

Jarosław Mikołajczyk

Analiza statystyczna zmiany poboru mocy podczas procesu zużywania

JEL: C46. DOI: 10.24136/atest.2019.217.

Data zgłoszenia: 22.01.2020. Data akceptacji: 24.01.2020.

W niniejszej pracy przedstawiono analizę statystyczną zmiany poboru mocy elektrycznej stanowiska tribologicznego w wyniku procesu zużywania pary kinematycznej o styku konforemnym, pracującej w obecności preparatu eksploatacyjnego PE o zdefiniowanym składzie. Omówiono warunki badań oraz budowę stanowiska badawczego. Badania tribologiczne wykonano w temperaturze pokojowej dla jednej prędkości ruchu względnego. Określono wpływ stężenia wybranego PE w bazie olejowej SN-150 na zmianę poboru mocy elektrycznej tribotestera. Analizę statystyczną wykonano w oparciu o program R.

Słowa kluczowe: struktura geometryczna powierzchni, warstwa wierzchnia, olej bazowy, dodatki do olejów, preparat eksploatacyjny.

Wprowadzenie

Przedmiotem badań w niniejszej pracy jest proces zużywania próbek ze stykiem konforemnym zachodzący w obecności preparatu eksploatacyjnego o zdefiniowanym składzie. W celu poznania jego przebiegu przeprowadzono badania na stanowisku tribologicznym. Obiektem badań były próbki, które miały kształt sześciangu. Przeciwpółka wykonana była w postaci płaskiej płytki pierścieniowej.

Realizacja założonych funkcji przez każdą parę kinematyczną w procesie eksploatacji wymaga dostarczenia energii. Część tej energii wykorzystywana jest do realizacji zadań, a część – stanowi straty energetyczne. Od relacji między obydwiema częściami zależy sprawność pary kinematycznej. Ponieważ dla realizacji określonej funkcji niezbędna jest zdefiniowana, stała ilość energii, więc w wyniku monitorowania energii pobieranej przez układ można obserwować jego straty energetyczne. Tym samym przebieg poboru mocy jest niejako sprzężony z przebiegiem temperatury pracy współpracujących elementów. Z tego powodu do opisu wpływu badanych PE na intensywność procesu zużywania przyjęto pobór mocy elektrycznej oraz jej zmiany w funkcji drogi tarcia. Mniejszy pobór mocy równoznaczny jest z niższymi temperaturami układu tribologicznego – mniejsze są straty energetyczne będące skutkiem pracy tarcia. W niniejszych badaniach do napędu tribotestera zastosowano silnik elektryczny 3-fazowy asynchroniczny klatkowy.

1. Warunki badań

Na podstawie zebranych informacji literaturowych oraz badań wstępnych dokonano wyboru wielkości, które stanowią zbiór czynników wejściowych:

- ♦ średnia prędkość ruchu względnego V_{sr} ,
- ♦ rodzaj kompozycji smarującej.

Średnia prędkość ruchu względnego podczas badań wynosiła: 4,8 m/min (0,08 m/s).

Próbki z przeciwpółką współpracowały przy obciążeniu zewnętrznym wynoszącym 600 N, co przy powierzchni styku próbek

z przeciwpółką wynoszącej 300 mm², odpowiada teoretycznym naciskom w strefie styku 2,0 MPa.

Uwzględniając materiał próbek i przeciwpółki, przyjęto następującą twardość próbek: 40 HRC, przeciwpółki: 60 HRC.

Jako dodatki do bazy olejowej SN-150 wybrano PE (preparat eksploatacyjny) Motor Life oraz Mind M. Przy ich wyborze kierowano się następującymi kryteriami: dostępności, mechanizmu działania, przeznaczenia. Poza tym w analizowanej literaturze nie stwierdzono przypadku badań nad kompozycją smarów składającą się z w/w preparatów eksploatacyjnych. Pierwszy z preparatów jest szeroko rozpowszechniony w Polsce. Powoduje modyfikację warstwy wierzchniej poprzez wytworzenie warstwy granicznej w wyniku sorpcji fizycznej i chemicznej. Zawiera syntetyczne komponenty bazowe, dodatki przeciwdziałające zużyciu, antyutleniacze, związki przeznaczone do pracy w ekstremalnych ciśnieniach. Preparat Mind M natomiast stanowi kompleks węglowodorowy, łączący się chemicznie z metalem podłoża tworząc mikroskopijną jednocząsteczkową niewypłukiwalną warstwę. Rozkłada siły nacisku na większą powierzchnię, tym samym zwiększając trwałość materiałów konstrukcyjnych. Wchodzi w reakcje z podłożem metalicznym (żelaznym lub nieżelaznym) głównie w miejscach o podwyższonej temperaturze procesu tarcia [Laber 2001, Laber 2003].

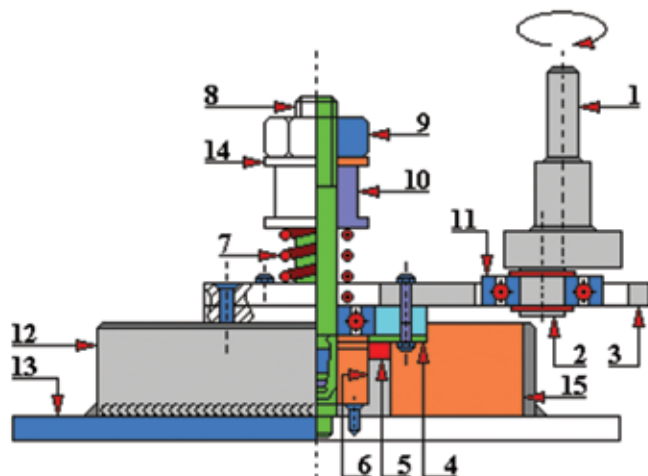
Producenci w/w preparatów zalecają ich 5% stężenia w bazie olejowej. W niniejszej pracy przyjęto stężenia zarówno mniejsze od tej wartości jak i większe w celu lepszego poznania ich działania. Przyjęto więc następujące stężenia: 0% (czysta baza olejowa); 0,5%; 1%; 2%; 5% i 7% badanego dodatku w bazie olejowej. Trzecim PE była kompozycja składająca się z Motor Life'u i Mind'u M w stosunku 1:1 o stężeniach: 0,5%; 2%; 5% i 7%.

Na podstawie informacji literaturowych do zbioru czynników wyjściowych przyjęto wielkości charakteryzujące proces zużywania, w tym pobór mocy P [kW] tribotestera, którego analizę statystyczną opracowaną w programie R przedstawiono poniżej.

Do czynników stałych podczas badań zaliczono tworzywo konstrukcyjne próbek jakim była stal 102Cr6 (NC6). Stal ta charakteryzuje się m. in. małym rozrzutem twardości po obróbce cieplnej, dlatego aby twardość próbek mieściła się w wąskim zakresie wybrano do badań ten materiał. Próbki miały kształt sześciangu o wymiarach 10x10x10 [mm].

Przyjęto następujące czynniki stałe:

- ♦ materiał przeciwpółki (stal X210Cr12 – dawniej NC11);
- ♦ twardość (H) przeciwpółki (60±2 HRC);
- ♦ stan struktury geometrycznej przeciwpółki (okresowo kontrolowany);
- ♦ warunki obróbki elementów badanych (powierzchnie szlifowane);
- ♦ droga tarcia $L = 2000$ m;
- ♦ temperatura pracy (temperaturę w której zachodziła transformacja warstwy wierzchniej WW) równą temperaturze otoczenia: 20°C;
- ♦ siła nacisku przeciwpółki na próbki $F = 600$ N.



Rys. 1. Postać konstrukcyjna stanowiska badawczego, gdzie: 1 – uchwyt mimośrodowy, 2 – mimośród, 3 – dźwignia, 4 – przeciwwpróbkę, 5 – badane próbki, 6 – tuleja ustalająca próbki, 7 – sprężyna, 8 – śruba centralna, 9 – nakrętka, 10 – tuleja dystansowa, 11 – łożysko kulkowe, 12 – płaszcz rury, 13 – płyta stalowa podstawy, 14 – podkładka, 15 – badana kompozycja smarowa

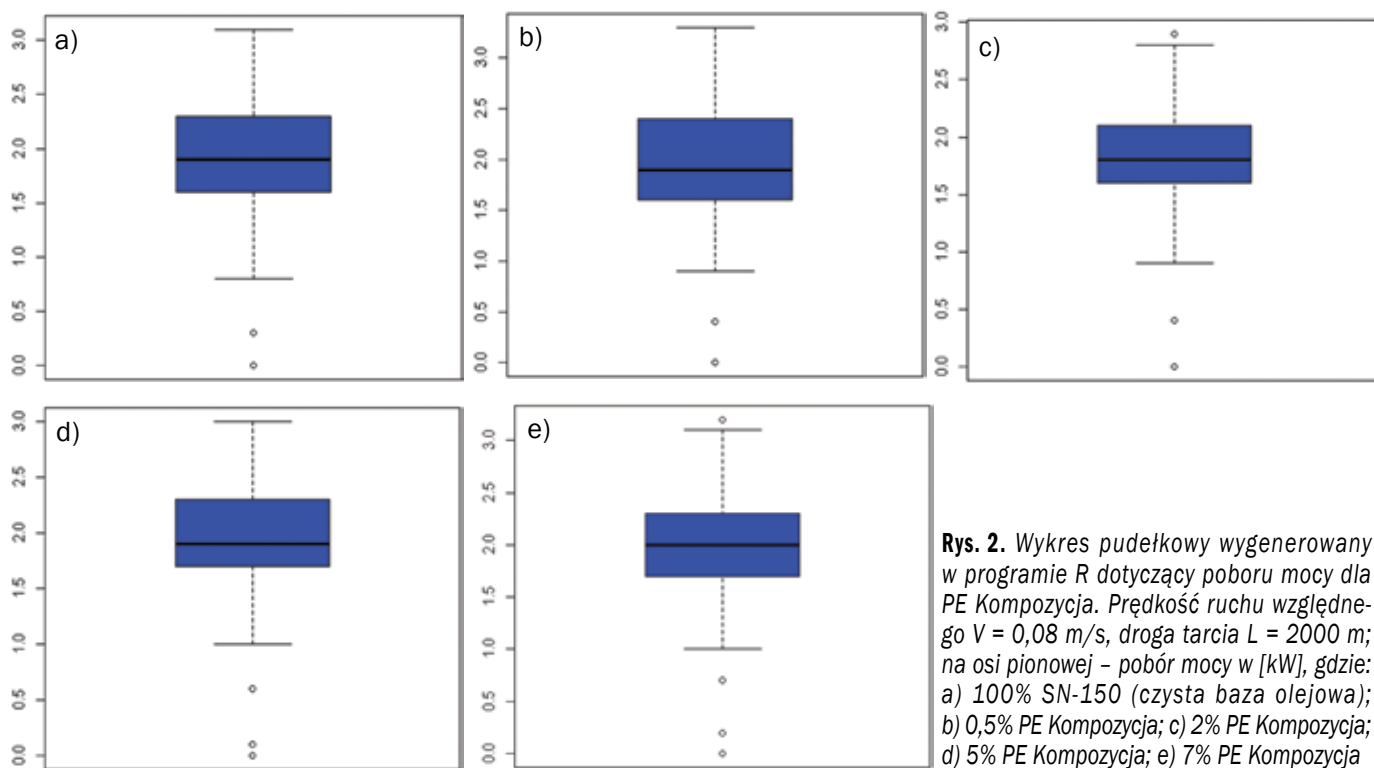
Badania przeprowadzono na stanowisku przedstawionym na rys. 1. Badane próbki mocowane były w trzech rowkach co 120° na czole tulei ustalającej próbki w celu zapewnienia pewnego i równomiernego trójpowierzchniowego docisku współpracujących elementów.

2. Wyniki badań

Dla prędkości ruchu względnego $V_1 = 0,08$ m/s drogę tarcia $L = 2000$ m osiągnięto po czasie 400 min. Pomiaru poboru mocy dokonywano co jedną sekundę. Wykonano więc $400 \times 60 = 24000$ pomiarów dla każdego stężenia badanego PE. Dane te zostały zaimplementowane do programu R w celu wygenerowania wykresu pudełkowego.

Dla zmierzonych wartości poboru mocy obliczono za pomocą programu R następujące parametry statystyczne w celu analizy otrzymanych wyników:

- ♦ Min – wartość minimalną;
- ♦ 1stQu. – dolny (pierwszy) kwartyl próby (Q_1);
- ♦ Median – mediana („wartość środkowa” Q_2);
- ♦ Mean – średnia arytmetyczna;
- ♦ 3rdQu. – górny (trzeci) kwartyl próby (Q_3);
- ♦ Max – wartość maksymalna;



Rys. 2. Wykres pudełkowy wygenerowany w programie R dotyczący poboru mocy dla PE Kompozycja. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m; na osi pionowej – pobór mocy w [kW], gdzie: a) 100% SN-150 (czysta baza olejowa); b) 0,5% PE Kompozycja; c) 2% PE Kompozycja; d) 5% PE Kompozycja; e) 7% PE Kompozycja

Do losowych, niekontrolowanych czynników wejściowych – zakłóceń, zaliczono m. in.:

- ♦ drgania wynikające z odchyłek wykonawczych elementów stanowiska badawczego;
- ♦ zanieczyszczenie środowiska pracy;
- ♦ zróżnicowanie struktury geometrycznej powierzchni SGP próbek spowodowane np. procesem zużycia narzędzia podczas obróbki;
- ♦ zmienność siły docisku wynikającą z montażowej odchyłki ugięcia sprężyny, a także z postępującego zużycia próbek;
- ♦ rozrzut twardości próbek, spowodowany przez np. niejednorodność materiału próbek w całej jego objętości.

- ♦ IQR – rozstęp międzykwartylowy (ang. *interquartile range*);
- ♦ R – rozstęp próby;
- ♦ s – odchylenie standardowe;
- ♦ d_1 – odchylenie przeciętne od wartości średniej.

W/w parametry statystyczne zestawiono w tabeli 1.

W celu określenia ewentualnej zależności pomiędzy poszczególnymi poborami mocy układu (tribotesteru) dla danych stężeń badanego PE Kompozycja, obliczono korelacje metodą Pearsona oraz Spearmanna. Założono przy tym, że wyniki mają rozkład normalny. Jeżeli wartości korelacji będą zbliżone do wartości 1 lub -1, to zmienne są zależne. Jeżeli wartości korelacji będą

Tab. 1. Zestawienie wybranych parametrów statystycznych dla zmierzonych poborów mocy dla PE Kompozycja. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m

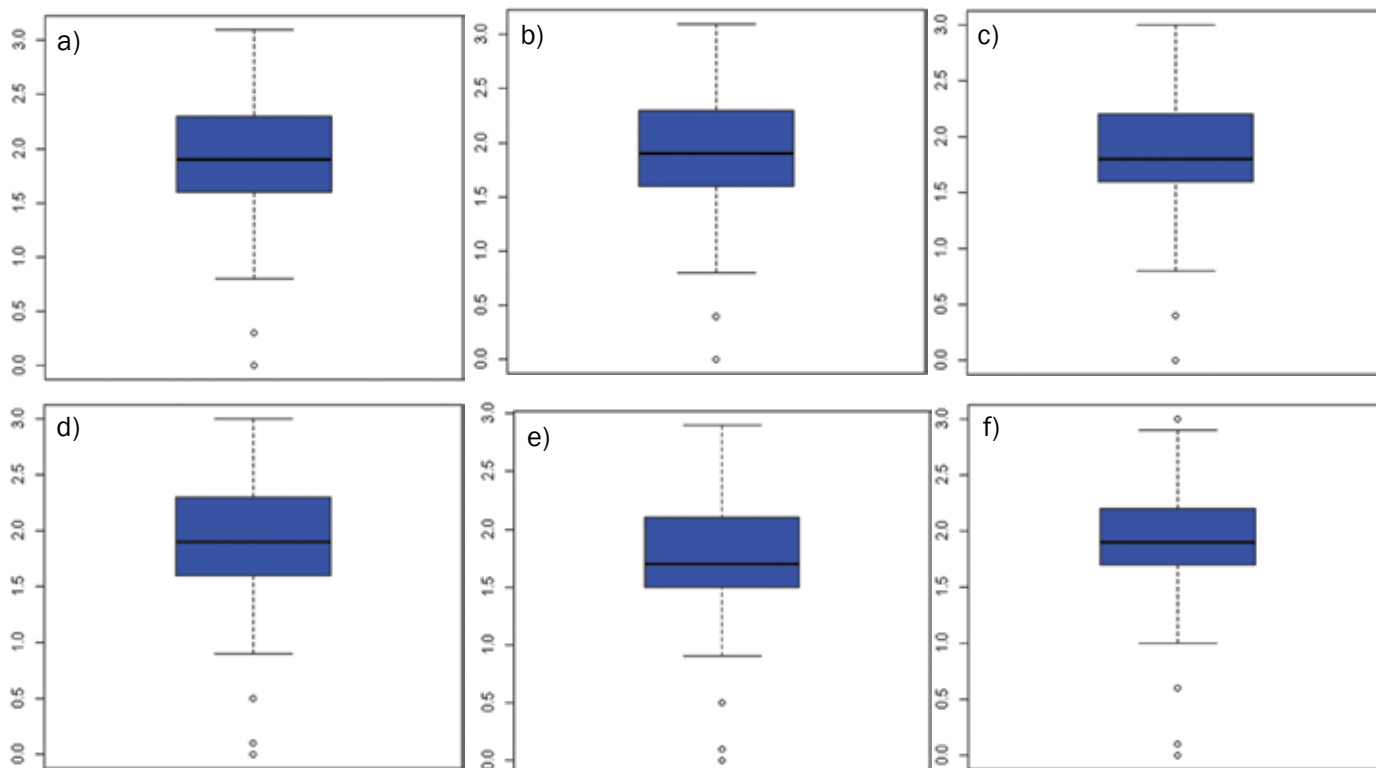
	Min	1stQu.	Median	3rdQu.	Max	IQr	R	s	d_1	Mean
0%	0,0	1,6	1,9	2,3	3,1	0,7	3,1	0,436	0,367	1,984
0,5%	0,0	1,6	1,9	2,4	3,3	0,8	3,3	0,499	0,423	1,994
2%	0,0	1,6	1,8	2,1	2,9	0,5	2,9	0,375	0,306	1,879
5%	0,0	1,7	1,9	2,3	3,0	0,6	3,0	0,406	0,338	1,979
7%	0,0	1,7	2,0	2,3	3,2	0,6	3,2	0,413	0,336	2,006

Tab. 2. Wyniki korelacji pomiędzy poszczególnymi poborami mocy układu tribologicznego dla określonych stężeń PE Kompozycja. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m

	Pearson		Spearman	
0%	-0,01		-0,01	
0,5%				
2%	0,04	0,01	0,04	0,01
5%				
7%		0,03		0,02

W celu określenia ewentualnej zależności pomiędzy poszczególnymi poborami mocy układu (tribotestu) dla danych stężeń badanego PE Motor Life, obliczono korelacje metodą Pearsona oraz Spearmanna w ten sam sposób jak dla PE Kompozycja. Wyniki przedstawiono w tab. 4.

Ostatnim PE, dla którego były przeprowadzone badania był Mind M, dla którego zmierzone dane poboru mocy zostały zaimplementowane do programu R w celu wygenerowania wykresu pudełkowego – rys. 4.



Rys. 3. Wykres pudełkowy wygenerowany w programie R dotyczący poboru mocy dla PE Motor Life. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m; na osi pionowej – pobór mocy w [kW], gdzie: a) 100% SN-150 (czysta baza olejowa), b) 0,5% PE Motor Life, c) 1% PE Motor Life, d) 2% PE Motor Life, e) 5% PE Motor Life, f) 7% PE Motor Life

bliskie wartości 0, wówczas mamy do czynienia ze zmiennymi niezależnymi. Wyniki przedstawiono w tab. 2.

W podobny sposób postąpiono z kolejnym PE - Motor Life. Zmierzone dane poboru mocy zostały zaimplementowane do programu R w celu wygenerowania wykresu pudełkowego – rys. 3.

Dla zmierzonych wartości poboru mocy obliczono za pomocą programu R wybrane parametry statystyczne w celu analizy otrzymanych wyników. W/w parametry statystyczne zestawiono w tabeli 3.

Dla zmierzonych wartości poboru mocy obliczono za pomocą programu R wybrane parametry statystyczne w celu analizy otrzymanych wyników. W/w parametry statystyczne zestawiono w tabeli 5.

W celu określenia ewentualnej zależności pomiędzy poszczególnymi poborami mocy układu (tribotestu) dla danych stężeń badanego PE Mind M, obliczono korelacje metodą Pearsona oraz Spearmanna podobnie jak dla PE Kompozycja oraz PE Motor Life. Wyniki przedstawiono w tab. 6.

Tab. 3. Zestawienie wybranych parametrów statystycznych dla zmierzonych wartości poboru mocy dla PE Motor Life. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m

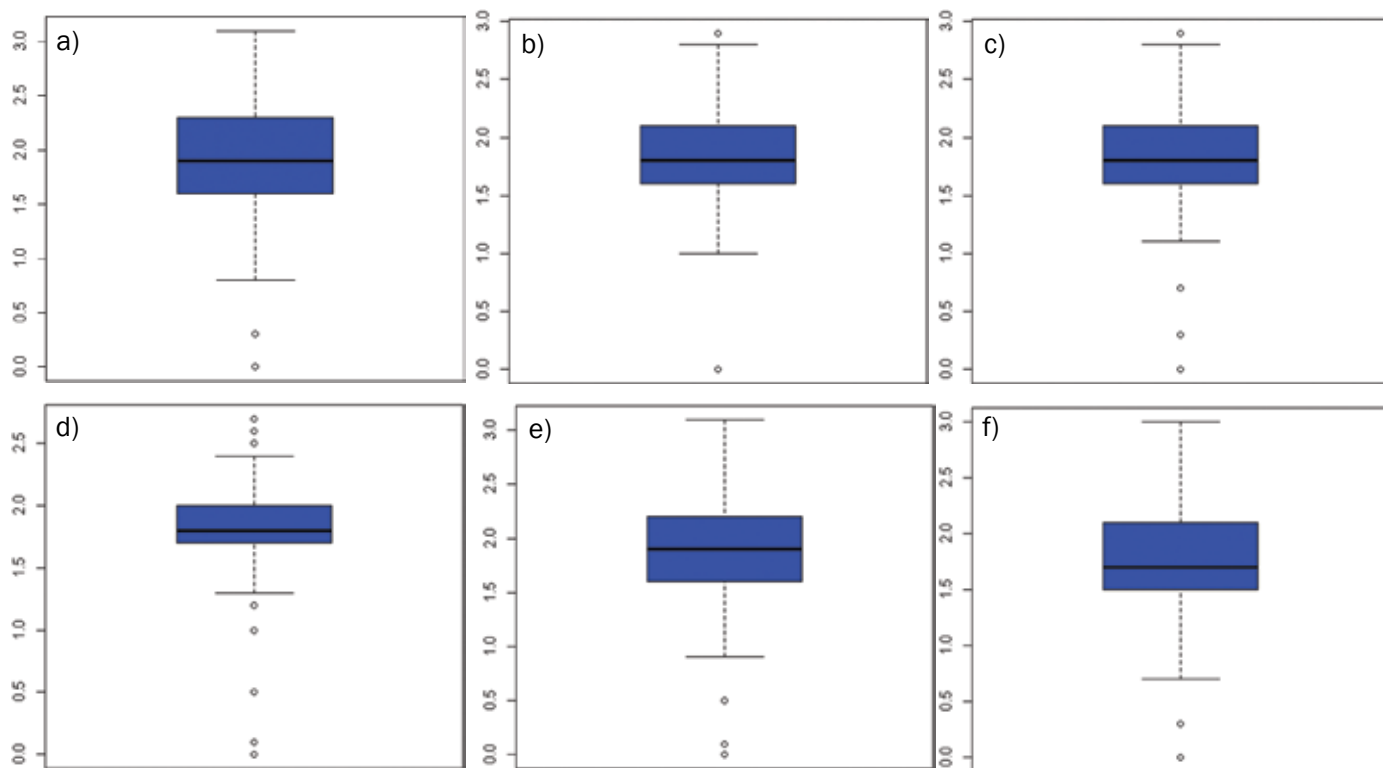
	Min	1stQu.	Median	3rdQu.	Max	IQr	R	s	d1	Mean
0%	0,0	1,6	1,9	2,3	3,1	0,7	3,1	0,436	0,367	1,984
0,5%	0,0	1,6	1,9	2,3	3,1	0,7	3,1	0,422	0,356	1,936
1%	0,0	1,6	1,8	2,2	3,0	0,6	3,0	0,403	0,337	1,895
2%	0,0	1,6	1,9	2,3	3,0	0,7	3,0	0,444	0,378	1,935
5%	0,0	1,5	1,7	2,1	2,9	0,6	2,9	0,424	0,359	1,823
7%	0,0	1,7	1,9	2,2	3,0	0,5	3,0	0,388	0,323	1,943

Tab. 4. Wyniki korelacji pomiędzy poszczególnymi wartościami poboru mocy układu tribologicznego dla określonych stężeń PE Motor Life. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m

	Pearson		Spearman	
0%	-0,01		-0,01	
0,5%		0,01		0,01
1,0%	-0,02		-0,02	
2%		0,05		0,04
5%	0,05		0,05	
7%				

Tab. 6. Wyniki korelacji pomiędzy poszczególnymi wartościami poboru mocy układu tribologicznego dla określonych stężeń PE Mind M. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m

	Pearson		Spearman	
0%	0,00		0,00	
0,5%		-0,03		-0,03
1,0%	0,04		0,04	
2%		0,00		0,00
5%	0,03		0,02	
7%				



Rys. 4. Wykres pudełkowy wygenerowany w programie R dotyczący poboru mocy dla PE Mind M. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m; na osi pionowej – pobór mocy w [kW]: a) 100% SN-150 (czysta baza olejowa), b) 0,5% PE Mind M, c) 1% PE Mind M, d) 2% PE Mind M, e) 5% PE Mind M, f) 7% PE Mind M

Tab. 5. Zestawienie wybranych parametrów statystycznych dla zmierzonych wartości poboru mocy dla PE Mind M. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m

	Min	1stQu.	Median	3rdQu.	Max	IQr	R	s	d1	Mean
0%	0,0	1,6	1,9	2,3	3,1	0,7	3,1	0,436	0,367	1,984
0,5%	0,0	1,6	1,8	2,1	2,9	0,5	2,9	0,381	0,316	1,872
1%	0,0	1,6	1,8	2,1	2,9	0,5	2,9	0,344	0,280	1,874
2%	0,0	1,7	1,8	2,0	2,7	0,3	2,7	0,270	0,215	1,842
5%	0,0	1,6	1,9	2,2	3,1	0,6	3,1	0,435	0,356	1,900
7%	0,0	1,5	1,7	2,1	3,0	0,6	3,0	0,416	0,353	1,830

Tab. 7. Zestawienie względnych zmian poboru mocy dla poszczególnych stężeń PE Kompozycja względem czystej bazy olejowej. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m

	Mean [kW]	$x/P_{100\%SN-150}$	[%]
0%	1.984	1.0	100%
0.5%	1.994	1.005	100.5%
2%	1.879	0.947	94.7%
5%	1.979	0.997	99.7%
7%	2.006	1.011	100.1%

Tab. 8. Zestawienie względnych zmian poboru mocy dla poszczególnych stężeń PE Motor Life względem czystej bazy olejowej. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m

	Mean [kW]	$x/P_{100\%SN-150}$	[%]
0%	1.984	1.0	100%
0.5%	1.936	0.975	97.5%
1%	1.895	0.955	95.5%
2%	1.935	0.975	97.5%
5%	1.823	0.918	91.8%
7%	1.943	0.979	97.9%

Tab. 9. Zestawienie względnych zmian poboru mocy dla poszczególnych stężeń PE Mind M względem czystej bazy olejowej. Prędkość ruchu względnego $V = 0,08$ m/s, droga tarcia $L = 2000$ m

	Mean [kW]	$x/P_{100\%SN-150}$	[%]
0%	1.984	1.0	100%
0.5%	1.872	0.943	94.3%
1%	1.874	0.944	94.4%
2%	1.842	0.928	92.8%
5%	1.900	0.957	95.7%
7%	1.830	0.922	92.2%

Jeżeli wartość poboru mocy dla czystej bazy olejowej SN-150 przyjąć jako:

$$P_{100\%SN-150}=1,0 \text{ (lub } 100\%)$$

wówczas wartości poboru mocy dla poszczególnych stężeń badanych PE będą wynosiły tak jak w tabelach 7, 8 oraz 9.

Podsumowanie

Po analizie otrzymanych charakterystyk zmian poboru mocy elektrycznej podczas procesu tarcia można sformułować następujące wnioski:

- Dla stężenia 2% PE Kompozycja zanotowano zmniejszenie poboru mocy w stosunku do czystej bazy olejowej o ok. 5%. Dla pozostałych stężeń PE Kompozycja pobór mocy praktycznie się nie zmienił (tab. 7);
- Dla PE Motor Life praktycznie każde z badanych stężeń wpływa korzystnie na obniżenie poboru mocy tribotestera, przy czym wartość minimalną otrzymano dla stężenia 5% (zmniejszenie poboru mocy aż o ok. 8% w stosunku do czystej bazy olejowej SN-150) – tab 8;
- Dla PE Mind M również praktycznie każde z badanych stężeń wpłynęło na obniżenie poboru mocy tribotestera, przy czym wartość minimalną otrzymano dla stężenia 7% (zmniejszenie poboru mocy o ok. 7% w stosunku do czystej bazy olejowej) – tab. 9;

- Dla PE Kompozycja, Motor Life oraz Mind M występują nieznaczne wartości odstające (rys. 2, 3 oraz 4), głównie podczas rozruchu (załączenia) tribotestera;
- Jeżeli przyjąć zmianę poboru mocy jako pewną cechę badanych PE, to należy stwierdzić, że pomiędzy PE Motor Life i Mind M występuje niewielki antagonizm (tab. 6). Każdy z nich wpływa korzystnie na obniżenie poboru mocy tribotestera, ale ich połączenie (PE Kompozycja) nie posiada już tej cechy w takim zakresie jak w/w;
- Analiza wyników korelacji pomiędzy poszczególnymi wartościami poboru mocy (tab. 2, 4 oraz 6) świadczy o braku zależności pomiędzy nimi.

Analiza poboru mocy przez parę cierną jest ważną cechą środka smarnego. W literaturze analizuje się głównie zmiany struktury warstwy wierzchniej lub zmiany struktury geometrycznej powierzchni współpracujących elementów, co jest oczywiście ważne. Jednak analizy poboru mocy przez układy tribologiczne praktycznie się nie spotyka, co wydaje się być pewnym przeoczeniem przy ocenie własności tribologicznych danego środka smarnego. Oczywiście dla różnych tribotesterów będą różne pobory mocy, ale zawsze będzie istniało jakieś ekstremum (minimum lub maksimum) dla badanych stężeń.

Bibliografia:

1. Bendat J. S., Piersol A. G.: *Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976.
2. Biecek P.: *Analiza danych z programem R. Modele liniowe z efektami stałymi, losowymi i mieszanymi*. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa 2013.
3. Biecek P.: *Przewodnik po pakiecie R*. Oficyna Wydawnicza GIS, Wrocław 2017.
4. Crawley M.: *The R Book*. Wiley-Blackwell 2012.
5. Everitt B., Hothorn T.: *A Handbook of Statistical Analyses Using R*. Chapman&Hall/CRC Computer Science & Data Analysis. 2010.
6. Gągolewski M.: *Programowanie w języku R. Analiza danych, obliczenia, symulacje*. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2016.
7. Gillespie C., Lovelace R.: *Wydajne programowanie w R. Praktyczny przewodnik po lepszym programowaniu*. APN Promise, Warszawa 2018.
8. Koronacki J., Mielniczuk J.: *Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych*. Wydawnictwo WNT, Warszawa 2018.
9. Knopik L., Migawa K., Peszyński K., Wawrzyniak S.: *Some Remarks on Preventive Replacement Model*. W: Engineering Mechanics 2017.
10. Krzysztofiak M., Urbanek D.: *Metody statystyczne*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1977.
11. Krzyśko M.: *Statystyka matematyczna*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań 1996.
12. Laber S.: *Preparaty eksploatacyjne*. Wydział Mechaniczny Instytutu Budowy Maszyn i Pojazdów, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2001.
13. Laber S.: *Badania własności eksploatacyjnych i smarnych uszlachetnicza metalu Motor Life Professional*. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2008.
14. Luszczewicz A.: *Statystyka ogólna*. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1987.

15. Morrison D. F.: *Wielowymiarowa analiza statystyczna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1990.
16. Mikołajczyk J.: *Badanie wpływu preparatu eksploatacyjnego Mind M na zmianę własności smarnych oleju bazowego SN-150*, Inżynieria i Aparatura Chemiczna nr 5, s. 235÷236, 2012r.
17. Mikołajczyk J.: *Wpływ dodatków smarowych na transformację warstwy wierzchniej*. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Pile, Piła 2017.
18. Mikołajczyk J.: *Maszyny tarcowe. Budowa, przeznaczenie*. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Pile, Piła 2018.
19. Mikołajczyk J.: *Tribotestery. Budowa, przeznaczenie*. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Pile, Piła 2019.
20. Mikołajczyk J.: *System wizualizacji i archiwizacji danych stanowiącego do badań tribologicznych*. Praca dyplomowa na Wydziale Elektrotechniki i Telekomunikacji Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2011.
21. Migawa K., Knopik L., Wawrzyniak S.: *Application of genetic algorithm to control the availability of technical systems*. Engineering Mechanics 1805-8248/2016
22. Praca zbiorowa pod red. Szydlowskiego H.: *Teoria pomiarów*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1981.
23. Żakowski W., Kołodziej W.: *Matematyka cz. II. Analiza matematyczna*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003.

Statistical analysis of the power variation of tribotester as a result of the wear process

This paper presents a statistical analysis of the variation of the mass of samples caused by the process of wear of kinematic vapor of conformal contact working in the presence of a consumable PF a defined content. It contains the presentation of test conditions and design of a test rig. Tribological tests were carried out at a room temperature for one velocity of relative motion. Determined was the impact of the concentration of a selected consumable in SN-150 oil base on the power variation of tribotester. The statistical analysis was produced on the basis of R software.

Keywords: surface texture, surface layer, base layer, base oil, oil additives, consumable.

Autor:

Jarosław Mikołajczyk – Państwowa Uczelnia Stanisława Staszica w Pile