

Dit tentamen bestaat uit twee delen: deel I bestaat uit 7 meerkeuzevragen en deel II bestaat uit twee open vragen.

Deel I staat voor 40% van uw eindcijfer. Deel I invullen op het bijgeleverde formulier. **Let op: de invulvakjes staan niet in volgorde a, b, c, d!** Er is telkens één antwoord goed.

Deel II staat voor 60% van uw eindcijfer. Op elk ingeleverde vel uw naam en studienummer invullen, en op het voorblad het totaal aantal ingeleverde vellen.

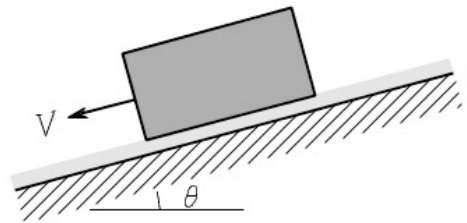
Dit is een gesloten boek tentamen. Er mogen geen boeken, kopieën van sheets, of een eigen formuleblad worden gebruikt. Een formuleblad is bij dit tentamen gevoegd. Geen mobiele telefoons en dergelijk op tafel; u dient deze uit te zetten en op te bergen.

Tenzij anders staat vermeld geldt:

- voor water een dichtheid  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  en een dynamische viscositeit  $\mu = 0,0010 \text{ Pa s}$ ;
- voor lucht een dichtheid  $\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$  en een dynamische viscositeit  $\mu = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$ , en een gasconstante  $R = 287 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$  en een adiabatische constante  $\kappa = 1.4$ .
- een zwaartekrachtversnelling  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .

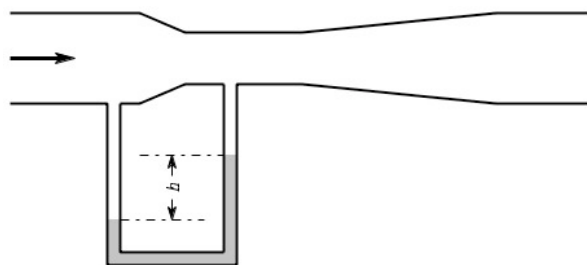
## MEERKEUZEVRAGEN

1. Een rechthoekig blok met een massa van 6 kg glijdt over een dunne oliefilm met een dikte van 1 mm langs een helling naar beneden. De hoek  $\theta$  is 15 graden, en het contactoppervlak tussen het blok en de film is 35 cm<sup>2</sup>. De olie heeft een viscositeit  $\mu = 0.29 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . Het snelheidsprofiel tussen het blok en de vaste wand mag als lineair worden beschouwd.



Wat is de terminale snelheid van het blok?

- (a) 0,2 m/s  
(b) 1,5 m/s  
(c) 5,7 m/s  
(d) 15 m/s
2. Beschouw een Bernoulli-stromingsmeter om de stroming te meten van een incompressibel gas met een dichtheid  $\rho_g = 8,0 \text{ kg/m}^3$ . De manometer is gevuld met een olie met een dichtheid  $\rho_m = 718 \text{ kg/m}^3$ .

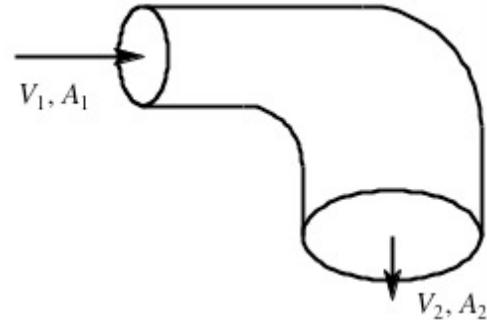


Als er een hoogteverschil van  $h = 8 \text{ cm}$  wordt gemeten, wat is dan het gemeten

drukverschil?

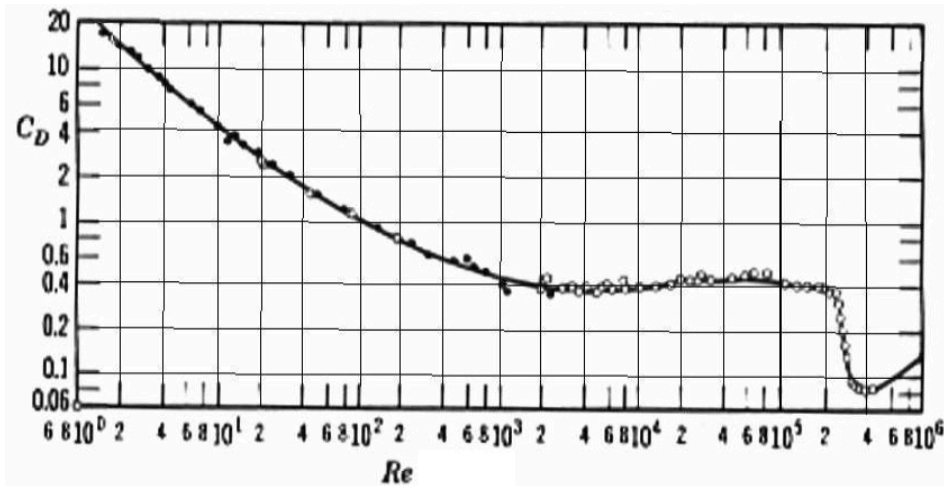
- (a) 557 Pa
- (b) 563 Pa
- (c) 568 Pa
- (d) 574 Pa

3. Beschouw een rechte bocht in een buis waarbij de doorsnede  $A_2$  van de uitstroomzijde twee keer zo groot is als de doorsnede  $A_1 = 25 \text{ cm}^2$  van de instroomzijde. Door de bocht stroomt een vloeistof met een dichtheid van  $980 \text{ kg/m}^3$  en een volumestroom van 1200 liter per minuut.



Hoe groot is de kracht op de bocht?

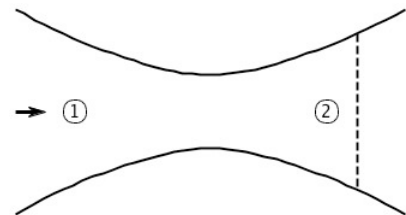
- (a) 78 N
  - (b) 157 N
  - (c) 175 N
  - (d) 235 N
4. Het dimensieloze capillair getal  $Ca$  wordt bepaald door de dynamische viscositeit  $\mu$  (in Pa s), de snelheid  $V$  (in m/s) en de oppervlaktespanning  $\sigma$  (in N/m). De correcte vorm voor dit dimensieloze getal is:
- (a)  $Ca = \sigma V / \mu$
  - (b)  $Ca = V / (\sigma \mu)$
  - (c)  $Ca = \mu V / \sigma$
  - (d)  $Ca = \mu \sigma V$
5. In een sleeptank wordt een vlakke plaat met een lengte van 110 cm en een breedte van 55 cm door water getrokken met een snelheid van 2 m/s. Hoe groot is de wrijvingskracht op de plaat?
- (a) 1,08 N
  - (b) 2,17 N
  - (c) 4,06 N
  - (d) 8,11 N
6. Beschouw een bol die met een constante kracht  $F$  door de lucht wordt bewogen met een vaste snelheid  $V$ . Het Reynoldsgetal is  $4 \times 10^3$ . De snelheid wordt een factor 2 vergroot. Maak gebruik van het onderstaande diagram.



De kracht die nu nodig is om de bol met een constante snelheid te bewegen is:

- (a) twee keer zo klein als voorheen
  - (b) net zo groot als voorheen
  - (c) twee keer zo groot als voorheen
  - (d) vier keer zo groot als voorheen
7. Beschouw de stroming van een samendrukbaar gas door een convergent-divergent kanaal (zie diagram). De onderbroken lijn geeft de positie aan van een rechte schokgolf weer.

Welke van de onderstaande beweringen voor het Mach getal ( $Ma$ ) en de dichtheid ( $\rho$ ) in posities (1) en (2) is waar:

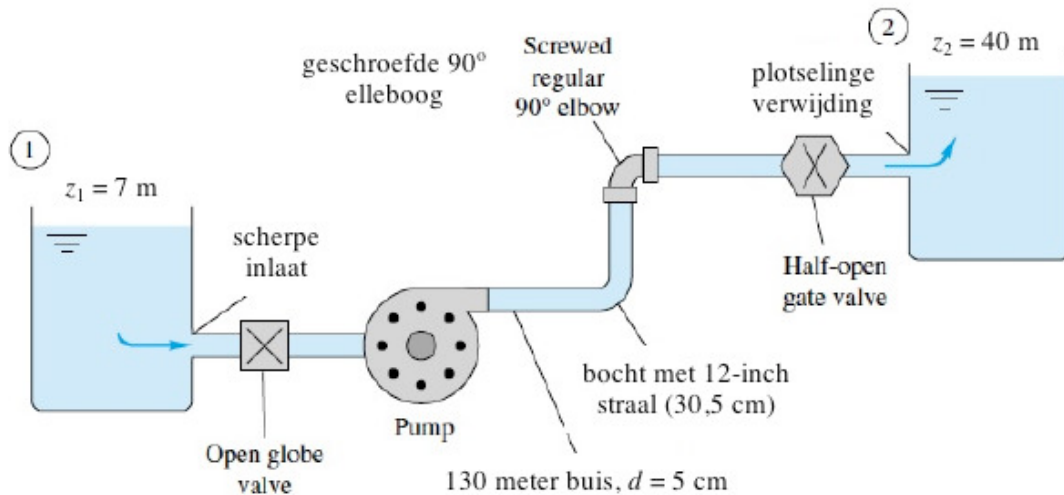


- (a)  $Ma_1 > Ma_2$  en  $\rho_1 > \rho_2$
- (b)  $Ma_1 > Ma_2$  en  $\rho_1 < \rho_2$
- (c)  $Ma_1 < Ma_2$  en  $\rho_1 > \rho_2$
- (d)  $Ma_1 < Ma_2$  en  $\rho_1 < \rho_2$

## OPEN VRAGEN

### Open vraag 1

Water wordt overgepompt tussen twee reservoirs. De volumestroom is 340 liter per minuut door een buis met een binnendiameter van  $d = 5$  cm (de nominale buisdiameter is 2 inch) en een totale lengte van 122 m. Er zijn kleine verliezen door kleppen, bochten, in- en uitstroomopeningen, zoals aangegeven in het onderstaande diagram. De buis heeft een ruwheid  $\epsilon$  van 0,050 mm. Er moet worden berekend wat het benodigde vermogen van de pomp moet zijn.



- Bereken het Reynoldsgetal van de stroming door de 5-cm buis.
- Bepaal de frictiefactor  $f$  voor de stroming door de 5-cm buis, met de gegeven ruwheid. Gebruik het bijgevoegde Moody diagram.
- Bepaal de verliezen voor de stroming door de kleppen en de bochten. Gebruik de bijgevoegde tabellen en diagrammen.
- Hoe groot moet het vermogen (in kW) van de pomp zijn?

### Open vraag 2

Bij niezen worden kleine druppeltjes door de neus met hoge snelheid naar buiten gelanceerd. Hiermee worden virussen en bacteriën in de omgeving verspreid. Er wordt gevraagd om te berekenen wat de afstand is die de druppels in stilstaande lucht kunnen afleggen. De beginsnelheid  $V_0$  van de druppels is 100 m/s. De druppeltjes hebben een diameter  $d$  van 20 micrometer (= 0.020 mm). De dichtheid  $\rho_d$  van de druppeltjes wordt gelijk genomen aan die van water ( $10^3 \text{ kg/m}^3$ ). De dichtheid van lucht  $\rho_a$  is  $1.2 \text{ kg/m}^3$  en de dynamische viscositeit  $\mu_a$  van lucht is  $18 \times 10^{-6} \text{ Pa s}$ .

- Bepaal het Reynoldsgetal  $Re$  van de stroming rondom het druppeltje wanneer het met een snelheid  $V_0$  beweegt.

Het afremmen van de druppeltjes in de stilstaande omgevingslucht wordt bepaald door een karakteristieke tijd  $T$ , dat wil zeggen:  $dV/dt \sim V_0/T$ .

- Bepaal aan de hand van een dimensieanalyse hoe  $T$  afhangt van  $\rho_a$ ,  $\mu_a$  en  $d$ .

Het druppeltje is voldoende klein om het als bolvormig te mogen beschouwen. De weerstandcoëfficiënt  $C_D$  van een ronde bol wordt bij benadering gegeven door:

$$C_D = \frac{24}{Re}.$$

- c) Geef aan wanneer deze uitdrukking voor  $C_D$  geldig is. (Gebruik het diagram bij meerkeuzevraag 6.)

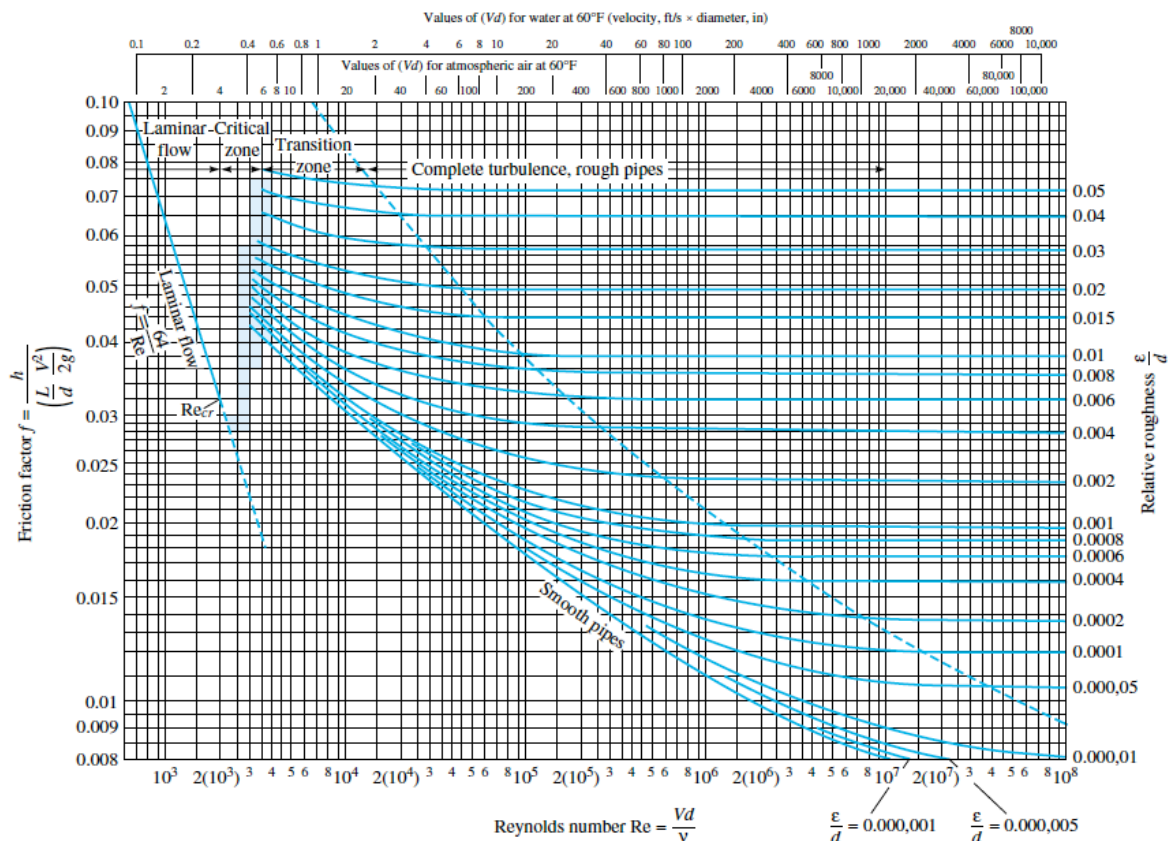
De snelheid  $V(t)$  van het druppeltje als functie van de tijd  $t$  kan worden bepaald door de volgende differentiaalvergelijking op te lossen (kracht = massa  $\times$  versnelling)

$$m \frac{dV}{dt} = -D,$$

waarbij  $D$  de weerstandskracht is van de stroming op het druppeltje en  $m$  de massa van het druppeltje.

- d) Laat zien dat de weerstandskracht  $D$  op een druppeltje wordt gegeven door:  $D = 3\pi \mu V d$
- e) Bepaal een oplossing  $V(t)$  gegeven de beginconditie  $V = V_0$  voor  $t = 0$ . Geef een uitdrukking voor de tijdschaal  $T$  op basis van deze oplossing, en vergelijk deze met het resultaat gevonden bij onderdeel (b).
- f) Geef de afgelegde weg  $s(t)$  van het druppeltje als functie van de tijd. Maak een schets van  $s(t)$ . Wat is de maximale afstand  $s_0$  die het druppeltje aflegt, gegeven de bovengenoemde eigenschappen en begincondities?

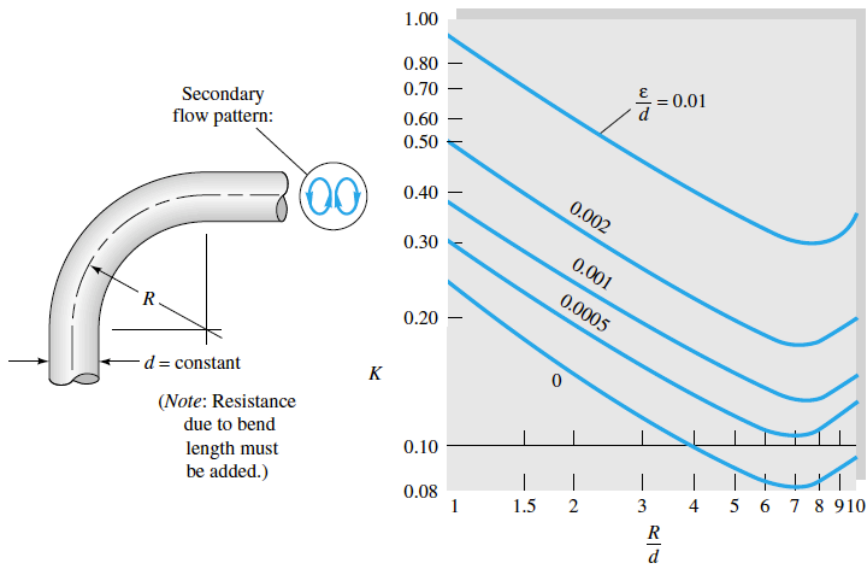
### Moody diagram



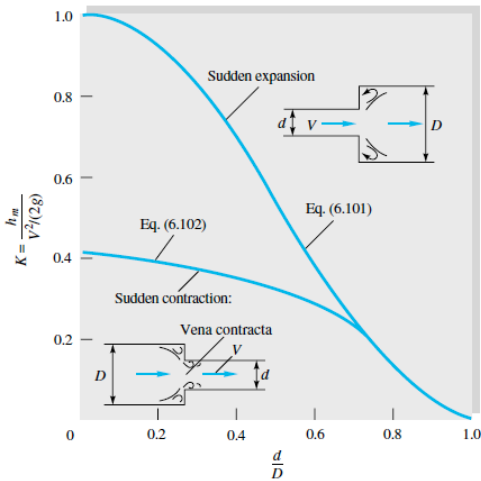
**Verliesfactoren voor kleppen ('valves'), bochten ('elbows') en T-stukken ('tees').**  
**Buisdiameter is gegeven in inches (in, 1 inch = 2,54 cm).**

	Nominal diameter, in									
	Screwed					Flanged				
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20	
<b>Valves (fully open):</b>										
Globe	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5	
Gate	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03	
Swing check	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Angle	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0	
<b>Elbows:</b>										
45° regular	0.39	0.32	0.30	0.29						
45° long radius					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14	
90° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21	
90° long radius	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10	
180° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20	
180° long radius					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10	
<b>Tees:</b>										
Line flow	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07	
Branch flow	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41	

**Verliesfactoren voor een ruime bocht ('bend') met kromtestraal  $R$  in een buis, voor verschillende ruwheden  $\epsilon$  ten opzichte van de buisdiameter  $d$ .**



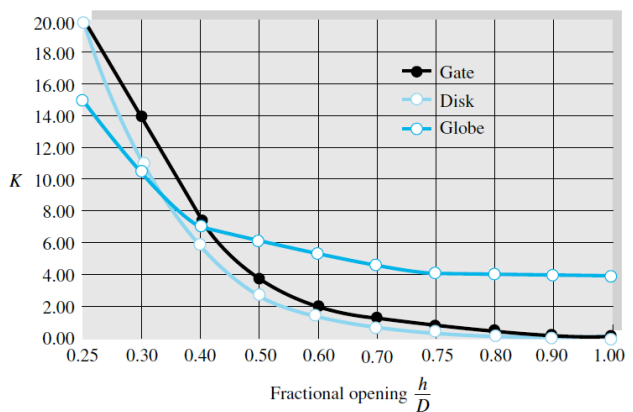
**Verliesfactoren voor een plotselinge verbijding en een vernauwing in een buis.**



$$\text{Eq. (6.101): } K_{SE} = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$

$$\text{Eq. (6.102): } K_{SC} \approx 0.42 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)$$

**Verliesfactoren als functie van het geopende deel ('fractional opening') voor verschillende typen kleppen**



**FORMULEBLAD**

Reynoldsgetal:  $Re_L = \frac{\rho V L}{\mu}$       Froudegetal:  $Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$       Machgetal:  $Ma = \frac{V}{a}$

waarin  $\rho$  de dichtheid is,  $V$  de snelheid,  $d$  een karakteristieke afmeting,  $V$  de snelheid,  $g$  de zwaartekrachtversnelling,  $a$  de geluidssnelheid, en:

dynamische viscositeit:  $\mu$  [Pa s]  
 kinematische viscositeit:  $\nu$  [m<sup>2</sup>/s],  $\nu = \mu / \rho$ ,  
 schuifspanning:  $\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$

Eigenschappen van een cirkel met straal  $r$ : oppervlak:  $A = \pi r^2$ ; omtrek:  $O = 2\pi r$

Eigenschappen van een bol met straal  $r$ : totaal oppervlak:  $S = 4\pi r^2$ ; volume:  $\mathcal{V} = \frac{4}{3}\pi r^3$

Weerstandscoefficiënt:  $C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}$

waarin  $D$  de weerstandskracht,  $\rho$  de dichtheid van het fluidum [kg/m<sup>3</sup>],  $V$  de karakteristieke snelheid [m/s], en  $A$  een karakteristiek oppervlak [m<sup>2</sup>] (d.w.z. het contactoppervlak of het aanstroomoppervlak).

Vergelijking van Bernoulli (zonder verliezen):  $p + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho g z = \text{constant}$

waarin  $p$  de druk is, en  $z$  de hoogte (ten opzichte van een referentiehoogte)

Energie-vergelijking voor pijp- en kanaalstromingen met verliezen:

$$\left(p + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho g z\right)_1 - \left(p + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho g z\right)_2 = \sum_i \left(K_i + f_i \frac{L_i}{d_i}\right) \frac{1}{2}\rho V_i^2$$

voor een gladde buis geldt:

laminair:  $f = \frac{64}{Re_D}$       turbulent:  $f = \begin{cases} 0,316 Re_D^{-1/4} & 4000 < Re < 10^5 \\ [1,8 \log(Re_D/6,9)]^{-2} & \end{cases}$

grenslagen:

verdringingsdikte:  $\delta^* = \int_0^\infty \left(1 - \frac{u}{U}\right) dy$       impulsverliesdikte:  $\theta = \int_0^\infty \frac{u}{U} \left(1 - \frac{u}{U}\right) dy$

waarin  $u(y)$  het snelheidsprofiel in de grenslaag is,  $U(x)$  de vrije stroomsnelheid buiten de grenslaag,  $\delta$  de grenslaagdikte (meestal de afstand  $y$  waar  $u$  gelijk is aan  $0,99U$ ).

weerstandscoefficiënt:  $c_D = \frac{2}{\rho U^2 L} \int_0^L \tau_w(x) dx$ , waarin  $\tau_w(x)$  de wandschuifspanning is.

Grenslaagdikte en weerstandscoefficiënt voor  $U(x) = \text{constant}$ :

laminair:  $\frac{\delta}{x} = \frac{5,48}{\sqrt{Re_x}}$ ;  $c_D = \frac{1,46}{\sqrt{Re_L}}$       turbulent:  $\frac{\delta}{x} = \frac{0,16}{Re_x^{1/7}}$ ;  $c_D = \frac{0,031}{Re_L^{1/7}}$

Netto vermogen  $\dot{W}$  [J/s] van een pomp met massastroom  $\dot{m}$  [kg/s] en opvoerhoogte  $h$  [m]:

$\dot{W} = \dot{m}gh$