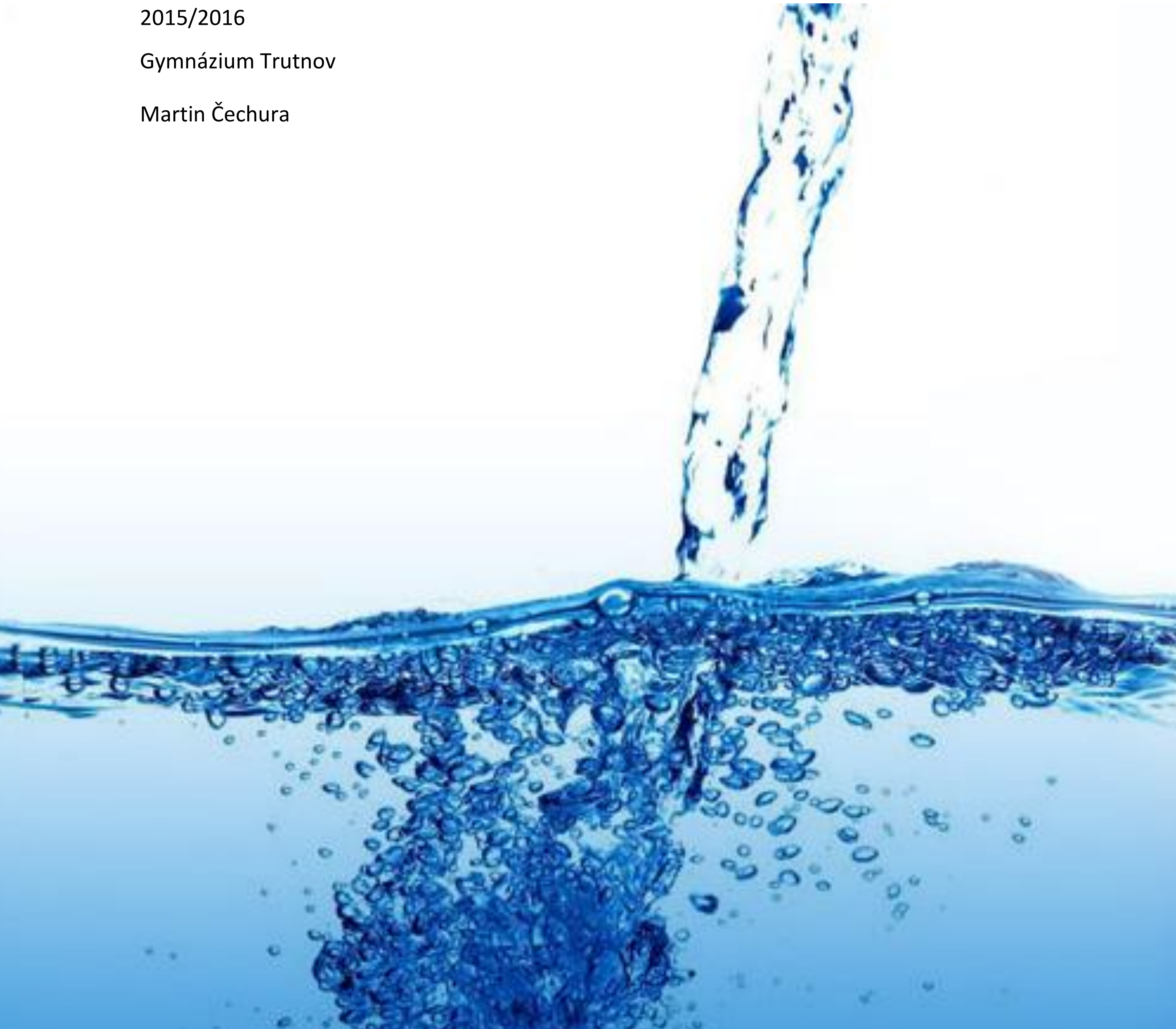
POHYB HLADINY PŘI VÝTOKU KAPALINY OTVOREM VE STĚNĚ NÁDOBY

PROJEKT NA VOLITELNOU FYZKU

2015/2016

Gymnázium Trutnov

Martin Čechura



POHYB HLADINY PŘI VÝTOKU KAPALINY OTVOREM VE STĚNĚ NÁDOBY

ÚVOD

V letošním roce jsem si jako předmět zkoumání projektu na volitelnou fyziku zvolil z oboru hydrodynamiky experiment s plastovou láhví – pohyb hladiny při výtoku kapaliny otvorem ve stěně láhve. Hlavním cílem je ověření platnosti Torricelliho zákona, který udává vzorec pro výpočet odtokové rychlosti, za pomoci Mariottovy láhve naplněné kapalinou.

TEORETICKÝ ROZBOR

HYDRODYNAMIKA

Hydrodynamika je obor zabývající se mechanickým pohybem kapalin spadající pod hydromechaniku. Zabývá se prouděním reálných kapalin, což je složitý proces, a tak se určité faktory ignorují a reálná kapalina se nahrazuje ideální kapalinou.

IDEÁLNÍ KAPALINA

Ideální kapalina je na rozdíl od skutečné kapaliny dokonale nestlačitelná a bez viskozity. Má-li kapalina konstantní hustotu – v celém objemu a za všech podmínek – pak je její objemová deformace nulová a kapalina je nestlačitelná.

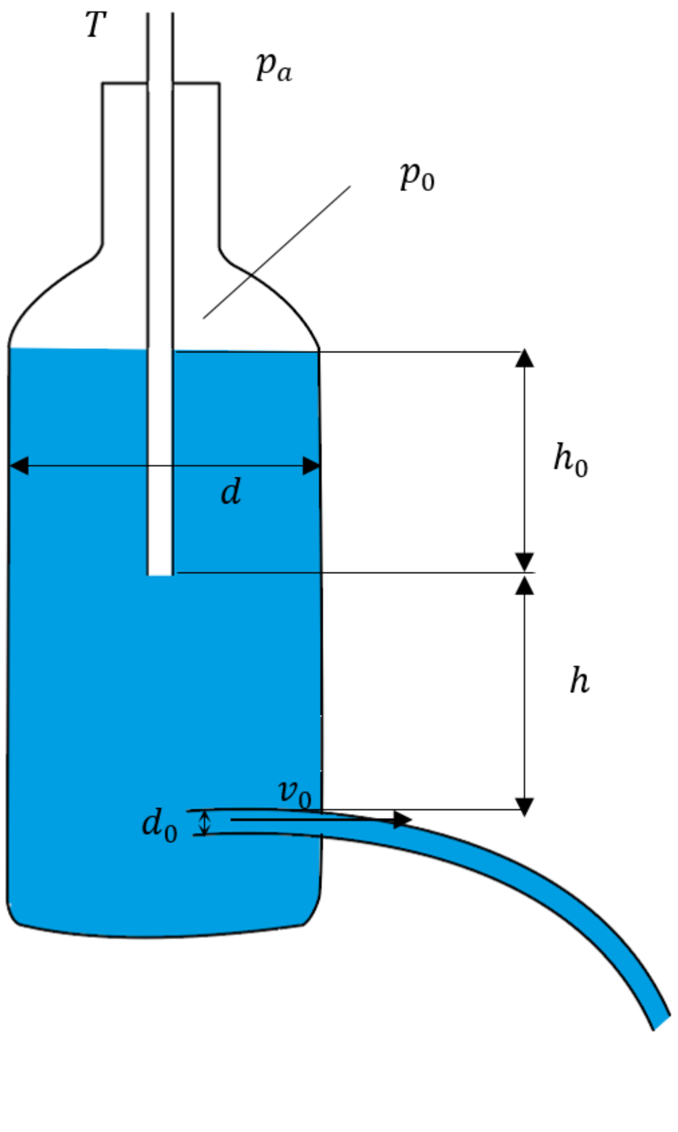
VISKOZITA

Viskozita je fyzikální veličina, která udává poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami proudící kapaliny. Definuje tedy vnitřní tření kapaliny a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi.

TORRICELLIHO ZÁKON

Torricelliho zákon byl definován italským fyzikem a matematikem Evangelistou Torricellim. Zákon je dán vzorcem $v = \sqrt{2gh}$ pro výpočet výtokové rychlosti ideální kapaliny, kde v je rychlost, g je tíhové zrychlení $9{,}81 ms^{-2}$ a h je výška vodního sloupce.

MARIOTTOVA LÁHEV



Mariottova láhev je zařízení, které zajišťuje konstantní průtok vody. Při otevření výtoku se trubička T naplní vzduchem a tlak na jejím spodním konci bude roven atmosférickému tlaku, proto je pro výtokovou rychlost určující výška vodního sloupce nad otvorem.

Při výtoku bude h konstantní, a tedy i v_0 bude konstantní, ale výška h_0 se bude zmenšovat konstantní rychlostí. Na konci trubičky je atmosférický tlak, nad hladinou bude podtlak v závislosti $p_0 = p_a - h_0 \rho g$.

Rychlost v_0 bude konstantní jen do okamžiku, kdy hladina klesne až ke konci trubičky, pak se bude rychlost zmenšovat. Pro dobu t_0, za kterou se výška h_0 zmenší na nulu, můžeme použít rovnici kontinuity $\frac{\pi d^2}{4} \times \frac{h_0}{t_0} = \frac{\pi d_0^2}{4} v_0$, ze které získáme rovnici pro výpočet času $t_0 = \frac{h_0}{v_0} (\frac{d}{d_0})^2 = \frac{h_0}{\sqrt{2gh}} \left(\frac{d}{d_0}\right)^2$, kde d_0 je průměr odtokového otvoru a d je průměr láhve.

ROVNICE VÝTOKOVÉ RYCHLOSTI

Pro výpočet rychlosti použijeme Torricelliho vztah $v_0 = \sqrt{2gh}$ a po změření potřebných údajů použijeme vztah $v_0 = \frac{h_0}{t_0} \left(\frac{d}{d_0}\right)^2$. Jako druhou metodu použijeme rovnici vrhu vodorovného $D = v_0{'} t = v_0{'} \sqrt{\frac{2H}{g}}$, ze které dostaneme rovnici pro rychlost $v_0{'} = D \sqrt{\frac{g}{2H}}$, kde D je vzdálenost dopadu vodního paprsku a H je výška od podložky k výtokovému otvoru.

VÝROBA MARITTOVY LÁHVE

Pro výrobu Mariottovy láhve jsem použil láhev od kofoly a brčko. Do víčka jsem vyvrtal díru, do které jsem zasunul brčko a utěsnil ho elektrikářskou páskou. Do spodní části láhve jsem vyvrtal odtokovou díru. Takto vyrobenou láhev bylo potřeba přeměřit a poté naplit vodou.

VYPRACOVÁNÍ

PRŮMĚR LÁHVE d

Číslo měření	1	2	3	4	5
$\frac{d}{mm}$	86	86,2	86,1	86,4	86,1

Vnější průměr láhve d = 86,2 ± 0,1 mm, 86,2 – 0,5 = 81,7 mm

PRŮMĚR VÝTOKOVÉHO OTVORU d_0

Číslo měření	1	2	3	4	5
$\frac{d_0}{mm}$	6,5	6,45	6,47	6,48	6,5

Průměr výtokového otvoru d_0 = 6,48 ± 0,02 mm

VÝŠKA h

Číslo měření	1	2	3	4	5
$\frac{h}{mm}$	51	52	51,5	51	52

Výška h = 51,5 ± 0,4 mm

VÝŠKA h_0

Číslo měření	1	2	3	4	5
$\frac{h_0}{mm}$	61	61,5	61,5	62	61,5

Výška h_0 = 61,5 ± 0,3 mm

DOBA VÝTOKU t_0

Číslo měření	1	2	3	4	5
$\frac{t_0}{s}$	16,3	16,1	16,2	16	16,3

Doba výtoku t_0 = 16,2 ± 0,1 s

VÝTOKOVÁ RYCHLOST

1) TORRICELLIHO VZOREC $v_0 = \sqrt{2gh}$

Číslo měření	1	2	3	4	5
$\frac{h}{mm}$	51	52	51,5	51	52
$\frac{v_0}{ms^{-1}}$	1	1,01	1	1	1,01

v_0 = 1,004 ± 4,9*10^{-3} ms^{-1}

2) MĚŘENÁ RYCHLOST $v_0 = \frac{h_0}{t_0}\left(\frac{d}{d_0}\right)^2$

$\frac{h_0}{mm}$	$\frac{d_0}{mm}$	$\frac{d}{mm}$
61,5	6,48	81,7

$\frac{t_0}{s}$	16,3	16,1	16,2	16	16,3
$\frac{v_0}{ms^{-1}}$	0,6	0,61	0,6	0,61	0,6

v_0 = 0,604 ± 4,9*10^{-3} ms^{-1}

3) MĚŘENÁ RYCHLOST ZA POMOCI VRHU VODOROVNÉHO $v_0' = D\sqrt{\frac{g}{2H}}$

Číslo měření	1	2	3	4	5
$\frac{D}{mm}$	189	193	190	195	194

D = 192,2 ± 2,3 mm

Číslo měření	1	2	3	4	5
$\frac{H}{mm}$	179	178	179	180	178

H = 178,8 ± 0,8 mm $\quad$ $v_0' = 1{,}01\, ms^{-1}$

MĚŘENÍ

Láhev jsem pětkrát naplnil vodou a 5x za pomoci stopek změřil čas t_0 potřebný k odtečení vody o výšce h_0. Všechny naměřené hodnoty jsem zanesl do tabulek a dosadil do vzorců.

ZÁVĚR

Při použití Torricelliho vzorce vyšla výtoková rychlost v_0 = 1,004 ± 4,9*10^{-3} ms^{-1}, při použití rovnice kontinuity vyšla výtoková rychlost v_0 = 0,604 ± 4,9*10^{-3} ms^{-1} a při použití rovnice vrhu vodorovného vyšla výtoková rychlost $v_0{}' = 1{,}01\ ms^{-1}$. Rovnice vrhu vodorovného se ukázala jako velice přesná, na rozdíl od rovnice kontinuity, která udala rychlost značně menší než je teoretická rychlost z Torricelliho vzorce, což je z části způsobeno tím, že byla použita reálná kapacita s viskozitou a výskytem kontrakce vodního paprsku při výtoku, se kterou rovnice kontinuity nepočítá, a z části tím, že je metoda pravděpodobně nepřesná.