

Úloha IV.E ... Není litr jako litr

8 bodů; (chybí statistiky)

Viktor procházel přes farmářské trhy a všiml si, že se v jednom stánku prodávaly borůvky nikoliv na kilogramy, ale na litry. Hned ho napadlo, jestlipak se prodejce nesnaží zákazníky ošidit. Mezi jednotlivými kusy ovoce totiž zůstala spousta vzduchu – litrová nádoba tak neobsahovala jen borůvky, ale i prázdný prostor mezi nimi. Rozhodl se, že naměří, kolik vzduchu prodejce prodával.



Změřte, podobně jako Viktor, pro vámi zvolenou pevnou látku (např. čočku) tzv. koeficient zaplnění – tedy poměr skutečného objemu suroviny a objemu, který surovina v nádobě zabírá.

Teorie

Koeficient zaplnění je bezrozměrná veličina, která udává poměr objemu, který v zrnitém materiálu zaujímají jeho částice, ku celkovému objemu, který zaujímá daný materiál (např. ve šterku by se jednalo o poměr součtu objemů všech jeho kamínků ku celkovému objemu šterku včetně mezer mezi kamínky). Obdobně jako pro objem lze takový koeficient určit i pro zaplnění plochy.

Při naplnění nádoby hrubozrnným materiálem se v ní utvoří skulinky mezi zrny daného materiálu. Objem těchto skulinek může být v některých případech třeba i třetina objemu samotného materiálu. Proto poněkud postrádá smysl takový materiál prodávat na objem, čestný prodejce by ho měl vždy prodávat na hmotnost.

Objem takto vzniklých skulinek V_s se dá nejlépe změřit jejich vyplněním nějakou vhodnou kapalinou (například vodou). Změřením rozdílu hmotnosti před vyplněním a po vyplnění skulinek kapalinou lze vypočítat objem kapaliny (při její známé hustotě) a tedy i objem skulinek potřebný pro výpočet hledaného koeficientu zaplnění, dle vzorce

$$V_s = \frac{\Delta m}{\rho_k}, \quad (1)$$

kde Δm je hmotnost přilité kapaliny (rozdíl hmotnosti před a po jejím přilítí) a ρ_k je její hustota.

Jelikož se jedná o poměr, měl by být koeficient zaplnění f při různých objemech stejného materiálu stejný. Tedy platí

$$f = \frac{V_{\check{c}}}{V_c}, \quad (2)$$

kde

$$V_{\check{c}} = V_c - V_s, \quad (3)$$

a $V_{\check{c}}$ je objem částic a V_c je celkový objem.

Dosazením vztahů (1) a (3) do vztahu (2) dostaneme následující vztah pro vyjádření koeficientu zaplnění.

$$f = 1 - \frac{V_s}{V_c} = 1 - \frac{\Delta m}{V_c \rho_k}$$

Postup měření

My jsme náš experiment měřili pro dva různé materiály, a to hrách a běžnou červenou čočku.

Měření jsme prováděli pro tři různé objemy, z nichž pro každý jsme měření opakovali třikrát (pro každý ze dvou materiálů), celkem jsme tedy provedli osmnáct měření.

Ve všech případech jsme používali k měření objemu litrové kádinky, které jsme naplnili do 400 ml, 300 ml, nebo 200 ml námi zvoleným materiálem (tedy čočkou nebo hrachem). Takto naplněnou kádinku jsme postavili na váhu, kterou jsme vynulovali a následně jsme dolili vodu do skulinek a zjistili hmotnost přilité vody. Během přilévání bylo potřeba kádinku promíchávat, aby se voda dostala do všech skulinek (obzvlášť u čočky, kde byly mezery mezi zrny menší).

S novým měřením jsme vždy pracovali s novým materiálem. Je totiž potřeba si uvědomit, že čočka a hrách jsou suroviny, které do sebe nasakují vodu (naše měření by bylo tak zbytečně zatíženo systematickou chybou¹ a museli bychom vymyslet nějaký způsob sušení).

Naměřené hodnoty

Jak je již výše zmíněno, pro stejný objem byla pro jeden materiál provedena celkem tři měření hmotnosti, v následujících tabulkách 1 a 2 jsou uvedeny pouze jejich průměrné hodnoty zaokrouhlené na celé gramy (společně s vypočtenými koeficienty zaplnění).

$\frac{V_c}{\text{ml}}$	$\frac{\Delta m}{\text{g}}$	$\frac{V_{\epsilon}}{\text{ml}}$	f_{ϵ}
200	68	132	0,66
300	100	200	0,67
400	126	274	0,69

Tabulka 1: Naměřené hodnoty a z nich vypočtené koeficienty zaplnění pro různé objemy pro čočku

$\frac{V_c}{\text{ml}}$	$\frac{\Delta m}{\text{g}}$	$\frac{V_{\epsilon}}{\text{ml}}$	f_h
200	110	90	0,45
300	152	148	0,49
400	203	197	0,49

Tabulka 2: Naměřené hodnoty a z nich vypočtené koeficienty zaplnění pro různé objemy pro hrách

Diskuze

Náš experiment byl samozřejmě zatížen nějakými chybami. Právě v této části je prostor pro jejich prodiskutování a navržení lepších postupů či metod.

¹Konstantní chyba, která je většinou způsobena nevhodným provedením experimentu.

Je potřeba uvést, že při měření jsme používali kuchyňské váhy s přesností na celé gramy, právě tento údaj úzce souvisí s nepřesnostmi měření. Příště by bylo určitě lepší používat přesnější váhy (například s přesností na setiny gramů).

Dále samotné odměřování objemu probíhalo v kádince, což určitě není nejlepší odměrná nádoba. V tomto směru by se dalo využít kupříkladu nějakého odměrného válce s menším poloměrem podstavy, aby zde nebyla patrná nerovnoměrnost rozložení na hladině.

Závěr

Provedli jsme celkem 18 měření pro změření *koeficientu zaplnění* pro dva materiály – pro čočku a hrách. Pro čočku nám koeficient vyšel $f_c = 0,7$ a pro hrách $f_h = 0,5$, tedy čočka vyplní prostor efektivněji než hrách. Experimentálně jsme si ověřili, že prodávat podobné suroviny na objem je nesmysl (ledaže by se objem měřil pomocí objemu vody vytlačené měřenou surovinou a ne pomocí objemu okolní nádoby).

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. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

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