

Několik příkladů využití elektronických snímačů mechanických veličin při výuce

ZDENĚK BOCHNÍČEK

Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Abstrakt.

Příspěvek popisuje několik experimentů z mechaniky, ve kterých využití elektronických snímacích čidel přináší nesporné výhody. Všechny experimenty vyžadují stejné experimentální uspořádání a jejich sestavení v pořadí rostoucí náročnosti může být využito při metodách aktivní výuky.

Elektronické snímače fyzikálních veličin

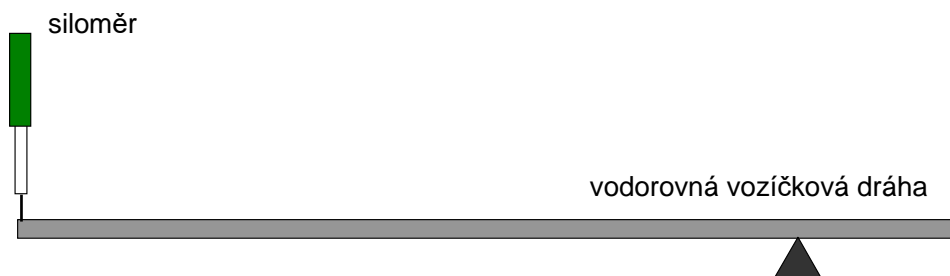
Používání elektronických snímačů fyzikálních veličin má ve světě i nás již dlouhou tradici. Autor vidí hlavní přínos jejich použití ve dvou skutečnostech:

- 1) Poskytují kvantitativní data, která mohou sloužit pro další numerické zpracování a přímé srovnání s teoretickým popisem. Příklady využití byly prezentovány dříve [1].
- 2) Umožňují názorné a přehledné zobrazení měřených veličin včetně jejich časových závislostí.

V tomto příspěvku si ukážeme několik příkladů, ve kterých se využije možnosti grafického výstupu měřených dat z elektronických čidel. Všechny pokusy jsou realizovány ve shodném experimentálním uspořádání a jsou formulovány tak, že většina z nich může sloužit jako základ metody aktivního učení.

Experimentální uspořádání

Základní experimentální uspořádání je na obrázku. 1. Vozíčková dráha je za jeden konec zavěšena na elektronický siloměr, v blízkosti druhého konce je podepřena, ideálně podpěrou ve tvaru bříty. Dráha je vyvážena do vodorovné roviny.



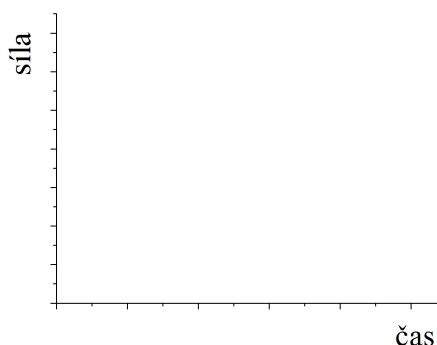
Obr. 1 Experimentální uspořádání vozíčkové dráhy.

Experimenty

1) Statika (ZŠ, SŠ)

Siloměr vynulujeme. Klademe závaží dané hmotnosti, například 1kg, do určitých míst vozíčkové dráhy a ptáme se, jakou hodnotu siloměr ukáže. Je třeba volit význačné polohy aby byl odhad výsledku zřejmý, například těsně k závěsu, nad podpěru, do středu mezi podpěru a závěs apod. Lze zadávat i komplikovanější úkoly typu: „Kam musím položit druhé těleso, aby siloměr ukázal přibližně 6N?“

Pro následující experimenty je vhodné vytvořit pracovní listy, kde bude pouze potřebný počet předpřipravených grafů dle obrázku 2. Všechny úkoly budou mít identické zadání: „Nakreslete časovou závislost síly měřené siloměrem.“ Úkoly jsou seřazeny přibližně s rostoucí obtížností.



Obr. 2: Předtištěný graf v pracovním listu.

2) Kinematika (ZŠ, SŠ)

(a) Na dráhu položíme vozíček, siloměr vynulujeme. Krátkým silovým pulzem udělíme vozíčku určitou rychlost.

Řešení: přímka, alternativně málo zakřivená část paraboly.

(b) Opakujeme totéž s vozíčkem s přibližně dvojnásobnou hmotností.

Řešení: přímka s větším sklonem, při přibližné rovnosti počátečních rychlostí má přímka dvojnásobnou směrnici.

(c) Vozíčkovou dráhu mírně skloníme a vozíček vypustíme z klidu.

Řešení: Část paraboly s minimem v počátku.

(d) Vozíček vypustíme s nenulovou počáteční rychlostí „do kopce“. *Řešení:* Část paraboly s maximem v obecném čase.

3) Dynamika (SŠ)

(a) Použijeme vozíček s vrtulkou, která zajišťuje přibližně konstantní tahovou sílu. Vrtulku namíříme ve směru pohybu, zapneme a vozíček spustíme s nulovou rychlostí.

Řešení: Parabola s minimem v počátku.

(b) Ve shodném uspořádání vypustíme vozíček s počáteční rychlostí opačného směru, než je tahová síla vrtulky.

Řešení: Část paraboly s maximem v obecném čase.

(c) Natočíme vrtulku vozíčku tak, aby svírala se směrem pohybu úhel 60° , a vozíček vypustíme s nulovou počáteční rychlostí. Tento experiment je vhodné realizovat tak, aby se časová závislost síly dokreslovala do grafu s výsledkem experimentu 3(a). Pak je možné i kvantitativní srovnání.

Řešení: Průmět tažné síly vrtulky je úměrný kosinu úhlu mezi směrem pohybu a směrem síly, vozíček je tedy urychlován poloviční silou a získá poloviční zrychlení v porovnání s případem 3(a).

Pozn.: Lze požadovat i přesnější náčrt časové závislosti síly. Je sice zřejmé, že parabola v případě 3(c) se musí lišit o nějakou „dvojku“, ale nalezení správného řešení vyžaduje detailnější fyzikální úvahu. Poloviční zrychlení znamená, že za stejný čas vozíček urazí poloviční vzdálenost a nikoliv, že k uražení téže vzdálenosti bude potřebovat dvojnásobný čas.

(d) Vrtulku vrátíme zpět do přímého směru a na vozíček přidáme závaží tak, aby celková urychlovaná hmotnost byla přibližně dvojnásobná. Jaká bude závislost síly na poloze v porovnání s případem 3(a)?

Řešení: Závislost se nezmění.

Pozn. Zde by se možná jako první řešení nabízelo, že zdvojnásobení hmotnosti povede ke stejné závislosti jako v situaci 3(c). Ovšem není tomu tak. Dvojnásobná hmotnost sice způsobí poloviční zrychlení, ale současně při dané poloze vozíčku bude dvojnásobně zatížen siloměr. Časová závislost síly tedy na hmotnosti nezávisí, o čemž je možné se přesvědčit dalšími experimenty s různými hmotnostmi vozíčku.

(4) Zákon zachování hybnosti (SŠ)

(a) Protivozíčku stojícímu v klidu přibližně uprostřed dráhy vypustíme druhý vozíček stejné hmotnosti s danou počáteční rychlostí. Pomocí magnetů na vozíčcích realizujeme pružnou srážku. Jak srážka vozíků ovlivní časový vývoj síly?

Řešení: Nijak. Údaj siloměru je odvozen od polohy těžiště a při srážce se zachovává celková hybnost soustavy, tedy rychlost těžiště se nemění.

(b) Měníme hmotnosti jednotlivých vozíčků.

Řešení: Stejně jako v případě 4(a) srážka neovlivní pohyb těžiště.

(c) Vozíčky stejné hmotnosti umístíme doprostřed dráhy těsně k sobě a pomocí vystřelovacího mechanismu je od sebe odrazíme.

Řešení: Údaj siloměru se nezmění, protože těžiště zůstává v klidu.

(d) Opakujeme experiment 4(c) s různými hmotnostmi vozíčků.

Řešení: Stejně jako v 4(c), z identického důvodu.

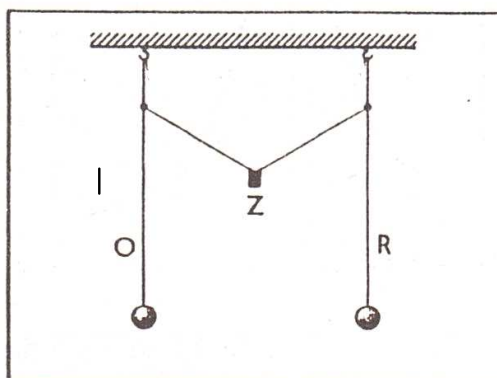
(5) Impulz síly (SŠ, VŠ)

(a) Na vozíčkovou dráhu spustíme z dané výšky pružnou kuličku (hopskulku), a těsně poté ze stejné výšky plastelínovou kuličku stejné hmotnosti. Do grafu nevykreslujeme sílu, ale impulz síly, tedy veličinu $I = F \cdot t$ resp. $I = \int F dt$. Jak se bude impulz síly v obou případech lišit?

Řešení: Impulz síly u pružné kuličky bude přibližně dvojnásobný ve srovnání s plastelínou. Při pružném odrazu je totiž celková změna hybnosti kuličky dvojnásobná.

(6) Kmitové módy (SŠ, VŠ)

Kmitovými módy nazýváme zvláštní způsob kmitání soustav s více stupni volnosti, což je ve vysokoškolském kurzu standardně řešená problematika. Na střední škole se nepřímě s kmitovými módy setkáme v části „Chvění mechanických soustav“ a před tím při popisu vázaných kyvadel, viz obr. 3.



Obr. 3: Vázaná kyvadla v učebnici fyziky pro SŠ.

Pozornost SŠ učebnice se soustředí na přelévání energie mezi vázanými oscilátory, ale je tam ještě jeden moment, který si zasluhuje pozornost: Existují jisté způsoby kmitání, kdy k přelévání energie nedochází a každý oscilátor si tedy, až na ztráty dané tlumením, ponechává svoji původní energii. Takové způsoby nazýváme kmitové módy a jejich počet je roven počtu stupňů volnosti. V případě experimentu na obrázku 3 existují tedy dva kmitové módy. První, kdy kyvadla kmitají ve fázi a druhý při kmitech v protifázi.

Jednodušší soustava s obdobnou dvojicí kmitových módů je na obrázku 4.



Obr. 4: Jednoduchý systém se dvěma kmitovými módy.

Pro matematický popis na VŠ úrovni je vhodné zavést tzv. normální souřadnice, ve kterých má problém jednoduché harmonické řešení. Pro soustavu z obr. 4 mohou být normální souřadnice definovány jako

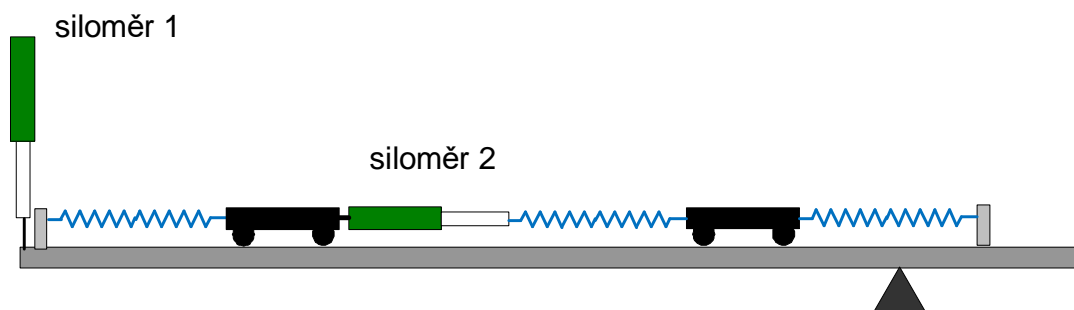
$$y_1 = x_1 + x_2, \quad y_2 = x_1 - x_2$$

Normální souřadnice y_1 je přitom úměrná poloze těžiště a normální souřadnice y_2 je úměrná vzájemné vzdálenosti obou těles.

Pokud mají obě tělesa stejnou hmotnost a také všechny tři pružiny jsou shodné, platí pro frekvence jednotlivých kmitových módů vztah

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

V experimentálním uspořádání podle obrázku 5 lze odděleně měřit oba kmitové módy systému z obrázku 4. Siloměr 1 měří polohu těžiště, tedy je úměrný normální souřadnici y_1 , zatímco údaj siloměru 2 je úměrný vzájemné vzdálenosti těles, tedy normální souřadnici y_2 . I když jsou na obrázku 5 znázorněny klasické siloměry, je nutné použít elektronické snímače, které měří sílu se zanedbatelným protažením samotného čidla.



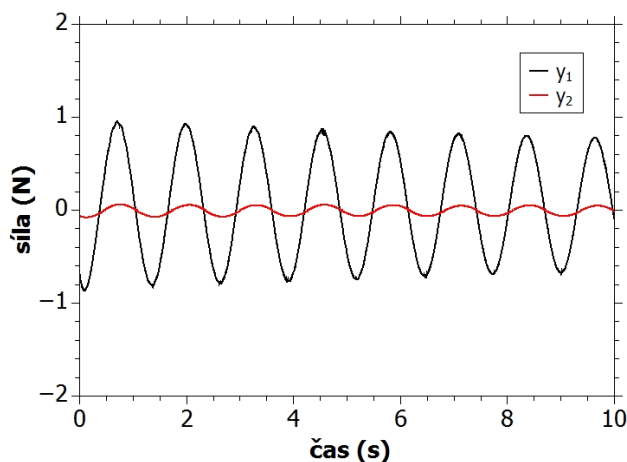
Obr. 5: Uspořádání experimentu pro separaci kmitových módů.

Jednotlivé oddělené kmitové módy můžeme nabudit tímto způsobem:

Svážeme obě tělesa tenkou nitkou tak, aby jejich vzdálenost byla o něco menší, než je rovnovážná vzdálenost se třemi napjatými pružinami. Pokud vychýlíme jedno těleso, vychýlí se i druhé o stejnou vzdálenost a při uvolnění se nabudí mód y_1 . Tělesa uvedeme do klidu a nitku přepálíme, tak se nabudí mód y_2 .

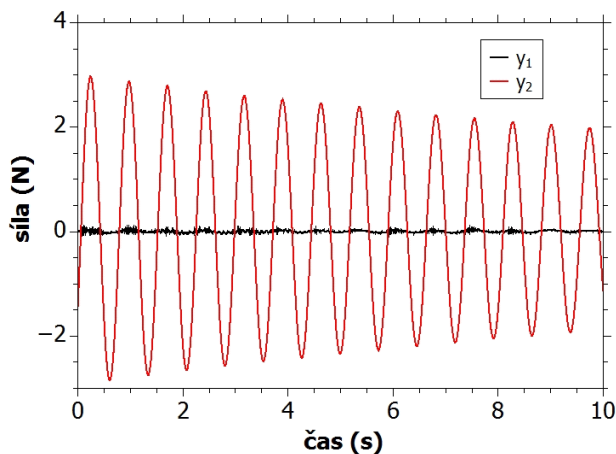
Záznam sil při nabuzeném módu y_1 je na obrázku 6. Siloměr 1 vykazuje velkou amplitudu odpovídající kmitům těžiště soustavy. Siloměr 2 by měl vykazovat nulovou výchylku, přesto také měří harmonický signál, i když s mnohem menší amplitudou. V tomto případě se však nejedná o částečně nabuzený mód y_2 , ale signál je způsoben

elasticitou nitky vázající tělesa. Poznáme to podle toho, že perioda těchto kmitů je shodná s periodou módu y_1 a není rovna očekávané frekvenci módu y_2 .



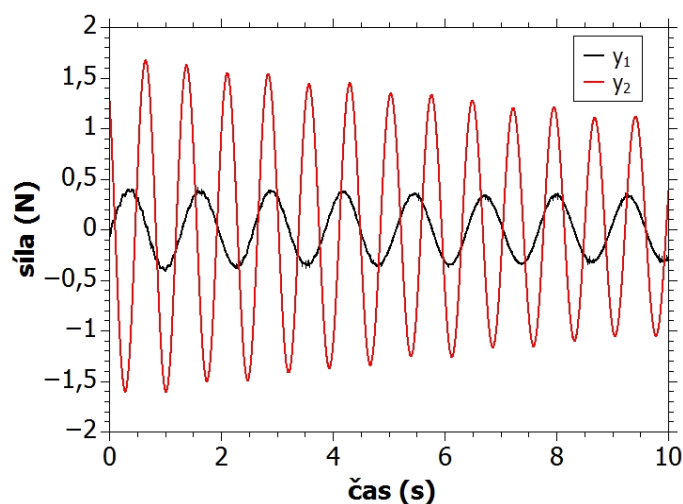
Obr. 6: Záznam kmitání s nabuzeným módem y_1 .

Obrázek 7 znázorňuje průběh měřených sil po nabuzení módu y_2 . Zde skutečně osciluje pouze signál ze siloměru 2, zatímco siloměr 1 měří jen zašuměná data. Analýzou harmonických záznamů z obrázků 6 a 7 lze určit, že poměr period obou módů je roven 1,75, což je hodnota blízká teoretické hodnotě $\sqrt{3}=1,73$.



Obr. 7: Záznam kmitání s nabuzeným módem y_2 .

Obecný kmit soustavy je vždy superpozicí kmitových módů, tedy při jakémkoliv způsobu kmitání normální souřadnice kmitají čistě harmonicky. Příklad měřených dat pro obecné kmitání je na obrázku 8. Kmit byl nabuzen tak, že jedno těleso bylo vychýleno z rovnovážné polohy a obě tělesa byla současně uvolněna. I když vlastní kmitání těles působí chaoticky, jednotlivé siloměry měřící oddělené kmitové módy měří harmonický signál.



Obr. 8: Záznam kmitání s nabuzeným obecným kmitáním.

Závěr

Elektronická čidla v některých případech přinášejí nesporné výhody a mohou zpestřit a obohatit výuku fyziky jak možností numericky zpracovat reálné experimenty a konfrontovat je s teoretickým popisem, tak využít i možnosti názorného grafického zobrazení výsledků měření, například v metodách aktivní výuky.

Literatura

[1] Bochníček Z.: *Klasické experimenty z mechaniky s neklasickým měřením*. In: Sborník konference Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 8, Kašperské Hory 2017, v tisku.