

Ćwiczenie 6

POMIAR WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA SUCHEGO

6.1 WSTĘP

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika tarcia suchego pomiędzy dwoma ciałami. Badana będzie zależność siły tarcia od (i) wzajemnego nacisku stykających się powierzchni ciał, (ii) rodzaju materiałów, z których są wykonane, (iii) stopnia chropowatości ich powierzchni, oraz (iv) prędkości wzajemnego przesuwu. Do przeprowadzenia ćwiczenia zostanie wykorzystane stanowisko pomiarowe TM 210 marki GUNT, które wyposażone jest w synchroniczny silnik elektryczny, zapewniający przesuw ze stałą prędkością (o dwu możliwych wartościach). Stanowisko pozwala na precyzyjny pomiar siły tarcia w zakresie od 0 do 2N z dokładnością 0.05N, a stabilny odczyt siły jest zapewniony dzięki zastosowaniu tłumika powietrznego. Siła nacisku jest zmieniana przy użyciu zestawu dodatkowych odważników.

6.2 WPROWADZENIE TEORETYCZNE

Tarcie jest zjawiskiem, które polega na występowaniu oporu mechanicznego, który uniemożliwia lub utrudnia wzajemne przesuwanie stykających się ciał. Warunkiem powstawania tarcia jest występowanie siły nacisku N (kontaktowej siły prostopadłej do kierunku ruchu); rys 6.1. Rozróżnia się dwa rodzaje tarcia: statyczne i kinetyczne.

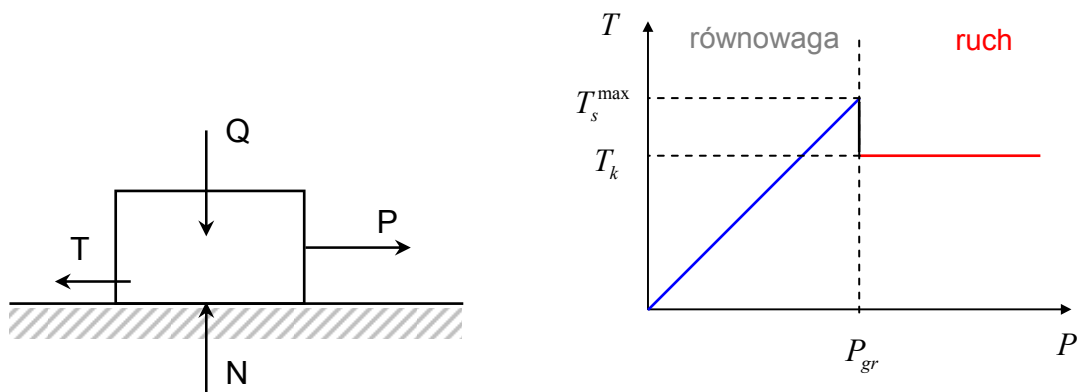
Tarcie statyczne występuje wówczas, gdy siła P przyłożona do jednego ze stykających się ciał jest zbyt mała, aby spowodować ich wzajemne przesuwanie (patrz rys 6.1). Oznacza to, że dla pewnego zakresu wartości siły P ($|P| < P_{gr}$), powstająca siła tarcia T równoważy siłę P . Ciało zaczyna się poruszać, gdy składowa styczna siły zewnętrznej P przekroczy wartość graniczną P_{gr} równą największej możliwej wartości siły tarcia statycznego T_s^{\max} . Zgodnie z prawem Coulomba dla tarcia suchego, maksymalna wartość siły tarcia statycznego T_s^{\max} jest proporcjonalna do siły nacisku N :

$$T_s^{\max} = \mu_s N, \quad (6.1)$$

gdzie μ_s jest bezwymiarowym współczynnikiem, zwanym współczynnikiem tarcia statycznego. Jego wartość zależy od rodzaju i stanu powierzchni stykających się ciał, a więc μ_s jest wielkością stałą, która charakteryzuje parę materiałów, z których wykonane są te ciała; patrz tabela 6.1.

Tarcie kinetyczne występuje wówczas, gdy stykające się ciała poruszają się względem siebie. Według prawa *Coulomba* siła tarcia $T = T_k$ nie zależy od prędkości względnej przesuwających się ciał i jest proporcjonalna do siły nacisku N . W rzeczywistości jednak zależność siły tarcia od prędkości ma miejsce.

$$T_k = \mu_k N. \quad (6.2)$$



Rys.6.1. Tarcie suche – rozkład sił oraz zależność siły tarcia T od siły zewnętrznej P .

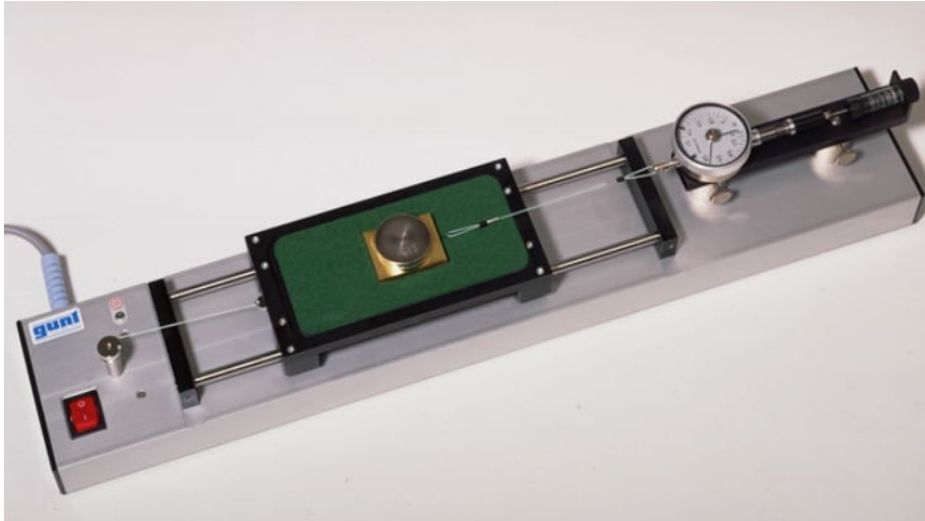
Współczynnik tarcia kinetycznego μ_k jest mniejszy niż współczynnik tarcia statycznego μ_s .

Tabela 6.1 Wartości współczynnika tarcia statycznego oraz współczynnika tarcia kinematycznego [3]

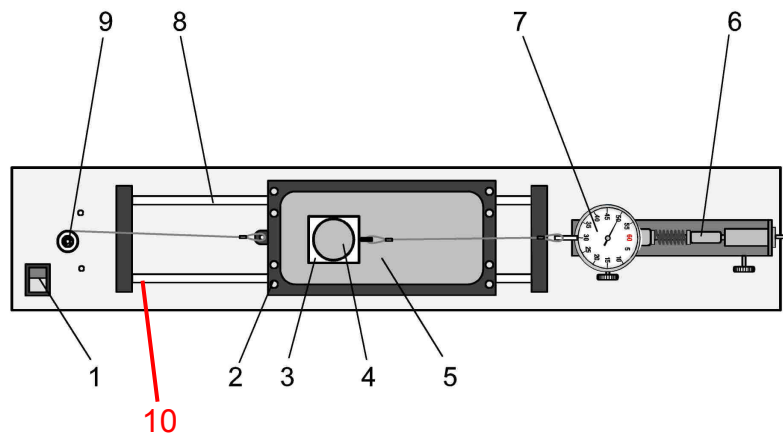
<u>Powierzchnie trące</u>	μ_s	μ_k
Drewno po drewnie	0,65	0,2 - 0,4
Stal po miedzi	0,19	0,18
Stal po granicie	0,12	0,08
Stal po lodzie	0,027	0,014
Stal po stali	0,15	0,09-0,03
Opona po mokrym betonie	0,7	0,5
Opona po suchym betonie	1,0	0,7

6.3 OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO

Do przeprowadzenia ćwiczenia wykorzystano stanowisko pomiarowe GUNT TM 200 (rys.6.2). Schemat tego stanowiska przedstawia rys. 6.3.



Rys. 6.2. Stanowisko pomiarowe firmy GUNT TM 210 do precyzyjnego pomiaru współczynnika tarcia



Rys.6.3. Schemat stanowiska pomiarowego do badania współczynnika tarcia suchego.

1 – włącznik elektryczny 220 V; 2 – ruchoma platforma; 3 – badany obiekt o ciężarze 1 N, 4 – dodatkowe odważniki, każdy o ciężarze 0.5 N, 5 – płytki, po której porusza się badany obiekt, 6 – tłumik, 7 – siłomierz, 8 – prowadnice, 9 – bęben, na który nawija się linka, 10 – skrajne położenie platformy – patrz uwaga w tekście!

Przedstawiony układ służy do pomiaru siły tarcia suchego pomiędzy dwoma ciałami. Jednym z nich jest płytką (5) przymocowana do poziomej platformy (2), drugim ciałem jest prostopadłościan (3) umieszczony na płytce. Do platformy (2) jest przymocowany koniec linki, która nawinięta jest na bęben (9), który może się obracać wokół swojej osi. Wewnątrz obudowy znajduje się synchroniczny silnik elektryczny (220 V, 3W, 8 obr./min.), który jest połączony za pomocą przekładni z bębniem (9) i wprawia go w ruch obrotowy o stałej prędkości kątowej ω . Powoduje to nawijanie się linki na bęben, w następstwie czego linka ciągnie platformę wzdłuż prowadnic (8) ze stałą prędkością liniową $v = \omega r$, gdzie r – promień bębna. Do dyspozycji użytkownika są dwa bębny, o różnych średnicach $d = 7.5$ mm, $d = 15$ mm, co pozwala na przeprowadzenie pomiaru dla dwu prędkości przesuwu v .

Do prostopadłościanu (3) przyczepiona jest kolejna linka, której drugi koniec jest przymocowany do siłomierza. Siłomierz umożliwia pomiar siły tarcia w zakresie $0 - 2$ N, z dokładnością 0.05 N i jest on połączony z tłumikiem powietrznym, w którym wielkość tłumienia można regulować za pomocą zaworu znajdującego się na jego obudowie.

Silnik jest uruchamiany i wyłączany za pomocą włącznika (1).

Uwaga!

Silnik należy koniecznie wyłączyć zanim platforma dotrze do położenia skrajnego, tj. lewego końca prowadnicy (patrz rys. 6.3). Nie wolno włączać silnika, gdy platforma znajduje się blisko położenia skrajnego!

Niezastosowanie się do tej zasady może spowodować uszkodzenie silnika lub zerwanie linki!

Akcesoria stanowiska pomiarowego:

- 1) bęben o średnicy 15 mm
- 2) bęben o średnicy 7.5 mm
- 3) prostopadłościan o ciężarze 1 N ; materiał: mosiądz/ filc (tzn. jest to prostopadłościan wykonany z mosiądzu, a na jednej jego ściance jest naklejona warstwa filcu)
- 4) prostopadłościan o ciężarze 1 N; materiał: aluminium o powierzchni chropowatej oraz aluminium o powierzchni gładkiej
- 5) płytką; materiały: aluminium/filc
- 6) płytką; materiał: szkło
- 7) płytką; materiał: PCV
- 8) 8 krążków każdy o ciężarze 0.5 N

6.4 PRZEBIEG ĆWICZENIA

W ramach ćwiczenia laboratoryjnego przeprowadzane są następujące eksperymenty.

6.4.1. WYZNACZANIE SIŁY TARCIA W ZALEŻNOŚCI OD SIŁY NACISKU

Każda grupa studentów przeprowadza doświadczenie dla wybranej pary powierzchni trących.

Poniżej zamieszczono przykładowe zestawy ćwiczeń do wyznaczania siły tarcia w zależności od siły nacisku.

Zestaw 1

Wymagane elementy i dobór parametrów:

- płytką: filc,
- prostopadłościan : aluminium o gładkiej powierzchni o ciężarze 1N,
- prędkość przesuwu: mała (bęben o średnicy 7.5 mm)
- nacisk obiektu na płytkę jest zwiększany od 1N do 5N poprzez dodawanie ciężarków 0.5N.

Kolejność wykonywania doświadczenia:

- 1) umieszczamy płytkę na platformie (powierzchnia płytki pokryta filcem do góry),
- 2) rozwijamy linkę z bębna i przesuwamy platformę na pozycję startową
- 3) kładziemy badany obiekt na płytkę i podłączamy linkę do siłomierza
- 4) włączamy silnik. Kiedy wskazówka siłomierza pokaże ustaloną wartość dokonujemy odczytu siły tarcia T (dokładność pomiaru wynosi 0.05N)
- 5) **wyłączamy silnik, zanim platforma osiągnie pozycję skrajną!!!!**
- 6) zapisujemy w tabeli nacisk N oraz zmierzoną siłę tarcia T (Tabela 6.2)
- 7) zwiększamy nacisk obiektu na płytkę poprzez dodawanie kolejnych ciężarków i powtarzamy eksperyment.

Tabela 6.2

Wyniki pomiarów: tarcie w zależności od siły nacisku płytką: filc obiekt: aluminium o gładkiej powierzchni prędkość przesuwu: mała									
siła nacisku N [N]	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
siła tarcia T [N]									
T/N									

Wyniki obliczeń należy zapisać w tabeli 6.2, a następnie wykonać wykres siły tarcia T w funkcji siły nacisku N oraz sprawdzić czy ma miejsce zależność $\mu = \frac{T}{N} = const$ (prawo Coulomba).

Zestaw 2

Wymagane elementy i dobór parametrów:

- płytką: aluminium,
- obiekt: mosiądz o ciężarze 1N,
- prędkość przesuwu: mała (bęben o średnicy 7.5 mm)
- nacisk obiektu na płytkę jest zwiększany od 1 N do 5 N poprzez dodawanie ciężarków 0.5N.

Wartości odczytu oraz wyniki należy zamieścić w Tabeli 6.3.

Tabela 6.3

siła nacisku N [N]	1.0	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
siła tarcia T [N]						
T/N						

Zestaw 3

Wymagane elementy i dobór parametrów:

- płytka: szkło,
- obiekt: powierzchnia wykonana z filcu; ciężar 1 N,
- prędkość przesuwu: mała (bęben o średnicy 7.5 mm)
- nacisk obiektu na płytkę jest zwiększany od 1 N do 4 N poprzez dodawanie ciężarków 0.5N.

Wartości odczytu oraz wyniki należy zamieścić w Tabeli 6.5.

Tabela 6.5

siła nacisku N [N]	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
siła tarcia T [N]							
T/N							

Zestaw 4

Wymagane elementy i dobór parametrów:

- płytka: PCV,
- obiekt: powierzchnia wykonana z filcu; ciężar 1 N,
- prędkość przesuwu: mała (bęben o średnicy 7.5 mm)
- nacisk obiektu na płytkę jest zwiększany od 1 N do 4 N (poprzez dodawanie ciężarków 0.5N).

Wartości odczytu oraz wyniki należy zamieścić w Tabeli 6.6.

Tabela 6.6

siła nacisku N [N]	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
siła tarcia T [N]							
T/N							

6.4.2. ZALEŻNOŚĆ SIŁY TARCIA OD CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI

Wymagane elementy i dobór parametrów:

- płytka: filc,
- obiekt: aluminium o gładkiej/chropowatej powierzchni o ciężarze 1N,
- prędkość przesuwu: mała (bęben o średnicy 7.5 mm).

Obiekt wykonany z aluminium kładziemy stroną gładką na płytkę umieszczoną na platformie i wykonujemy eksperyment według punktów 1-5 (patrz rozdz. 6.4.1 - **kolejność wykonywania doświadczenia**).

Następnie powtarzamy eksperyment dla obiektu umieszczonego na platformie stroną chropowatą.

W celu zbadania wpływu chropowatości powierzchni porównujemy zmierzone wartości siły tarcia T .

6.4.3. WPŁYW RODZAJU POWIERZCHNI TRĄCYCH NA SIŁĘ TARCIA

Wymagane elementy i dobór parametrów:

- płytką: aluminium,
- obiekty: o ciężarze 1N; wykonane z aluminium i mosiądzu o jednakowym stopniu gładkości powierzchni
- prędkość przesuwu: mała (bęben o średnicy 7.5 mm)

Obiekt wykonany z aluminium kładziemy na płytkę umieszczoną na platformie i wykonujemy doświadczenie według punktów 1-5 (patrz - **kolejność wykonywania doświadczenia** - rozdz. 6.4.1).

Następnie powtarzamy eksperyment dla obiektu wykonanego z mosiądzu.

W celu zbadania wpływu rodzaju powierzchni trących porównujemy zmierzone wartości siły tarcia T .

6.4.4. BADANIE ZALEŻNOŚCI SIŁY TARCIA OD WIELKOŚCI POWIERZCHNI KONTAKTU

Wymagane elementy i dobór parametrów:

- płytką: aluminium,
- obiekt: aluminium o gładkiej powierzchni o ciężarze 1N
- dwa dodatkowe ciężarki 0.5N
- prędkość przesuwu: mała (bęben o średnicy 7.5 mm)

Prostopadłościan wykonany z aluminium, kładziemy na płytce (umieszczonej na platformie) w ten sposób, że klocek styka się z płytką swoją ścianką o największym polu powierzchni. Na klocek umieszczamy dwa ciężarki 0.5N. Wykonujemy eksperyment według punktów 1-5 (patrz rozdz. 6.4.1 - **kolejność wykonywania doświadczenia**).

Następnie powtarzamy eksperyment dla tego samego obiektu, ale na płytce stawiamy go ścianką o mniejszym polu powierzchni.

W celu zbadania wpływu wielkości powierzchni kontaktu porównujemy zmierzone wartości siły tarcia T .

6.4.5. WPŁYW PRĘDKOŚCI PRZESUWU NA SIŁĘ TARCIA

Wymagane elementy i dobór parametrów:

- płytką: filc,
- obiekt: aluminium o chropowatej powierzchni o ciężarze 1N,
- dwie prędkości przesuwu: mała (bęben o średnicy 7.5 mm) oraz duża (bęben o średnicy 15 mm)

Zakładamy bęben o średnicy 7.5 mm a następnie obiekt wykonany z aluminium kładziemy stroną o chropowatej powierzchni na płytkę umieszczoną na platformie.

Eksperyment wykonujemy według punktów 1-5 (patrz - **kolejność wykonywania doświadczenia** - rozdz. 6.4.1).

Zapisujemy wartość siły tarcia T dla małej prędkości przesuwu.

Po odłączeniu urządzenia od prądu zmieniamy bęben o średnicy 7.5 mm na bęben o średnicy 15 mm.

Następnie powtarzamy eksperyment według punktów 1-5 (rozdz. 6.4.1).

Zapisujemy wartość siły tarcia T dla większej prędkości przesuwu.

W celu zbadania wpływu prędkości przesuwu porównujemy zmierzone wartości siły tarcia T .

6.5 UWAGI

Sprawozdanie powinno zawierać :

- 1) krótki opis i schemat stanowiska,
- 2) otrzymane wyniki i wykonane obliczenia zamieszczone w tabelach
- 3) wnioski dotyczące zależności tarcia od:
 - a) wzajemnego nacisku stykających się powierzchni,
 - b) rodzaju materiałów, z których wykonano powierzchnie trące,
 - c) stopnia ich chropowatości powierzchni,
 - d) prędkości przesuwu powierzchni trących.

LITERATURA

- [1] Leyko J.: Mechanika ogólna, tom I. PWN, Warszawa 1969 (lub wyd. późniejsze).
- [2] Kurnik W.: Wykłady z mechaniki ogólnej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [3] Mały poradnik mechanika, WNT, Wydanie XVIII, Warszawa 1994.
- [4] Experiment Instructions TM210, Precision Friction Measurement Apparatus. GUNT-Hamburg.