

Teorie a Praxe deformace Becherovy láhve

Projektant: Karel Havlíček Konzultant: Zdeněk Polák

Becherova láhev je skleněný objekt atypického tvaru. Je to láhev ze zeleného skla s podstavou elipsovitého tvaru, za kupních podmínek naplněná bylinným likérem oblíbené značky. Díky její zploštělosti ji lze poměrně snadno zdeformovat.

Nejjednodušším způsobem deformace je stisknutí zhruba ve středu plošší strany. Stěny láhve se ale i při užití značné síly mnoho nepohnou (Nepromáčknou).

A) První způsob měření

Jednou z možností jak průhyb udělat měřitelným je tento: Becherovu láhev (**dále BL**) naplníme po okraj kapalinou. Nejlépe vodou, kterou můžeme pro lepší viditelnost obarvit. Dále vezmeme korkový špunt, vyvrtáme do něj díru a tou pak prostrčíme kapiláru, v našem případě skleněnou trubičku o délce cca. 20cm. Kapiláru zasuneme tak, aby na jedné straně z korku vylézala asi dva centimetry. Touto stranou korek zasuneme do láhve. Voda poteče okamžitě trubičkou a možná i vyteče až vystříkne. Je velmi důležité, aby ani v láhvi ani kapiláře nebyly bublinky. K trubičce potom přiděláme metr či jiné měřidlo délky.

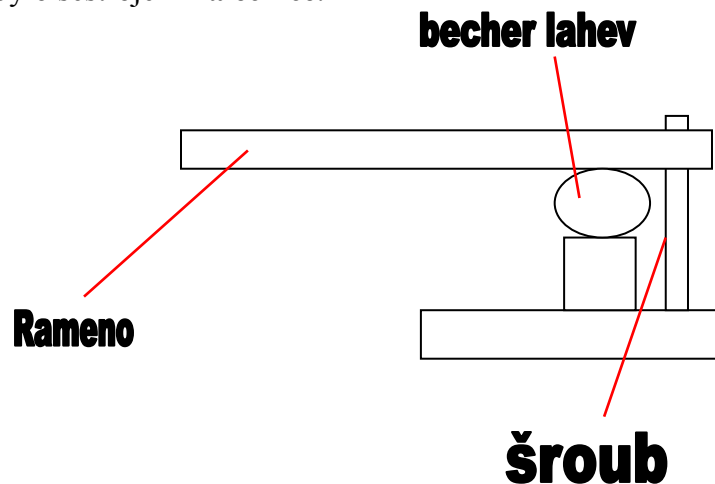
Aby naše měření měla smysl, musíme znát vnitřní poloměr kapiláry.

Na jeho změření můžeme použít dvě metody. Buďto do trubičky vložíme co nejlouhěji trn (Předmět jehlovitého tvaru) a změříme jeho poloměr v místě kde z ní vychází anebo kapiláru naplníme vodou, změříme její délku, zjistíme změnu váhy (plná kapilára-prázdná kapilára) a poloměr dopočteme.

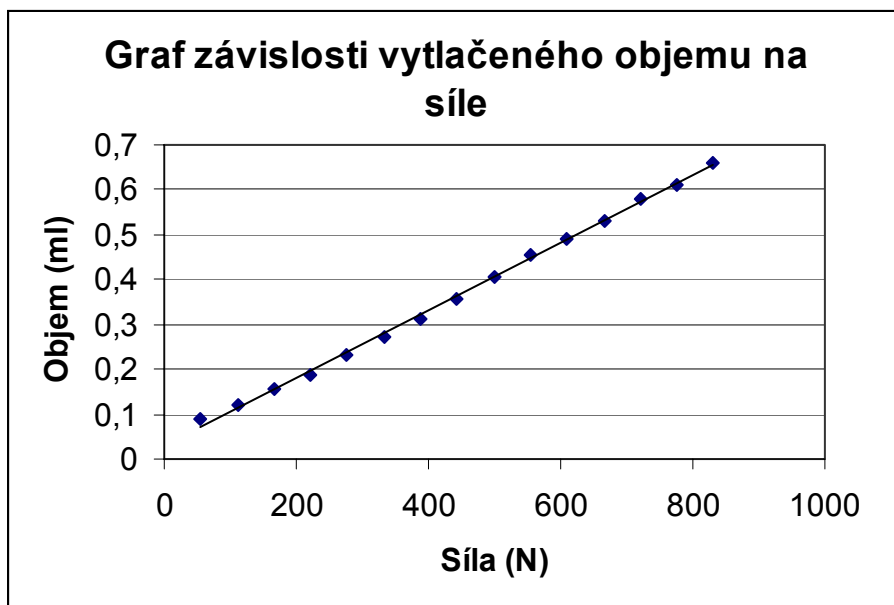
$$\rho = m/V \quad V = \pi r^2 \cdot h(\text{délka kapiláry})$$

Já jsem pracoval s kapilárou o poloměru 1,13 mm.

Dalším krokem bylo sestrojení **Palečnice**.



Ta nám umožňuje působit na láhev mnohonásobně větší silou. V laboratoři jsme pracovali s ramenem, které nám sílu násobilo 11,09krát. Teď už nic nebrání tomu, aby došlo k samotnému měření. Zapůsobíme na konci ramene silou a to se projeví změnou hladiny v kapiláře. Z toho můžeme vypočítat vmáčknutý objem. Zde je graf mnou na měřených hodnot.



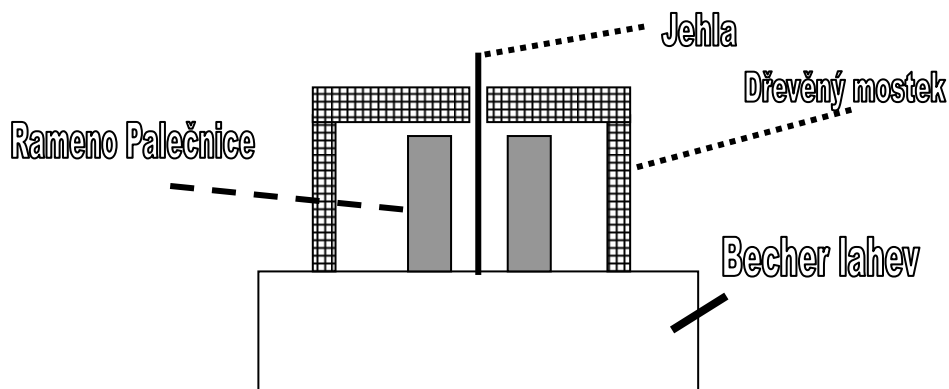
Námi odhadovaná prohýbaná část lahve zabírá plochu $\frac{3}{4}$ etikety (cca 56 cm). Průhyb má průřez úseku elipsy, ale v takto malých rozměrech můžeme zakřivení pominout a pro zjednodušení počítáme s obdélníkovým průřezem. Průhyb je tedy téměř kvádr u nějž víme obsah podstavy a objem (podle stlačení viz graf).

$$H(\text{průhyb láhve}) = \frac{V(\text{vytlačený})}{S(\text{objem podstavy})}$$

Díky tomuto výpočtu jsme odhadli, že láhev se při působení 830 N prohne o **0,11 mm**.

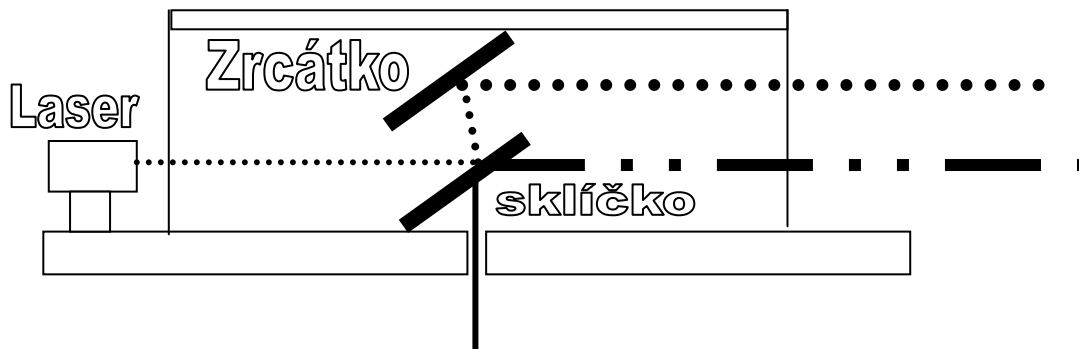
B) Druhým, a to složitějším způsobem měření průhybu je přímým měřením. To je změření šířky láhve před a při stlačení. Už jsme odhadli, že průhyb bude hluboký asi desetinu milimetru. To je hodnota metrem nezměřitelná. Průhyb tedy musíme nějak znásobit. Do ramena palečnice uděláme parciální negaci totální integrity (prostě díru) o velikosti 1 cm.

Dále sestrojíme na láhev dřevěnou nástavbu (Mostek). Musí být na láhev pevně připojen a to na její plochou část nástavbu opatříme dírou do níž musí být natěsno vložena kovová trubička, s takovým vnitřním průměrem, aby se do ní jen tak tak vešla jehla.



Jehla musí být v mechanismu volně a musí dosáhnout skrz mostek až na láhev.

Na mostek upevníme sklíčko na pantu a opřeme ho o jehlu (Sklo by mělo mířit k ose palečnice.). Za sklo pak připevníme laserové ukazovátko. Na dřevěný mostek přijde kovový držák, jenž bude nést normální zrcátko nastavené tak, aby mělo zhruba stejný sklon jako sklíčko.

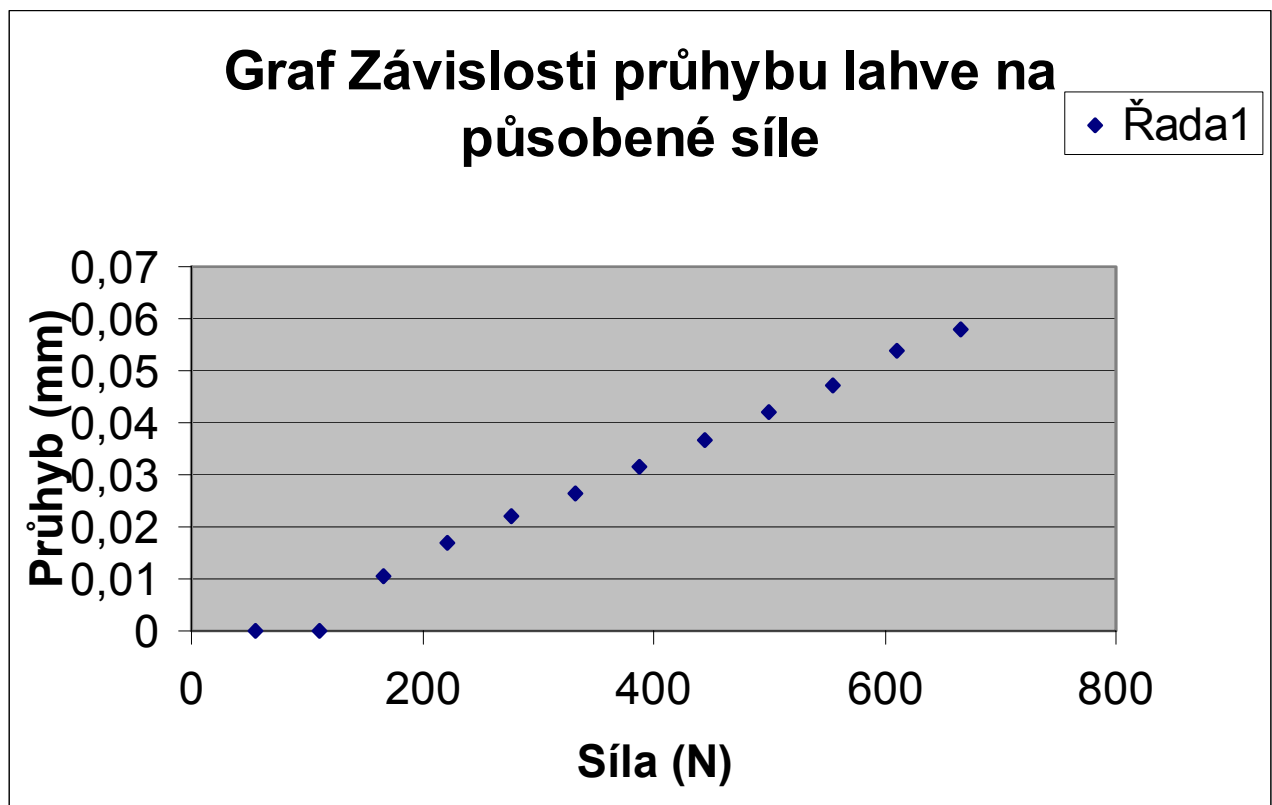


Tato aparatura nám bude dávat dva body (protože sklíčko polovinu světla propouští). Pokud stlačíme rameno palečnice, láhev se zdeformuje, jehla lehce klesne, tím se změní sklon sklíčka a díky tomu se ony dva světelné body budou od sebe vzdalovat.

Ze změny vzdáleností těchto bodů můžeme spočítat průhyb **BL**.

Změnu polohy pohyblivého bodu na stěně označíme Δy . Pro jeho velikost platí $\Delta y = d \cdot 2 \Delta \alpha$, kde d je dráha odchylovajícího se paprsku od zrcátka ke stěně, $\Delta \alpha$ je změna sklonu sklíčka opírajícího se o jehlu. Sklíčko samotné i druhé odrazné zrcátko svírají s vodorovným směrem úhel α . Ze sklonu odrazného sklíčka jsme určili $\sin \alpha = c/b = 0,321$, z toho $\alpha = 0,327$ rad.

Změnu výšky konce jehly můžeme vyjádřit vztahem $\Delta l = a (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} (\alpha - \Delta \alpha))$ kde $a = 13,5$ mm je vzdálenost jehly (v místě kde mizí v mostku) a osy otáčení sklíčka.



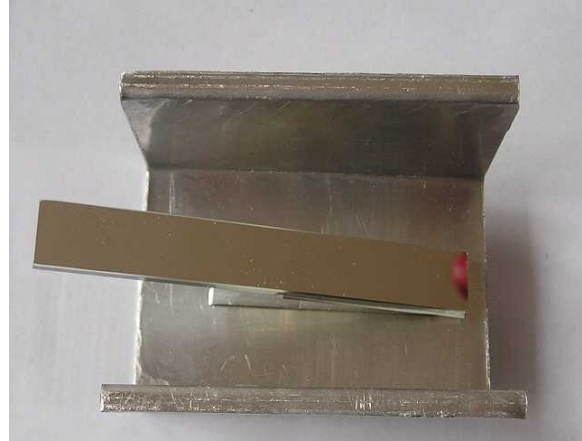
Graf zachycuje výsledky našich měření.

Závěr: Deformace BL je lineární a pohybuje se v řádu setin milimetrů.

Navíc jak prokázaly naše dodatečné zatěžkávající zkoušky je třeba k rozdrčení BL Větší síly než 3000 N.



Detail kapiláry k měření změny objemu láhve.



Kovový držák pro odrazné zrcátko



Detail uložení laseru, a optické soustavy zrcátek