

**MTF052 STRÖMNINGSMEKANIK**

Tentamen måndagen den 19 augusti 2013, kl 08:30-13:30, V-huset  
(OBS! 5-timmarstenta)

Hjälpmedel: **Teoridelen:**  
Inga hjälpmedel tillåtna

**OBS!** Före tentamen skall hjälpmedlen lämnas på en av vaken anvisad plats. Lösningarna på teoriuppgifterna inlämnas vid godtycklig tidpunkt, varefter hjälpmedlen får användas vid lösandet av problemen.

**Problemdelen:**

Tillåtna hjälpmedel är läroboken ("Fluid Mechanics", Frank M. White), Data och Diagram, matematiska tabeller, Chalmersgodkänd räknare, av institutionen utgivna formelsamlingar och material, föreläsninganteckningar - dock ej lösta exempel.

Lösningar: Anslås på institutionens anslagstavla tisdag 20 augusti 2013

Betygsgränser: Maximal poängsumma är 85 p. Betyg 3  $\geq 34$ p, 4  $\geq 51$ p, 5  $\geq 68$ p

Tentaresultat: Meddelas senast fredag 6 september 2013

Granskning: Måndag 9 september 2013, kl 11.45-12.45  
Tisdag 10 september 2013, kl 11.45-12.45

Läraren besöker salen: ca kl 9:30 och ca kl 12

Göteborg den 13 augusti 2013  
Alf-Erik Almstedt, tel 772 1407



## Teoriuppgifter

T1. Vad är kavitation och varför uppstår detta ibland i en strömmande vätska? (2p)

T2. Om man håller tummen för övre änden i ett sugrör fyllt med vatten så rinner inte vattnet ut. Hur hög kan en vattenpelare i ett rör bli om övre änden är tät och den undre är öppen? (2p)

T3. Visa hur volymflödet  $Q$  och massflödet  $\dot{m}$  genom en kontrollvolym yta kan tecknas generellt. Hur lyder sambandet mellan  $Q$  och  $\dot{m}$  om densiteten  $\rho$  är konstant? (2p)

T4. Härled kontinuitetsekvationen på differentialform utgående från kontrollvolymformuleringen,

$$\int_{CV} \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \sum_i (\rho_i A_i V_i)_{out} - \sum_i (\rho_i A_i V_i)_{in} = 0$$

genom att låta kontrollvolymen gå mot noll. (7p)

T5. Vilka förenklingar av kontinuitetsekvationen på differentialform

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

kan göras om strömningen är

a) stationär?

b) inkompressibel? (2p)

T6. Förklara de ingående termerna i energiekvationen

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = k \nabla^2 T + \Phi \quad (3p)$$

T7. Strömningmotståndet,  $F_D$ , för en omströmmad kropp kan delas upp i ett formmotstånd,  $F_{Dn}$ , och ett friktionsmotstånd,  $F_{Dt}$ . Visa utgående från Reynolds likformighetslag att friktionsmotståndet kan skrivas som

$$F_{Dt} = C_{Dt}(\text{Re}) \cdot A_p \cdot \frac{\rho U^2}{2}$$

där motståndskoefficienten  $C_{Dt}$  enbart är en funktion av Reynolds tal. (5p)

T8. Förklara begreppet Reynolds dekomposition samt varför man gärna vill tidsmedelvärdera ekvationerna vid turbulent strömning. Förklara också "The closure problem" (problemet att sluta ekvationssystemet) som då uppstår. (3p)

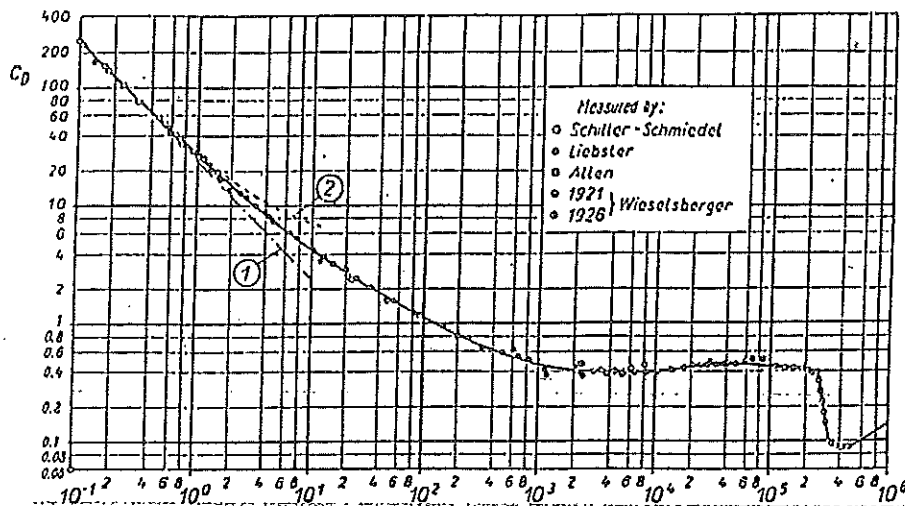
T9. Hur förhåller sig den turbulenta viskositeten  $\epsilon_m$  storleksmässigt till den kinematiska viskositeten  $\nu$  i det viskösa underskiktet respektive i det fullt turbulenta området? Hur varierar totala skjuvspänningen  $\tau$  med  $y$ -koordinaten i dessa områden? Vilken matematisk form har hastighetsprofilen i de bågge områdena? (4p)

T10. Vad skiljer den turbulenta gränsskiktsekvationen från den laminära? På vad sätt påverkas lösningsmöjligheterna? (2p)

T11. Förklara uppkomsten av von Kármáns virvelgata. (3p)

### Problem

P1. En ishockey puck med diametern 70 mm och höjden 25 mm glider längs isen med hastigheten 10 m/s. Beräkna friktionsmotståndet (kraften) mellan pucken och isen, samt strömmingsmotståndet mot luften! Vilket blir störst? Mellan pucken och isen finns en vattenfilm med tjockleken 0.1 mm. Antag att strömningen i filmen sker enbart i puckens rörelseriktning och att hastigheten i filmen enbart varierar med det vinkelräta avståndet från isen. För luftmotståndet runt en glidande puck har internationella pucko-laboratoriet i Schweiz mätt upp följande kurva



$$Re_d = \frac{\rho U d}{\mu} \quad (10p)$$

P2. Man har i ett vindtunnelförsök mätt upp hastighetsprofilerna uppströms och nedströms en kropp, för vilken man vill bestämma strömmingsmotståndet. Resultatet visas i figuren.

Uppströms är hastigheten konstant  $V_1 = 20$  m/s och nedströms ges hastigheten av

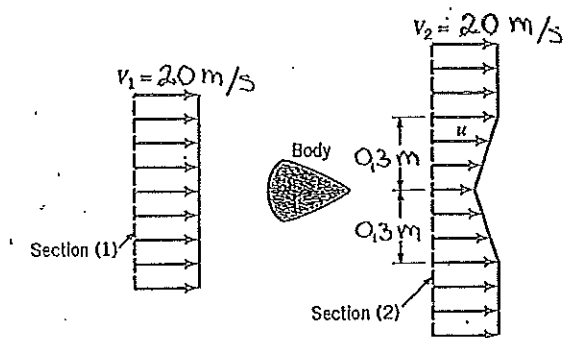
$$u = 20 - 3 \left( 1 - \left| \frac{y}{0,3} \right| \right) \text{ m/s} \quad |y| \leq 0,3 \text{ m}$$

$$u = 20 \text{ m/s} \quad |y| > 0,3 \text{ m}$$

där  $y$  är avståndet till centrumlinjen.

Antag att kroppen är 2-dimensionell, dvs att dess form inte ändras i riktningen normalt pappret.

Beräkna strömningsmotståndet på kroppen, per längdenhet in i pappret. Det statiska trycket i de båda tvärsnitten är  $p_1 = p_2 = 101,3 \text{ kPa}$  och luftens densitet är  $1,2 \text{ kg/m}^3$ .



(10p)

- P3. En rak horisontell ventilationskanal med kvadratisk tvärsnitt har längden  $250 \text{ m}$  och tvärsnittsyta  $1,0 \text{ m}^2$ . Trycket vid inloppet är  $102,0 \text{ kPa}$  och vid utloppet  $100,0 \text{ kPa}$ . Volymflödet är  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ . Luftens temperatur är  $20^\circ\text{C}$ . I ventilationsledningens utlopp placeras ett inblåsningsgaller, vars engångsförlustkoefficient är  $3,0$ . Hur stort blir volymflödet om förhållandena i övrigt är oförändrade?

(10p)

- P4. Ett flygplan med massan  $8000 \text{ kg}$  flyger på höjden  $5500 \text{ m}$ . Vingarna är av typen NACA 0009 (med klaffarna infällda) och har medelkordan  $4 \text{ m}$ . Längden av en vinge är  $20 \text{ m}$ . Vilken dragkraft behövs för att flyga med hastigheten  $400 \text{ km/h}$ ? NACA 0009 har krökningen (camber) noll.

(10p)

- P5. Luft strömmar genom en konvergent-divergent dysa med cirkulärt tvärsnitt. Luften tillföres från en mycket stor behållare där trycket  $0,7 \text{ MPa}$  och temperaturen  $30^\circ\text{C}$  råder. Trycket utanför dysans mynning är  $0,1 \text{ MPa}$ . Dysan har i minsta sektionen diametern  $0,5 \text{ cm}$  och i mynningen  $1,0 \text{ cm}$ . Beräkna massflödet genom dysan och utred om en stöt förekommer i dysans divergerande del.

(10p)

Tenta 2013-01-12

- P1)  $F_D = 41 \text{ N/m}$   
P2)  $F_b = 300 \text{ N}$  (strömningsmotstånd)  
 $P = 3.3 \text{ kW}$  (effekt)  
P3)  $t = 32 \text{ s}$   
P4) a)  $y = 0.37 \text{ mm}$   
b)  $y = 11.2 \text{ mm}$   
P5)  $Ma_1 = 2.3$  (Mach tal)  
 $V_1 = 796 \text{ m/s}$  (strömningshastighet)

Tenta 2012-10-27

- P1)  $F_D = 19.44 \text{ N/m}$   
P2)  $U_0 = 15 \text{ m/s}$   
P3)  $P = 321 \text{ W}$   
P4)  $\tau_w = 0.054 \text{ Pa}$  (väggskjuvspänning)  
 $U = 4.89 \text{ m/s}$  (friströmshastigheten)  
 $\delta = 0.067 \text{ m}$  (gränsskiktstjocklek)  
P5)  $\dot{m} = 2.41$  (massflöde)  
 $V_e = 539 \text{ m/s}$  (mynningshastighet)

Tenta 2013-08-19

- P1)  $F_{\text{glid}} = 0.7 \text{ N}$  (motstånd mot isen)  
 $F_{D,\text{luft}} = 0.05 \text{ N}$  (strömningsmotstånd pga luften)  
P2)  $F_D = 41 \text{ N/m}$   
P3)  $Q = 13.7 \text{ m}^3/\text{s}$   
P4)  $F_D = 3.73 \text{ kN}$   
P5)  $P_e = 0.029 \text{ Mpa}$ , men  $Pe < Pm = 0.1 \text{ Mpa}$  och alltså fås en stöt i dysan