



Experimenty s interaktivní stavebnicí
a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu

7F. Práce a energie

M. Jílek & T. Feltl



EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND
PRAHA & EU: INVESTUJEME DO VAŠÍ
BUDOUCNOSTI

Tyto materiály vznikly v rámci projektu OP A č. CZ.2.17/3.1.00/36080,
Experimenty s interaktivní stavebnicí a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu.

- **A. Práce urychlující síly** **7F-A-01**
 - Úvod 7F-A-02
 - Co budeme potřebovat? 7F-A-03
 - Příprava a sestavení experimentu 7F-A-04
 - Provedení experimentu – záznam dat 7F-A-05
 - Analýza naměřené závislosti – teorie 7F-A-06
 - Ověření vztahu pro kinetickou energii – úkoly 7F-A-07
- **B. Zákon zachování mechanické energie** **7F-B-01**
 - Úvod 7F-B-02
 - Co budeme potřebovat? 7F-B-03
 - Příprava a sestavení experimentu 7F-B-04
 - Postup práce – záznam dat 7F-B-05
 - Analýza naměřené závislosti – teorie 7F-B-06
 - Ověření zákona zachování mechanické energie – úkoly 7F-B-07
- **C. Energie pružiny** **7F-C-01**
 - Úvod 7F-C-02
 - Co budeme potřebovat? 7F-C-03
 - Příprava a sestavení experimentu 7F-C-04
 - Postup práce – záznam dat 7F-C-05
 - Analýza naměřené závislosti – teorie 7F-C-06
 - Analýza naměřené závislosti – úkoly 7F-C-07
- **Závěr** **7F-Z-01**
- **Použité materiály a zdroje informací** **7F-I-01**
- **Metodické komentáře** **7F-M-01**

A. Práce urychlující síly

Úvod

Mechanická práce, kterou vykonává motor automobilu při jízdě po rovině, se využívá jednak na **překonávání odporových sil** a jednak k **urychlování** automobilu. Při rozjíždění automobilu se tak zvyšuje jeho **kinetická energie**, která je definována právě jako práce vykonaná při urychlování. Tato pohybová energie závisí na **hmotnosti** a na **druhé mocnině** okamžité **rychlosti** automobilu.

Množství energie „uložené v pohybu“ automobilu tedy výrazně závisí na tom, **jak rychle se automobil pohybuje**. Dvakrát rychlejší automobil má například čtyřikrát větší kinetickou energii a brzdy k jeho zastavení musí vykonat čtyřikrát větší práci. Při stejných podmínkách brzdění to znamená také čtyřikrát delší brzdnou dráhu než u automobilu jedoucího poloviční rychlostí. Třikrát rychlejší automobil potom bude mít brzdnou dráhu delší devětkrát!

V následujícím experimentu si **prakticky ověříme** platnost vztahu pro **kinetickou energii** a jeho souvislost s **vykonanou prací** urychlující síly.



Foto: [morgueFile](https://morguefile.com) free photo archive (morguefile.com)

V následujícím experimentu si **prakticky ověříme** platnost vztahu pro **kinetickou energii** a jeho souvislost s **vykonanou prací** urychlující síly.

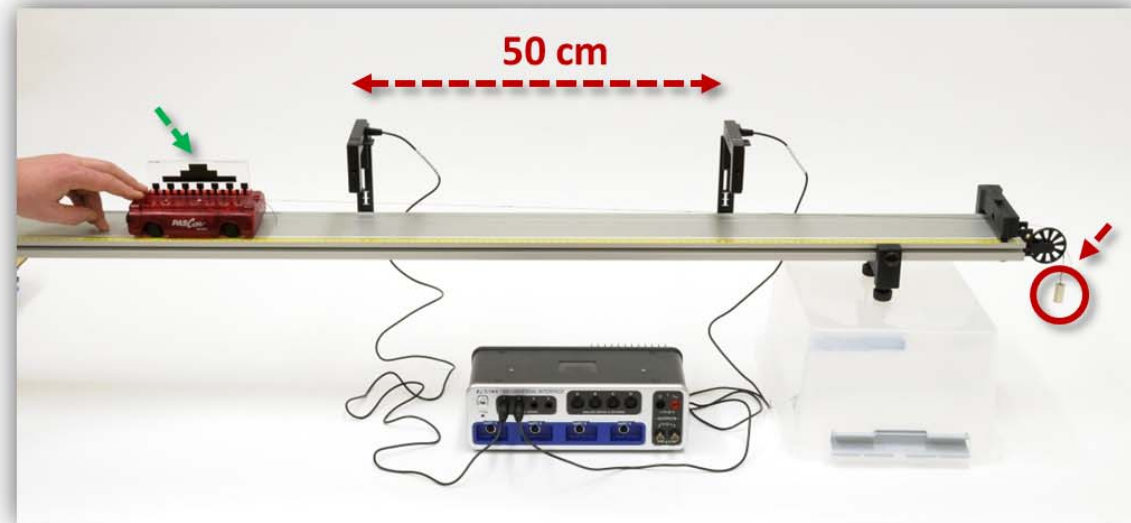
Co budeme potřebovat?

- univerzální měřicí rozhraní 850
- dvě fotobrány s příslušenstvím pro uchycení na vozíkovou dráhu
- vozíkovou dráhu
- vozík se závažími a maskou k fotobránám
- kladku se svorkou
- nit
- lehké závaží (například 20 g)



Příprava a sestavení experimentu

1. Fotobrány připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem a připevníme je na vozíkovou dráhu ve vzdálenosti **50 cm** od sebe.
2. Vozíkovou dráhu vodorovně vyrovnáme na stole a k jednomu konci připevníme kladku, přes kterou povedeme nit přivázanou k vozíku.
3. Na druhý konec nitě přivážeme **malé závaží**, které bude ve startovací poloze viset těsně za kladkou volně dolů přes hranu stolu.
4. Do vozíku nasuneme proužkovanou masku s jedním **proužkem délky 2,5 cm** nahoře. Výšku fotobran upravíme tak, aby horní proužek o délce 2,5 cm protínal při pohybu vozíku paprsek fotobrány.



Provedení experimentu – záznam dat

1. Vozík přidržíme na dráze tak, aby se střed měřicího proužku nacházel ve vzdálenosti 10 cm před první (60 cm před druhou) fotobránou.
2. Spustíme měření a uvolníme vozík, který bude urychlován nití se závažím.
3. Při průjezdu vozíku fotobránami se na displejích zobrazí změřená rychlost vozíku.
4. Po průjezdu vozíku druhou fotobránou měření ukončíme.

První brána

⚠ Rychlost v bráně 1, kanál 1 (m/s)

<Nejsou vybrána žádná data>

-, -- m/s

Druhá brána

⚠ Rychlost v bráně 2, kanál 2 (m/s)

<Nejsou vybrána žádná data>

-, -- m/s

Analýza naměřené závislosti – teorie

Závaží na niti o hmotnosti m působí na vozík díky své tíze stálou silou o velikosti

$$F = mg,$$

kde $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ je přibližná velikost tíhového zrychlení. Pokud se vozík působením této síly posune o vzdálenost s , vykoná tato síla práci

$$W = Fs = mgs.$$

Vykonaná práce se projeví zvýšením kinetické energie soustavy vozíku a závaží. V závislosti na rychlosti v vozíku je potom velikost této kinetické energie dána vztahem

$$E_k = \frac{1}{2}(m + M)v^2,$$

kde M je hmotnost vozíku.

Pokud tedy vypouštíme vozík z klidu (s nulovou počáteční rychlostí), urazí například k druhé fotobráně vzdálenost $s_2 = 60 \text{ cm}$ a rychlost v druhé fotobráně v_2 by pak měla splňovat rovnost

$$mgs_2 = \frac{1}{2}(m + M)v_2^2.$$

Při průjezdu první fotobránou už má vozík rychlost v_1 a tedy i nějakou kinetickou energii. Práce vykonaná tíhou závaží na dráze délky $s_2 - s_1$ mezi oběma závoryami se nyní projeví zvýšením této energie, takže rozdíl velikostí kinetické energie v druhé a v první fotobráně by měl odpovídat této práci:

$$mg(s_2 - s_1) = \frac{1}{2}(m + M)v_2^2 - \frac{1}{2}(m + M)v_1^2$$

Ověření vztahu pro kinetickou energii – úkoly

- Vypočítejte z naměřených hodnot práci vykonanou tíhou závaží na niti při urychlení vozíku z klidu k druhé fotobráně a запиšte ji do tabulky. Vypočítejte také kinetickou energii soustavy vozíku a závaží při průjezdu druhou fotobránou a запиšte ji pro porovnání do dalšího řádku tabulky (hmotnost prázdného vozíku je 250 g).
- Dále spočítejte práci vykonanou při urychlování vozíku mezi fotobránami, запиšte ji do tabulky a do následujícího řádku запиšte vypočítaný rozdíl kinetických energií vozíku se závažím v druhé a v první fotobráně.
- Porovnejte výsledky a pokuste se vysvětlit, čím mohou být způsobeny případné rozdíly.
- Zopakujte měření včetně vyhodnocení s tím, že zatížíte vozík nejdříve jedním a potom dvěma závažími o hmotnosti 250 g. Vysvětlete, jak se projeví zvýšená hmotnost vozíku. Jak souvisí hmotnost vozíku s dosaženou rychlostí?

První brána

⚠ Rychlost v bráně 1, kanál 1 (m/s) <Nejsou vybrána žádná data>

-, -- m/s

Druhá brána

⚠ Rychlost v bráně 2, kanál 2 (m/s) <Nejsou vybrána žádná data>

-, -- m/s

	✖ Řada	■ Řada	● Řada	◆ Řada
	popis	nezatížený vozík	vozík s jedním závažím	vozík se dvěma závažími
1				
2	práce při urychlení ke druhé fotobráně			
3	kinetická energie ve druhé fotobráně			
4	práce při urychlení mezi fotobránami			
5	rozdíl kin. E ve druhé a v první fotobráně			
6				
7				

B. Zákon zachování mechanické energie

Úvod

Při jízdě do kopce musí motor automobilu **překonávat účinky tíhové síly** a vykonávat tak **práci** k přemístění automobilu do větší nadmořské výšky. Automobil tímto způsobem získává tíhovou **potenciální (polohovou) energii**, která závisí na jeho hmotnosti a na výšce nad zvolenou rovinou s nulovou potenciální energií. Protože si můžeme hladinu nulové potenciální energie zvolit libovolně, zajímá nás většinou pouze přírůstek nebo úbytek potenciální energie, který závisí na rozdílu výšek v koncovém a počátečním bodě.

Přestane-li na automobil působit **tahová síla** motoru, začne se vlivem **tíhové síly** pohybovat z kopce, přičemž se postupně zmenšuje jeho **tíhová energie** a naopak narůstá jeho **energie kinetická**. Je to jeden z projevů **zákona zachování mechanické energie**, který říká, že celková mechanická **energie** tělesa v izolované soustavě **zůstává stále stejná** (konstantní).



Foto: morgueFile free photo archive (morguefile.com)

V dalším experimentu se pokusíme **ověřit zákon zachování mechanické energie** při jízdě vozíku po nakloněné rovině a prozkoumat, co by mohlo v praxi narušovat teoretické výsledky.

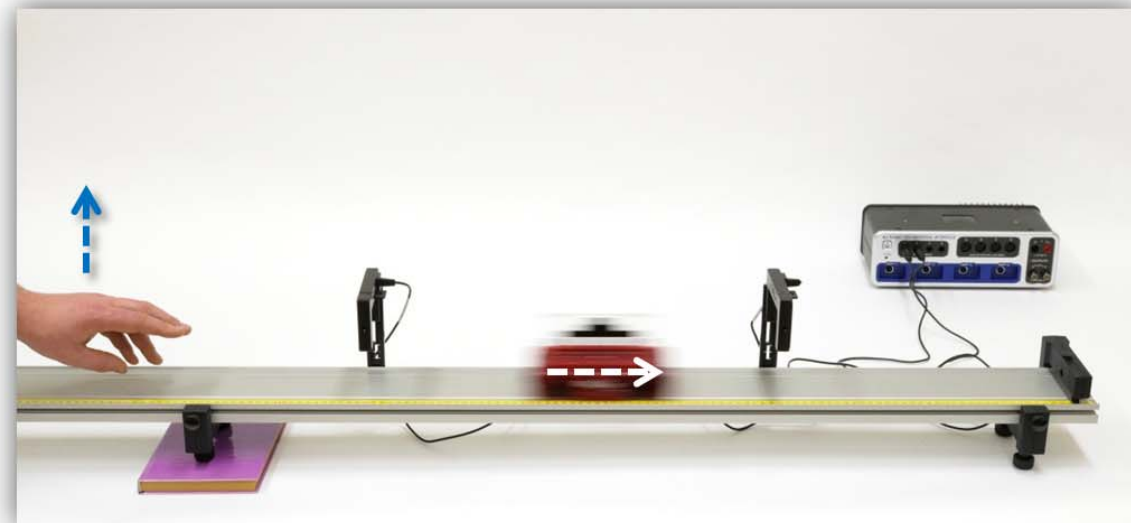
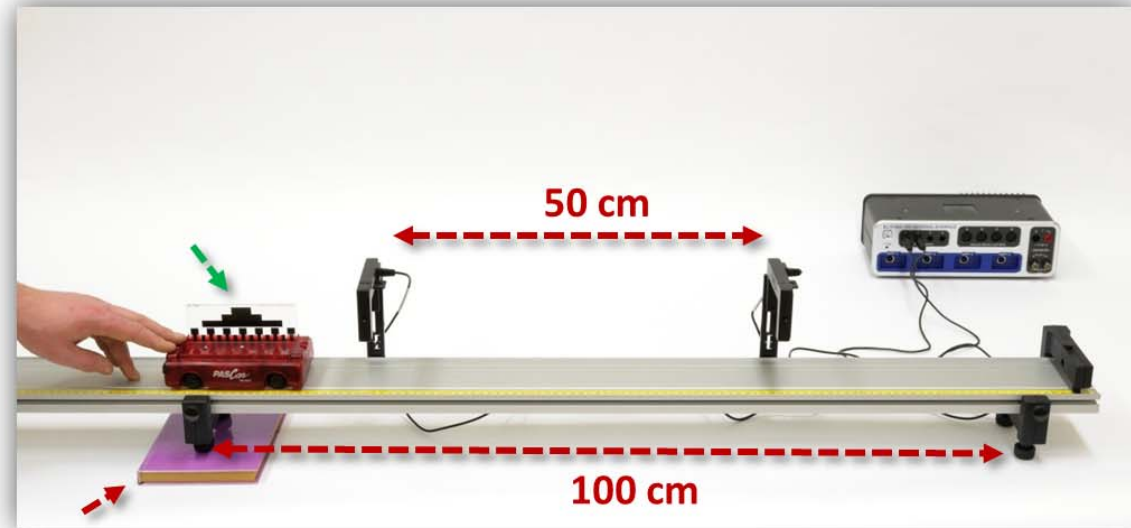
Co budeme potřebovat?

- univerzální měřicí rozhraní 850
- dvě fotobrány s příslušenstvím pro uchycení na vozíkovou dráhu
- vozíkovou dráhu
- vozík se závažími a maskou k fotobránám
- knihy nebo jiné podložky
- délkové měřítko



Příprava a sestavení experimentu

1. Fotobrány připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem a připevníme je na vozíkovou dráhu do vzdálenosti **50 cm** od sebe. Podpůrné nožky dráhy umístíme do vzdálenosti **100 cm** od sebe.
2. Do vozíku nasuneme proužkovanou masku s jedním **proužkem délky 2,5 cm nahore**. Výšku fotobran upravíme tak, aby horní proužek o délce 2,5 cm protínal při pohybu vozíku paprsek fotobrány.
3. Podpůrné nožky na jedné straně vozíkové dráhy podložíme knihou o tloušťce 2 – 3 cm, abychom vytvořili nakloněnou rovinu.



Postup práce – záznam dat

1. Vozík přidržíme na dráze v určité vzdálenosti před první, vyšší fotobránou.
2. Spustíme měření a uvolníme vozík, který se rozjede dolů po nakloněné dráze a postupně projede oběma fotobránami, přičemž se na displejích zobrazí velikosti rychlosti průjezdu jednotlivými bránami.
3. Po projetí vozíku druhou bránou měření ukončíme.

První brána

⚠ Rychlost v bráně 1, kanál 1 (m/s)

<Nejsou vybrána žádná data>

-, -- m/s

Druhá brána

⚠ Rychlost v bráně 2, kanál 2 (m/s)

<Nejsou vybrána žádná data>

-, -- m/s

Analýza naměřené závislosti – teorie

Z výsledku pokusu vidíme, že stejně jako v předchozím experimentu vozík postupně zvyšuje svoji rychlost a při průjezdu fotobránou můžeme určit jeho kinetickou energii

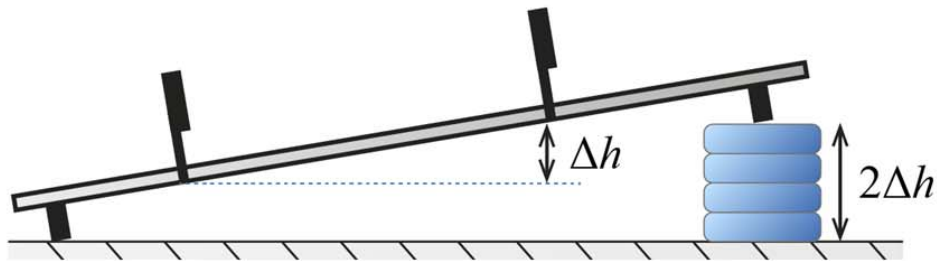
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2,$$

kde m je hmotnost vozíku a v je jeho okamžitá rychlost při průjezdu fotobránou.

Protože vozík při sjíždění po nakloněné rovině zmenšuje svoji výšku h nad podložkou, zmenšuje se také jeho tíhová potenciální energie definovaná vztahem

$$E_p = mgh,$$

kde $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ je přibližná velikost tíhového zrychlení.



Je-li celková mechanická energie vozíku dána součtem jeho kinetické a potenciální energie, můžeme v našem případě vysvětlit zákon zachování mechanické energie tak, že úbytek potenciální energie vozíku mezi první a druhou fotobránou se projeví zvýšením jeho kinetické energie:

$$mgh_1 - mgh_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

h_1 je výška těžiště vozíku nad podložkou v první fotobráně, h_2 ve druhé, v_2 je okamžitá rychlost vozíku ve druhé fotobráně a v_1 v první.

Poslední vztah můžeme upravit vytknutím na tvar

$$mg\Delta h = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)$$

kde Δh je rozdíl výšek fotobran. Protože jsme zvolili vzdálenost fotobran poloviční oproti vzdálenosti podpůrných nožek vozíkové dráhy, je také rozdíl výšek fotobran Δh dvakrát menší než výška podložky pod nožkami na jedné straně dráhy (viz obrázek vlevo).

Ověření zákona zachování mechanické energie

1. Změřte výšku podložky vozíkové dráhy, určete rozdíl výšek fotobran Δh a spočítejte úbytek tíhové potenciální energie vozíku při pohybu od první k druhé fotobráně. Výsledek zapište do tabulky.
2. Z naměřených velikostí rychlostí ve fotobránách spočítejte také přírůstek kinetické energie vozíku a zapište výsledek s naměřenými hodnotami do tabulky.
3. Zopakujte měření s vozíkem zatíženým postupně jedním a dvěma závažími. Dále měření zopakujte pro další dva různé sklony dráhy – použijte podložky o výšce přibližně 4–8 cm. Všechny výsledky zapište do tabulky.
4. Porovnejte v jednotlivých případech změnu potenciální a kinetické energie vozíku a objasněte, čím mohou být způsobeny případné rozdíly.

První brána

⚠ Rychlost v bráně 1, kanál 1 (m/s)

<Nejsou vybrána žádná data>

-, --m/s

Druhá brána

⚠ Rychlost v bráně 2, kanál 2 (m/s)

<Nejsou vybrána žádná data>

-, --m/s

Změna potenciální a kinetické energie vozíku

	▼ Řada	⊗ Řada	<Nejsou vybrána žádná data>	<Nejsou vybrána žádná data>	■ Řada	● Řada
	hmotnost vozíku (g)	rozdíl výšek (m)	⚠ Rychlost v bráně 1 (m/s)	⚠ Rychlost v bráně 2, kanál 2 (m/s)	změna pot. energie $E_{p1}-E_{p2}$ (kJ)	změna kin. energie $E_{k2}-E_{k1}$ (kJ)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
o						



C. Energie pružiny



Úvod

Speciálním **druhem mechanické potenciální energie** je **energie pružnosti**, která je dána vzájemným silovým působením částic jakékoli látky mezi sebou a se kterou se můžeme setkat při **deformaci těles**.

Deformační zóny automobilů jsou například konstruovány tak, aby při srážce dokázaly absorbovat co možná **největší množství kinetické energie** automobilu, účinně snížily jeho rychlost a omezily tak dopad na pevné části chránící posádku automobilu.

V posledním experimentu prozkoumáme nejjednodušší případ potenciální energie pružnosti – **energii pružnosti pružiny**, a ověříme, zda a za jakých podmínek platí i pro ni **zákon zachování mechanické energie**.



Foto: [morgueFile](https://morguefile.com) free photo archive (morguefile.com)

V posledním experimentu prozkoumáme nejjednodušší případ **potenciální energie pružnosti** – **energii pružnosti pružiny**, a ověříme, zda a za jakých podmínek platí i pro ni **zákon zachování mechanické energie**.

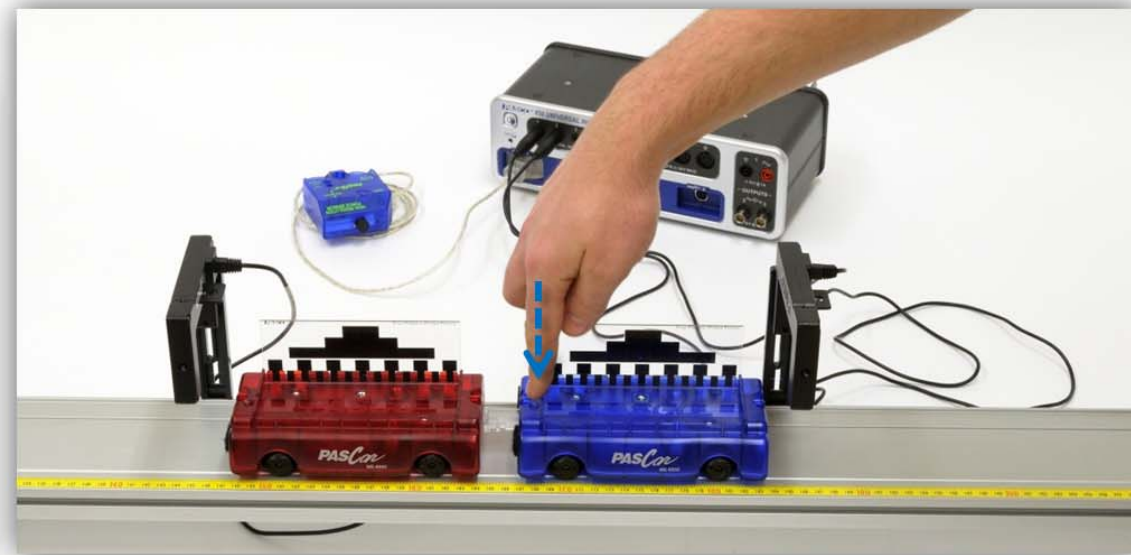
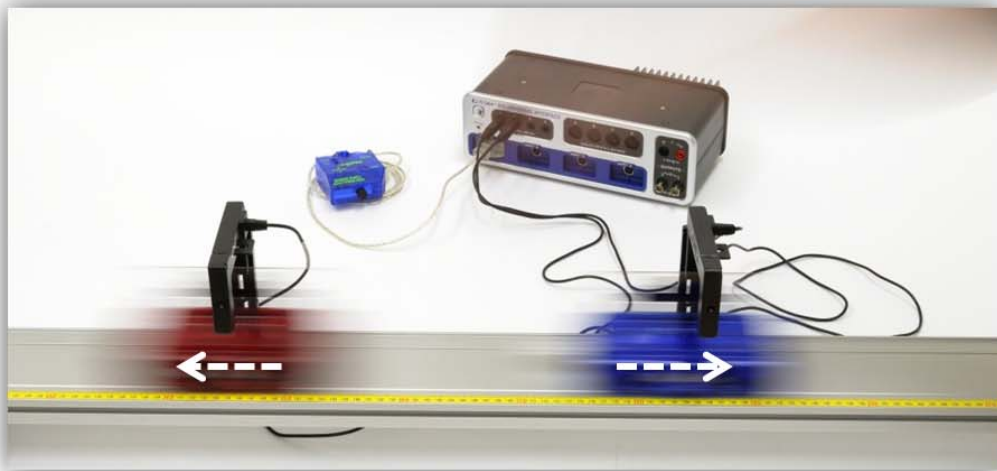
Co budeme potřebovat?

- univerzální měřicí rozhraní 850
- dvě fotobrány s příslušenstvím pro uchycení na vozíkovou dráhu
- senzor síly s našroubovanou tlačnou koncovkou
- vozíkovou dráhu
- dva vozíky se závažími a maskami k fotobránám
- délkové měřítko



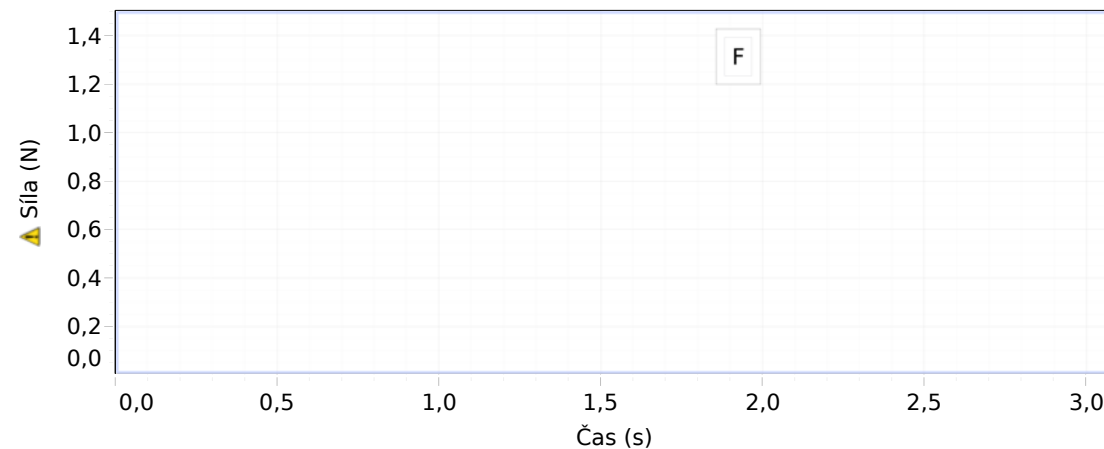
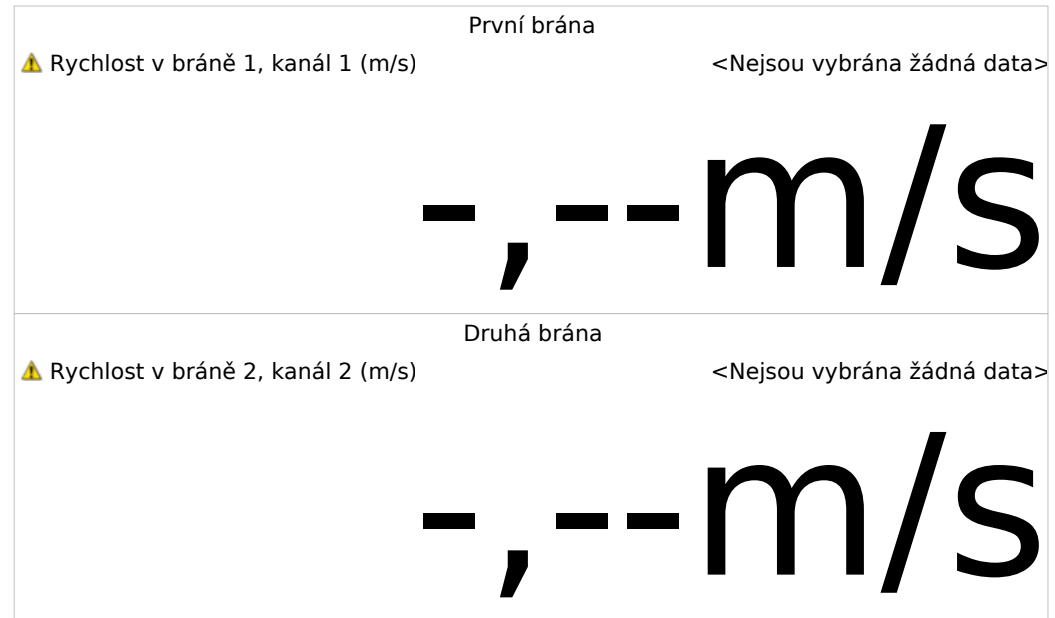
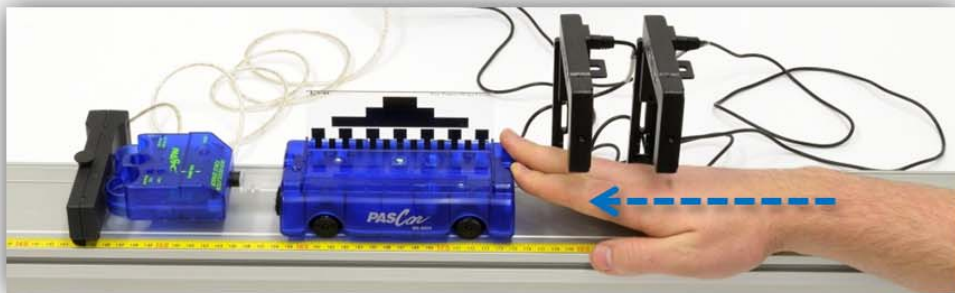
Příprava a sestavení experimentu

1. Fotobrány připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem a připevníme je na vodorovně vyrovnanou vozíkovou dráhu do vzdálenosti přibližně **40 cm od sebe**.
2. K měřicímu rozhraní připojíme také senzor síly.
3. Do vozíků nasuneme proužkované masky s jedním **proužkem délky 2,5 cm nahore**. Výšku fotobran upravíme tak, aby horní proužek o délce 2,5 cm protínal při pohybu vozíku paprsek fotobrány.



Postup práce – záznam dat

1. Pružinový píst jednoho z vozíků vysuneme do polohy 2, ve které vyčnívá asi 2,3 cm z vozíku.
2. Vozíky postavíme doprostřed mezi fotobrány čelem s písty proti sobě.
3. Spustíme měření a krátkým ťuknutím do pojistky povytaženého pístu odmrštíme oba vozíky od sebe. Na displejích se přitom zobrazí rychlosti vozíků při průjezdu fotobránami.
4. Do jedné ruky následně uchopíme senzor síly, který ve vodorovné poloze vynulujeme tlačítkem na senzoru, do druhé ruky uchopíme vozík s vystřeleným pístem. Siloměrem tlačíme pomalu proti pístu až do polohy 2, kde píst zajistíme. Průběh síly potřebné ke stlačování pístu se přitom znázorňuje v grafu.
5. Ukončíme měření.



Analýza naměřené závislosti – teorie

Ve stlačené pružině pohánějící píst vozíku je uložena potenciální energie pružnosti, která je dána prací W potřebnou ke stlačení pružiny o příslušnou vzdálenost s . Práce konstantní síly o velikosti F , která posune těleso ve směru svého působení do vzdálenosti s , je definována vztahem

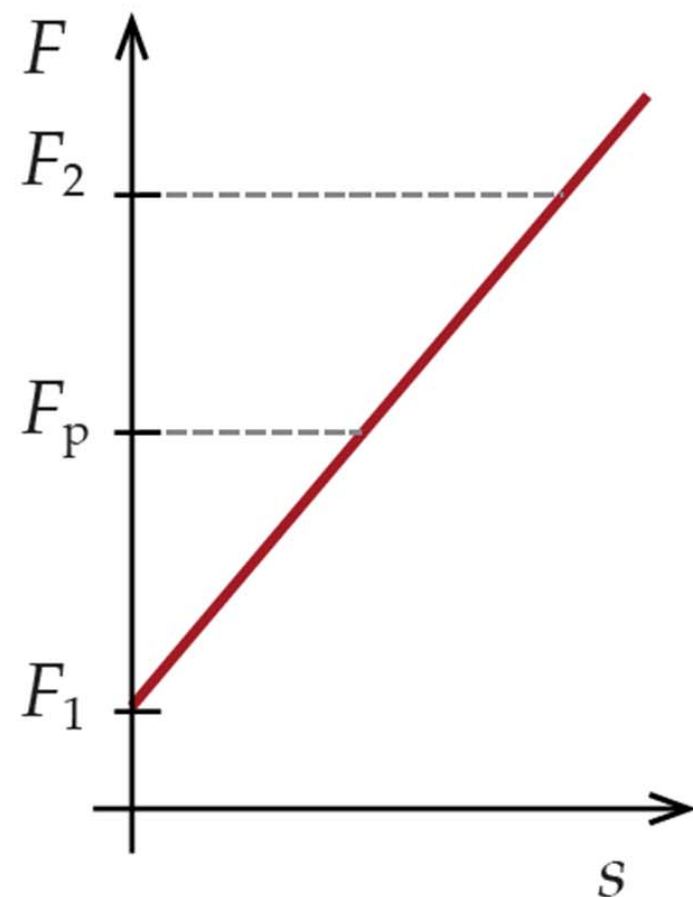
$$W = Fs.$$

V případě pružiny však síla potřebná k jejímu stlačování není konstantní – zvětšuje se přímo úměrně s velikostí stlačení, viz *graf vpravo*. Pro výpočet potenciální energie pružiny musíme proto do uvedeného vztahu pro práci dosadit průměrnou (prostřední) velikost síly naměřenou od začátku do konce stlačování. (Počáteční síla není nulová, protože pružina v pístu je i při jeho úplném vysunutí trochu stlačená.)

Uvolněná potenciální energie stlačené pružiny pístu se v našem experimentu přemění na kinetickou energii obou vozíků odmrštěných od sebe.

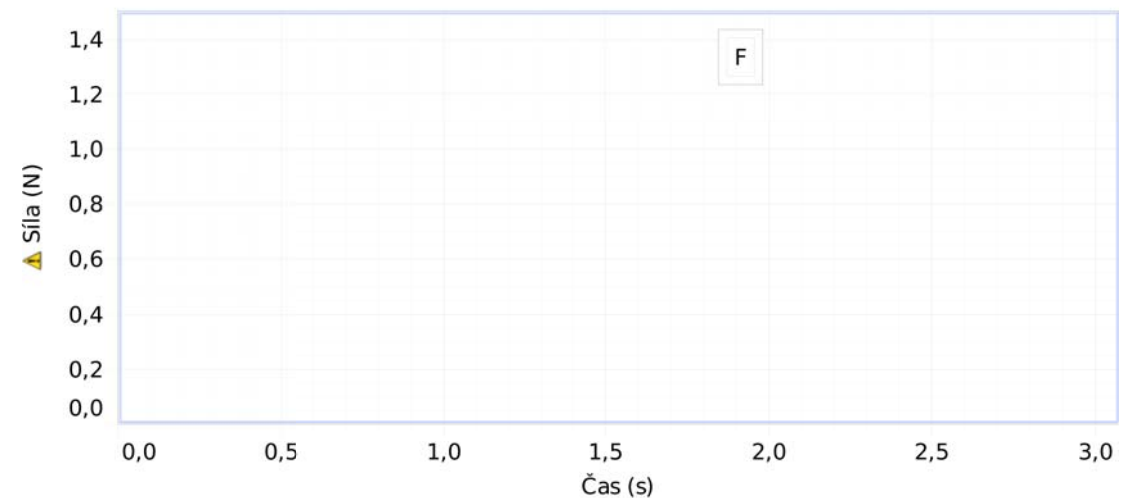
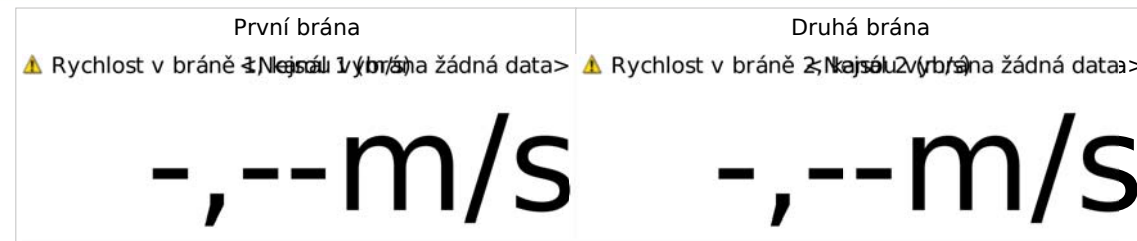
Ze zaznamenaných rychlostí v_1 , v_2 vozíků při průjezdu fotobránami a z jejich známých hmotností m_1 , m_2 můžeme spočítat celkovou kinetickou energii vozíků vztahem

$$E_k = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2.$$



Analýza naměřené závislosti - úkoly

1. Z grafu určete průměrnou sílu potřebnou ke stlačení pístu do polohy 2 a délkovým měřítkem změřte dráhu pístu s průběhem stlačování z vysunutého stavu do polohy dva. Ze zjištěných údajů spočítejte potenciální energii stlačené pružiny pístu.
2. Z naměřených hodnot rychlostí vozíků ve fotobránách určete jejich celkovou získanou kinetickou energii a запиšte ji spolu s naměřenými rychlostmi do tabulky.
3. Zopakujte experiment pro různě zatížené vozíky a výsledky zaznamenejte do příslušných řádků tabulky.
4. Porovnejte potenciální energii pružiny s celkovou kinetickou energií vozíků v tabulce. Diskutujte, zda je potenciální a kinetická energie v jednotlivých případech stejná, případně která je větší a proč.



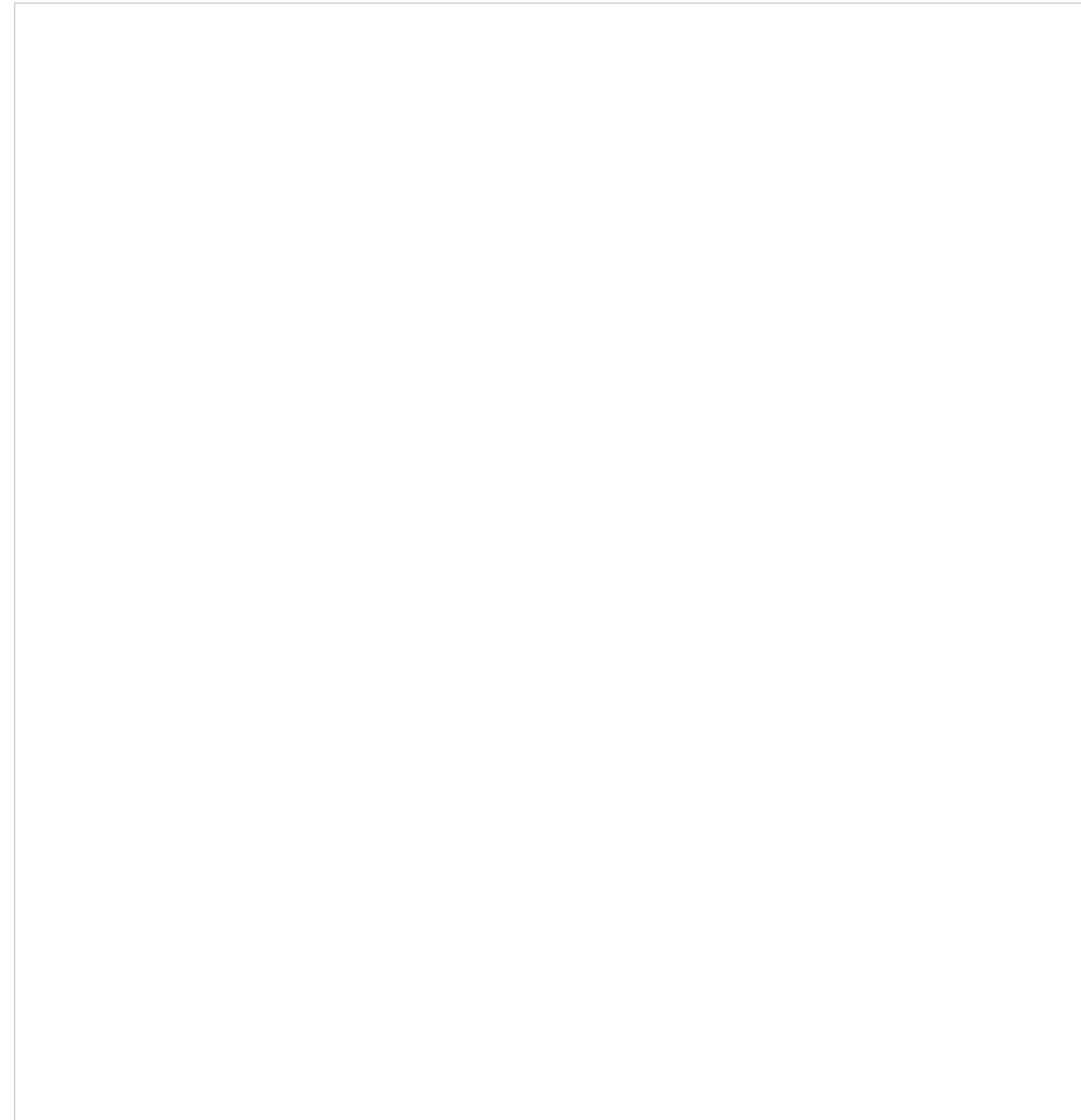
Kinetická energie vozíků

	◆ Řada	✖ Řada	<Nejsou vybrána žádná data>	<Nejsou vybrána žádná data>	▼ Řada
	m1 (g)	m2 (g)	⚠ Rychlost v bráně 1 (m/s)	⚠ Rychlost v bráně 2, kanál 2 (m/s)	celková kinetická energie Ek (kJ)
1	250	250			
2	500	500			
3	250	500			
4	250	750			
5					

Závěr

Pokuste se shrnout a porovnat, čím se od sebe liší různé druhy mechanické energie. Co vyjadřuje zákon zachování mechanické energie a za jakých podmínek ho můžeme aplikovat?

Pokuste se vymyslet nějakou reálnou úlohu, k jejímuž vyřešení by bylo vhodné použít zákon zachování mechanické energie.



Použité materiály a další informační zdroje

SVOBODA, Emanuel a kol. *Přehled středoškolské fyziky*.

Praha: SPN, 1991. ISBN 80-04-22435-0.

Použité fotografie z externích zdrojů:

morgueFile free photo archive (morguefile.com)

Wikipedia (wikipedia.org)

Metodické poznámky

- U prvního experimentu je samozřejmě možné použít jiné vzdálenosti mezi fotobránami a jinou počáteční vzdálenost vozíku před první fotobránou a upravit příslušné výpočty. Také je vhodné experiment zopakovat s jiným závažím na niti a upravit tak velikost urychlující síly. Při vyhodnocení experimentu je vhodné zdůraznit, že při počítání rozdílů velikostí kinetických energií se odčítají druhé mocniny rychlostí vozíků a nelze spočítat nejdříve rozdíl velikostí a ten potom umocnit na druhou.
- Vzdálenosti fotobran a podpůrných nožek vozíkové dráhy ve druhém experimentu je možné libovolně měnit, pro snadné počítání rozdílů výšek fotobran je vhodné volit vzdálenost podpůrných nožek stejnou, nebo jako celočíselný násobek vzdálenosti fotobran.
- V posledním experimentu je potřeba dbát na to, aby při měření průběhu síly potřebné ke stlačování pružiny nedošlo k dalšímu přerušení paprsku fotobran. Měření průběhu síly a rychlosti vozíků lze také provést samostatně a při vyhodnocování si postupně nechat zobrazit potřebné naměřené hodnoty z příslušného měření. U posledního experimentu můžeme také poukázat na to, že se jedná v podstatě o opačný proces, než je srážka, kdy se kinetická energie pohybujících se těles mění na energii deformační. Matematické vztahy pro oba procesy jsou potom stejné.