

### Vraag 1

Het bestuur van de stad Groningen wil een fontein aanleggen in de gracht voor het Groninger museum. Deze fontein moet 20 m hoog spuiten en aan u wordt gevraagd deze fontein te ontwerpen. De spuitmond heeft een diameter van 1 cm, de diameter van de buizen in het systeem bedraagt 4 cm, in het buizensysteem zit een scherpe bocht van  $90^\circ$  en de totale lengte van de buizen is 10 m. De overgang van buis naar spuitmond bestaat uit een plotselinge contractie.

1) Met welke snelheid moet het water uit de spuitmond spuiten?

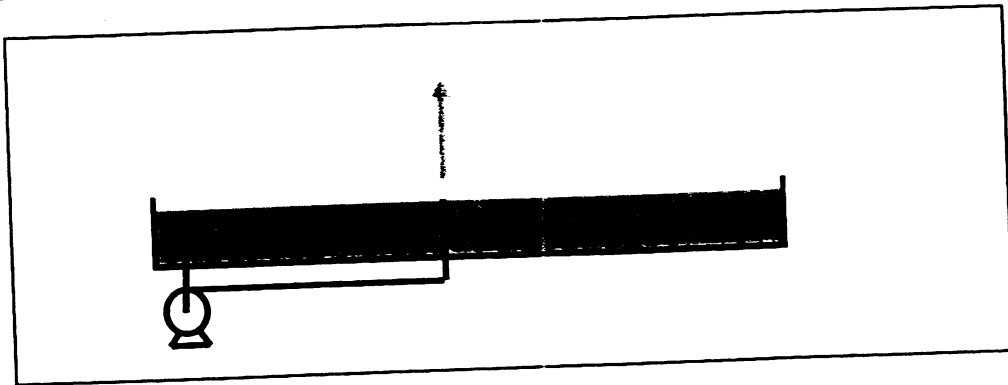
→ 2) Wat is de druk in de leiding, direct na de pomp?

→ 3) Welk vermogen moet de pomp hebben (u mag de weerstanden in de aanzuigleiding verwaarlozen).

4) Bereken de energiebesparing als u, in plaats van een plotselinge contractie een zeer geleidelijke verandering van diameter tussen leiding en spuitmond aanbrengt.

n.b.: Vermeld overal duidelijk de aannamen die u doet.

Voor dichtheid en viscositeit van water mag respectievelijk  $10^3 \text{ kg/m}^3$  en  $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  genomen worden



### Question 1

The city council of Groningen decides to build a fountain in the canal in front of the Groningen museum. The water of the fountain must reach a height of 20 m. You are asked to design the fountain. The nozzle has a diameter of 1 cm, the diameter of the tubes is 4 cm, in the tubing is a sharp bend of  $90^\circ$  and the total length of the tubes is 10 m. The change from tube to nozzle is a sudden contraction.

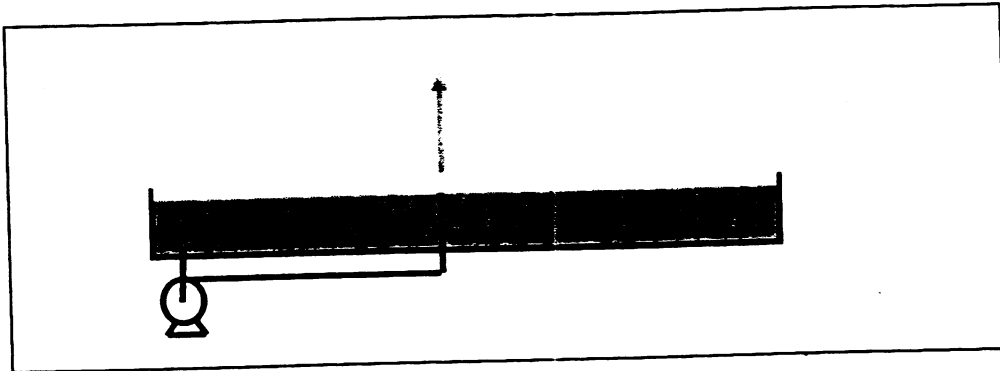
1) what must be the water velocity in the nozzle?

2) what is the pressure in the tubes, directly after the pump?

3) What is the power of the pump (neglect the resistance of the suction section)

4) calculate what energy can be saved if the transition between tubing and nozzle is not a sudden contraction but a very gradual contraction.

n.b.: state clearly all assumptions you make  
use for the density and the viscosity of water  $10^3 \text{ kg/m}^3$  and  $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  respectively.



Vraag 2) Een radiator (een doos: 1m hoog, 1.2m breed en 0.1m dik) staat in een kamer.

a) Als het water turbulent door de radiator stroomt, met welke dimensieloze getallen moeten wij dan rekening houden als wij de volgende warmteoverdrachtscoëfficiënten willen inschatten:

- water/radiatorwand en
- radiatorwand/lucht in kamer

b) In de buitenwand van de kamer is er een gesloten raam ( $1\text{m} \times 2\text{m}$ ). Bereken de evenwichtstemperatuur van de lucht in de kamer m.b.v. de gegevens hieronder. Verwaarloos hierbij de warmteoverdracht door straling en warmteuitwisseling met de muren.

c) Dezelfde vraag als in b) als er ook een ventilator zit in de buitenwand (in een gat door de muur), waardoor de lucht wordt verversd met een snelheid van  $0.0087 \text{ m}^3/\text{s}$ .

d) Speelt straling een belangrijke rol in de warmteoverdracht van de radiator als de absorptiecoëfficiënt 0.4 is? (beredeneer je antwoord).

(Hint: gebruikt  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  en neer. voor een ruwe berekening aan dat de radiator temperatuur  $40^\circ\text{C}$  is, en dat de wanden van het kamer de luchttemperatuur hebben (of  $25^\circ\text{C}$  als je de andere vragen niet hebt beantwoord)).

gegevens:

Warmteoverdrachtscoëfficiënten: water-radiatorwand:  $100 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ; radiatorwand-lucht in kamer:  $10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ; lucht in kamer-raamglas:  $15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ; raamglas-buitenlucht:  $15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .  
Temperatuur water in radiator:  $40^\circ\text{C}$ ; temperatuur buitenlucht:  $-10^\circ\text{C}$   
De radiator is gemaakt uit een goed geleidend materiaal.

Dikte raamglas: 5 mm, warmtegeleidingscoëfficiënt raamglas: 0.5 W/m K  
luchtdichtheid: 1.2 kg/m<sup>3</sup>, soortelijke warmte van lucht: 1000 J/kg K.

Question 2)

A radiator (a box: 1m high 1.2m wide and 0.1m thick) stands in a room.

a) If the water being pumped through the radiator is flowing turbulently, which dimensionless numbers should we take into account for estimating the heat transfer coefficients:

- water to radiator wall and
- radiator wall to air in room.

b) In the wall of the room there is a closed window (1m × 2m). Calculate the equilibrium temperature of the room using the data below and neglecting heat transfer by radiation and through the walls of the room.

c) Same question as in b) if there is also a ventilator in the wall to the outside (placed in a hole in the wall) refreshing the air in the room at a rate of 0.0087 m<sup>3</sup>/s .

d) The name 'radiator' indicates that an important mechanism of heat transfer from the radiator is by radiation. Is radiation likely to play an important role if the absorptivity of the outside radiator wall is 0.4 (give a reason for your answer)?

(Hint: use  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ , assume for a rough calculation that the radiator temperature is 40 °C, and the walls have the air temperature (or 25 °C if you did not answer the other questions)).

data:

Heat transfer coefficients: water-radiator wall: 100 W/m<sup>2</sup> K; radiator wall-room air: 10 W/m<sup>2</sup>K; room air-window pane: 15 W/m<sup>2</sup> K; window pane-outside air: 15 W/m<sup>2</sup> K  
Temperature water in radiator: 40°C; temperature air outside window: -10°C  
The radiator wall is made from a well-conducting material.  
Thickness window pane: 5 mm, heat conductivity window pane: 0.5 W/m K  
density air: 1.2 kg/m<sup>3</sup>, heat capacity of air: 1000 J/kg K.

Vraag 3)

Op de bodem van een geroerde tank (diameter D = 3 m) is in de loop van de tijd een laag van 10 kg vaste stof aangekoekt. Om deze te verwijderen wordt de tank doorstroomd met een zuiver oplosmiddel, waarin de koek langzaam oplost. Het debiet van het oplosmiddel bedraagt  $\Phi_v = 0,5 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ .

Men heeft gevonden uit warmteoverdrachtsmetingen, dat:

- a) de warmteoverdrachtscoëfficiënt h aan de bodem van de tank afhankelijk is van het toerental van de roerder en evenredig met  $N^{2/3}$
- b) voor een standaard toerental de warmteoverdrachtscoëfficiënt gelijk is aan 3000 W/m<sup>2</sup>K
- c) het roervermogen P varieert met  $N^3$

- 1) Bereken met behulp van de Chilton-Colburn analogie de stofoverdrachts coëfficiënt k voor het standaard toerental.
- 2) Wat is de concentratie van de opgeloste koek in de bulk van de vloeistof?
- 3) Wat is de tijd, die nodig is om de koek op te lossen?

4) Hoe verandert deze tijd als de roerdervermogen verdubbeld wordt?

diffusie coefficient van het koekmateriaal in het oplosmiddel:  
dichtheid oplosmiddel  
soortelijke warmte oplosmiddel  
warmtegeleidings coefficient oplosmiddel  
oplosbaarheid van de koek in het oplosmiddel

$$\begin{aligned} D &= 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} \\ \rho &= 1200 \text{ kg/m}^3 \\ C_p &= 3000 \text{ J/kg.K} \\ \lambda &= 0.5 \text{ W/mK} \\ c^* &= 50 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Question 3)

At the bottom of a stirred tank (diameter  $D = 3 \text{ m}$ ) a deposit of  $10 \text{ kg}$  solid material has been formed. To remove this, a flow of pure solvent is used to flush the tank and to desolve the deposit. The flow of solvent equals  $\Phi_v = 0.5 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

From heat transfer measurements in the tank it has been found, that:

- the heat transfer coefficient  $h$  at the bottom of the tank is dependant on the rotational speed of the stirrer and proportional to  $N^{2/3}$
- for a standard rotational speed the heat transfer coefficient equals  $3000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- the power  $P$  of the stirrer varies with  $N^3$ .

- Calculate with the Chilton-Colburg analogy the mass transfer coefficient  $k$  for the standard rotational speed
- What is the concentration of desolved deposit-material in the bulk of the fluid
- What is the time needed to desolve the layer of deposit?
- How does this time change if the power for the stirrer is doubled?

diffusion coefficient of deposit in solvent:  $D = 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$   
density solvent  $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$   
specific heat solvent  $C_p = 3000 \text{ J/kg.K}$   
heat conductivity coefficient solvent  $\lambda = 0.5 \text{ W/mK}$   
solubility of the deposit in the solvent  $c^* = 50 \text{ kg/m}^3$