

# Hookův zákon

**Autoři :** Radek Mušálek,  
Ondřej Janata,  
Ondřej Konček,  
Pavel Koman,  
Adam Haiduk

## Proceedings k přednášce Hookův zákon

Naše přednáška byla zaměřena na seznámení se základními principy Hookova zákona a na jeho demonstraci. Za tímto účelem jsme provedli několik pokusů na katedře materiálů, kde měl nad námi odborný dohled Ing. Hynek Lauschman, CSc. Zde bychom chtěli prezentovat jednotlivé pokusy.

## Úloha č. 1: Určení Youngova modulu pružnosti statickou zkouškou tahem

**Aparatura:** Trhací stroj, extenzometr

**Vzorek:** Dural, příčný průřez vzorku  $S = 40 \text{ mm}^2$

Youngův modul pružnosti jsme stanovovali pomocí trhacího stroje. Tento způsob měření využívá přímo důsledky Hookova zákona, podle nichž Youngův modul pružnosti dán směrnicí křivky, která nám udává závislost napětí vzorku na jeho na relativním prodloužení (uvažujeme hodnoty napětí před dosažením tzv. meze úměrnosti). Tato závislost je lineární. Vzorky mívají většinou přesně definovaný kruhový nebo obdélníkový průřez a délku.

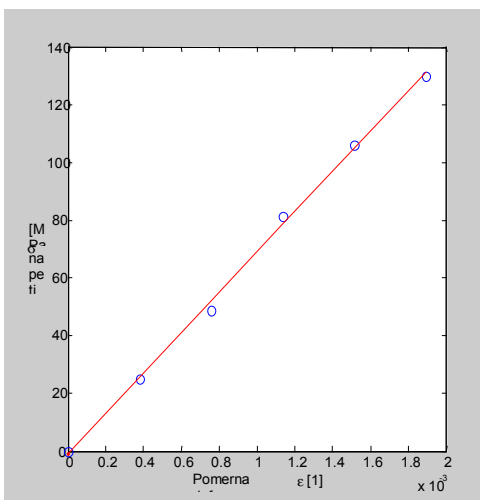
Do upínacích hlavice trhacího stroje jsme uchytili zkoumaný vzorek, po zaklesnutí hlavice jsme začali na měřicím prvku odečítat hodnoty působící síly. Na extenzometru jsme odečítali velikost relativního prodloužení (v dílcích). Absolutní velikost relativního prodloužení je pak určena součinem tohoto relativního prodloužení v dílcích a kalibrační konstanty extenzometru ( $k = 7.561 \cdot 10^{-5}$ ), kterou jsme před měřením stanovili. Hodnoty jsme zapisovali do tabulky. Analýzou dat (např. pomocí Statgraphu), jsme stanovili velikost  $E$  jako směrnicí přímky proložené metodou nejmenších čtverců naměřenými hodnotami (metoda lineární regrese).

Regresní rovnice

$$F/(S \cdot k) = \epsilon(\text{dílků}) \cdot E + q$$

**Závěr:** Hodnotu Youngova modulu pružnosti jsme stanovili na 70 GPa, což odpovídá tabulkové hodnotě  $E$  pro dural.

F [N]	$\epsilon$ (dílků)
0	0
1000	5
1950	10
3250	15
4250	20
5200	25



## Úloha č.2: Měření Youngova modulu pružnosti z kmitání nosníku

**Aparatura:** akcelerometr, budič vibrací

**Vzorek:** plexisklo

K určení Youngova modulu pružnosti budeme využívat toho, že každý materiál má sklon vibrovat s určitými frekvencemi.

Nosník, jehož modul pružnosti chceme určit, na jednom konci pevně uchytkáme a na druhém na něj budeme působit silou tak, abychom jej rozkmitali. Ke stanovení uzlů jsme použili přístroj zvaný akcelerometr.

Protože nosník není na jedné straně upevněn, vznikne na této straně kmitna. Pak zvyšujeme frekvenci tak, aby nosník vytvořil čtvrt vlnu, čímž jsme získali první vlastní frekvenci, a poté tři-čtvrtě vlnu, při které jsme změřili druhou vlastní frekvenci.

Ze znalosti obou frekvencí  $f_1$ ,  $f_2$  a obou konstant  $A_1$ ,  $A_2$  – které jsou charakteristické pro daný materiál, jsou bezrozměrné a plynou z řešení určitých integračních rovnic – můžeme určit Youngův modul pružnosti ze vztahu:

$$E = 3\rho (f_n 4 \pi l^2)/(A_n h)^2, \text{ kde za } f_n \text{ a } A_n \text{ postupně dosadíme } f_1, f_2 \text{ a příslušné } A_1, A_2.$$

Pro náš pokus:

h....tloušťka nosníku .....0.01m  
l....délka nosníku.....0.294m  
 $\rho$ ....hustota látky.....1183 kg\*m<sup>-3</sup> .....plexisklo  
 $f_1 = 36$  Hz  
 $f_2 = 225$  Hz  
 $A_1 = 3.52$   
 $A_2 = 22.4$

**Závěr:** Hodnoty E pro různé frekvence jsme určili na  $E_1=4.38$  GPa,  $E_2=4.23$  GPa, (měly by se rovnat). Tato hodnota neodpovídá přesně tabulkám, protože při tomto způsobu měření se uplatňují některé vlastnosti materiálu, které způsobují, že naměřené vlastní frekvence se za teoretickými hodnotami „opozdávají“.

## Úloha č.3: Měření Youngova modulu pružnosti trojohybem

**Aparatura:** speciálně upravený mikroskop, závaží

**Vzorek:** slinutý korund

Měření Youngova modulu pružnosti v tahu a tlaku(E) pomocí tříbodového ohybu je jedna z dalších metod. Měřený vzorek musí mít rozměry desky nebo nosníku s příslušnými poměry stran. Během vlastního měření je umístěn na dvou podpěrách s minimální dotykovou plochou, které zároveň určují jeho aktivní délku.

Třetí bod způsobující vlastní ohyb je čepel(s minimální plochou dotyku) působící na vzorek silou, která byla v našem případě realizována pomocí závaží různých hmotností. Důležitou podmínkou je, aby síla působila uprostřed aktivní délky vzorku. Ze známých rozměrů vzorku, z velikosti působící síly a z výsledného průhybu lze modul vypočítat.

Vlastní měření probíhalo na optickém mikroskopu speciálně uzpůsobenému k tomuto účelu. Na pracovním stolku mikroskopu je nainstalován mechanismus, který umožňuje měnit velikost síly působící na vzorek. Měření průhybu v závislosti na velikosti síly se určuje odečítáním hodnot(udávaných v  $\mu\text{m}$ ) ze zaostřovacího kotouče.

Nejprve se vzorek zaostří, což se uskutečňuje vertikálním posuvem pracovního stolku. Zaostřování a následné odečítání hodnoty průhybu následuje po každé změně velikosti působící síly.

**Závěr:** Náš tým provedl čtyři nezávislá měření vzorku slinutého korundu, výsledkem každého z nich bylo osm hodnot průhybů. Výsledná námi naměřená průměrná hodnota Youngova modulu byla 420 GPa a od dříve určené se lišila o cca 4,5%. Hlavní příčiny této chyby mohou být způsobeny stářím vzorku a nepřesným zaostřováním mezi jednotlivými měřeními.