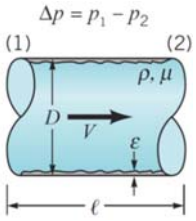
خسارة الضغط الخطية ـفي القنواتـ



لتكن قناة تنقل مائعا، إذا كان الجريان متطور فان الخسارة في الضغط متعلقة ب:

$$\Delta p = F(\rho, \mathrm{v}, D, \mu, l, \varepsilon)$$

ε هي خشونة السطح الداخلي للقناة، الجدول التالي يعرض خشونة بعض الاسطح.

مادة القناة	الخشونة (ε mm)
حديد صلب مبرشم	9.0-0.9
أسمنت	3.0-0.3
الخشب المصقول	0.9-0.18
حديد الزهر	0.26
الحديد المجلفن	0.15
الصلب التجاري	0.045
انابيب مسحوبة	0.0015
بلاستيك أو زجاج	0 املس

Equivalent Roughness for New Pipes [Adapted from Moody (Ref. 7) and Colebrook (Ref. 8)]

Pipe	Equivalent Roughness, ε Feet	Millimeters
Riveted steel	0.003–0.03	0.9–9.0
Concrete	0.001–0.01	0.3–3.0
Wood stave	0.0006–0.003	0.18–0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Commercial steel or wrought iron	0.00015	0.045
Drawn tubing	0.000005	0.0015
Plastic, glass	0.0 (smooth)	0.0 (smooth)

لقد وجدنا بطريقة تحليل الوحدات العبارة التالية:

$$\frac{\Delta p}{\rho \frac{\mathrm{v}^2}{2}} = F\left(\frac{\mu}{\rho \mathrm{v} D}, \frac{\varepsilon}{D}, \frac{l}{D}\right)$$

اثبتت التجربة ان الخسارة في الضغط تتناسب مع طول القناة، مما يبسط العبارة حيث يمكننا أن نكتب:

$$\frac{\Delta p}{\rho \frac{\mathrm{v}^2}{2}} = \frac{l}{D}\phi\left(\frac{\mu}{\rho \mathrm{v} D}, \frac{\varepsilon}{D}\right) = \frac{l}{D}\phi\left(R_e, \frac{\varepsilon}{D}\right)$$

تسمى العبارة $\frac{\Delta p D}{l \rho \frac{\mathrm{v}^2}{2}}$ معامل الاحتكاك ويرمز له f مما يجعلنا نكتب في حالة قناة افقية:

$$\Delta p = f \frac{l}{D} \rho \frac{\mathrm{v}^2}{2}$$

مع $f = \phi\left(R_e, \frac{\varepsilon}{D}\right)$.

بالنسبة للجريان الصفائحي المتطور تماما فان معامل الاحتكاك، كما تطرقنا اليه سابقا، يساوي:

$$f = \frac{64}{Re}$$

أما فيما يخص الجريان المضطرب فان معامل الاحتكاك أكثر تعقيدا حيث يتوقف على R_e و $\frac{\varepsilon}{D}$ عبر العلاقة :

$$f = \phi\left(R_e, \frac{\varepsilon}{D}\right)$$

ولا يمكن ايجاده الى حد الان الا من التجارب.

يمكن التعبير عن الخسارة في الضغط بالخسارة في الارتفاع كذلك، لإيجاد العلاقة ما بين الخسارة في الارتفاع و معامل الاحتكاك نكتب معادلة انحفاظ الطاقة:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{\mathrm{v}_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_1 \frac{\mathrm{v}_2^2}{2g} + z_2 + h_L$$

h_L هي الخسارة في الارتفاع ما بين النقطتين 1 و 2 الناتج عن الخسارة في الضغط. اذا افترضنا ان القطر ثابتا والقناة افقية، فان السرعة ثابتة والارتفاعات متساوية مما يعطي:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho g h_L$$

وبما ان:

$$\Delta p = f \frac{l}{D} \rho \frac{\mathrm{v}^2}{2}$$

فان:

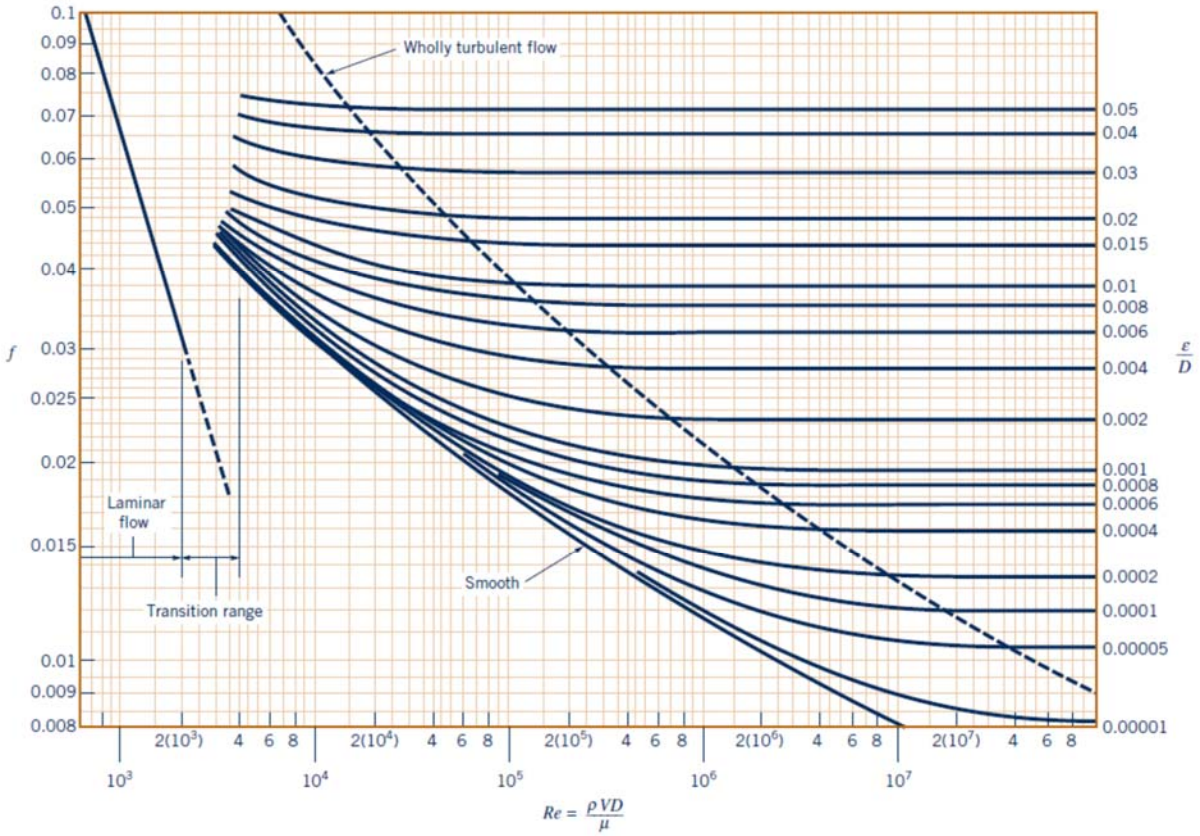
$$h_{Lf} = f \frac{l}{D} \frac{\mathrm{v}^2}{2g}$$

h_{Lf}هي خسارة الارتفاع الخطية الناتجة عن الاحتكاك. من هنا يمكننا كتابة معادلة دارسي وايزباخ *Darcy–Weisbach* التي تصلح فقط في حالة القطر الثابت للقناة:

$$p_1 - p_2 = \rho g(z_2 - z_1) + \rho g h_{Lf} = \rho g(z_2 - z_1) + f \frac{l}{D} \rho \frac{\mathrm{v}^2}{2}$$

<u>خرائط ومعادلات حساب معامل الاحتكاك في القنوات:</u>

ان معامل الاحتكاك f يتوقف على $R_e, \frac{\varepsilon}{D}$ كما رأينا من قبل، ويمكن ايجاده من التجارب التي أنتجت معادلات تقريبية وخرائط منها خريطة مودي *MOODY*. هذه الأخيرة تعطي معامل الاحتكاك تقريبيا بدلالة نمط الجريان والخصائص المتعلقة بالقناة والمائع. يتم حساب عدد رينولدس والخشونة النسبية ثم إيجاد نقطة التقاطع بينها التي يتم اسقاطها على المحور الايسر لإيجاد معامل الاحتكاك. بالنسبة للجريان المضطرب كليا ذو عدد رينولدس كبير جدا فإننا نستخدم المنحنى المتقطع على الخريطة، و في الأخير يوجد كذلك منحنى خاص بالأسطح الملساء.



هذه الخرائط لا تعطي المعامل بدقة كبيرة، حيث ان خطأ 10 بالمائة يعتبر مقبولا. للتقليل من الخطأ، يمكن إيجاد معامل الاحتكاك عن طريق الحساب باستخدام بعض العبارات الناتجة عن التجربة كمعادلة كولبروك *Colebrook* التي تستخدم في حالة الجريان المضطرب والتي تكتب:

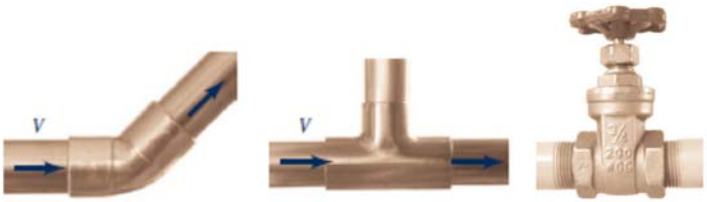
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \cdot log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{R_e\sqrt{f}}\right)$$

من الملاحظ ان هذه العبارة تحتاج الى تطبيق طريقة عددية لحلها لان f معطى بدلالة f. هنالك عبارة أسهل من عبارة كولبروك، تسمى معادلة هالند *Haaland* و التي تمكن من حساب معامل الاحتكاك للجريان المضطرب مباشرة، وهي :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \cdot log\left[\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7}\right)^{1.11} + \frac{6.9}{R_e}\right]$$

خسارة الضغط الخاصة:

ينشأ هدا النوع من خسارة الضغط عند مرور الموائع عبر الاكواع، الصمامات، التفرعات،..... نرمز لخسارة الضغط في هذه المعدات h_{Lmin} .



لحساب خسارة الضغط في هذه الحالة نستخدم العبارة:

$$\Delta p = K_L \rho \frac{\mathrm{v}^2}{2}$$

أو في حالة حساب الخسارة في الارتفاع:

$$h_{Lmin} = \frac{\Delta p}{\rho g} = K_L \frac{\mathrm{v}^2}{2g}$$

K_L هو معامل الخسارة في الضغط الخاص وهو يتوقف على شكل العتاد والسرعة المستخدمة، عموما فان K_L يعطى من طرف صانع العتاد.

في بعض الحالات تعطى الخسارة في الضغط بدلالة خسارة في الارتفاع l_{eq} مكافئة، في هذه الحالة نستخدم العبارة التالية للحساب:

$$h_{Lmin} = K_L \frac{\mathrm{v}^2}{2g} = f \frac{l_{éq}}{D} \frac{\mathrm{v}^2}{2g}$$