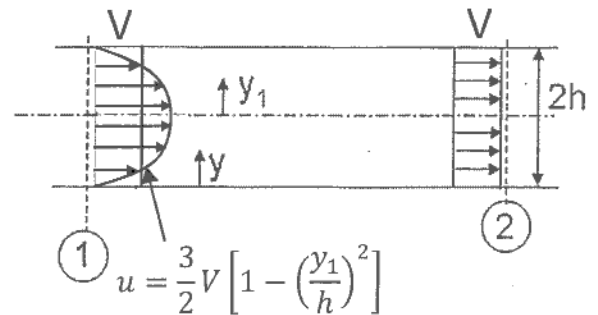


Sallittu kirjallisuus: kaavakokoelma.
 Palauta jaettu kaavakokoelma tentin jälkeen.
 Älä tee kaavakokoelmaan merkintöjä.

Graafisen laskimen käyttö sallittu
 Taulukkokirjan käyttö sallittu

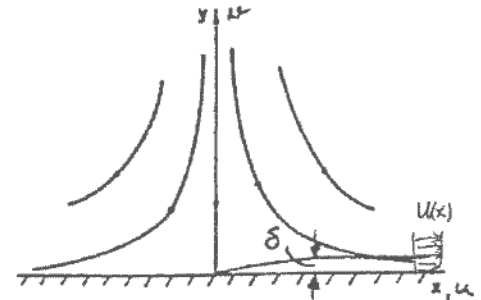
1. Levyjen välisessä raossa on täysin kehittynyt laminaari virtaus leikkauksessa 1. Se muuttuu turbulentiksi leikkauksessa 2.

- a) Soveltamalla kuvan kontrollipintaan jatkuvuus- ja liikeyhtälöitä laske paine-ero $p_1 - p_2$. Jätä seinämäkitka huomioonottamatta ja olet tasainen nopeusjakauma leikkauksessa 2.
 b) Mikä on painehäviö/metri täysin kehittyneessä virtauksessa leikkauksessa 1?



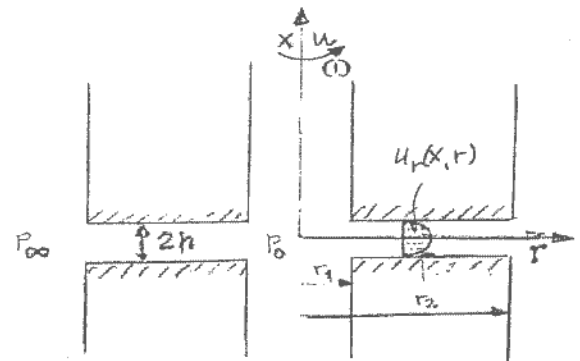
2. Kompleksinen nopeuspotentiaali $W(z) = az^n$ (a ja n vakioita) esittää useita virtauksia riippuen vakioiden arvoista.

- a) Mitä tapauksia on käsitelty luennoissa ja harjoituksissa? Anna vakioiden arvot sekä esitä virtaustapaukset.
 b) Mitkä ovat nopeuskomponentit v_θ ja v_r ? ($= re^{i\varphi}$)
 c) Osoita, että arvolla $n = 2$ potentiaali esittää kuvan patopistevirtausta esim. piirtämällä virtaviivat.
 d) Mikä on nopeus rajakerroksen reunalla c-kohdassa?
 e) Mikä on rajakerroksen paksuus δ c-kohdassa, jos rajakerros on laminaari?



3. Kuva esittää paksuseinäistä putkea, joka pyörii kulmanopeudella ω . Putken sisällä on paine p_0 ja ulkopuolella p_∞ . $p_\infty > p_0$. Putkessa olevassa raossa, korkeus $2h$, virtaus voi tapahtua joko putken sisälle päin tai sieltä pois paine-erosta $p_\infty - p_0$ ja kulmanopeudesta ω riippuen. (Käytännössä tällainen tapaus voi olla paperikoneen imusylinteri)

- a) Mikä on raossa laminaaria nopeusprofiilia $u_r = u_r(x, r)$ hallitseva diff. yhtälö? Oleta, että virtaus raossa pyörii myös kulmanopeudella ω . Lisäksi $h \ll r$, $u_\theta = r\omega$ ja $\frac{\partial}{\partial \theta} = 0$. Käytä sylinterikoordinaatiston NS-yhtälöitä. (Huom. yhtälöissä $u_r = 0$ ja $u = 0$, kun r on suuri)
 b) Mikä on ω , jolloin raon läpi ei tapahdu virtausta? (Tällöin $u_r = 0$)
 c) Mikä on nopeutta u_r hallitseva diff. yhtälö, jos $\omega = 0$?



4. Turbulentissa virtauksessa pinnan lähellä nopeusprofiili on samanlainen sekä sisä- että ulkopuolisessa virtauksessa. Nopeuden ja leikkausjännityksen välinen riippuvuus esitetään $\tau = \rho(\nu + \nu_t)\partial u/\partial y$, jossa ν_t on turbulenssin aiheuttama näennäinen viskositeetti. Pinnan lähellä lisäksi $\tau \approx \tau_s$.

- Jos käytetään turbulentin virtauksen merkintöjä u^+ ja y^+ , minkä muodon nopeutta hallitseva yhtälö saa laminaarille virtaukselle $\tau \cong \tau_s = \rho\nu \partial u/\partial y$?
- Mikä on nopeusprofiilia hallitseva yhtälö $u^+ = f(y^+)$, jos oletetaan että $\nu_t = (ky)^2 \partial u/\partial y$ ja $\nu = 0$. (Sijoita a-kohdan yhtälöön u^+ ja y^+ ja ratkaise se)
- Millä etäisyydellä pinnasta nopeus on 5 m/s, jos ilma virtaa keskinopeudella 10 m/s putkessa, jonka halkaisija on 0,1 m? $\nu = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

5. Virtaus kohtaa ohuista levyistä muodostuvan levypaketin. Levyjen pituus on L ja niiden välinen etäisyys on h.

- Johda kaava keskimääräiselle kitkakertoimelle ja vertaa tulosta kaavakokoelman käyrästä antamaan tulokseen sivulla 8. Virtaus on turbulentti ja h/L on suuri, jolloin voidaan olettaa, että rajakerroksen ulkopuolella nopeus = U_∞ ?

- Mikä on painehäviö $p_1 - p_2$ a-kohdassa saadun leikkausjännityksen perusteella?

$$L = 0,2 \text{ m}, U_\infty = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \nu = 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$h = 1 \text{ cm} \text{ ja } \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3.$$

- Mikä on b-kohdan painehäviö $p_1 - p_2$, jos se lasketaan sisäpuolisen täysin kehittyneen virtauksen tuloksien avulla ($V = 10 \text{ m/s}$).

