

## **Experimenty s digitálními siloměry Vernier**

*JAKUB JERMÁŘ*

*Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha*

### **Abstrakt**

V příspěvku jsou představeny aktivity a rychlé demonstrační pokusy s digitálními siloměry Vernier. Důraz je kladen na rychlost, snadnost a přímou čarost provedení, aby každý experiment bylo možné zařadit do vyučovací hodiny.

### **Úvod**

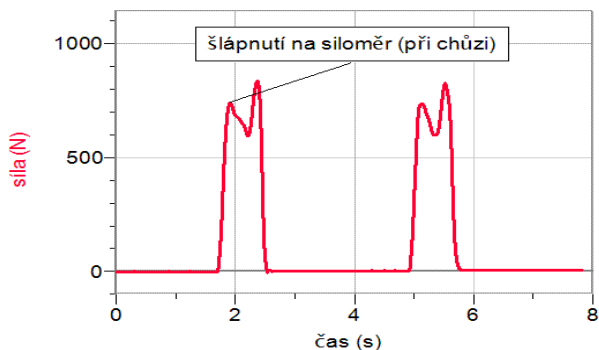
Když se řekne „siloměr“, většina z nás si asi představí klasický pružinový siloměr, který je k dispozici téměř v každém kabinetu fyziky (pokud jej nemáte, návod na jeho vyrobení naleznete například na FyzWebu [1]). Existují však i siloměry digitální. V tomto příspěvku se pokusím na konkrétních experimentech demonstrovat hlavní výhody digitálních siloměrů s připojením k počítači oproti siloměrům klasickým. Budu přitom používat siloměry z experimentálního systému Vernier [2].

### **Plošný siloměr Vernier FP-BTA**

Plošný siloměr Vernier FP-BTA [3] připomíná osobní váhu a lze jej tak i použít. Měří tlakovou (resp. po přichycení rukojetí i tahovou) sílu, mezi přední a zadní (resp. horní a dolní) stěnou siloměru.

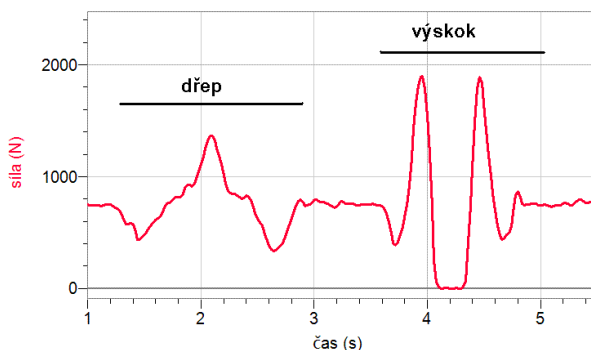
### **Síla při dřepu a výskoku**

Dobrou ukázkou využití tohoto siloměru je změření síly, kterou působím na podložku, když se snažím vyskočit či udělat dřep. Před studenty většinou stavím otázku: „Jak silnou (tedy na jaké zatížení stavěnou) si musím udělat podlahu, aby mne unesla?“. Pro mnohé je pak překvapení, že se svými zhruba 75 kg bych si teoreticky mohl vystačit s podlahou, jež unese něco málo přes 750 N, ovšem jen tehdy, pokud se nebudu hýbat (přesněji zrychlovat ve vertikálním směru). Podívejme se, co se stane, když se po takové podlaze projdu:



Obr. 1 Silové působení na podlahu při chůzi

Z grafu (obr. 1) je patrné, že při chůzi působím na podlahu jen nepatrně větší silou, než je moje tíha. To se ale významně změní, pokud začnu dělat dřepy či si povyskočím:



Obr. 2 Silové působení na podlahu při dřepu a výskoku

Z grafu (obr. 2) je vidět, že při dřepu v některých okamžicích působím na podlahu silou téměř dvojnásobnou, při výskoku a dopadu pak v některých případech až skoro trojnásobnou v porovnání s mojí tíhou.

### „Klasický“ siloměr Vernier DFS-BTA

Siloměr Vernier DFS-BTA [4] je opatřen odšroubovatelným háčkem, na nějž lze zavěsit závaží či jím táhnout za úchyt. V dalších experimentech budeme používat právě tento siloměr.



Obr. 3 Digitální siloměr Vernier DFS-BTA

### **Archimédův zákon**

U demonstrace Archimédova zákona využijeme možnosti zobrazovat aktuální hodnotu celé třídy a především zaznamenávat graf naměřených hodnot. Nejprve siloměr připojíme přes rozhraní Vernier Go!Link [5] k počítači s programem Logger Lite. Siloměr přidržíme v poloze háčkem dolů a kliknutím na ikonu přeškrtnuté nuly siloměr vynulujeme. Nyní na něj zavěsíme závaží a spustíme měření. Po několika sekundách pomoříme zavěšené závaží do nádobky s vodou. Jakmile se po 10 sekundách automaticky ukončí sběr dat, roztáhneme graf na celou plochu (ikona „A“, automatické měřítko) a odečteme rozdíl naměřených hodnot před a po ponoření závaží. Jelikož jsou data trochu „zašuměna“, může být rozumné spočítat si průměr z více dat. To lze udělat tak, že označíme část grafu a klikneme na tlačítko „statistika“.

Z naměřených hodnot (průměrná síla před ponořením a při ponoření) nyní dokážeme spočítat objem tělesa (předpokládáme hustotu vody  $1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) a jeho hustotu. Tu můžeme porovnat s tabelovanými hodnotami a určit materiál, z něhož je závaží vyrobeno.

K tomuto experimentu jsou k dispozici pracovní listy [6].

### **Měření smykového tření**

Zavěsíme-li těleso na háček siloměru, snadno zjistíme jeho tíhu. Když pak týmž tělesem smykáme po podlaze (je nutné pohybovat jím rovnoměrně přímočaře), potřebujeme k tomu nějakou sílu rovnou odporové síle, která setrvání tělesa v pohybu brání. Z poměru těchto dvou sil pak spočteme součinitel smykového tření pro konkrétní dvojici těleso-povrch.

Experiment je popsán v článku na FyzWebu [7] a jsou k němu k dispozici pracovní listy [8].

### **Beztížný stav**

Před tímto experimentem je třeba umístit siloměr do vodorovné polohy (s háčkem na boku) a vynulovat jej – zbavíme se tak měřené tíhy háčku, která je sice velice malá, leč nikoli nulová. Následně na háček zavěsíme libovolné závaží (osvědčila se figurka člověka, plyšový medvídek, ale i svazek klíčů), spustíme měření a siloměr se závažím upustíme nad měkkou podložkou – například nad vhodně složeným svetrem. Po dopadu zastavíme měření. Na vykresleném grafu je jasně vidět, že těleso během pádu nepůsobilo tíhou na háček siloměru a ten tak měřil nulovou sílu.

### **Měření deformací aneb co snese materiál**

Další oblastí, kde se nám bude siloměr hodit, je měření deformací a maximálního možného zatížení materiálu. Můžeme například napínat vlas a zjišťovat, při jaké maximální síle dojde k jeho přetržení (článek na FyzWebu [9], pracovní listy [10]), nebo se pokusit meze platnosti Hookeova zákona: při napínání např. měděného drátu by síla napnutí měla být úměrná délce protažení. To snadno ověříme s tenkým měděným drátkem (o průměru 0,1 mm), který bude konstantní rychlostí natahovat a měřit přitom napínající sílu. Při ověřování Hookeova zákona využijeme k měření kromě siloměru také ultrazvukový detektor polohy, jímž budeme měřit protažení drátu, do grafu se nám pak bude rovnou automaticky vykreslovat závislost síly na protažení drátu.

### **Měření povrchového napětí vody**

V molekulové fyzice využijeme digitální siloměr k rychlému a alespoň přibližnému změření povrchového napětí vody a případně dalších kapalin. Měříme sílu, která je potřeba k odtržení špejle od povrchu kapaliny, tedy nejčastěji od vodní hladiny. Postupovat můžeme opět dle článku na FyzWebu [11], k dispozici jsou i pracovní listy [12].

## **II. Newtonův zákon**

Druhý Newtonův zákon ( $F = m \cdot a$ ) si můžeme ukázat několika způsoby. V prvním případě použijeme dráhu pro mechaniku s vozíky Vernier VDS [13] a k měření zrychlení sonar (zrychlení měří dvojnásobnou derivací naměřené polohy). Obdobně provedený experiment je zpracován ve formě pracovních listů [14]. Druhou možností je použít vedle siloměru přímo akcelerometr, který k siloměru pevně přilepíme izolepou. Oba senzory připojíme přes rozhraní (např. LabQuest Mini [15]), spustíme program Logger Lite, uchopíme siloměr za háček (siloměr s akcelerometrem tak visí pod rukou) a vynulujeme oba sen-

zory, abychom se tak zbavili tíhy a tíhového zrychlení. Spustíme měření a tažením za siloměr nahoru a dolů jej urychlujeme. Na obrazovce pak sledujeme, že působící síla je přímo úměrná měřenému zrychlení. Zvážením slepených senzorů či dalším měřením s přidáváním závaží pak snadno dojdeme ke zjištění, že koeficientem přímé úměrnosti je hmotnost urychlovaného tělesa.

### **III. Newtonův zákon**

Třetí Newtonův zákon snadno ukážeme pomocí dvou siloměrů, jimiž táhneme či tlačíme proti sobě.

### **Závěr**

S digitálními siloměry lze provádět mnoho zajímavých a poučných měření. Z důvodu omezeného času i rozsahu sborníku zde neuvádím všechny, mnohé další naleznete na <http://www.vernier.cz/experimenty> [16].

### **Literatura**

- [1] <http://fyzweb.cz/materialy/sily/obecne/silomer.php>
- [2] <http://www.vernier.cz/produkty/silomery>
- [3] <http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/FP-BTA>
- [4] <http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/DFS-BTA>
- [5] <http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/GO-LINK>
- [6] <http://www.vernier.cz/experimenty/pazdera/2.8/index.php>
- [7] <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=149>
- [8] <http://www.vernier.cz/experimenty/pazdera/2.5/index.php>
- [9] <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=140>
- [10] <http://www.vernier.cz/video/co-muze-viset-na-vlasku>
- [11] <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=144>
- [12] <http://www.vernier.cz/experimenty/pazdera/2.6/index.php>
- [13] <http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/VDS>
- [14] <http://www.vernier.cz/experimenty/pazdera/5.5/index.php>
- [15] <http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/LQ-MINI>
- [16] <http://www.vernier.cz/experimenty>