

Úloha V.E ... V zimě v rýmě

7 bodů; (chybí statistiky)

Nakonec se Výfučkovi přece jen povedlo nastartovat a mohl vzlétnout do Egypta. Během letu však poměrně foukalo, a tak se Výfuček nastydl a dostal rýmu. S hrůzou však zjistil, že mu všechny jeho papírové kapesníčky během letu navlhly a velmi snadno se tak protrhávají. Změřte, jak závažný tento efekt je.

Jinými slovy, změřte, jak velká síla je potřebná k protržení kapesníčku v závislosti na tom, na jak velké ploše působí. Naměřené hodnoty vynesete do grafu. Měření proveďte pro suchý i vlhký kapesníček a výsledky porovnejte. Do vašeho řešení nezapomeňte uvést, jakou značku kapesníčků jste při měření použili (aby totiž bylo měření replikovatelné, záleží na tom, kolik má kapesník vrstev atp.).



Teorie

Kapesníček je namáhán působením síly, která v materiálu vyvolává *napětí*. To však nemůžeme vypočítat běžně jako sílu dělenou plochou, protože kapesníček nenamáháme tahem, tedy kolmo k ploše, ale *ohybem*, tedy působíme silou kolmo na kapesníček. To znamená, že horní vrstvy kapesníčku se při průhybu namáhají tlakem, zatímco ty spodní tahem. Popsat a odvodit vzorce pro takovéto namáhání analyticky je velmi složité a neobejde se bez vyšší matematiky, proto se jimi zde nebudeme zabývat. Místo toho si jen řekneme, že protrhnutí kapesníčku závisí na jeho mezi pevnosti, což je maximální možné napětí, které kromě samotné zátěže bude záviset i např. na vzdálenosti úchytnů, ve kterých kapesníček napínáme. Mez pevnosti je materiálová konstanta, která závisí na parametrech konkrétního kapesníčku, postupu výroby, počtu vrstev a, jak již bylo řečeno, na vlhkosti kapesníčku.

Postup

Měření jsme prováděli na třívrstvých Clever kapesníčcích, které jsme naplnili pomocí gumičky na plastovou krabičku o rozměrech (12×23) cm a poté zatěžovali. Změna plochy byla zajišťována pomocí čtverců z kartonu o straně délky r , na které se pokládaly kelímky či lahve s vodou. Nejprve jsme zvážili prázdnou lahev, a poté do ní pomocí injekční stříkačky přilévali vodu až do té doby, než se kapesníček protrhl. Když jsme měli měřit pro mokré kapesníček, napnutý kapesníček jsme „pocákali“ vodou. Kapesníček byl vždy napínán tíhou vody a lahve. Tuto tíhu vypočítáme podle klasického vzorce

$$F = mg.$$

U suchého kapesníčku jsme měření opakovali pro čtyři různé obsahy a pro každý z nich jsme provedli tři měření. U mokrého kapesníčku jsme pak prováděli měření pro pět obsahů rovněž po třech pokusech. Vyšší počet měřených obsahů nám v případě suchého kapesníčku nedovolily rozměry lahve a krabičky na napínání.



Obr. 1: Experimentální uspořádání včetně stříkačky pomalu přidávající vodu do kelímku vlevo.

Výsledky

Výsledky jsme zanesli do dvou příložených tabulek a pro každou plochu vypočítali aritmetický průměr a nejistotu měření podle vzorce pro výpočet směrodatné odchylky, který můžete najít v našem textu Hokus Pokus¹

$\frac{r}{m}$	$\frac{S}{m^2}$	$\frac{m_1}{kg}$	$\frac{m_2}{kg}$	$\frac{m_3}{kg}$	$\frac{m}{kg}$	$\frac{\sigma_m}{kg}$
0,05	0,003	0,175	0,143	0,123	0,15	0,02
0,06	0,004	0,170	0,197	0,178	0,18	0,01
0,07	0,005	0,204	0,235	0,195	0,21	0,01
0,08	0,006	0,280	0,222	0,220	0,24	0,02
0,09	0,008	0,210	0,160	0,190	0,19	0,01

Tab. 1: Měření maximální nosnosti mokrého kapesníčku

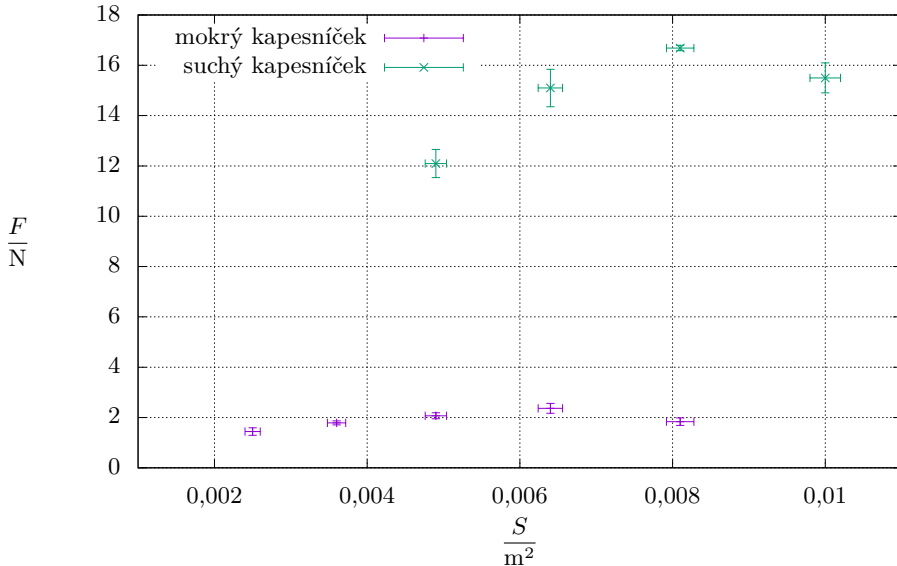
$\frac{r}{m}$	$\frac{S}{m^2}$	$\frac{m_1}{kg}$	$\frac{m_2}{kg}$	$\frac{m_3}{kg}$	$\frac{m}{kg}$	$\frac{\sigma_m}{kg}$
0,07	0,004 9	1,300	1,28	1,12	1,23	0,06
0,08	0,006 4	1,517	1,68	1,42	1,54	0,08
0,09	0,008 1	1,683	1,70	1,72	1,70	0,01
0,10	0,010 0	1,540	1,50	1,70	1,58	0,06

Tab. 2: Měření maximální nosnosti suchého kapesníčku

Dále jsme z vypočtených hmotností dopočítali sílu a zanesli spolu s nejistotami do grafu závislosti síly na ploše. V grafu nezapomeneme uvést i nejistoty, které znázorníme pomocí chybových úseček ve směru osy x i y . Nejistotu měření síly jsme si spočítali výše, nejistotu

¹https://vyfuk.mff.cuni.cz/jak_resit/hokus_pokus

měření plochy určíme pomocí vzorce pro chybu vypočtené veličiny, kde nejistota měření délky strany čtverce je 1 mm. Měřili jsme sice pravítkem s nejmenším dílkem 1 mm, tedy by se někomu mohlo zdát, že chyba je poloviční, ale po nakreslení čtverců na karton jsme je ještě museli vystříhnout, a tím se nám chyba zvětšuje.



Obr. 2: Závislost nosnosti kapesníčku na ploše

Diskuse a závěr

Z grafu je vidět, že kapesníček se nechová úplně podle předpokladu, tedy že se neprotrhne vždy při stejném tlaku, ale poslední hodnota je o něco nižší. To je pravděpodobně způsobené tím, že krabíčka, na které byl kapesníček napnutý, je již jen o málo větší než zatěžovaná plocha. V takové situaci je zmenšení jeho části, která se může prohýbat, výraznější, než jiné zvětšení plochy. Obecně však platí, že pro menší plochu stačí menší síla na protržení kapesníčku. Z grafu je však dobře patrné, že nosnost mokrého kapesníčku je přibližně šestkrát menší, než nosnost kapesníčku suchého.

Kateřina Rosická
kackar@vyfuk.mff.cuni.cz

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.