



## Fizikalni praktikum I

### Poročilo

# Vaja 13: Bernoullijeva enačba

Simon Bukovšek

Datum vaje: 29. november 2021

Datum oddaje poročila: 6. decemeber 2021

## 1 Teoretični uvod

Dinamiko nestisljivih tekočin opisujejo Navier-Stokesove enačbe. Vendar za pretok po ceveh zadostuje Bernoullijeva enačba:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2.$$

Ventourijeva cev je pripomoček za merjenje pretoka vode skozi cev. Sestavljena je iz cevi z dvema različnima premeroma skozi katero teče merjena tekočina ter živosrebno cevko, povezano na oba dela glavne cevi z različnima premeroma. Ker je volumneski pretok skozi ožji in debelejši del Ventourijeve cevi enak in sta na enaki višini, je razlika tlakova enaka:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} \left( \frac{1}{S_2^2} - \frac{1}{S_1^2} \right) \Phi_V^2 = k \Phi_V^2,$$

kjer sta  $S_1$  in  $S_2$  preseka sprednjega in zadnjega dela Ventourijeve cevi. Živo srebro, ki je s cevko povezan na oba dela se na enem delu dvigne, na drugem pa spusti. Razlika v višini spet sledi iz Bernoullijeve enačbe:

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{g(\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{H}_2\text{O}})}.$$

Tako lahko matematično povežemo spremembo višine živega srebra v Ventourijevi cevi in volumski pretok tekočine skozi cev:

$$\Phi_V = \sqrt{\frac{2g}{S_2^{-2} - S_1^{-2}} \left( \frac{\rho_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} - 1 \right)} \sqrt{\Delta h} = K \sqrt{\Delta h}.$$

## 2 Pripomočki

- Ventourijeva cev
- Merilni valj in štoparica
- Posoda s prilagodljivo višino za zagotavljanje enakomernega pretoka

### 3 Meritve

Pri treh različnih pretokih vode je bil pretok merjen s pomočjo Ventourijeve cevi in neposredno s štopanjem časa, da se napolni merilni valj.

### 4 Izmerjeni podatki

Izmerjeni podatki so podani o višinski razliki na Ventourijevi cevi ( $\Delta h$ ) in času polnjenja enoliterskega valja so podani v naslednji tabeli.

količina	nizek pretok	srednji pretok	visok pretok
$\Delta h$ [mm]	$3,0 \pm 0,5$	$15 \pm 1$	$35 \pm 1$
$t_1$ [s]	$75 \pm 1$	$26,4 \pm 0,5$	$17,0 \pm 0,3$
$t_2$ [s]	$78 \pm 2$	$26,1 \pm 0,5$	$16,7 \pm 0,3$
$t_3$ [s]	$79 \pm 1$	$26,6 \pm 0,5$	$19,9 \pm 0,3$

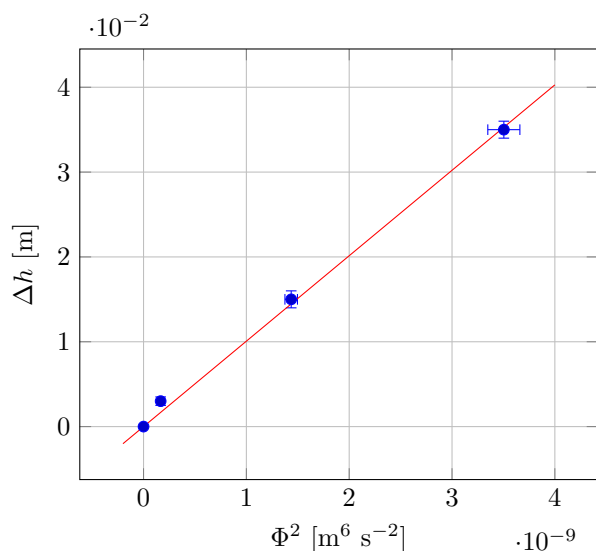
Kar je še pomembno sta polmera v Ventourijevi cevi:  $d_1 = 12,8$  mm in  $d_2 = 6,0$  mm, volumen valja  $V = (1,00 \pm 0,01)$  L ter gostoti živega srebera in vode:  $\rho_{\text{Hg}} = 13\,600$  kg m<sup>-3</sup> in  $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000$  kg m<sup>-3</sup>.

### 5 Analiza podatkov

Iz danih podatkov lahko hitro izračunamo konstanto  $K$  za našo Ventourijevo cev:  $K = 3,26 \cdot 10^{-4}$  m<sup>5/2</sup> s<sup>-1</sup>. Povprečni časi za nizek, srednji in visok pretok so v tem vrstnem redu ( $77 \pm 3$ ) s, ( $26,4 \pm 0,3$ ) s in ( $16,9 \pm 0,2$ ) s. Sedaj lahko predstavimo tabelo z izračunanimi in izmerjenimi volumskimi pretoki.

$\Delta h$	$\Phi$ (merjeno)	$\Phi$ (računano)
$(3,0 \pm 0,5)$ mm	$(1,29 \pm 0,06) \cdot 10^{-5}$ m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	$(1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$ m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
$(15 \pm 1)$ mm	$(3,79 \pm 0,08) \cdot 10^{-5}$ m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	$(4,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$ m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
$(35 \pm 1)$ mm	$(5,92 \pm 0,13) \cdot 10^{-5}$ m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	$(6,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$ m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>

Sedaj lahko s pomočjo izmerjenih pretokov in višinskih razlik živega srebera izračunamo koeficient uporabljene Ventourijeve cevi. To naredimo tako, da narišemo kvadrat pretoka v odvisnosti od razlike v višini živega srebera, pri tem pa naklonski koeficient linearnega prilaganja da inverz kvadrata iskanega koeficienta. Naklon premice je  $(1,007 \pm 0,022) \cdot 10^{-7}$  s<sup>2</sup> m<sup>-5</sup>. To ustreza koeficientu Ventourijeve cevi



$K = (3,15 \pm 0,03) \cdot 10^{-4}$  m<sup>5/2</sup> s<sup>-1</sup>. Izmerjeni  $K$  se od izračunanega razlikuje za 3%.