

דף נוסחאות פעולות יסוד 1

$$P_2 = P_1 \cdot e^{\left[\frac{M.W. \cdot g}{RT \cdot g_c} (Z_2 - Z_1) \right]}$$

משוואת הברומטר בטמפי' קבועה :

$$P = P_0 \left(\frac{T - \alpha \cdot Z}{T} \right)^{\left[\frac{M.W. \cdot g}{R \alpha \cdot g_c} \right]}$$

משוואת הברומטר בטמפי' לא קבועה :

$$h = \frac{P - P_0}{\rho} \cdot \frac{g}{g_c}$$

עומד הידרוסטאטי :

$$S = \frac{h}{\Delta h_e} = \frac{1}{SG \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]}$$

רגישות מנומטר :

$$S = \frac{L}{\Delta h_e} = \frac{1}{SG \left[\sin \alpha + \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]}$$

רגישות מנומטר נטוי :

$$SG_a = \frac{\rho_a}{\rho_{H_2O}}$$

הגדרה של SG של חומר כלשהו :

$$Re = \frac{\rho \bar{v} d}{\mu} = \frac{\bar{v} d}{\nu} = \frac{4 \dot{m}}{\pi \mu d}$$

מספר ריינולדס :

חישובי איזור כניסה לצינור

$$\frac{L_e}{D} = 4.4 Re^{1/6}$$

עבור זרימה טורבולנטית :

$$\frac{L_e}{D} = 0.06 \cdot Re$$

עבור זרימה למינרית :

יחסים וקשרים בפרופילי זרימה שונים

$$\frac{\tau_w}{r_w} = \frac{\tau}{r}$$

יחס בין כוחות גזירה לרדיוסי הסיבוב :

קשר בין מהירות זרימה מקסימאלית למהירות ממוצעת :

$$\bar{u} = \frac{1}{2} u_{\max}$$

1. עבור זרימה למינרית :

2. עבור זרימה טורבולנטית :

$$\frac{\bar{u}}{u_{\max}} = \left[1 - \left(\frac{r}{r_w} \right)^2 \right]^{1/n}, \quad 6 \leq n \leq 10, n = 1.8 \log[\text{Re}(u = u_{\max})] - 1.7$$

$$\Delta P = \frac{32 \bar{u} \mu}{g_c \cdot d^2} \cdot \Delta L = \frac{128 Q \mu}{g_c \cdot \pi d^4} \cdot \Delta L$$

הלחץ כתלות באורך הצינור (משוואת hagen-poiseuille) :

$$\Delta P = 0.241 \cdot \frac{\Delta L \cdot Q^{1.75} \cdot \mu^{0.25} \cdot \rho^{0.75}}{g_c \cdot d^{4.75}}$$

(הנחה : זרימה טורבולנטית)

$$\Delta P \propto Q^{1.75}$$

בזרימה טורבולנטית מתקיימת הפרופורציה :

$$\nu = \frac{\rho}{\mu}$$

צפיפות קינמאטית :

אביזרי צנרת

$$h_m = k \cdot \frac{\bar{v}^2}{2g_c}$$

אנרגיה פוטנציאלית כתוצאה מאביזרי צנרת :

הרחבה פתאומית :

$$h_{m_e} = k_e \frac{v_a^2}{2g_c} \Rightarrow \left[k_e = \left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right)^2 \right]$$

הצרה פתאומית :

$$h_{m_c} = k_c \frac{v_b^2}{2g_c} \Rightarrow \left[k_c = 0.4 \left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right) \begin{array}{l} \text{turbulent} \\ \text{--- } k_c \leq 0.1_{\text{laminar}} \end{array} \right]$$

משוואת ברנולי המתוקנת :

$$\frac{P_1 g_c}{\rho g} + \frac{\alpha \bar{v}_1^2 g_c}{2g} + Z_1 g_c = \frac{P_2 g_c}{\rho g} + \frac{\alpha \bar{v}_2^2 g_c}{2g} + Z_2 g_c + h_f + h_m + h_p$$

השפעת החיכוך בצינור :

$$h_f = 4f_f \frac{L}{D} \cdot \frac{\bar{v}^2}{2g_c}$$

עבור זרימה טורבולנטית (במקרה פרטי של בזרימה בין 2 מיכלים בגבהים שונים) :

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho} = 0.241 \cdot \frac{\Delta L \cdot Q^{1.75} \cdot \mu^{0.25} \cdot \rho^{0.75}}{\rho \cdot g_c \cdot d^{4.75}} = \frac{g}{g_c} \Delta Z$$

השפעת כל אביזרי הצנרת בקטע נבדק :

$$h_m = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \frac{\bar{v}_i^2}{2g_c}$$

חישוב K עבור הרחבה פתאומית :

$$k_e = \left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right)^2$$

עבור הצרה פתאומית :

$$k_c = 0.4 \times \left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right) \rightarrow \text{Turbulent}$$

$$k_c \leq 0.1 \rightarrow \text{Laminar}$$

כללי אצבע ביחס לזורמים המתנהגים כמו מים

מהירות זרימה (ft/sec)	סוג זורם
50-100	קיטור עד 25psi
100-200	קיטור עד 100psi
50-100	אוויר עד 25psi
$(3-10)_{ft} = 1_{m/sec}$	

משאבות

ניצולת משאבה :

$$\eta = \frac{\text{fluid_power}}{\text{pump_axis_power}} = \frac{P_f}{P_B}$$

Neto positive suction head : NPSH

$$NPSH = \frac{g}{g_c} \cdot \left(\frac{p_v - p_a}{\rho} - h_{fs} \right) - z_a$$

P_v – לחץ האדים של הזורם, h_{fs} – החיכוך בצינור היניקה, p_a – לחץ הזורם לפני המשאבה

פרופורציות וקשרים במשאבות :

N – מהירות סיבוב, D – קוטר האימפּלר, P – הספק המשאבה, H – עומד.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3 = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^3$$

הקשר בין ההספק הנכנס למשאבה לבין ההספק היוצא ממנה :

$$P_B = \frac{P_f}{\eta} = \frac{h_p \cdot Q \cdot \rho}{\eta}$$

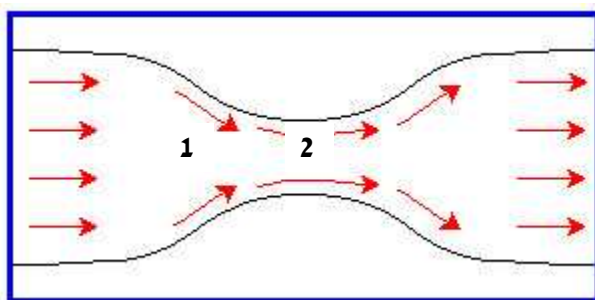
כאשר h_p יחושב ממשוואת ברנולי או מהגרף.

$$h_p = \frac{g}{g_c} \cdot \Delta H_{sys}$$

דרישות המערכת :

אביזרי מדידהמד ונטורי

מוודד ספיקה ע"י הפרש לחצים



$$v_2 = \frac{C_v}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \sqrt{\frac{2g_c(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

$$C_v = 0.98 \Rightarrow 2'' < D < 8''$$

$$C_v = 0.99 \Rightarrow D > 8''$$

$$1.5 \cdot 10^5 < Re < 2 \cdot 10^6 \Rightarrow C_v = 0.9858 - 0.196\beta^{4.5}$$

$$\beta = \frac{D_2}{D_1}$$

Orifice – נחיר

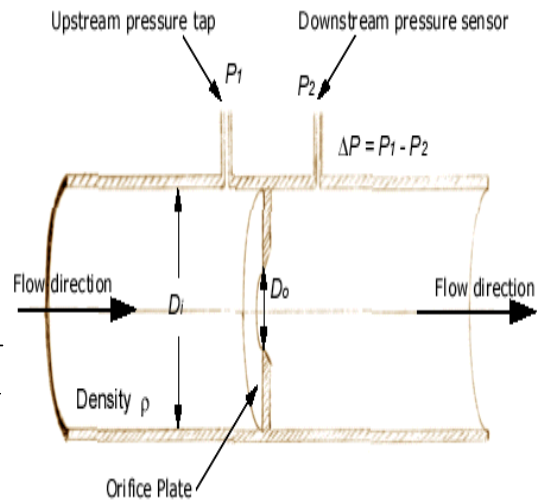
$$v_o = \frac{C_o}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \sqrt{\frac{2g_c(p_1 - p_2)}{\rho}}, \beta = \frac{D_o}{D_1}$$

$$Re_o > 20,000 \Rightarrow C_o \cong 0.61,$$

$$Re_o = \frac{\rho \cdot v_o \cdot D_o}{\mu}$$

$$\beta < 0.25 \Rightarrow 1 - \beta^4 \rightarrow 1 \Rightarrow v_2 = C_o \cdot \sqrt{\frac{2g_c(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot v_o \cdot \frac{\pi}{4} (\beta \cdot D_1)^2$$



כמובן שיש לחשב K_m מתאים עבור ההצרה.

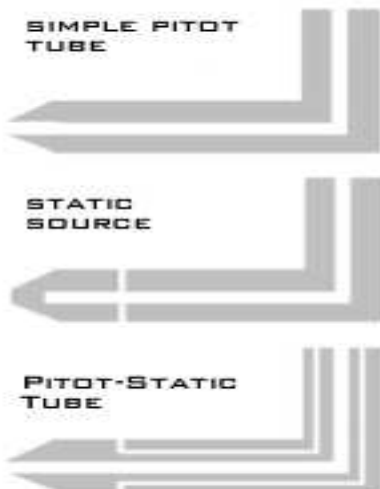
חישוב מקדם המתאם עבור נחירי מדידה שונים (המשוואה הכללית):

$$C_o = 0.5959 + 0.0312 \cdot \beta^{2.1} - 0.184 \cdot \beta^8 + 91.7 \cdot \beta^{2.5} \cdot Re_o^{-0.75} + \frac{0.09 \cdot \beta^4}{1 - \beta_0} \cdot F_1 - 0.0337 \cdot F_2$$

מקרים פרטיים של חישוב מקדם המתאם עבור נחירי מדידה שונים

סוג האביזר	מרחק במעלה הזרם	מרחק במורד הזרם	F ₁	F ₂
Corner taps	קרוב ככל הניתן		0	0
Flange taps	1"	1"	$D > 2.3" \Rightarrow \frac{1}{D_{in}}$ $0.2" < D < 2.3" \Rightarrow 0.433$	$\frac{1}{D_{in}}$
Radius taps	1ID	0.5ID	0.433	0.47
Vena contracta	1ID	(0.3–0.8)ID	0.433	0.47
Pipe taps	2.5ND	8ND	-	-

צינורית Pitot



$$v_1 = C_p \cdot \sqrt{\frac{2g_c(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

$$v_{max} = C_p \cdot \sqrt{\frac{2g_c \cdot \Delta h_{max} (\rho_m - \rho)}{\rho}}, C_p = 0.8/1$$

את היחס $\frac{\bar{v}}{v_{max}}$ ניתן לחלץ מהגרף המתאים (ע"פ Re_{max}).