Kul-34.3100 Virtausmekaniikan perusteet

2. välikoe 24.05.2011

Muistathan, että perustelut ovat tärkeä osa laskua ja arvostelua!

Properties of air

density: $\varrho_{\text{air}} = 1.23\,\text{kg/m}^3$
(dynamic) viscosity: $\mu_{\text{air}} = 1.79 \cdot 10^{-5}\,\text{Ns/m}^2$

Properties of water

density: $\varrho_{\text{water}} = 1000\,\text{kg/m}^3$
(dynamic) viscosity: $\mu_{\text{water}} = 1.12 \cdot 10^{-3}\,\text{Ns/m}^2$

Gravitational acceleration: $g = 9.81\,\text{m/s}^2$.

Equations When you use these equations, please explain what are you doing and what principle are you applying. All the equations may not be needed.

Bernoulli equation: $p + \varrho g h + \frac{1}{2}\varrho V^2 = p_T$

Energy balance:

$$\left(p + \varrho g h + \frac{1}{2}\varrho V^2\right)_{\text{out}} = \left(p + \varrho g h + \frac{1}{2}\varrho V^2\right)_{\text{in}} + \text{work done on the control volume} - \text{losses}$$

Losses: $\Delta p_{\text{friction}} = f\frac{l}{D}\frac{1}{2}\varrho V^2 \qquad \Delta p_{\text{loss}} = K\frac{1}{2}\varrho V^2$

Reynolds number: $\text{Re} = \frac{\varrho V L}{\mu}$

Power: $P = \Delta p\, Q$

Mass flux: $\dot{m} = \int_A \varrho \vec{V} \cdot \vec{n}\,\mathrm{d}A$

Momentum flux: $\int_A \vec{V}\varrho\vec{V} \cdot \vec{n}\,\mathrm{d}A$

When velocity is constant on surface A, momentum flux: $\vec{V}\dot{m}$

Momentum balance: $\sum \vec{F} = \text{momentum flux out} - \text{momentum flux in}$

Moment of momentum equation:

$$\Sigma\vec{T} = \dot{m}_{\text{out}}\left(\vec{r} \times \vec{V}\right)_{\text{out}} - \dot{m}_{\text{in}}\left(\vec{r} \times \vec{V}\right)_{\text{in}}$$

$$\vec{r} \times \vec{V} = \pm r V_\theta$$

Euler turbomachine equation:

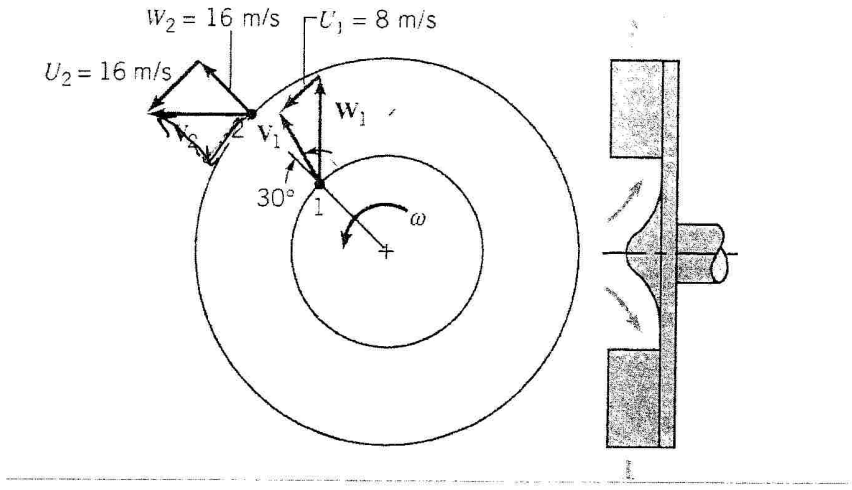
$$P = \dot{m}\left(\pm U V_\theta\right)_{\text{out}} - \dot{m}\left(\pm U V_\theta\right)_{\text{in}}$$

1. Tehtävä (6 p.)

Kuvaan 1 on hahmoteltu nopeuskolmiot eräälle virtauslaitteelle. Virtaava aine on vettä.

a) **(4p.)** Määritä energian muutos virtaavan aineen massayksikköä (kg) kohden. Onko kyseessä pumppu vai turbiini?

b) **(2p.)** Piirrä tilanteeseen soveltuva siipisola.



Kuva 1: Tehtävän 1 virtauslaite.

2. Tehtävä (6 p.)

Tarkastellaan potentiaalivirtausmallia virtaukselle pyörivän sylinterin ohi. Sylinterin säde on R, tulovirtauksen nopeus U ja paine kaukana sylinterin edessä p_0.

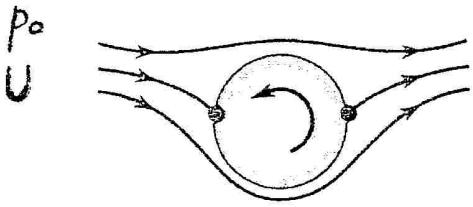
Potentiaaliteoriassa virtaus pyörivän sylinterin (kuva 2) ohi muodostetaan yhdistämällä yhdensuuntaisvirtaus, dipoli, jonka voimakkuus on UR^2, ja vapaa pyörre, jonka voimakkuus on Γ. Asetetaan pyörteen voimakkuudeksi $\Gamma = 2\pi UR$.

a) **(1p.)** Ratkaise patopisteen paikka.

b) **(2p.)** Ratkaise patopisteen kautta kulkevan virtaviivan yhtälö. Mitä tämä virtaviiva kuvaa?

c) **(1p.)** Laske paine patopisteessä.

d) **(2p.)** Miten vapaa pyörre vaikuttaa sylinteriin kohdistuviin voimiin? (Sanallinen vastaus riittää.)



Kuva 2: Tehtävän 2 pyörivä sylinteri.

3. Tehtävä (6 p.) $\pi_2 = \frac{d}{D}$

Kuvan 3 putkeen on asetettu reikälevy, jonka tarkoituksena on suodattaa epäpuhtauksia virtauksesta. Levyn aiheuttaman painehäviön selvittämiseksi tehdään mallikoe. Taulukossa 1 on annettu putken ja mallikokeen tietoja.

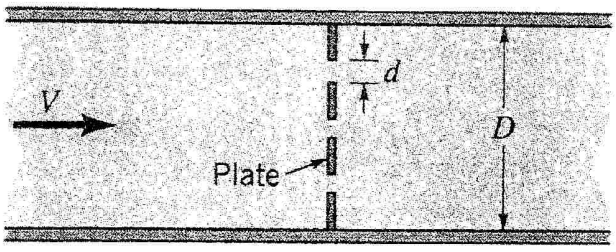
a) (3p.) Oleta, että painehäviö Δp riippuu taulukossa listatuista suureista, ja muodosta sopivat dimensiottomat muuttujat tälle ongelmalle.

b) (2p.) Määritä similaarisuusehdot täyttävät lukuarvot niille taulukon 1 suureille, joiden kohdalla on "?".

c) (1p.) Ilmoita tuntemiesi suureiden avulla, miten painehäviö skaalautuu mallikokeen ja todellisen putken välillä ($\Delta p_m/\Delta p$)?

Taulukko 1: Tehtävän 3 putken tiedot

	Putki	mallikoe
Levyn reikien halkaisija	$d = 1{,}0\,\mathrm{mm}$	$d = ?$
Putken halkaisija	$D = 50\,\mathrm{mm}$	$D = 10\,\mathrm{mm}$
(Dynaaminen) viskositeetti	$\mu = 0{,}002\,\mathrm{Ns/m^2}$	$\mu = 0{,}002\,\mathrm{Ns/m^2}$
Tiheys	$\varrho = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$	$\varrho = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$
Virtausnopeus	$V = 0{,}1\,\mathrm{m/s} \ldots 2\,\mathrm{m/s}$	$V = ?$



Kuva 3: Tehtävän 3 putki

4. Tehtävä (3 p.)

Olet mittaamassa purjeveneen rungon pienoismallia tuulitunnelissa. Olet erityisen kiinnostunut kitkan aiheuttamasta vastuksesta. Mitä sinun on vaadittava malliltasi ja virtausolosuhteilta, jotta voisit käyttää mittaustuloksia oikean veneen kitkavastuksen laskemiseksi?

Mikä voi vaikeuttaa similaarisuusehtojen toteutumista? Sanallinen vastaus riittää.

5. tehtävä (3 p.)

Potentiaaliteorialla voi laskea arvoja virtauksessa poikittain olevan pyörivän ympyräsylinterin vastukselle ja nostovoimalle. Näin lasketut arvot eivät kuitenkaan vastaa hyvällä tarkkuudella todellisuutta. Millaisia ovat teorian antamien ennusteiden ja todellisuuden erot? Ovatko erot suuriakin, vai voiko ennusteita kuitenkin käyttää likiarvoina todellisille voimille? Miksi moneen tilanteeseen sopiva potentiaaliteoria ei oikein toimi tässä tilanteessa?