

Fyzikální experimenty podporované počítačem

František Lustig, Milan Rojko, ČR

Abstrakt

Příspěvek popisuje jednoduché školní fyzikální deformační experimenty ve spojení s počítačem při použití školního experimentálního systému ISES a programu FAMULUS.

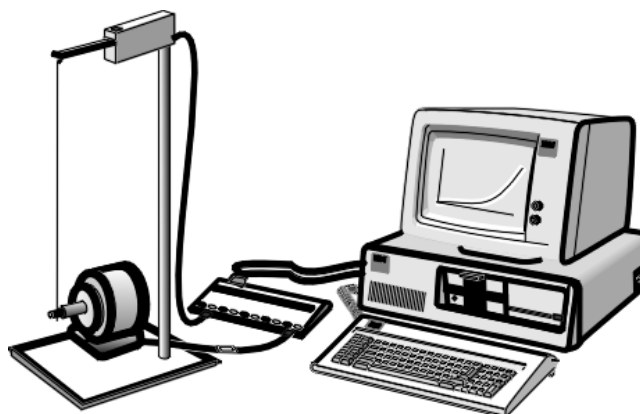
1. Úvod

O rovnocenné roli poznatkové, metodologické a operační složky výuky fyziky dnes asi nikdo z didaktiků fyziky pochybuje. Přesto ale výuka fyziky metody práce skutečné fyziky prezentuje spíš vyjímečně. Častěji jsou studentům předkládány hotové, navíc zobecněné výsledky, bez onoho téměř detektivního pátrání, které dělá fyziku tak přitažlivou. Na čtyřech příkladech s deformačními experimenty později ukážeme, jak lze použitím systému ISES přiblížit výuku fyziky skutečné fyzice. Jmenovaný systém je v České republice nejrozšířenější. V současné době je na českých školách více než 300 instalací. Systém tvoří nejen hardware (ADDA převodník a více než 20 čidel), ale i software a teachware [2], [3], [4] zahrnující podrobný popis více než 150 experimentů z fyziky, chemie a biologie. Systém umožňuje měření fyzikálních závislostí a jejich zobrazení v grafickém a digitálním módu a umožňuje zpracování naměřených dat (aproximace, derivace, integrace aj.). Tato data lze dále zpracovávat např. v tabulkových procesorech (Excel, Quattro) nebo v modelovacím systému Famulus.

Křivka zpevnění pryže

Typický průběh deformační křivky při plastické i elastické deformaci různých materiálů se uvádí téměř ve všech středoškolských i vysokoškolských učebnicích fyziky. S využitím systému ISES můžeme tyto závislosti na vhodně zvolených materiálech skutečně proměřit a vyhodnotit pomocí výpočetní techniky, například s využitím programu FAMULUS.

Na obrázku 1 je schematicky zakresleno zařízení, kterým jsme měřili a registrovali chování různých vláken při napínání konstantní deformační rychlostí. Použitým siloměrem byl příslušný modul školního experimentálního systému ISES [1]. Měření síly tímto modulem je založeno na optickém snímání deformace ocelového nosníku, na kterém je jeden konec vzorku připevněn. Rovnoměrné prodloužování vlákna se děje navíjením vláken na prodlouženou hřídel



Obr. 1

krokového elektromotorku. Vložíme-li vzorek do skleněné trubice s topnou spirálou můžeme případně studovat i vliv teploty na průběh deformace.

Použitý pryžový vzorek měl počáteční délku $L_0 = 0.18$ m, průměr $\varnothing = 1$ mm a byl natahován při teplotě 25 °C rychlostí (absolutní rychlost deformace) 0.0157 m.s⁻¹ danou periodou otáček motorku ($T_0 = 10$ s) a průměrem navíjecí osičky ($d_0 = 50$ mm). K časovým souřadnicím nebylo pak obtížné přiřadit odpovídající relativní prodloužení ϵ vzorku. S tahovým napětím σ však není záležitost tak jednoduchá, neboť při natahování pryžového vlákna se jeho tloušťka, a s ní i plošný obsah průřezu, stále víc a víc zmenšuje.

Při přepočtu jsme vyšli z předpokladu, že se v průběhu celé deformace nemění objem vzorku, což je v případě pryže velmi dobře splněno (Poissonovo číslo je přibližně rovno 1/2). Každé uspořádané dvojici (i, F) můžeme tedy přiřadit dvojici (ϵ , σ) užitím vztahů

$$\epsilon = i \cdot \frac{\pi d_0}{f_v T_0 L_0} \quad (1) \quad \sigma = \frac{FL}{S_0 L_0} \quad (2)$$

i pořadové číslo měřené hodnoty síly

$\epsilon := \Delta L/L_0$ relativní prodloužení

f_v vzorkovací frekvence

T_0 perioda otáček motorku

d_0 průměr tažné osičky

F tahová síla

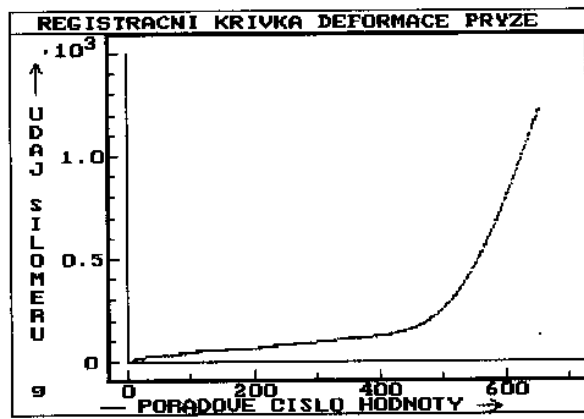
L_0 ...počáteční délka vzorku vzorku

σ tahové napětí na

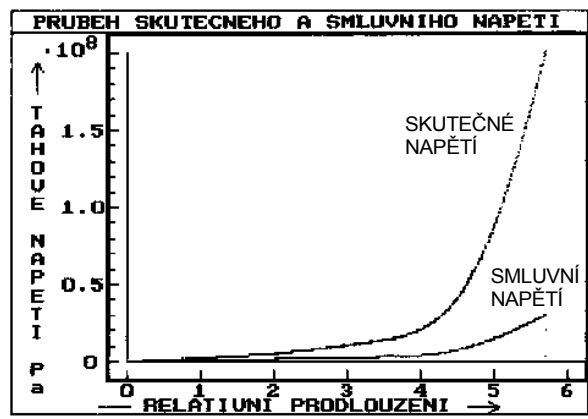
S_0 ...počáteční obsah průřezu vzorku

L....okamžitá délka vzorku

V technické praxi, u materiálů které jsou mnohem méně elastické než pryž, se často tahové napětí přepočítává v celém průběhu na původní průřez S_0 tak, jako by se průměr vzorku při deformaci neměnil. Průběhy registrační křivky a skutečného resp. smluvního tahového napětí pro zkoumané pryžové vlákno jsou na obrázcích 2 a 3.



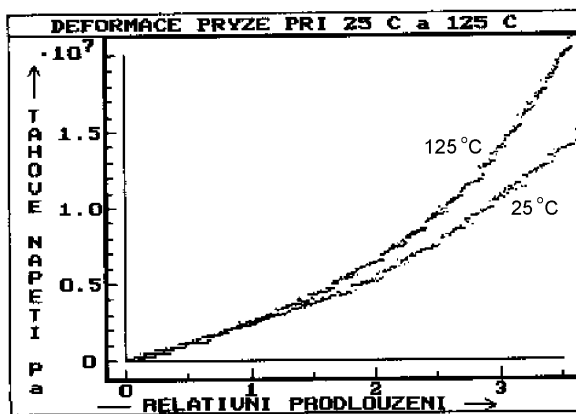
Obr.2



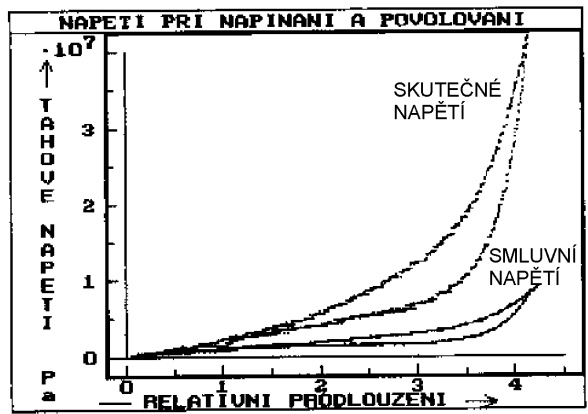
Obr.3

Závislost $\sigma(\epsilon)$, kterou jsme pro pryžové vlákno zjistili, má až k bodu ($\epsilon_U=1,8$; $\sigma_U=4,5 \cdot 10^6$ Pa) (mez úměrnosti) lineární průběh $\sigma = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot \epsilon$. Platnost Hookova zákona končí, dosáhne-li vlákno přibližně 280 % původní délky.

Zjišťovali jsme také, jak se na průběhu deformační křivky projeví vyšší teplota. Výsledky měření s pryžovými vlákny při teplotě 25 °C a teplotě 125 °C jsou na obrázku 4.



Obr.4



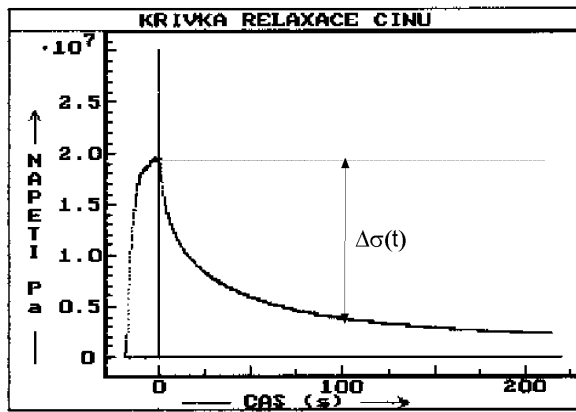
Obr.5

Je vidět, že uvedené zvýšení teploty vede ke zvýšení hodnoty Youngova modulu.

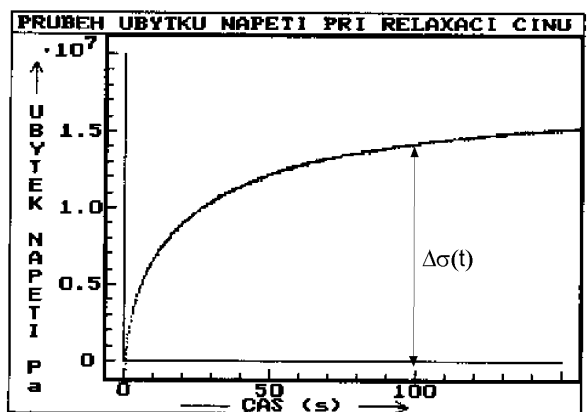
Na obrázku 5 je křivka, popisující průběh napětí při natahování vzorku až k relativnímu prodloužení $\varepsilon = 4,1$ a následnému uvolňování stejnou rychlostí. Křivka kontrakce je od křivky dilatace odlišná, materiál vykazuje hysterezi.

Napětíová relaxace cínové pájky

Zajímavé je pozorování chování vzorků při přerušení deformace. Na obrázku 6 je zachycen průběh pokusu, kdy byl zpočátku cínový drátek plasticky deformován a po dosažení určitého napětí byla deformace zastavena. Dále jsme sledovali jen průběh poklesu napětí s časem. Ukážeme jak v tomto případě můžeme hledat analytické vyjádření funkce $\Delta\sigma(t)$ (obr.7), popisující závislost úbytku napětí $\Delta\sigma$ na čase a připomínající tvarem logaritmickou křivku.

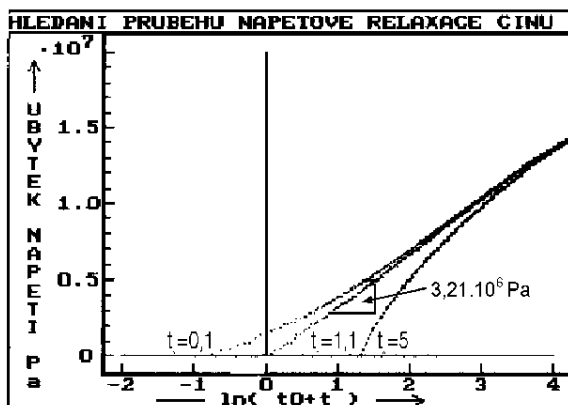


Obr.6

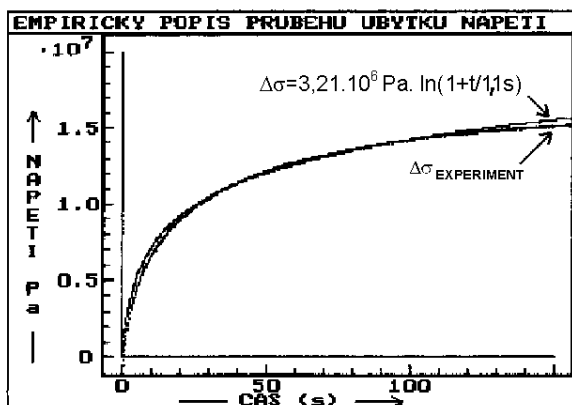


Obr.7

Funkci $\Delta\sigma(t)$ zobrazíme v semilogaritmických souřadnicích, tj. nahradíme funkcí $\Delta\sigma(\ln t)$. Průběh je pro větší čas přibližně lineární. Pro dosažení linearity i v počáteční části je zřejmě potřeba zvětšit čas o konstantu t_0 vhodné hodnoty tak, aby i počáteční část grafu sledovala lineární průběh části koncové. Toto hledání ilustruje obrázek 8. Obrázek 9 konfrontuje průběh $\Delta\sigma_{\text{EXPERIMENT}}$ na čase a nalezenou funkci $\Delta\sigma(t) = s \cdot \ln(1 + t/t_0)$, kde s a t_0 jsou empirické konstantní veličiny, jejichž hodnoty udává lineární graf na obr. 8.



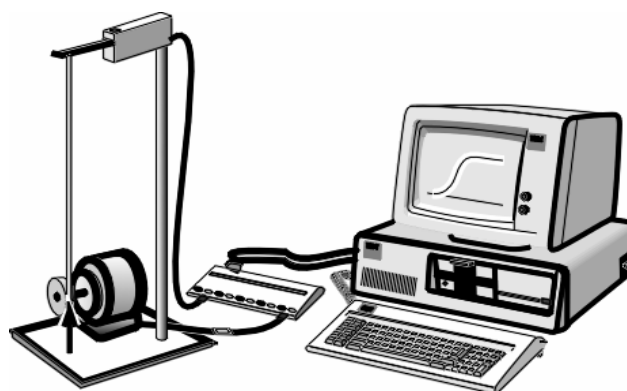
Obr.8



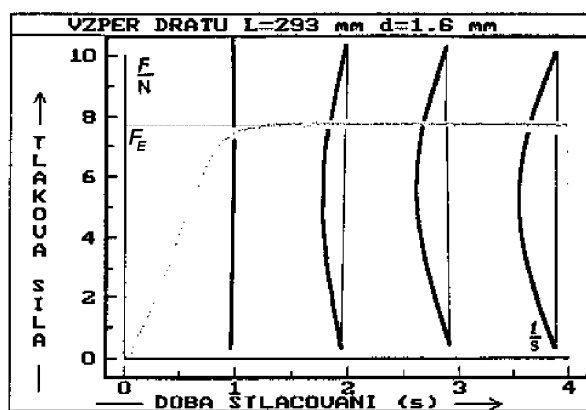
Obr.9

Deformace vzpěrem

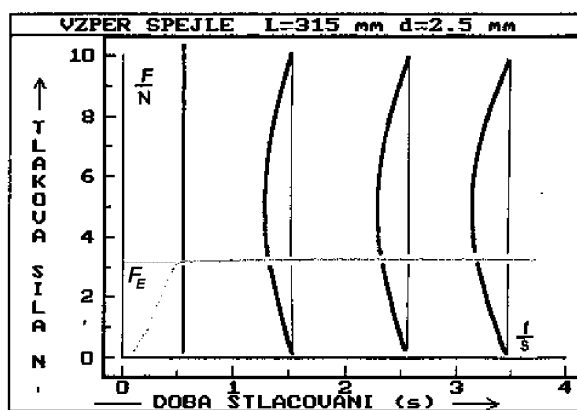
Uspořádání pokusu je na obr.10. Vzorek je sevřen mezi rameno modulu siloměr a opěrný čep na obvodu kotouče motorku. Rychlost vzpírání dosahovala $3,7 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Časové závislosti působící síly pro „nosníky“ představované ocelovým drátem a dřevěnou špejlí jsou na obr. 11 a 12 u nichž je pro názornost zakresleno i to, jak vzorky postupně vybočují. Průběhy ukazují počáteční růst tlakové síly, při němž k vybočování nedochází. Po dosažení kritické hodnoty F_E (Eulerova síla) začnou „nosníky“ vybočovat. Přitom se deformující síla téměř nemění. Lze odvodit [6], že velikost Eulerovy síly je dána materiálem (E), plošnými momenty setrvačnosti nosníků a druhou mocninou jejich délky.



Obr. 10



Obr.11

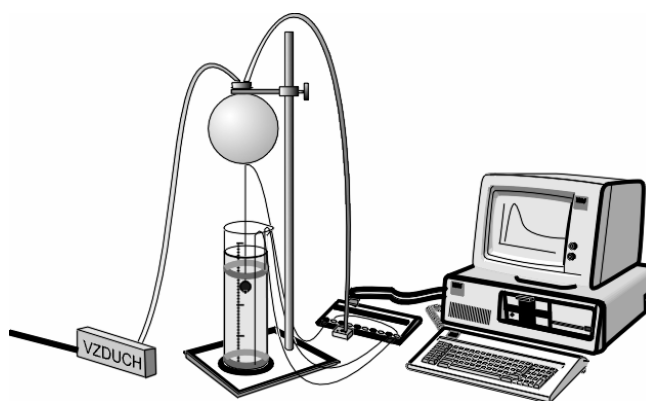


Obr.12

Plošná deformace pouťového balónku

Závislost relativní plošné deformace $\Delta S/S_0$ pryžové blány na jejím napětí σ lze vyšetřovat při nafukování pouťového balónku (obr.13).

I v tomto případě jsme použili systém ISES, jehož tlakovým modulem jsme snímali průběh přetlaku v balónku, v závislosti na přírůstku Δr jeho počátečního poloměru r_0 . Vzduch do balónku jsme vháněli vibračním akváriovým čerpadlem. K průběžnému zaznamenávání velikosti balónku jsme použili vodní potenciometr, kterým byly lineární změny velikosti určovány z přírůstků elektrického napětí.

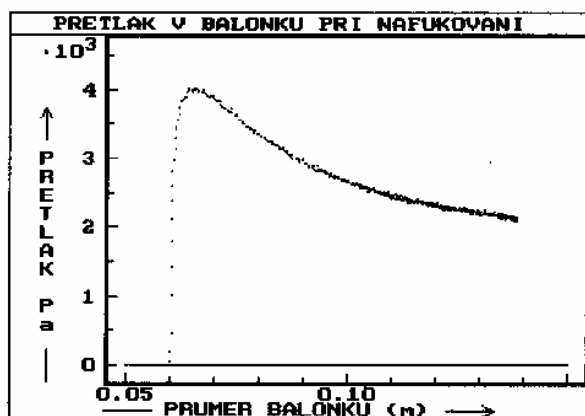


Obr. 13

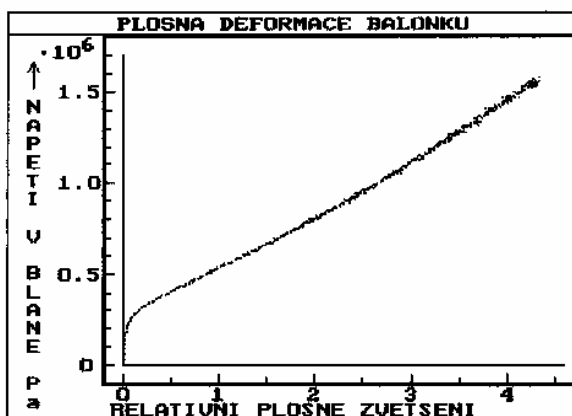
Pro kulový balónek lze snadno odvodit vztahy pro relativní plošné zvětšení ε_s a napětí σ .

$$\varepsilon_s = \frac{\Delta S}{S_0} = \left(\frac{r_0 + \Delta r}{r_0} \right)^2 - 1 \quad (3) \quad \text{resp.} \quad \sigma = \frac{(r_0 + \Delta r)^3}{2r_0^2 \cdot b_0} \Delta p \quad (4)$$

Změřená závislost přetlaku v balónku je na obr. 14. Příslušnou závislost relativního přírůstku povrchu na napětí v bláně ukazuje obrázek 15. Překvapivé přitom je, že z tohoto kuriózního průběhu přetlaku jsme získali deformační křivku standardního průběhu.



Obr.14



Obr.15

Závěr:

Uvedené příklady ukazují, jak lze s pomocí ISESu výuku fyziky přiblížit skutečné fyzice s důrazem na její metody.

Resume:

This paper describes simple quantitative physical schoolexperiments on deformation with a help of PC, Intelligent School Experimental System - ISES and program FAMULUS.

Literatura:

- [1] Lustig, F., Lustigová, Z., Vlášek, P.: ISES příručka k soupravě Školní experimentální systém, Praha, 1992
- [5] Dvořák, L., et all.: FAMULUS 3.5 (příručka uživatele) Praha, Comp.Equipment, Famulus Etc. 1992
- [6] Horák, Z., Krupka F., Šindelář V.: Technická fyzika SNTL Praha, 1960. s.310
- [7] Svoboda, E.: Vyučovací metody ve fyzice. Sborník semináře s mezinárodní účastí Praha, MFF UK, 1987, s.8

Kontaktní adresa:

Doc. RNDr. Milan Rojko, CSc. MFF UK Praha Ke Karlovu 3 121 16 Praha 2

e-mail: MFKDF@plk.mff.cuni.cz