



Experimenty s interaktivní stavebnicí
a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu

4A. Hookův zákon

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. Deformace kovového drátu** **6E-A-01**
 - Úvod 6E-A-02
 - Co budeme potřebovat? 6E-A-03
 - Příprava a sestavení experimentu 6E-A-04
 - Provedení experimentu – záznam dat 6E-A-05
 - Analýza naměřené závislosti – teorie 6E-A-06
 - Analýza naměřené závislosti – teorie – pokračování 6E-A-07
 - Analýza naměřené závislosti – úkoly 6E-A-08
- **Závěr** **6E-Z-01**
- **Použité materiály a zdroje informací** **6E-I-01**
- **Metodické komentáře** **6E-M-01**



A. Deformace kovového drátu



Úvod

Ovládání **parkovací (ruční) brzdy** automobilu bývá většinou řešeno **ocelovým lankem** v bovdenu, které spojuje brzdící páku s brzdou. Podobným způsobem je řešen například **přenos síly** od **plynového** a **spojkového pedálu**, nebo u **otevírání kapoty** a **zadních dveří**.

K ovládání **hlavních brzd** se naproti tomu používá **hydraulický systém**.

Použití lanka u hlavních brzd by bylo sice možná levnější, má však oproti hydraulickému systému mnoho nevýhod. Lanko se například při namáhání protahuje a pruží, takže by brzdění nebylo zdaleka tak rovnoměrné a „hladké“.

K přenosu velké brzdné síly by navíc muselo být použito silné lanko, aby bylo dosaženo dostatečné účinnosti, a oproti hydraulickému systému by byl mechanický přenos síly lankem náchylnější na opotřebení a poruchy.

V rámci následujícího experimentu se seznámíme s veličinami popisujícími **pružnost** a **pevnost materiálů** při jejich natahování a pokusíme se určit jejich hodnoty.



Foto: [Wikipedia \(wikipedia.org\)](https://www.wikipedia.org)

V rámci následujícího experimentu se seznámíme s veličinami popisujícími **pružnost** a **pevnost materiálů** při jejich natahování a pokusíme se určit jejich hodnoty.

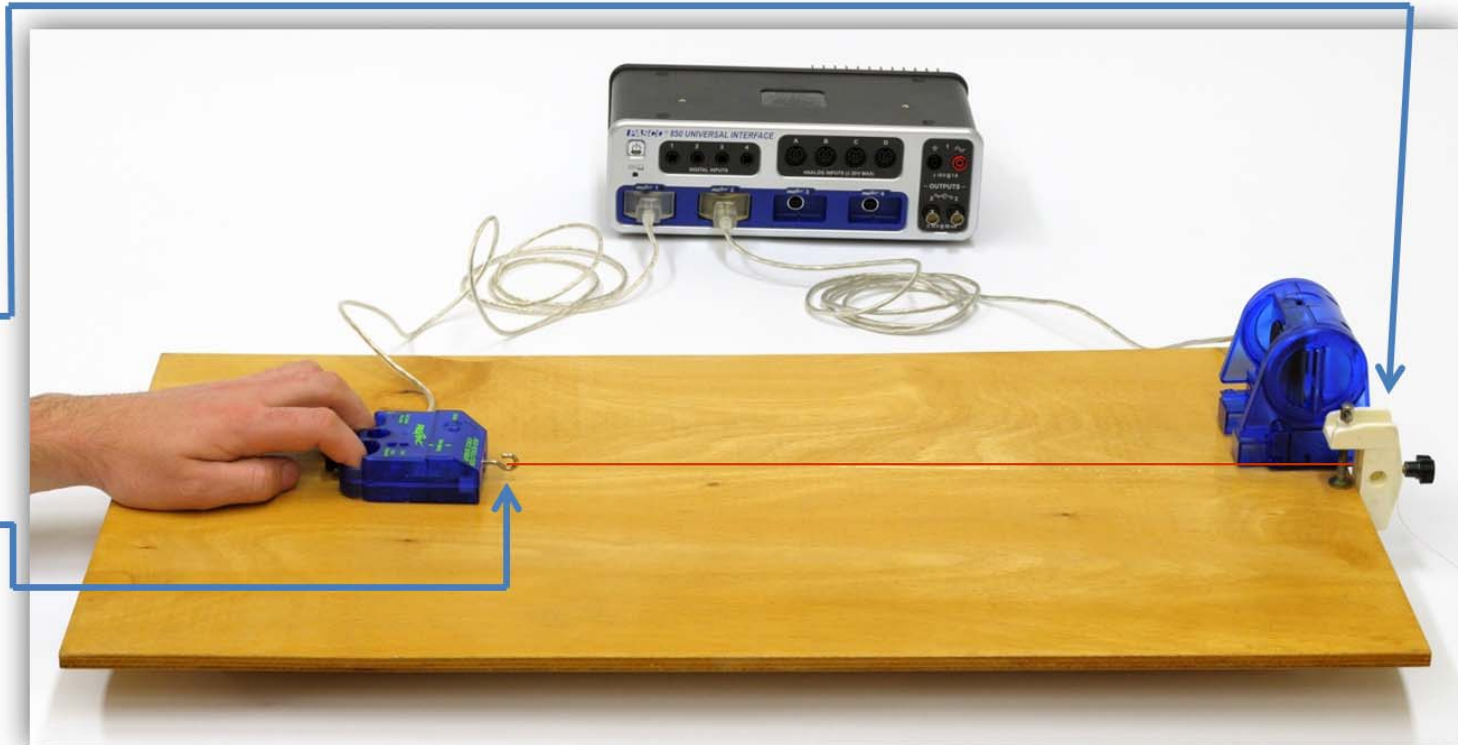
Co budeme potřebovat?

- senzor síly
- senzor polohy a pohybu
- univerzální měřicí rozhraní 850
- měděný drát o délce přibližně 2 m a průměru přibližně 0,2 mm
- další dráty o průměru 0,1 – 0,4 mm z různých kovů
- délkové měřidlo
- mikrometr
- svorka na stůl (případně truhlářská svěrka)



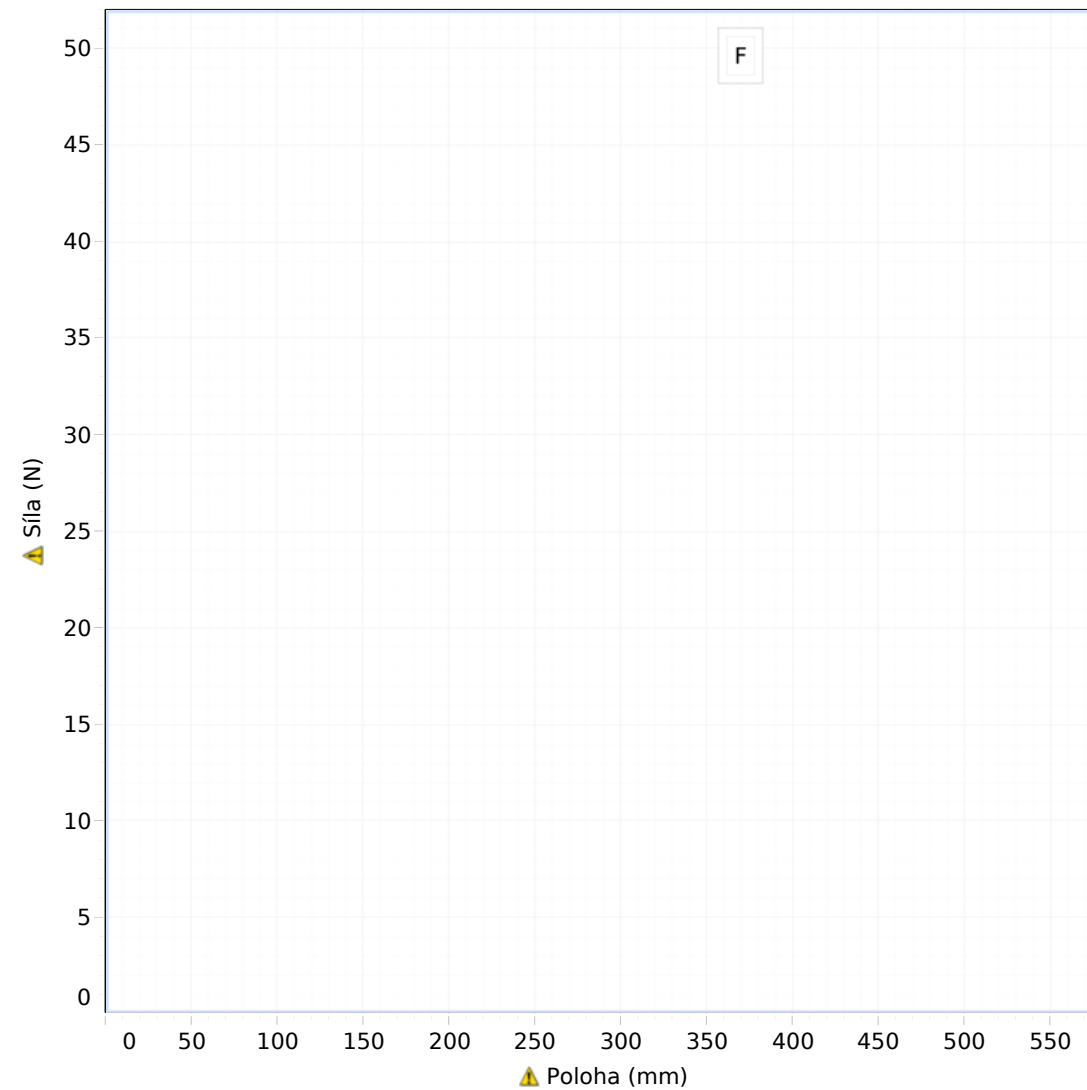
Příprava a sestavení experimentu

1. Senzor síly a senzor polohy a pohybu připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem.
2. Jeden konec **měděného drátu** uvážeme **pevně za svorku** přichycenou k okraji stolu a druhý konec přivážeme a několikrát omotáme **kolem háčku** senzoru síly.
3. Senzor polohy a pohybu umístíme těsně vedle drátu směrem k senzoru síly asi 50 cm daleko před senzor síly. Přepínač na senzoru polohy a pohybu přepneme do polohy s vozíkem.



Provedení experimentu – záznam dat

1. Délkovým měřítkem změříme délku napnutého drátu mezi uchyceními a mikrometrem změříme jeho průměr. Získané hodnoty si zaznameneáme pro pozdější zpracování.
2. Senzor síly uchopíme za upevňovací šroub naproti háčku s drátem a drát jemně napneme.
3. Spustíme měření a drát začneme pomocí senzoru síly postupně pomalu napínat. V grafu přitom sledujeme rostoucí velikost působící síly v závislosti na prodloužení drátu.
4. V napínání pokračujeme do té doby, než drát přetrhne, nebo než dosáhneme síly 50 N, poté měření ukončíme.



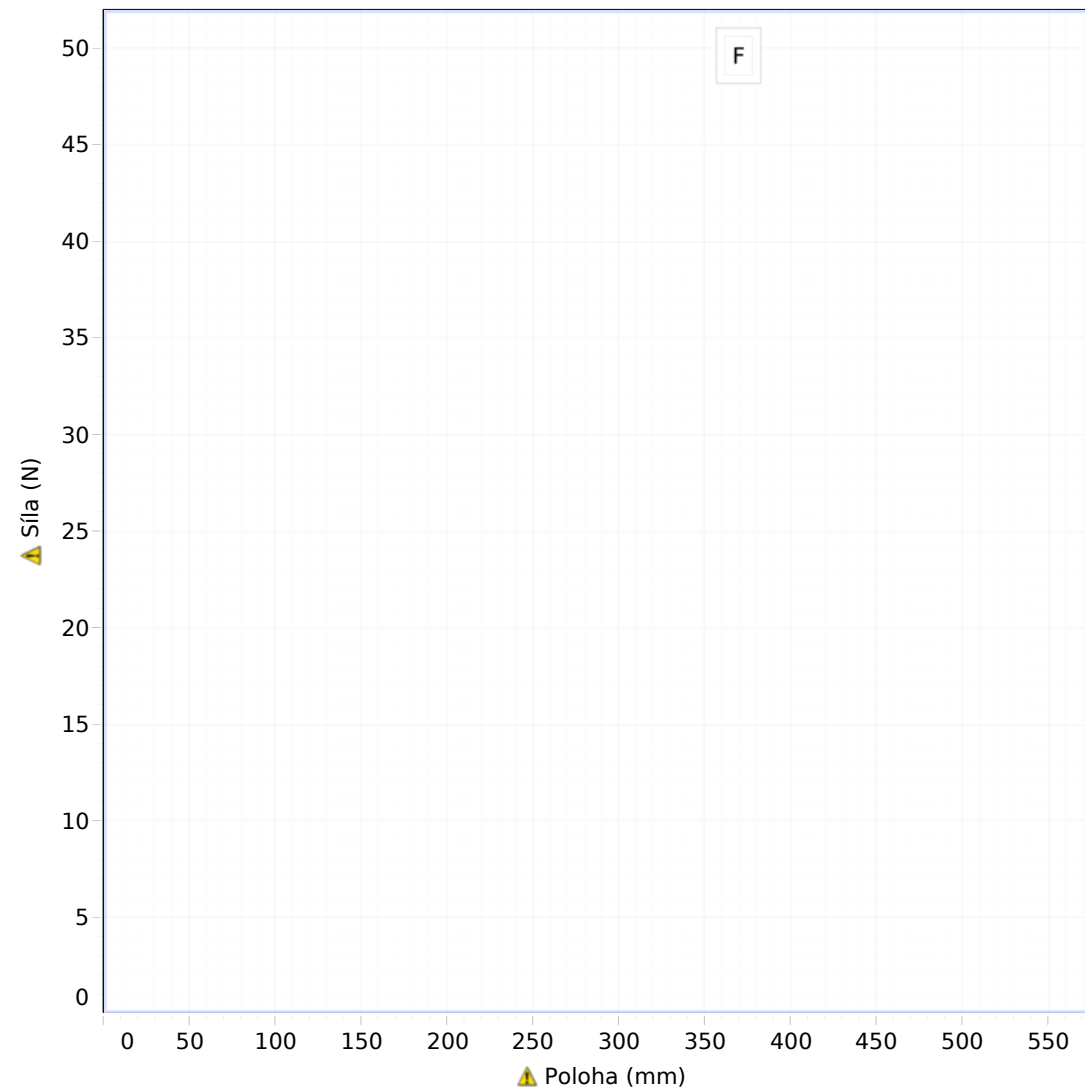
Analýza naměřené závislosti – teorie

V grafu naměřené závislosti je vidět, že při postupném natahování drátu se nejdříve potřebná síla zvětšuje přímo úměrně s rostoucím prodloužením drátu. Tato fáze se nazývá **pružná deformace** a popisuje ji Hookův zákon. Při dalším namáhání drátu se **deformace změní na nepružnou**, což v grafu poznáme tak, že se drát prodlužuje bez výrazného zvyšování působící síly – říkáme, že **materiál teče**. Před konečným přetržením drátu může dojít ještě k takzvanému **zpevnění materiálu**, kdy se materiál téměř přestane prodlužovat a působící sílu je potřeba zvýšit na kritickou hodnotu.

Hookův zákon obvykle matematicky vyjadřujeme vztahem

$$\sigma_n = E\varepsilon,$$

kde σ_n je **normálové napětí** vyvolané v materiálu, které se vypočítá jako podíl **síly** F působící na **plochu** S průřezu drátu a ε je **relativní prodloužení** vyjadřující podíl **prodloužení** Δl drátu a jeho původní **délky** l . Konstanta přímé úměrnosti E se nazývá **modul pružnosti** v tahu, hlavní jednotkou je pascal (Pa) a její hodnoty charakteristické pro každý materiál jsou uváděny v **technických tabulkách**.



Analýza naměřené závislosti – teorie – pokračování

Z uvedeného vyjádření **Hookova zákona** pro pružnou deformaci lze odvodit vztah pro **modul pružnosti** v tahu ve tvaru

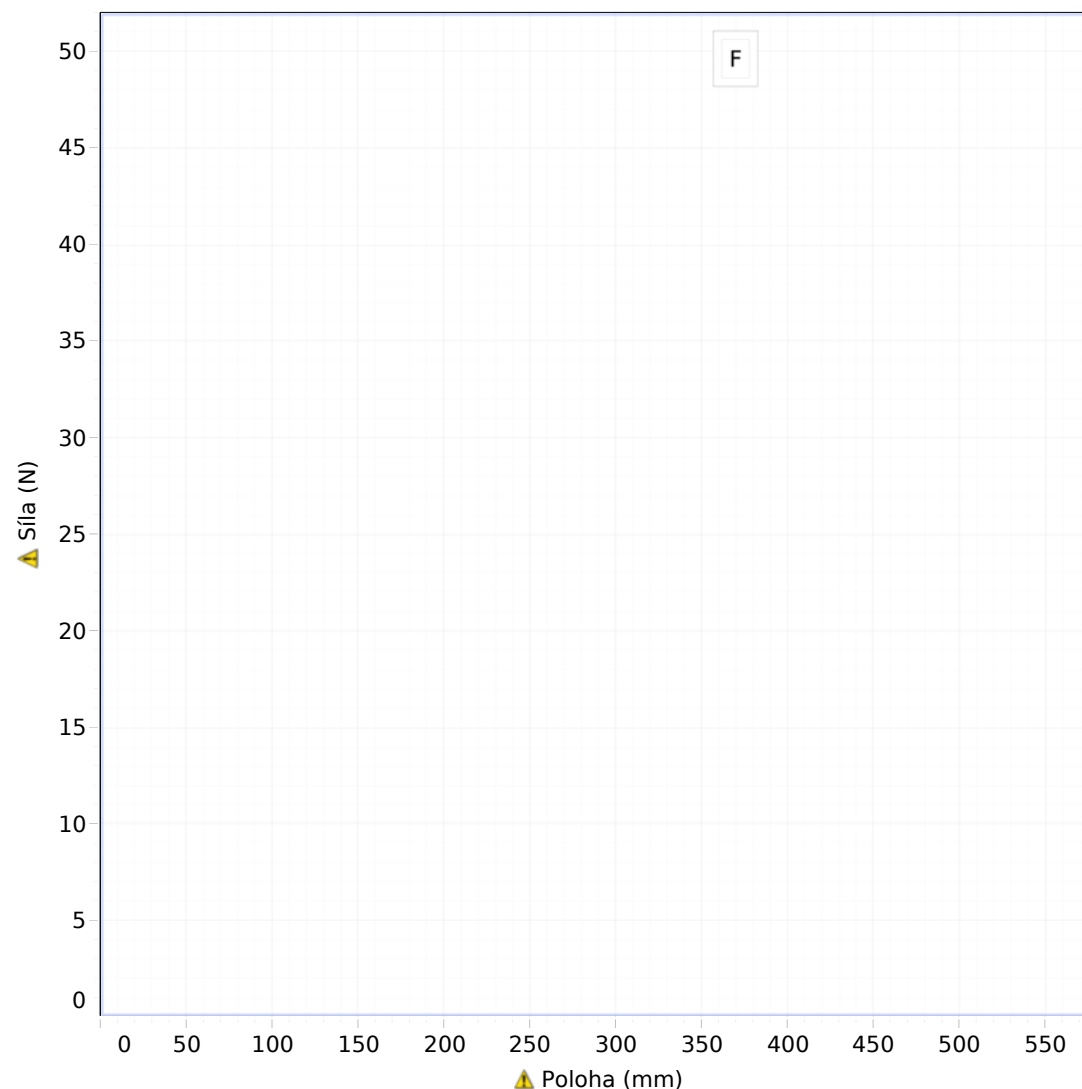
$$E = \frac{F}{\Delta l} \cdot \frac{l}{S} .$$

První zlomek (podíl působící síly a prodloužení drátu) přitom vyjadřuje **směrnici** (sklon) přímky v první části naměřeného grafu vyjadřujícího **pružnou deformaci** – tedy hodnotu konstanty m v rovnici lineární fitovací funkce pro tuto oblast grafu.

Poslední zaznamenaná hodnota velikosti působící síly před přetržením drátu F_{\max} umožňuje vypočítat takzvanou **mez pevnosti v tahu** σ_t daného materiálu ze vztahu

$$\sigma_t = \frac{F_{\max}}{S} .$$

Orientační **hodnoty meze pevnosti** v tahu pro různé materiály bývají uváděny v **technických tabulkách**.



Analýza naměřené závislosti – úkoly

1. Fitujte křivku naměřené závislosti v oblasti pružné deformace lineární funkcí a určete hodnotu konstanty m příslušné rovnice. Ze získané hodnoty m a zjištěných hodnot délky l a průměru d drátu **vypočítejte modul pružnosti v tahu** mědi dosazením do vztahu

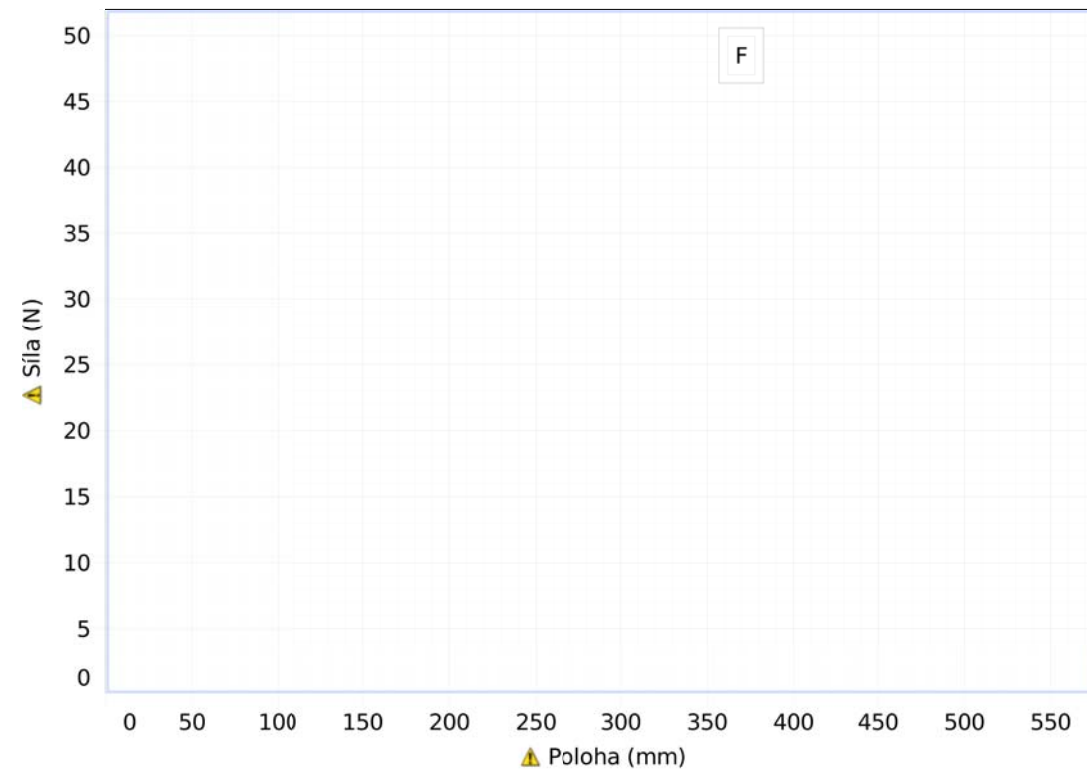
$$E = m \cdot \frac{l}{S} = m \cdot \frac{4l}{\pi d^2} .$$

2. Pokud je to možné, určete z grafu také maximální působící sílu F_{\max} před přetržením drátu a dosazením do vztahu

$$\sigma_t = \frac{F_{\max}}{S} = \frac{4F_{\max}}{\pi d^2}$$

spočítejte mez pevnosti mědi v tahu.

3. Zopakujte měření také pro ostatní připravené dráty a určete moduly pružnosti a meze pevnosti daných materiálů. Naměřené hodnoty a výsledky запиšte do připravené tabulky.



	◆ Řada	✦ Řada	▼ Řada	✕ Řada	▲ Řada	■ Řada	● Řada
	materiál	délka drátu (cm)	průměr drátu (mm)	konstanta m	maximální síla F_{\max} (N)	modul pružnosti E (GPa)	mez pevnosti v tahu (MPa)
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Závěr

1. Objasněte na vhodném příkladu, jaký je rozdíl mezi pružnou a nepružnou deformací.
Co vyjadřuje Hookův zákon?
2. Vyhledejte v tabulkách hodnoty modulu pružnosti v tahu a meze pevnosti v tahu pro materiály, ze kterých byly vyrobeny dráty použité v experimentu, a porovnejte experimentálně zjištěné hodnoty modulu pružnosti a meze pevnosti s tabulkovými.
3. Pokuste se vysvětlit, čím mohou být způsobeny rozdíly mezi naměřenými a teoretickými hodnotami a kde se můžeme při měření dopustit největších chyb.
(Odhadněte například, jakých odchylek jsme se mohli dopustit při měření délky a průměru drátu a jak by se změnil výsledek, pokud bychom u vybraného příkladu počítali s těmito většími nebo menšími hodnotami.)

Použité materiály a další informační zdroje

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

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

MIKULČÁK, J., KLIMEŠ, B., ŠIROKÝ, J., ŠŮLA, V., ZEMÁNEK, F.

Matematické fyzikální a chemické tabulky pro střední školy.

Praha: Prometheus, 2002. ISBN 80-85849-84-4.

Použité fotografie z externích zdrojů:

Wikipedia (wikipedia.org)

Metodické poznámky

- Měděné dráty je možné sehnat například jako tenké smaltované vodiče. V železářstvích bývají k dostání také tenké dráty z jiných materiálů. K experimentu lze použít například také tenké kytarové ocelové struny E.
- Při napínání drátu je doporučeno držet siloměr za upevňovací šroub (nikoli za držadlo), aby pokud možno nedocházelo k natáčení siloměru do strany, což by mohlo ovlivňovat měřené prodlužování drátu, které činí pouze několik milimetrů. Abychom dosáhli toho, že čelo siloměru bude stále kolmé na drát, je také možné otvorem pro uchycení siloměru ke stojanu provléci silný provaz nebo drát a tahat siloměr za něj.
- Pro spolehlivější určování modulu pružnosti v tahu je vhodné vyzkoušet několikrát napínání drátu pouze v oblasti pružné deformace a vybrat k vyhodnocení grafy, kde je dobře vidět lineární závislost (není zde mnoho chybných hodnot ležících mimo přímku lineární závislosti).
- Při měření meze pevnosti je potřeba dbát na to, abychom nepřekračovali maximální zatížení senzoru síly 50 N (u ocelového lanka je například bezpečný průměr vhodný k přetržení pouze přibližně do 0,15 mm, u ostatních kovů vyhoví i silnější dráty).