

## **Demonstrace hydrostatického paradoxu pomocí plastových lahví a LabQuest Vernier**

ČENĚK KODEJŠKA

Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Olomouc

### **Úvod**

Při podrobném zkoumání problematiky demonstrace hydrostatického paradoxu bylo zjištěno, že se tímto experimentem, provedeným se soupravou Vernier, dosud nikdo nezabýval. Pokus není popsán ani v originální příručce experimentů se soupravou Vernier [1]. Demonstrace hydrostatického paradoxu přitom patří ke klasickým experimentům hydromechaniky. Žáky většinou zaujme problémová otázka, ve které ze tří nádob bude tlaková síla na dno největší, a zcela logicky volí větší nádobu s největším objemem kapaliny. Tento mylný názor žáků pak snadno vyvrátíme provedením experimentu pomocí Hartlova přístroje (obr. 1).

Tradiční provedení experimentu Hartlovým přístrojem spočívá v měření síly působící na dno nádoby pomocí mechanismu, který převádí tlakovou sílu kapaliny, tlačící na pružnou blánu, na výchylku mechanické ručky. Ne vždy je ale experiment zcela průkazný, zejména když blána již ztratila svoji pružnost, nebo je-li nějakým způsobem poškozena mechanická část přístroje. Určitou nevýhodou je také nutnost postupné výměny několika nádob různých tvarů.

Východiskem může být výroba jednoduchého zařízení z plastových lahví, pomocí kterého můžeme měřičem tlaku Vernier změřit tlakové působení kapaliny na dno nádoby až u čtyř nádob různých tvarů a velikostí současně.

### **Příprava experimentu**

K výrobě přístroje pro ověření hydrostatického paradoxu budeme potřebovat tři až čtyři různé průhledné plastové lahve, tavnou pistoli, plastové injekční stříkačky Braun Omnifix o objemu 20 ml se závitěm (pozor, jiné typy mají mírně větší průměr a nedají se zasunout do hrdla lahve) a měřiče tlaku Vernier s připojením na datalogger LabQuest.

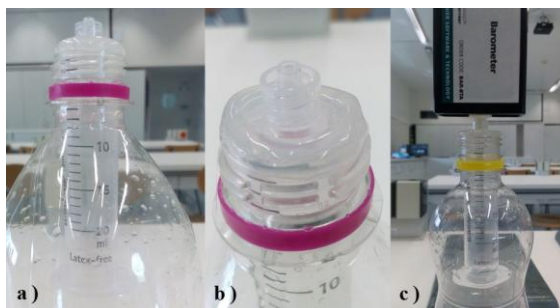
Protože se stejná výška hladiny ve všech prázdných lahvích označuje špatně, je dobré při vytvoření rysky na lahvi postupovat opačně. Nejprve si upravíme plastové lahve tak, že odstraníme dno a část lahve tak, aby zbývající výška láhve byla přibližně 20 cm. Lahve uzavřeme víčkem, postavíme na hrdlo, nale-

jeme kapalinu do námi zvolené výšky stejné ve všech nádobách a permanentním fixem vyznačíme na všech lahvích rysky. Kvůli rychlým výpočtům po provedení měření je vhodné volit výšku vody např. 15 cm, 20 cm.



Obr. 1 Hartlův přístroj k ověření hydrostatického paradoxu

Z injekční stříkačky dále vyndáme píst a zasuneme ji do takto připravené plastové lahve tak, aby konec opatřený závitem přesahoval asi 1 cm hrdlo lahve. Poté tavnou pistolí nanese kolem dokola konce injekční stříkačky lepidlo a stříkačku zasuneme do hrdla tak, aby plochý konec stříkačky byl v rovině s koncem hrdla lahve (obr. 2a). Z důvodu lepší těsnosti lepidlo nanese ještě po obvodu hrdla lahve, jak je patrné z obr. 2b. Obr. 2c ilustruje závěrečné připojení tlakoměru Vernier ke stříkačce, který zlehka dotáhneme, abychom nestrhli plastový závit.



Obr. 2 Příprava plastových lahví:  
a) stříkačka v lahvi, b) detail hrdla, c) připojení tlakoměru

## Experimentální ověření a naměřená data

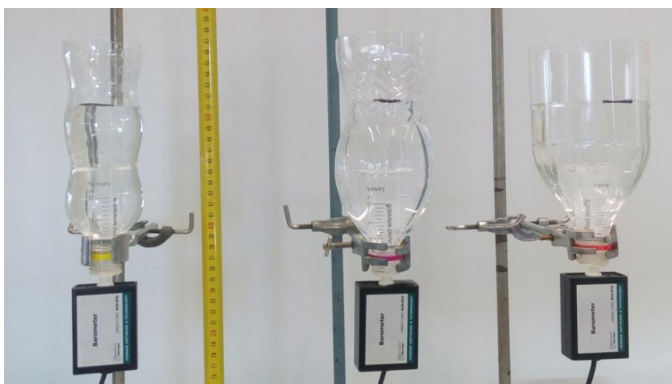
Tím je přístroj připraven k měření a můžeme přistoupit k provedení samotné demonstrace hydrostatického paradoxu.

Nejprve vynulujeme všechna tlaková čidla (obr. 3a). V položce *Senzory* zvolíme *Vynulovat* a dále *Všechny senzory* (červený rámeček na obr. 3). Pokud jsou čidla v pořádku, měli bychom získat výsledek podobný zobrazenému na obr. 3b.



Obr. 3 Vynulování dataloggeru Vernier

Do prázdných lahví naléváme postupně vodu po rysku, kterou jsme si vytvořili na začátku práce. Případnou korekci množství vody uděláme opět za pomoci větší injekční stříkačky. Obr. 4 ilustruje výsledné uspořádání experimentu.



Obr. 4 Ověření hydrostatického paradoxu

Pomocí metru můžeme hrdla všech lahví nastavit do stejné výšky nad katedrou, čímž zvýšíme názornost pokusu vzhledem k obrázku, který mají žáci zpravidla v učebnici. Na tom jsou všechny nádoby ve stejné výšce a ve všech je kapalina nalita do stejné výšky nad dnem nádoby. Kapalinu můžeme pro lepší viditelnost obarvit potravinářským barvivem.

Na závěr můžeme provést výpočet hodnoty hydrostatického tlaku pro námi zvolenou výšku hladiny ve všech lahvích a porovnat ji s naměřenými hodnotami pomocí tlakoměrů Vernier.

V našem případě jsme dospěli k výsledku

$$p_h = h\rho g = 0,15 \cdot 1\,000 \cdot 10 \text{ Pa} = 1,5 \text{ kPa}.$$

Experimetální hodnoty udávají průměrnou hodnotu  $p_h = (1,42 \pm 0,01) \text{ kPa}$ . Výrobce uvádí v technické dokumentaci [2] šum přístroje až  $\pm 50 \text{ Pa}$ . Rozdíl mezi experimentálně naměřenou průměrnou hodnotou a teoreticky vypočítanou je přibližně  $80 \text{ Pa}$ . Zbývajících  $30 \text{ Pa}$ , které odpovídají přibližně  $3 \text{ mm}$  vodního sloupce, lze pravděpodobně přičíst na vrub nepřesnosti při konstrukci rysky na lahvi a nepřesného naplnění lahve.

Naměřené hodnoty zobrazíme žákům na projektoru pomocí dokumentové kamery nebo vyzveme nějakého žáka k zápisu hodnot na tabuli. Ukázka různých naměřených hodnot pro výšku vodního sloupce  $15 \text{ cm}$  je na následujícím obr. 5.



Obr. 5 Ukázka naměřených hodnot

## **Závěr**

Zabývali jsme se experimentálním ověřením hydrostatického paradoxu, při kterém jsme k demonstraci využili plastové lahve různých tvarů a tlakoměry Vernier s dataloggerem LabQuest. Experimentálně naměřené hodnoty potvrdily teoretický předpoklad rovnosti tlakových sil na dna nádob za předpokladu stejných průřezů dna a stejné výšky kapaliny nad dnem ve všech nádobách.

Experimentálně byl také ověřen s negativním závěrem miskonecept studentů, že největší tlaková síla, a tedy i tlak, působí na čidlo v lahvi s největším objemem. V rámci nejistoty měření a šumu přístroje jsou v dobré shodě i experimentálně naměřené hodnoty s teoreticky vypočítanými.

Závěrem lze konstatovat, že demonstrace hydrostatického paradoxu pomocí plastových lahví a tlakoměrů Vernier poskytuje žákům názornější pohled na tento jev, než provedení klasickým způsobem pomocí Hartlova přístroje. Současné využití ICT při této demonstraci posiluje také mezipředmětové vazby a zvyšuje pro žáky atraktivitu motivačního problémového experimentu.

## **Literatura**

- [1] Appel, K. et al. (2007) *Physics with Vernier* (Vernier Software & Technology), [online] <http://www.vernier.com/products/books/pwv/>.
- [2] Barometr BAR-BTA, technická specifikace Vernier, [online] <http://www.vernier.cz/katalog/manualy/cz/bar-bta.pdf>.