

Paweł Kot, Edward Lisowski ¹⁾, Konrad Kloch ²⁾

BADANIE OPORÓW TARCIA WYSTĘPUJĄCYCH W SIŁOWNIKU PNEUMATYCZNYM WYKONANYM Z MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH

Streszczenie: Silikony są materiałami powszechnie stosowanymi w dziedzinie uszczelniania elementów ruchomych. Ich główną funkcją jest zapobieganie powstawania przecieków zarówno środków smarujących, jak i cieczy właściwej. Niektóre silikony w swej budowie zawierają olej, który ma na celu zmniejszenie współczynnika tarcia, dzięki czemu pozwala na uzyskanie większej siły kompresji przy tej samej reakcji uszczelnianego układu. Jedne z pierwszych teorii tarcia zostały sformułowane już w latach 40', jednakże dotyczą one jedynie kontaktu pomiędzy powierzchniami metalicznymi.

W artykule przedstawiona została metodologia przeprowadzania badań oporów tarcia pomiędzy tworzywami polimerowymi a elastomerami. Przeprowadzone na stanowisku badawczym testy zostały zaimplementowane w nowoczesnych systemach wspomaganie projektowania, dzięki czemu możliwe będzie oszacowanie współczynnika tarcia pomiędzy korpusem a tłoczyskiem siłownika pneumatycznego już na etapie projektowania. W celu weryfikacji wykonany został także cykl analiz numerycznych, mających na celu skonfrontowanie wyników i poprawne zamodelowanie oporów tarcia w systemie Abaqus.

Słowa kluczowe: tarcie, MES, materiały polimerowe, tworzywa silikonowe.

WSTĘP

Silikony są materiałami powszechnie stosowanymi w dziedzinie uszczelniania elementów ruchomych. Ich główną funkcją jest zapobieganie powstawania przecieków zarówno środków smarujących, jak i cieczy właściwej. Niektóre silikony w swej budowie zawierają olej, który ma na celu zmniejszenie współczynnika tarcia, dzięki czemu pozwala na uzyskanie większej siły kompresji przy tej samej reakcji uszczelnianego układu. W przeciągu wielu lat opracowane zostały teorie tarcia, które można podzielić na [1]:

a) mechaniczne:

- mechaniczna teoria Leonarda da Vinci (XVI w.),
- teoria Amontonsa (1669 r.),
- model Coulomba (1785 r.),

b) adhezyjne:

- teoria Tomlinsona (1929 r.),
- teoria Bowdena i Tabora (1950 r.),

¹ Politechnika Krakowska, Instytut Informatyki Stosowanej.

² Delphi Poland SA.

- teoria Deriagina (1952 r.),
- c) adhezyjno-mechaniczne:
 - teoria Kragielskiego (1940 – 1965 r.)

MODELE TARCIA W SYSTEMACH WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA

Solwery współczesnych systemów wspomaganie projektowania są programami, które na podstawie danych wejściowych wprowadzonych przez użytkownika wykonują obliczenia matematyczne. Zatem algorytmy, jakimi posługują się systemy CAE muszą uwzględniać założenia tarcia opracowane dotychczas. W obszarze kontaktu pomiędzy komponentami przenoszone są zarówno siły statyczne jak i normalne. Między tymi składnikami występuje zjawisko zwane tarciem, które może być wyrażone w uzależnieniu od nacisków na powierzchnię styku.

Jednym z wiodących systemów CAE, w którym wykonane zostały obliczenia przedstawione w niniejszym artykule, jest pakiet Abaqus. Do tego celu wykonane zostały obliczenia wykorzystujące model Coulomba. Podstawową zasadą tarcia, opisaną w modelu Coulumbowskim, jest powiązanie maksymalnej dopuszczalnej siły tarcia z naciskiem jednego ciała na drugie. Ogólnie rzecz biorąc dwie stykające się powierzchnie mogą przenieść poprzeczne naprężenia do pewnej wartości, po przekroczeniu której zaczynają przesuwać się względem siebie. W podstawowym modelu Coulomba w programie Abaqus współczynnik tarcia jest definiowany bezpośrednio jako [1, 4]:

$$\mu = \mu(\dot{\gamma}_{eq}, p, \bar{\theta}, \bar{f}^{\alpha}) \quad (1)$$

gdzie:

$\dot{\gamma}_{eq}$ - prędkość poślizgu,

p - wartość nacisku styku,

$\bar{\theta} = \frac{1}{2}(\theta_A + \theta_B)$ - średnia temperatura w miejscu kontaktu,

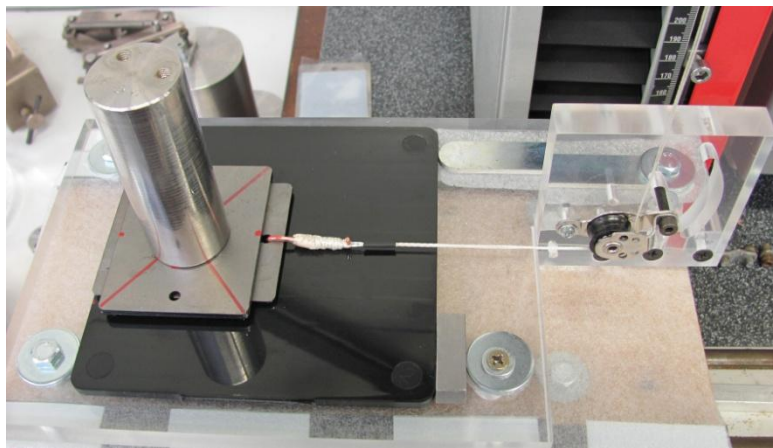
$\bar{f}^{\alpha} = \frac{1}{2}(\bar{f}_A^{\alpha} + \bar{f}_B^{\alpha})$ - średnia zdefiniowanej przez nas wartości α na powierzchni styku.

Analizując powyższe równanie odczytujemy, że współczynnik tarcia może być zależny od nacisku, temperatury oraz szybkości poślizgu.

CHARAKTERYSTYKA STANOWISKA POMIAROWEGO

W celu zbadania oporów tarcia występującego pomiędzy silikonowym uszczelnieniem tłoczyska wykonanym z elastomeru SILOPREN LSR 3386/30 TP 3616, a korpusem wykonanym z tworzywa polimerowego wykonano testy umożliwiające przemieszczanie się silikonowej próbki po torze z tworzywa Grivory

GV50 (PA66+PA6I/6T GF50). Stanowisko badawcze zostało przygotowane zgodnie z normą opisującą metodę określania oporów tarcia dla elastomerów (ISO 15113 2005) oraz plastomerów (ISO 8295 1995). Na rys. 1 przedstawiono nakładkę odpowiedzialną za zamianę siły pionowej generowanej przez maszynę wytrzymałościową na siłę poziomą, która za pomocą nierozciągliwego sznurka połączona jest zarówno z układem pomiarowym, jak i z badanymi próbkami.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe

Eksperyment dający możliwość obliczenia współczynnika tarcia polegał na przyklejeniu próbek silikonowych o wymiarach 50mm x 50mm do sztywnej metalowej płytki, które w następnej kolejności umieszczane zostały w układzie pomiarowym. Kolejnym etapem było wygenerowanie nacisku na próbkę, odbyło się to poprzez dołożenia do układu pomiarowego obciążników. Przygotowane w ten sposób złożenie testowano dla kilku wartości obciążeń oraz dla różnych prędkości poślizgu.

Przykładowy wynik zależności współczynnika tarcia od przebytej drogi został przedstawiony na rys. 2. Na podstawie normy opisującej badanie współczynnika tarcia dla elastomerów [2, 3], wyznaczono dla każdego z pomiarów wartość maksymalną, minimalną oraz pośrednią. Ponadto w celu uzyskania wyników jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistości analizowane dane pozyskiwane były z tej części wykresu, gdzie jego kształt był jak najbardziej liniowy, gdyż zwłaszcza w początkowej fazie dość duży wpływ na współczynnik tarcia spowodowany był siłami statycznymi [6].

ANALIZA WYNIKÓW

Przedstawione na rys. 2 współczynniki tarcia obliczone zostały z zależności:

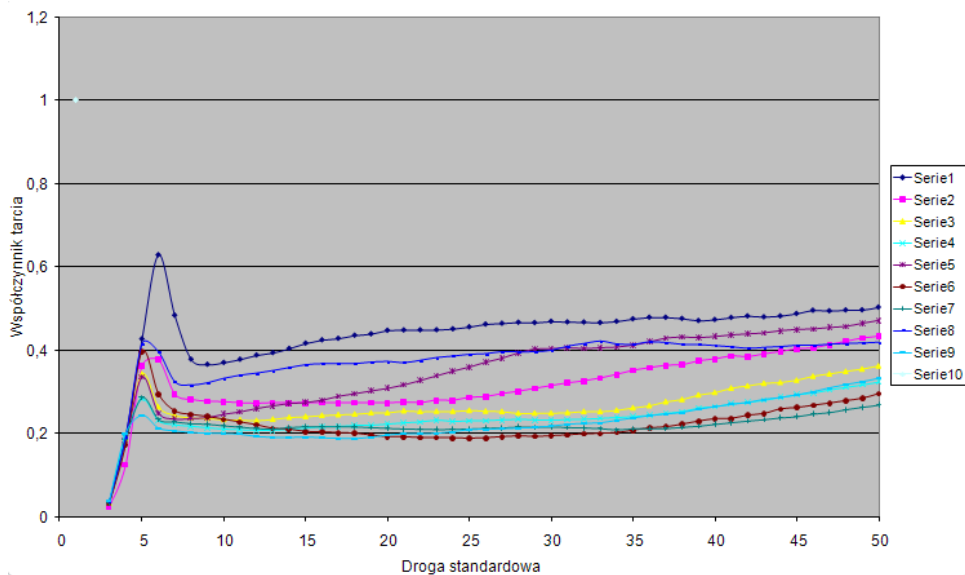
$$\mu = \frac{T_i}{N} \quad (2)$$

gdzie:

T – jest to siła przeciwdziałająca ruchowi próbki [N],

N – obciążenie dociskające próbkę [N],

i – indeks wskazujący rodzaj współczynnika tarcia.



Rys. 2. Zależność współczynnika tarcia w funkcji przemieszczenia próbki

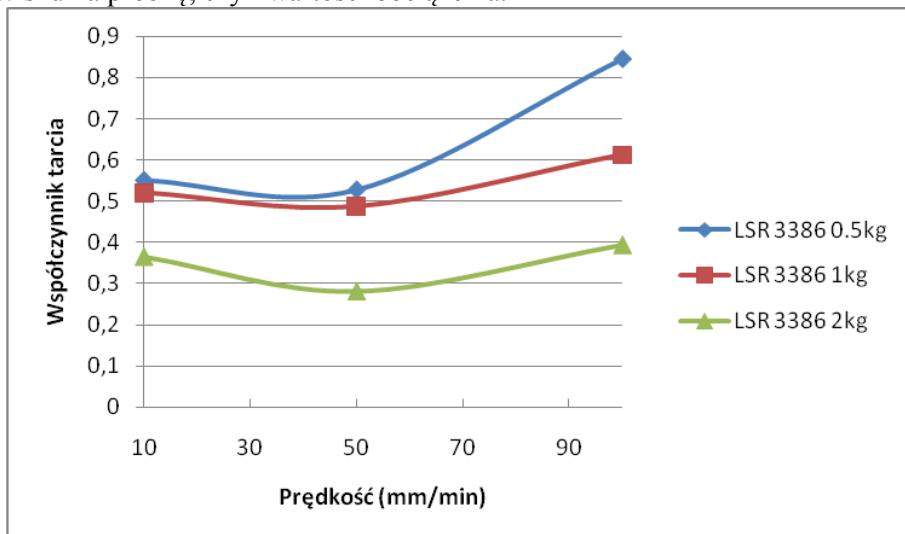
Uśrednione wartości współczynników tarcia, a także odchylenie standardowe i przedziały ufności dla współczynnika alfa równego 95% zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Badany silikon, SILOPREN LSR 3386/30 TP 3616

Prędkość	v1 = 10 mm/min.			v2 = 50 mm/min.			v3 = 100 mm/min.		
	0,5kg 4,9 N	1kg 9,81 N	2kg 19,62 N	0,5kg 4,9 N	1kg 9,81 N	2kg 19,62 N	0,5kg 4,9 N	1kg 9,81 N	2kg 19,62 N
Średni współczynnik tarcia	0,551	0,520	0,366	0,528	0,487	0,282	0,844	0,612	0,395
Odchylenie standardowe	0,087	0,159	0,076	0,072	0,101	0,154	0,098	0,111	0,131

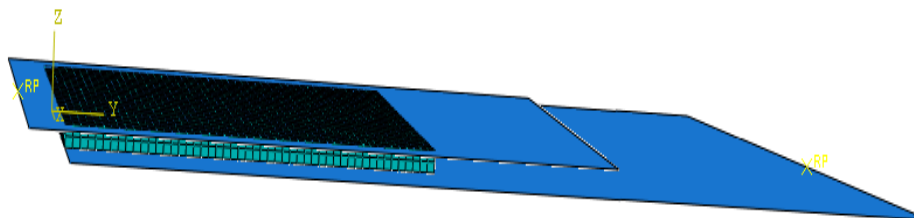
Otrzymane wyniki analizowano pod względem zmiany obciążenia oraz zmiany prędkości przesuwu. Wynika z nich, iż istnieje dość duża zależność pomiędzy współczynnikiem tarcia a prędkością przesuwu. Z wykresu przedstawionego na

rys. 3 wynika także, że współczynnik tarcia jest również uzależniony od wielkości nacisku na próbkę, czyli wartości obciążenia.



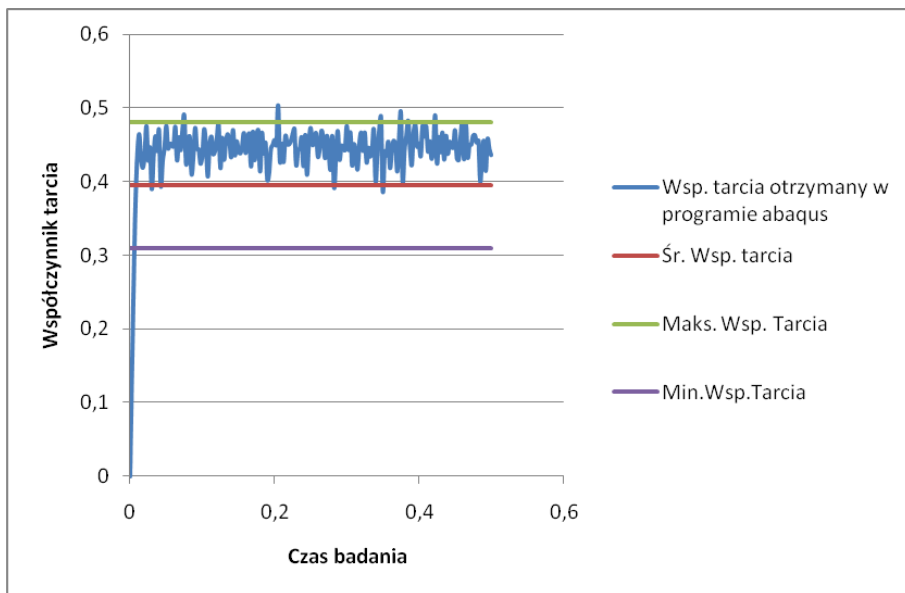
Rys. 3. Zależność współczynnika tarcia od prędkości przesuwu próbki

Weryfikacja otrzymanych współczynników tarcia otrzymanych na stanowisku badawczym została przeprowadzona w systemie Abaqus [5, 7]. W systemie tym zbudowano wirtualny model stanowiska badawczego (rys. 4), w którym zdefiniowano wszystkie warunki brzegowe, jak i otrzymane współczynniki tarcia.



Rys. 4. Wirtualny model układu pomiarowego

Z przedstawionej na rys. 5. analizy porównawczej wynika, że współczynnik tarcia otrzymany podczas symulacji mieści się w obliczonych przedziałach ufności. Na tej podstawie założono, iż otrzymane dane dotyczące współczynnika tarcia pomiędzy silikonem SILOPREN LSR 3386/30 TP 3616, a tworzywem Grivory GV50 (PA66+PA6I/6T GF50) są poprawne i mogą być w pełni wykorzystane podczas symulacji wytrzymałościowych połączenia korpusu siłownika pneumatycznego z tłoczyskiem.



Rys. 5. Porównanie otrzymanych wyników, prędkość 100 mm/min, obciążenie 19,62 N

WNIOSKI

Z przeprowadzonych prób badania współczynnika tarcia pomiędzy badanym tworzywem polimerowym Grivory GV50 a silikonem SILOPREN LSR 3386/30 TP 3616 stwierdzono, że wraz ze wzrostem obciążenia tarcie pomiędzy badanymi powierzchniami maleje. Dodatkową informację stanowi fakt, iż współczynnik tarcia nie maleje wprost proporcjonalnie do przyłożonego obciążenia. Kolejną zaobserwowaną zależnością jest wzrost współczynnika tarcia w funkcji prędkości przesuwu.

Analiza badania oporów tarcia zaimplementowana została w systemie Abaqus, dzięki czemu możliwe będzie dokładne symulowanie układów z których jeden element wykonany jest z materiału polimerowego, a drugi jest elastomerem.

PIŚMIENNICTWO

1. Hebda A.: Procesy tarcia, smarowania i zużywania maszyn. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Warszawa, 2007.
2. ISO 15113:2005 - Rubber - Determination of frictional properties.
3. ISO 8295:1995 - Plastics - Film and sheeting - Determination of the coefficients of friction.
4. Persson B. N. J., Volotkin A. I.: Rubber friction on smooth surfaces. The European Physical Journal E 21, 2006.

5. Robert Horigan Smith R. H.: *Analyzing Friction in the Design of Rubber Products and Their Paired Surfaces*, Mukilteo, Washington, 2008.
6. Dieriagin B.W.: *Co to jest tarcie*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe – PWN, Warszawa, 1956.
7. ABAQUS version 6.7 documentation – wersja elektroniczna dostępna pod adresem <http://abaqus.civil.uwa.edu.au:2080/v6.7/>

STUDY OF FRICTIONAL RESISTANCE IN PNEUMATIC SERVO UNITS MANUFACTURED FROM POLYMER MATERIALS

Summary

Silicon materials are commonly used to seal any movable elements. Their primary role is related with preventing leaks for lubricants and working liquids. Some silicon materials are based on oil, aiming at decreasing the friction resistance, allowing in turns to achieve higher compression force at the same feedback from the sealed unit. One of the first friction theory was formulated back on the 40ties of the 20th century, though they are limited to contact between metallic surfaces.

In this article, we present the methodology of a study focused on examination of frictional resistance for plastic and silicon materials. The study was conducted in a dedicated test site, implemented using modern computer aided design systems. In this way, it was possible to estimate the frictional resistance coefficient between the body and the piston rod of a pneumatic servo already at the design stage. In order to verify the obtained results, a series of analytical analyses was conducted, aiming at verifying the obtained results in comparison with the frictional resistance modeled using the Abaqus system.

Keywords: friction, FEM, polymer materials, silicone.