

## Механика флуида Б Испит (теорија)

I група

1. Допунити тензор напона:

а) у тачки М при невискозном струјању флуида  $P_1 = \begin{pmatrix} (-3) & ( ) & ( ) \\ ( ) & ( ) & ( ) \\ ( ) & ( ) & ( ) \end{pmatrix}$  и одредити притисак у тој тачки. (0,5)

б) у тачки N при вискозном струјању флуида  $P_2 = \begin{pmatrix} (-4) & ( ) & ( ) \\ (2) & ( ) & ( ) \\ (3) & (1) & (-1) \end{pmatrix}$  под условом да је у њој притисак исти као у тачки М. (1)  
Одредити вектор напона у тачкама М и N за раван управну на x осу. (0,5+1,5)

2. Извести Ојлерову једначину за невискозно струјање флуида у векторском облику (3) и написати њене пројекције на све три осе Декартовог координатног система. (2) На који облик се свode ове једначине у случају стационарног струјања у пољу силе Земљине теже ако је оса z усмерена вертикално навише, а вектор брзине флуида је у правцу x осе. (2)

3. Ако је температура на нивоу мора 288K и опада 6,5K по километру надморске висине одредити брзину звука на 9000m и 10000m надморске висине, ако је  $\kappa=1,4$  и  $R=287J/(kgK)$ . (2) Када авион лети истом брзином на обе надморске висине: (0,5)

- a) Махов број на 9000m већи је од Маховог броја на 10000m.
- б) Махов број на 9000m мањи је од Маховог броја на 10000m.
- в) Махов број на 9000m исти је као Махов броја на 10000m.

4. Објаснити физичко значење чланова у Навије-Стоксовој једначини: (1)

$$\frac{D\vec{U}}{Dt} = \vec{f} - \frac{\text{grad}p}{\rho} + \nu\Delta\vec{U} + \frac{1}{3}\nu\text{grad}(\text{div}\vec{U})$$

Полазећи од ове једначине извести Бернулијеву једначину за вискозно струјање флуида у цевима и објаснити њено значење. (4) Под којим претпоставкама важи Бернулијева једначина? (1) Зашто се у Бернулијевој једначини јавља Кориолисов коефицијент, како се дефинише и колика је његова вредност при ламинарном и турбулентном струјању флуида? (1)

5. Показати на који се облик сведе једначина континуитета и Навије-Стоксова једначина претпостављајући да је струјање флуида стационарно, нестишљиво и раванско, као и да се запреминске силе могу занемарити. (2) За ламинарно струјање између непокретних паралелних

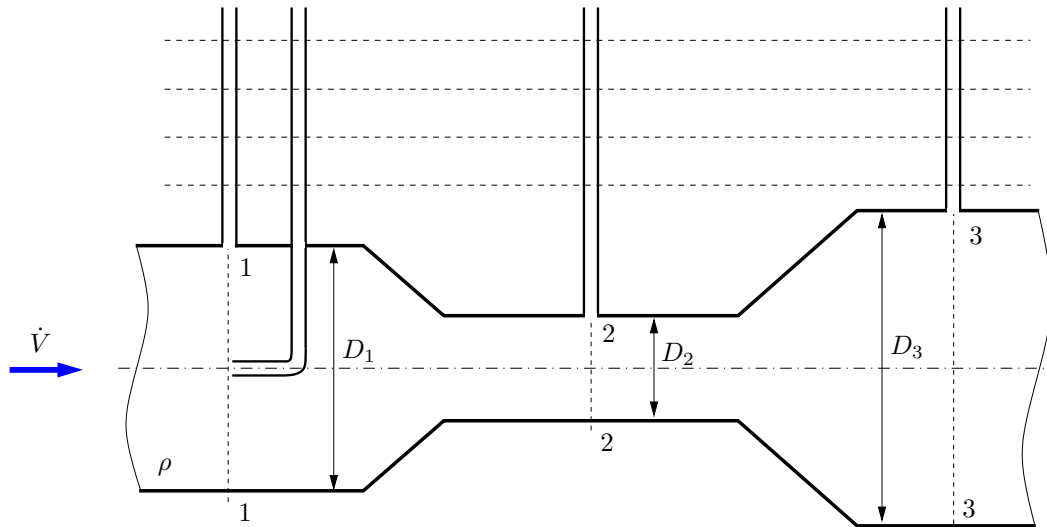
плоча које се налазе на растојању  $h$ , одредит: профил брзине, (2) проток, (1) тангенцијални напон (1) и коефицијент трења (2). Пад притиска од улазног до излазног пресека износи  $\Delta p$ .

6. Израчунати колико пута ће се променити губитак енергије услед присуства вентила, ако се проток кроз ту деоницу повећа три пута. (2)



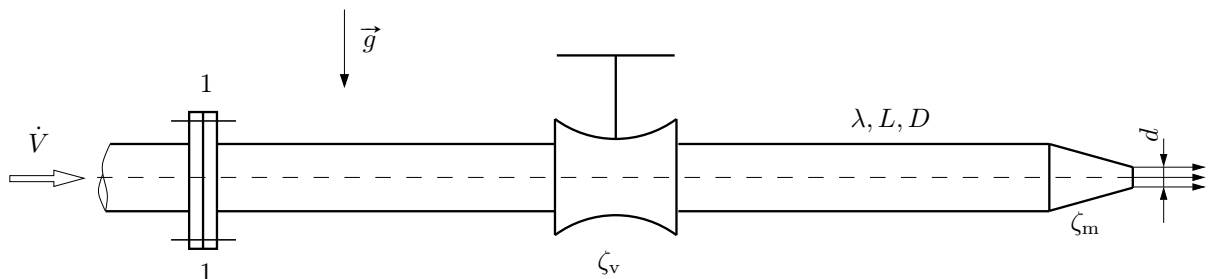
Име и презиме	бр. индекса	смена

1. На слици 1 је приказан део ценовода променљивог попречног пресека:  $D_1 = 100 \text{ mm}$ ,  $D_2 = 60 \text{ mm}$  и  $D_3 = 150 \text{ mm}$ , кроз који струји течност у назначеном смеру. Флуид се сматра невискозним. Уцртати правилно ниводе течности у све четири цеви, које су горњим крајем отворене ка атмосфери (кратко образложити). Ако разлика нивоа у првој и другој цеви (цеви постављене у пресеку 1-1) износи  $\Delta h_1 = 100 \text{ mm}$ , израчунати колико литара флуида протекне кроз цев за време од 30 s. (6 поена)



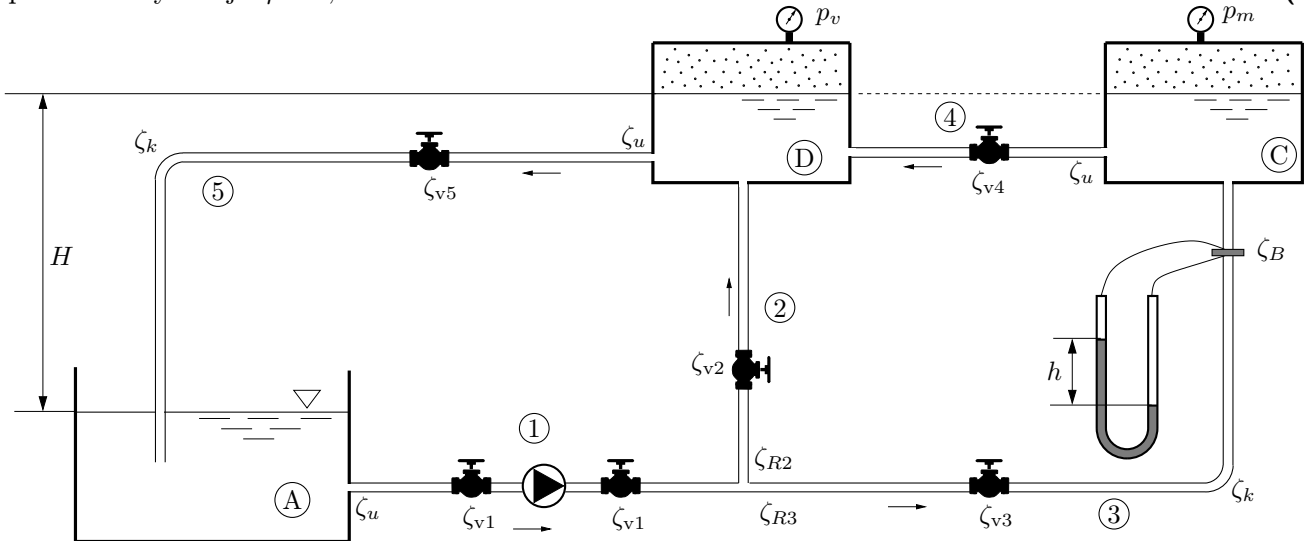
Слика 1. Задатак 1.

2. Вода истиче из цеви у атмосферу као што је приказано на слици 2. Одредити силе истезања и смицања завртањске везе 1-1. Познати су подаци  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ , запремински проток  $\dot{V} = 30 \frac{\text{lit}}{\text{s}}$ , пречник цеви  $D = 150 \text{ mm}$ , пречник млазнице  $d = 60 \text{ mm}$ , укупна дужина праволинијске деонице  $L = 10 \text{ m}$ , коефицијент трења  $\lambda = 0,02$  и коефицијенти отпора вентила и млазнице  $\zeta_v = 4$ ,  $\zeta_m = 0,15$ . Запремина воде у цеви износи  $V_v = 0,17 \text{ m}^3$ . (6 поена)



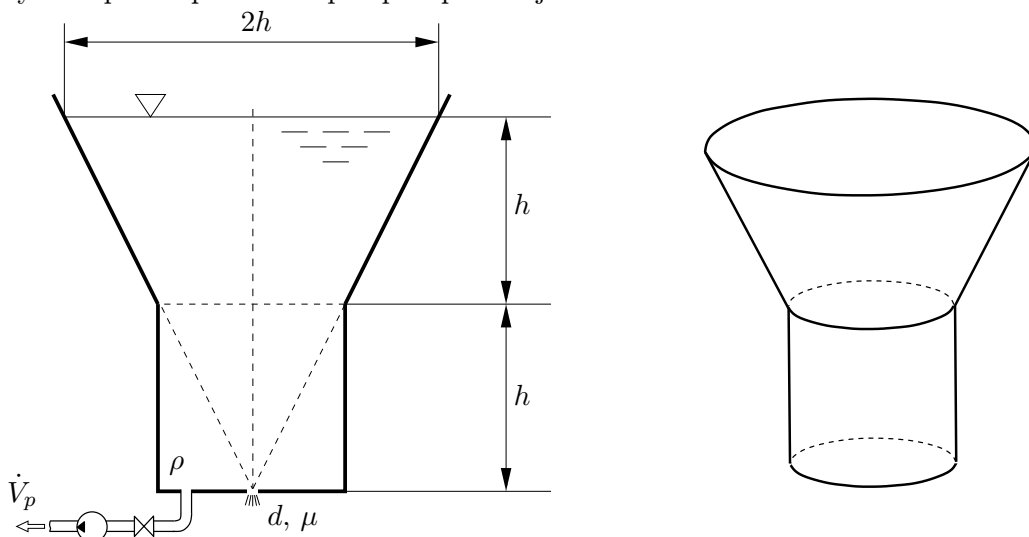
Слика 2. Задатак 2.

3. Пумпа транспортује воду из резервоара А ка резервоарима С и D, а затим се вода из резервоара D кроз деоницу ⑤ враћа у резервоар А (слика 3). Запремински проток у грани ③ се мери помоћу бленде чија је карактеристика  $k = 0,01 \text{ m}^{\frac{5}{2}}/\text{s}$ , а која је повезана на диференцијални манометар са кога се очитава разлика нивоа манометарске течности  $h = 40 \text{ mm}$ . Проток се израчунава према једначини  $\dot{V}_3 = k\sqrt{h}$ . Нивои воде у резервоарима су непроменљиви услед равномерног дотицања и отицања воде. Потребно је одредити коефицијенте отпора вентила  $\zeta_{v2}$  и  $\zeta_{v4}$ , као и снагу пумпе. Познати су пречници деоница и њихове дужине  $D_1 = 75 \text{ mm}$ ,  $D_2 = 40 \text{ mm}$ ,  $D_3 = 50 \text{ mm}$ ,  $D_4 = 50 \text{ mm}$ ,  $D_5 = 75 \text{ mm}$ ,  $L_1 = 5 \text{ m}$ ,  $L_2 = 5 \text{ m}$ ,  $L_3 = 10 \text{ m}$ ,  $L_4 = 4 \text{ m}$ ,  $L_5 = 10 \text{ m}$ , вредности релативних притисака у резервоарима  $p_v = 35,5 \text{ kPa}$ ,  $p_m = 1 \text{ kPa}$ , висина  $H = 4 \text{ m}$ , коефицијенти локалних отпора  $\zeta_u = \zeta_k = 0,5$ ,  $\zeta_{v1} = 1,5$ ,  $\zeta_{v3} = 3$ ,  $\zeta_{v5} = 2$ ,  $\zeta_{R2} = 0,6$ ,  $\zeta_{R3} = 0,3$ ,  $\zeta_B = 1,5$ . Радни флуид је вода густине  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ . Коефицијент трења за све деонице износи  $\lambda = 0,02$ , а степен корисности пумпе је  $\eta = 0,8$ . **(9 поена)**



Слика 3. Задатак 3.

4. Осносиметрични резервоар приказан на слици 4 се састоји од конусног и цилиндричног дела. Резервоар има мали отвор на дну, пречника  $d = 30 \text{ mm}$  и коефицијента протока  $\mu = 0,6$ , који је све време отворен ка атмосфери. Поред њега, резервоар има још један отвор, на који се наставља цевовод са пумпом. На слици је означен ниво воде у почетном тренутку. Током пражњења конусног дела резервоара, пумпа је угашена, а вентил испред ње је затворен. У тренутку када се испразни конусни део и када почне пражњење цилиндричног дела, вентил се отвара и пумпа се покреће. Пумпа извлачи воду из резервоара константним запреминским протоком од  $\dot{V}_p = 1 \text{ lit/s}$ . Одредити укупно време пражњења резервоара ако је  $h = 1 \text{ m}$ . **(9 поена)**



Слика 4. Задатак 4.



3. Полазећи од једначине количине кретања у интегралном облику одредити силу којом флуид делује на омотач цеви. (4) Претпоставити да је струјање вискозно, стационарно, нестишљиво и једнодимензијско у улазном и излазном пресеку цеви. Колика је сила којом флуид, чија је средња брзина  $u$ , делује на цев дужине  $l$ , пречника  $d$ , у којој је коефицијент трења  $\lambda$ ? (2)

4. Израчунати колико пута ће се променити губитак енергије услед присуства вентила, ако се пречник цеви повећа три пута, а проток се не мења. (2,5)

5. При стационарном, нестишљивом, осносиметричном, ламинарном струјању у цеви пројекција Навије-Стоксове једначине на правац струјања флуида (правац осе  $z$ ) своди се на:

$$\frac{dp}{dz} = \eta \left[ \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{du}{dr} \right) \right].$$

Одредити профил брзине, (2) проток, (1) расподелу притиска, (1) тангенцијални напон на зиду, (1) као и израз за одређивање коефицијента трења, (2) ако је пречник цеви  $d$ , дужина цеви  $l$  и разлика притиска од улазног до излазног попречног пресека цеви  $\Delta p$ .



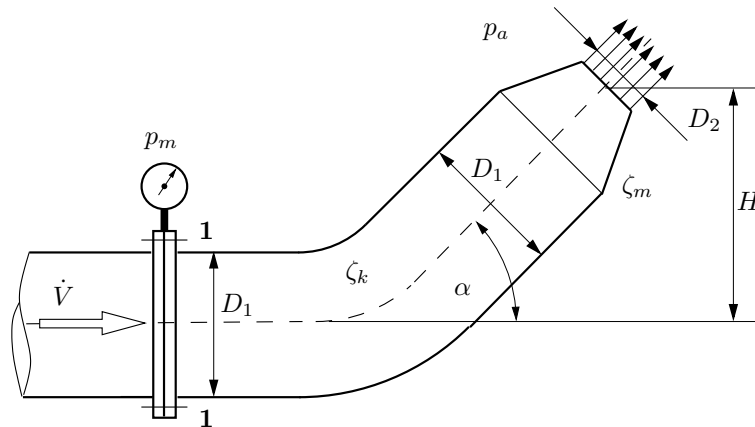
6. Извести израз за одређивање протока флуида при стационарном истицању нестишљивог флуида кроз мали отвор. (3) Колика запремина флуида истекне из резервоара за време  $\Delta T$ ? (0,5) Како се дефинишу коефицијент брзине (0,5), коефицијент контракције (0,5) и коефицијент протока (0,5).



Име и презиме	бр. индекса	смена

1. Кратка закривљена цев са млазницом је за остатак ценовода причвршћења завртањском везом у пресеку 1-1 (слика 1). У том пресеку је измерен натпритисак  $p_m = 0,2 \text{ bar}$ . Кроз цев струји вода ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) запреминским протоком  $\dot{V}$ , затим кроз млазницу истиче у атмосферу. Познати су следећи подаци  $D_1 = 100 \text{ mm}$ ,  $D_2 = 60 \text{ mm}$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $H = 200 \text{ mm}$ ,  $\zeta_k = 0,2$ ,  $\zeta_m = 0,5$  (коэффицијенти локалних губитака колена и млазнице).

Занемарујући губитке на трење и тежину воде у цеви, израчунати запремински проток  $\dot{V}$  и силу која оптерећује завртањску везу 1-1. (9 поена)

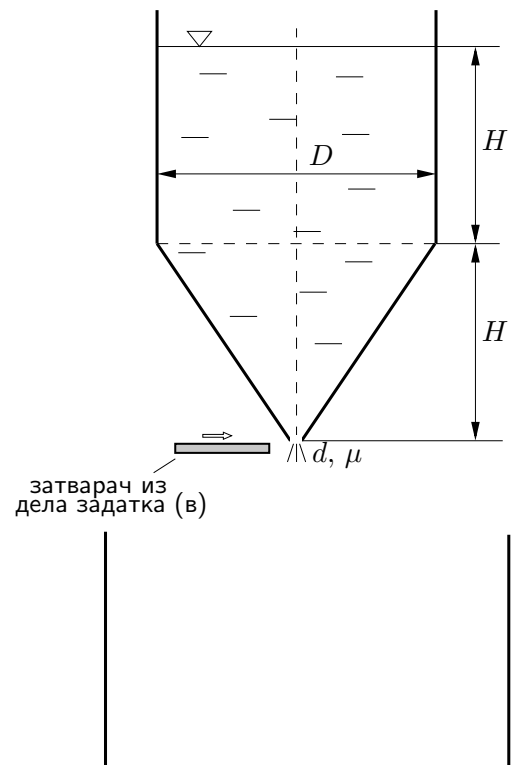


Слика 1. Задатак 1.

2. Горњи резервоар са слике 2 се састоји од цилиндричног и конусног дела. Испуњен је водом и празни се кроз мали отвор на дну, пречника  $d = 30 \text{ mm}$  и коэффициента протока  $\mu = 0,62$ . Након што вода изађе у атмосферу, она се скупља у доњем резервоару, који је смештен испод. Ако су познате вредности  $D = 550 \text{ mm}$  и  $H = 400 \text{ mm}$ , одредити:

- (а) Време пражњења цилиндричног дела горњег резервоара;  
(б) Где се налази ниво воде пола минута ( $t_x = 30 \text{ s}$ ) након почетка истицања;  
(в) Отвор на горњем резервоару (отвор пречника  $d$ ) се затвара онда када се у доњем резервоару скупи  $V_{\text{zat}} = 110 \text{ lit}$  воде. Где се у том тренутку налази ниво воде у горњем резервоару? Колико је времена прошло од почетка истицања до тренутка затварања?

Задатак укупно носи (11 поена).



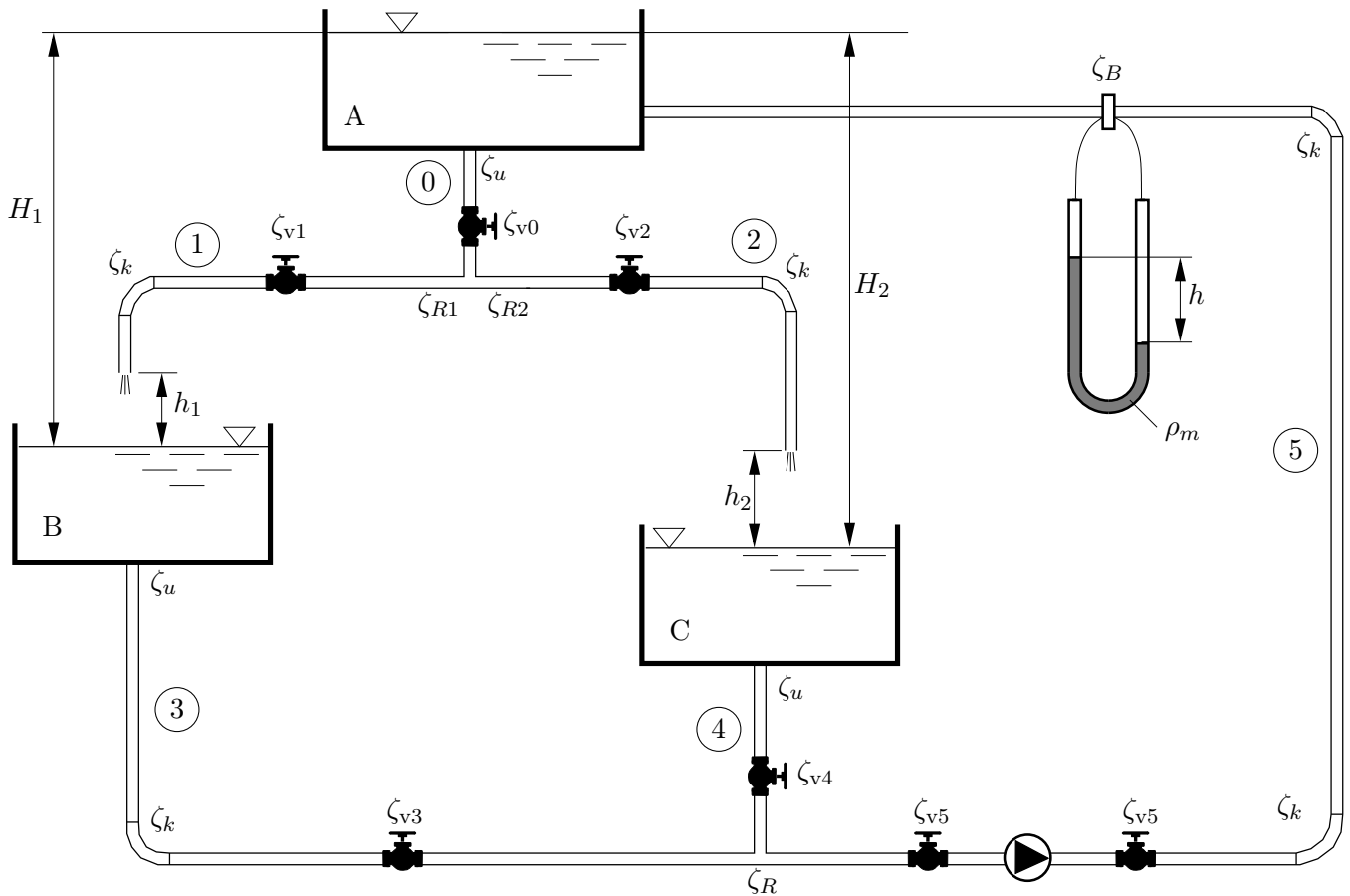
Слика 2. Задатак 2.

3. Пумпа транспортује воду ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) из резервоара В и С у резервоар А. У деоници ⑤ (слика 3) мери се проток помоћу бленде чија је карактеристика  $k = 0,01 \text{ m}^{5/2}/\text{s}$ . Бленда је повезана са живиним манометром ( $\rho_m = 13600 \text{ kg/m}^3$ ) чије је показивање  $h = 125 \text{ mm}$ . Запремински проток се израчунава према једначини  $\dot{V}_5 = k\sqrt{h} \text{ [m}^3/\text{s]}$ .

Одредити коефицијенте локалних отпора вентила  $\zeta_{v2}$  и  $\zeta_{v4}$ , као и снагу пумпе. Нивои воде у резервоарима се одржавају константни услед равномерног дотицања и отицања воде.

Подаци о вредностима пречника и дужина деоница, као и о вредностима коефицијената отпора вентила су дати у табели.

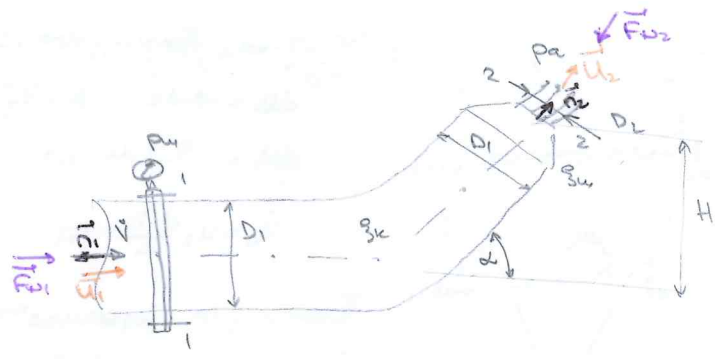
Поред тога, познати су и следећи подаци:  $H_1 = 3 \text{ m}$ ,  $H_2 = 4 \text{ m}$ ,  $h_1 = 1 \text{ m}$ ,  $h_2 = 0,5 \text{ m}$ ,  $\zeta_u = \zeta_k = 0,5$ ,  $\zeta_R = 1$ ,  $\zeta_{R1} = \zeta_{R2} = 0,5$ . Коефицијент трења за све деонице има вредности  $\lambda = 0,02$ . Познато је и то да пумпа 80% од примљене механичке снаге успе да претвори у хидрауличку снагу воде. **(11 поена)**



Деоница бр.	①	②	③	④	⑤	
$L$ [m]	3	5	8	10	5	15
$D$ [mm]	60	40	40	40	30	50
$\zeta_v$	4	4,5	?	15	?	2

Слика 3. Задатак 3.

- 1  $p_w = 0,2 \text{ bar} = 20 \text{ kPa}$
- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $D_1 = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$
- $D_2 = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$
- $\alpha = 45^\circ$
- $h = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$
- $\rho_k = 0,2$
- $\rho_w = 0,5$
- $\dot{V}, F_{A-A} = ?$



ј-та конзервација:  $m_1 = m_2 \quad \rho = \text{const} \Rightarrow \dot{V} = \text{const}$   
 $\dot{V} = \text{const} \Rightarrow u_1 \frac{D_1^2 \pi}{4} = u_2 \frac{D_2^2 \pi}{4} \rightarrow u_1 = u_2 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2 \quad (1)$

Бернулијева једначина 1-2:

$$y_1 = y_2 + y_3^{1-2}$$

$$\frac{p_1 + p_w}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + g z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + gH + \rho_k \frac{u_1^2}{2} + \rho_w \frac{u_2^2}{2}$$

$$\frac{p_w}{\rho} = gH + \frac{u_1^2}{2} [\rho_k - 1] + \frac{u_2^2}{2} [\rho_w + 1]$$

$$u_1^2 = u_2^2 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4$$

$$\frac{p_w}{\rho} - gH = \frac{u_2^2}{2} \left[ \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4 (\rho_k - 1) + \rho_w + 1 \right]$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 \left( \frac{p_w}{\rho} - gH \right)}{\left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4 (\rho_k - 1) + \rho_w + 1}}$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{36,076}{1,39632}}$$

$$u_2 = 5,083 \text{ m/s}$$

$$(1) \rightarrow u_1 = 1,83 \text{ m/s}$$

$$\dot{V} = u_1 \frac{D_1^2 \pi}{4}$$

$$\dot{V} = 14,373 \text{ l/s}$$

Закон о општем конзервације кретања:

$$\vec{F}_{\text{ext}} = \sum m_i \vec{U}_i - \sum m_j \vec{U}_j + \vec{G}_{\text{ext}} + \sum \vec{F}_{\text{ext},i} + \sum \vec{F}_{\text{ext},j}$$

$$\vec{F}_{\text{ext}} = m_1 \vec{U}_1 - m_2 \vec{U}_2 + \vec{F}_{w1} + \vec{F}_{w2} \quad | \vec{i}, \vec{j}$$

$$m_1 = m_2 = \rho \dot{V} = 14,373 \text{ kg/s}$$

$$F_{w1} = (p_1 - p_a) A_1 = (p_w + p_a - p_a) A_1 = p_w \frac{D_1^2 \pi}{4} \rightarrow F_{w1} = 157,08 \text{ N}$$

$$F_{w2} = (p_2 - p_a) A_2 = (p_a - p_a) A_2 = 0$$

$$x: F_{\text{ext},x} = m_1 u_1 - m_2 u_2 \cos \alpha + F_{w1}$$

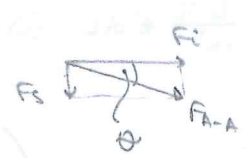
$$F_{\text{ext},x} = F_x = 131,723 \text{ N}$$

$$F_x = 131,723 \text{ N} \quad (\rightarrow)$$

$$F_y = 51,66 \text{ N} \quad (\downarrow)$$

$$y: F_{\text{ext},y} = -m_2 u_2 \sin \alpha = -51,66 \text{ N}$$

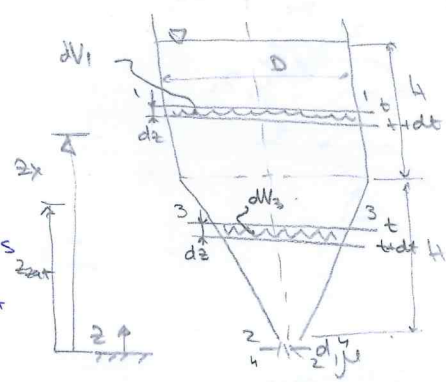
$$F_{A-A} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (F_{A-A} = 141,49 \text{ N})$$



$$\tan \phi = \frac{F_y}{F_x} \rightarrow \phi = 21,4^\circ$$

9

$d = 0.03 \text{ м}$   
 $\mu = 0.62$   
 $D = 0.55 \text{ м}$   
 $H = 0.14 \text{ м}$



1)  $T_1 = ?$   
 2)  $z_x = ?$   $t_x = 30 \text{ s}$   
 3)  $V_{z_{at}} = 110 \text{ л}$   
 $z_{z_{at}} = ?$   
 $T_{z_{at}} = ?$

(a)  $j$ -ва констатна  $\dot{V} = \text{const}$   $\dot{V}_1 = \dot{V}_2$

$$dW_1 = -A dz \quad A = \frac{D^2 \pi}{4}$$

$$dW_2 = -\frac{D^2 \pi}{4} dz \quad (1)$$

$$\dot{V}_2 = U_2 \frac{d^2 \pi}{4} \quad (2)$$

Беруваме ја равенката 1-2:

$$V_1 = V_2$$

$$\frac{\rho g}{\rho} + gz + \frac{U_1^2}{2} = \frac{\rho g}{\rho} + 0 + \frac{U_2^2}{2} + \frac{g}{2} \frac{U_2^2}{g}$$

$$U_2 = \sqrt{2gz} \cdot \mu \quad (\psi = 0, \mu = \rho = \frac{1}{\sqrt{1+g}})$$

$$\frac{dW_2}{dt} = \sqrt{2gz} \cdot \mu \frac{d^2 \pi}{4}$$

$$dW_1 = dW_2$$

$$1, (2) \Rightarrow -\frac{D^2 \pi}{4} dz = \mu \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{2gz} dt$$

$$dt = -\frac{D^2}{d^2} \frac{1}{\mu \sqrt{2g}} \cdot z^{-1/2} dz \quad \int_0^{T_1} \int_{2H}^H \quad (3)$$

$$T_1 = \frac{D^2}{d^2} \frac{1}{\mu \sqrt{2g}} \cdot 2(\sqrt{2H} - \sqrt{H})$$

$$T_1 = 64,125 \text{ s}$$

$$2) (3) \rightarrow t_x = \frac{D^2}{d^2} \frac{2}{\mu \sqrt{2g}} (\sqrt{2H} - \sqrt{2x})$$

$$\frac{D^2}{d^2} \frac{2}{\mu \sqrt{2g}} = 244,78$$

$$\Rightarrow 2x = \left( \sqrt{2H} - \frac{t_x d^2 \mu \sqrt{2g}}{2D^2} \right)^2$$

$$z_x = 0,596 \text{ м}$$

Време граничната прбог дала је  $T_1 > t_x$ , због ога знамо да се за првих 30s одржано само цилиндрични део резервоара и до је разлог зато што корисни интеграл из дала задржа одг (a)

$z_x$  - обрмике на оловити цилиндра.

6)  $V_1 = H \frac{D^2 \pi}{4} = 95 \text{ л}$  - испрмичен је део цилиндар

$V_2 = 110 - 95 = 15 \text{ л}$  - испрмичен је запремина од 15л из конусног дала

$$\frac{D}{H} = \frac{r}{z} \rightarrow r = \frac{D}{2H} z \rightarrow dW_3 = -A dz, \quad A = r^2 \pi = \frac{D^2}{4H^2} z^2 \pi$$

$$dW_3 = -\frac{D^2 \pi}{4H^2} z^2 dz \quad (4)$$

$$dW_4 = dW_2 \rightarrow dW_4 = \mu \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{2gz} dt$$

$$\rightarrow dW_3 = dW_4$$

$$\int_H^{z_{z_{at}}} dV_3 = 15 \text{ л}$$

$$\Rightarrow \int_{z_{z_{at}}}^H \frac{D^2 \pi}{4H^2} z^2 dz = \frac{D^2 \pi}{4H^2} \frac{z^3}{3} \Big|_{z_{z_{at}}}^H$$

$$= \frac{D^2 \pi H}{12} - \frac{D^2 \pi}{12H^2} z_{z_{at}}^3$$

$$15 \cdot 10^{-3} = \frac{D^2 \pi}{12} \left[ H - \frac{z_{\text{zat}}^3}{H^2} \right] \rightarrow z_{\text{zat}} = \left[ H^2 \left( H - \frac{18 \cdot 10^{-2}}{D^2 \pi} \right) \right]^{1/3} = [0,4^2 (0,4 - 0,19)]^{1/3}$$

$$z_{\text{zat}} = 0,3227 \text{ m}$$

$$dW_3 = dW_4$$

$$\rightarrow -\frac{D^2 \pi}{4 H^2} z^2 dz = \mu \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{2g} z dt$$

$$-\frac{D^2}{d^2} \frac{1}{H^2 \mu \sqrt{2g}} z^{3/2} dz = dt \quad \int_H^{z_{\text{zat}}} \int_0^{T_2}$$

$$\rightarrow \frac{D^2}{d^2} \frac{1}{H^2 \mu \sqrt{2g}} \cdot \frac{2}{5} z^{5/2} \Big|_{z_{\text{zat}}}^H = T_2$$

$$T_2 = 305,975 (0,1012 - 0,0592)$$

$$T_2 = 12,8515$$

Време средног и времена чепуњања до забаране је  $T = T_1 + T_2$ ,  $T = 76,9765$

Брво!

11

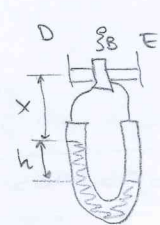
$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$   
 $k = 0,01 \text{ m}^{5/2}/\text{s}$   
 $\rho_w = 13600 \text{ kg/m}^3$   
 $h = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$   
 $\dot{V}_s = k\sqrt{h} = 3,54 \text{ lit/s}$   
 $\beta_{v2}, \beta_{v4} = ?$   $P_p = ?$

Бернуллиева j-на A-1:  $Y_A = Y_1 + Y_g^{1-2}$   
 $\frac{P_0}{\rho} + g(H_1 - h_1) = \frac{P_0}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + c_0 \frac{u_0^2}{2} + c_1 \frac{u_1^2}{2}$  (1)  
 Бернуллиева j-на A-2:  $Y_A = Y_2 + Y_g^{A-2}$   
 $\frac{P_0}{\rho} + g(H_2 - h_2) = \frac{P_0}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + c_0 \frac{u_0^2}{2} + c_2 \frac{u_2^2}{2}$  (2)

$c_0 = \beta_{v1} + \beta_{v0} + \lambda \frac{L}{D_0} = 5,5$  ✓  
 $c_1 = \beta_{v1} + \beta_{v1} + \lambda \frac{L}{D_1} + \beta_{v1} = 8$  ✓  
 $c_2 = \beta_{v2} + \beta_{v2} + \beta_{v2} + \lambda \frac{L}{D_2} = 5 + \beta_{v2}$   
 $c_3 = \beta_{v4} + \beta_{v4} + \beta_{v3} + \lambda \frac{L}{D_3} = 21$  ✓  
 $c_4 = \beta_{v4} + \beta_{v4} + \lambda \frac{L}{D_4} = \beta_{v4} + 3,832$   
 $c_5 = \beta_{v2} + \beta_{v5} + 2 + 2 \cdot \beta_{v2} + \beta_{v1} + \lambda \frac{L}{D_5}$   
 $c_5 = 22,5$  ✓

j-на конвектора:  $\dot{V}_0 = \dot{V}_1 + \dot{V}_2$   
 $\dot{V}_3 + \dot{V}_4 = \dot{V}_5$   
 $\dot{V}_5 = \dot{V}_0$  (3)

$\dot{V}_s = u_s \frac{D_s^2 \pi}{4} \rightarrow u_s = \frac{4 \dot{V}_s}{D_s^2 \pi} \rightarrow u_s = 1,803 \text{ m/s}$  ✓



$Y_E = Y_0 + \beta_{vB} \cdot \frac{u_s^2}{2}$   
 $\frac{P_E}{\rho} + \frac{u_s^2}{2} + g z_E = \frac{P_0}{\rho} + \frac{u_s^2}{2} + g z_0 + \beta_{vB} \frac{u_s^2}{2}$ ,  $z_E = z_0$

j-на хурдачанике:  $P_E + \rho g x + \rho g h = P_0 + \rho g x + \rho g h$   
 $P_E - P_0 = \rho g (h_w - h)$   
 $P_E - P_0 = 15450,175 \text{ Pa}$

$\rightarrow \frac{P_E - P_0}{\rho} \cdot \frac{2}{u_s^2} = \beta_{vB}$   $\beta_{vB} = 9,5$  ✓

Бернуллиева j-на: B-A:  $Y_B + Y_g = Y_A + c_3 \frac{u_3^2}{2} + c_5 \frac{u_5^2}{2}$  (4)

Бернуллиева j-на C-A:  $Y_C + Y_g = Y_A + c_4 \frac{u_4^2}{2} + c_5 \frac{u_5^2}{2}$  (5)

$u_3 D_3^2 + u_4 D_4^2 = u_5 D_5^2 \rightarrow u_3 = \frac{u_5 D_5^2 - u_4 D_4^2}{D_3^2}$

(3)  $\rightarrow \dot{V}_5 = \dot{V}_0 \Rightarrow u_5 D_5^2 = u_0 D_0^2 \Rightarrow u_0 = u_5 \left( \frac{D_5}{D_0} \right)^2$   $u_0 = 1,252 \text{ m/s}$ ,  $\dot{V}_0 = 3,54 \text{ lit/s}$  ✓

(1)  $\rightarrow g(H_1 - h_1) = \frac{u_1^2}{2}(1+c_1) + c_0 \frac{u_0^2}{2}$

$u_1 = \sqrt{\frac{2}{1+c_1} \left[ g(H_1 - h_1) - c_0 \frac{u_0^2}{2} \right]}$   $u_1 = 1,6445 \text{ m/s}$   $\dot{V}_1 = u_1 \frac{D_1^2 \pi}{4}$   $\dot{V}_1 = 2,32 \text{ lit/s}$  ✓

(2)  $\rightarrow g(H_2 - h_2) = \frac{u_2^2}{2}(1+c_2) + c_0 \frac{u_0^2}{2}$

$u_2 = \sqrt{\frac{2}{1+c_2} \left[ g(H_2 - h_2) - c_0 \frac{u_0^2}{2} \right]}$   $u_2 = \sqrt{\frac{60,049}{6 + \beta_{v2}}}$  ✓

(3)  $\rightarrow \dot{V}_2 = \dot{V}_0 - \dot{V}_1 \rightarrow \dot{V}_2 = 1,22 \text{ lit/s} \rightarrow u_2 = \frac{4 \dot{V}_2}{D_2^2 \pi}$   $u_2 = 0,971 \text{ m/s}$

$\Rightarrow \beta_{v2} = \frac{60,049}{0,971} - 6$   $\beta_{v2} = 55,84$  ✓

$\dot{V}_1 = \dot{V}_3 \rightarrow u_3 = 1,846 \text{ m/s}$  ✓

$\dot{V}_2 = \dot{V}_4 \rightarrow u_4 = 1,726 \text{ m/s}$  ✓

$$(5) - (4) \rightarrow y_2 - y_B = c_4 \frac{u_4^2}{2} - c_3 \frac{u_3^2}{2}$$

$$\frac{P_d}{\rho} - \frac{P_d}{\rho} - g(H_2 - H_1) = c_4 \frac{u_4^2}{2} - c_3 \frac{u_3^2}{2}$$

$$c_4 = \frac{2}{u_4^2} \left[ c_3 \frac{u_3^2}{2} - g(H_2 - H_1) \right]$$

$$c_4 = 3u_4 + 3,833 = 17,436$$

$$\boxed{3u_4 = 13,6} \quad \checkmark$$

Бернуљева ј-на с-а:

$$\frac{P_d}{\rho} + y_P = \frac{P_d}{\rho} + gH_2 + c_4 \frac{u_4^2}{2} + c_5 \frac{u_5^2}{2}$$

$$\Rightarrow y_P = 39,24 + 25,972 + 36,572$$

$$\underline{y_P = 101,784 \text{ J/kg}} \quad \checkmark$$

$$P_P = \frac{\rho \dot{V}_5 y_P}{\eta}$$

$$\boxed{P_P = 450,39 \text{ kW}} \quad \checkmark$$

11