

Chapter – 2

Flow in Pipes and Duct

Eric G. Paterson, Department of Mechanical and Nuclear Engineering, The Pennsylvania State University, Spring 2005

ACMV အင်ဂျင်နီယာများ အားလုံးမက်ငါးနိုင်သည့် အလုပ်တစ်ခုမှာ ပိုက် သို့မဟုတ် Duct တစ်ခုအတွင်း၌ အရည်များ (fluid) စီးဆင်းနေခြင်းဖြစ်သည့်။ ပိုက်အတွင်း၌ CHW နှင့် condenser water များ စီးဆင်းခြင်းနှင့် duct များအတွင်း၌ လေများစီးဆင်းနေခြင်းတို့သည် ACMV အင်ဂျင်နီယာ တစ်ယောက် မလွှဲမသွေ့ သိသင့်သည့် အချက်များ ဖြစ်သည်။

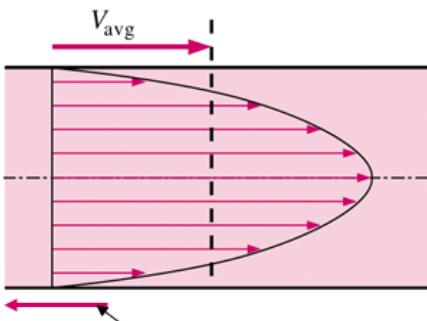
Flow in the pipe and duct သိအိုရီသဘောတရားများကိုအခြေခံ၍ ပိုက်နှင့် duct အချယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း၊ pump အချယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း ပိုက်နှင့် duct တို့၏ ဖြစ်ပေါ်သည့် friction loss (head loss) တွက် ခြင်း စသည့် အလုပ်ကိစ္စများ ပြေလုပ်ကြရသည်။ အင်ဂျင်နီယာတစ်ယောက်နှင့်တစ်ယောက် ဆွေးနွေးပြောဆို တိုင်ပင် ညီနှင့်ရာတွင် Flow in the pipe and duct သိအိုရီသဘောတရားများကို အခြေခံ၍ ပြောဆိုကြသည်။ နားမလည်သူ၊ မပြောနိုင်သူသည် တပန်းရုံးသူဖြစ်သည်။

Objectives

- (၁) ပိုက်အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် laminar and turbulent flow အကြောင်းကို ခရေစွဲတွင်းကျ နားလည်စေရန် (deeper understanding) နှင့် fully developed flow များကို analysis လုပ်တတ်စေရန်
- (၂) Piping network များတွင် pipe flow ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် major and minor losses တန်ဖိုးများ တွက်ချက်ခြင်း(calculation) နှင့် လိုအပ်သည့် pumping power များ တွက်ချက်တတ်စေရန်
- (၃) Velocity profile နှင့် flow rate တိုင်းတာနည်း(measurement techniques) များအကြောင်း
- (၄) Duct နှင့် ပိုက်အတွင်း၌အရည်များ (fluid) စီးဆင်းသည့်အခါ ပိုက်အတွင်းနှင့် ထိနေသည့် fluid များသည် မရွှေ့လျားပေါ်။ Zero velocity ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းကို no slip condition ဟုခေါ်သည်။ slip ဖြစ်ပေါ်မှု မရှိပေါ်။ တစ်နည်းအားဖြင့် no slip ဖြစ်ခြင်းကြောင့် velocity သည် zero ဖြစ်သည်။

J.1 Average velocity in a pipe

- (o) Recall - because of the no-slip condition, the velocity at the walls of a pipe or duct flow is zero
- (J) ACMV system နှင့် fluid mechanic တအုပ်များတွင် ဖော်ပြထားသည့် velocity သည် ပျမ်းမျှအလျင်(average velocity) ဖြစ်သည်။ V_{avg} , which we usually call just V ပြောဆိုသုံးရှာတွင် အဆင့်ပြောစေရန်အတွက် V ဟုသာ ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ (drop the subscript for convenience)
- no-slip condition ဖြစ်ခြင်းကြောင့် shear stress နှင့်ပွတ်တိုက်မှ (friction) ဖြစ်ပေါ်သည်။ pipe walls တစ်လျှောက်တွင်

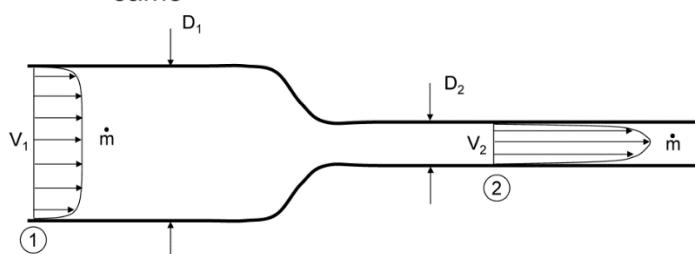


Friction force of wall on fluid



$$\dot{m} = \rho V_{avg} A = \text{constant}$$

same
same
same



(For pipes of constant diameter and incompressible flow

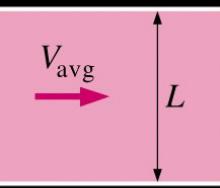
V_{avg} stays the same down the pipe, even if the velocity profile changes)

Conservation of Mass အရ

ပိုက်၏အချင်းမပြောင်းလဲလျှင်၊ ဖိသိပ်ရှုံးမရနိုင်သည့်အရည်များစီးဆင်းမှု(Incompressible flow) အတွက်
ပိုက်တစ်လျှောက်လုံးတွင် velocity မပြောင်းလဲပေါ်။
Vavg တန်ဖိုး မပြောင်းလဲပေါ်။ Velocity profile သာ ပြောင်းလဲသည်။
ပိုက်အချင်းပြောင်းလဲသွားလျှင်၊ Vavg ပြောင်းလဲသွားသည်။ Mass flow rate မပြောင်းလဲပေါ်။

For pipes with variable diameter, m is still the same due to conservation of mass, but $V_1 \neq V_2$

J.J Laminar and Turbulent Flows



$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\text{Inertial forces}}{\text{Viscous forces}} \\ &= \frac{\rho V_{\text{avg}}^2 L^2}{\mu V_{\text{avg}} L} \\ &= \frac{\rho V_{\text{avg}} L}{\mu} \\ &= \frac{V_{\text{avg}} L}{\nu} \end{aligned}$$

Critical Reynolds number (Re_c) (flow in a round pipe) အပိုင်းပုံ သဗ္ဗာန်နိုင်များအတွက်

$\text{Re} < 2300 \Rightarrow \text{laminar}$

$2300 \leq \text{Re} \leq 4000 \Rightarrow \text{transitional}$

$\text{Re} > 4000 \Rightarrow \text{turbulent}$

သတိပြုရန်အချက်မှာ ထိ R နံပါတ်၏ကိန်းတန်ဖိုးများမှာ ခန့်မှန်းထားသည့် တန်ဖိုးများသာဖြစ်သည်။
အတိ အကျေဟု မဆိုလိုပါ။

For a given application, Re_c depends upon

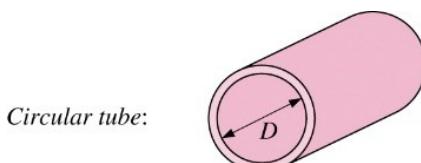
Re တန်ဖိုးသည် အောက်ပါအချက်များပေါ်တွင် မူတည်သည်။

- Pipe roughness
- Vibrations
- Upstream fluctuations, disturbances (valves, elbows, etc. that may disturb the flow)

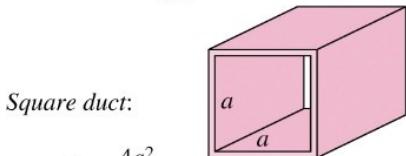
အပိုင်းပုံသဗ္ဗာန် မဟုတ်သည့် ပိုက်များအတွက် Hydraulic number တွက်ရန်လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် rectangular duct များနှင့် circular/round/oval duct များကိုတွက်ရာတွင် Hydraulic diameter တွက်ယူရန်
လိုအပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

ACMV အင်ဂျင်နီယာများလိုအပ်သည့်တွက်ချက်မှုများပြုလုပ်ရာတွင် rule of thumb နည်းကို
အသုံးပြုနိုင်သလို အသေးစိတ်တွက်ချက်မှု (detail calculation) ပြုလုပ်နိုင်သည်။

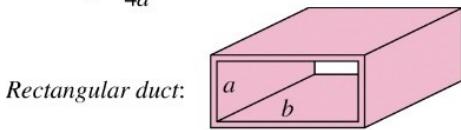
အသေးစိတ်တွက်ချက်မှု (detail calculation) ပြုလုပ်ရန်အတွက် fundamental engineering သဘောတရားများကို နားလည်သဘောပေါက်ထားသင့်သည်။ ကျောင်းတုန်းက သင်ဘူး တွက်ခဲ့ဘူးသည်။ သီအိုရီသာဘောတရားများကို ပြန်ဖွေးသည့် အနေဖြင့် အနစ်ချုပ်ဖော်ပြထားသည်။ ကျောင်းတာက်စဉ်က အဘယ်ကြောင့် သင်ကြားရသည်ကို မသိခဲ့လျှင်သော်လည်း သိထားသင့်သည့် သဘောတရားများ ဖြစ်သောကြောင့် အခန်း (c) ခန်းအဖြစ် ရေးသားဖော်ပြထားသည်။



$$D_h = \frac{4(\pi D^2/4)}{\pi D} = D$$



$$D_h = \frac{4a^2}{4a} = a$$



$$D_h = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b}$$

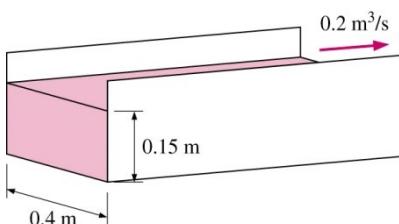
Laminar and Turbulent Flows

non-round pipes များအတွက် hydraulic diameter အောက်ပါပုံသေနည်းဖြင့်တွက်ယူနိုင်သည်။

$$D_h = 4A_c/P$$

A_c = cross-section area

P = wetted perimeter



Example: open channel

$$A_c = 0.15 * 0.4 = 0.06m^2$$

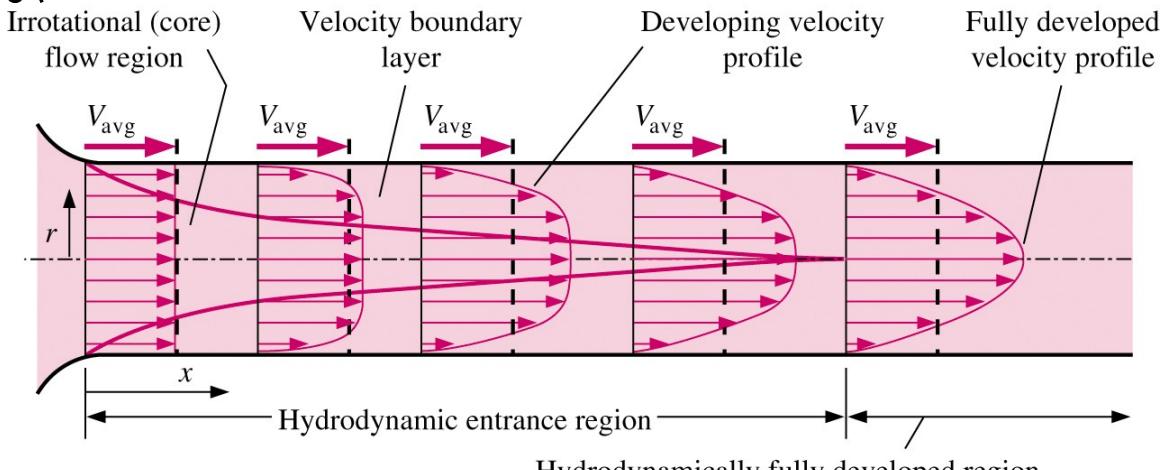
$$P = 0.15 + 0.15 + 0.5 = 0.8m$$

Don't count free surface, since it does not contribute to friction along pipe walls!

$$D_h = 4A_c/P = 4*0.06/0.8 = 0.3\text{m}$$

What does it mean? This channel flow is equivalent to a round pipe of diameter 0.3m (approximately).

J.၃ The Entrance Region

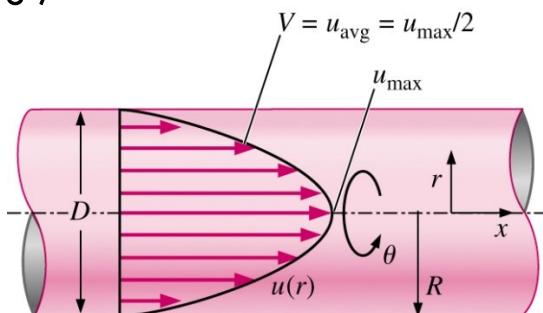


Hydrodynamically fully developed region

round pipe တစ်ခုတွင် ဦးဆင်းနေသည့် diameter D ရှိသည့် flow သည် laminar သို့မဟုတ် turbulent flow ဖြစ်နိုင်သည်။ မည်သည့် flow ဖြစ်စေ profile develops downstream over several diameters called the entry length L_h . L_h/D is a function of Re .

ပုံတွင် ပိုက်၏အစဉ်ဖြစ်ပေါ်သည့် Velocity profile တွင်းဖြည့်ပြုပောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

J.၄ Fully Developed Pipe Flow



J.၅ Comparison of laminar and turbulent flow

Fully developed pipe flows များတွင်ဖြစ်ပေါ်သည့် laminar နှင့် turbulent flow တို့၏အဓိက ကွာခြားချက် (major differences) များတို့ ဖော်ပြထားသည်။

Laminar

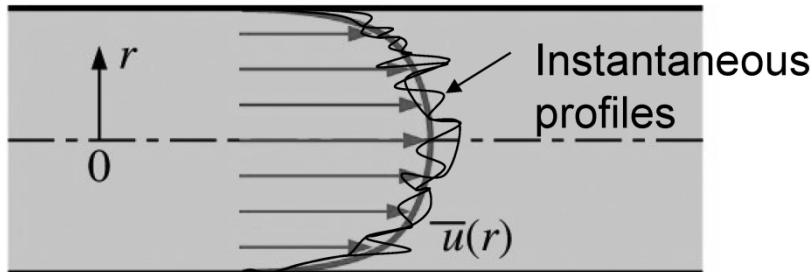
Can solve exactly (Chapter 9) LF အတွက် တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်ရာတွင် လွယ် ကူသည်။

Flow is steady ဖြစ်သည်။

Velocity profile သည် parabolic ဖြစ်သည်။

Pipe roughness သည် (important) အရေးကြီးသည့် အချက်တစ်ခုမဟုတ်ပေါ်။

It turns out that $V_{avg} = 1/2U_{max}$ and $u(r) = 2V_{avg}(1 - r^2/R^2)$



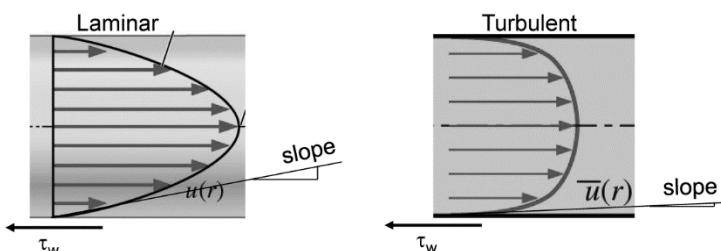
Turbulent

- Cannot solve exactly (too complex) Turbulent flow ပြသာနာများကို အလွယ်တကူ တွက်ချက်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေါ့။
 - Flow is unsteady (3D swirling eddies), but it is steady in the mean
 - Mean velocity profile is fuller (shape more like a top-hat profile, with very sharp slope at the wall)
 - Pipe roughness သည် အရေးကြီးသည့် (important) အချက်ဖြစ်သည်။
 - V_{avg} 85% of U_{max} (depends on Re a bit)
 - No analytical solution, but there are some good semi-empirical expressions that approximate the velocity profile shape. See text

Logarithmic law (Eq. 8-46) and Power law (Eq. 8-49) Analytical နည်းဖြင့် ပြသာနာများကို မဖြေရှင်းနိုင်။

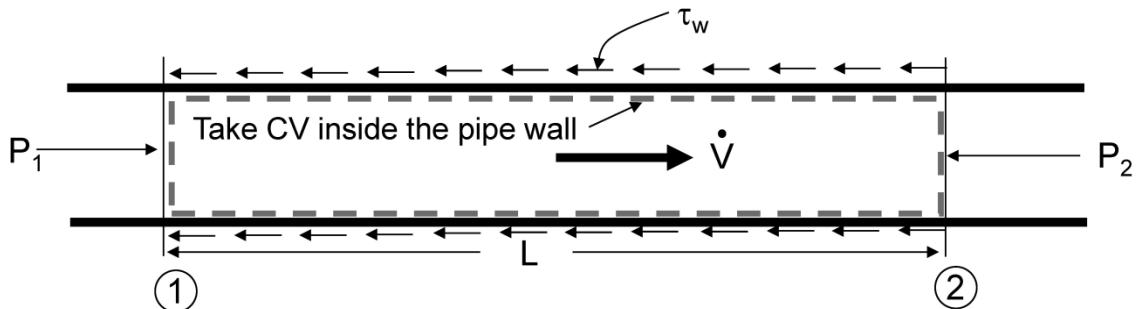
J.6 Fully Developed Pipe Flow

Wall-shear stress



Recall, for simple shear flows $u=u(y)$, we had $\tau = \mu du/dy$

In fully developed pipe flow, it turns out that $\tau = \mu du/dr$

Pressure drop

- (direct connection) ပိုက်အတွင်းဖြစ်ပေါ်သည့် မီအားကျဆင်းမှု (pressure drop in a pipe) နှင့်နံပါးဖြစ်ပေါ်သည့် SS (shear stress at the wall) တို့အကြားတွင် ပိုက်ရှိက်ဆက်သွယ်ချက်ရှိသည်။
 - Consider a horizontal pipe များအတွက်သာ fully developed ဖြစ်ပြီး and incompressible flow များအတွက် (velocity profile သည်)
 - Let's apply conservation of mass, momentum, and energy to this CV (good review problem!)
- (o) ပန့်အရွယ်အစားတွက်ရန် ရွေးချယ်ရန်အတွက် ပန့် head သိရန်လိုအပ်သည်။
- (j) Pump head သိရန်အတွက် ပိုက်များတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် friction loss သိမဟုတ် Pressure drop တွက်တော်ရမည်။
- (r) မီအားကျဆင်းမှု(pressure drop in a pipe) တွက်ရန်အတွက် velocity profile : Turbulent flow & Laminar flow | Law of C M | Law of C စသည့် သဘောတရားများကို နားလည် သဘောပေါက် သင့်သောကြောင့် ဤအခန်းကို ရေးသည်။

Conservation of Mass

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

$$\rho \dot{V}_1 = \rho \dot{V}_2 \rightarrow \dot{V} = \text{const}$$

$$V_1 \frac{\pi D^2}{4} = V_2 \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow V_1 = V_2$$

Conservation of x-momentum

$$\sum F_x = \sum F_{x,grav} + \sum F_{x,press} + \sum F_{x,visc} + \sum F_{x,other} = \sum_{out} \beta \dot{m} V - \sum_{in} \beta \dot{m} V$$

Pressure drop

* Thus, x-momentum reduces to

$$(P_1 - P_2) \frac{\pi D^2}{4} = \tau_w \pi D L$$

or

$$P_1 - P_2 = 4\tau_w \frac{L}{D}$$

Energy equation (in head form)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

$$\rho \dot{V}_1 = \rho \dot{V}_2 \rightarrow \dot{V} = const$$

$$V_1 \frac{\pi D^2}{4} = V_2 \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow V_1 = V_2$$

$$\sum F_x = \sum \overset{\nearrow}{F_{x,grav}} + \sum F_{x,press} + \sum F_{x,visc} + \sum \overset{\nearrow}{F_{x,other}} = \sum \beta \dot{m} V - \sum \beta \dot{m} V$$

$$P_1 \frac{\pi D^2}{4} - P_2 \frac{\pi D^2}{4} - \tau_w \pi D L = \underbrace{\beta_2 \dot{m} \overset{\nearrow}{V_2}}_{\text{Terms cancel since } \beta_1 = \beta_2} - \underbrace{\beta_1 \dot{m} \overset{\nearrow}{V_1}}_{\text{and } V_1 = V_2}$$

Friction Factor

- From momentum CV analysis

$$P_1 - P_2 = 4\tau_w \frac{L}{D}$$

- From energy CV analysis

$$P_1 - P_2 = \rho g h_L$$

- Equating the two gives

$$4\tau_w \frac{L}{D} = \rho g h_L$$

$$h_L = \frac{4\tau_w}{\rho g} \frac{L}{D}$$

- Head loss ပမာဏကို ခန့်မှန်း(predict)ရန်အတွက် τ_w ကို တွက်ရန်(calculate) လိုအပ်သည်။ How?
- Laminar flow: အလွယ်တကူတွက်ချက်ပြီး တိကျေသည့်အဖြေ(solve exactly)ရနိုင်သည်။
- Turbulent flow: rely on empirical data (experiments) လက်ထွေ့စမ်းသပ်မှုများမှ ရရှိသည့် ရလဒ်များကို အသုံးပြု၍ တွက်ချက်ရသည်။
- In either case, we can benefit from dimensional analysis!

Friction Factor

- $\tau_w = \text{func}(\rho, V, \mu, D, \varepsilon)$
 ε = average roughness of the inside wall of the pipe
- Π-analysis gives

$$\Pi_1 = f$$

$$f = \frac{8\tau_w}{\rho V^2}$$

$$\Pi_2 = Re$$

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$\Pi_3 = \frac{\epsilon}{D}$$

$$\epsilon/D = \text{roughness factor}$$

Friction Factor

Now go back to equation for h_L and substitute f for τ_w

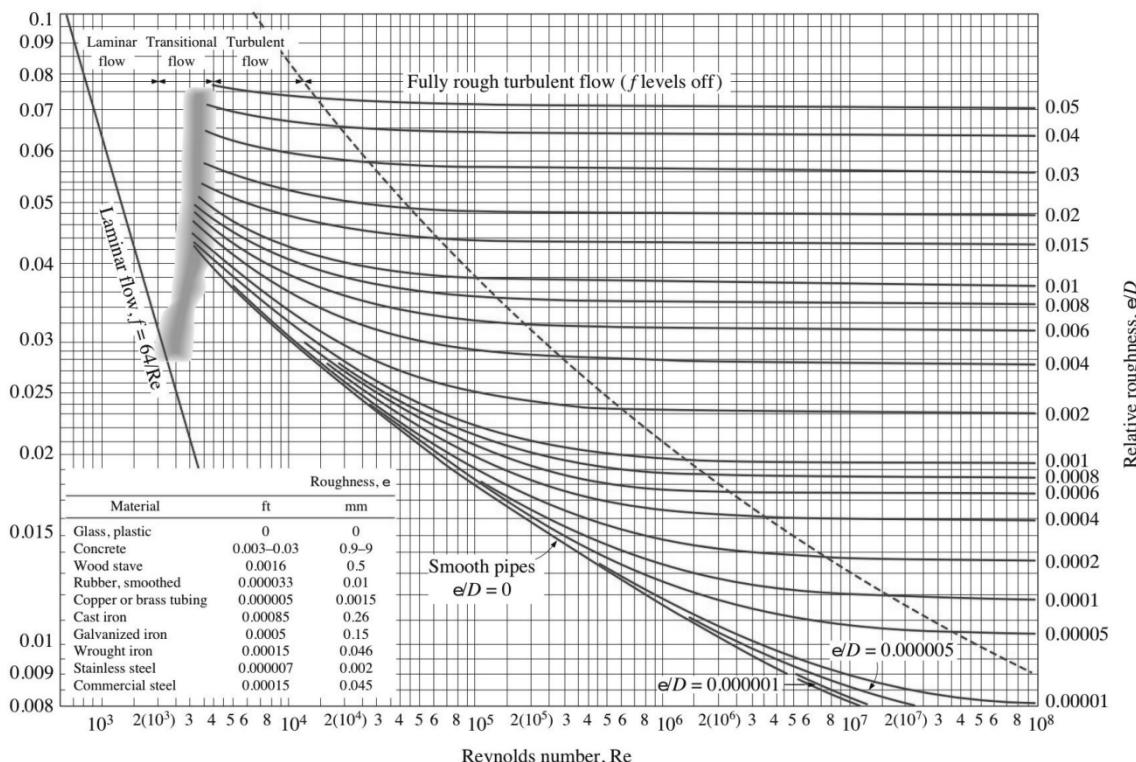
$$h_L = \frac{4\tau_w}{\rho g} \frac{L}{D} \quad f = \frac{8\tau_w}{\rho V^2} \rightarrow \tau_w = f \rho V^2 / 8$$

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Our problem is now reduced to solving for Darcy friction factor f

- Recall
- Therefore
- Laminar flow: $f = 64/Re$ (exact)
- Turbulent flow: Use charts or empirical equations (Moody Chart, a famous plot of f vs. Re and ϵ/D , See Fig. A-12, p. 898 in text)

The Moody Chart



Friction Factor

- Circular pipe များအတွက် Moody chart ကို တိုတွင်(developed)ခဲ့သည်။ သို့သော် non-circular pipes များအတွက် hydraulic diameter ကို တွက်၍ Moody chart ကို အသုံးပြနိုင်သည်။

- Colebrook equation သည် curve-fit of the data ဖြစ်သည်။ တွက်ချက်ရာတွင် အဆင့် ပြောလွယ်ကူသည်။ convenient for computations (e.g., using EES)

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

Implicit equation for f which can be solved using the root-finding algorithm in EES

- Moody chart နှင့် Colebrook equation နှစ်မျိုးစလုံးသည် (accurate) $\pm 15\%$ ခန့်သာဖြစ်သည်။ တိကျမှုရှိသည်။ roughness size, experimental error, curve fitting of data စသည့်အချက်များ ကြောင့်

Types of Fluid Flow Problems

In design and analysis of piping system များ ဒီဇိုင်းလုပ်ခြင်းနှင့် ဆန်းစစ်မှုများပြုလုပ်ခြင်းတို့တို့ 3 problem types are encountered ဖြေသာနာ (၃) မျိုးခြားထားသည်။

(o) Determine Δp (or h_L) ကိုတွက်ယူနိုင်သည်။ L, D, V (or flow rate) တို့သိလျှင်

Moody chart နှင့် Colebrook equation တို့ကိုသုံးချိတိုက် ရှိက်တွက်ယူ(solved directly)နိုင်သည်။

(j) Determine V, given L, D, Δp တို့သိလျှင်

(r) Determine D, given L, Δp , V (or flow rate) တို့သိလျှင်

Types 2 နှင့် 3 တို့သည် အင်ဂျင်နီယာများ အများဆုံးကြံးတွေ့ရလေ့ရှိသည့် ပြဿနာ(common engineering design problem)များ ဖြစ်သည်။ ပန် အချက်အစား ရွေးချယ်ရန် နှင့် ပန့်စပ်းအင်သုံးစွဲမှုနှင့် ကုန်ကျစရိတ် (pumping costs) လျော့နည်းစေရန် အတွက် ရည်ရွယ်၍ ပိုက်အချက်အစား ရွေးချယ်ခြင်း(selection of pipe diameters) ပြုလုပ်လိုသည့်အခါ တွက်ချက်ကြသည်။

V နှင့် D နှစ်မျိုးစလုံးသည် Reynolds number အတွင်းဖြစ်လျှင် iterative နည်း (approach) ဖြင့်တွက်ရန် လိုသည်။

Types of Fluid Flow Problems

သို့သော် iteration မလုပ်လိုပါဘဲ Explicit relation နည်းကို အသုံးပြနိုင်သည်။ They are useful for quick, direct calculation အလွယ်တကူ လျှင်မြန်စွာ အဖြောက် တိုက်ရှိက်တွက် လိုပါက အမှား ၂% ခန့် ပိုများ (introduce an additional 2% error)လာနိုင်သည်။

$$h_L = 1.07 \frac{\dot{V}^2 L}{gD^5} \left\{ \ln \left[\frac{\epsilon}{3.7D} + 4.62 \left(\frac{\nu D}{\dot{V}} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2} \quad 10^{-6} < \epsilon/D < 10^{-2}$$

$$3000 < Re < 3 \times 10^8$$

$$\dot{V} = -0.965 \left(\frac{gD^5 h_L}{L} \right)^{0.5} \ln \left[\frac{\epsilon}{3.7D} + \left(\frac{3.17\nu^2 L}{gD^3 h_L} \right)^{0.5} \right] \quad Re > 2000$$

$$D = 0.66 \left[\epsilon^{1.25} \left(\frac{L\dot{V}^2}{gh_L} \right)^{4.75} + \nu \dot{V}^{9.4} \left(\frac{L}{gh_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04} \quad 10^{-6} < \epsilon/D < 10^{-2}$$

$$5000 < Re < 3 \times 10^8$$

Minor Losses

Piping system များအားလုံးတွင် fittings + valves + bends + elbows + tees + inlets + exits + enlargements + နှင့် contractions စသည်တို့ ပါဝင်သည်။

ထိုအခိုင်အပိုင်းများ(components) သည် အရည်များချေမွှုံးစွာ ဆင်းခြင်း(smooth flow of fluid)ကို အဟန် အတား(interrupt) ဖြစ်စေသည်။ flow separation နှင့် mixing တို့ကြောင့် ဖြေားကျဆင်းမှုများ ဖြစ်ပေါ် (cause additional losses)လာသည်။

ထိုအခိုင်အပိုင်းများ (components) နှင့် သက်ဆိုင်သည့် (minor losses) များတွက်ရန်

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$$

- K_L is the loss coefficient.
- Is different for each component. (အခိုင်အပိုင်း (component) မတူလှျင် K တန်ဖိုးကွဲပြားသည်။)
- Is assumed to be independent of Re. နှင့် သက်ဆိုင်မှုမရှိဟုယူဆတားသည်။
- Typically provided by manufacturer or generic table (e.g., Table 8-4 in text).
- ထုတ်လုပ်သူများက ကောက်တလောက်ထဲတွင် K တန်ဖိုးများကို ဖော်ပြပေးသည်။

Minor Losses

Total head loss ထဲတွင် system ၏ major losses (in the pipe sections) နှင့် minor losses (in the components) တို့ပါဝင်သည်။

$$h_L = h_{L,major} + h_{L,minor}$$

$$h_L = \sum_i f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{V_i^2}{2g} + \sum_j K_{L,j} \frac{V_j^2}{2g}$$

Piping system အတွင်းရှိ အရွယ်တိုက်(constant diameter)များအတွက် h_L ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူ နိုင်သည်။

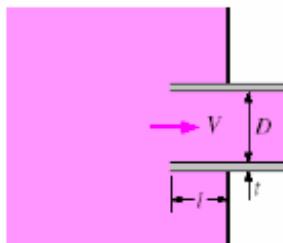
$$h_L = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{V^2}{2g}$$

Minor Losses

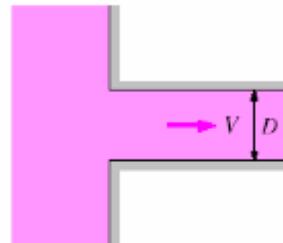
Here are some sample loss coefficients for various minor loss components. More values are listed in Table 8-4, page 350 of the Cengel-Cimbala textbook:

Pipe Inlet

Reentrant: $K_L = 0.80$
($t \ll D$ and $I \approx 0.1D$)

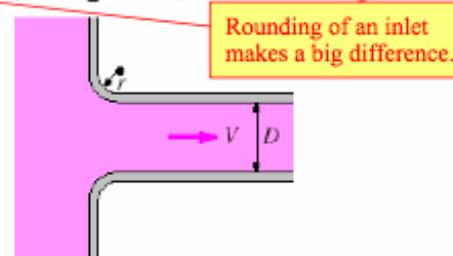


Sharp-edged: $K_L = 0.50$



Well-rounded ($r/D > 0.2$): $K_L = 0.03$

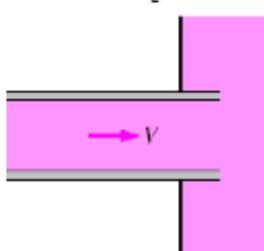
Slightly rounded ($r/D = 0.1$): $K_L = 0.12$
(see Fig. 8-36)



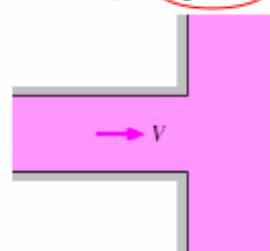
Rounding of an inlet makes a big difference.

Pipe Exit

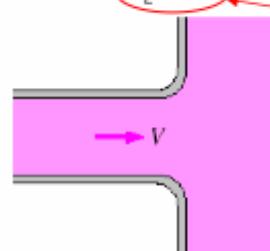
Reentrant: $K_L = \alpha$



Sharp-edged: $K_L = \alpha$



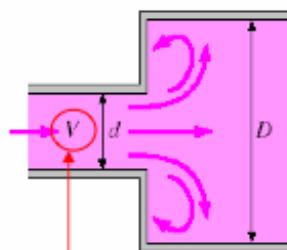
Rounded: $K_L = \alpha$



Rounding of an outlet makes no difference.

Sudden Expansion and Contraction (based on the velocity in the smaller-diameter pipe)

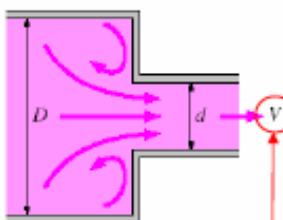
$$\text{Sudden expansion: } K_L = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$



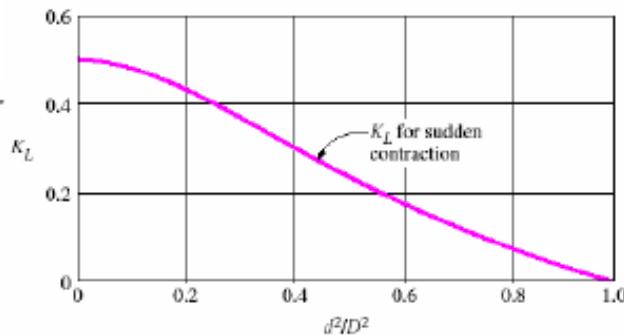
Note that the *larger velocity* (the velocity associated with the *smaller pipe section*) is used by convention in the equation for minor head loss, i.e.,

$$h_{L,\text{minor}} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

Sudden contraction: See chart.



Note: These are backwards. The K_L values listed for Expansion should be those for Contraction, and vice-versa.

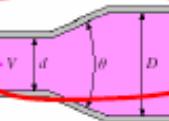


Note again that the *larger velocity* (the velocity associated with the *smaller pipe section*) is used by convention in the equation for minor head loss, i.e., $h_{L, \text{minor}} = K_L \frac{V^2}{2g}$.

Gradual Expansion and Contraction (based on the velocity in the smaller-diameter pipe)

Expansion:

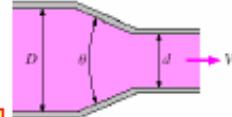
$K_L = 0.02$ for $\theta = 20^\circ$
 $K_L = 0.04$ for $\theta = 45^\circ$
 $K_L = 0.07$ for $\theta = 60^\circ$



These are for contractions

Contraction (for $\theta = 20^\circ$):

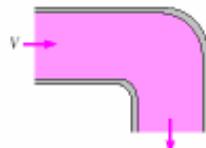
$K_L = 0.30$ for $d/D = 0.2$
 $K_L = 0.25$ for $d/D = 0.4$
 $K_L = 0.15$ for $d/D = 0.6$
 $K_L = 0.10$ for $d/D = 0.8$



These are for expansions

Bends and Branches

90° smooth bend:
Flanged: $K_L = 0.3$
Threaded: $K_L = 0.9$



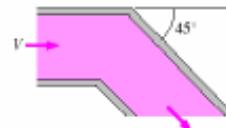
90° miter bend
(without vanes): $K_L = 1.1$



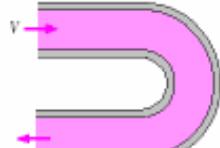
90° miter bend
(with vanes): $K_L = 0.2$



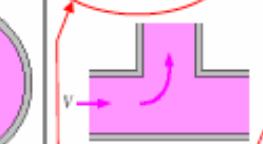
45° threaded elbow:
 $K_L = 0.4$



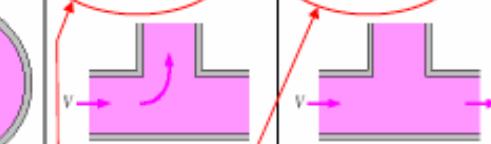
180° return bend:
Flanged: $K_L = 0.2$
Threaded: $K_L = 1.5$



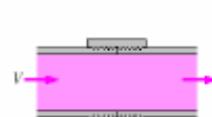
Tee (branch flow):
Flanged: $K_L = 1.0$
Threaded: $K_L = 2.0$



Tee (line flow):
Flanged: $K_L = 0.2$
Threaded: $K_L = 0.9$



Threaded union:
 $K_L = 0.08$



For tees, there are two values of K_L , one for *branch flow* and one for *line flow*.

Piping Networks and Pump Selection

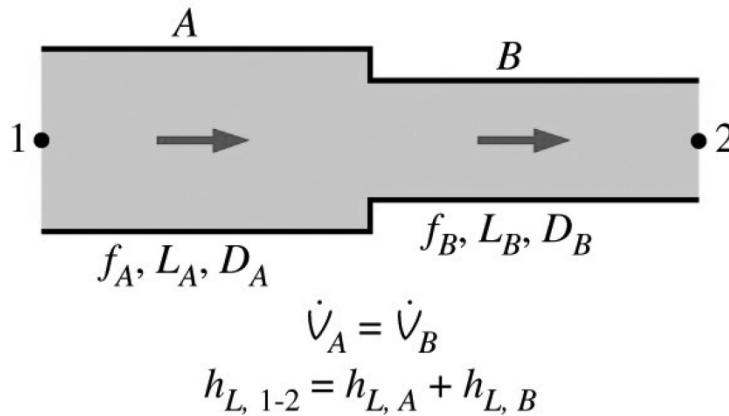
Pipe networks (၂) မျိုးရှိသည်။ Pipes in series နှင့် Pipes in parallel တို့ဖြစ်သည်။

Pipes in series

Volume flow rate is constant (ထုထည်စီးနှင့် မကြောင်းလပါ။)

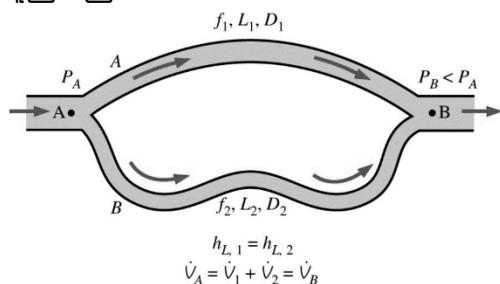
Head loss is the summation of parts

စုစုပေါင်း: head loss သည် အစိတ်အပိုင်းတစ်ရှစ်ဦး ဖြစ်ပေါ်သည့် head loss တစ်ခုချင်းစိတ် ပေါင်းထား ခြင်း ဖြစ်သည်။



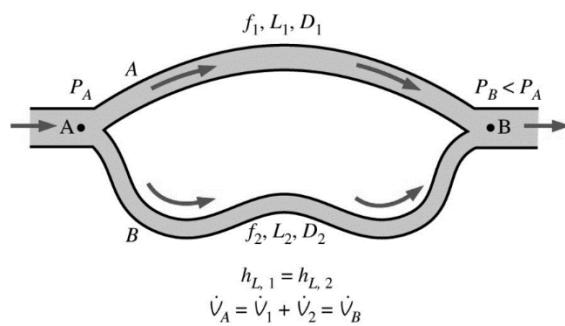
Pipes in parallel

ထုထည်စီးနှင့်(volume flow rate) သည် sum of the component များအားလုံးတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှုသည် branches အားလုံးတွင်ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(Pressure loss across) တူညီသည်။ same



Piping Networks and Pump Selection

Parallel pipe များအတွက် perform CV analysis between points A နဲ့ B အတွက် control volume ကို analysis လုပ်လူပဲ



$$V_A = V_B$$

$$\frac{P_A}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_B}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_B^2}{2g} + z_B + h_L$$

$$h_L = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

Δp သည် branche များအားလုံး၏ ဖြစ်ပေါ်သည့် မိအားကျဆင်းမှုတူညီသောကြောင့် head loss တူညီသည်။ branche အားလုံး၏ဖြစ်ပေါ်သည့်

$$h_{L,1} = h_{L,2} \longrightarrow f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} = f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g}$$

Piping Networks and Pump Selection

Head loss relationship between branches allows the following ratios to be developed

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{f_2}{f_1} \frac{L_2}{L_1} \frac{D_1}{D_2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \left(\frac{f_2}{f_1} \frac{L_2}{L_1} \frac{D_1}{D_2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

လက်တွေ့အခြေအနေ (Real) pipe systems ၏ of non-linear equations ဖြစ်သည်။ Very easy to solve with EES! နှင့် အလွယ်တကူတွေ့က်ယူနိုင်သည်။

analogy with electrical circuits များနှင့် နှိုင်းယူဉ်ရှုလေ့လာပါက ပို၍လွယ်ကူစာ နားလည်သဘော ပေါက်နိုင်သည်။

Flow flow rate (VA) သည် current (I) ဖြစ်သည်။

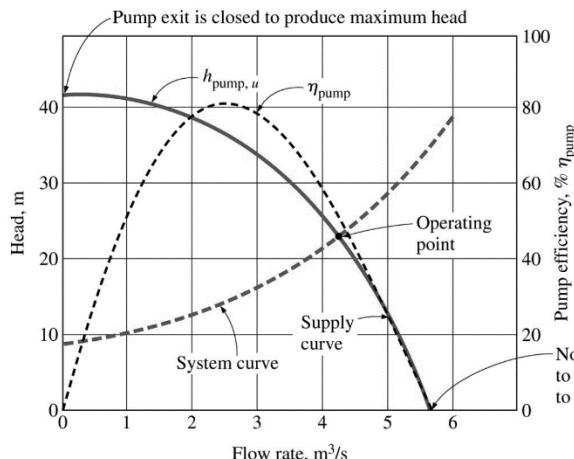
Pressure gradient (Δp) သည် electrical potential (V) ဖြစ်သည်။

Head loss (h_L) သည် resistance (R) ဖြစ်သည်။ သို့သော် however h_L is very nonlinear ဖြစ်သည်။

Piping Networks and Pump Selection

- (က) ACMV piping system များတွင် pump များ ပါဝင်သည်။
- (ခ) useful head သည် pump ($h_{pump,u}$) ၏ functions of volume flow rate ဖြစ်သည်။ တွန်းပို့နေသည့် flow rate ပေါ်မှတ်ရှု pump သည် အမြဲတမ်း ပြောင်းလဲနေသည်။
- (ဂ) (Operating point of system is where the system is in balance, e.g., where pump head is equal to the head losses.) Pump head နှင့် head loss တို့တူညီနေသည့် အနိက်တွင် system သည် balance ဖြစ်နေသည်။ ထိုတူညီနေသည့် point သည် operating point ဖြစ်သည်။
- (ဃ) Pump curve ကို supply curve ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ Pump curve များကို pump ထုတ်လုပ်သူများထံမှ ရရှိနိုင်သည်။

Pump and systems curves



When using EES, it is easy to build in functional relationship for $h_{pump,u}$.

System curve ကိုရရှိနိုင်သည်။ (determined) analysis of fluid dynamics equations မှ

Operating point သည် (intersection) supply နှင့် demand curves တို့၏ ဆံမှတ်ဖြစ်သည်။

အကယ်၍ peak efficiency ရှိသည့်နေရာသည် operating point မှေးကွာနေလျှင် pump သည် ထိ application အတွက် သင့်လောက်သည့်ပန့်မဟုတ်ပေါ့ ပန့်ချေးချယ်မှ မှားယွင်းနေသည်။

Forms of energy available in water

- Kinetic energy due to velocity
- Potential energy due to elevation
- Potential energy due to pressure

Velocity Head

$$\text{Velocity Head} = \frac{V^2}{2g}$$

g = gravitational constant = 32.2 ft/s²

when V is 5 ft/s, $V^2/(2g)$ is only about 0.4 ft

(usually negligible)

Elevation Head

Elevation head (gravitational head) = Z

Height of water above some arbitrary reference point (datum)

Water at a higher elevation has more potential energy than water at a lower elevation

Pressure Head

Pressure = force per unit area (e.g., pounds per square inch)

Pressure head = pressure per unit weight of water

$$h = P / \gamma$$

h = pressure head , P = pressure

γ = weight of a unit volume of water

$$\gamma = 62.4 \text{ lb/ft}^3 = 0.433 \text{ psi/ft}$$

$$1/ \gamma = 2.31 \text{ ft/psi}$$

$$h = 2.31 * P \text{ (P is in psi; h in ft)}$$

-End-

empty