

## 8.8

INNLEPSBETINGELSER, LAMINÆR STRØM

Figur 8.4 viser framveksten av laminært profil, ved vekst av laminært grenseskikt.

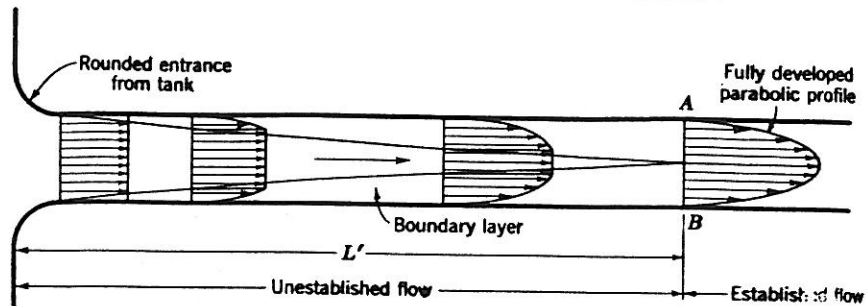


Figure 8.4 Velocity profiles along a pipe in laminar flow.

99% av full senters hastighet oppnådd for

$$\frac{L'}{D} = 0.058 Re$$

$$\xrightarrow{(Re=2000)} 116$$

P.g.a.  $\alpha$ -faktoren vil trykket <sup>høyden</sup> for  $L > L'$  være falt med en ekstra faktor  $\frac{V^2}{2g}$ , tillegg til friksjon.

Eksempel 8.2

Fortsættelse av 8.1:

$$V_m = 2V = \underline{12.7 \text{ cm/s}} \quad \underline{12.7 \text{ cm/s}}$$

$$V(r=2\text{ cm}) = 12.7 \left(1 - \left(\frac{2}{5}\right)^2\right) \text{ cm/s} = \underline{10.7 \text{ cm/s}}$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{354} = \underline{0.18}$$

$$\tau_0 = \frac{1}{4} f \rho g \frac{V^2}{2g} = \frac{1}{4} 0.18 \cdot 0.85 \cdot 10^3 \frac{(0.0637)^2}{2} \text{ N/m}^2 = \underline{0.078 \text{ N/m}^2}$$

$$\frac{h_L}{L} = f \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g} = 0.18 \frac{1}{0.10} \frac{(0.0637)^2}{2} \text{ m/m} = \underline{0.0037 \text{ m/m}}$$

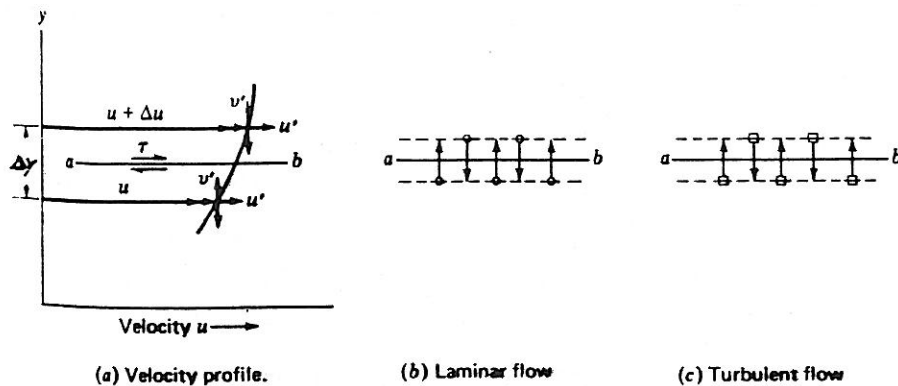


Figure 8.5 (a) Velocity profile. (b) Laminar flow (transfer of molecules across  $ab$ ). (c) Turbulent flow (transfer of finite fluid masses across  $ab$ ).

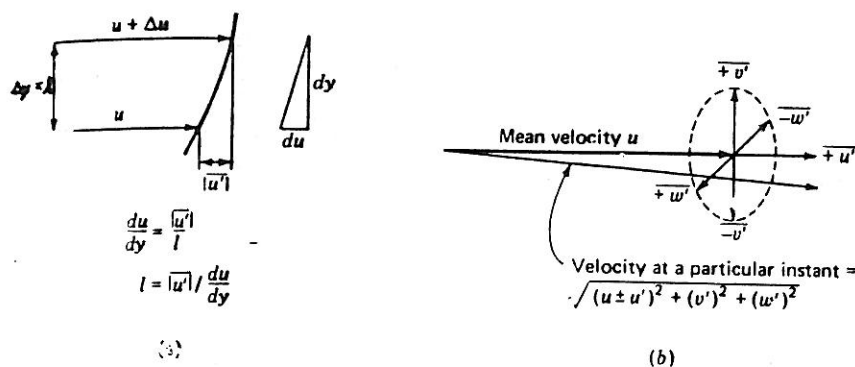


Figure 8.6 (a) Prandtl's mixing length  $l$ . (b) Instantaneous local velocity in turbulent flow.

## 8.8 TURBULENT STRØM

I turbulent strøm er det bevægelsesmængde transport på tværs af strømretningen ved massestrøms fluktuationer, i tillegg til diffusjonen ved laminar strøm.

PROVISER FIGUR 8.5

Skjerspenning nå :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} + \eta \frac{du}{dy} = \rho(\nu + \epsilon) \frac{du}{dy} \quad (8.28)$$

$\eta$  er ~~viskositeten~~ <sup>viskositeten</sup> (ε den kinematiske). I turbulent strøm er  $\eta \gg \mu$ .

[Hvis grenseflater er  $\vec{u}_t \cong 0$ , så der kan ikke strømmen være turbulent;  $\eta < \mu$ .]

Vi har nevnt i avsnitt 4.5 (figur 4.6):  
Turbulent strøm i  $x$ -retningen  $\Rightarrow$

Hastighetsfluktusjoner  $\pm u'$   $\parallel u$   
— " —  $\pm v', \pm w'$   $\perp u$

### PROJISER FIGUR 8.6

Viktig definisjon (2-dim. strøm):

Prandtl's blandingslengde  $l$   
= avstand i  $y$ -retning hvor  
 $\Delta u$  er lik  $\overline{|u'|}$  (tidsmiddling)

Longitudinal

bakgrunn av

"Impulssatsen på vertikal bevegelse (Figur 8.6):

$$\begin{aligned} dF &= \tau dA \\ &= \rho Q \Delta V \\ &= \rho v' dA (u + u' - u) = \rho u' v' dA \end{aligned}$$

(tvers på flate)  
(lengde flate)

$$\Rightarrow \tau = \frac{F}{A} = -\rho \overline{u'v'} \quad (\text{tidsmiddling}) \quad (8.26)$$

$-\rho \overline{u'v'}$  kalles Reynoldsspenning. [Fortegn: Referer til figur 8.6a; partikler med  $+v'$  i øvre lag kommer fra nedre lag, og har derfor sannsynligvis  $-u'$  i forhold til hastigheten i øvre lag.]

Følg Prandtl's argumentasjon:

$$\begin{aligned} \overline{|u'|} &\sim \overline{|v'|} \text{ og av samme størrelsesorden} \\ \overline{|u'|} &= l \frac{du}{dy} \quad (\text{Taylor}) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \tau = -\rho \overline{u'v'} = \rho l^2 \left( \frac{du}{dy} \right)^2 \quad \boxed{\text{Litt jukes!}} \quad (8.27)$$

(8.27)

Denne likningen bestemmer blandingslengden  $l$  (et mål på størrelsen på de små skalaene)