FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY TŘENÍ A JEHO MĚŘENÍ

Kamila Hrabovská[1], Libor Koníček[2], Libuše Švecová[2]

kamila.hrabovska@vsb.cz

[1] Institute of Physics, VŠB -Technical University of Ostrava,17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic, kamila.hrabovska@vsb.cz
[2]Department of Physics, Faculty of Science, University of Ostrava, 30. dubna 22, 701 03 Ostrava, Czech Republic, libor.konicek@osu.cz, libuse.svecova@osu.cz

Abstrakt

Fyzika tření je důležitým tématem ve výuce fyzikálních předmětů na všech typech škol. Cílem těchto experimentů bylo názorně demonstrovat studentům smykové tření na vodorovné ploše s reálnými v praxi běžně používanými povrchy. Experimenty byly navrženy tak, aby nebyly pro studenty a učitele náročné a zároveň vycházely ze základní fyzikální představy zkoumaného a řešeného úkolu: *měření statického i dynamického koeficientu smykového tření.*

Klíčová slova: *tření, koeficient tření, tribometr, mazivo*

Úvod

Tření je jedním z nejstarších jevů pozorovaných člověkem. Lidé již v nejstarších dobách hledali způsob, jak zmenšit sílu potřebnou k tažení těžkých předmětů. Všimli si, že menší sílu lze vynakládat při mokrém povrchu a odtud byl již jen krok k použití maziv. Vznik kola a vozu představoval ve vývoji lidstva nový vyšší stupeň techniky, jímž člověk znásobil své možnosti, avšak problém tření a opotřebení zůstal. V celé své historii řeší člověk problémy nežádoucího tření, pomocí konstrukčně výhodnějších řešení. V 18. století Coulomb doplnil tehdejší čistě mechanické představy o tření, jako o odporu k překonávání povrchových nerovností, přes něž je nutno pohybující těleso nadzvedávat, o modernější poznatky o adhezních silách, přitahujících navzájem molekuly dotýkajících se povrchů. Snaha o spojení vědy s praxí v oblasti tření dala vznik nového oboru s názvem – tribologie [1].

Materiál a metody

Pomocí nově zkonstruovaného školního tribometru byly stanoveny součinitele statického a dynamického tření na vodorovném tribometru pro běžně v praxi používané materiály (smrkové dřevo, PMMA plexisklo, brusný papír o zrnitosti P180). Tato metoda byla provedena jak za použití běžně dostupných pomůcek, tak také s doplněním o senzory měřicího systému Vernier, které ve spojení s PC zefektivňují výuku a umožňují přesnější záznam a analýzu naměřených dat.

Metodika experimentálních prací:
Měření drsnosti povrchů zkušebních těles a vyměnitelné podložky - Mitutoyo Surftest – 301
Měření hmotnosti zkušebních těles - přesné analytické váhy OHAUS EXPLORER PRO do 620g
Měření třecí síly - Siloměr se 2 rozsahy DFS-BTA (Vernier)

Stanovení koeficientů smykového tření pomocí měření tažné síly na vodorovném tribometru (úhel sklonu 0°)

Těleso tribometru bylo pomocí vodováhy a pomocí kovového dílenského úhloměru ustaveno do vodorovné polohy. Zkušební plocha tribometru byla opatřena vyměnitelnou dřevěnou podložkou. Zkušební smýkané těleso (postupně opatřeno třecí plochou: PMMA plexisklo, brusný papír 180) bylo položeno na zkušební smykovou plochu tribometru. Těleso bylo po zkušební smykové ploše tribometru tahané vláknem vedeném přes kladku, která je uchycena k rámu tribometru. Na druhém konci vlákna byla upevněna prostřednictvím háčku závěsná miska. Miska byla postupně zatěžována závažím (pískem) do té doby, než bylo těleso uvedeno do pohybu. Vláknem je přenášena tažná síla způsobená tíhovou silou závaží a misky na zkušební smýkané těleso. Hmotnost závěsné misky a závaží (písku) byla měřena pomocí rovnoramenných vah. V tomto případě poměr tažné síly k tíhové síle smýkaného tělesa udává statický koeficient smykového tření. Při měření dynamického koeficientu smykového tření, bylo uvedeno zkušební těleso po vložení závaží (písku) na misku do pohybu mírným nárazem. Volbou závaží (písek) byl nastaven rovnoměrný přímočarý pohyb. Stanovení druhu pohybu bylo provedeno odhadem. Poměr tažné síly, která odpovídá rovnoměrnému přímočarému pohybu smýkaného zkušebního tělesa k jeho tíhové síle, udává dynamický koeficient smykového tření.

Uvažujme těleso tvaru kvádru o hmotnosti m, které se pohybuje po vodorovné podložce a na které působí kromě třecí síly, stála síla F_1 ve směru jeho pohybu. Je-li $F_1=F_t$, zůstává těleso v klidu, nebo pokud se již pohybovalo, koná dále pohyb rovnoměrný, pohyb se stálou rychlostí.

Pro statický koeficient smykového tření bude platit:

$$F_{t0} = F_N f_0 \Rightarrow f_0 = \frac{F_{t0}}{F_N} = \frac{g\, m_{z0}}{g\, m} = \frac{m_{z0}}{m}$$

m_{z0} - hmotnost závaží pro statické smykové tření, m - hmotnost zkušebního smýkaného tělesa

Pro dynamický koeficient smykového tření bude platit:

$$F_t = F_N f \Rightarrow f = \frac{F_t}{F_N} = \frac{g\, m_z}{g\, m} = \frac{m_z}{m}$$

m_z - hmotnost závaží pro dynamické smykové tření [2,3]

Tabulka 1. Vypočtené hodnoty koeficientů smykového tření (smrkové dřevo-plexisklo PMMA)

	m [g]	m_{z0} [g]	m_z [g]	f_0 [1]	f [1]
Průměrná hodnota	$m_1 = 138{,}507$	45,692	38,632	0,330	0,279
Průměrná hodnota	$m_3 = 256{,}800$	72,216	67,609	0,281	0,263

Nejistota měření statického i dynamického součinitele smykového tření (0,001-0,002) [1]

Tabulka 2. Vypočtené hodnoty koeficientů smykového tření (smrkové dřevo-brusný papír)

	m [g]	m_{z0} [g]	m_z [g]	f_0 [1]	f [1]
Průměrná hodnota	$m_2 = 102{,}014$	90,541	84,349	0,888	0,827
Průměrná hodnota	$m_4 = 216{,}040$	219,696	200,035	0,971	0,926

Nejistota měření statického i dynamického součinitele smykového tření (0,001-0,002) [1]

Stanovení koeficientů smykového tření pomocí měření tažné síly na vodorovném tribometru (úhel sklonu 0°) se systémem Vernier

Těleso bylo po zkušební smykové ploše tribometru tahané vláknem vedeném přes kladku, která je uchycena k rámu tribometru. Na druhém konci vlákna byl upevněn pomocí háčku siloměr Vernier. Siloměr byl postupně ručně zatěžován do té doby, než bylo těleso uvedeno do pohybu. Vláknem je přenášena tažná síla. Před každým měřením síly byl siloměr Vernier pomocí počítačového programu Logger Lite vynulován. Velikost tíhové síly, kterou působí zkušební smýkaná tělesa na podložku, byla měřena siloměrem Vernier. Zkušební smýkaná tělesa byla postupně zavěšována na vynulovaný siloměr vernier a hodnoty tíhové síly byly odečítány pomocí programu Logger Lite. V tomto případě poměr tažné síly k tíhové síle smýkaného zkušebního tělesa udává statický koeficient smykového tření.

Při měření dynamického koeficientu smykového tření, bylo uvedeno zkušební těleso do rovnoměrně přímočarého pohybu. Stanovení druhu pohybu bylo kontrolováno pomocí měřícího čidla polohy a pohybu Vernier. Poměr tažné síly, která odpovídá rovnoměrnému přímočarému pohybu smýkaného zkušebního tělesa k jeho tíhové síle, udává dynamický součinitel smykového tření. Zvětšení tažné síly bylo provedeno změnou zkušebního tělesa o vyšší hmotnosti.

Tabulka 3. Vypočtené hodnoty koeficientů smykového tření (smrkové dřevo-plexisklo PMMA, systém Vernier)

	m [g]	F_N [N]	F_{t0} [N]	F_t [N]	f_0 [1]	f [1]
Průměrná hodnota	$m_1 = 138{,}507$	1,483	0,370	0,301	0,249	0,203
Průměrná hodnota	$m_3 = 256{,}800$	2,672	0,447	0,389	0,167	0,145

Nejistota měření statického i dynamického součinitele smykového tření (0,008-0,023) [4]

Tabulka 4. Vypočtené hodnoty koeficientů smykového tření (smrkové dřevo-brusný papír o zrnitosti P180, systém Vernier)

	m [g]	F_N [N]	F_{t0} [N]	F_t [N]	f_0 [1]	f [1]
Průměrná hodnota	$m_2 = 102{,}014$	1,124	0,895	0,854	0,797	0,760
Průměrná hodnota	$m_4 = 216{,}040$	2,247	1,945	1,543	0,866	0,687

Nejistota měření statického i dynamického součinitele smykového tření (0,013-0,025) [4]

Výsledky a diskuse

Výsledky měření odpovídají očekávaným teoretickým závislostem. V těchto měřeních byla ověřena platnost vztahu mezi součinitelem smykového tření, třecí sílou a normálovou sílou. Dále bylo v práci ověřeno tvrzení, že statický koeficient smykového tření je větší než dynamický koeficient smykového tření. Velmi důležitá je také charakteristika drsnosti povrchů po sobě smýkajících se těles, která byla provedena pomocí povrchově citlivé metody, měřením dotykovým profilometrem. Díky tomuto měření bylo možné charakterizovat detailně nerovnosti povrchu smýkaných zkušebních těles a vyměnitelné zkušební podložky sklonného tribometru,

které ovlivňují koeficienty smykového tření. Zhoršená kvalita a vyšší parametry drsnosti třecích povrchů ovlivňují výsledné hodnoty koeficientů smykového tření a to tak, že koeficienty tření nabývají vyšších hodnot. V případě použití měřícího systému vernier mají koeficienty smykového tření nižší hodnotu a vykazují vyšší hodnoty nejistoty měření, než při měření s běžnými pomůckami dostupnými ve studentské laboratoři.

Závěr

Experimenty byly navrženy tak, aby nebyly náročné a zároveň, vycházely ze základní fyzikální představy zkoumaného a řešeného úkolu: *měření statického i dynamického koeficientu smykového tření*. Studenti pomocí těchto metod experimentálně ověřují následující tvrzení: (třecí síla působí vždy proti orientaci rychlosti pohybu tělesa a působí v dotykové ploše pohybujícího se tělesa a podložky, třecí síla je přímo úměrná normálovému zatížení, třecí síla a součinitel smykového tření nezávisí na velikosti stykové plochy těles, součinitel smykového tření závisí na materiálu tělesa a podložky a na jakosti třecích ploch, tj. na jejich drsnosti, statický koeficient smykového tření je větší než dynamický koeficient smykového tření). Použití systému Vernier ve vzdělávání směřuje k tomu, aby studenti pracovali s osobním počítačem a jeho aplikačním programovým vybavením a získávali tak kompetence využívat prostředky ICT. Výsledky experimentů odpovídají očekávaným teoretickým závislostem. Na experimentální práce, které byly provedeny v rámci tohoto projektu, bude navázáno v diplomové práci s názvem: Experimenty na vnější tření pro žáky SŠ, student: Kamila Hrabovská, vedoucí diplomové práce: RNDr. Libuše Švecová, Ph.D..

Poděkování
Tento článek vznikl za podpory projektu SGS22/PřF/2014. Název projektu: *Podpora vědecké činnosti studentů Katedry fyziky v didaktice fyziky.*

Literatura

[1.] VOCEL M., DUFEK V. *Tření a opotřebení strojních součástí.* Praha: SNTL, 1976, s.12-14.
[2.] MECHLOVÁ, E., KOŠŤÁL, K., AJ. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz***.** Praha: Prometheus, 1999, s. 126-129. ISBN 80-7196-151-5.
[3.] ČERNOCH, S. *Strojně technická příručka*. Praha: SNTL, 1968, s.145
[4.] HRABOVSKÁ, K., *Fyzikální základy tření a jeho měření*, Ostrava 2013. Bakalářská práce, Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta přírodovědecká, Katedra fyziky

Abstract

The Physics of friction is an important topic in school Physics at school of all types. The main objective of these experiments is to demonstrate dynamic friction either on horizontal or inclined plane with usual surfaces. All experiments have been designed such that they are not difficult for students and teachers and, at the same time, they use the basic concepts of friction to measure the coefficient of dynamic friction.