

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jméno:		Datum:	
Třída:		Teplota:	
Spolupracovali:		Tlak:	
		Vlhkost:	

## Pracovní list č.

**Téma: Deformace v tahu****Teoretický úvod:****1. Normálové napětí**

Při deformaci tělesa v tahu proti sobě působí deformující síly a síly pružnosti (pevnosti) tělesa. Stav napjatosti posuzujeme pomocí veličiny normálové napětí. Normálové napětí  $\sigma_n$  je fyzikální veličina, která je dána podílem síly pružnosti  $F_p$  a plochy příčného řezu  $S$ . Jednotkou je pascal.

$$\sigma_n = \frac{F_p}{S}$$

Obrázek ...

**2. Křivka deformace**

Pro popis deformovaného tělesa používáme další veličiny:

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$l$  ... počáteční délka tělesa

$\Delta l$  ... prodloužení tělesa

$\varepsilon$  ... relativní prodloužení

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Při deformaci tělesa s rostoucí deformační silou roste i délka tělesa. Pro daný materiál je pak charakteristická **křivka deformace**, což je **graf závislosti normálového napětí na relativním prodloužení**.

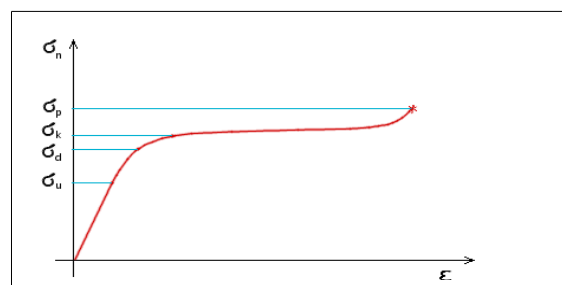
Malé deformace jsou obvykle pružné a vratné, větší deformace nepružné a trvalé. Můžeme je rozdělit podle normálového napětí do několika oblastí, viz obrázek.

$\sigma_u$  ... mez úměrnosti

$\sigma_d$  ... mez pružnosti

$\sigma_k$  ... mez kluzu

$\sigma_p$  ... mez pevnosti



Jestliže nepřekročíme hodnotu normálového napětí meze úměrnosti, platí Hookův zákon: **normálové napětí je přímo úměrné relativnímu prodloužení**.

$$\sigma_n = E \cdot \varepsilon$$

kde  $E$  je modul pružnosti v tahu. Při uvolnění deformující síly se těleso okamžitě vrací do původního stavu.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Při překročení meze úměrnosti může dojít k dopružování – deformace mizí až za určitou dobu. To je ohraničeno mezí pružnosti.

Při dalším zvyšování normálového napětí je již deformace trvalá. Stále však platí, že větší deformaci odpovídá větší síla.

Při překonání meze kluzu se výrazně zvětšuje délka a normálové napětí téměř neroste.

Těsně před dosažením meze pevnosti dojde ke zpevnění materiálu.

Maximální dosažené normálové napětí je mez pevnosti. Při tomto napětí již dojde k přetržení materiálu.

### Úkol: Proměřte křivku deformace mědi.

1. Určete mez pružnosti pro deformaci měděného drátu v tahu.
2. Proměřte křivku deformace.
3. Určete mez úměrnosti.
4. Určete modul pružnosti a mez pevnosti mědi v tahu.

### Pomůcky:

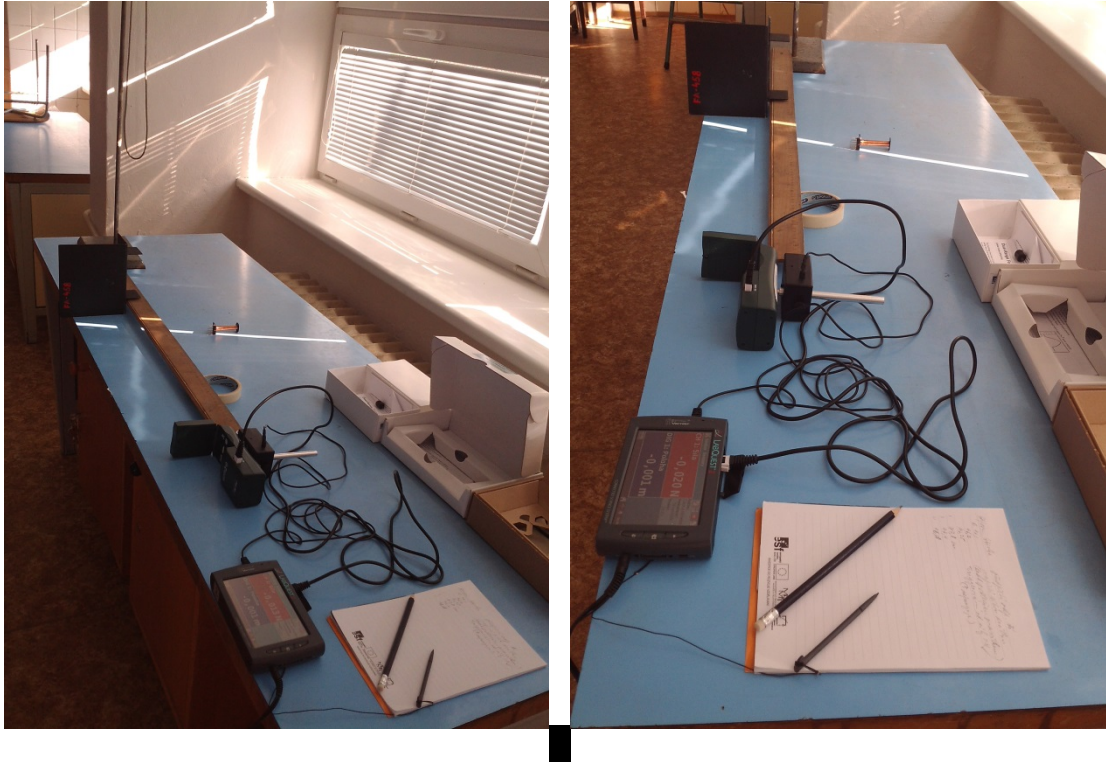
Měděný cívkový drát o průměru přibližně 0,06 – 0,08 mm, mikrometrický šroub, stojan, datalogger, čidlo pohybu, siloměr.

### Pracovní postup:

1. Z měděného drátu ožehnutím odstraníme lak, který tvoří izolaci drátu, zlehka jej setřeme a mikrometrickým šroubem změříme průměr měděného cívkového drátu. (Stačí malý kousek, vlastní měření normálového napětí můžeme provádět na lakovaném drátu. Můžeme také předpokládat, že izolace zvětšuje průměr drátu o setinu milimetru, nebo můžeme izolaci zanedbat.)
2. Na detektor pohybu přišroubujeme krátkou stativovou tyč, siloměr přepneme na rozsah 10 N a nasadíme jej na stativovou tyč. Detektor

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

pohybu se siloměrem připojíme k dataloggeru, položíme je na stolní desku a posouváním od stativu/ke stativu budeme nastavovat napětí drátu.



3. Z cívky odvineme asi 1 m tenkého cívkového drátu. Jeden konec navineme na svislou tyč stativu a druhý konec na háček siloměru. Proti odvinutí zajistíme drátek lepicí páskou. (Drát nepřivazujeme uzlíky, ty by vytvořily slabé místo, ve kterém by došlo k přetržení i malou silou.)
4. Ve vzdálenosti kolem 0,75 m od siloměru umístíme na stůl desku, vzhledem k níž budeme měřit detektorem pohybu polohu siloměru. Drát podložíme pravítkem a lehce jej napneme tak, aby byl asi 5 mm nad pravítkem. Pak jej uvolníme, drát se položí na pravítko. Drát opatrně napneme tak, aby se drát lehce nadzvedl nad pravítko, ale zůstal ještě prověšený. Při této poloze a tomto napětí provedeme vynulování detektoru pohybu i siloměru. Na dataloggeru pak můžeme odečítat sílu napětí a prodloužení drátu.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

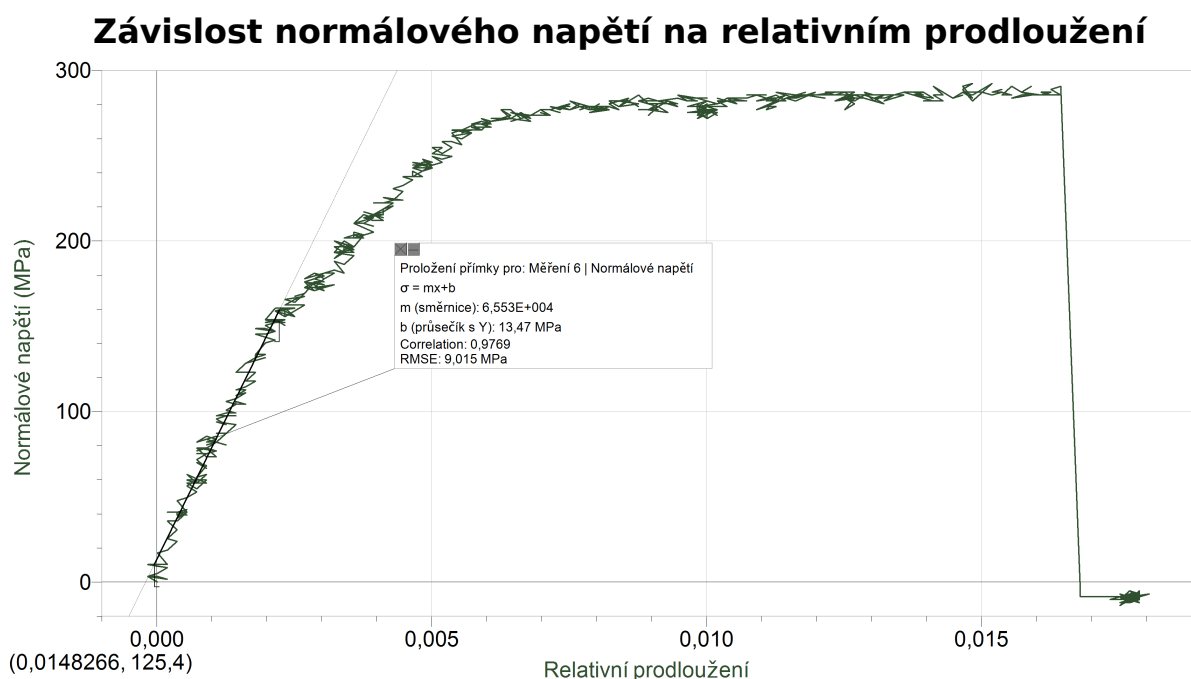
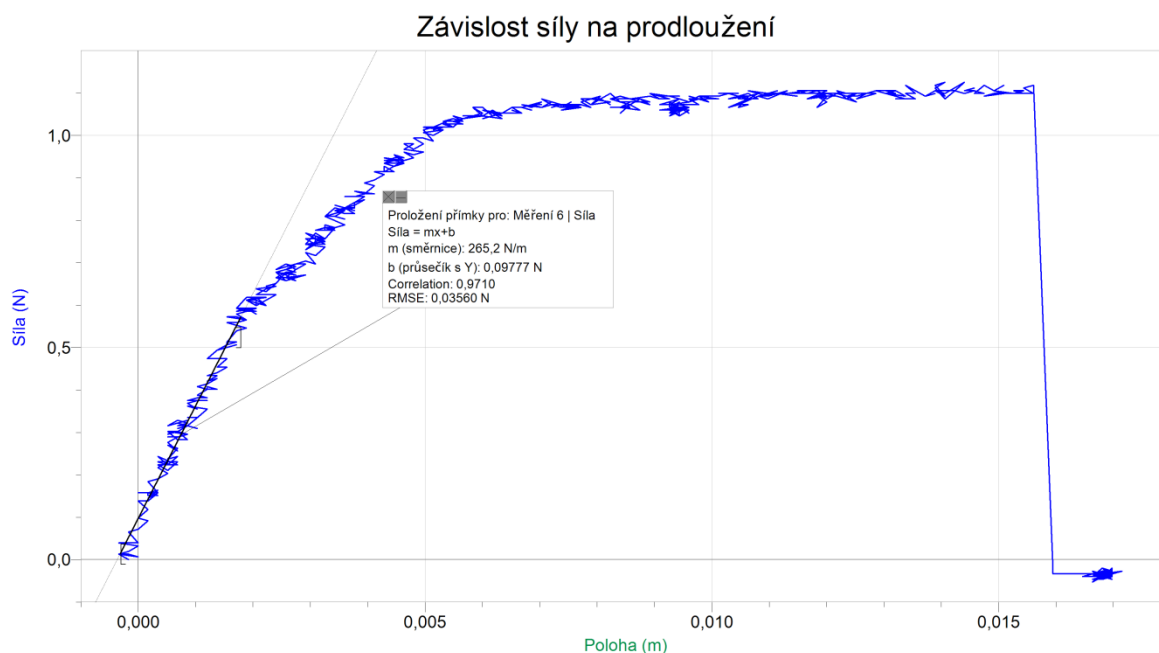
## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

5. Ověříme, že při malých silách je deformace pružná. Drát opatrně napneme, pak uvolníme a při prověšení drátu těsně nad pravítko ověříme, zda se prodloužení snížilo zpět na nulu. Znovu drát opatrně napneme o něco víc a kontrolu zopakujeme. Při určité síle zjistíme, že deformace je již trvalá, při návratu k nulovému napětí zůstane prodloužení větší než nula. Poslední hodnotu síly, při které se prodloužení ještě vrátí na nulu, použijeme pro výpočet meze pružnosti.
6. Znovu nastavíme napětí tak, aby se drát lehce nadzvedl nad pravítko, a znova vynulujeme detektor polohy. Pomocí pravítka změříme počáteční délku drátu  $l$ .
7. Nastavení dataloggeru. Dobu měření nastavíme na 30 sekund a četnost měření na 10 vzorků za sekundu. Pro spuštění nastavíme trigger na sílu větší než nula. (V případě problémů při spuštění měření upravíme nulování siloměru tak, aby po úplném uvolnění drátu kolísala údaj na siloměru v záporných hodnotách.)
8. Spustíme měření. Pomalým tahem budeme napínat a prodlužovat měděný drát. Přitom se budeme snažit o pomalý rovnoměrný pohyb. Měření ukončíme po přetržení drátu.
9. K přetržení dojde v nejslabším místě drátu. Nejprve se vytvoří zúžený krček, pak dojde k přetržení. V místě přetržení provedeme znova měření průměru drátu - krčku, abychom mohli správně spočítat normálové napětí při přetržení.
10. Z grafu odečteme sílu pro výpočet meze úměrnosti (na konci lineární části grafu) a sílu pro výpočet meze pevnosti. Lineární částí proložíme přímkou a dopočteme modul pružnosti.

Graf a výpočty doplníme do protokolu a do závěru zapíšeme získané výsledky a jejich srovnání s tabulkovými hodnotami.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Příklad grafu:



Koeficient  $m$  udává modul pružnosti (v uvedeném příkladu 65,53 GPa).



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Výsledky měření:

Délka drátu  $l =$   
Průměr drátu  $d =$   
Síla meze pružnosti  $F_d =$   
Síla meze úměrnosti  $F_u =$   
Síla meze pevnosti  $F_p =$   
Průměr drátu v místě přetržení  $d' =$

Výpočty normálového napětí a modulu pružnosti:

### Závěr:

### Doplňující otázky a úkoly:

- 1) Sestavte graf závislosti normálového napětí na relativním prodloužení. (Pro výpočet meze pevnosti - poslední hodnota grafu - nezapomeňte použít průměr drátu v místě přetržení  $d'$ .)
- 2) Vysvětlete, proč na konci grafu našeho měření není patrné zpevnění materiálu před jeho přetržením. (Zvýšení normálového napětí před přetržením - viz graf uvedený v teorii.)