

## Vaja 13

# BERNOULLIJEVA ENAČBA

Pri stacionarnem gibanju nestisljive tekočine v cevi pojema zaradi viskoznosti in upora vsota tlaka ter povprečne gostote potencialne in kinetične energije v smeri toka. Za približen izračun si predstavljamo, da je hitrost po vsem preseku enaka in zapišemo:

$$p_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2} \rho v_{s1}^2 > p_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2} \rho v_{s2}^2. \quad (13.1)$$

Poprečna hitrost  $v_s$  je enaka  $\Phi/S$ , kjer je  $\Phi$  prostorninski tok, ki se vzdolž cevi ne spreminja,  $S$  pa je presek cevi na določenem mestu. Če mesti 1 in 2 med seboj nista preveč oddaljeni, smemo za približne račune neenačbo nadomestiti z Bernoullijevo enačbo:

$$p_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2} \rho v_{s1}^2 = p_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2} \rho v_{s2}^2, \quad (13.2)$$

ki je posebna oblika izreka o kinetični energiji. Za vodoravno cev ( $z_1 = z_2$ ) velja v takem primeru:

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} (\rho v_{s2}^2 - \rho v_{s1}^2) = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{1}{S_2^2} - \frac{1}{S_1^2} \right) \Phi^2 = k \Phi^2. \quad (13.3)$$

Razlika tlakov je torej sorazmerna s kvadratom prostorninskega toka. Cev s spreminljivim presekom (Venturijeva cev) zato s pridom rabimo za merjenje prostorninskega toka. Pri tem merimo tlačno razliko, medtem ko konstanto  $k$  za dano Venturijevo cev enkrat za vselej izračunamo ali izmerimo. Pri naši vaji merimo tlačno razliko z živosrebrnim manometrom:  $\Delta p = (\rho' - \rho_v) g \Delta h$ , kjer je  $\Delta h$  razlika gladin živega srebra v krakih manometra,  $\rho'$  gostota živega srebra in  $\rho_v$  gostota vode. Zato zapišemo:

$$\Phi = K \sqrt{\Delta h}, \quad (13.4)$$

kjer je  $K^2 = (\rho' - \rho_v) g / k$ .

## 13.1 Naloga

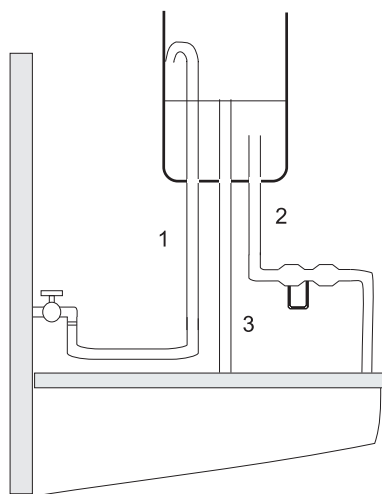
Določi prostorninski tok vode z Venturijevo cevjo in ga primerjaj z direktno izmerjenim.

## 13.2 Potrebščine

1. Premična posoda (rezervoar) z dovodno in dvema odvodnima cevema,
2. Venturijeva cev ( $d_2 = 6,0\text{ mm}$ ,  $d_1 = 12,8\text{ mm}$ ) z dvema manometroma,
3. steklena menzura,
4. stoparica.

## 13.3 Navodilo

Naprava za preizkus Bernoullijeve enačbe je sestavljena iz rezervoarja, pritrjenega na vodilu ob steni, iz Venturijeve cevi in treh gumijevih cevi, s katerimi dovajaš in odvajaš vodo iz rezervoarja.



Slika 13.1: Shema poskusa.

Cev 1 je dovodna cev in je priključena na vodovodno pipo, cevi 2 in 3 pa sta odvodni cevi. Cev 2 je priključena na Venturijevo cev, cev 3 pa vodi direktno v odtočni lijak. Dotok vode naravnaj pri vseh meritvah tako, da sega gladina vode v rezervoarju do ustja cevi 3 in voda tako ves čas odteka tudi direktno v lijak. S tem zmanjša nihanje vodne gladine, ki bi lahko nastopilo zaradi sprememb tlaka v vodovodnem omrežju.

Pritrdi rezervoar v najnižjo lego in počasi odpiraj vodovodno pipo, dokler ne začne teči voda iz rezervoarja tudi skozi cev 3. Počakaj nekaj časa, da voda, ki teče skozi Venturijevo cev, izpodrine ves zrak. Še enkrat kontroliraj, če je vodni tok dovolj močan tako, da voda odteka tudi po cevi 3 in začni z meritvijo. Na manometru Venturijeve cevi odčitaj tlačno razliko  $\Delta h$  in nato še direktno izmeri prostorninski tok! Pod iztočno cev postavi steklenico in natoči vodo do značke (prostornina je podana). Izmeri čas natakanja vsaj trikrat! Vse meritve ponovi še pri srednji in najvišji legi rezervoarja.

Za vsako lego rezervoarja izračunaj povprečni tok  $\Phi = V/\bar{t}$ , kjer je  $V$  prostornina natočene vode in  $\bar{t}$  povprečni čas natakanja, in povprečno tlačno razliko  $\overline{\Delta h}$ . S podatki za Venturijevo cev izračunaj konstanto  $K$ , potem pa iz povprečne tlačne razlike  $\overline{\Delta h}$  po enačbi izračunaj vodni tok v vseh treh primerih. Primerjaj ga z direktno izmerjenim. Vse rezultate vnesi v tabelo:

$\overline{\Delta h}$	$\Phi$ (merjeno)	$\Phi$ (računano)

Nariši diagram! Kot ordinate nanšaj tlačne razlike  $\overline{\Delta h}$ , kot abscise pa kvadrate ustreznih tokov  $\Phi$ . Slika je približno premica, ki gre skozi izhodišče, njena strmina pa je  $1/K^2$  (glej enačbo). Določi konstanto  $K$  iz diagrama in jo primerjaj z izračunano!