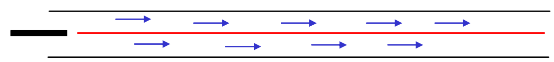
www4.hcmut.edu.vn/~hchoai/baigiang

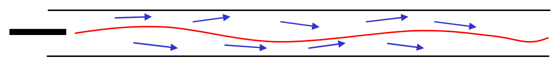
I. HAI TRẠNG THÁI CHẢY

Thí nghiệm Reynolds:

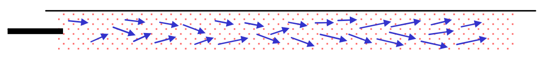
1. Chảy tầng : Khi vận tốc nhỏ , Re = VD/ν < Re_{gh}



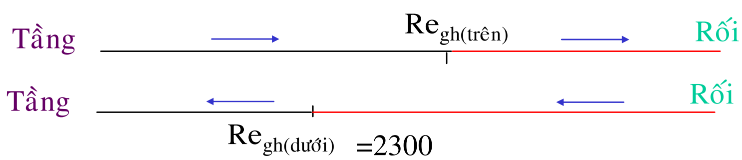
Quá độ:



2. Chảy rối : Khi vận tốc lớn , Re = VD/ν > Re $_{gh}$



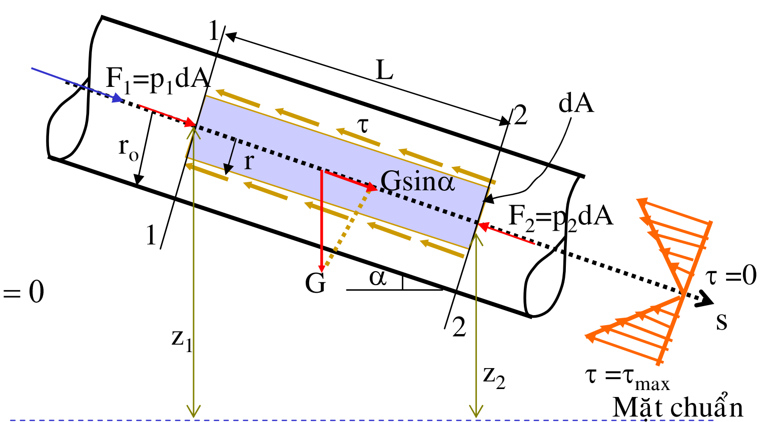
Trong thí nghiệm nhận thấy:



II. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CHO DÒNG ĐỀU TRONG ỐNG

Trong ống xét đoạn vi phân dòng chảy đều hình trụ có diện tích dA như hình vẽ:

Lực tác dụng trên phương dòng chảy (phương s) :



$$G\sin\alpha + F_1 - F_2 - F_{ms} = 0$$

$$\gamma L dA\frac{(z_1 - z_2)}{L} + p_1 dA - p_2 dA - \tau P L = 0$$

$$(z_1 - z_2) + \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} - \frac{\tau L}{\gamma}\frac{P}{dA} = 0$$

$$(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}) - (z_2 + \frac{p_2}{\gamma}) - \frac{\tau L}{\gamma R} = 0 \qquad (z_1 + \frac{p_1}{\gamma}) - (z_2 + \frac{p_2}{\gamma}) = \frac{\tau L}{\gamma R}$$

PT Năng lượng (1-2)

$$\cancel{\frac{V_1^2}{2g}} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \cancel{\frac{V_2^2}{2g}} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_d \longrightarrow \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right) = h_d$$

$$h_d = \frac{\tau L}{\gamma R} \rightarrow \tau = \gamma R\frac{h_d}{L} \rightarrow \boxed{\tau = \gamma J R}$$ → Phương trình cơ bản của dòng đều

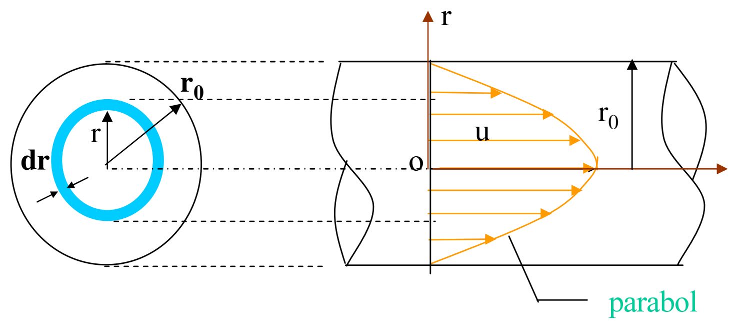
Với J = h_d / L , ộ dốc năng lượng

$$\boxed{\tau = \gamma J r / 2}$$ → Ứng suất tiếp tỷ lệ bậc nhất theo r

PT cơ bản có thể viết

$$\tau_{max} = \gamma J\frac{r_0}{2} \quad hay \quad \tau = \tau_{max}\frac{r}{r_0}$$

II.PHÂN BỐ VẬN TỐC TRONG DÒNG CHẢY TẦNG



Newton $\tau = -\mu \dfrac{du}{dr}$

PTCB $\tau = \gamma J \dfrac{r}{2}$

$$\rightarrow -\mu \frac{du}{dr} = \gamma J \frac{r}{2} \longrightarrow du = -\gamma J \frac{r}{2\mu} dr \longrightarrow u = \frac{-\gamma J}{2\mu} \int r dr + C$$

$$u = -\gamma J \frac{r^2}{4\mu} + C$$ Tại $r=r_0$ ta có u=0, suy ra $$C = \gamma J \frac{r_0^2}{4\mu}$$

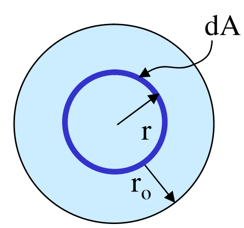
$$u = \frac{\gamma J}{4\mu}\left(r_o^2 - r^2\right)$$

Tại r=0 ta có $u=u_{max}$ $$u_{max} = \frac{\gamma J}{4\mu} r_0^2 \Rightarrow u = u_{max}\left(\frac{r_0^2 - r^2}{r_0^2}\right)$$ hay $$u = u_{max}\left(1 - \frac{r^2}{r_o^2}\right)$$

Phân bố vận tốc trong chảy tầng có dạng Parabol

Lưu lượng và vận tốc trung bình:

$$u = \frac{\gamma J}{4\mu}\left(r_o^2 - r^2\right)$$



$$dQ = udA = u 2\pi r dr \qquad dQ = \frac{\gamma J}{4\mu}\left(r_o^2 - r^2\right) 2\pi r dr$$

$$Q = 2\pi \frac{\gamma J}{4\mu} \int_0^{r_o} \left(r_o^2 - r^2\right) r dr \longrightarrow Q = \frac{\pi\gamma}{8\mu} J r_o^4$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{\pi\gamma}{8\mu} \frac{J r_o^4}{\pi r_o^2} \longrightarrow V = \frac{\gamma J r_o^2}{8\mu} \longrightarrow V = \frac{u_{max}}{2}$$

Tổn thất dọc đường

Từ $$V = \frac{\gamma J r_o^2}{8\mu}$$ Thay $J = h_d/L$ $$\longrightarrow V = \frac{\gamma r_o^2}{8\mu} \frac{h_d}{L}$$

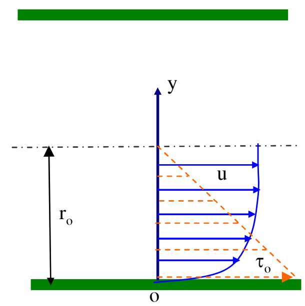
Suy ra h_d $$h_d = \frac{8\mu V L}{\gamma r_o^2}$$ sắp xếp lại $$h_d = \frac{64}{\text{Re}} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Với $\text{Re} = VD/\nu$ (Hệ số Reynolds)

III. PHÂN BỐ VẬN TỐC TRONG DÒNG CHẢY RỐI TRONG ỐNG

Đối với dòng chảy rối, ứng suất tiếp phụ thuộc chủ yếu vào độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử lưu chất.

Theo giả thiết của Prandtl: $\tau = \varepsilon \dfrac{du}{dy}$ (1)



với ε được gọi là hệ số nhớt rối $\varepsilon = \rho l^2 \dfrac{du}{dy}$ (2)

y : khoảng cách từ thành đến lớp chất lỏng đang xét

l :chiều dài xáo trộn

➡ Prandtl: ứng suất nhớt rối không phụ thuộc vào tính nhớt của lưu chất.

Theo thí nghiệm của Nikudrase, chiều dài xáo trộn l trong ống $l = ky\left(1 - \dfrac{y}{r_o}\right)^{1/2}$ (3)

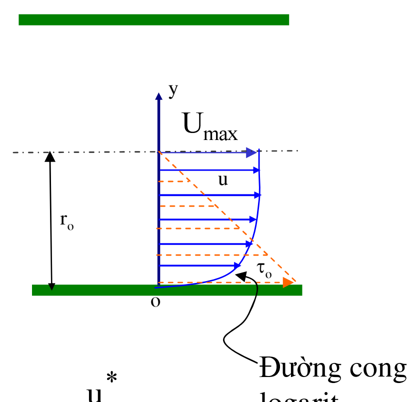
Với k : hằng số Karman (k = 0,4)

Nếu xem τ tỉ lệ tuyến tính với bán kính r : $\tau = \tau_o\left(1 - \dfrac{y}{r_o}\right)$ Thì $\dfrac{y}{r_o} = \left(1 - \dfrac{\tau}{\tau_o}\right)$

Thay vào : $l = ky\left(\dfrac{\tau}{\tau_o}\right)^{1/2}$ Từ (2) → $\varepsilon = \rho k^2 y^2 \dfrac{\tau}{\tau_0}\dfrac{du}{dy}$ (5.8)

Thay vào (1) : $\tau_o = \rho k^2 y^2 \left(\dfrac{du}{dy}\right)^2$ → $\dfrac{du}{dy} = \sqrt{\dfrac{\tau_o}{\rho}}\dfrac{1}{ky}$

$$\frac{du}{dy} = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}}\frac{1}{ky}$$



Đặt $u^* = \sqrt{\dfrac{\tau_o}{\rho}}$ (vận tốc ma sát , m/s)

$\dfrac{du}{dy} = \dfrac{u^*}{ky}$ → $du = \dfrac{u^*}{k}\dfrac{dy}{y}$

$u = \dfrac{u^*}{k} \text{Ln}\, y + C$

Tại tâm ống $r = r_o$ $u = u_{max}$ thay vào cho $C = u_{max} - \dfrac{u^*}{k}\text{Ln}\, r_o$

$$u = u_{max} - \frac{u^*}{k}\text{Ln}\frac{r_o}{y} \qquad 0 < y \le r_o$$

Phân bố lưu tốc trong trường hợp chảy rối có dạng đường logarit

Do đó ta nhận thấy sự phân bố vân tốc trong trường hợp chảy rối tương đối đồng đều gần với vận tốc trung bình hơn so với trường hợp chảy tầng. Đó cũng là lý do tại sao các hệ số sửa chữa động năng (α) hay hệ số sửa chữa động lượng (α_o) khi chảy rối có thể lấy bằng 1

Tổn thất dọc đường trong dòng chảy rối:

Đối với dòng rối từ lý thuyết không thể suy ra được tổn thất dọc đường. Dùng phương pháp phân tích thứ nguyên và thí nghiệm chứng tỏ được tổn thất dọc đường có dạng → $h_d = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$

Xác định hệ số tổn thất λ:

Dòng chảy tầng: $\lambda = \frac{64}{Re}$ → h_d tỉ lệ V^1

Dòng chảy rối:

Rối thành trơn thủy lực: $(2300 < Re < 10^5)$ $\lambda = f(Re)$.

Blasius: $\lambda = \frac{0{,}316}{R_e^{1/4}}$

Prandtl-Nicuradse: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\, lg\left(R_e \sqrt{\lambda}\right) - 0{,}8$

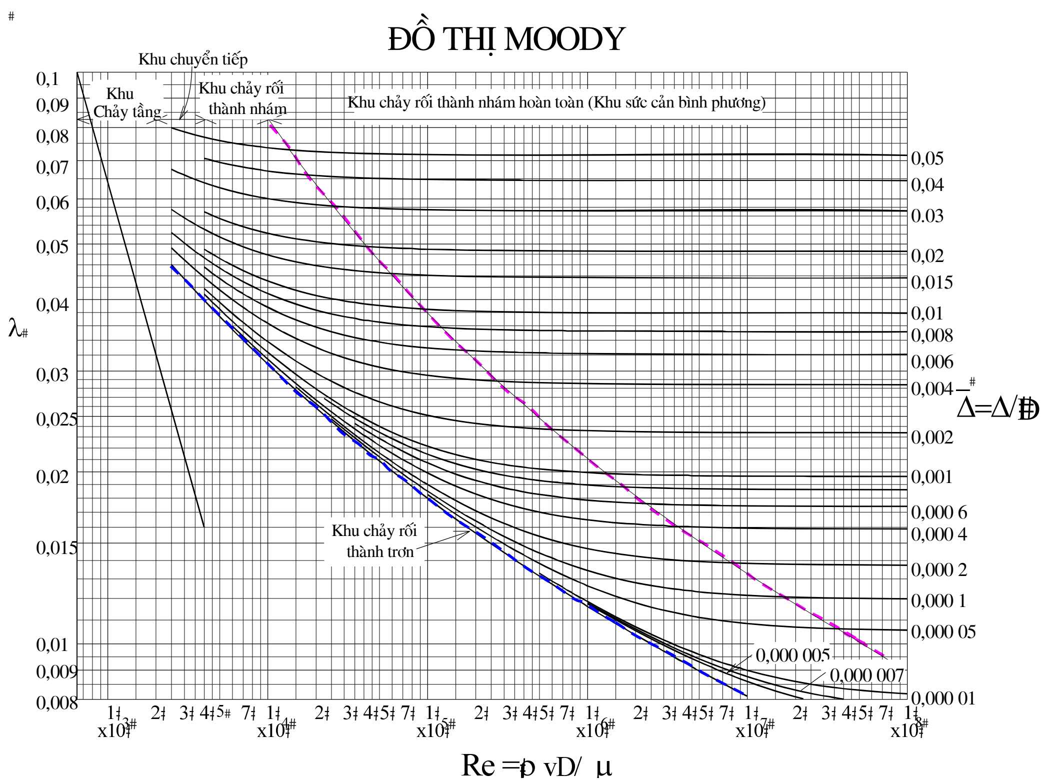
Rối thành nhám thủy lực: $(Re > 10^5)$ $\lambda = f(Re, \Delta/D)$.

Antersun: $\lambda = 0{,}1\left(1{,}46\frac{\Delta}{D} + \frac{100}{Re}\right)^{0{,}25}$

Colebrook: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left(\frac{\Delta}{3{,}71.D} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}}\right)$

Chảy rối thành hoàn toàn nhám (khu sức cản bình phương) (Re rất lớn $>4.10^6$) $\lambda = f(\Delta/D)$.

Prandtl-Nicuradse: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\, lg\frac{D}{\Delta} + 1{,}14 \approx 2\, lg\left(3{,}17\frac{D}{\Delta}\right)$ h_d tỉ lệ V^2



III. TÍNH TOÁN TỔN THẤT CỦA DÒNG CHẢY TRONG ỐNG

1.Tổn thất đường dài: Công thức tính tổn thất dọc đường có dạng

$$\boxed{h_d = \lambda \frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}}$$ (Darcy)

$\lambda = f(Re, \Delta/D)$: hệ số tổn thất

Δ : Hệ số nhám tuyệt đối (chiều cao các mố nhám)

thay D = 4R $$V = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}\sqrt{R\frac{h_d}{L}}$$

với $J = h_d/L$ → $$V = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}\sqrt{RJ}$$ và đặt $$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$ (hệ số Chezy)

$$V = C\sqrt{RJ}$$ (Công thức Chezy)

lưu lượng $$Q = AC\sqrt{RJ} = K\sqrt{J}$$ Với module lưu lượng $$K = AC\sqrt{R}$$

Hệ số Chezy C có thể tính theo công thức Manning : $C = \frac{1}{n}R^{1/6}$ (n là độ nhám)

Công thức Manning chỉ dùng khi dòng chảy rối thành hoàn toàn nhám

Từ công thứ tính lưu lượng $$Q = K\sqrt{J} = K\sqrt{\frac{h_d}{L}}$$ → $$\boxed{h_d = \frac{Q^2}{K^2}L}$$

3.Tổn thất cục bộ: Tính theo công thức thực nghiệm Weisbach:

$$h_c = \xi_c \frac{V^2}{2g}$$

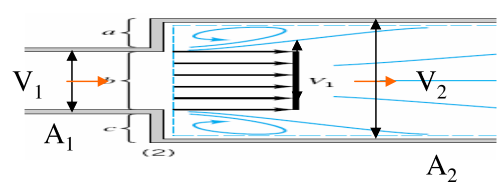
ξ là hệ số tổn thất cục bộ (phụ thuộc vào từng dạng tổn thất)

V là vận tốc dòng chảy tại vị trí sau khi xảy ra tổn thất

Mở rộng đột ngột

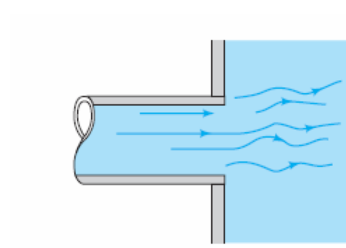
$$\xi_c = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$ với V_1

$$\xi_c = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right)^2$$ với V_2

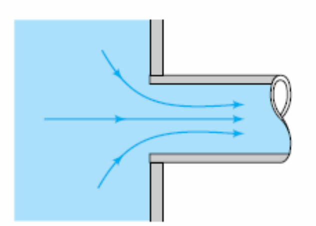


Hai công thức trên được chứng minh từ lý thuyết

Ở miệng ra của ống: ξ_c=1



Ở miệng vào của ống: ξ_c=0,5



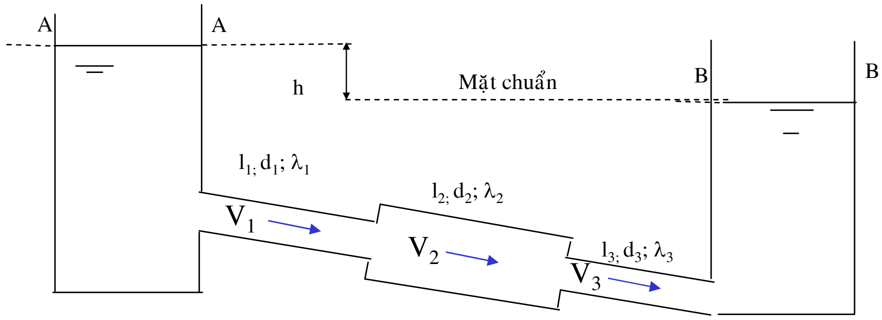
IV. CÁC BÀI TOÁN TRONG ĐƯỜNG ỐNG

1. Phân biệt đường ống dài, ngắn

$h_c < 5\% h_d$: ống dài → $h_f = h_d$

$h_c > 5\% h_d$: ống ngắn → $h_f = h_d + h_c$

2. Đường ống mắc nối tiếp



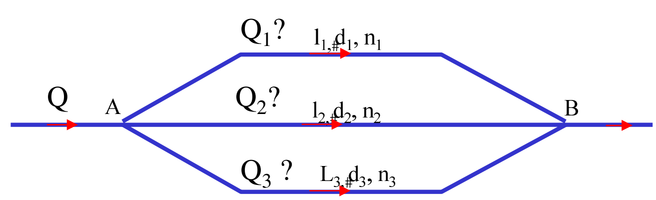
$$\frac{V_A^2}{2g}+\frac{p_A}{\gamma}+z_A=\frac{V_B^2}{2g}+\frac{p_B}{\gamma}+z_B+h_{fA-B}$$

$$h=\left(\lambda_1\frac{l_1}{d_1}\frac{V_1^2}{2g}+\lambda_2\frac{l_2}{d_2}\frac{V_2^2}{2g}+\lambda_3\frac{l_3}{d_3}\frac{V_3^2}{2g}\right)+\left(\xi_{vao}\frac{V_1^2}{2g}+\xi_{mr}\frac{V_1^2}{2g}+\xi_{th}\frac{V_2^2}{2g}+\xi_{ra}\frac{V_3^2}{2g}\right)$$

$$h=\frac{Q^2}{2g}\left(\lambda_1\frac{l_1}{d_1}\frac{1}{A_1^2}+\lambda_2\frac{l_2}{d_2}\frac{1}{A_2^2}+\lambda_3\frac{l_3}{d_3}\frac{1}{A_3^2}+\xi_{vao}\frac{1}{A_1^2}+\xi_{mr}\frac{1}{A_1^2}+\xi_{th}\frac{1}{A_2^2}+\xi_{ra}\frac{1}{A_3^2}\right)$$

Trong đó A_1, A_2 , A_3 là tiết diện ống 1, 2, và 3. → Q chảy trong ống nếu biết các thông số còn lại

3. Đường ống mắc song song (bỏ qua tổn thất cục bộ).



Gọi H_A và H_B là năng lượng tại A và B.

Nếu xét dòng chảy đi từ A đến B trên ống 1 , ta có tổn thất trên ống số 1 là : $h_{f1} = H_A - H_B$

Tương tự, xét dòng chảy từ A đến B trên ống 2 và 3 → tổn thất ống 2 và 3 là : $h_{f2} = H_A - H_B$

$h_{f3} = H_A - H_B$

Như vậy $\quad h_{f1} = h_{f2} = h_{f3}$

Nếu bỏ qua tổn thất cục bộ : $\quad h_{d1} = h_{d2} = h_{d3}$

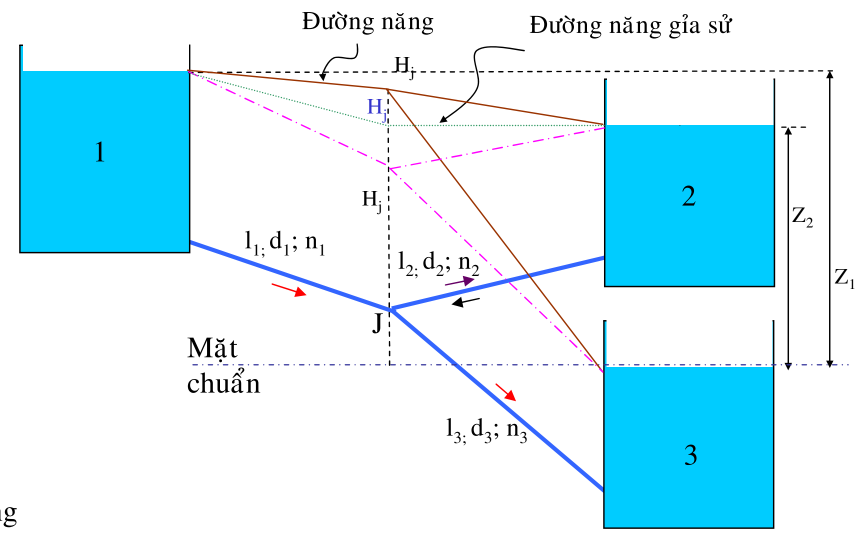
hay#
$$\frac{Q_1^2}{K_1^2}l_1=\frac{Q_2^2}{K_2^2}l_2 \qquad \text{(i)}$$

$$\frac{Q_2^2}{K_2^2}l_2=\frac{Q_3^2}{K_3^2}l_3 \qquad \text{(ii)}$$

và
$$Q=Q_1+Q_2+Q_3 \qquad \text{(iii)}$$

Từ 3 phương trình (i), (ii), (iii) → Q_1, Q_2 và Q_3

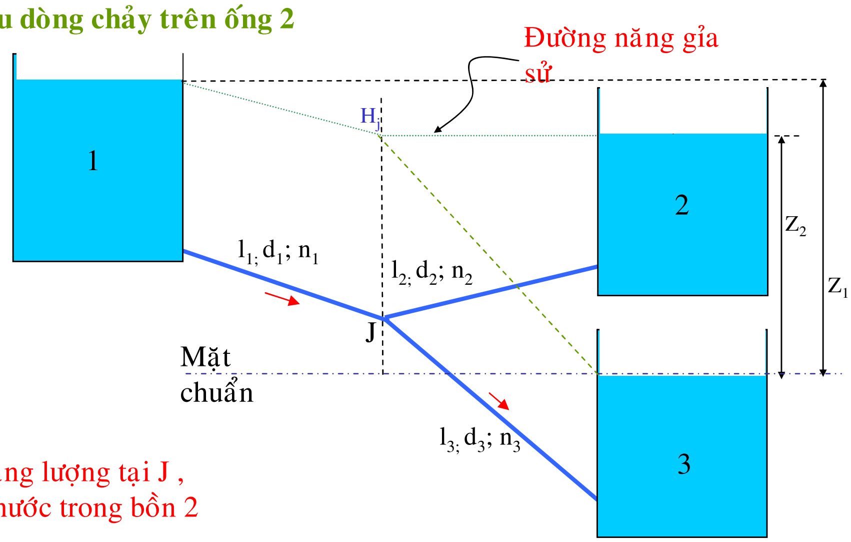
4. Đường ống nối 3 hồ chứa (bỏ qua tổn thất cục bộ).



Đường năng

(nét liền)	Chảy từ J về 2
(nét chấm gạch)	Chảy từ 2 về J
(nét đứt)	Không chảy trên ống 2

Cách xác định chiều dòng chảy trên ống 2



Giả sử cao trình năng lượng tại J , H_j ngang với mực nước trong bồn 2

Tổn thất trên ống 1 $\quad h_{d1} = \frac{Q_1^2}{K_1^2} l_1 \Rightarrow z_1 - z_2 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} l_1 \longrightarrow Q_1 = K_1\sqrt{\frac{z_1 - z_2}{l_1}}$

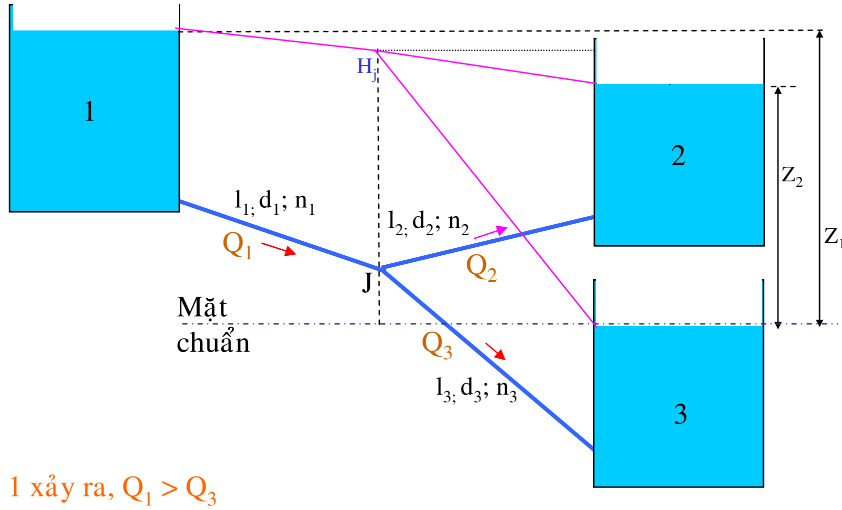
Tổn thất trên ống 2 $\quad h_{d2} = \frac{Q_2^2}{K_2^2} l_2 \Rightarrow 0 = \frac{Q_2^2}{K_2^2} l_2 \longrightarrow Q_2 = 0$

Tổn thất trên ống 3 $\quad h_{d3} = \frac{Q_3^2}{K_3^2} l_3 \Rightarrow z_2 = \frac{Q_3^2}{K_3^2} l_3 \longrightarrow Q_3 = K_3\sqrt{\frac{z_2}{l_3}}$

$Q_1 > Q_3$ => trong ống 2 dòng chảy đi từ J về bồn 2

$Q_1 < Q_3$ => trong ống 2 dòng chảy đi từ bồn 2 về J

$Q_1 = Q_3$ => trong ống 2 không có dòng chảy



Thí dụ trường hợp 1 xảy ra, $Q_1 > Q_3$

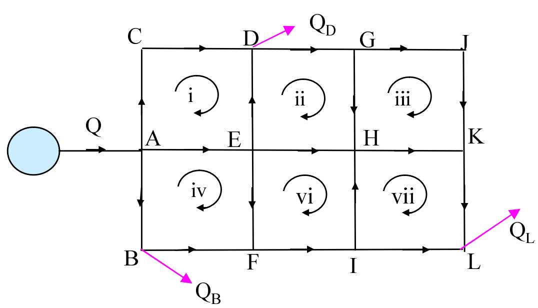
Tổn thất trên ống 1 : $z_1 - H_j = \frac{Q_1^2}{K_1^2} l_1$ => $Q_1 = K_1\sqrt{\frac{z_1 - H_j}{l_1}}$

Tổn thất trên ống 2 $H_j - z_2 = \frac{Q_2^2}{K_2^2} l_2$ => $Q_2 = K_2\sqrt{\frac{H_j - z_2}{l_2}}$ ⇨ H_j , Q_1 , Q_2 , Q_3

Tổn thất trên ống 3 $H_j = \frac{Q_3^2}{K_3^2} l_3$ => $Q_3 = K_3\sqrt{\frac{H_j}{l_3}}$

$Q_1 = Q_2 + Q_3$

5. Mạng đường ống kín:



Lưu lượng trong từng ống được xác định dựa vào 2 điều kiện của dòng chảy trong mạng kín như sau

1. Tại một nút lưu lượng đến phải bằng lưu lượng đi
2. Trong một vòng kín, tổng tổn thất phải bằng không

Qui ước dòng chảy theo chiều tính tóan tổn thất lấy dấu dương (+)
và dòng chảy ngược chiều tính tóan tổn thất lấy dấu âm (-)

Bước tính toán

Bước 1: Tự phân phối lưu lượng trên từng ống sao cho thỏa mãn điều kiện 1

Bước 2: Điều chỉnh lại lưu lượng từng ống sao cho thỏa mãn điều kiện 2

Áp dụng phương pháp Hardy Cross

Phương pháp Hardy Cross

Áp dụng cho những công thức tính tổn thất dọc đường có dạng $h_d = m\#Q^x.\#$

Thí dụ $h_d = \frac{Q^2}{K^2} l \longrightarrow$ $m = \# \quad 1/K^2$ $\quad x = \quad 2$

Gọi Qi là lưu lượng tự phân phối được trên ống i (chưa thỏa mãn điều kiện 2)

ΔQ là lưu lượng cần điều chỉnh trong một vòng để thỏa mãn điều kiện 2

Tổn thất năng lượng trên ống i khi đã điều chỉnh là

$$h_{di} = m_i (Q_i + \Delta Q)^x \longrightarrow h_{di} = m_i (Q_i^{\,x} + x\Delta Q\, Q^{x-1} + \ \ldots\ldots)$$

Gần đúng $\qquad h_{di} = m_i (Q_i^{\,x} + x\Delta Q\, Q^{x-1})$

Trong một vòng kín, tổng tổn thất phải bằng không

$$\sum_{i=1}^{k} m_i \left(Q_i^x + x\,\Delta Q\, Q_i^{x-1} \right) = 0$$ với k là số ống trong một vòng

$$\sum_{i=1}^{k} m_i Q_i^x + x\Delta Q \sum_{i=1}^{k} m_i Q_i^{x-1} = 0$$

$$\Delta Q = -\frac{\sum_{i=1}^{k} m_i Q_i^x}{x \sum_{i=1}^{k} \left| m_i Q_i^{x-1} \right|}$$