

# Tentamen Fysische Transportverschijnselen 2

Datum onbekend

## VRAAG 1

Een pas afgestudeerde ingenieur treedt in dienst bij een zuivelfabriek. Zijn eerste opdracht betreft de yoghurtproductie. De yoghurt wordt na pasteurisatie afgekoeld door deze te leiden door een aantal parallel geschakelde ronde pijpen met uniforme wandtemperatuur. De inwendige diameter van deze pijpen is 1 cm; de temperatuur van de pijpwand is 10 °C; het yoghurtdebiet per pijp is 0,03 liter per seconde; de temperatuur waarmee de yoghurt de pijpen binnenkomt is 72,5 °C; de pijplengte is 25 m. Onze nog groene ingenieur leest in een rapport dat deze pijplengte van 25 m voldoende is om de gemiddelde temperatuur van de yoghurt te laten dalen tot 15 °C. Hij wil dit controleren en stelt meteen een warmtebalans op over een stukje  $dx$  van de pijp. Hij neemt aan dat de yoghurt een Newtonse vloeistof is die laminair door de buis stroomt. Daarom gebruikt hij voor het berekenen van de warmteoverdrachtscoëfficiënt  $h$  de vergelijking:

$$Nu = 3.66$$

Hij gebruikt bij zijn berekeningen ook nog:  $\alpha_{yoghurt} = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

a. Hoe groot is de pijplengte  $L$  die hij vindt?

Hij loopt opgewonden naar zijn chef en vertelt hem het resultaat van zijn berekening. Maar zijn chef vertelt hem dat hij de bovenvermelde vergelijking niet zonder meer mag gebruiken!

b. Waarom niet?

Bovendien, zegt zijn chef, is er geen sprake van laminaire stroming van een Newtonse vloeistof door de pijpen. Uit de verblijftijdspreidingsmeting is gevonden dat de yoghurt vrijwel als een prop door de pijpen stroomt. Dit kan doordat zich aan de wand een dun waterfilmpje ( $< 0,1 \text{ mm}$ ) vormt, waarin de gehele snelheidsgradiënt gelokaliseerd is. Onze ingenieur krijgt een rood hoofd en gaat terug naar zijn bureau om zijn berekening over te maken. Zijn chef roept hem nog na dat hij de warmteweerstand van het waterfilmpje mag verwaarlozen.

c. Welke aanpak volgt hij nu en welke pijplengte  $L$  vindt hij nu als zijnde nodig voor die gemiddelde eindtemperatuur van 15 °C?

## VRAAG 2

Op een stuk zandgrond is tien jaar geleden een 0,6 meter dikke laag kleigrond als teelaarde opgebracht. Bij nader onderzoek blijkt deze laag vervuild te zijn met chloor-koolstof verbindingen. Deze verbindingen zijn in de afgelopen 10 jaar langzaam in de (oorspronkelijke schone) zandgrond gedrongen. Het transport in de grond mag in eerste benadering worden opgevat als een diffusieproces met een effectieve diffusiecoëfficiënt in de zandgrond van  $D_z = 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  en een effectieve diffusiecoëfficiënt  $D_k = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  in de kleigrond.

De oorspronkelijke concentratie schadelijke stof in de kleigrond bedroeg  $C_o = 2 \text{ kg/m}^3$ . De (onbekende) concentratie op het grensvlak tussen klei en zand is  $C_g$ . De verdelingscoëfficiënt  $m = 1$ .

- Geef een uitdrukking voor de verhouding tussen de oorspronkelijke (uniforme) concentratie in de kleigrond en de grensvlakconcentratie ( $C_o/C_g$ ) gedurende de afgelopen tien jaar als functie van de diffusiecoëfficiënten.
- Hoe diep is de schadelijke stof na die tien jaar in de zandgrond gepenetreerd?
- Hoeveel schadelijke stof is er per  $\text{m}^2$  in die tien jaar in de zandgrond gedrongen?
- Schets de grensvlakconcentratie  $C_g$  als functie van de tijd gedurende de eerste 50 jaar; verklaar het verloop.

## Vraag 3

De firma "Dump en Co" wil een hoeveelheid radioactief materiaal met een restactiviteit (= warmteproductie) van 2 kW opbergen in zoutlagen. Voor bescherming en warmte regulatie moet het afval eerst ingesmolten worden in een grote glazen bol. In deze bol is het afval uniform verdeeld. In de zoutlagen wordt de bol geacht aan alle kanten omgeven te zijn door een oneindig uitgestrekte zoutmassa.

- Geef een vergelijking voor het temperatuurverloop in de zoutmassa
- Als de temperatuur in het zout nergens hoger mag zijn dan  $80^\circ\text{C}$ , wat moet dan de minimale diameter van de bol zijn?
- Wat wordt in dat geval de maximale temperatuur in het midden van de bol?

De warmtegeleidingscoëfficiënt van zout:  $\lambda_z = 0,7 \text{ W/mK}$  en van glas:  $\lambda_g = 1,1 \text{ W/mK}$