i smarowanych badaną cieczą. Przedmiotem badań AFM były ślady wytarcia na próbkach – dyskach ze stali ŁH15 (AISI 52100) o twardości 200 VPN w oznaczanych miejscach dysku:

- „a”: –  $\frac{1}{4}$  długości śladu od dolnej krawędzi śladu zużycia,
- „sr” –  $\frac{2}{4}$  w połowie śladu zużycia,
- „b” –  $\frac{3}{4}$  długości śladu od dolnej krawędzi śladu zużycia.



**Rys. 1. Usytuowanie próbki badawczej i miejsca pomiaru AFM na próbce**

Fig. 1. Sample and AFM measurement places on the sample

Wybrane miejsca pomiaru istotnie różnią się warunkami pracy. Kulkę  $\phi 6$  mm, trzymaną w głowicy przesuwają wibrator z częstotliwością 50 Hz w zakresie  $\pm 0,5$  mm. Stąd w miejscu pomiaru „sr” prędkość poślizgu wynosi 0,16 m/s. W miejscach „a” i „b” mamy do czynienia z bardzo małą prędkością poślizgu. Dla średnic śladów zużycia kulek  $W_y$  w kierunku ruchu  $0,32 \pm 0,7$  mm, wynosi ona:  $0 \pm 0,1$  m/s, a długość śladu zużycia  $\approx 1 + W_y$  mm; Szerokość śladu zużycia  $\approx W_x$  mm. Miejsca „a” i „b” różnią się też między sobą dynamiką ruchu: relacją sił pchania/rozciągania. Może to powodować inną dynamikę obciążania kulki do dysku w miejscach pomiaru „a” i „b”, a przez to wpływać na procesy zużywania.

**Rzeczowy zakres analizowanych parametrów badań:** Przedmiotem analizy było  $c$  – stężenie dodatku, normatywne wielkości w badaniach smarności:  $WS_{1.4}$  – skorygowana średnica śladu zużycia,  $film$  – średnia grubość filmu olejowego,  $\mu$  – średni współczynnik tarcia,  $W_x$  – zużycie w kierunku prostopadłym do kierunku tarcia – **Rys. 1**,  $W_y$  – zużycie w kierunku równoległym do kierunku tarcia i  $MWSD$  – średnia arytmetyczna  $W_x$  i  $W_y$  – **Rys. 1** oraz wilgotność i temperatura podczas pomiarów smarności, zawarte w ww. opracowaniu wyników badań AFM w zakresie prac

własnych IPIEO. Względem opracowania liczbę parametrów opisu topografii powierzchni próbek zwiększono z 1 do 29, ASME B46.12 [L. 6, 7]. Pomiary wykonano w 3 miejscach – **Rys. 1** „a”, „ b” i „sr”. Analizowano wyniki w dwu skalach pomiaru  $2 \times 2 \mu\text{m}$  i skali  $10 \times 10 \mu\text{m}$ , w wyniku czego otrzymano do 185 wielkości przeznaczonych do analizy.

**Wyniki obliczeń korelacji** przedstawiono w **Tabeli 1**. Obserwowany zakres zmienności korelacji od  $-1$  do  $+1$  podzielono na 40 przedziałów o szerokości 0,05, poczynając od przedziału  $[-1, -0,95]$  (liczb nie mniejszych od  $-1$  i nie większych od  $-0,95$ ) i kończąc na przedziale zmienności  $[0,95, 1]$  liczb większych od 0,95 i nie większych od 1. Ostatni wiersz tabeli przedstawia sumaryczną liczbę wyliczonych korelacji. Obliczenia korelacji wykonano dla serii pomiarowych:

- 170 – dekanianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: LON-2,
- 180 – 2-undekanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: LON-2,
- 190 – butynianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: HON-2,
- 200 – 2-heksanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$ ) w HON-2,
- 210 – dekanianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: HON-2,
- 220 – 2-undekanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: HON-2,
- 230 – palmitynianu cholesterolu w HON-2.

Korelacje wyliczono między wszystkimi analizowanymi wielkościami. Niektóre analizowane wielkości pomiarowe miały stałą wartość w badanym zakresie zmienności. W takim przypadku wariancja zmiennych losowych  $D(X)$  lub  $D(Y)$  równa jest zero. Przy wyliczaniu współczynnika korelacji występowało dzielenie przez zero, nie można było wyliczyć korelacji – zmienne te pominięto na tym etapie analizy. Z tego powodu wyniki obliczeń dla poszczególnych serii pomiarowych 170÷230, zestawione w tabeli 1, różnią się między sobą sumaryczną ilością obliczonych korelacji.

**Tabela 1** ukazuje zmienność uszeregowania względem zakresu wartości korelacji między mierzonymi wielkościami. Tę zmienność unaczyniono za pomocą histogramów: **Rys. 2** do **Rys. 8**. Przykładowo w klasie dolnego zakresu korelacji:  $[-1, -0,95]$  stwierdzono dla serii:

|   |            |
|---|------------|
|   | przypadków |
| – 170 – dekanianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: LON-2 | – 68       |
| – 180 – 2-undekanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: LON-2      | – 87,      |
| – 190 – butynianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: HON-2 | – 102,     |
| – 200 – 2-heksanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$ ) w HON-2        | – 98,      |
| – 210 – dekanianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: HON-2 | – 58,      |

- 220 – 2-undekanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: HON-2 – 58,  
 – 230 – palmitynianu cholesterolu w HON-2 – 2640,  
 a dla górnego zakresu zmienności korelacji  $[0,95,1]$  stwierdza się dla tych samych serii pomiarowych:

przypadków

- 170 – dekanianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: LON-2 – 755  
 – 180 – 2-undekanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: LON-2 – 842,  
 – 190 – butynianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: HON-2 – 712,  
 – 200 – 2-heksanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$ ) w HON-2 – 741,  
 – 210 – dekanianu metylu ( $\text{CH}_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: HON-2 – 686,  
 – 220 – 2-undekanonu ( $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$ ) w: HON-2 – 653,  
 – 230 – palmitynianu cholesterolu w HON-2 – 2847

**Tabela 1. Zestawienie wyliczonych korelacji**

Table 1. List of calculated correlations

| Zakres korelacji | Seria pomiarowa |      |      |      |      |      |      |
|------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|
|                  | 170             | 180  | 190  | 200  | 210  | 220  | 230  |
| [-1,-0,95]       | 68              | 87   | 102  | 98   | 58   | 58   | 2640 |
| [-0,95,-0,9]     | 114             | 43   | 126  | 78   | 122  | 62   | 658  |
| [-0,9,-0,85]     | 130             | 80   | 130  | 100  | 102  | 64   | 776  |
| [-0,85,-0,8]     | 224             | 32   | 168  | 152  | 124  | 68   | 600  |
| [-0,8,-0,75]     | 218             | 86   | 172  | 144  | 136  | 126  | 524  |
| [-0,75,-0,7]     | 244             | 66   | 124  | 162  | 166  | 112  | 616  |
| [-0,7,-0,65]     | 328             | 130  | 234  | 228  | 306  | 142  | 906  |
| [-0,65,-0,6]     | 344             | 242  | 314  | 270  | 290  | 178  | 796  |
| [-0,6,-0,55]     | 468             | 438  | 374  | 330  | 472  | 278  | 710  |
| [-0,55,-0,5]     | 666             | 404  | 334  | 388  | 358  | 268  | 542  |
| [-0,5,-0,45]     | 752             | 532  | 444  | 492  | 562  | 430  | 906  |
| [-0,45,-0,4]     | 690             | 530  | 624  | 618  | 938  | 584  | 662  |
| [-0,4,-0,35]     | 1006            | 866  | 962  | 588  | 674  | 816  | 618  |
| [-0,35,-0,3]     | 1376            | 1167 | 912  | 710  | 994  | 796  | 710  |
| [-0,3,-0,25]     | 1340            | 1027 | 982  | 778  | 1102 | 1082 | 846  |
| [-0,25,-0,2]     | 1406            | 1464 | 1082 | 932  | 1124 | 1272 | 784  |
| [-0,2,-0,15]     | 1364            | 1441 | 1592 | 950  | 1480 | 1416 | 832  |
| [-0,15,-0,1]     | 1770            | 1649 | 1318 | 1246 | 1542 | 1778 | 936  |
| [-0,1,-0,05]     | 1686            | 1674 | 1304 | 1088 | 1634 | 1598 | 816  |
| [-0,05,0]        | 1680            | 1691 | 1324 | 1278 | 1422 | 1500 | 830  |
| [0,0,05]         | 1516            | 1590 | 1292 | 1288 | 1668 | 1582 | 788  |
| [0,05,0,1]       | 1530            | 1796 | 1510 | 1488 | 1538 | 1632 | 870  |
| [0,1,0,15]       | 1664            | 1950 | 1610 | 1806 | 1604 | 1996 | 852  |
| [0,15,0,2]       | 1414            | 1914 | 1522 | 1838 | 1788 | 2146 | 922  |
| [0,2,0,25]       | 1624            | 1788 | 1466 | 1926 | 1404 | 1756 | 700  |

|            |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| [0,25,0,3] | 1422  | 1427  | 1310  | 1920  | 1272  | 1964  | 748   |
| [0,3,0,35] | 1452  | 1222  | 1132  | 1422  | 1182  | 1430  | 764   |
| [0,35,0,4] | 974   | 891   | 1204  | 1212  | 1152  | 1192  | 642   |
| [0,4,0,45] | 912   | 835   | 1192  | 920   | 1064  | 1146  | 688   |
| [0,45,0,5] | 610   | 876   | 848   | 1072  | 1084  | 832   | 956   |
| [0,5,0,55] | 636   | 706   | 728   | 990   | 758   | 702   | 654   |
| [0,55,0,6] | 420   | 500   | 536   | 916   | 622   | 484   | 858   |
| [0,6,0,65] | 408   | 312   | 376   | 536   | 904   | 426   | 744   |
| [0,65,0,7] | 310   | 232   | 312   | 756   | 638   | 318   | 898   |
| [0,7,0,75] | 236   | 220   | 254   | 618   | 348   | 304   | 744   |
| [0,75,0,8] | 302   | 292   | 268   | 438   | 266   | 178   | 490   |
| [0,8,0,85] | 316   | 138   | 338   | 416   | 212   | 178   | 742   |
| [0,85,0,9] | 158   | 178   | 364   | 452   | 132   | 254   | 874   |
| [0,9,0,95] | 206   | 266   | 300   | 264   | 72    | 204   | 694   |
| [0,95,1]   | 755   | 842   | 712   | 741   | 686   | 653   | 2847  |
| Suma       | 32739 | 31624 | 29884 | 31647 | 31998 | 32005 | 34175 |

**Tabela 1** ogólnie ukazuje istotne różnice klasyfikacji między seriami pomiarowymi. Różnice szczególnie widać w zakresach korelacji bliskich jedności. Spośród wszystkich analizowanych serii pomiarowych wyróżnia się seria pomiarowa 230 – palmitynian cholesterolu w HON-2.

Istotność korelacji dla populacji różnych zmiennych losowych przeważnie ocenia się za pomocą testu F Snedocora, zwanego też rozkładem  $\omega^2$  lub  $v^2$  [L. 8]. Wyliczone dla serii pomiarowych 170÷230 wartości testu F i wartości kryterialne –  $F_{kr}$ , inaczej mówiąc krytyczne, zawarto w **Tabeli 2**. We wszystkich przypadkach spełnione jest kryterium istotności obliczonych korelacji  $F > F_{kr}$ , przy czym dla serii pomiarowych 170÷220:  $F \gg F_{kr}$ .

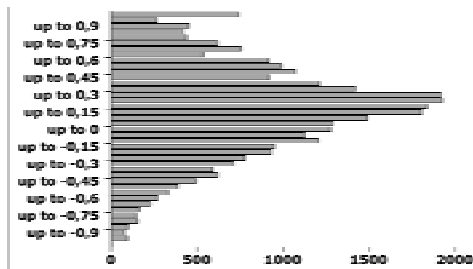
**Tabela 2. Wartości testu F i wartości krytyczne  $F_{kr}$  testu Snedocora**

Table 2. Values of the test F and cut off criterion values  $F_{kr}$  of the Snedocor's test

| Seria pomiarowa | F    | $F_{kr}$ |
|-----------------|------|----------|
| 170             | 7,26 | 1,1905   |
| 180             | 6,74 | 1,1921   |
| 190             | 6,51 | 1,1950   |
| 00              | 8,19 | 1,1921   |
| 210             | 7,25 | 1,1916   |
| 220             | 7,02 | 1,1916   |
| 230             | 2,66 | 1,1953   |

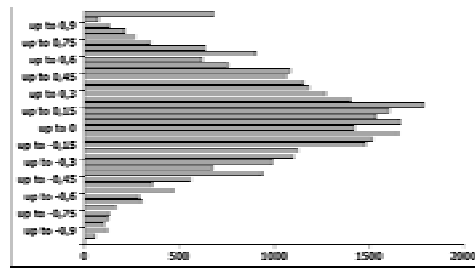
**Rysunki 2–8** przedstawiają histogramy korelacji. Histogramy mają cechę wspólną – widoczną wstęgę boczną w zakresie korelacji bliskich jednośc:  $[0,95,1]$ . Histogramy mają kształt zbliżony do rozkładu Gaussa, chociaż żadnej z populacji obliczonych korelacji serii 170÷230 nie opisuje rozkład Gaussa; Testy: Anderson-Darling, Cramér-von Mises i Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) potwierdzają to.

Histogram (**Rys. 8**) wyróżniają dwie wstęgi boczne w dolnym i górnym zakresie zmienności współczynnika korelacji:  $[-1,-0,95]$  i  $[0,95,1]$ . W wewnętrznym obszarze liczba korelacji w każdym zakresie zmienności mieści się w granicach:  $723\pm 32\%$ . W granicznych obszarach, zakresach korelacji bliskich jednośc –  $\pm 1$  osiągają:  $723+265\%$  dla  $-1$  dolnej granicy zmienności współczynnika korelacji i dla górnej granicy  $723+294\%$  dla  $+1$ .



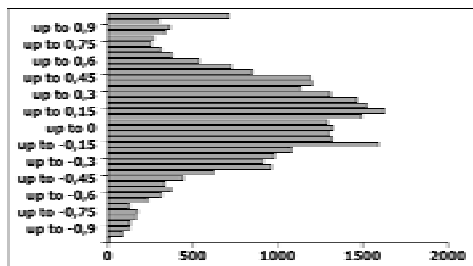
**Rys. 2. Histogram korelacji dla dekanianu metylu w LON-2**

Fig. 2. Correlation histogram for methyl decanoate in LON-2



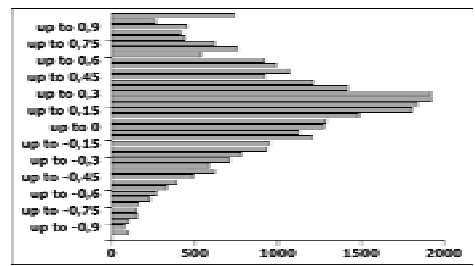
**Rys. 3. Histogram korelacji dla 2-undekanonu w LON-2**

Fig. 3. Correlation histogram for 2-undecanone in LON-2



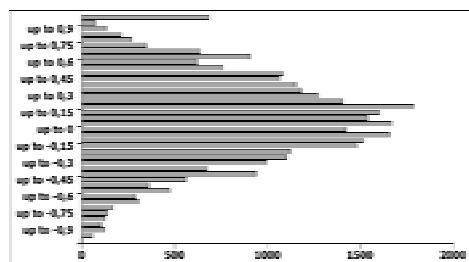
**Rys. 4. Histogram korelacji dla butynianu metylu w HON-2**

Fig. 4. Correlation histogram for methyl butyrate in HON-2



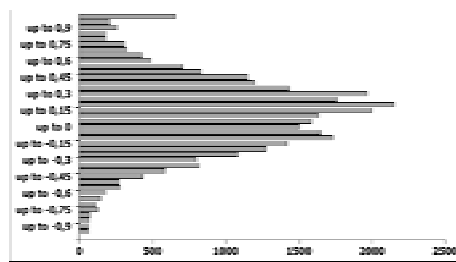
**Rys. 5. Histogram korelacji dla 2-heksanonu w HON-2**

Fig. 5. Correlation histogram for 2-hexanone in HON-2



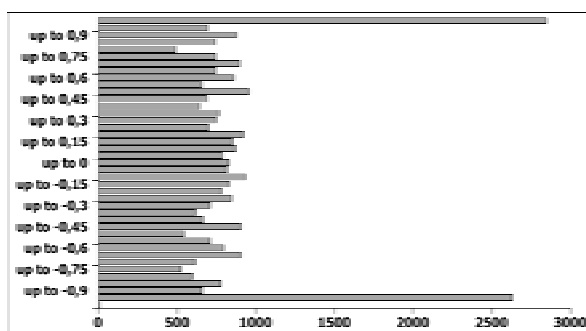
Rys. 6. Histogram korelacji dla dekanianu metylu w HON-2

Fig. 8. Correlation histogram for methyl decanoate in HON-2



Rys. 7. Histogram korelacji dla 2-undekanonu w HON-2

Fig. 7. Correlation histogram for 2-undecanone in HON-2



Rys. 8. Histogram korelacji palmitynianu cholesterolu w HON-2

Fig. 8. Correlation histogram for cholesterol palmitate in HON-2

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Celem pracy jest ogólna analiza wzajemnych relacji między wynikami badań – w obrębie populacji parametrów – określającymi topografię powierzchni po badaniach tarcia i właściwości tribologiczne.

Wyniki obliczeń korelacji zawarto w **Tabeli 1**. Liczność populacji relacji między analizowanymi parametrami dla poszczególnych serii pomiarowych mieści się w granicach:  $29884 \div 34175$ .

Za pomocą testu F stwierdzono istotność wyliczonych współczynników korelacji. Dla wszystkich serii pomiarowych spełnione jest kryterium istotności obliczonych korelacji  $F > F_{kr}$ , przy czym dla serii pomiarowych  $170 \div 220$ :  $F \gg F_{kr}$ .

Wynik obliczeń w 40 przedziałach o szerokości 0,05 w zakresie  $[-1, -0,95]$  do  $[0,95, 1]$  przedstawiono też za pomocą histogramów: **Rys. 2 do 8**.



Liczba korelacji w poszczególnych przedziałach zmienności wynosi:  $1480 \pm 92\%$ . Tak duża zmienność liczby korelacji w poszczególnych przedziałach dowodzi zmian wartości oddziaływań (interakcji) między parametrami badań zależnie od rodzaju dodatku i rozpuszczalnika.

Większość przedstawionych w **Tabeli 1** i **Rys. 2÷8** relacji stanowią korelacje między wynikami AFM – pomiarów topografii. Drugą grupę stanowią korelacje między wynikami AFM i parametrami procesu tarcia. Trzecią najmniej liczną grupę stanowią wyniki obliczeń relacji między parametrami opisującymi proces tarcia.

Dużą część wyników stanowią korelacje w przedziale zmienności  $[0,95,1]$ , a w przypadku serii pomiarowej 230 korelacje w przedziale  $[-1, -0,95]$ . Dla części populacji duża wartość korelacji może wynikać z definicji mierzonego parametru.

Niniejsze opracowanie jest wprowadzeniem w ilościową ocenę interakcji w badaniach tribologicznych. Jest wynikiem żmudnych pomiarów i na tym etapie jest częścią bazy do dalszej, pogłębionej analizy relacji w procesach tarcia.

## LITERATURA

1. Publikacje w ramach projektu: 3 T 08C 010 30 finansowanego przez MeiN, „Badanie Zmian Powierzchni Węzła Tarcia w Warunkach Smarowania Olejem Napędowym z Dodatkami Estrowymi”.
2. Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Czesław Kajdas; Projekt Badawczy pt. „Badanie Zmian Powierzchni Węzła Tarcia w Warunkach Smarowania Olejem Napędowym z Dodatkami Estrowymi”, Dokumentacja Techniczna Nr 1426/2009.
3. Kajdas Cz., Korycki J., Frydrych J.: „Określenie właściwości smarnych oleju napędowego z hydrokrakingu w funkcji zawartości estrów CHO”, Tribologia V38 NR 212, Nr 2, s. 219–228.
4. Korycki J., Kajdas Cz., Frydrych J., Słowiński G., Pisarek M.: Określenie właściwości smarnych oleju napędowego z hydrokrakingu w funkcji zawartości estrów CHO – Cz. II; Tribologia v XXXIX, nr 2 (2008), s. 257–276.
5. Korycki J., Kajdas Cz., Frydrych J., Słowiński G.: Określenie właściwości smarnych oleju napędowego z hydrokrakingu w funkcji zawartości ketonów CHO – Cz. III; Tribologia v XXXIX, nr 5 (2008).
6. Korycki J., Kajdas Cz., Frydrych J., Słowiński G., Pisarek M., Rogowski J.: Określenie Właściwości Smarnych Oleju Napędowego z Hydrokrakingu w Funkcji Zawartości Dodatków (CHO) – Podsumowanie – Cz. 4, Tribologia v40, nr 5, 2009, (227).

7. Bronsztejn I.N., Siemendajew K.A.: Matematyka Poradnik Encyklopedyczny, 1968.
8. Kalbarczyk M., Michalczewski R., Piekoszewski W., Szczerek M.: The correlation between 3D surface parameters of a ceramic element and the tribological characteristics in ceramic-polymer joints, ZEM 1 (153) 2008, p. 7÷18.
9. Surygała J. (red.): Ropa naftowa, WNT, Warszawa 2006.
10. Bobcock K.L., Prater C.B.: Phase Imaging: Beyond Topography, Veeco Instruments Inc.
11. ASME B46.12 "Surface Texture: Surface Roughness, Waviness and Lay", np. American Society of Mechanical Engineers.
12. Veeco, Nanoscope Software 7.20 User Guide.
13. Brandt S.: Statistical and Computational Methods for Scientists and Engineers, 1999 Springer-Verlag New York Inc. ISBN 0-387-98498-4.

**Recenzent:**  
**Magdalena TRZOS**

### Summary

**The article is a continuation of papers [L. 1]. This describe a fragment of results of the analysis of the relation of the: tribological proprieties and topography above 5500 images from AFM measurement.**

**The present article is an introduction into evaluation of the interaction in tribological research.**